

# **ЗБОРНИК РАДОВА**

Трећи српски конгрес о путевима, 14-15. јун 2018.

# **PROCEEDINGS**

Third Serbian Road Congress, June 14-15. 2018

Српско друштво за путеве "Via Vita"  
Београд, 2018. година

**ЗБОРНИК РАДОВА**

Трећи српски конгрес о путевима, 14-15. јун 2018.

**PROCEEDINGS**

Third Serbian Road Congress, June 14-15, 2018

Издавач

Српско друштво за путеве "Via Vita"

Булевар Пека Дапчевића 45, 11000 Београд

За издавача

Биљана Вуксановић, дипл. инж. грађ.

Уредници

проф.др Владан Тубић

в.проф. др Горан Младеновић

Графички дизајн

Омнибус, Београд

Штампа

ДЦ Графички центар, Београд

Тираж

300

ISBN 978-86-88541-10-7



## AKTUELNI RAZVOJ AERODROMA „ŠEREMETJEVO“

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Goran Nikolić, dipl.inž.arh**

RMJM Serbia, Bulevar Mihajla Pupina 10a, Novi Beograd, Srbija, [g.nikolic@rmjm.com](mailto:g.nikolic@rmjm.com)

**Jelena Krstović Nikolić, dipl.inž.arh.**

RMJM Serbia, Bulevar Mihajla Pupina 10a, Novi Beograd, Srbija, [j.krstovicnikolic@rmjm.com](mailto:j.krstovicnikolic@rmjm.com)

**Goran Vračar, dipl.inž. saob.**

Nezavisni konsultant za aerodrome, Todora Dukina 38a, Beograd, Srbija, [g.vracar@rmjm.com](mailto:g.vracar@rmjm.com)

**Rezime:** Radom su pokazane tekuće aktivnosti na kapitalnom proširenju aerodroma „Šeremetjevo“. Početkom maja pušten je u saobraćaj Terminal B Severnog terminalnog kompleksa. Kada bude završen, sa terminalima C1 (septembar 2019.) i C2 (2021. godine), Severni terminalni kompleks uvećaće kapacitet aerodroma za 40-50 miliona putnika godišnje. Već izgrađeni tunel koji spaja Severni sa Južnim terminalnim kompleksom (terminali D, E i F) omogućiće vreme transfera od 50min. Putnička platforma, zajedno sa pripadajućim rulnim stazama moći će da prihvati i najveće avione (Airbus A380). U landside-u se planiraju tri nove nadzemne parking garaže ukupnog kapaciteta od 6.400 vozila. Biće reorganizovana kompletna putna mreža u pristupu, a planira se i nova železnička veza.

**Ključne reči:** aerodromi, putevi, platforma, planiranje, projektovanje.

## CURRENT EXPANSION OF „SHERMETYEVO“ AIRPORT

**Summary:** The paper presents current expansion taking place at the busiest Moscow Airport of „Sheremetyevo“. At the northern side of the airport, new Terminal B has already been open to traffic (early May 2018.). It will be quickly followed by two new terminals, C1 (September 2019.) and C2 (2021.). When completed, all three terminals B, C1 and C2, forming the Northern Terminal Complex, will contribute with 40-50 million passengers per year to the overall capacity of the airport. Underground link connecting the Northern and Southern Terminal Complex (terminals D, E and F), put into operation in May 2018, ensures the transfer time of 50min. Passenger apron, with accompanying taxiways and taxilanes could accommodate the largest of aircraft, Airbus A380. In the landside, three new multistory car parks are to be constructed, with the total capacity of 6.400 parking spaces. Entire road network in the landside is going to be rearranged and new railway link is planned.

**Key words:** airports, roads, apron, planning, design.

---

<sup>1</sup> Dejan Gavran: [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

## 1. UVOD

Merenje obimom saobraćaja, aerodrom "Šeremetjevo" ponovo se našao na samom vrhu ruskih aerodroma. U dinamičnoj međusobnoj trci moskovskih aerodroma, "Šeremetjevo" znatno prednjači u odnosu na drugoplasirano "Domodjedovo", donedavnog evropskog šampiona u brzini rasta saobraćaja.

Region Moskve opslužuju četiri međunarodna aerodroma: "Šeremetjevo", "Domodjedovo", "Vnukovo" i, od nedavno, "Žukovski". Aerodrom "Šeremetjevo" nalazi se na oko 40km od samog centra Moskve (od Crvenog trga) u pravcu sever-severozapad, "Domodjedovo" na oko 44km u pravcu jug-jugoistok, a "Vnukovo" na 40km u pravcu jugozapada. Odnedavno se grupi međunarodnih aerodroma, sa skromnim kapacitetom od 4 miliona putnika/godišnje pridružio i "Žukovski", lociran na oko 46km u pravcu jugoistoka.

Tri vodeća moskovska međunarodna aerodroma u toku 2017. godine beleže saobraćaj od: "Šeremetjevo" 40 miliona, "Domodjedovo" 30 miliona i "Vnukovo" 18 miliona.

Našavši se na prvom mestu, "Šeremetjevo" pojačava tempo. Sa severne strane aerodroma (severno od poletno-sletne staze 06L-24R) niče novi terminalni kompleks, STK ili Severni terminalni kompleks, a završavaju se i radovi na trećoj poletno-sletnoj stazi. Kada bude završen, sam STK će povećati ukupni godišnji kapacitet "Šeremetjeva" za 40-50 miliona putnika.

## 2. NEPOSREDNI KORACI RAZVOJA AERODROMA „ŠEREMETJEVO“

U ovom momentu je već pušten u eksploataciju Terminal B Severnog terminalnog kompleksa. To je terminal namenjen isključivo domaćem saobraćaju i godišnjeg je kapaciteta od 15-20 miliona putnika. Tokom prošle zime (2017/18) uklonjen je Terminal C u njegovom neposrednom susedstvu. To je bio relativno nov terminal (otvoren 2007.) sa godišnjim kapacitetom od 4-5 miliona putnika. Na njegovom mestu je već započeta izgradnja Terminala C1. Terminal C1 će biti isključivo međunarodni terminal godišnjeg kapaciteta od 15-20 miliona putnika i biće fizički i tehnološki povezan sa Terminalom B. Na Terminal C1 zatim će se nadovezati i Terminal C2 kapaciteta 8-10 miliona putnika.

Terminal B je već izgrađen i imperativ je bio da se on stavi u eksploataciju do predstojećeg Svetskog prvenstva u fudbalu. Terminal C1 mora biti pušten u eksploataciju do septembra 2019. godine, a Terminal C2 tokom 2021 godine.

Za funkciju aerodroma kao celine, a posebno za njegovu ulogu velikog transfernog haba, od presudnog je značaja bio završetak tunela dužine oko 2km koji spaja Severni terminalni kompleks sa Južnim. Radi se o tunelima blizancima (jednim za prtljag i jednim za putnike) koji polaze iz podzemlja Terminala B na severu, prolaze ispod postojeće dve poletno-sletne staze, i dolaze do stanice locirane između Terminala D i E na jugu. Tuneli se nalaze na rastojanju od 16m. Tunelom za prtljag, bagaž se, sistemom DCV (Destination Coded Vehicles), kreće brzinom od oko 40km/h, a putničke kompozicije i same stanice (severna i južna) podužno su podeljene tako da je moguće izolovati avioputnike u airside-u (u čistoj zoni) od običnih putnika (u opštoj zoni aerodroma). Tehnološko rešenje tunnelske veze treba da garantuje transferno vreme od 50min od najudaljenije tačke severnog do najudaljenije tačke južnog terminalnog kompleksa.

Sa stavljanjem celokupnog Severnog terminalnog kompleksa (terminali B, C1 i C2) u eksploataciju, stvorice se uslovi za veliki korak rekonstrukcije u Južnom (postojećem) terminalnom kompleksu (Terminali D, E i F). Naime, očekuje se da po izgradnji i stavljanju u funkciju Terminala C2, 2021. godine, projektantska ekipa navedena u naslovu dobije zadatak da ukloni čuveni Terminal F i zameni ga novim objektom.

## 3. AERODROM "ŠEREMETJEVO" NA TRANSPORTNOJ OSNOVI GRADA MOSKVE

Već je rečeno da se aerodrom "Šeremetjevo" nalazi na oko 40km od strogog centra Moskve i to istočno od Lenjingradskog puta (autoputa) ili puta M-10 (Slika 1). Južni terminalni kompleks (JTK) udaljen je vazdušnom linijom 3.5-4km od ovog putnog pravca. M-10 je ujedno i glavna saobraćajna veza „Šeremetjeva“ sa gradom.

Između aerodroma i Lenjingradskog autoputa, samim perimetrom Južnog terminalnog kompleksa, takođe usmeren ka Lenjingradu, prolazi novi komercijalni autoput M-11. Za razliku od puta M-10 koji je nekomercijalan, put M-11 je pod naplatom, manje je opterećen priključcima, na njemu su ređe i manje saobraćajne gužve i njime se direktnije stiže do MKAD-a (kružnog autoputa oko Moskve). I M-10 i M-11 na MKAD se vezuju zasebnim denivelisanim raskrsnicama najvišeg funkcionalnog nivoa. Rastojanje ove dve raskrsnice je samo oko 2km.



**Slika 1.** Saobraćajna mreža u reonu aerodroma "Šeremetjevo"

Sa Lenjingradskog autoputa M-10, denivelisanom raskrsnicom tipa "truba" (lociranom 1km severno od spomenika koji označava tačku najdubljeg prodora Nemaca 1941.) odvaja se Međunarodna ulica, kojom se nakon manje od 5km stiže do Južnog terminalnog kompleksa (JTK). Neposredno pred ulazak u JTK, na Međunarodnu ulicu sliva se i saobraćaj sa komercijalnog puta M-11.

Sa Lenjingradskog autoputa M-10 prema STK skreće se oko 5km severnije od odvajanja za JTK. Od M-10 prema STK vodi Šeremetjevska ulica koja, pošto joj se na prvom kilometru pridruži saobraćaj sa komercijalnog autoputa M-11, nakon oko 4.5km stiže do STK.

Imajući u vidu da su opterećenja u vršnim satima za Terminal B 4110, za Terminal C1 takođe 4110 i za Terminal C2 2630 putnika/čas, i bazirajući se na aktuелnoj podeli putnika po modovima transporta (automobil 23%, TAXI 31%, autobus 13%), zaključuje se da će samo saobraćaj avioputnika u dolasku i odlasku na aerodrom iscrpiti realne mogućnosti Šeremetjevske ulice čak i kada se njen poprečni profil proširi na 2x3 saobraćajne trake. Smatra se da je u vršnom satu za Šeremetjevsku ulicu prihvatljiv protok po saobraćajnoj traci (prihvatljiv nivo usluge) 1300-1400 vozila/čas. S jedne strane, na stranu sigurnosti preteže činjenica da u broju putnika u vršnom satu bar 5% čine putnici u transferu (koji se ne pojavljuju u pristupu aerodromu) i da se vršna časovna opterećenja na Terminalima B, C1 i C2 ne dešavaju u istom satu. S druge strane, međutim, na drumski saobraćaj samih avioputnika u dolasku i odlasku treba dodati saobraćaj zaposlenih, dostavni saobraćaj, kao prolazni saobraćaj.

Trenutno je prolazni saobraćaj (background traffic) u zoni STK izuzetno pojačan. Naime, Šeremetjevsku ulicu, koja tangentno prolazi pored Terminala C2, C1 i B, koristi i saobraćaj usmeren prema Lobnji, gradu severno od STK, sa oko 80.000 žitelja i značajnim proizvodnim pogonima. Prema Lobnji, sa Šeremetjevske ulice skreće se neposredno istočno od Terminala B. Severno od STK nalazi se i Perepečinsko groblje, jedno od najvećih u Moskvi, a put koji se direktno odvajao ka njemu sa M-10 (Perepečinski put) ukinut je izgradnjom treće (severne) poletno-sletne staze. Gradska uprava planira da ovu putnu vezu vrati u funkciju izgradnjom parcijalne obilaznice oko zapadnog praga treće poletno-sletne staze. Revitalizacijom Perepečinskog puta i njegovim daljim napredovanjem od Perepečinskog groblja ka južnim predgrađima Lobnje donekle bi se odbacio prolazni (background) saobraćaj iz neposrednog zaleđa STK.

Međutim, ključni korak, kako za podizanje kapaciteta saobraćajnica u prilazu aerodromu, tako i za „odbacivanje“ saobraćaja koji nije direktno u funkciji operacija na aerodromu, jeste aktiviranje potpuno novog pravca pristupa. Taj novi pravac stiže od Dimitrovskog puta (A-104, sa 2x3 saobraćajne trake u profilu), saobraćajnice koja se približnim pravcem sever-jug proteže na oko 5km od istočnih pragova poletno-sletnih staza i koja se denivelisanom raskrsnicom visokog funkcionalnog ranga vezuje na MKAD. Dve su intervencije koje aktiviraju istočni pristup aerodromu. Prva je već izvedena i predstavlja kapitalnu

rekonstrukciju Šeremetjevske ulice u luku koji istočnom stranom airside-a spaja STK i JTK. Dužina deonice je 7.2km, novi poprečni profil je 2x2 saobraćajne trake, kapacitet se procenjuje na 32.000 vozila na dan, a investicija je iznosila oko 33mn\$. Druga intervencija je uspostavljanje same veze Dimitrovskog puta i rekonstruisane Šeremetjevske ulice. U tu svrhu, u zoni jugoistočnog oboda airside-a, uz Šeremetjevsku ulicu već je izgrađen pravougaoni jednosmerni kružni tok, stranica oko 500 sa 100m, na koji će se prihvatiti saobraćaj sa Dimitrovskog autoputa. Rekonstrukcija veze prema Dimitrovskom autoputu izvedena je u prvih 2km iz pravca istoka, gde je izgrađen i Hlebnikovski vijadukt preko železničke pruge.

Potencijalni problem aktiviranja istočne veze od Dimitrovskog puta je u tome što se preko vijadukta Hlebnikovo i kružnog toka na jugoistoku airside-a znatno poboljšava dostupnost stambenih reona izniklih južno od JTK. Time će se na ovim segmentima mreže pojaviti znatan saobraćaj koji nije u funkciji operacija aerodroma.

Takođe će se, preko veze vijadukt Hlebnikovo-Šeremetjevska ulica, sa Dimitrovskog puta usmeriti i nešto saobraćaja ka Lobnji na severu. Postoji plan da se ovaj ovaj saobraćaj, pre no što stigne do STK, odbaci sa Šeremetjevske ulice ka Lobnji jednostavnom denivelisanom raskrsnicom lociranom severoistočno od pragova poletno-sletnih staza.

Sva tri velika Moskovska aerodroma, Šeremetjevo, Domodjedovo i Vnukovo, povezani su železnicom (tzv. Aeroekspresom) sa centralnim gradskim železničkim stanicama. Šeremetjevo je povezano sa Bjeloruskom stanicom, Domodjedovo sa Paveleckom, a Vnukovo sa Kijevskom. Nažalost, ne postoji direktna (kružna) železnička veza između samih aerodroma, tako da se putnici u transferu između različitih aerodroma mogu koristiti samo vezom Aeroekspres-metro-Aeroekspres. Južni terminalni kompleks povezan je sa Bjeloruskom stanicom, a sama železnica na aerodrom stiže na visokoj estakadi iznad drumskog pristupa Terminalu F (i E). Sama železnička stanica konstruktivno je integrisana u južno krilo Terminala E.

Predviđa se da i STK uskoro dobije vezu Aeroekspresom. Veza bi se izvukla sa istoka, iz koloseka za JTK. Stanica bi bila čeona, u neposrednom zaleđu Terminala B, između zgrade terminala i garaže. Koloseci i stanični plato našli bi se na koti +10.00, na podužnoj estakadi iznad Šeremetjevske ulice. Procenjuje se da bi, u pristupu aerodromu, Aeroekspres, kao vid transporta, moglo koristiti i više od 30% putnika.

#### 4. RAZVOJ LANDSIDE-A SEVERNOG TERMINALNOG KOMPLEKSA

Kao što terminali Severnog terminalnog kompleksa, B, C1 i C2, predstavljaju funkcionalnu i konstruktivnu celinu, tako će se i objekti njihovog landside-a razvijati sukcesivno ali u strogoj koordinaciji. Kičmu landside-a STK predstavlja Šeremetjevska ulica koja se proteže neposredno zaleđem zgrada terminala, čija je ukupna dužina fasada okrenutih landside-u 840m. Na ovom potezu formira se izdužen kružni tok u smeru suprotnom kazaljki na časovniku (**Slika 2**). Segment Šeremetjevske ulice na prolasku pored terminala pretvara se u jednosmernu saobraćajnicu usmerenu ka istoku, sa 4 do 5 saobraćajnih traka u poprečnom profile. Smer ka zapadu na sebe prihvata Aviaciona ulica koja je približno paralelna Šeremetjevskoj na odstojanju od oko 180m. Raspon ove kružne cirkulacije u približnom pravcu zapad-istok je oko 1200m. Saobraćaj koji Aviacionom ulicom dolazi na STK sa istoka, u Šeremetjevsku ulicu uvodi se tek na nekih 360m zapadno od najzapadnijeg terminala (C2), kako bi vozila usmerena ka samoj zgradi mogla da se "prepletu" kroz dve do tri saobraćajne trake glavnog pravca (Šeremetjevske ulice).

Prvobitna ideja je bila da se ovaj saobraćaj sa istoka uvede denivelisano iznad Šeremetjevske ulice, kao i da se bar za Terminal C1 (u sredini) obezbedi pristup na dva nivoa – na nivou 0.00 nivo dolaska, na nivou +10.00 nivo odlaska (**Slika 3**). Već na Terminalu B, vertikalno razdvajanje pristupnog platoa nije moguće, jer se tu predviđa izgradnja stanice Aeroekspresa između Terminala B i garaže, i to baš na nivou +10.00. U svakom slučaju, čak i kada se stanica izgradi, u prostoru između stanice Aeroekspresa i garaže Terminala B, bilo bi moguće spustiti saobraćajnicu sa nivoa odlaska Terminala C1 (+10.00) na kotu 0.00.

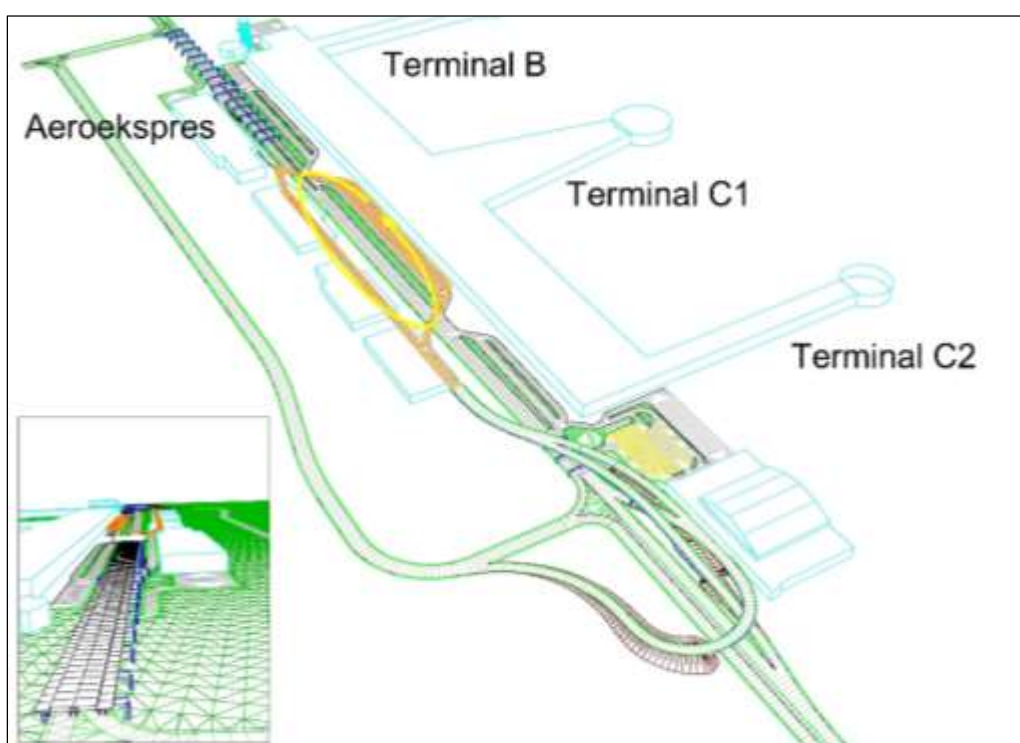
Međutim, i pored ovakvog predloga projektanta, odlučeno je da pristupni plato bude u jednom nivou ali uz potpuno fizičko razdvajanje javnih sredstava transporta od privatnih automobila. Naime, TAXI vozila (koja koristi 31% putnika), autobusi (13%) i VIP vozila usmeravaju se na pristupni plato uz zgradu (sa desne strane Šeremetjevske ulice). Privatna vozila usmeravaju se levo od Šeremetjevske ulice, ka kompleksu javnih garaža. Garaže su, iz bezbednosnih razloga na 105m od zgrada terminala. Garaže su namenjene parkiranju trajanja do 3h, a između garaža i Šeremetjevske ulice su parkinzi za slobodno ali kratkotrajno parkiranje (do 15min). Privatni automobil kao mod transporta koristi do 23% putnika, a 70% do 80% privatnih

vozila može da doveze ili odveze avioputnika koristeći gratis vreme od 15min, ne ulazeći u garažu. Putnici sa ovog kratkotrajnog parkinga podižu se eskalatorima (ili liftovima) lociranim na južnim frontovima garaža do kote +10.00 odakle, pasarelom (ukupno 3 pasarele) na istoj koti, iznad Šeremetjevske ulice, prelaze u zgrade terminala. Na koti +10.00 zgrade nalazi se nivo odlaska (check-in), a na koti 0.00 je nivo dolaska (baggage claim etc.).



**Slika 2.** Landside Severnog terminalnog kompleksa

Svaki od terminala ima zasebnu garažu - Terminal B garažu kapaciteta 2.500 vozila (i dužine 261.2m), Terminal C1 garažu kapaciteta takođe 2.500 vozila (i dužine 286.4m) i Terminal C2 garažu kapaciteta 1.400 vozila (i dužine 177.4m). Raster garaža je 8.4m, a rampe su spiralne. Normativi za projektovanje su komforni i po pojedinom vozilu, zavisno od konkretnog sprata garaže, umesto uobičajenih 25-28m<sup>2</sup>, troši se 28-37m<sup>2</sup> (zbog eskalatora, liftova, posebnih pešačkih ruta itd.).



**Slika 3.** Landside Severnog terminalnog kompleksa – varijanta u dva nivoa

Generalno, ulasci u garaže (i kratkotrajne parkinge) su sa Šeremetjevske ulice, a izlasci su na Aviacionu ulicu u zaleđu. Pored glavnog ulaska u garažu, postoji i nešto manji, sekundarni, ulaz u svaku od garaža, gde ulaze vozila koja se, posle ostavljanja odlazećeg putnika na kratkotrajnom parkingu, ipak zapute ka garaži.



Kako se na istočnom krilu centralne garaže (C1) na koti 0.00 nalazi punkt dostave i odvoza smeća, to se garaža C1, pored putničke pasarele na koti +10.00, sa zgradom povezuje i tehničkom pasarelom na koti +6.75.

Dok se privatna vozila usmeravaju na levu (severnu stranu) Šeremetjevske ulice, TAXI vozila, autobusi i VIP vozila se usmeravaju na desno, neposredno ka zgradama terminala. Predlog projektanta, koji će, izvesno je, biti prihvaćen, jeste da se za svaki od terminala obrazuje posebna grupa kratkotrajnih parkinga za navedene kategorije vozila. Naime, u uslovima brze izmene vozila na ovom platou, ograničavajući faktor predstavljaju kapaciteti ulaska i, naročito, izlaska. Iako je predlog da kapacitet kontrolne tačke i na ulasku i na izlasku bude 240 voz/čas, realnije je za kontrolnu tačku ulaska usvojiti kapacitet od 500-600, a za kontrolnu tačku izlaska 150-200. U svakom slučaju, kapacitet platoa dramatično se reducira ako se duž celokupnog fronta zgrade (oko 800m) formira jedinstven linijski plato, sa jednom grupom kontrolnih tačaka na ulasku i jednom grupom kontrolnih tačaka na izlasku.

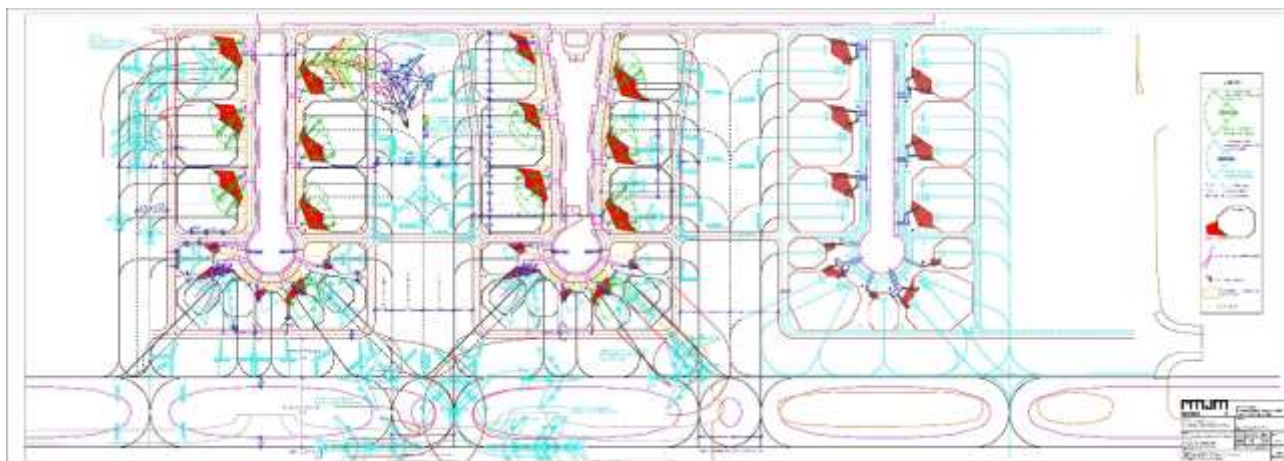
Tri odvojene grupe pouzdanije funkcionišu od jedne, jer zagušenje na jednom od terminala ne ometa ulaske i izlaske vozila sa drugih terminala. Takođe, vozilo na putu ka svom cilju preseca do 3 puta manje pešačkih prelaza. Isto tako, ulaz u VIP terminal (lociran na granici Terminala B i Terminala C1) je direktan, sa Šeremetjevske ulice. Jedino je tok kretanja unutar VIP-a u smeru kazaljke na časovniku, jer se, zbog izbegavanja konfliktnih saobraćajnih struja, u VIP ulazi kroz ulaz ka Terminalu B, a iz VIP-a izlazi kroz izlaz sa Terminala C1.

Jedina mana rešenja sa tri parkirne grupe je što se između uzastopnih terminala javljaju preplitanja tokova koji napuštaju terminal lociran zapadnije i tokova koji ulaze na terminal lociran istočnije. Da bi se umanjili negativni efekti preplitanja, zona preplitanja između Terminala C2 i C1 dugačka je preko 60m, a između Terminala C1 i B preko 70m, za razliku od, na primer, zona preplitanja između susednih terminala minhenskog aerodroma, koje su dugačke 50-52m.

## 5. RAZVOJ AIRSIDE-A SEVERNOG TERMINALNOG KOMPLEKSA

U težištu airside-a Severnog terminalnog kompleksa nalazi se putnička platforma. Platforma zahvata prostor oko zgrada terminala približne dužine 1200m i dubine 450m. Između platforme i poletno-sletne staze 06L-24R umeću se dve paralelne rulne staze namenjene simultanom kretanju aviona kodnog slova F (Airbus A380).

Sama platforma razvija se oko 3 fingera koja se nalaze na međusobnom osovinskom rastojanju od 400m. Fingeri su široki 30m, a dugački oko 250m, mereno od glavne zgrade do centra rotonde na vrhu fingera. Radijus rotonde je 30m (**Slika 4**).



**Slika 4.** Platforma Severnog terminalnog kompleksa

Po bokovima svakog od fingera predviđa se parkiranje za 6 aviona kodnog slova E (B747, po 3 sa svake strane fingera). Na svaki od ovih aviona kodnog slova E vezuju se po dva aviomosta. Alternativno, ova dva aviomosta opslužuju po jedan avion kodnog slova C. Oko rotonde na vrhu fingera parkira se 7 aviona

kodnog slova C, od kojih po dva aviona kodnog slova C na krilima rotunde mogu biti zamenjena avionom kodnog slova F. Avioni kodnog slova F mogu se opslužiti sa po 3 aviomosta.

Svi avioni na aircraft stand ulaze jednostavnom, simple, procedurom, a unazad se potiskuju offset-nose-wheel procedurom, uz angažovanje oko polovine maksimalnog skretnog ugla nosnog točka. Jedino se avioni A380 na krilima rotunde, u slučaju kada pri ulasku na aircraft stand opisuju ugao veći od 90°, uvode offset-nose-wheel manevrom. Posebna simulacija nešto složenijih manevara potiskivanja rađena je za avione najbliže glavnoj zgradi, kako bi se proverila mogućnost ugradnje blastera (zaštite od udarnog mlaza aviomotora) uz ivicu servisnog puta duž glavne zgrade, a na stranu platforme. Svi servisni putevi su širine 10m.

Analiziran je i efekat izduvnog mlaza na avione parkirane uz naspramni finger pri potiskivanju aviona sa parking pozicije. U scenariju zapuštanja motora aviona na taxilane-u ili taxiway-u, određene su tačke zapuštanja za koje će efekti izduvnog mlaza na ostale avione, objekte, opremu i ljude biti najpovoljniji.

Markacija platforme rađena je po trostrukim standardima – ICAO, IATA, ruski standardi. Pored standardnih međunarodnih oznaka, postavljene su i ruske (osmougaonici, T oznake za avione, T oznake za servisna vozila). Na svakoj poziciji korišteni su najstroži parametri navedenih standarda. Gde god je moguće, ostvarena je mogućnost simultanog kretanja parova aviona ili parova aviona i servisnih vozila duž paralelnih osovina.

Između fingera predviđaju se po tri taxilane-a za simultano kretanje aviona kodnog slova C, što je u skladu sa brojem susednih aircraft stand-ova i frekvencijom izmene aviona kodnog slova C na njima. Alternativno, umesto 3 taxilane-a kodnog slova C, svojim jednim taxilane-om prolazi avion kodnog slova E.

U dogovoru sa proizvođačem aviomostova, aviomostovi su postavljeni u odnosu na podužne ose aviona tako da se obezbedi brz i lak kontakt mosta i aviona. Za svaki most određena je zona njegovog dejstva (no-parking zone). Zone parkiranja opreme i pozicije reflektora za osvetljenje platforme u prednjem delu aircraft stand-ova usaglašene su sa trajektorijama kretanja traktora za potiskivanje aviona.

Praktično sve kombinacije parkiranja aviona pokrivene su sa samo dva tipa aviomostova. Zbog velike razlike između minimalnih i maksimalnih dužina raspona mostova, prouzrokovanih alternativnim parkiranjem malih i velikih aviona, i jedan i drugi tip primenjenih aviomostova moraju biti 3-segmentni.

U zoni oko rotondi, uprkos složenoj dispoziciji fiksnih delova aviomostova i različitim scenarijima kretanja njihovih mobilnih delova, u približnim osovinama aircraft-standov-a pronađena su i pogodna mesta lociranja jedinica VDGS (Visual Docking Guidance System) za precizno navođenje aviona na parking poziciju.

## 6. ZGRADE SEVERNOG TERMINALNOG KOMPLEKSA

Terminal B Severnog terminalnog kompleksa već je u eksploataciji, a Terminal C1 se gradi. Terminal C1 treba biti završen do septembra 2019. godine, a Terminal C2 tokom 2021. godine (**Slika 5**). Površina Terminala B je 110.000m<sup>2</sup>, Terminala C1 116.465m<sup>2</sup>, a Terminala C2 85.723m<sup>2</sup>. Iako ciljni kapaciteti od 15-20 miliona putnika godišnje za Terminal B, 15-20 miliona za Terminal C1 i 8-10 miliona za C2 nominalno zahtevaju veće površine, očekuje se da novi terminalni kompleks u međunarodnoj kategorizaciji (Skytrax) dobije 5 zvezdica.

Sve tri zgrade u osnovi funkcionišu na 3 nivoa: nivo 0.00, nivo +5.00 i nivo +10.00. U sve tri zgrade ulazi se na nivou 0.00, za putnike prispele TAXI-jem i autobusom, ili na nivou +10.00, preko pasarela, za putnike prispele privatnim automobilima ili Aeroekspresom. Na istim nivoima su izlasci za korespondentne modove transporta.

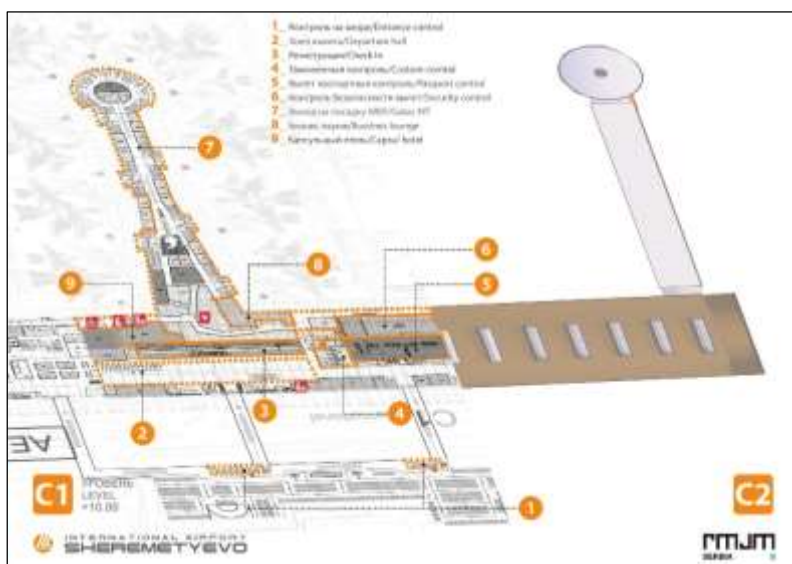
Nivo 0.00 je u osnovi nivo dolaska. Od funkcionalnih celina tu dominira baggage claim (sa carinskom kontrolom i holom dolaska), a od tehnoloških celina sortirnica. Nivo +10.00 je nivo odlaska, gde dominiraju check-in, pasoska kontrola i bezbednosna kontrola (**Slika 6**). Na primer, na terminalu C1 na nivou +10.00 nalazi se 64 check-in desk-a i 62 kabine za odlaznu pasosku kontrolu. Po prolasku kroz odlazne kontrole, putnici prolaze kroz komercijalne zone (food court, duty free) i usmeravaju se prema fingeru. Čekaonice (forward waiting lounges) su u fingeru na nivou +10.00 odakle se, neposredno pred ukrcavanje u avion, putnici stepeništem (ili liftom) spuštaju na nivo +5.00 da bi aviomostom prešli u avion. Dolazeći putnici

avaiomostom izlaze na nivo +5.00 i kreću se prema glavnom delu zgrade. Tu prolaze pasosku kontrolu (72 punkta za dolazeće i 12 punktova za transferne putnike na Terminalu C1). Transferni putnici se potom podižu na nivo odlaska +10.00, a dolazeći se spuštaju u baggage claim na koti 0.00.



**Slika 5.** Zgrade i landside Severnog terminalnog kompleksa

VIP terminal lociran je u istočnom krilu glavnog dela zgrade Terminala C1 i usklađen je sa potrebama državnog rukovodstva. Tu se nalazi i prostrani medicinski punkt.



**Slika 6.** Funkcionalna šema nivoa odlaska (+10.00) Terminala C1



**Slika 7.** Ramp Tower na vrhu rotone fingera C1



Posmatrano iz vazduha, krovna konstrukcija asocira na starinski avion. Na vrhu rotone centralnog fingera (**Slika 7**) nalazi se toranj za kontrolu rada platforme (ramp tower). Enterijeri zgrada inspirisani su ruskim konstruktivizmom (**Slika 8**).



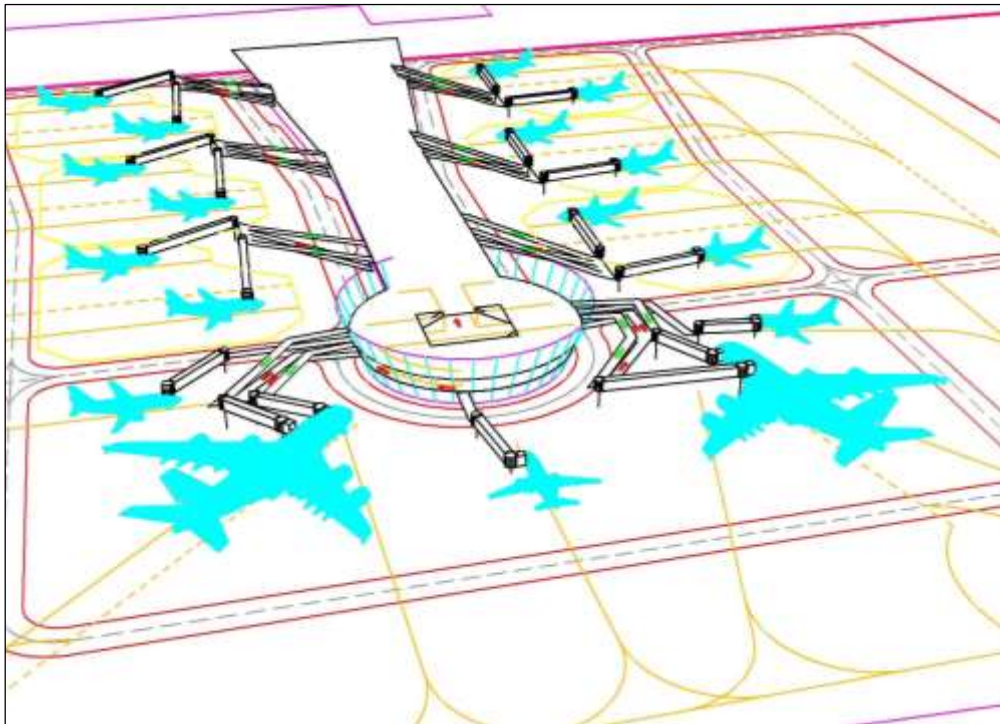
**Slika 8.** Enterijer – levo / izvedeno na B – desno / projektovano na C1

Na svim velikim aerodromima poseban problem predstavlja dostava robe i odvoz smeća. Od pristupnih saobraćajnica aerodromu, pa do tehnoloških koridora kroz samu zgradu i teretnih liftova, javljaju se intenzivni tokovi robe, hrane i pića, a u suprotnom smeru tokovi smeća. Na primer, očekuje se da samo putnici u Severnom terminalnom kompleksu tokom vršnih dana generišu 70-tak tona smeća. Projektanti su ovde ponudili originalno rešenje, locirajući punkt dostave i odvoza smeća u parking garažu Terminala C1. Na **Slici 9** je dat komplikovaniji koncept, gde se punkt dostave i odvoza smeća smešta u aneksu dograđenom uz istočno krilo i podrum postojeće garaže. U prihvaćenom rešenju, stara garaža se ruši, a navedeni punkt se locira na koti 0.00 nove garaže. U oba slučaja roba i smeće kreću se liftovima (zasebnim, “čistim” i “prljavim”) između kote 0.00 i +6.75 garaže, odakle se uspostavlja veza tehničkom pasarelom sa Terminalom C1. Lociranjem punkta dostave i odvoza smeća gubi se dosta na kapacitetu garaže. Zbog manipulacije velikim kontejnerima za smeće zapremine 20-30m<sup>3</sup> (utovar i istovar unazad) punkt visinski zauzima prve dve etaže, a zbog cirkulacije dostavnih kamiona i komunalnih vozila ceo ovaj prostor mora biti oslobođen stubova koji bi, eventualno, nosili opterećenje gornjih spratova. Time su kapaciteti parkiranja definitivno izgubljeni na krajnjem istočnom krilu garaže C1.



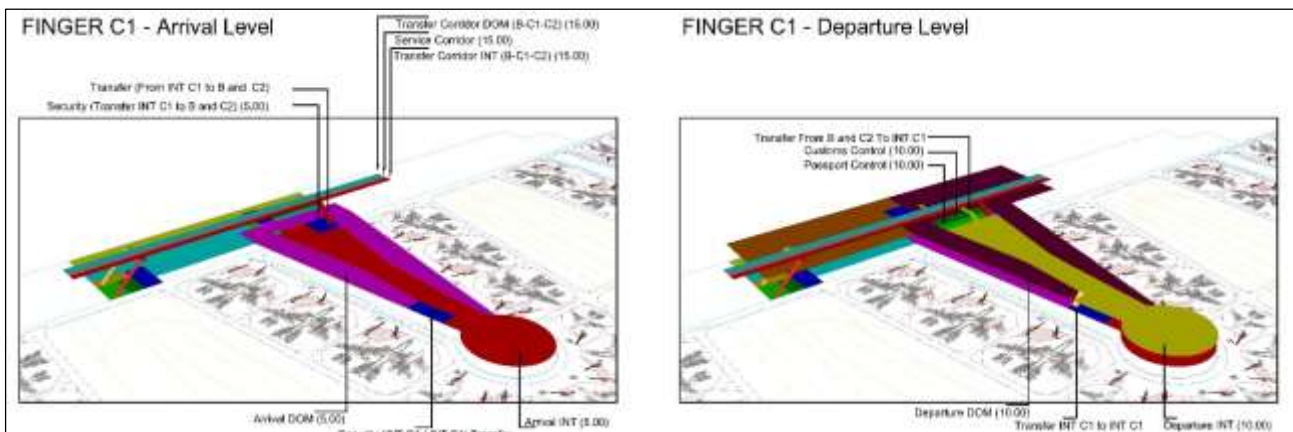
**Slika 9.** Koncept dostave i odvoza smeća kroz staru garažu

Projektant je, sa stanovišta vertikalne komunikacije, analizirao još jednu varijantu zgrade (**Slika 10**). Za razliku od Terminala B, koji je već pušten u rad i gde se putnici neposredno pred prelazak na aviomost, stepenicama (ili liftom) spuštaju iz čekaonica na koti +10.00 na kotu +5.00, predloženo je da se na Terminalu C1 komunikacija između ovih kota savlada fiksnim delovima mosta u vidu strmih rampi (npr. kao na aerodromu Charles de Gaulle u Parizu). Ovakav koncept nužno produžava fiksne delove aviomosta što komplikuje dispoziciju parkiranja i aviomostova u zoni rotunde. Rešenje, međutim, postoji. Čak je u nekim aspektima kvalitetnije od konačno usvojenog. Na primer, uvođenjem rampi ukidaju se liftovske vertikale i stepeništa po perimetru rotunde, što sa kote +10.00 otvara širok i nesvakidašnji pogled na "letno polje". Iako bi nagibi rampi bili u granicama propisanim od strane relevantnih standarda, ovo rešenje nije prihvaćeno zbog kretanja putnika sa invaliditetom. Tako se ostalo pri rešenju već primenjenom i operativnom na Terminalu B.



**Slika 10.** Terminal C1 sa fiksnim delovima mosta kao strmim rampama

Treba reći da je Terminal C1 prvobitno bio zamišljen kao kombinovani domaći i međunarodni terminal (**Slika 11**). Projektant je imao rešenje i za ovaj koncept, predlažući da se vrh fingera organizuje kao međunarodna zona (sa mogućnošću prihvata najvećih aviona kodnog slova F), a da se na bokovima terminala prihvataju domaći letovi (do kodnog slova E). Šema je dosta komplikovana ali realna i sasvim izvodljiva. Konverzija Terminala C1 i C2 iz čisto međunarodnih u kombinovane međunarodno/domaće iziskivala bi uspostavljanje transfernih koridora za domaće i međunarodne putnike duž glavne zgrade na 4-tom nivou. Rešenje je konačno pojednostavljeno definisanjem Terminala C1 i C2 kao isključivo međunarodnih.



**Slika 11.** Terminal C1 kao kombinovani međunarodni i domaći

## 7. ZAKLJUČAK

Pretekavši konkurentne aerodrome grada Moskve obimom saobraćaja, aerodrom Šeremetjevo nastavlja sa krupnim koracima razvoja. Nakon stavljanja u funkciju Terminala B početkom maja ove godine, planirano je da se izgradnjom Terminala C1 i C2 i kompletiranjem Severnog terminalnog kompleksa ukupan kapacitet aerodroma Šeremetjevo poveća za 40-50 miliona putnika godišnje. Razvoj terminalnog kompleksa podrazumeva i prateći razvoj airside-a i landside-a. Obim saobraćaja i razmere projekta Severnog terminalnog kompleksa daleko prevazilaze bilo šta što se u Srbiji ili regionu planira. Čak i kada se ovaj projekat uporedi sa sličnim projektima u zemljama koje važe za najrazvijenije, treba istaći da se tamo kašnjenja u ovakvim situacijama mere godinama (gotovo decenijski). Za to vreme, ovaj projekat razvija se po planu, uz perspektivu dugoročnog angažovanja i projektanata i izvođača, što za sve, a naročito za projektante, predstavlja svojevrsnu privilegiju.

### Literatura

- [1] Николич, Г.; Крстович-Николич, Е.; Гавран, Д.; Врачар, Г. (2018). *Проект: Архитектурно-функционалне концепције Терминала С (Терминал С1 и Терминал С2) Међународног аеродрома «Шереметјево»*, RMJM Serbia / АО «Международный аэропорт Шереметьево»
- [2] ICAO (2016). *Annex 14. to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations*, Seventh Edition, July 2016.
- [3] IATA (2016). *Airport Development Reference Manual*, 10<sup>th</sup> Edition, October 2016.
- [4] IATA (2004). *Airport Development Reference Manual*, 9<sup>th</sup> Edition, January 2004.
- [5] МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ДЕПАРТАМЕНТ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА (1994.). *РЭГА РФ 94 Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации*



## INŽENJERSKOGEOLOŠKI USLOVI IZGRADNJE PRVE DEONICE AUTOPUTA NIŠ - MERDARE

**Dragoslav Rakić<sup>1</sup>, Zoran Berisavljević<sup>2</sup>, Irena Basarić<sup>3</sup>, Mirko Lazić<sup>4</sup>, Miloš Stevanović<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Djušin 7, Beograd, [dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Koridori Srbije, Kralja Petra 21, Beograd, [berisavljevic\\_zoran@yahoo.com](mailto:berisavljevic_zoran@yahoo.com)

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Djušin 7, Beograd, [irena.basarić@rgf.bg.ac.rs](mailto:irena.basarić@rgf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

<sup>5</sup> TPA za obezbedjenje kvaliteta i inovacije, Beograd, [milos.stevanovic@tpaqi.com](mailto:milos.stevanovic@tpaqi.com)

**Rezime:** Autoput E-80 Niš – Merdare dužine 77 km, podeljen je na dve deonice, prvu od Niša do Pločnika dužine 39.4 km i drugu od Pločnika do Merdara. Predmet ovog rada je prva deonica autoputa, koja prolazi kroz brdske i ravničarske terene, i u odnosu na njenu ukupnu dužinu, skoro 20% pokrivaju odgovarajući objekti (tuneli, mostovi, nadvožnjaci). Na ostalom delu, planirana je izgradnja brojnih useka i zaseka, a skoro 45% trase prolazi kroz aluvijalni reljef Toplice gde će se graditi nasipi promenljive visine. U radu će se prikazati opšte inženjerskogeološke karakteristike izdvojenih karakterističnih rejonu duž trase a izvršiće se i opšta rejonizacija terena u odnosu na geotehničke uslove građenja.

**Ključne reči:** Autoput, Geotehnička istraživanja, Inženjerskogeološki preseki, Rejonizacija terena.

## ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS FOR THE CONSTRUCTION OF THE FIRST SECTION OF NIŠ-PLOČNIK HIGHWAY

**Dragoslav Rakić<sup>1</sup>, Zoran Berisavljević<sup>2</sup>, Irena Basarić<sup>3</sup>, Mirko Lazić<sup>4</sup>, Miloš Stevanović<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup> University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Djusin 7, Belgrade, [dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Serbia Corridors, Kralja Petra 21, Beograd, [berisavljevic\\_zoran@yahoo.com](mailto:berisavljevic_zoran@yahoo.com)

<sup>3</sup> University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Djusin 7, Belgrade, [irena.basarić@rgf.bg.ac.rs](mailto:irena.basarić@rgf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> Jaroslav Černi“-Institute for the Development of Water Resources, Belgrade

<sup>5</sup> TPA for quality assurance and innovations, Belgrade, [milos.stevanovic@tpaqi.com](mailto:milos.stevanovic@tpaqi.com)

**Abstract:** E-80 Niš – Merdare highway, 77 km long, is divided into two sections, the first from Niš to Pločnik, 39.4 km long, and the second from Pločnik to Merdare. The subject of this paper is the first section of the highway which passes through hilly and flat terrain, and in relation to its total length, almost 20% is covered by appropriate structures (tunnels, bridges, overpasses). On the other part, construction of numerous cuts is planned, and almost 45% of the route passes through alluvial relief of the Toplica River where embankments of variable height will be built. The general engineering-geological characteristics of extracted characteristic regions along the route will be presented in the paper. Also, the general rejonization of the terrain in relation to geotechnical conditions of the construction will be performed.

**Keywords:** Highway, Geotechnical investigations, Engineering-geological cross sections, Rejonization of the terrain.

### 1. UVOD

Izgradnja autoputa E-80 od Niša do Merdara, a time i deonice od Niša do Pločnika, je od posebnog ekonomskog i društvenog interesa za R. Srbiju i Toplički kraj. Ovaj autoput predstavljaće saobraćajno čvorište zapadnog Balkana i biće deo glavne regionalne transportne mreže jugoistočne Evrope [1]. Ukupna dužina trase autoputa je 77 km, i podeljena je na dve deonice. Prva deonica kreće od isključenja sa autoputa E-75 (petlja Merošina, km: 0+000), a završava se kod neolitskog naselja Pločnik (km: 39+400). Preostali deo trase pripada drugoj deonici od Pločnika do Meradara, dužine oko 37.5 km (Slika 1). U Tabeli 1 prikazane su dužine poddeonica sa najznačajnijim objektima na prvoj deonici. Posebno treba izdvojiti most preko reke Toplice dužine 1020 m i dva tunela: „Božurna“ dužine 620 m i „Računkovo brdo“ dužine 1225 m.

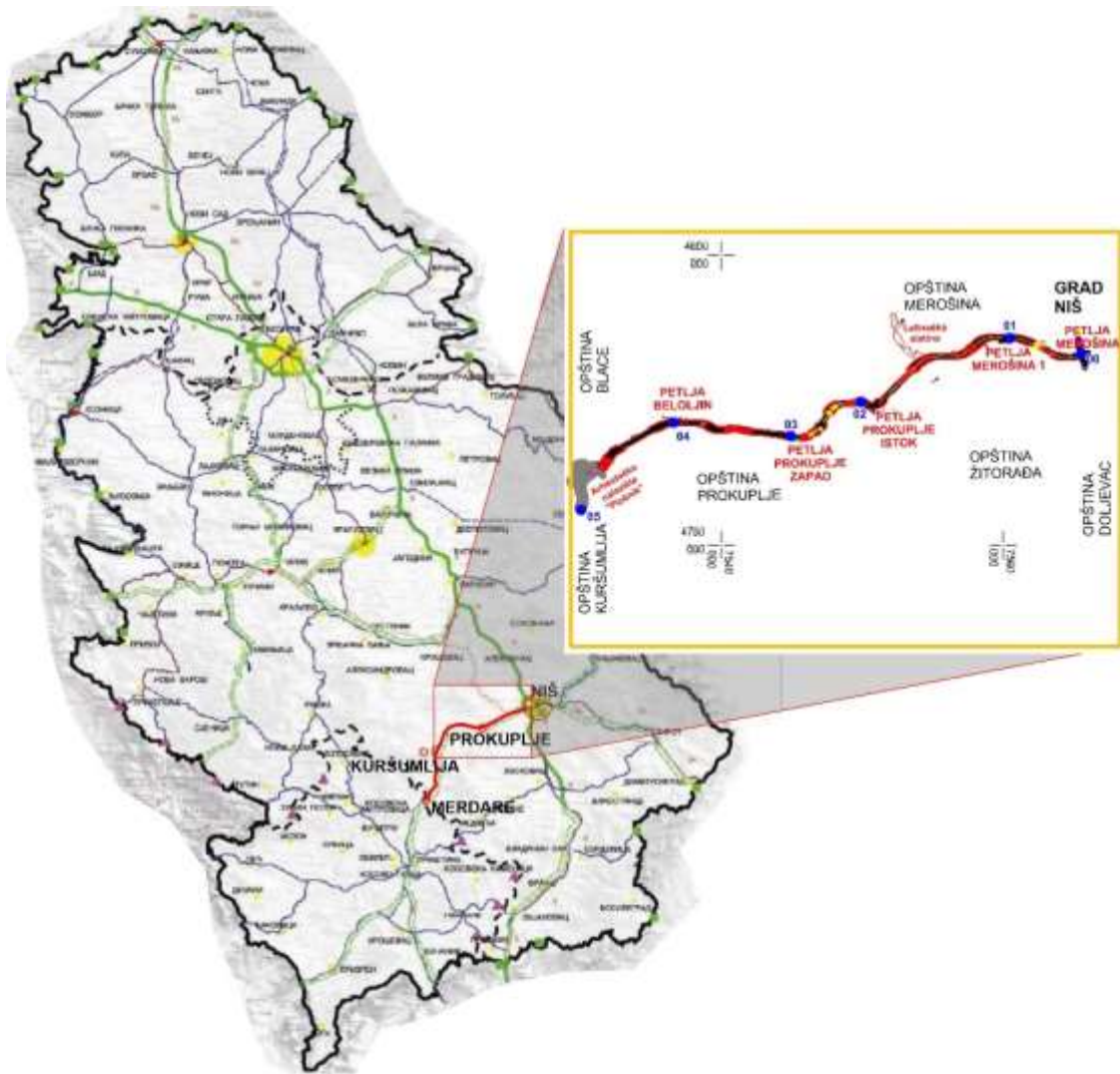
Za potrebe izrade Geotehničke dokumentacije, koja je urađena za nivo Idejnog projekta, tokom 2016 i 2017. god., izveden je zavidan obim terenskih i laboratorijskih istraživanja [3,4]. Od terenskih istraživanja, značajno je pomenuti istraživanja koja se odnose na šire područje trase autoputa koja su omogućila registrovanje krupnih – regionalnih struktura i dali ulazne podatke za ocenu seizmičke aktivnosti i njen uticaj na građenje budućih objekata autoputa. To se pre svega odnosi na: fotogeološku analizu satelitskih snimaka i izradu studije rupturnog sklopa i geomorfoloških pojava na trasi autoputa sa prikazom eventualnih pojava

<sup>1</sup> Dragoslav Rakić: [dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs](mailto:dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs)

nestabilnosti, neotektonsku i seizmogeološku analizu, definisanje seizmičkog hazarda i određivanje projektnih parametara seizmičnosti za objekte i teren, reinterpretaciju postojeće inženjerskogeološke karte u razmeri 1 : 25000 i izrada inženjerskogeološke karte ograničenja u razmeri 1 : 25000.

**Tabela 1. Najznačajniji objekti na trasi autoputa**

deonica	mostovi	nadvožnjaci	petlje	rampe	tuneli
I (km: 0+000 - 5+500)	3 duž. 42 m	2 duž. 270 m	Merošina, Merošina I duž. 1810 m	2 duž. 440 m	-
II (km: 5+500 - 17+100)	6 duž. 1112 m	3 duž. 160 m	Prokuplje istok duž. 135 m	-	3 duž. 1065 m
III (km: 17+100 - 23+500)	8 duž. 2050 m	3 duž. 185 m	Prokuplje zapad duž. 320 m	-	3 duž. 1645 m
IV (km: 23+500 - 32+600)	7 duž. 205 m	-	Beloljin duž. 285 m	4 duž. 500 m	-
V (km: 32+600 - 39+400)	9 duž. 415 m	-	-	-	-
Ukupno objekata	33 duž. 3824 m	8 duž. 615 m	5 duž. 2550 m	6 duž. 940 m	6 duž. 2710 m



**Slika 1. Trasa autoputa sa karakterističnim detaljima na deonici Niš-Pločnik**

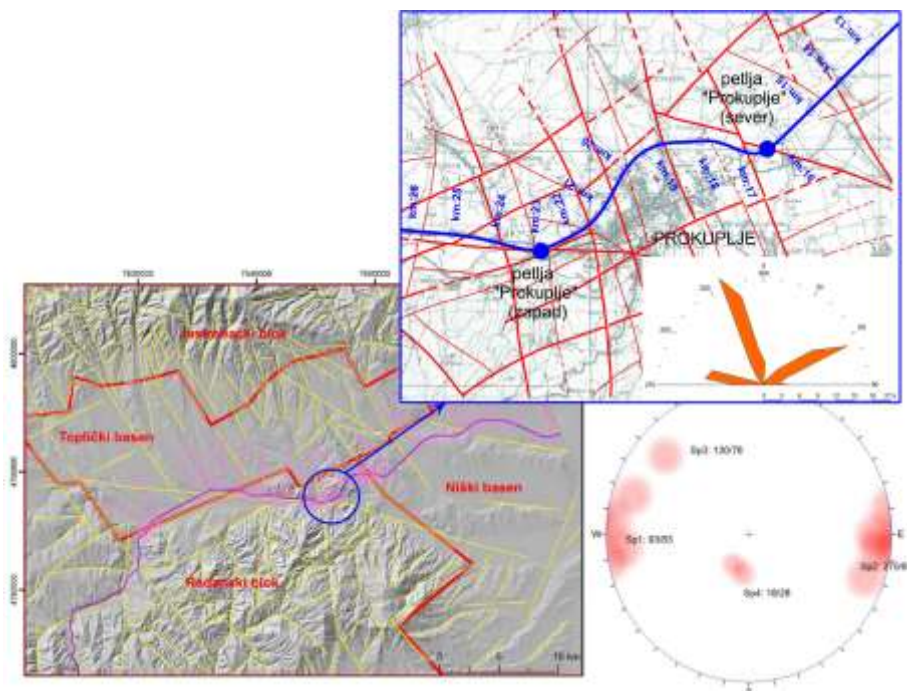
Najveći obim istraživanja terena izveden je duž trase na lokacijama objekata i otvorenih delova trase autoputa (Tabela 2.).

**Tabela 2. Geotehnička istraživanja izvedena duž trase autoputa**

inženjerskogeološko kartiranje	detaljna inženjerskogeološka karta (1 : 2500)
121 istražna bušotina	oko 1600 m bušenja kroz tlo i kroz čvrste stenske mase
Ispitano 277 uzoraka tla i stena	
23 opita statičke penetracije	
105 opita standardne penetracije	
2 dilatometarska opita na lokacijama naknadno projektovanih tunela,	
geofizička istraživanja	68 geoelektričnih sondi, refrakciona ispitivanja su urađena duž 18 profila
izvršena su mineraloško - petrološka ispitivanja	
izvedeno je jedanaest piježometarskih konstrukcija	
urađena su i hemijska ispitivanja na uzorcima podzemnih voda	

## 2. OPŠTI PRIKAZ INŽENJERSKOGEOLOŠKIH USLOVA U ZONI TRASE

Teren u širem području trase autoputa ima tipičan ravničarski i brdski reljef sa karakterističnim erozionim i akumulativnim oblicima. Regionalni rupturni sklop šireg područja trase autoputa ukazuje na dva sistema upravnih struktura koje formiraju blokovsku građu istraživanog terena (Slika 2).



**Slika 2. Regionalni rupturni sklop – analiza satelitskih snimaka**

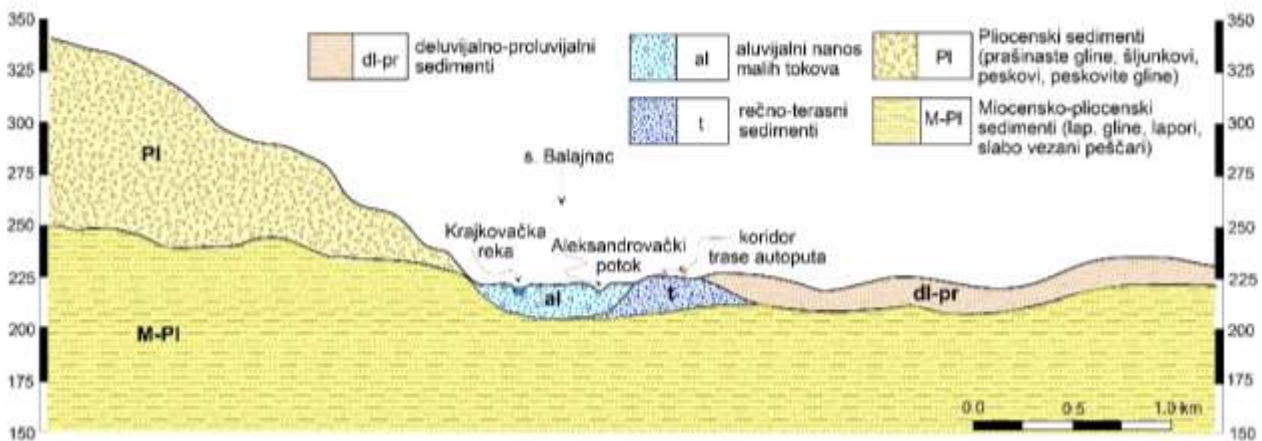
Najizraženija razlomna zona je u centralnom delu trase i čini je složena rasedna zona u području Prokuplja, generalnog pravca pružanja JZ-SI. Zona je intenzivno raskinuta mlađim regionalnim zonama, generalne orijentacije SZ-JI. Na zapadnom delu terena, rekonstruisan je regionalni rased generalne orijentacije I-Z, koji formira dolinu i kontroliše tok reke Toplice. Detaljni rupturni sklop predstavlja složeni sistem paralelnih raseda koji kontrolišu tokove pritoka r. Toplice duž kojih je dolazilo do stepeničastih kretanja koja su i predisponirala stvaranje njihovih dolina. Ovi lokalni rupturni elementi imaju skoro identičnu orijentaciju kao i sistemi velikih regionalnih razloma kojima pripadaju. U široj zoni trase autoputa geološki sastav terena je veoma heterogen. Izgrađen je od kristalastih škriljaca (dominiraju sitnozrni gnajsevi u okolini Prokuplja), neogenih sedimenata pobrđa i kvartarnih sedimenata u dolini Toplice i njenih manjih rečnih pritoka. Rezultati obavljenih istraživanja, omogućili su da se izdvoje tri karakteristična reiona u kojima dominiraju geološke jedinice koje su prikazane u Tabeli 3 [5].



**Tabela 3. Inženjerskogeološki rejoni sa izdvojenim geološkim jedinicama**

Deonica	Približna dužina	Zastupljene geološke jedinice
Petlja Niš Jug – Prokuplje istok	km:0+000 do km: 16+000	Aluvijalne, proluvijalne i rečno terasne ravni (al, pr, t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> ) Kvartarni i Neogeni brežuljkasti tereni (dl-pr, el-dl, Pl, M-Pl)
Obilaznica oko Prokuplja	km:16+000 do km: 25+000	Aluvijalne i rečno terasne ravni (al, t <sub>1</sub> ) Kompleks kristalastih škriljaca (G <sub>s</sub> , G <sub>a</sub> , G <sub>m</sub> , M, Q)
Prokuplje - Pločnik	km: 25+000 do km: 39+400	Aluvijalne, proluvijalne i rečno terasne ravni (al, al-pr, pr, t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> ) Kvartarni i Neogeni brežuljkasti tereni (dl-pr, dl, pr, Pl, M-Pl, M) Kredni flišni kompleks (pr, K)

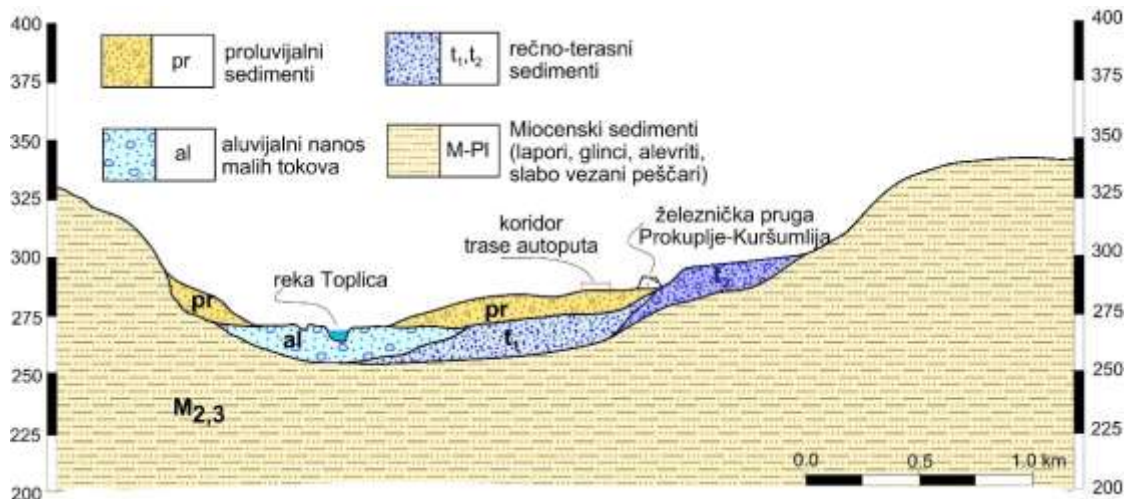
Aluvijalne, proluvijalne i rečno-terasne ravni (al, pr, t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>) - Na deonici od km: 0+000 do km:16+000 trasa autoputa preseca aluvijalni reljef pritoka Toplice i rečne terase manjeg rasprostranjenja (Slika 3). Na ovoj deonici u manjem obimu registrovane su proluvijalno-deluvijalne tvorevine koje su izdvojene u zoni manjih rečica i njenih potoka.



**Slika 3. Karakterističan inženjerskogeološki presek terena aluvijalne zaravni (km:0+000-km:5+000)**

U vertikalnom profilu terena aluvijalne tvorevine i rečne terase imaju sličnu geološku građu. Na stranama rečnih dolina najčešće se zapažaju dva, a retko i tri terasna nivoa. Ravni rečnih terasa su potpuno stabilne i dobro se dreniraju. Kod malih vodotoka prisutna je mešavina od peskova, šljunkova a ređe i glina koje su često muljevite i vodozasićene. Izvesne terasne forme južno od Mramora, nastale su na specifičan način, dejstvom krupnih delapsionih kretanja. Predstavljene su prašinstim glinama, prašinstim peskovima, lesolikim glinama i dr. Ove aluvijalne i rečno-terasne zaravni, van su uticaja rečnog toka Toplice i njenih pritoka, i uglavnom su stabilne.

Na deonici od Prokuplja ka Pločniku (od km: 25+000 do km:39+400), aluvijalna ravan Toplice je većim delom prekrivena prostranim plavinskim konusima koji su nastali od manjih bujičnih tokova koji sa okolnog terena gravitiraju Toplici (Slika 4).

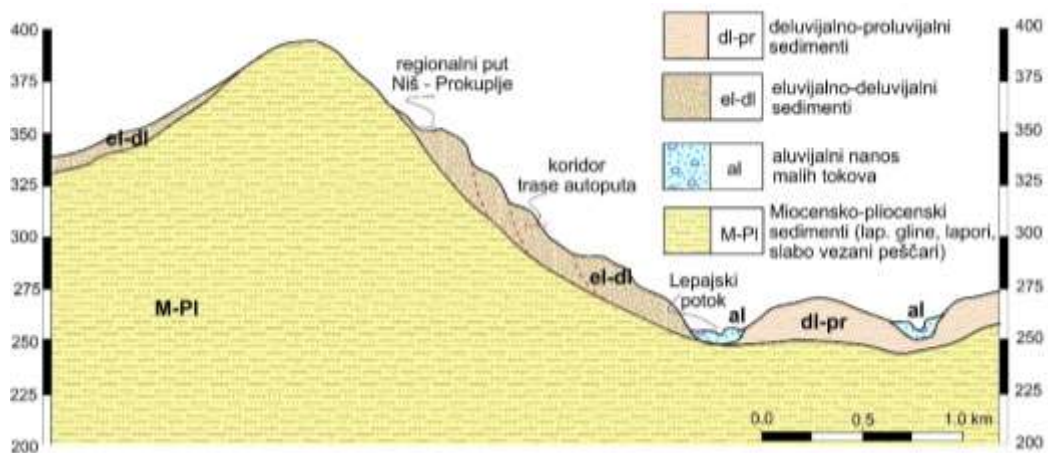


**Slika 4. Karakterističan inženjerskogeološki presek terena aluvijalne zaravni (km: 22+000 - km: 39+000)**

Aluvijon Toplice izgrađen je od peskova i šljunkova u faciji korita, sa manjim sadržajem peskovitih glina i glinovitih peskova, ali sa povremenim lokalnim pojavama muljevitih sredina. Ove muljevite zone mogu da ukažu na izraženu ranu etapu formiranja aluvijalne sredine, pa su sa inženjerskogeološkog aspekta pretežno manje povoljne sredine. Povodanjska facija je retko razvijena i može se reći da izostaje, ili se može pripisati lokalnim muljevitim sredinama. Potencijalne nestabilnosti manjeg obima su izražene samo u zoni nereguliranih obala rečnog korita i one mogu da imaju značaj pri projektovanju i izgradnji mostova uglavnom preko reke Toplice, a manje preko njenih pritoka.

Neogeni brežuljkasti tereni (PI, M-PI, M) po pravilu su prekriveni kvartarnim sedimentima (dl-pr, el-dl, pr). Ovi tereni su zastupljeni po obodu gornje i donje Topličke doline, u odnosu na trasu autoputa. Ispresecani su potočnim i rečnim dolinama koje su odlagale proluvijalne sedimente i na desnoj i levoj dolinskoj strani Toplice. Izgrađeni su od istih litoloških članova kao i aluvijalni sedimenti (prašinstih peskova, prašinstih glina, lesoidnih glina, peskova i šljunkova) i nepravilno se smenjuju bilo u horizontalnom bilo u vertikalnom smislu. Pored toga, dok aluvijalni sedimenti izgrađuju široke aluvijalne ravnice, proluvijum se obično nalazi u užim dolinama i, što je daleko karakterističnije, izgrađuje dosta prostrane plavinske konuse (uzvodno od Prokuplja). Za sve plavinske konuse karakteristična je nesortiranost materijala uz karakterističnu haotičnu ili ukrštenu smenu unutar različitih litoloških članova. U korenu svakog konusa obično se nalazi gruboklastični materijal dok se na njegovoj periferiji zapažaju supeskovi i sugline sa sitnijim sočivima šljunkova.

Kada su u pitanju neogeni sedimenti, izdvajaju se dva dela (kako po starosti tako i po sastavu): mlađi neogeni kompleks nizvodno od Prokuplja (km: 0+000 do km:16+000) i stariji neogeni kompleks uzvodno od Prokuplja (km: 25+000 do km: 39+400). Razdvojeni su kristalastim metamorfnim kompleksom okoline Prokuplja. Neogeni tereni su veoma heterogenog litološkog sastava i karakterišu se čestim facijalnim promenama. *Mlađi neogeni kompleks* je lociran severoistočno od Prokuplja, i odgovara gornjem miocenu i donjem pliocenu. Izdvojena su dva horizonta: donji - u kome prevladavaju sedimenti finoznog sastava (glina, prašine sa sitnozrnim peskovima, ugljevitte glinae i dr.) i gornji – izgrađen pretežno od peskova sa retkim proslojcima peskovitih glina i sočivima šljunka. Ovi tereni su na većem delu prekriveni deluvijalnim, eluvijalnim i eluvijalno-deluvijalnim sedimentima kao i površinskom korom raspadanja debljine preko 10 m (zona Debelog Brda). Na jednom delu trase autoputa na padinama Debelog Brda (između Merošine i Prokuplja zona od 9-12 km), utvrđeni su uslovno nestabilni tereni, čije su reljefne forme karakteristične za umirena klizišta (Slika 5).

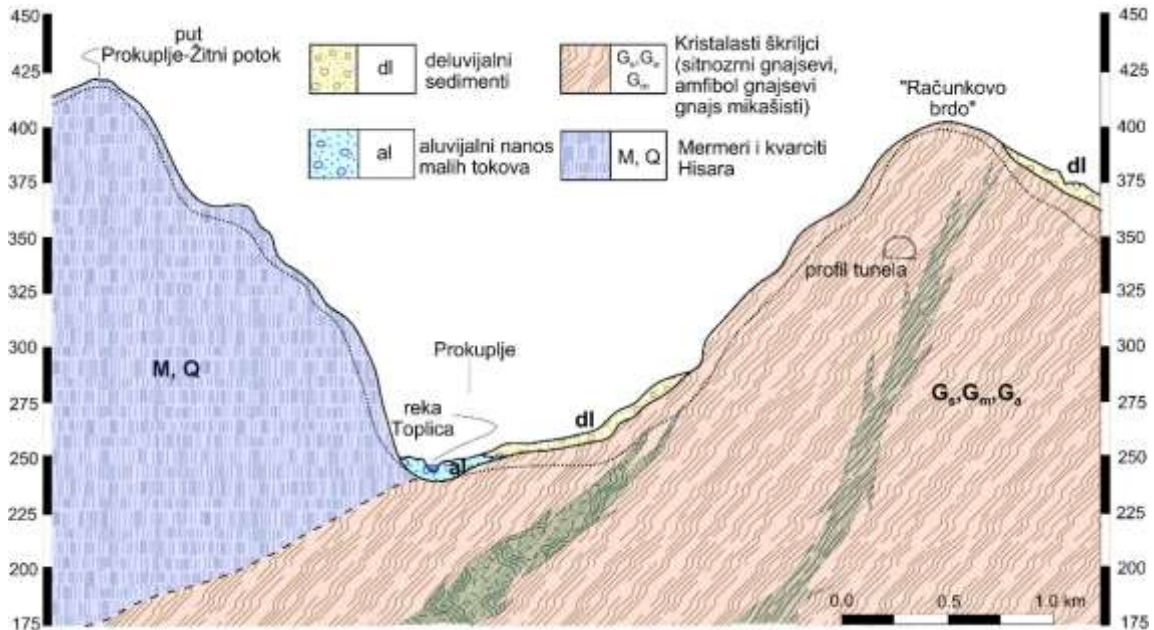


**Slika 5.** Karakterističan inženjerskogeološki presek neogenih brežuljkastih terena (km: 9+000 - km: 12+000)

Nestabilnosti su karakteristične za mekše neogene terene koji su u površinskom delu zahvaćeni procesima površinskog raspadanja. Padina Debelog Brda je trenutno stabilna, ali u slučaju većih zemljanih iskopa može doći do reaktiviranja procesa klizanja, pa i uticaja na projektovanu trasu autoputa. Manje nestabilnosti registrovane su i u pliocenim peskovima i šljunkovima kod Nove Božurne, severoistočno od Prokuplja. Ovaj plioceni krupnozrni kompleks je vodosasićen, a u zoni izlaznog portala tunela „Božurna“ registrovan je i veći broj aktivnih bunara, tako da se očekuje stalni uticaj podzemnih voda na tunel (ovo je i potvrđeno osmatranjima u ugrađenim pijezometrskim konstrukcijama). *Stariji neogeni kompleks* ima veliko rasprostranjenje u središnjem i istočnom delu Topličke kotline (Slika 4). Veoma je heterogenog litološkog sastava, a karakterišu ga finozrni pretežno glinovito-prašinsti sedimenti (tanko uslojeni lapori, glinci i peskoviti glinci), a ređe konglomerati i breče. Radi se o tankoslojevitim do listastim tvorevinama, koje pokazuju karakterističnu horizontalnu laminaciju. Granice između slojeva nisu oštre i obično su uslovljene smanjenjem ili povećavanjem krupnozrne odnosno sitnozrne frakcije.



Tereni izgrađeni od kompleksa kristalastih škriljaca (Gs, Ga, Gm, M, Q, ρ) – Deo trase autoputa, koji ujedno predstavlja i obilaznicu Prokuplja, izgrađuje čvrsta stenska masa različitog kvaliteta, tj. tektonske oštećenosti sa promenljivom debljinom kore površinskog raspadanja (Slika 6).



Slika 6. Karakterističan inženjerskogeološki presek kompleksa kristalastih škriljaca

U građi ovog metamornog kompleksa dominiraju sitnozrni gnajsevi ali su u većoj meri zastupljeni i amfibol gnajsevi i mikašist gnajsevi (tabela 4). Proboji aplita i pegmatita su retki. Pored dominantnih sitnozrnih gnajseva, registrovane su i pojave mermera i kvarcita u vidu žica i sočiva debljine desetak i više metara. Produkti mehaničkog raspadanja ovog kompleksa su neujednačene debljine, koja se kreće od 0.5 m do preko 5.0 m. Čvršće partije metamornog kompleksa, kao što su kvarciti, mermeri i bolje očuvani gnajsevi i amfiboliti su sa tanjom raspadinom i izgrađuju morfološki istaknutije delove terena. Planarna erozija sa mestimično izraženom linijskom erozijom, prisutna je na strmim padinama, a produkti ovih procesa nataloženi su pri dnu padina i na zaravnjenim delovima terena. Tvorevine oba procesa je teško razdvojiti, naročito u uvalama gde često formiraju deblje naslage savremenog deluvijalno-proluvijalnog nanosa. Amfibol gnajsevi i amfibolski škriljci ne predstavljaju stalan horizont, nego se javljaju u svim serijama u obliku sočiva debljine desetak metara i maksimalne dužine do 5 km (istražnim bušenjem za tunel „Računkovo brdo“, zabeležene su i veće debljine od 10 m). Mermeri su veoma retko čisti, pretežno su dolomitski.

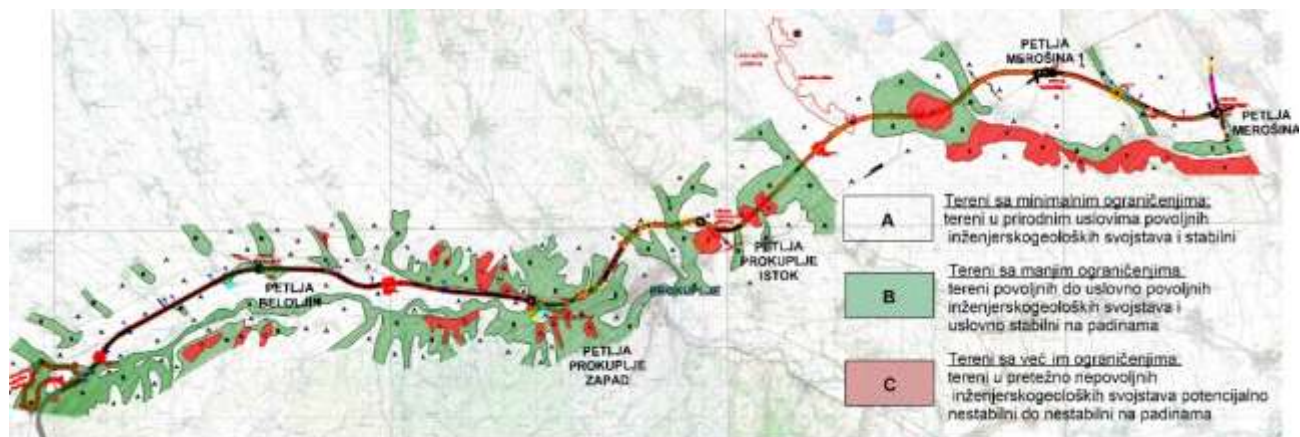
Tabela 4. Petrografske karakteristike najzastupljenijih stena kompleksa kristalastih škriljaca

sitnozrni kalcitisan gnajns	amfibol-gnajs	mikašist-gnajs
		
Mozaik tekstura kvarca i feldspata, intenzivno prožeta kalcitom.	Kristali amfibola i biotita u mozaičnoj osnovnoj masi feldspata i kvarca.	Kristali biotita koji pokazuju vidljivu folijaciju

### 3. REJONIZACIJA TERENA

#### 3.1. Rejonizacija terena prema inženjerskogeološkim ograničenjima

Rejonizacija je izvršena prema prirodnim uslovima koji trenutno vladaju u terenu, uzimajući u obzir inženjerskogeološke komplekse, morfološke karakteristike, hidrogeološke karakteristike, a uvažavani su i osnovni meteorološki uslovi. Prilikom izrade karte inženjerskogeoloških ograničenja, izvršena je rejonizacija terena na tri karakteristične zone i to: A - tereni sa minimalnim ograničenjima, B - tereni sa manjim ograničenjima i C - tereni sa većim ograničenjima (Slika 7) [6].



Slika 7. Karta inženjerskogeoloških ograničenja duž trase autoputa

Tereni sa minimalnim ograničenjima – A, su u prirodnim uslovima inženjerskogeološki povoljni i stabilni. U ove terene spada kompleks kristalastih škriljaca i klastično karbonatni sedimenti bez i sa eluvijalno-deluvijalnom zonom debljine do 2 m kao i zaravnjeni grebeni i padine nagiba do  $10^{\circ}$ . Takođe, uključeni su i jezerski sedimenti sa eluvijalnim i deluvijalnim tvorevinama, rečno-terasne ravni i prostrane bujične plavine, udaljene od uticaja rečnih i potočnih vodotoka.

Tereni sa manjim ograničenjima – B, su tereni koji su uslovno povoljnih inženjerskogeoloških svojstava, pre svega uslovno stabilni na padinama. U ove terene spada kompleks kristalastih škriljaca i klastično karbonatnih stena sa eluvijalno-deluvijalnom raspadinom debljine preko 2 m na padinama nagiba  $>10^{\circ}$ , jezerski sedimenti sa eluvijumom i deluvijumom  $>2$  m na padinama nagiba  $>5^{\circ}$  i aluvijalne i prostrane ili manje bujične plavine sa povremenim aktivnim uticajem bujičnih vodotoka. Pored toga u okviru ove zone izdvojeni su i manji zabareni delovi terena koji su utvrđeni u aluvijonu Toplice.

Tereni sa većim ograničenjima – C, su tereni koji su pretežno nepovoljnih inženjerskogeoloških svojstava, potencijalno nestabilni do nestabilni na padinama i u uslovima većih zasecanja. U ove terene spada kompleks kristalastih škriljaca i klastično karbonatni sedimenti sa eluvijumom i deluvijumom debljine preko 2 m, na padinama nagiba  $>15^{\circ}$ , potočne doline sa stalnom bujičnom aktivnošću, aluvijalno-proluvijalne zaravni uz aktivne bujične tokove sa visokim rečnim obalama.

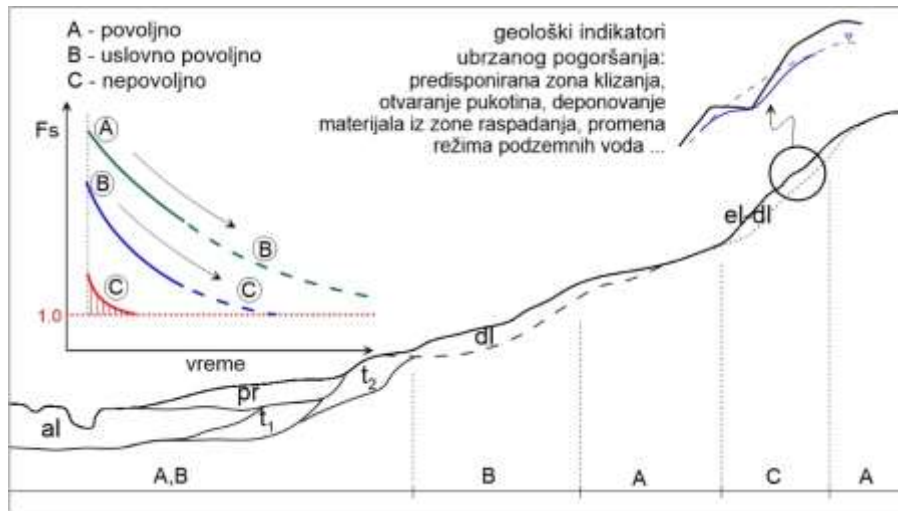
### 3.2. Rejonizacija terena na osnovu geotehničkih uslova izgradnje

U odnosu na ukupnu dužinu trase, oko 7.8 km (približno 20%), je na terenima sa karakterističnom morfologijom, tako da su projektovani odgovarajući objekti (mostovi, nadvožnjaci, tuneli). Međutim, i ostali deo trase je na osnovu geotehničkih uslova građenja vrlo složen, jer trasa prolazi kroz brojne useke i zaseke, a kroz aluvijon reke Toplice, skoro čitava trasa autoputa se gradi na nasipu.

Osnovni cilj rejonizacije terena prema geotehničkim uslovima građenja, jeste identifikacija „povoljnih“, „uslovno povoljnih“ i „nepovoljnih“ deonica na trasi, kako bi se u narednoj fazi istraživanja ukazalo na njihov značaj. Zoniranje terena, a kasnije i rejonizacija trase autoputa u odnosu na geotehničke uslove građenja, izvršena je na osnovu brojnih faktora koji se uopšteno mogu podeliti u tri osnovne kategorije:

- „faktori prošlosti“ kao što su osnovna geološka građa terena (uključuje litostratigrafske i litogenetske karakteristike, starost stenskih masa, genezu) i osnovne hidrogeološke karakteristike (hidrogeološke funkcije, vodopropusnost, karakteristike izdani),
- „faktori sadašnjosti“ kao što su reljef (karakteristični oblici reljefa, podužni i poprečni nagibi), savremeni geološki procesi i pojave (kliženje, površinsko raspadanje, erozija), hidrogeološki uslovi (nivo podzemne vode, zabarenja, plavljenja), vegetacija, pokrivenost terena, klimatski uslovi i
- „faktori budućnosti“ koji su vezani za složenost izgradnje planiranih objekata na samoj trasi (iskopi, zasecanje, usecanja, nasipanja, dreniranja i sl.).

Uticaj pomenutih faktora u funkciji vremena, šematski je prikazan na Slici 8 [2]. Prema opštim geotehničkim uslovima građenja, izdvojene su tri kategorije: A – povoljni, B – uslovno povoljni i C – nepovoljni tereni [6].



**Slika 8.** Opšti model rejonizacije terena na osnovu geotehničkih uslova

Kategoriji A pripadaju tereni koji su u prirodnim uslovima stabilni, u njima je maksimalni nivo podzemne vode na dubini većoj od 2.0 m, u čvrstim stenskim masama se ne očekuje odronjavanje i osipanje kao ni plitko kliženje na neobezbeđenim kosinama iskopa sa visinama preko 2.0 m, a heterogenost u pogledu litološkog sastava, stepena ispućalosti i primarne alterisanosti stenske mase kao i promenljiva fizičko-mehanička svojstva, nemaju značajniji uticaj na uslove građenja.

Kategoriji B pripadaju tereni koji mogu biti uslovno stabilni pri neadekvatnom izvođenju građevinskih radova (visoke kosine, portali i preduseci tunela), tereni u kojima se mogu aktivirati klizišta i odroni manjih razmera, padine koje su ugrožene erozijom različitog intenziteta, povremena aktivnost bujičnih tokova, fluvijalna erozija i mestimična podlokavanja obala rečnog korita, povremeno plavljenje terena podzemnim i površinskim vodama, tereni u kojima je maksimalni nivo vode plići od 2.0 m, tereni u kojima se očekuje obrušavanje, osipanje i plitko kliženje na neobezbeđenim kosinama iskopa sa visinama preko 2.0 m, a određeni značaj na uslove građenja imaće i heterogenost u pogledu litološkog sastava, stepena ispućalosti i primarne alterisanosti stenske mase kao i promenljiva fizičko-mehanička svojstva. U ovim terenima privremeno smanjenje faktora sigurnosti može biti prouzrokovano relativno kratkoročnim tj. prolaznim događajima.

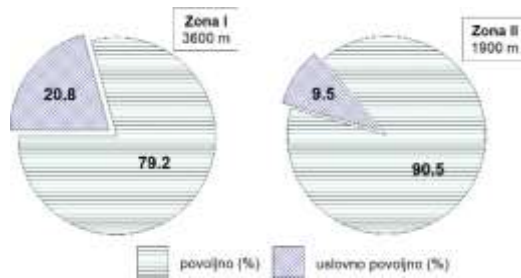
Kategoriji C pripadaju tereni koji su potencijalno nestabilni do nestabilni na padinama, tereni na kojima su registrovana aktivna i umirena klizišta, tereni u kojima je moguće reaktiviranje umirenih klizišta ili izazivanje novih (na uslovno stabilnim padinama) usled neadekvatnog izvođenja zemljanih radova, stalno aktivni bujični tokovi i bujične plavine, niski tereni sa stalnim močvarama, muljevita vodozasićena tla, a veliki značaj na uslove građenja ima i heterogenost u pogledu litološkog sastava, stepena ispućalosti i primarne alterisanosti stenske mase kao i promenljiva fizičko-mehanička svojstva.

### 3.2.1. Deonica 1: km 0+000.00 – km 5+500.00

Ova deonica autoputa, poklapa se sa postojećom trasom magistralnog puta Niš – Kuršumlija, koja će predstavljati jednu kolovoznu traku novog autoputa. Osnovu terena izgrađuju Mio-Pliocene (M-PI), uglavnom finozrne tvorevine od laporovitih gлина i prašinstih gлина, a ređe i krupnozrne peskovito prašinste tvorevine (prašina glinovito-peskovita ( $pr^{gl.p}$ ), gлина prašinsti ( $gl^{pr}$ ), prašina peskovita i pesak prašinst ( $pr^p$ ,  $p^{pr}$ ) i laporovita gлина ( $gl^l$ ). Mio-Plioceni sedimenti su deponovani u sredini sa mirnom sedimentacijom pa je karakteristična horizontalna slojevitost. Na nešto višim kotama materijali su deponovani u plićem basenu pa su otuda i krupnozrniji. Preko ovih sedimenata istaloženi su aluvijalni sedimenti, bilo da su u pitanju aluvijalni ili terasni sedimenti, nastali taloženjem iz povremenih i stalnih vodenih tokova ( $al$ ,  $al-t_2$ ). Na višim kotama (od sela Balajnac pa dalje ka Merošini), površinski deo terena izgrađuju deluvijalno-proluvijalni materijali heterogenog sastava gde uglavnom dominiraju prašinste gline ( $dl-pr$ ). Na osnovu utvrđenih inženjerskogeoloških karakteristika terena, izdvojene su dve karakteristične zone: Zona I – u površinskom delu izgrađena od aluvijalno-terasnih ili aluvijalno-proluvijalnih sedimenata, i Zona II – koja je u površinskom delu izgrađena od deluvijalno-proluvijalnih sedimenata (osnovu čine Mio-Plioceni glinovito-laporoviti sedimenti). Trasa autoputa, najvećim delom se projektuje u nivou terena ili sa manjim nasipom visine od 0.5 do 1.5 m. Lokalno, u vidu navoza na mostove, projektuju se i nasipi nešto većih visina, maksimalno do 5.0 m. Nivo podzemne vode je uglavnom na dubini ispod 5.0 m, a samo u zoni Aleksandrovačkog potoka je na



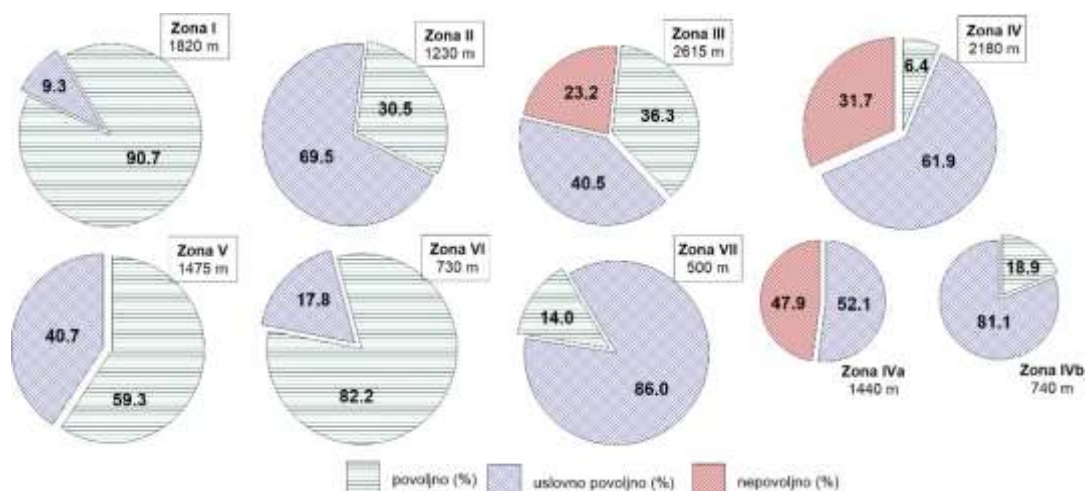
dubini od oko 2.0 m. U geotehničkom smislu, veći deo trase ocenjen je kao povoljan. Uslovno povoljan, ocenjen je deo trase gde je planirano izvođenje nasipa visine preko 3.0 m, i to na delovima gde se novi nasip vezuje za postojeći stari nasip (Slika 9).



Slika 9. Rejonizacija terena prema geotehničkim uslovima građenja – deonica 1

### 3.2.2 Deonica 2: km 5+500.00 – km 17+150.00

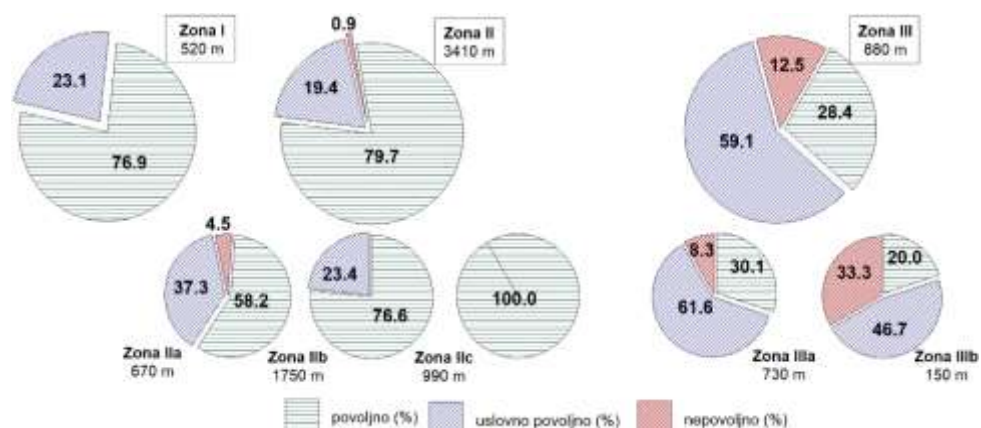
Ova deonica je najduža (oko 12 km), pa je otuda i geološka građa nešto složenija. Osnovu terena grade Plioceni ili Mio-Plioceni sedimenti dok su u depresijama i aluvijalnim ravnima manjih reka i potoka, istaloženi krupnozrni ili poluvezani materijali, a vrlo retko i sitnozrni sedimenti. U okviru kvartarnih sedimenata posebno su izdvojeni: aluvijalni i aluvijalno terasni sedimenti (al; al-t<sub>1</sub>), aluvijalno-proludijalni (al-pr), deluvijalni, deluvijalno-proludijalni i proludijalni (dl; dl-pr i pr). U okviru Pliocenog kompleksa izdvojeno je više sredina koje su grupisane po granulaciji: pesak prašinst i pesak prašinsto-glinovit (p<sup>pr</sup> i p<sup>pr,gl</sup>) i pesak prašinsto šljunkovit do šljunak peskovito-prašinst (p<sup>pr,š</sup> i š<sup>p,pr</sup>). U okviru Mio-Pliocenog kompleksa izdvojeno je više karakterističnih sredina i to: prašina glinovita, prašina peskovita i prašina peskovito-glinovita (pr<sup>gl</sup>; pr<sup>p</sup>; pr<sup>p,gl</sup>), peskovi prašinsti i šljunkoviti i peskovi sa proslojcima laporovitih glina i polucementovanih peščara (p<sup>pr</sup>; p<sup>pr,š</sup>; p<sup>Lg,Pš</sup>), glina prašinst i glina peskovita (gl<sup>pr</sup>; gl<sup>p</sup>), laporovita glina i laporovita glina peskovita (gl<sup>L</sup>; gl<sup>L,p</sup>) i lapori glinoviti i lapori (L<sup>gl</sup>, L<sup>g</sup>). Zbog dužine deonice i izrazito promenljivog litološkog sastava, izdvojeno je sedam karakterističnih zona, a Zona IV je podeljena na dve podzone. Početak ove deonice vezan je za odvajanje trase autoputa od postojećeg magistralnog puta Niš – Kuršumljija, dok se kraj deonice nalazi u zoni početka Pliocenog kompleksa. Nivo podzemne vode je promenljiv, pa je na delu terena sa nižim kotama na dubini od oko 2.0 m, a na ostalim je na većim dubinama ili nije utvrđen. Ova deonica je u geotehničkom smislu najzahtevnija, pre svega zbog velikih dubina usecanja (lokalno preko 7 m i to u terenima gde dominiraju krupnozrni materijali koji su skloni spiranju i linijskoj eroziji-jaružanju), kao i zbog planirane izgradnje visokih nasipa sa visinama od preko 7.0 m. Zbog toga je veći deo ove zone okarakterisan kao uslovno povoljan (oko 45%) a više od 12 % i kao nepovoljan s obzirom da na pojedinim stacionažama visina nasipa prelazi 15 m, što uslovljava posebne načine građenja (Slika 10). Na pojedinim deonicama uslovnu povoljnost predstavlja i visok nivo podzeme vode, s obzirom da se na jednom delu teren prihranjuje podzemnim vodama iz Pliocene serije iz zaleđa koja je izuzetno bogata vodom. Lokalno, tereni sa većim nagibima padina su zahvaćeni savremenim procesima i pojavama nestabilnosti (na padini „Debelo Brdo“ u zoni sela Baličevac, utvrđena je manja nestabilnost terena kojom je zahvaćena kora raspadanja neogenih sedimenata). U okviru ove deonice planirana je i izgradnja tri tunela („Debelo brdo“, „Slatina“ i „Božurna“).



Slika 10. Rejonizacija terena prema geotehničkim uslovima građenja – deonica 2

### 3.2.3. Deonica 3: km 17+150.00 – km 23+500.00

I na ovoj deonici, geološka građa je relativno složena, prevashodno u neotektonskom pogledu (obuhvata zone dve različite strukturne celine: tzv. Niški blok - Mio-Plioceni kojeg karakteriše spuštanje i Radanski - Proterozojski blok kojeg karakteriše izdizanje duž sistema raseda SI-JZ), kao i u strukturnom. Početak ove deonice je izgrađen od istih geoloških jedinica kao i prethodna deonica pa su tako u depresijama i aluvijanim ravnicama manjih reka i potoka istaloženi aluvijalni i aluvijalno terasni sedimenti (al; al-t<sub>1</sub>). Sve do stacionaže gde se završava tzv. Niški blok, tj. izlaz iz tunela „Božurna“, osnovu grade Mio-Plioceni ili Plioceni sedimenti, izrazito heterogene geološke građe (sitnozrni glinovito-laporoviti u podini i krupnozrni šljunkovito-peskoviti u povlatnom delu). Nakon izlaska iz tunela „Božurna“, počinje metamorfni kompleks kristalastih škriljaca. U građi ovog metamorfnog kompleksa dominiraju sitnozrni gnajsevi, a konstatovane su i pojave amfibolitsko-piroksenskih škriljaca kao i mikašist gnajseva. Nakon obilaznice Prokuplje i spuštanja trase u aluvijon Toplice, pored sitnozrnih gnajseva značajnije je i pojavljivanje mermera (M). U okviru ovog kompleksa izvršeno je zoniranje po stepenu raspadnutosti na: gornju zonu raspadanja gnajsa (prašine glinovite - Gs<sup>pr\*</sup>, Gm<sup>pr\*</sup>, Ga<sup>pr\*</sup>), donju zonu raspadanja gnajsa (degradirani i ispucali sitnozrni gnajsi, gnajsi mikašisti i amfibolitski gnajsi - Gs\*, Gm\*, Ga\*) i ispucali sveži sitnozrni gnajsi, gnajsi mikašisti i amfibol gnajsi (Gs, Gm i Ga) sa pojavama mermera (M) i kvarcita (Q). U početnom delu ove deonice, problem može da predstavlja visok nivo podzeme vode, s obzirom da se prihranjivanje površinskih degradiranih zona vrši iz zaleđa tj., sa viših terena izgrađenih od Plioceni krupnozrnih sedimenata. U nastavku trase, nivo podzemne vode je izrazito promenljiv, i teško se uopšteno opisuje već se analizira za svaki objekat posebno. U kompleksu kristalastih škriljaca, analiziran je međusobni odnos (odnos kompaktnijih i čvršćih članova - kvarciti i mermera prema mekšim i plastičnijim sredinama - primarno izmešanim gnajsevima različitog sastava). Od savremenih procesa na ovoj deonici moguće su pojave osipanja i bujične aktivnosti potoka. U okviru ove deonice izdvojene su tri zone, a u okviru zone II tri odnosno, u zoni III dve podzone (Slika 11).



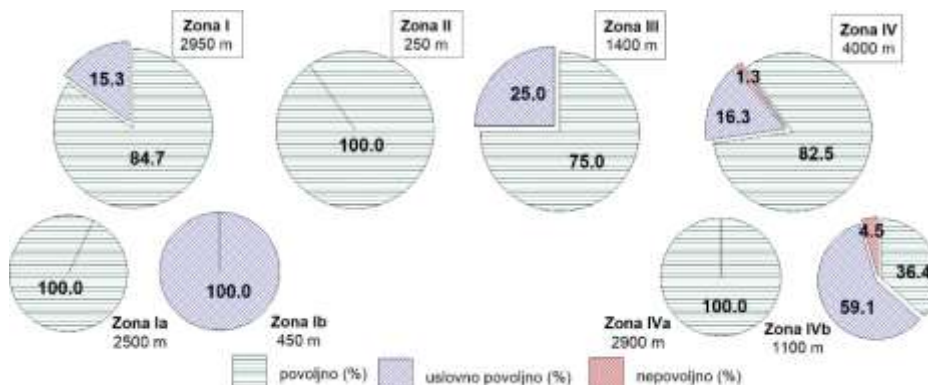
Slika 11. Rejonizacija terena prema geotehničkim uslovima građenja – deonica 3

Zbog izgradnje većeg broja mostova, ali i zbog toga što treću deonicu grade čvrste stenske mase, veći deo je okarakterisan kao povoljan (oko 70%), 27 % je okarakterisano kao uslovno povoljni, uz napomenu da je zbog visine nasipa i korišćenja geosintetika za njegovo armiranje samo mali deo okarakterisan kao nepovoljan, a odnosi se na jače degradiranu zonu sa relativno visokim nivoom podzemne vode, gde je moguća i pojava jedne rasedne zone. I u okviru ove deonice planirana je i izgradnja tri tunela („Vršnik“, „Računkovo brdo“ i „Plehane kuće“).

### 3.2.4. Deonica 4: km 23+500.00 – km 32+100.00

U početnom delu deonice osnovu terena gradi metamorfni kompleks kristalastih škriljaca gde je pored gnajseva zabeleženo i veće prisustvo mermera. U većem delu ove deonice osnova je izgrađena od Mioceni finozrnih pelitsko-glinoviti sedimenata (<sup>1</sup>M<sub>2,3</sub>). Bez obzira na njihovu izrazitu heterogenost u vidu tanko slojenih sedimenata različitog litološkog sastava, ova sredina je posmatrana kao jedinstvena litološka jedinica koju čine različiti članovi: laporovite gline, lapori glinoviti, glinci i poluvezani peskovi sa proslojcima peščara (gl<sup>L\*</sup>, L<sup>gl</sup>, Gl, p<sup>ps</sup>, L<sup>g</sup>). Preko kristalastih škriljaca i Mioceni sedimenata, istaloženi su kvartarni sedimenti u okviru kojih su izdvojeni aluvijalni sedimenti reke Toplice (al) i proluvijalni sedimenti koji prate granicu pobrđa sa severne strane trase (pr). Oni su nastali transportom materijala povremenim vodama i difuznim spiranjem duž rečica koje teku sa Jastrepca i ulivaju se u Toplicu. U podini su po pravilu peskovito-šljunkoviti materijali kod kojih se može zapaziti zakonitost taloženja (u najnižim delovima javljaju se šljunkovi, a preko njih su peskovi, supeskovi i sugline sa lokalnim pojavama muljeviti sredina koje su registrovane na

više lokacija). Za čitavu deonicu je karakterističan visok nivo podzemne vode (često na dubinama do 2.0 m). Aluvijalne i rečno-terasne ravni, koje su van uticaja rečnog toka Toplice i njenih pritoka, pretežno su stabilne. Potencijalne nestabilnosti su izražene u zoni nereguliranih obala rečnog korita. Ove nestabilnosti mogu da imaju značaj pri projektovanju i izgradnji mosta preko reke Toplice, a manje u zoni planiranih mostova preko njenih pritoka. U okviru ove deonice izdvojene su četiri zone, a u zonama I i IV i po dve podzone (Slika 12).

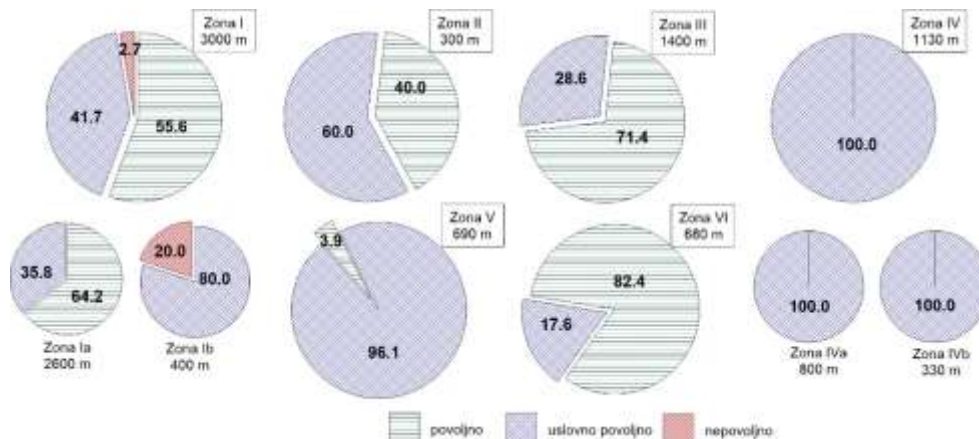


Slika 12. Rejonizacija terena prema geotehničkim uslovima građenja – deonica 4

S obzirom da u površinskom delu dominiraju krupnozrni sedimenti, veći deo deonice je dobrih otpornih i deformabilnih karakteristika, tako da je ona uglavnom okarakterisana kao povoljna za izgradnju (oko 82%). Fundiranje mostova će se obavljati u šljunkovima a sleganja nasipa su uglavnom manja i odviče se u kratkom vremenskom periodu. Ostali deo (oko 17 %) okarakterisan je kao uslovno povoljan i to uglavnom zbog lokalnih pojava muljevutih sredina prekrivenih nasipom. Zanemarljivi deo trase je okarakterisan kao nepovoljan, i to na delovima gde se muljevite sredine javljaju na samoj površini terena.

### 3.2.5. Deonica 5: km 32+100.00 – km 39+400.00

Ova deonica se nastavlja na prethodnu, tako da osnovu terena izgrađuju Miocene ( $M_{2,3}$ ) finozrne tvorevine od pelitsko-glinovitih sedimenata (laporovite gline, lapori glinoviti, glinci i poluvezani peskovi sa proslojcima peščara -  $gl^L$ ,  $L^g$ ,  $Gl$ ,  $p^{pš.Lg}$ ). Na samom kraju deonice od stacionaže km: 38+800, osnovu terena gradi kompleks flišnih sedimenata kredne starosti ( $K^3_2$ ) izgrađeni od lapora, laporaca, peščara sa proslojcima alevrolita, glinaca i krečnjaka. Debljina pojedinačnih slojeva je uglavnom mala (do 30 cm), a za peščare i krečnjake može se reći da su bankoviti sa debljinom i preko 1.0 m. U površinskom delu uglavnom se javljaju sekvence lapora, a česte su i pojave alevrolita i peščara. Posebno su izdvojene dve litološke jedinice: glinovita zona raspadanja krednog fliša sa sitnim, a retko i većim fragmentima drobine - ( $gl - Lc^*$ ,  $KR^*$ ,  $Pš^*$ ,  $Gl^*$ ) i ispucala i raspadnuta flišna serija sa decimetarskim komadima peščara, alevrolita, krečnjaka i laporaca ( $Lc^*$ ,  $KR^*$ ,  $Pš^*$ ,  $Gl^*$ ). Preko ovih krednih i mioceničkih sedimenata, istaložene su proluvijalne (pr) ili aluvijalne (al) naslage Toplice i njenih pritoka. Proluvijalni sedimenti su utvrđeni na određenom rastojanju od Toplice ali bez jasno definisane oštre granice sa aluvijalnim sedimentima, s obzirom da je litološki sastav dosta sličan (dominiraju krupnozrni šljunkovi sa manjim sadržajem sitnozrnih prašinstih frakcija, a lokalno i peskovitim materijalom). U okviru ove deonice izdvojeno je šest zona, a u okviru zone I i IV i po dve podzone (Slika 13).



Slika 13. Rejonizacija terena prema geotehničkim uslovima građenja – deonica 5

U zaravnjenim delovima trase registrovan je visok nivo podzemne vode (plici od 2.0 m) dok je na samom kraju deonice gde trasa prelazi na desnu dolinsku stranu Toplice, on znatno dublje. Veći deo trase je van uticaja rečnog toka Toplice i njenih pritoka, tako da je stabilan. Bez obzira što u površinskom delu dominiraju krupnozrni sedimenti sa dobrim otpornim i deformabilnim svojstvima, polovina deonice je okarakterisana kao uslovno povoljna zbog izgradnje visokih nasipa čija visina lokalno prelazi 10 m. Pored toga, u zoni gde se manji vodotoci ulivaju u reku Toplicu, pored krupnozrnih sedimenata lokalno se javljaju i vodozasićene muljevite sredine koje su okarakterisane kao nepovoljne ali su u odnosu na ukupnu dužinu deonice, zanemarljive (1 %).

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultati obavljenih istraživanja, omogućili su da se izdvoje tri karakteristična reiona u kojima dominiraju različite geološke jedinice i to: kristalasti škriljci okoline Prokuplja, neogeni sedimenti pobrđa i kvartarni sedimenti u dolini reke Toplice i njenih bočnih pritoka. Trasa je projektovana kroz tipičan ravničarski i brdski reljef koji je oblikovan padinskim i fluvijalnim procesima. Na brežuljkastim neogenim terenima u okolini Merošine, utvrđene su uslovne nestabilnosti koje predstavljaju tragove umirenih klizišta, pa bi veći obim zemljanih radova u ovakvim terenima, mogao značajno da utiče i na promenu inženjerskogeoloških uslova.

Rezultati obavljenih istraživanja, iskorišćeni su za opštu rejonizaciju terena u široj zoni trase autoputa, uzimajući u obzir inženjerskogeološke komplekse, morfološke karakteristike, hidrogeološke karakteristike, a uvažavani su i osnovni meteorološki uslovi. Geotehnička rejonizacija je urađena prema prethodno izvršenom zoniranju terena, na osnovu brojnih faktora koji su uopšteno podeljeni u tri osnovne kategorije: „faktori prošlosti“, „faktori sadašnjosti“ i „faktori budućnosti“. Na ovaj način identifikovane su: A - „povoljne“ (oko 63 %), B - „uslovno povoljne“ (oko 32 %) i C - „nepovoljne“ (oko 5 %) deonice, koje su vezane za složenost izgradnje planiranih objekata na trasi autoputa (iskopi, zasecanje, usecanja, nasipanja, dreniranja i sl.).

#### Zahvale

Ovaj rad je realizovan u okviru istraživanja za projekat TR36014 koji se finansira od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### Literatura

- [1] Grupa autora, COWI/IPF. (2015). Western Balkans Investment Framework Infrastructure Project Facility Technical Assistance 4 (IPF 4): Generalni projekat i Prethodna studija opravdanosti za izgradnju autoputa E-80 (SEETO ruta 7) u Srbiji, GENERALNI PROJEKAT: Studija inženjerskogeoloških i geotehničkih karakteristika, 64 p.
- [2] Hsai-Yang F. and John L. Daniels. (2014). Introductory Geotechnical Engineering an Environmental Perspective, Taylor & Francis, 545 p.
- [3] Rakić, D. (2017). Idejni projekat i studija izvodljivosti sa procenom uticaja na životnu sredinu za izgradnju autoputa E-80 (SEETO Ruta 7): od administrativnog prelaza Merdare do Niša preko obilaznice Prokuplja, deonica Niš – Pločnik, Sveska E21: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje trase autoputa, 202 p.
- [4] Rakić, D. (2017). Idejni projekat i studija izvodljivosti sa procenom uticaja na životnu sredinu za izgradnju autoputa E-80 (SEETO Ruta 7): od administrativnog prelaza Merdare do Niša preko obilaznice Prokuplja, deonica Niš – Pločnik, Sveska E22: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata – mostovi i nadvožnjaci, 230 p.
- [5] Rakić, D., Berisavljević, Z., Basarić, I., Lazić, M., Stevanović, M. (2017). Opšti geotehnički uslovi izgradnje autoputa E-80 Niš – Merdare, Deonica: Niš – Pločnik, I Deo, Zbornik radova VII naučno-stručnog međunarodnog savetovanja: Geotehnički aspekti građevinarstva, 75-82.
- [6] Rakić, D., Berisavljević, Z., Basarić, I., Lazić, M., Stevanović, M. (2017). Opšti geotehnički uslovi izgradnje autoputa E-80 Niš – Merdare, Deonica: Niš – Pločnik, II Deo, Zbornik radova VII naučno-stručnog međunarodnog savetovanja: Geotehnički aspekti građevinarstva, 83-92.

# GRAĐEVINSKI PROJEKAT TRASE AUTOPUTA E-763: BEOGRAD - POŽEGA NA DELU SURČIN - OBRENOVAC, TRASOM PO LEVOJ OBALI SAVE

## CIVIL ENGINEERING DESIGN FOR THE ALIGNMENT OF THE E-763 BELGRADE – POŽEGA HIGHWAY, SURČIN – OBRENOVAC SECTION ALONG THE LEFT BANK OF THE SAVA RIVER

Isidora Pančić, master. inž. građ.<sup>1</sup>  
Dragoslav Dragičević, dipl. inž. građ.<sup>1</sup>  
Boško Šarović, dipl. inž. građ.<sup>1</sup>  
mr Novica Stevanović, dipl. inž. građ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd, Republika Srbija

**Rezime:** Predmet ovog rada je autoput E-763 Beograd - Požega, sektor: Beograd - Ljig, deonica: Surčin - Obrenovac, koji je dužine 17,5 km. Projektovana trasa autoputa E-763 na deonici: Surčin - Obrenovac se na svom početku petljom "Surčin" povezuje sa trasom autoputa E-75/E-70. Nakon prelaska reke Save i Kolubare, na kraju trase, projektovana je petlja "Obrenovac" u cilju povezivanja trase autoputa Surčin - Obrenovac i državnog puta br.26 1b reda (tzv. Obrenovački put). Cilj rada je da prikaže osnovne podatke o elementima projektne geometrije, saobraćajnim analizama i prognozama, konceptu odvodnjavanja sa osvrtom na prateću tehničku infrastrukturu. U radu su date i osnovne informacije o geološkoj građi terena, inženjerskogeološkim, hidrološkim, hidrografskim i klimatskim parametrima razmatranog područja kroz koje će proći budući autoput.

**Ključne reči:** Autoput E-763, deonica Surčin-Obrenovac, leva obala Save

**Abstract:** This paper deals with the E-763 Belgrade – Požega Highway, Sector: Belgrade - Ljig, Section: Surčin – Obrenovac in the length of 17.5 km. The designed alignment of the E-763 Highway, Surčin – Obrenovac section starts at "Surčin" interchange, which connects it to the E-75/E-70 Highway. The highway alignment passes over the Sava and Kolubar Rivers and ends at newly designed "Obrenovac" interchange that connects the Surčin – Obrenovac highway section and class 1b state road No. 26 (so-called Obrenovački road). The objective of this paper is the presentation of main data on the design geometry elements, traffic analyses and forecasts and drainage concept with reference to related technical infrastructure. The paper gives the basic information about geological structure of the ground, and engineering geological, hydrological, hydrographic and climatic parameters for the studied area through which the future highway will pass.

**Key words:** the E-763 Highway, Surčin - Obrenovac section, left bank of the Sava River

### 1. UVOD

Saobraćajni institut CIP je projektovao na nivou Projekta za izvođenje, trasu autoputa od Surčina do Obrenovca. Planski osnov za izradu Projekta za Građevinsku dozvolu i Projekta za izvođenje je Prostorni plan područja posebne namene infrastrukturnog koridora Beograd - Južni Jadran, deonica Beograd - Požega. Razmatrana saobraćajnica vezuje se na samom početku denivelisanom raskrslanicom kod Surčina na državni put 1a reda - A1 (E-75). Trasa autoputa projektovana je pored naselja Jakova i Boljevaca da bi pružajući se pravcem sever-jug došla do reka Save i Kolubare koje prelazi mostom dužine 1580 m. Nakon prelaska reka autoput preko petlje Obrenovac ostvaruje vezu sa državnim putem 1b reda br. 26b kod Obrenovca. Izgradnjom deonice autoputa Surčin-Obrenovac svim učesnicima u saobraćaju na predmetnom području omogućeno je da se preko visokokapacitetne saobraćajnice, uključe u pravac Beograd - Južni Jadran. Kada se, u budućnosti, bude izgradila gradska magistrala od Surčina do Novog Beograda korisnici će na jednostavan način ući u uže gradsko jezgro Beograda.

### 2. Geološka, hidrogeološka i geotehnička svojstva terena

Na ispitivanom području, duž trasa autoputa E-763 na deonici Surčin - Obrenovac do dubine istraživanja, zastupljeni su aluvijalni i rečno-jezerski sedimenti kvartarne starosti ispod kojih se nalaze sedimenti neogene (pliocene ili miocene) starosti.

Aluvijalni sedimenti izgradjuju površinu terena i u okviru njih može se izdvojiti nekoliko facija (povodnja, korita i recentne bare).



Facija povodnja izgrađuje površinu terena u debljini 3 - 7 m, max oko 10 m. U okviru nje u površinskoj zoni zastupljene su glinovito peskovite prašine niske do srednje plastičnosti, ređe visoke plastičnosti. Dublju zonu izgrađuju peskovite prašine, peskovi i lokalno muljevi. Sredina je znatno do srednje stišljiva.

Faciju korita čini sitnozrni i srednjezrni pesak, lokalno prašinsti pesak i sitnozrni do srednjezrni šljunak. Debljine je od 1 m do 5 m, max. 8 - 10 m, a lokalno izostaje. Sredina je slabo stišljiva, međuzrske poroznosti i dobre vodopropusnosti.

U faciji recentnih bara koje su lokalno zastupljene na površini terena, prisutne su prašine, prašinate gline, muljevi i pesak, debljine uglavnom od 1 do 3 m, lokalno do 5 m. Sredina je niske do visoke plastičnosti, ređe neplastična, uglavnom znatno stišljiva, međuzrske poroznosti sa povremenom akumulacijom podzemne vode.

Rečno - jezerski sedimenti se nalaze ispod aluvijona na dubini većoj od 10 m (mereno od površine terena). Predstavljeni su sa glinovitom prašinom, prašinstim peskom, peskom, sitnozrnim i srednjezrnim peskovitim šljunkom i lokalno sa fragmentima peščara. Debljina naslaga je različita, od 20 m na početku trase i u pravcu rasta stacionaže debljina se postupno smanjuje i naslage isklinjavaju u blizini rečnog korita na levoj obali Save. U pogledu otporno-deformabilnih svojstava, sredina je heterogena (nepovoljna do povoljna), međuzrske poroznosti i sa stalnom je akumulacijom podzemne vode.

Ispod slojeva rečno-jezerskih sedimenata nalaze se laporovito-glinoviti i laporoviti sedimenti. To su pretežno tvrde i krte, koherentne i masivne stenske mase, u zoni kore raspadanja izmenjene i prslinsko-pukotinski izdeljene. Ovi sedimenti su srednje do slabo stišljivi i imaju povoljna fizičko-mehanička svojstva za fundiranje objekata.

Na osnovu raspoloživih podataka o geološkoj građi terena, usvojeno je da se svi objekti na trasi autoputa, kao i most preko Save i Kolubare, fundiraju duboko na šipovima - kesonima.

## 2.1 Hidrogeološka svojstva terena

Hidrogeološke karakteristike terena su u direktnoj zavisnosti od geološke građe, strukturnih svojstava terena i zastupljenog tipa poroznosti. Navedene stenske mase koje izgrađuju teren istražnog prostora su različitih hidrogeoloških karakteristika. U neposrednoj zoni trase autoputa prema propusnosti mogu se izdvojiti: propusne, polupropusne i nepropusne stenske mase.

Propusne stenske mase su rečne i rečno-jezerske peskovito-šljunkovite naslage. Ovi sedimenti su međuzrske poroznosti i predstavljaju vodonosnu sredinu u kojoj je formirana značajna akumulacija podzemne vode. Koeficijent filtracije ovih naslaga je  $k_f = 1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4}$  m/s.

Polupropusne stenske mase predstavljene su aluvijalnim glinovito peskovitim prašinama, prašinama, barskim glinama i rečno - jezerskim glinovito prašinstim naslagama. Ove naslage predstavljaju završne članove facijalnih ciklusa u okviru rečnih i rečno-jezerskih sedimenata. Koeficijent filtracije polupropusnih stenskih naslaga je  $k_f = 1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$  m/s.

Nepropusne stenske mase su neogene glinovito laporovite naslage koje se nalaze ispod propusnih - vodonosnih sedimenata. Ove stenske mase u svom povlatnom delu - u zoni kore raspadanja imaju dvojni poroznost međuzrnsku i prslinsko-pukotinsku i predstavljaju sredinu sa niskim filtracionim karakteristikama. U dubljem-neizmenjenom delu ove naslage su vodonepropusne.

## 3. Hidrološki, hidrografski i klimatski parametri

Temperaturni režim područja u kome se nalazi trasa pokazuje sve odlike kontinentalne klime. Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 12,6°C. Srednja mesečna vrednost temperature je u intervalu od 1,1°C u januaru do 23.7 °C u julu.

Mesec sa najvećim prosečnim brojem kišnih dana je april (16,8 dana), a sa najmanjim su februar i jul (8,4 dana). Kiša koja se ledi je pojava koja se javlja u januaru, februaru i martu. Snežne padavine (u svim oblicima) se javljaju od novembra do marta, a najčešće u februaru, prosečno 9.5 dana.

Magla se najčešće registruje u periodu novembar – februar. Pri tome, dan sa maglom je dan u kome je zabeležena pojava magle, bez obzira na dužinu trajanja. Prosečan broj dana sa maglom u godini je 53. Najčešća je magla koja traje od 1 do 8 uzastopnih termina (4 sata). Magla sa trajanjem dužim od 16 termina (8 sati) karakteristična je za period od oktobara do februara, ali je najčešća tokom novembra i januara. Magla koja traje duže od 24 termina (12 sati) javlja se u periodu novembar – februar. Magla koja traje duže od 48 termina (24 sata) veoma se retko javlja.

Merodavna kiša za dimenzionisanje sistema atmosferskih voda utvrđuje se prema srednjem intenzitetu kiše (l/s/ha). Za predmetni projekat usvojeno je:

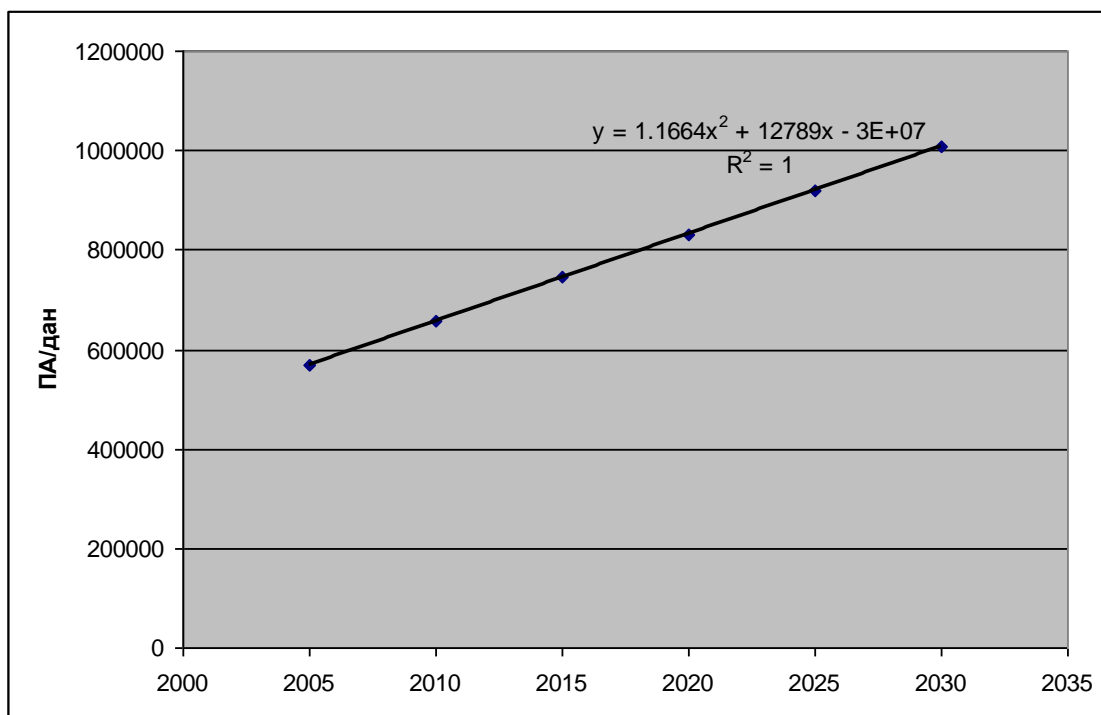
- najbliža pluviografska stanica	Beograd
- povratni period Tt =	10 godina
- vreme trajanja kiše t =	15 min
- intenzitet i =	344 l/s/ha
- vodeni talog merodavne kiše	31mm
- uslovi oticanja (koeficijent oticanja):	za asfalt 0,90; za zelene površine 0,25

#### 4. Saobraćajne analize i prognoze

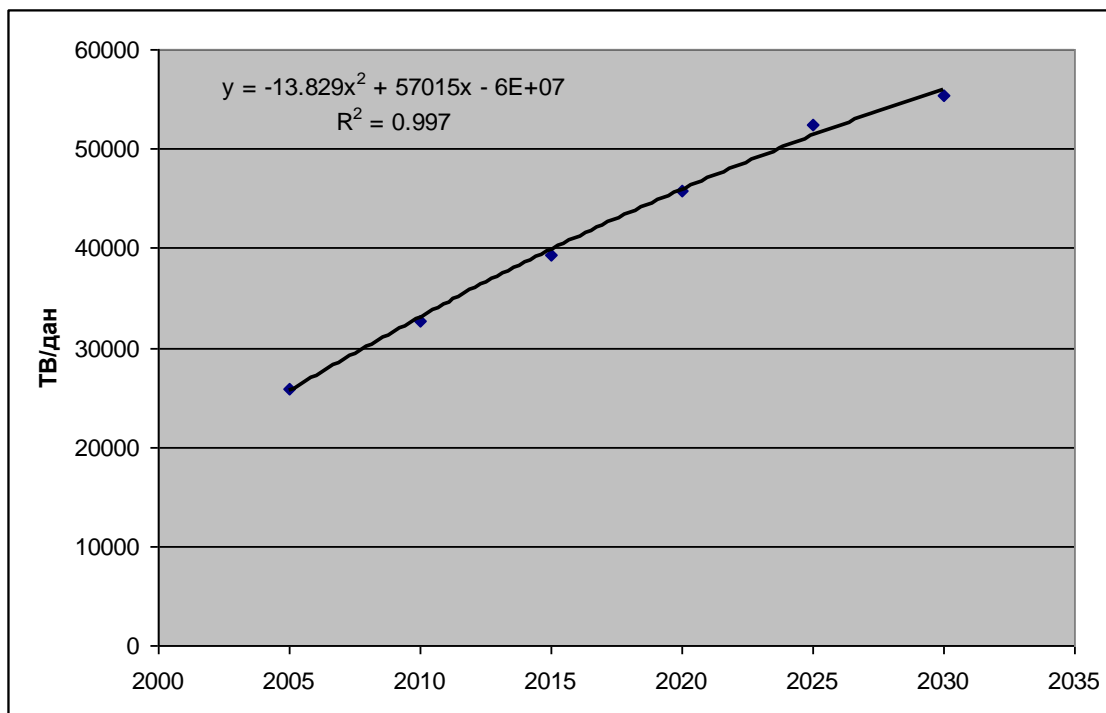
Saobraćajne analize i prognoze, autoputa E-763, Beograd - Požega, deonica: Novi Beograd - Obrenovac nastale su kao rezultat analize do sada obavljenih zadataka vezanih za navedeni autoputski pravac, obilaznicu oko Beograda i drugih bitnijih projekata gradske drumske infrastrukture (Unutrašnji magistralni prsten, Spoljna magistralna tangenta i Severna tangenta), kako urbanističkih planova i projektantskog dela, tako i samih izvedenih radova, i sagledavanja potreba i mogućnosti u njihovoj daljoj realizaciji.

Modelsko simuliranje opterećenja saobraćajne mreže izvršeno je u programskom paketu VISUM, u različitim vremenskim preseccima, uz promenu saobraćajnih zahteva i same mreže saobraćajnica. Stanje na mreži simulirano je, počev od 2010.god., na po pet godina do 2030. god., sa različitim scenarijima razvoja saobraćajnih veza.

Naredni grafici, slike 1 i 2 predstavljaju očekivane krive porasta obima saobraćaja na putnoj mreži grada Beograda. Nastali su na osnovu sagledavanja saobraćajnih studija (Transportni model grada Beograda i Generalnog i Idejnog projekta saobraćajnice "Severna tangenta"). Prognoza je data razdvojeno za putničke automobile, u odnosu na teretna vozila.



Slika 1: Prognoza saobraćaja na putnoj mreži grada Beograda - PA (voz/dan)



Slika 2: Prognoza saobraćaja na putnoj mreži grada Beograda - TV (voz/dan)

## 5. Funkcionalne i tehničke karakteristike primenjenih rešenja

### 5.1 Granični elementi plana i profila

Granični elementi podrazumevaju proračun minimalnih i maksimalnih vrednosti za situacioni plan, podužni profil, poprečni profil i preglednost u funkciji računске brzine deonice  $V_r = 120$  km/h.

#### Situacioni plan:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| • maksimalna dužina pravca                           | max L = 2400 m      |
| • minimalni radijus horizontalne krivine             | min R = 750 m       |
| • minimalni radijus horizontalne krivine sa $i_{pk}$ | min R' = 4500 m     |
| • minimalna dužina prelazne krivine                  | min L = 110 m       |
| • min dužina zaustavne preglednosti pri $i_n=1\%$    | min $P_z = 255$ m   |
| • maksimalna širina zone preglednosti                | max $b_p = 12.05$ m |

#### Podužni profil:

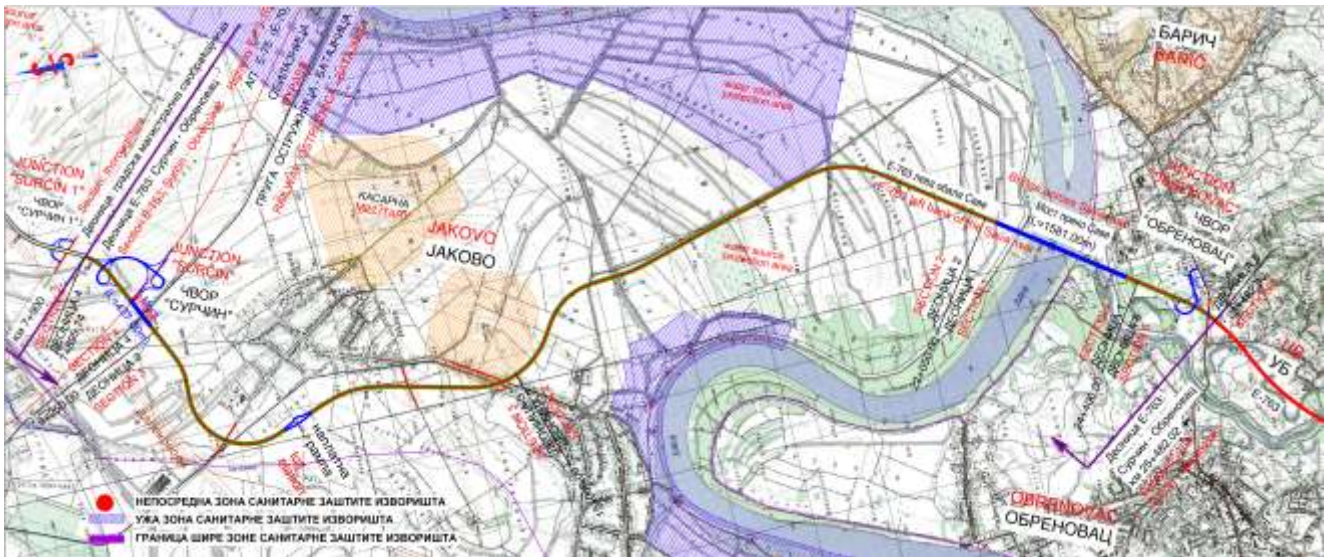
- |   |   |
|---|---|
| • maksimalni podužni nagib                | max $i_n = 2\%$                                   |
| • minimalni podužni nagib                 | min $i_n = 0\%$ - nasip; min $i_n = 0.5\%$ - usek |
| • maksimalni nagib rampe vitoperenja      | max $i_{rv} = 0,75\%$                             |
| • minimalni radijus konkavnog zaobljenja  | min $R_v = 10000$ m                               |
| • minimalni radijus konveksnog zaobljenja | min $R_v = 17500$ m                               |

### 5.2 Situaciono i nivelaciono rešenje

Autoputna deonica Surčin - Obrenovac, počinje denivelisanom raskrscnicom "Surčin", na ukrštaju autoputa E-763 sa državnim putem Ia reda-A1 (E-75) i teretnom obilaznom prugom Batajnica - Ostružnica – Pančevo, slika 3.

Trasa autoputa obilazi naselje Jakovo, vojni kompleks u njegovoj blizini i zone ograničenja vodosnabdevanja od Jakova prema reci Savi, u području postojećeg lokalnog puta. Pritom seče dva veća irigaciona kanala - Petrački i Zidinski, kao i nekoliko manjih, od kojih se neki mogu prevezati u novi kanal, dok su preostali povezani cevastim propustima velikog prečnika.

Ova deonica završava se denivelisanom raskrsnicom "Obrenovac", pošto prethodno mostom pređe preko reka Save i Kolubare, na njihovom ušću. Trasa autoputa se od svog početka proteže naizmeničnim krivinama, a zatim dugim pravcima ka mostu preko reke Save i Kolubare.



Slika 3: Pregledna karta autoput E-763, deonica: Surčin - Obrenovac

Najveći i najznačajniji objekat na deonici je most preko reka Save i Kolubare, na kraju deonice, dužine 1580m. Most je od prednapregnutog betona, a usvojena je varijanta sa stubom u sredini toka reke. Most je projektovan u pravcu, sa niveletom autoputa koja omogućava nesmetan prolaz brodova pri koti velike vode (76.00m). Kota donje ivice mostovske konstrukcije za projektovani objekat preko reke Save je minimalno 9.5 m iznad visokog plovidbenog nivoa. Trasa ove deonice se uklapa u projektovanu deonicu Obrenovac - Ub.

Na levoj obali reke Save, od pomenutog mosta do obilaznice autoputskog profila oko Beograda, nalaze se zaštićene zone izvorišta i reni bunara koje se obilaze. U tom delu trase predviđena je zaštita područja od štetnog uticaja atmosferskih voda sa kolovoza i drugih voda koji mogu da prodru u podtlo, primenom vodonepropusnih folija u trupu nasipa.

Niveleta autoputa na ovoj deonici, projektovana je tako da je ceo put u nasipu. Ovako projektovana niveleta omogućava pravilno odvodnjavanje, jer je posteljica autoputa oko 1 - 1.5 m iznad terena. Na navoznim rampama ka objektima (most na reci Savi i vijadukt preko železničke pruge, na ukrštaju sa obilaznim autoputom E - 75 / E - 70), projektovan je nagib nivelete od 2%, što čini oštrinu preloma nivelete u granicama propisa kad se radi o prelazu preko prepreka u ravničarskom terenu. Na delu trase na terenu na levoj obali Save, nagibi nivelete su minimalni i omogućavaju pravilno odvodnjavanje kolovoza pri zatvorenom sistemu odvodnjavanja, koji je ovde primenjen. Najmanji projektovan nagib nivelete autoputa iznosi 0% a najveći 2%, na ovoj deonici.

Na ukrštajima autoputa sa lokalnim putevima, predviđeni su oštriji nagibi nivelete, 3% - 4%, kako bi se smanjili troškovi gradnje.

### 5.3 Poprečni profili

Normalni poprečni profil usvojen je na osnovu računске brzine od  $V_r = 120$  km/h. Elementi normalnog poprečnog profila su:

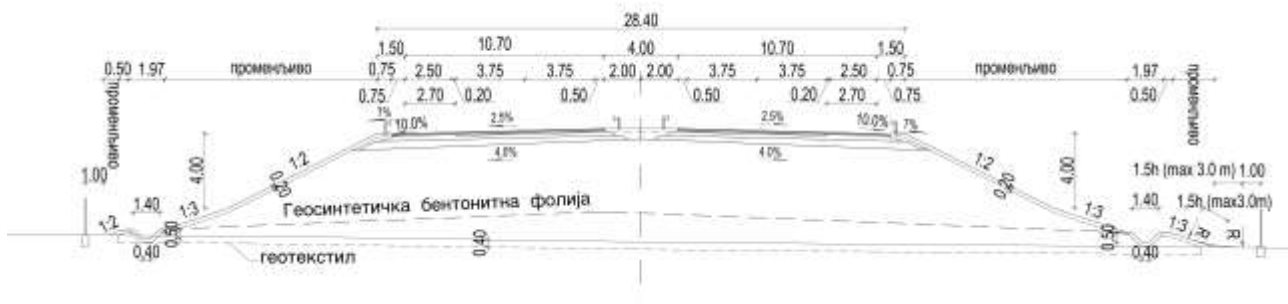
kolovozne trake $2 \times 3.75 \times 2 =$	15.00m
razdelna traka= $4.00m$	
zaustavne trake $2 \times 2.50 =$	5.00m
ivične trake $2 \times 0.50 + 2 \times 0.20=$	1.40m
bankine $2 \times 1.5=$	3.00m
<b>ukupno =</b>	<b>28.40m</b>

Građevinski projekat trase autoputa E-763: Beograd-Požega na delu Surčin-Obrenovac, trasom po levoj obali Save

Niveleta autoputa projektovana je tako da je ceo autoput u nasipu visine od 1 do 4 m iznad postojećeg terena, dok su u zonama navoznih rampi za objekte nasipi većih visina (6 - 9 m). Ovako projektovana niveleta je uslovljena hidrotehničkim zahtevima i maksimalnim kotama nivoa vode plovne reke Save. Usvojeno je da se projektovani nasipi u trupu autoputa visine do 4 m izvode sa kosinama nagiba 1:2, a nasipi većih visina imaju kosine u nagibu 1:2 (do 4 m) i 1:3 (dalje postepeno ublaženje do nožice nasipa), slika 4.

Izrada nasipa (od refulisanog peska) će se vršiti na celoj deonici na aluvijalnim sedimentima. Nosivost aluvijalnih sedimenata je promenljiva. Dublji delovi aluvijona su srednje do malo stišljivi, dok su površinski delovi aluvijona lokalno znatno do srednje stišljivi. Obzirom na visinu projektovanih nasipa i promenljivu stišljivost podloge, očekuju se lokalno veći iznosi sleganja tla ispod nasipa.

Pre izrade nasipa, neophodno je ukloniti sa površine terena humusni sloj debljine oko 20 -30 cm (lokalno maksimalno 40 - 50 cm i minimalno 10 cm). Teren u zoni projektovane trase čine materijali koji imaju niske vrednosti Kalifornijskog indeksa nosivosti CBR = 2.3 - 4.1 % .Kako je teren sa visokim nivoom podzemne vode (što daje toj sredini visoku prirodnu vlažnost i plastičnost), projektom je predviđeno da se nakon skidanja humusnog sloja i prethodno izvršenog izravnavanja površine terena, postavi geotekstil (koji ima i filtracionu i separacionu ulogu). Nakon toga treba izvršiti nasipanje slojeva peska u debljini od 40 cm i potom njihovo zbijanje.



Slika 4: Normalni poprečni profil autoputa E-763 na deonici Surčin-Obrenovac

Na mostu preko reka Save i Kolubare i na petlji "Surčin", uključujući i prelaz preko železničke pruge zadržana je širina mosta kao na osnovnoj trasi autoputa (sa zaustavnim trakama).

Na dužini autoputa od km 14+800.00 do km 22+516.12 koji prolazi kroz zaštićenu zonu vodozahvata, u nasipu je predviđena ugradnja prostirke - plastificirane nepropusne folije, kako bi se zaštitila zona vodozahvata od "atmosferske uprljane vode" koja i pored zatvorenog sistema odvodnjavanja, eventualno može da prođe u podtlo.

## 6. Kolovozna konstrukcija

Usvojeno rešenje za novu mešovitu (polu-krutu i fleksibilnu) kolovoznu konstrukciju glavne/otvorene deonice na voznoj, preticajnoj i zaustavnoj saobraćajnoj traci autoputa E-763 i prikazano je na slici 5.

Nasip:

vozna i preticajna traka		zaustavna traka	
SMA 0/11s sa PmB	4 cm	AB 11s	4 cm
BNS 22 sA gornji noseći sloj	7 cm	BNS 22 sA gornji noseći sloj	7 cm
BNS 22 sA gornji noseći sloj	7 cm	DK 0/31.5 drobljeni kamen	27 cm
CST DK 0/31.5 cementna stabilizacija drobljenim kamenom	20 cm		
DK 0/31.5 drobljeni kamen	25 cm	DK 0/31.5 drobljeni kamen	25 cm
Posteljica - CBR $\geq$ 8% refulisani pesak završni sloj i/ili zamena nasipa - sloj ispod posteljice refulisani pesak min. 30 cm		Posteljica - CBR $\geq$ 8% refulisani pesak završni sloj i/ili zamena nasipa - sloj ispod posteljice refulisani pesak min. 30 cm	

**Podtlo - trup ispod posteljice - CBR  $\geq$  5 %**

Slika 5. Šematski prikaz rešenja za mešovitu ( polu-kruta u fleksibilnu ) za nove trake kolovoznu konstrukciju za nove trake autoputa E-763

## 7. Odvodnjavanje

Na deonici od Surčina do Obrenovca, u cilju odvodnjavanja kolovoznih površina i razdelnog pojasa između kolovoznih traka, usvojen je koncept odvodnjavanja sa kontrolisanim, zatvorenim sistemom odvođenja površinskih voda sa kolovoza i tretmanom istih (prečišćavanje) pre upuštanja u recipijente. Površinska voda se odvodi putem rigola ili duž izdignutih ivičnjaka do koruba odnosno slivnika, potom do trapezastih ili segmentnih betonskih kanala kojima podužno, po kosini nasipa, dolazi do mesta izlivanja u retenzije ili separatore, gde se posle prečišćavanja ispušta kao čista u postojeće recipijente.

Obzirom na izraženu ravnu topografiju terena, predviđeni su kanali za odvodnjavanje sa minimalnim podužnim nagibima, kako se niveleta autoputa ne bi dodatno izdizala. Dreniranje ispod kolovozne konstrukcije je omogućeno poprečnim nagibom posteljice od 4.0%, uz napomenu da se mestimično nagib smanjuje i do 2.5%, u zonama gde se niveleta kanala visinski približava niveleti autoputa.

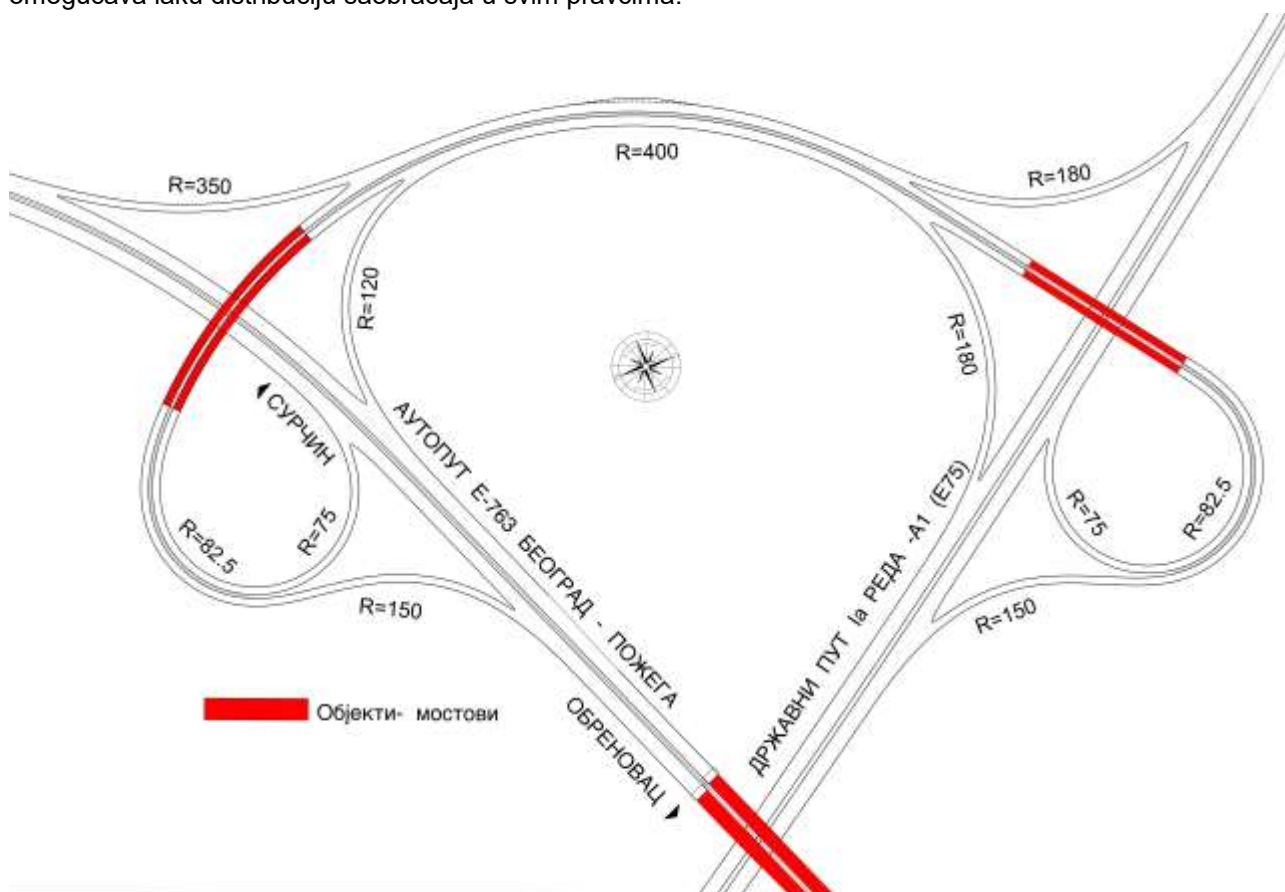
Retenzioni objekti su postavljeni uz najbliže recipijente i predstavljaju vezu sa depresionim tačkama nivelete autoputa, koje su uglavnom mesta ispusta atmosferskih voda. Prečnici izlaznih cevi projektovane kanalizacije su od  $\Phi$ 500 -  $\Phi$ 800 mm a obloženi betonski kanali su širine 0.40 m u dnu sa nagibima kosina 1:1. Mikrolokacija i veličina retenzije, diktirana je položajem recipijenta i konfiguracijom terena. Zapremina projektovanog retenzionog objekta je dovoljna za prihvatanje kiša čija je verovatnoća pojave jednom u 10 godina. Zone izliva iz retenzija i separatora u melioracione kanale su zaštićene od erozije krupnim kamenom. Koalescentni hvatač ulja omogućava prečišćavanje atmosferskih voda do 5 mg/l ulja. Proticaj kroz uređaj je u skladu sa uslovima prečišćavanja merodavnog (kritičnog) proticaja i kreće se od 20 do 100 l/s.



## 8. Denivelisane raskrsnice

Na deonici su projektovane dve denivelisane raskrsnice (petlje): 1. Surčinska "petlja" - ukrštanje sa obilaznim autoputom E-70/75 u zoni naselja Surčin; 2. Obrenovačka "petlja" - veza sa državnim putem 1b reda br.26, Beograd - Umka - Obrenovac.

Prva, Surčinska "petlja" je po tipu "dupla truba", sa punim programom veza, slika 6. Na obilaznom autoputu E-70/75 Batajnica - Ostružnica - Bubanj Potok - Pančevo, neće biti naplate putarine, jer bi u protivnom, dobar deo tranzitnog i lokalnog saobraćaja, koji treba da se odvija ovom obilaznom saobraćajnicom, išao opet kroz centar Beograda, postojećom trasom. U tom smislu projektovana denivelisana raskrsnica omogućava laku distribuciju saobraćaja u svim pravcima.

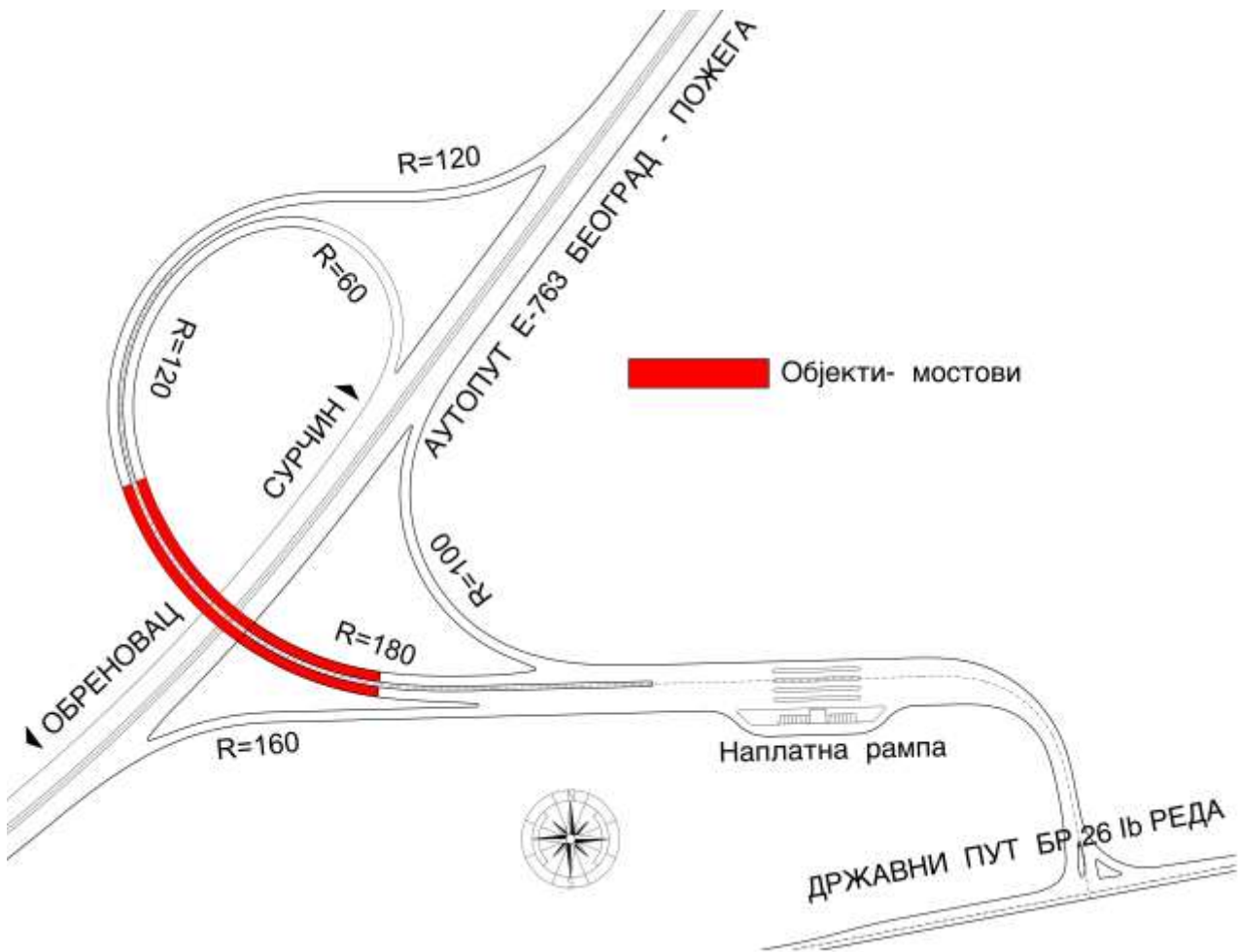


Slika 6: Denivelisana raskrsnica "Surčin"

Denivelisana raskrsnica "Surčin" je projektovana na potezu prema Savi, na oko 500m udaljenosti od tačke ukrštanja autoputa E-763 i obilaznog puta oko Beograda. Ovakvim rešenjem izbegnute su sve konfliktne tačke "petlje" Surčin (deo petlje na obilaznom putu) sa postojećom železničkom prugom i gasovodom. Površina kolovoza na konstrukciji kod ovog rešenja iznosi 21000 m<sup>2</sup>.

Širina kolovoza za dvosmerni saobraćaj na petlji Surčin je 2x6.00 m (unutar svake od dve "trube") sa razdelnim pojasom od 3.00 m. Na delu kolovoza za dvosmerni saobraćaj između dve "trube" predviđen je kolovoz širine 2x8.00 m sa razdelnim pojasom od 3.00 m. U okviru kolovoza širine 8.00 m po smeru, predviđene su dve vozne trake po smeru. Između dve "trube" omogućena je dužina "preplitanja" saobraćajnih tokova od 400m, što je dovoljno za bezbedno odvijanje saobraćaja u svim smerovima.

Obrenovačka "petlja", projektovana je po tipu "trube" sa prioriternim pravcem Obrenovac-Beograd, slika 7. Omogućava saobraćaj u svim pravcima i po tipu i izgledu je veoma slična projektovanoj "petlji" na deonici Umka - Obrenovac, koju je obradio Institut za puteve. Naplatna rampa na autoputu, koja je u okviru petlje, je na priključnoj saobraćajnici od autoputa do postojećeg državnog puta 1b reda br. 26 Beograd-Obrenovac. U okviru "petlje" rezervisan je prostor za naknadnu izgradnju baze za održavanje autoputa.



Slika 7: Denivelisana raskrsnica "Obrenovac"

Širina kolovoza za dvosmerni saobraćaj na petlji Surčin je 2x6.00 m sa razdelnim pojasom od 3.00 m, a širina rampe je 3,5+1,5+0,5=6m.

## 9. Naplatne rampe

U okviru Projekta predviđene su dve naplatne rampe – Jakovo i Obrenovac.

Početak platoa naplatne rampe "Jakovo" je na stacionaži km 11+800, a kraj na km 12+250. Na mestu gde je planirana naplatna rampa, kolovoz je proširen s obe strane. Plato naplatne rampe je u pravcu.

Broj naplatnih kanala na naplatnoj rampi iznosi 12 (dvanaest). U smeru ka Beogradu predviđen je jedan kanal sa spoljne strane rampe za vangabaritna vozila koji u isto vreme služi i za elektronsku naplatu putarine, dodatni kanal za elektronsku naplatu, kanal za kombinovanu (elektronsku i manuelnu) naplatu putarine, četiri kanala za manuelnu naplatu. U smeru ka Obrenovcu su jedan kanal sa spoljne strane rampe za vangabaritna vozila koji u isto vreme služi i za elektronsku naplatu putarine, jedan kanal za kombinovanu (elektronsku i manuelnu) naplatu putarine, jedan kanal za manuelnu naplatu. Dva kanala su dvosmerni i služe za manuelnu naplatu putarine.

Dužina ostrva na naplatnom mestu iznosi 52,0m, što je prilagođeno modernizovanom sistemu naplate putarine. Širina ostrva je 2,20m, širina saobraćajnih traka između naplatnih ostrva je 3.50m i širina krajnjih saobraćajnih traka je 4.50m (za prolaz vangabaritnih vozila).



Početak platoa naplatne rampe "Obrenovac", koja je u okviru denivelisane raskrsnice "Obrenovac" je na stacionaži km 0+206.56 a kraj na km km 0+308.56. Na mestu gde je planirana naplatna rampa, kolovoz je proširen s obe strane. Plato naplatne rampe je u pravcu.

Kolovozna konstrukcija na naplatnoj rampi se izvodi na centralnom delu proširenja platoa i to od stacionaže km 0+206.56 do km 0+308.56.

Broj naplatnih kanala na naplatnoj rampi iznosi 5 (pet). U smeru autoputa odnosno Beograda su: jedan kanal sa spoljne strane rampe za vangabaritna vozila koji u isto vreme služi i za elektronsku naplatu putarine, kanal za kombinovanu (elektronsku i manuelnu) naplatu putarine. U smeru izlaza sa autoputa odnosno u smeru Obrenovca su jedan kanal sa spoljne strane rampe za vangabaritna vozila koji u isto vreme služi i za elektronsku naplatu putarine, jedan kanal za kombinovanu (elektronsku i manuelnu) naplatu putarine. Jedan kanal je dvosmerni i služi za manuelnu naplatu putarine.

Dužina ostrva na naplatnom mestu iznosi 52,0m, što je prilagođeno modernizovanom sistemu naplate putarine. Širina ostrva je 2,20m, širina saobraćajnih traka između naplatnih ostrva je 3.50m i širina krajnjih saobraćajnih traka je 4.50m (za prolaz vangabaritnih vozila).

## 10. Zaključak

Trasa autoputa po ovoj varijanti, minimalno prelazi urbanim prostorom, potpuno izbegava nestabilne terene, a zaštita životne sredine, posebno budućeg izvorišta, se može pouzdano i racionalno ostvariti, ekonomski prihvatljivim rešenjima.

Projekat je urađen tako da daje optimalno rešenje ulaska trase autoputa u Beograd, uvažavajući elemente planske važeće dokumentacije. S tim u vezi, po mišljenju Projektanta, neophodno je, kao nastavak, uraditi i gradsku magistralnu saobraćajnicu od Surčina do Novog Beograda, čime bi sve izgrađene deonice autoputa od Beograda do Požege dobile pun smisao, dok bi se svim učesnicima u saobraćaju u najvećoj meri podigao kompletan nivo usluge na predmetnom autoputnom pravcu.

Opšti je zaključak da je napred navedeno moguće izvršiti sagledavanjem relevantnih činilaca, uz poštovanje svih ekonomskih, saobraćajnih i ekoloških zahteva.

## Literatura

- [1] Saobraćajni institut CIP d.o.o.: Projekat za Izvođenje autoputa E-763 Beograd - Požega, sektor: Beograd - Ljig, deonica: Surčin – Obrenovac, Beograd 2018.
- [2] Saobraćajni institut CIP d.o.o.: Projekat za Građevinsku dozvolu autoputa E-763 Beograd - Požega, sektor: Beograd - Ljig, deonica: Surčin – Obrenovac, Beograd 2017.
- [3] Prirucnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, Beograd, 2012.
- [4] Maletin M., Anđus V.: Tehnička upustva za projektovanje vangradskih puteva, Beograd, 2008.
- [5] Anđus V.: Metodologija projektovanja puteva, Beograd, 1993.
- [6] Maletin M., Anđus V., Katanić J.:Projektovanje puteva, Građevinska knjiga , Beograd, 1983.
- [7] Važeća zakonska regulativa na teritoriji Republike Srbije

## OPTIMALNO PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE CESTA NA PRIMJERU OBILAZNICE

**Boris Čutura<sup>1</sup>, Ivan Lovrić<sup>2</sup>, Ammar Šarić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, [boriscutura@gmail.com](mailto:boriscutura@gmail.com)

<sup>2</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, [ivan.lovric40@gmail.com](mailto:ivan.lovric40@gmail.com)

<sup>3</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, [ammar.saric@hotmail.com](mailto:ammar.saric@hotmail.com)

**Rezime:** Ključna faza za optimalno planiranje i projektiranje infrastrukturnih projekata je od početne ideje do fizibiliti studije. Fizibilnost je glavni parametar za odlučivanje pri odabiru projekta, ali to često i nije slučaj u našem okruženju. U praksi su projektni zadaci vrlo često ograničavajući faktor pri analizama, unatoč jasno razrađenoj metodologiji u pravilnicima (smjernicama). Najvažniji preduvjeti za optimalno projektno rješenje su kvalitetne prometne, prostorne i ekološke analize. Najveći problem se javlja u fazi izrade generalnog projekta i u ovom radu su prikazani oni koji se najčešće susreću prilikom izrade projektne dokumentacije.

**Ključne reči:** fizibilnost, projektne varijante, idejni projekt, fizibiliti studija.

## OPTIMAL ROAD PLANNING AND DESIGNING ON EXAMPLE OF THE BYPASS

**Boris Čutura<sup>1</sup>, Ivan Lovrić<sup>2</sup>, Ammar Šarić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Mostar, [boriscutura@gmail.com](mailto:boriscutura@gmail.com)

<sup>2</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Mostar, [ivan.lovric40@gmail.com](mailto:ivan.lovric40@gmail.com)

<sup>3</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Sarajevo, [ammar.saric@hotmail.com](mailto:ammar.saric@hotmail.com)

**Abstract:** For optimal planning and design of infrastructure projects the most important part of whole designing process is from the initial idea to the feasibility study. Feasibility is the main parameter for decision of the most convenient project solution, but that is not often practice in the region. In practice, terms of references are often limiting factor for the project analysis, despite the clearly elaborated methodology in rulebooks (guidelines). The most important preconditions for an optimal project solution are quality traffic, spatial and ecological analysis. The biggest problem occurs during the general project realization and this paper presents the problems encountered during the preparation of the project documentation.

**Keywords:** feasibility, project variants, preliminary design, feasibility study.

---

<sup>1</sup> Boris Čutura: [boriscutura@gmail.com](mailto:boriscutura@gmail.com)

## 1. UVOD

Za optimalno planiranje i projektiranje cestovnih dionica ključna je faza od početne ideje do fizibiliti studije. Glavni parametar za odlučivanje pri odabiru projekta je fizibilnost, što često i nije slučaj kada se govori o okruženju. Unatoč jasno razrađenoj metodologiji u svim pravilnicima (smjernicama) u praksi se vrlo često susreće problem s projektnim zadacima koji predstavljaju ograničavajući faktor pri analizama. Da bi se došlo do optimalnog rješenja u smislu fizibilnosti, ključan preduvjet su kvalitetne prometne, prostorne i ekološke analize. U tom kontekstu najveći problem se javlja u fazi izrade generalnog projekta, a u ovom radu su prikazani problemi s kojim se susreću izrađivači u Bosni i Hercegovini tijekom izrade projektne dokumentacije. Navedeni su konkretni problemi koji su se javljali po pojedinim fazama izrade projektne dokumentacije za obilaznicu Gruda, počevši od idejnog projekta pa do fizibiliti studije.

Zbog kratkoće vremena potrebno je bilo u jednom koraku riješiti probleme studijsko-projektne dokumentacije koji se ubičajeno rade u dvije faze. Prva faza je generalni projekt koji završava predfizibiliti studijom izvedivih varijanti, te nakon toga slijedi druga koja počinje idejnim projektom i završava fizibiliti studijom. Rezultat rada pokazao je da se ispravnim planersko-projektним pristupom ipak može riješiti sve zahtjeve od prostornih, urbanističkih, prometnih, sigurnosnih (posebice s aspekta pješačkog prometa) pa sve do fizibilnosti, što je bilo olakšano jer se radi o relativno malom projektu.

## 2. POČETNE STUDIJSKE I PROJEKTNE ANALIZE

Gledajući problem s aspekta središnjeg dijela Gruda kojim prolazi magistralna cesta javljaju se toliko ozbiljni prometno-sigurnosni problemi koji se (uz nemogućnosti poboljšanja postojeće ceste) jedino mogu riješiti izgradnjom nove prometnice, odnosno rasterećenjem. Postojeće stanje ukazuje na apsolutnu potrebu izgradnje obilaznice, a uz to se radi o relativno zahtjevnom terenu kojim se planira nova obilaznica.

### 2.1. Definiranje problema

Postojeća magistralna cesta M6 na dionici Grude - Sovići ima veliki prometni značaj s obzirom na prometni položaj i to što vodi na međunarodni granični prijelaz s Republikom Hrvatskom (RH) koji je određen kao šengenski u budućnosti. Ova dionica prihvaća značajan tranzitni promet iz južnog smjera (Ljubuški, Čapljina, itd) te preko regionalne ceste R420 iz smjera istoka (Široki Brijeg, Mostar, Sarajevo, itd.), uz značajan promet teških teretnih vozila. Dio magistralne ceste koji prolazi kroz samo središte Gruda ima vrlo lošu geometriju (horizontalnu, vertikalnu i uzak profil) i loše riješena raskrižja, što znatno otežava promet kao i životno okruženje stanovništva. Ova dionica je u stvari gradska ulica (slika 1) s velikim brojem priključaka i velikim pješačkim prometom (škole, dom zdravlja i druge institucije).



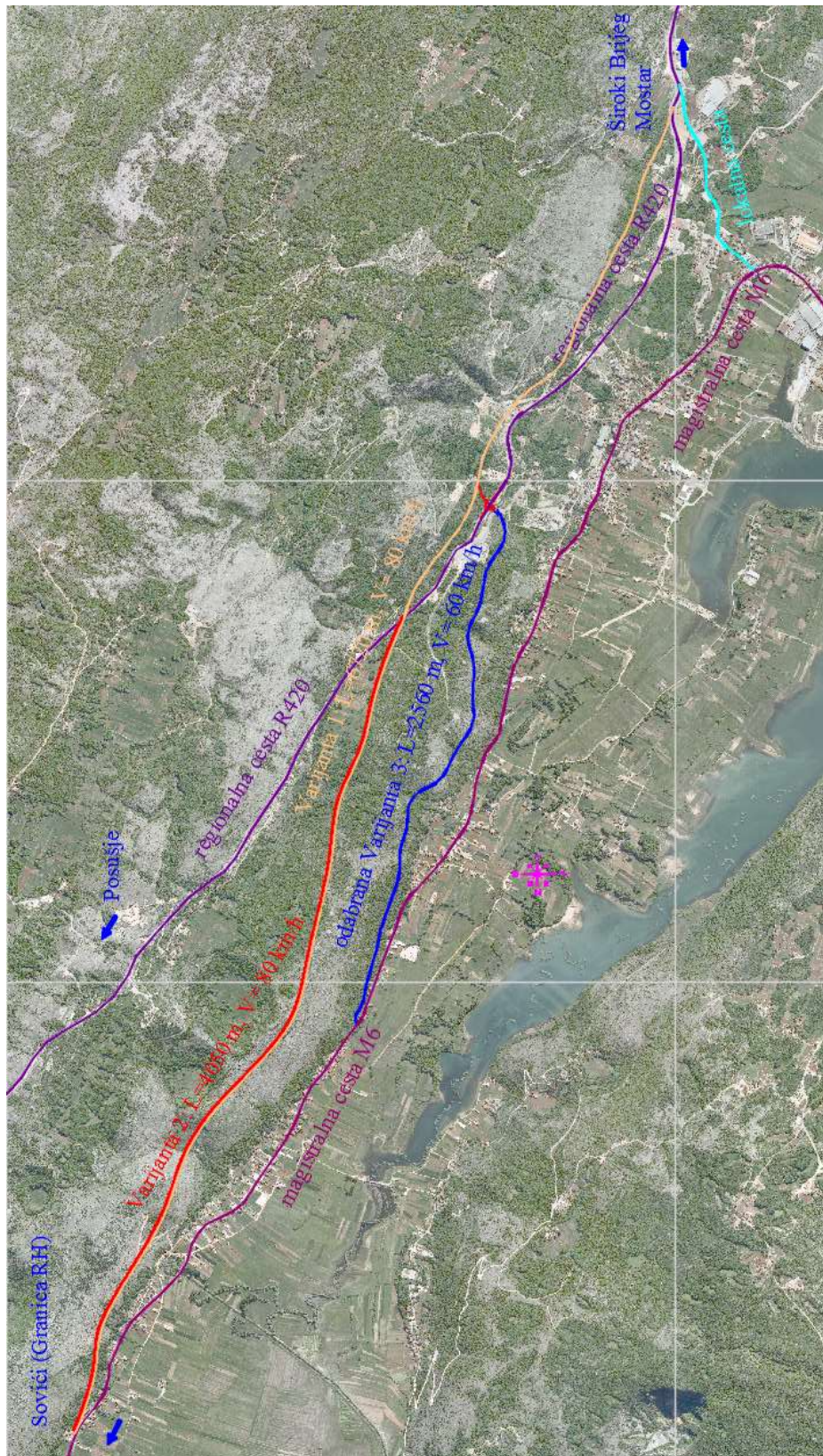
Slika 1. Magistralna cesta M6 kroz središte Gruda [1]

Kao jedino rješenje nameće se izgradnja nove trase u smislu sjeverne obilaznice. Izgradnjom obilaznice omogućilo bi se smanjenje prometa kroz samo središte Gruda i premještanje, što je najvažnije, znatnog dijela teretnog prometa (mogućnost zabrane prometa kroz središte naselja).



## 2.2. Odabir varijante

U početnoj fazi na zahtjev investitora analizirano je nekoliko varijanti kojim bi se direktno (sada ih spaja lokalna cesta) povezale regionalna cesta R420 i magistralna cesta M6 (slika 2).



Slika 2. Položaj Sjeverne obilaznice Gruda [2]

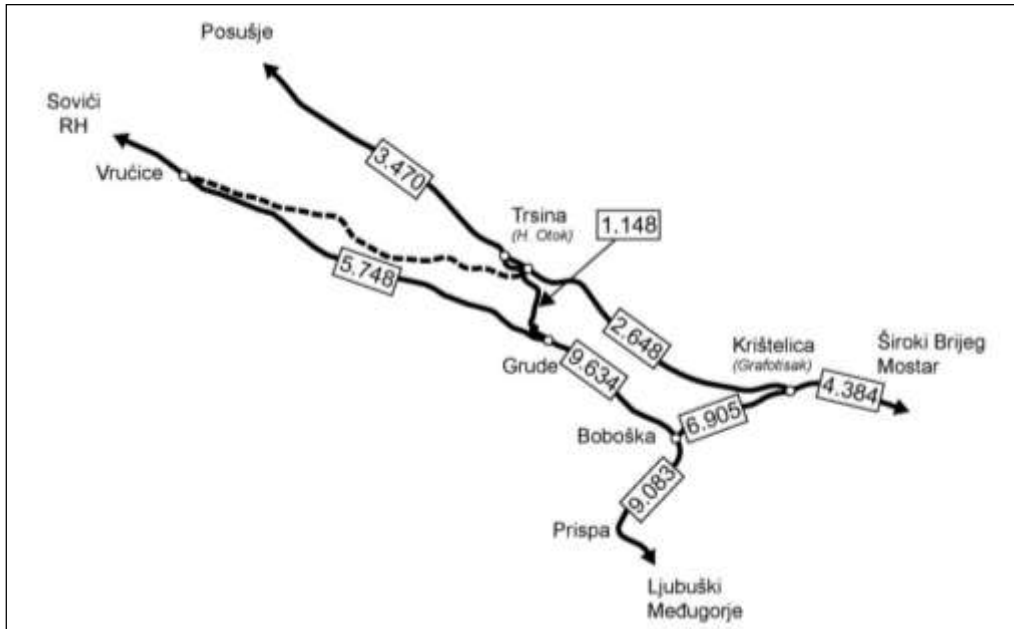


Razmatrane su 3 varijante obilaznice:

- Varijanta 1: duljine  $L = 6720$  m i brzine  $V_f = 80$  km/h,
- Varijanta 2: duljine  $L = 4050$  m i brzine  $V_f = 80$  km/h,
- Varijanta 3: duljine  $L = 2560$  m i brzine  $V_f = 60$  km/h.

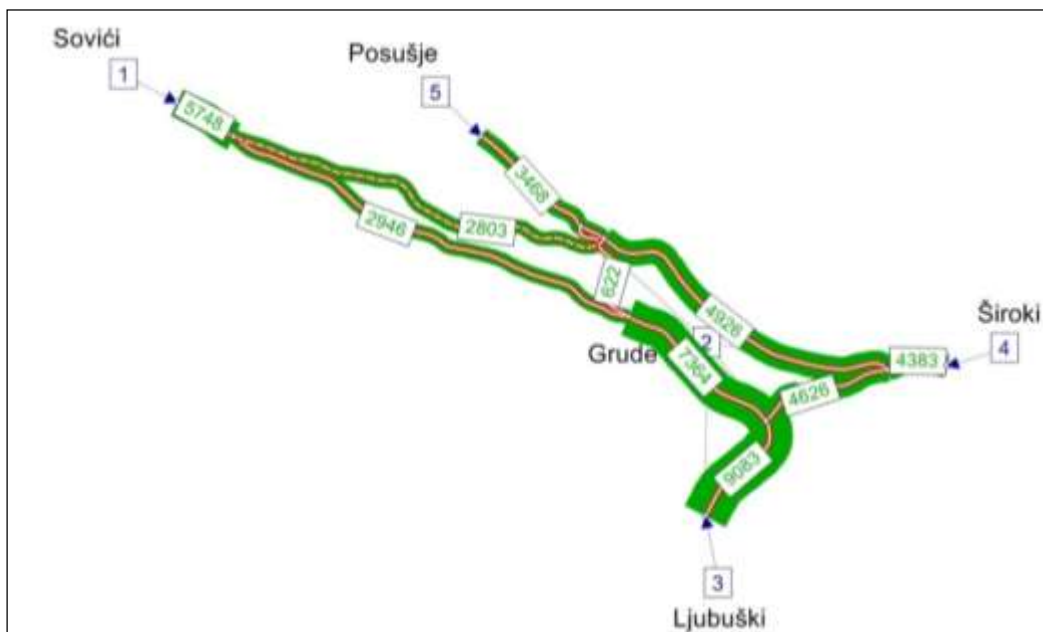
Sve varijante imaju početak na R420, priključak za Grude na približno istom mjestu te kraj dionice priključivanjem na M6 (slika 2).

Prosječni godišnji dnevni promet PGDP kroz središte Gruda iznosi 9634 voz/dan, dok je u nastavku prema granici 5748 voz/dan (slika 3).



Slika 3. Procijenjeni PGDP na cestama širega područja Gruda [1]

Sve varijante obilaznice imale bi prometno jednaku funkciju, a to je preuzimanje tranzitnog prometa te vrlo malo lokalnog na priključku Gruda (slika 4).



Slika 4: PGDP planirane cestovne mreže u početnoj godini [1]

Na slici 4 se može vidjeti da bi obilaznica preuzela 2803 voz/dan većinom tranzitnog (još važnije teškog) prometa, što i jest glavni cilj projekta.

Zbog dugogodišnje ekonomske recesije postojeći trendovi porasta prometa u BiH uglavnom stagniraju. Ipak, dugoročno gledano, za očekivati je da će se trendovi rasta oporaviti, sukladno očekivanju ekonomskog oporavka kako BiH, tako i susjednih država. Stoga je u dužem vremenskom periodu usvojena jedinstvena prosječna stopa porasta prometa od 2,00 % godišnje koja je manja od očekivanog porasta bruto društvenog proizvoda (BDP). Time je analiza na strani sigurnosti s obzirom na stope koje se primjenjuju (u posljednje vrijeme najčešće 3,50 %) i socio-ekonomska predviđanja.

Zbog činjenice da se radi ipak o malom prometnom opterećenju (2803 voz/dan u početnoj godini), za izgradnju potpuno nove dionice ceste, prve dvije duže varijante već u početnim analizama nisu pokazale opravdanost jer bi svojim znatnim dijelom bile paralelne cestama R420 i M6.

U ovoj fazi analizirana je i varijanta za brzinu 80 km/h koja je slična varijanti 3 (isti početak i kraj). Ova varijanta je malo kraća (120 m), ali ne doprinosi puno u prometnom smislu i bila bi znatno skuplja (veći broj i duži vijadukti) uz opasnosti pojave imovinsko-pravnih problema.

Za sljedeću fazu analiza usvojena je varijanta 3 za računsku brzinu  $V_r=60$  km/h i duljine 2560 m. Za razliku od prethodne dvije, varijanta 3 je znatno kraća i nema kontinuitet trase jer se okomito priključuje i na R420 i na M6. Zbog ovakvog načina priključivanja odabrana su raskrižja kružnog tipa zbog smirivanja prometa, a i sigurnosti jer je "glavni smjer" pod pravim kutem. Isto tako, radi se o kratkoj dionici na zahtjevnom terenu pa je zbog svega navedenog računski brzina smanjena na 60 km/h.

Nakon povezivanja s regionalnom cestom R420 (kružnim raskrižjem) Sjeverna obilaznica Gruda prelazi preko lokalne ceste vijaduktom. U nastavku se cesta pruža padinom brda iznad Gruda do kraja trase i povezivanjem s magistralnom cestom M6 također kružnim raskrižjem.

Na trasi se nalazi ukupno 3 vijadukta. Prvi je duljine 8 m i u funkciji je propuštanja priključne ceste za Grude, dok su ostala dva ukupnih duljina 48 i 66 m (rasponi 15 i 18 m) u funkciji svladavanja vododerina te su u minimalnoj (za 60 km/h) horizontalnoj krivini polumjera 125 m.

### 3. DRUGA FAZA ANALIZA I VREDNOVANJE PROJEKTA

Prvi korak je detaljnije projektiranje odabrane varijante do razine idejnog projekta. Za analizu troškova i koristi korištena je metodologija Svjetske banke Highway Development and Management HDM-4 [4], [5], [6]. Primijenjena metodologija vrednovanja zasniva se na analizi troškova i koristi koje korisnici imaju u varijantama s realiziranim i bez realiziranih projekata. Parametri za ocjenu isplativosti su:

- ekonomski troškovi realizacije predloženog projektnog rješenja,
- ekonomski troškovi eksploatacije vozila,
- troškovi vremena putovanja,
- ekonomski troškovi održavanja,
- troškovi prometnih nesreća.

Izračunat je tok koristi/ušteda i troškova za razdoblje vrednovanja projekta. Razdoblje vrednovanja projekta je 2016. - 2040. godina te sadrži i 3 godine realizacije projektnog rješenja i 20 godina eksploatacije. Ključni pokazatelj vrednovanja je ekonomska stopa povrata projektnog rješenja. U nastavku su prikazani samo neki najzanimljiviji parametri analize.

#### 3.1. Definiranje troškova

##### 3.1.1. Ekonomski troškovi realizacije projekta

Na osnovu troškovnika radova iz idejnog projekta te uzimajući u obzir i ostale neophodne financijske troškove dobila se ukupna cijena izgradnje Sjeverne obilaznice Gruda. Ukupna cijena bez PDV-a iznosi 5.428.539,00 KM (2,784 milijuna eura), što iznosi 2,12 milijuna KM/km (1,087 milijuna eura/km) ceste (Tabela 1).

**Tabela 1. Elementi ekonomskih troškova za realizaciju projekta [1]**

Dionica	Duljina (km)	Troškovi s PDV-om (KM)	Troškovi bez PDV-a (KM)	Jedinični ekonomski troškovi (KM/km)
Sjeverna obilaznica Gruda	2,560	6,395	5,465	2,12

Prilikom analiza javlja se i problem definiranja jediničnih cijena s obzirom na realno tržišno stanje jer postoje vrlo velika odstupanja u vrijednosti ponuđenih usluga izvođenja od projekta do projekta.

### 3.1.2. Vrijednost vremena putovanja

Za rast BDP-a korištena su kombinirana predviđanja Međunarodnog monetarnog fonda (IMF) i financijske institucije PricewaterhouseCoopers (PwC).

Na osnovu rasta BDP-a dobiveni su realni fiksni troškovi vremena putovanja. Dobivene su ekvivalentne stalne vrijednosti troškova vremena putovanja diskontiranjem početnih vrijednosti iz 2015. godine:

- poslovna putovanja: 14,31 KM/h
- neposlovna putovanja: 2,28 KM/h.

Problem realno postoji i kod službenih statističkih podataka, od broja stanovnika, broja vozila, do procjene rasta BDP-a.

### 3.1.3. Troškovi prometnih nesreća

Troškovi nesreća analizirani su na temelju studije Troškovi saobraćajnih nezgoda [7] gdje su kao rezultati prezentirani troškovi prometnih nesreća.

Socio-ekonomski gubici koji proizilaze iz prometnih nesreća u FBiH izračunati su pomoću Bruto outputa ili metode ljudski kapital.

Kao rezultat proračuna dobivene su sljedeće vrijednosti troškova prometnih nesreća:

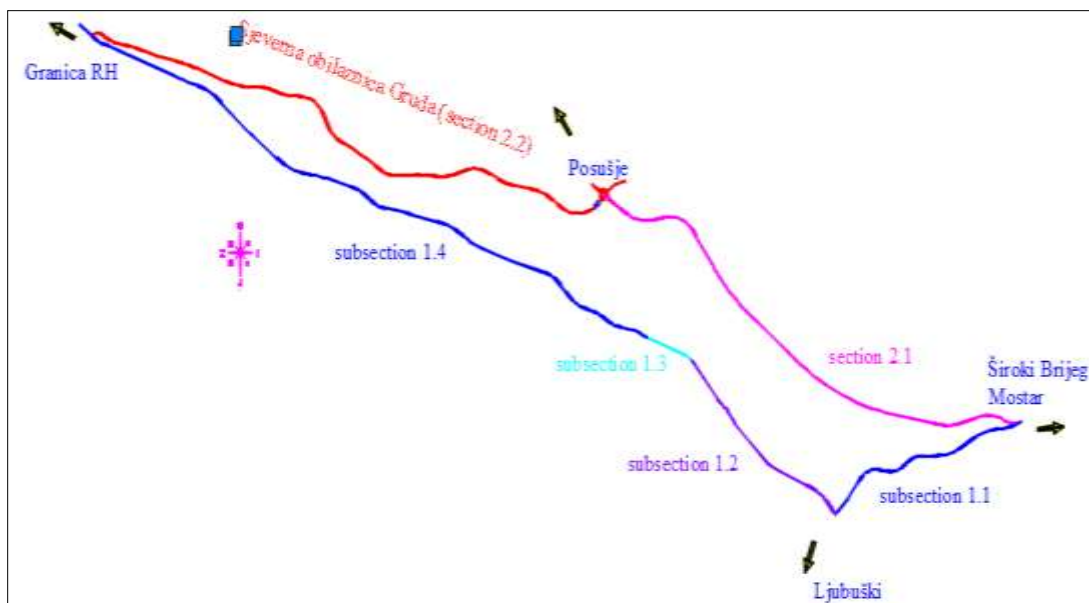
- Nesreće sa smrtno stradalim: 371.913 KM (190.159 eura)
- Nesreće s težim ozljedama: 176.374 KM (90.180 eura)
- Nesreće s lakšim ozljedama: 32.225 KM (16.447 eura)
- Nesreće s imovinskim oštećenjima: 1.592 KM (814 eura)

Ove vrijednosti, koje su značajno niže od europskog prosjeka, primijenjene su u analizi troškova prometnih nesreća.

## 3.2. Rezultati vrednovanja

### 3.2.1. Vrednovanje mreže bez obilaznice u odnosu na mrežu s obilaznicom

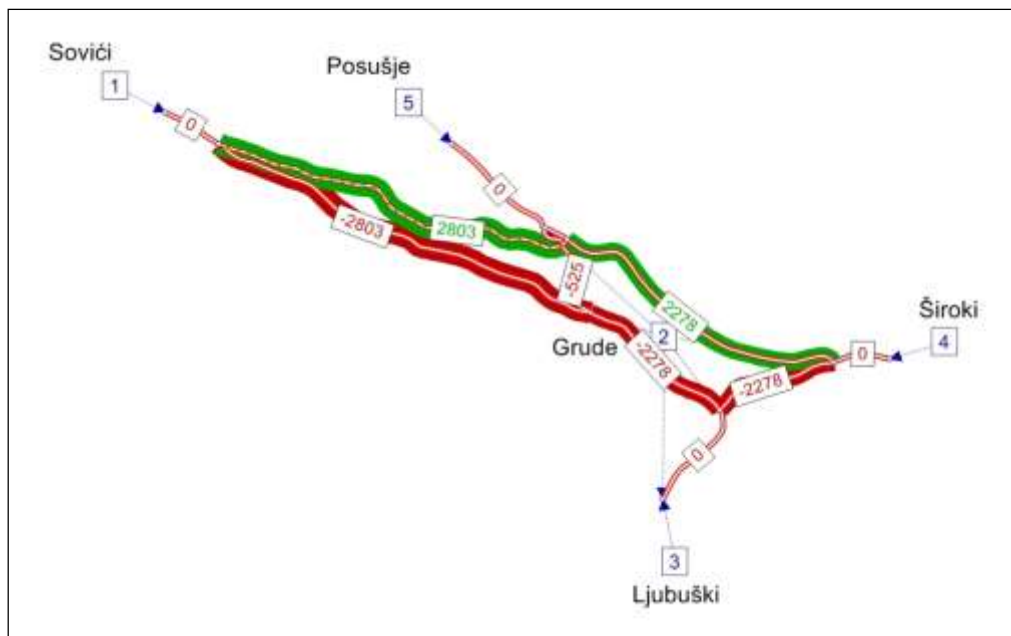
Vrednovanje je zasnovano na poređenju troškova korisnika na mrežama sa sjevernom obilaznicom Gruda M1 u odnosu na mrežu bez obilaznice M0. Mreža M0 uključuje postojeće 4 poddionice, dok je u mrežu M1 uključena još i planirana obilaznica (slika 5).



Slika 5. Prikaz analiziranih dionica [1]

S prometnog gledišta, ključni elementi za vrednovanje su PGDP i transportni rad vozila na obje mreže. U analize su uključeni normalni i preusmjereni promet s relevantne mreže, dok je novogenererani promet izostavljen. Razlog je opseg i priroda same relevantne mreže (slika 6), a time je i analiza na strani sigurnosti.

Oba navedena scenarija M0 i M1 sadržavaju normalni i preusmjereni promet unutar relevantne mreže zbog računanja efekata/koristi.



Slika 6. Usporedba prometnih opterećenja na planiranoj i postojećoj mreži [1]

Ukupni nediskontirani troškovi mreže bez obilaznice (M0) i mreže s obilaznicom (M1) dati su u tablici 2.

Tabela 2. Nediskontirana razlika svih troškova varijanti M1 i M0 (neto korist) [1]

Year	Road Agency Costs (RAC)				Road User Costs (RUC)						Net Exogenous Cost	Total Transport Cost
	Capital	Recurrent	Special	Total RAC	MT Vehicle Operation	MT Travel Time	NMT Travel & Operation	Accidents	Diverted M1 - M0	Total RUC		
2016	-0,541	0,000	0,000	-0,541	0,000	0,000	0,000	0,000	0,141	0,141	0,000	-0,400
2017	-1,081	0,000	0,000	-1,081	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142	0,142	0,000	-0,939
2018	-3,784	0,000	0,000	-3,784	0,000	0,000	0,000	0,000	0,145	0,145	0,000	-3,639
2019	0,000	-0,052	0,000	-0,052	0,631	0,126	0,000	0,094	0,148	0,999	0,000	0,947
2020	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,655	0,130	0,000	0,082	0,148	1,015	0,000	0,962
2021	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,680	0,134	0,000	0,084	0,151	1,049	0,000	0,996
2022	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,695	0,138	0,000	0,086	0,154	1,073	0,000	1,020
2023	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,728	0,143	0,000	0,087	0,157	1,115	0,000	1,061
2024	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,784	0,149	0,000	0,089	0,160	1,183	0,000	1,129
2025	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,834	0,151	0,000	0,093	0,167	1,046	0,000	0,993
2026	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,731	0,157	0,000	0,095	0,171	1,154	0,000	1,100
2027	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,758	0,161	0,000	0,097	0,174	1,191	0,000	1,138
2028	-0,234	-0,052	0,000	-0,286	0,786	0,167	0,000	0,099	0,178	1,230	0,000	0,944
2029	-0,018	-0,052	0,000	-0,070	0,791	0,172	0,000	0,101	0,181	1,245	0,000	1,175
2030	0,000	-0,052	0,000	-0,052	0,861	0,178	0,000	0,102	0,183	1,323	0,000	1,270
2031	0,000	-0,052	0,000	-0,052	0,841	0,183	0,000	0,104	0,186	1,314	0,000	1,262
2032	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,927	0,189	0,000	0,106	0,190	1,416	0,000	1,363
2033	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,800	0,196	0,000	0,108	0,194	1,298	0,000	1,245
2034	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,895	0,203	0,000	0,110	0,198	1,408	0,000	1,353
2035	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,930	0,210	0,000	0,112	0,200	1,452	0,000	1,399
2036	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,966	0,217	0,000	0,114	0,204	1,501	0,000	1,449
2037	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,988	0,225	0,000	0,116	0,208	1,537	0,000	1,484
2038	0,000	-0,053	0,000	-0,053	0,984	0,232	0,000	0,119	0,212	1,548	0,000	1,495
2039	0,000	-0,053	0,000	-0,053	1,134	0,245	0,000	0,121	0,217	1,716	0,000	1,663
2040	4,325	-0,053	0,000	4,272	0,918	0,250	0,000	0,123	0,221	1,512	0,000	5,784
<b>ukupno:</b>	<b>-1,334</b>	<b>-1,161</b>	<b>0,000</b>	<b>-2,495</b>	<b>18,118</b>	<b>3,959</b>	<b>0,000</b>	<b>2,243</b>	<b>4,429</b>	<b>28,749</b>	<b>0,000</b>	<b>26,254</b>



Iz prethodne tablice može se vidjeti da je nediskontirana neto dobit 26,254 milijuna KM. Kada se ova vrijednost diskontira diskontnom stopom 10 % dobije se neto sadašnja vrijednost NPV= 4,282 milijuna KM i vrijednost EIRR= 19,72 %.

### 3.2.2. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti rezultata na eventualna odstupanja od referentnih ulaznih podataka i pretpostavki prikazane su u tablicama 3 i 4.

**Tabela 3.** Analize osjetljivosti (EIRR u %) na promjenu investicije i diskontne stope [1]

Investicijski troškovi	promjena	EIRR		
		EIRR	ENPV@10%	ENPV@12%
5,429	+20%	16,49%	3,352	1,958
	+10%	17,97%	3,818	2,411
	<b>0%</b>	<b>19,72%</b>	<b>4,282</b>	<b>2,863</b>
	-10%	21,86%	4,748	3,315

**Tabela 4.** Analize osjetljivosti (EIRR u %) na promjenu investicije i koristi [1]

Investicijski troškovi	Promjene parametara			
	-10%	0%	+10%	+20%
koristi	+10%	0%	-10%	-20%
EIRR (%)	23,98%	<b>19,72%</b>	16,19%	13,14%

Rezultati analiza pokazuju da obilaznica ima isplativost za odstupanja najvažnijih parametara investicija, koristi i diskontne stope.

### 3.2.3. Analiza rizika

Kao i kod svakog investicijskog projekta postoje određeni rizici kao potencijalna opasnost za realizaciju samog projekta. Tu se ponajprije misli na pravne rizike, financijske, razvojne, rizike u tijeku građenja i u operativnoj fazi.

**Pravni rizici** ponajprije se odnose na potencijalne imovinsko-pravne probleme zbog prelaska obilaznice preko privatnih posjeda. S obzirom da cesta i raskrižja prelaze većinom preko općinskog zemljišta, kao i to da su privatne parcele „neatraktivne“ (preko nepristupačnog i do sada nekorisćenog prostora), realizacija projekta ne bi smjela biti ugrožena.

**Financijski rizici** su ponajprije zbog načina financiranja projekta. Ova studija opravdanosti je pokazala da obilaznica ima svoju isplativost. Vrijednost kompletne investicije iznosi s PDV-om 6.351.390,00 KM i brza realizacija je realno moguća jedino uvrštavanjem projekta u plan financiranja magistralnih cesta Federacije. S obzirom na opravdanost projekta i spremnost institucija (JP za Ceste Federacije BiH, županije, Općine Grude), projekt ne bi trebao doći u pitanje.

**Ostali rizici** rizici su gotovo zanemarivi i gotovo da ne predstavljaju nikakvu prijetnju za samu realizaciju projekta.

## 4. ZAKLJUČAK

Navedeni primjer obilaznice pokazuje da se sinkroniziranim radom manji projekti mogu rješavati čak i formalno manjem broju faza dokumentacije. Pri tome je važno istaknuti da iako je formalno preskočena faza generalnog projekta, urađene su u prvom koraku neophodne studijske analize koje su potom omogućile optimalno rješenje obilaznice i njenu fizibilnost. U radu je cilj bio prikazati probleme koji se susreću u BiH prilikom izrade projektne dokumentacije. Odgovornost leži kako na izrađivačima projekata, tako i na

investitorima. Često se u generalnim projektima, koji su najvažniji za definiranje projekata, javljaju pogreške u startu:

- **Nerealan pristup:** Često se "precijeni" važnost nekog projekta, u smislu odabira ranga ceste (brzina, profil, itd.). Potrebno je najprije definirati njenu prometnu funkciju u mreži, a zatim je realno definirati kako bi bila fizibilna.
- **Nedovoljno studiozan pristup:** Ovo se najprije odnosi na neuskaldenost faza projektiranja s prometnim analizama te s analizom fizibilnosti. U ovom radu je prikazan interaktivan rad svih faza što je bilo olakšano veličinom projekta i razumijevanju investitora. Za veće investicije ključna faza je generalni projekt koji u startu treba provjeriti definirani koncept projektnog zadatka i temeljem dobivenih rezultata napraviti analize svih logičnih varijantnih rješenja procjenom troškova, utjecaja na okoliš te fizibilnost projekta.

Nažalost veliki broj projekata je u praksi pokazao da, prvenstveno zbog lošeg pristupa svih sudionika (gdje je najveća odgovornost investitora) u fazi izrade generalnog projekta, kasnije faze projektiranja pa i izvođenja nailaze na velike poteškoće koje rezultiraju značajnim produljenjem projekta, a u nekim slučajevima i stopiranjem realizacije projekta. Posebice se to odnosi na dionice cesta koje tangiraju gradska područja (obilaznice).

## Literatura

- [1] *Fizibiliti studija Sjeverne obilaznice Gruda*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2015.
- [2] *Idejni projekt Sjeverne obilaznice Gruda*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2015.
- [3] *Brojanje saobraćaja na magistralnim cestama Federacije BiH u 2015. godini*, JP Ceste Federacije BiH, Sarajevo 2016.
- [4] *A Guide to Calibration and Adaptation. HDM-4 Manual*, Volume-5. HDM Global publications.
- [5] Bennet, C. R.; Paterson, W. D. O. 2003. *A Guide to Calibration and Adaptation, HDM-4 Documentation Series, Vol. 5*, The World Road Association (PIARC), Paris, France, 2003.
- [6] [www.hdmglobal.com/hdm-4-version-2/hdm-4-in-use/australia/road-investment-strategies-for-queensland](http://www.hdmglobal.com/hdm-4-version-2/hdm-4-in-use/australia/road-investment-strategies-for-queensland)
- [7] *Troškovi saobraćajnih nezgoda u FBiH*, Fakultet za saobraćaj i komunikacije iz Sarajeva, Sarajevo 2011.
- [8] *Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima*, Direkcija cesta Federacije BiH/Javno preduzeće Putevi Republike Srpske, Sarajevo/Banja Luka 2005.

# ISKUSTVA U PRIMENI TRANSPORTNIH MODELA U PLANIRANJU SAOBRAĆAJA

Vladimir Đorić<sup>1\*</sup>, Ivan Ivanović, Dragana Petrović, Jadranka Jović  
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, v.djoric@sf.bg.ac.rs<sup>1</sup>

**Rezime:** Transportni modeli se u razvijenim zemljama često koriste za prognoze saobraćaja radi definisanja ulaznih podataka za procese projektovanja ili određivanja efekata različitih saobraćajnih rešenja. Pored definisanja transportnih modela i predstavljene tipologije, u radu je prikazana opšta šema funkcionisanja transportnih modela u odnosu na podatke koji su potrebni da bi model bio funkcionalan: (1) saobraćajna osnova (sa tehničkim i eksploatacionim karakteristikama), (2) namena površina odnosno zemljišta i podela na prostorne jedinice (opisana socio-ekonomskim karakteristikama), (3) transportni zahtevi i (4) metod raspodele saobraćaja po mreži. Dosadašnja iskustva autora u korišćenju transportnih modela su pre svega iz oblasti strateškog planiranja saobraćaja. Oblast planiranja saobraćaja se u prethodnom periodu značajno menjala, od pre svega ekonomskog pristupa u odabiru rešenja do uključivanja ekoloških, socijalnih i eksternih efekata. S obzirom na to, u radu su predstavljeni primeri iskustava korišćenja transportnih modela u vezi sa: vremenskim prilikama, procenom uticaja na životnu sredinu, proračunom eksternih efekata, napajanjem drugih modela i dr.

**Ključne reči:** transportni model i tipologija, modeliranje efekata vremenskih prilika, modeliranje uticaja na životnu sredinu, modeliranje eksternih efekata

## THE EXPERIENCES IN USING TRANSPORT MODELS IN TRANSPORT PLANNING

Vladimir Djoric, Ivan Ivanovic, Dragana Petrovic, Jadranka Jovic  
University in Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, v.djoric@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** Transportation models are often used in developed countries for traffic forecast in order to provide necessary data for the analysis of development scenario and to provide inputs for traffic design. This paper will deal with transport models definition and present the basic data to provide model functionality: (1) transport network (including technical and operational characteristics), (2) land use and spatial data (including socio-economic data), (3) transport demand and (4) traffic assignment models. Previous experiences of the authors are primarily related to strategic transportation planning. The concept of transport planning has been changing over the time, from mainly economic approach in choosing solutions to approach which includes environmental, social and external effect analyses. In line with previous, the paper presented examples of transportation model application in relation to weather condition impact, environmental impact assessment, external effect calculation, feeding other models, etc.

**Keywords:** transportation model and typology, weather condition impact modelling, environmental impact modelling, extern effects modelling

### 1. UVOD: O TRANSPORTNIM MODELIMA

Dinamičnost, kao jedna od osnovnih karakteristika saobraćajnog sistema značajno otežava pravovremeno reagovanje na promene koje u sistemu nastaju. Upravo ta činjenica uslovljava neophodnost postojanja kvalitetnih baza podataka neophodnih za analizu i planiranje razvoja saobraćajnog sistema. Uspostavljanjem međusobnih relacija između raspoloživih baza podataka formiraju se transportni modeli koji pojednostavljeno predstavljaju realni sistem ali i omogućavaju dovoljnu preciznost.

Modeli predstavljaju pomoćno sredstvo za sagledavanje transportnih zahteva u uslovima simultane promene većeg broja ulaznih planerskih pretpostavki. Modeli ne daju gotova rešenja, već planerima omogućavaju da sagledaju okolnosti razvoja koje nije moguće sagledati bez modela, zbog složene međuzavisnosti pojedinih parametara (Jović, 1996, 2007).

Pod Transportnim modelom se podrazumeva skup relevantnih podataka (numeričkih, grafičkih i drugih), indikatora, parametara i simulacionih modela, iskazanih u prostoru i vremenu, na takav način da se mogu:

- rekonstruisati osobenosti i ponašanje transportnog sistema u prošlosti,

<sup>\*</sup> Rad je sastavni deo naučno-istraživačkog projekta "Uticaj globalnih izazova na planiranje saobraćaja i upravljanje saobraćajem u gradovima" TR36021 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

- utvrditi određene zakonomernosti transportnih zahteva i transportne ponude sa jedne strane i socio-ekonomskih i prostornih parametara sa druge strane,
- oceniti postojeće stanje transportnog sistema,
- proceniti, prognozirati ili projektovati funkcionisanje transportnog sistema ili njegovih delova u budućnosti i
- vrednovati postojeća ili scenarijima razvoja definisana buduća rešenja.

Podaci, indikatori, parametri i formulacije simulacionih modela koji čine sastavni deo Transportnih modela su izgrađeni na osnovama zvaničnih izvora podataka (katastra, državnog premera, statistike, javne uprave prihoda i sl.), iz ostalih izvora (planova, analiza, studija, ekspertiza) i iz izvora koji su dobijeni stalnim i/ili povremenim istraživanjima koja sprovode institucije, organizacije, organi i drugi entiteti.

Jednom uspostavljen transportni model je otvoren je za dopune i nadogradnju koje obuhvataju sve ili delove elemenata modela u vidu inoviranja ili izmene podataka. Transportni modeli su pre svega alati koji moraju da prate razvoj transportnog sistema, odnosno moraju redovno da se ažuriraju kako bi zadržali osnovnu funkcionalnost i upotrebnu vrednost. Modeliranje saobraćaja predstavlja podršku i ima veoma važnu ulogu u procedurama planiranja saobraćaja. Planiranje, donošenje odluka i implementacija određenih mera imaju moć da promene stvari, dok modeliranje može pomoći da svaki od navedenih procesa donese bolje efekte (I. Ivanović, 2017).

### 1.1. Prostorni obuhvat

Prostorna obuhvatnost transportnog modela je definisana površinom analiziranog područja pa tako postoje transportni modeli gradova, regionalni transportni modeli i nacionalni transportni modeli.

Transportni modeli gradova obuhvataju prostor užeg ili šireg područje grada. U okviru transportnih modela gradova svaka od mreža (ulična, javnog prevoza, teretnog saobraćaja...) može se tretirati i nezavisno, što su onda unimodalni modeli, i u okviru jedinstvenog sistema ili multimodalnog modela.

Pored transportnih modela gradova, za potrebe razvoja nacionalne transportne politike razvijaju se nacionalni transportni modeli. Osnovna razlika između transportnih modela gradova i nacionalnih transportnih modela je u veličini prostora posmatranja, gde je na nacionalnom nivou to područje čitave države ili regiona. Saobraćajne zone u modelu grada su površinski manje i obrađene na višem nivou detaljnosti. Na nivou gradske mreže čvorove predstavljaju raskrsnice, a na nacionalnom nivou čvorovi su naseljena mesta i gradovi. Nacionalni modeli traže podatke sa većih površina pa je i sprovođenje istraživanja skuplje.

Za razvoj nacionalnog transportnog modela uglavnom je potreban duži niz godina. Započinje se sa obradom pojedinih područja, da bi se zatim oblast studije širila dok ne dostigne površinu cele zemlje za koju se razvija nacionalni transportni model. Iako su nacionalni transportni modeli slični u pogledu podataka koje koriste i u pogledu strukture, oni se međusobno ipak razlikuju po načinima realizacija podmodela i pojedinih procedura koje su usklađene prema specifičnostima modeliranog transportnog sistema. Na području Evrope, shodno evropskim integracijama, novi nacionalni modeli moraju obezbeđivati laku integraciju nacionalnog transporta u međunarodne okvire (Grujičić, 2010).

Regionalni modeli, ukoliko postoje, trebali bi da budu kompatibilni i sa transportnim modelima gradova i sa nacionalnim transportnim modelom i karakteristični su za države velikih površina sa jakim regionalnim centrima.

Bez obzira o kom prostornom obuhvatu da je reč, transportne modele nije moguće preslikavati, već se moraju prilagođavati prema karakteristikama transportnih sistema za koje se formiraju. U nastavku rada akcenat će biti na karakteristikama transportnih modela urbanih sredina, odnosno gradova.

### 1.2. Nivo detaljnosti

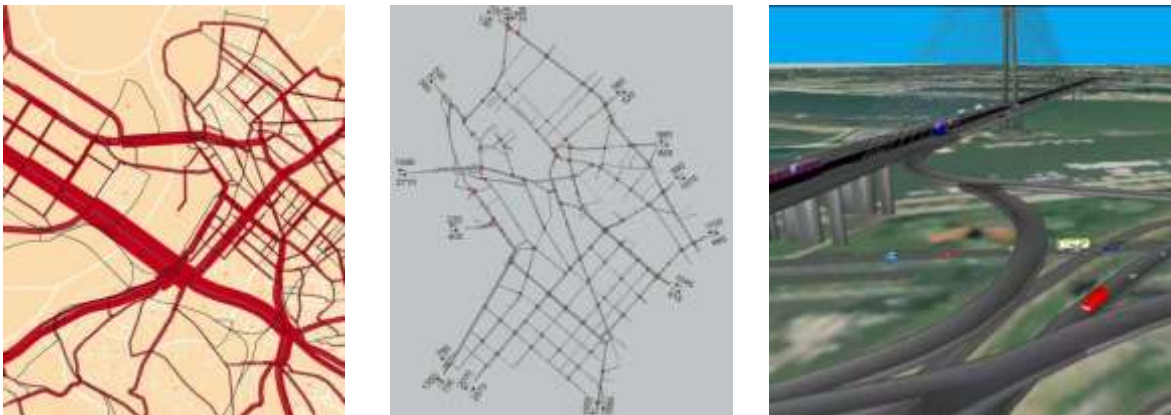
U kontekstu prostornog obuhvata transportnog modela moguće je uspostaviti relaciju sa nivoom detaljnosti. Transportni modeli mogu da se razvijaju na tri osnovna nivoa detaljnosti (Barceló, Casas, García, & Perarnau, 2005): makroskopski, mezoskopski i mikroskopski.



Prostorna obuhvatnost makroskopskih modela je najšira pa se mogu modelirati saobraćajne mreže celih država, regiona ili gradova, a nivo detaljnosti je najmanji. Karakteristike se grupišu (agregiraju) na nivou dužih vremenskih intervala (obično jednog časa) što ih čini neosetljivim na vremenske neravnomernosti. Raspodela saobraćaja će zavisiti od definisane funkcije promene vremena putovanja u odnosu na iskorišćenje kapaciteta deonice (VD – volume delay). Raskrsnice se posmatraju kao tačke, a deonice su celom svojom dužinom istog profila. Definišu se dozvoljena skretanja na raskrsnicama ali ne i gubici pri prolasku kroz raskrsnicu.

Mezokopski modeli se formiraju za manje prostorne jedinice kao što su delovi gradova, urbani distrikti ili zone sa povećanim nivoom detaljnosti. Nivo detaljnosti se pre svega odnosi na modeliranje elemenata saobraćajne infrastrukture: modeliranje deonica kroz detaljnije podatke o raspodeli saobraćajnih traka, preciznije opisivanje čvorova (raskrsnica) kroz planove rada svetlosnih signala itd. Rezultati raspodele saobraćaja omogućavaju generisanje vremenskih gubitaka na raskrsnicama u kraćim vremenskim intervalima koji se podudaraju sa intervalima na kojima je matrica transportnih zahteva podeljena.

Mikroskopski nivo će zahtevati precizno modeliranje geometrije deonica i raskrsnica i precizno definisanje signalnih planova rada svetlosnih signala. Takav nivo preciznosti podataka uslovljava da je prostorna obuhvatnost svedena na poteze od nekoliko raskrsnica, eventualno urbanu zonu. Ređe se koriste za simulacije na većim zonama jer bi to zahtevalo veliku količinu podataka i otežalo kalibraciju modela. Rezultati su visokog nivoa preciznosti s obzirom da je uobičajeni vremenski interval simulacije od jedne sekunde (Đorić, 2013).



**Slika 1.** Razlike u prezentaciji rezultata: makro (a), mezo (b) i mikro nivo (c)

### 1.3. Modeli za različite transportne pod sisteme

Preciznije modeliranje saobraćajnih sistema uslovljava i prelazak sa modeliranja u okviru jednog pod sistema na multimodalno modeliranje. Tradicionalni pristup upravljanja transportnim sistemom je zasnovan na upravljanju u okviru pojedinih načina transporta i oslonjen čvrsto na izgradnju saobraćajne infrastrukture radi rešavanja saobraćajnih problema. Savremeniji pristup se kreće u pravcu sveobuhvatnije analize i potrebe za pristupom koji rešenjima obuhvata sve načine prevoza.

Raspodela saobraćaja na mreži saobraćajnica ima veći značaj kod putničkih automobila i teretnih vozila, zbog velikog broja vozila i transportnog rada koji ovi sistemi ostvaruju. S druge strane, sistem javnog masovnog prevoza putnika (u gradu i između gradova) predstavlja značajan način povećanja efikasnosti transportnog procesa i smanjivanja negativnih efekata.

Obično se transportni zahtevi koji se ispostavljaju u pod sistemu putničkih automobila uzimaju kao osnova za dimenzionisanje elemenata transportnog sistema. U različitim transportnim sistemima su razvijene različite zakonitosti koje definišu udeo transportnih pod sistema u ukupnim transportnim zahtevima (raspodela u odnosu na način kretanja) kao i procenat transportnih zahteva koji se javlja u karakterističnim periodima u toku dana (raspodela u odnosu na vreme započinjanja putovanja) (Đorić, 2013).

Teretni saobraćaj je manje zastupljen od putničkog po obimu ali njegov uticaj na parametre saobraćajnog toka i negativne efekte realizacije saobraćaja može biti značajan. To je posledica višestruko većih potrošnji goriva, emisija gasova i buke svakog pojedinačnog vozila ove kategorije. Nivo rada utrošen na modeliranje teretnog saobraćaja bi trebalo da bude proporcionalan važnosti u ukupnom zadatku (ukoliko je učešće 10%

u saobraćaju području nema smisla utrošiti 50% napora u modeliranju). Zadatak je dobiti kvalitetne rezultate i biti efikasan (FHA, 1996).

Kod javnog i međugradskog masovnog prevoza, zahtevi definisani u broju putovanja (a ne vozila) se na osnovu reda vožnje raspodeljuju po vozilima. Ne postoji mogućnost izbora trase kretanja pa samim tim, ne zahteva kompleksni pristup sem u slučajevima jako razvijenih sistema urbanih transportnih mreža javnog prevoza. Specifičnost modeliranja javnog prevoza se ogleda u čestim promenama u radu sistema (promene redova vožnje). Njihova učestalost je znatno veća u odnosu na ostale transportne podsisteme, ali su posledice na kapacitet znatno manje.

U nastavku će akcenat biti stavljen na makroskopske transportne modele zbog najšire upotrebe u strateškom planiranju saobraćaja i širokim mogućnostima upotrebe ovih modela.

## 2. NAČIN FUNKCIONISANJA MAKROSKOPSKIH TRANSPORTNIH MODELA

Makroskopski transportni modeli objedinjuju socio-ekonomske podatke, podatke o nameni površina, podatke o saobraćajnoj infrastrukturi, podatke o karakteristikama kretanja, podatke o ponašanju putnika kao i sve podatke koji mogu biti relevantni za analize saobraćaja na strateškom nivou (Jović, 2007).

Generalna upotrebna vrednost transportnih modela je da služe:

- kao podloga za proračune u vezi sa planiranjem, programiranje, upravljanje i izgradnjom transportnog sistema;
- kao baza za različita istraživanja i naučno istraživačke projekte;
- kao osnova u procesu vrednovanja;
- kao osnova u ispitivanju optimalnih rešenja upravljanja saobraćajem;
- kao osnova za proveru efekata ITS.

Makroskopski transportni modeli se mogu koristiti kao analitički (formulacije zakonitosti između parametara i kretanja) ili kao alati za različite svrhe (obično za simulacije raspodele saobraćajnih tokova po mreži). Analitički modeli služe za prognoze budućeg kretanja na osnovu promene broja stanovnika i drugih socio-ekonomskih pokazatelja. Ovi modeli definišu trendove promene u odnosu na vremenske periode i promene po različitim kategorijama kao i razloge promena pokazatelja.

Analitičkim modelima se najčešće opisuje uticaj promene socio-ekonomskih karakteristika stanovništva i navika stanovnika na karakteristike kretanja na području. U prvom redu, to je promena mobilnosti, kako ukupne tako i po načinima kretanja, zatim, ukupan broj kretanja i stepen motorizacije. Raspodele po svrhama kretanja, načinima kretanja i vremenske neravnomernosti u broju kretanja su prognozni elementi koji omogućavaju procenu matrica prostorne raspodele kretanja.

Ipak, u našim uslovima, transportni modeli se najčešće koriste kao simulacioni alati čiji je rezultat raspodela kretanja po mreži (protoci) na osnovu prethodno definisanih i nepromenljivih transportnih zahteva. Analitički model je jednom postavljen da bi se generisali transportni zahtevi, a zatim se samo menjaju elementi mreže da bi se simulirali različiti scenariji (sa istim zahtevima).

### 2.1. Elementi makroskopskih transportnih modela

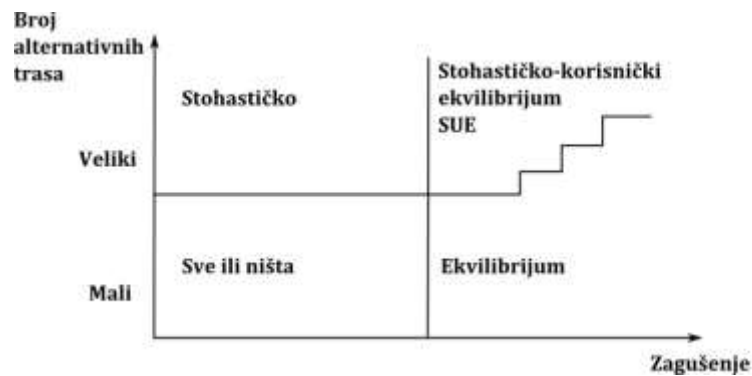
Da bi transportni model mogao da se koristi kao alat potrebno je definisati sledeće:

**Transportni sistem** (mreža, transportni podsistemi i vozila) se u transportnom modelu opisuje fizičkim karakteristikama saobraćajne mreže (u procesu kodiranja mreže) i eksploatacionim karakteristikama. U procesu simulacije za elemente saobraćajne infrastrukture se definiše otpor kretanju na koji obe grupe podataka imaju uticaj: pre svega dužina, brzina i kapacitet. Brzina se javlja u formi slobodne brzine, brzine pri kapacitetu, brzine zasićenog toka čija promena utiče na ukupno vreme putovanja. Ove karakteristike zajedno utiču na izbor trase kretanja kao i uključivanje alternativnih trasa u raspodeli saobraćaja na mreži. Modelski definisan značaj i karakteristike saobraćajnica treba da budu što sličniji percepciji vozača koji tu mrežu koriste, kako bi rezultat modeliranja bio realan izbor trase koji vozači prave.

**Transportni zahtevi** su uobičajeno predstavljeni IC (izvor-cilj) matricama (kod agregatnih modela) čija polja predstavljaju razmenu kretanja između izvora i cilja kretanja za određeni vremenski period i određenu svrhu kretanja. Izvori i ciljevi su predstavljeni kao imaginarne tačke u prostoru ili centriodi saobraćajnih zona u

kojima kretanja nastaju i završavaju. Razlike su definisane u načinu raspodele saobraćaja na mreži. Kod makroskopskih modela raspodela je bazirana na statičkom opterećenju što znači da je matrica zahteva ista za ceo posmatrani vremenski interval dok je kod mezoskopskog i mikroskopskog modela matrica podeljena na matrice manjih vremenskih intervala čime se reprezentuje vremenska neravnomernost transportnih zahteva. Podešavanje transportnih zahteva podrazumeva promenu elemenata prostorne raspodele tako da bi rezultat modela bili protoci koji su prihvatljivog nivoa odstupanja od realnih (npr. brojanja saobraćaja). Transportni zahtevi se mogu menjati ali, tako da se ne izgubi šablon kretanja koji je dobijen iz istraživanja.

**Procedure raspodele saobraćaja** po mreži karakterišu ponašanje putnika u sistemu. To je u stvari, način na koji se transportni zahtevi raspodeljuju po alternativnim trasama između izvora i ciljeva. Postoji veliki broj metoda raspodele saobraćaja i pitanje je koju metodu koristiti. Upotreba određene metode zavisice od karakteristika transportnih zahteva (I-C matrica) i nivoa zagušenja, svrhe ispitivanja saobraćajne mreže kao i poznavanja karakteristika mreže (broja alternativnih putanja), nivoa do kog vremenski gubici utiču na izbor trase i ponašanja putnika (DfT, 1997; Vukanović, 1997).



**Slika 2.** Izbor metode raspodele saobraćaja u zavisnosti od zagušenja i broja alternativnih

Vremenski interval simulacije će uticati na izbor procedure opterećenja u zavisnosti od toga da li je reč o periodu kada se očekuju zagušenja na saobraćajnoj mreži ili ne. Takozvana, vršna opterećenja karakteriše veće iskorišćenje kapaciteta saobraćajne mreže i veći protoci na alternativnim trasama kretanja vozila. Procedure koje su pogodne za analizu vršnih opterećenja su zasnovane na principima ravnotežnih stanja i stohastičkom opterećenju. Kod vanvršnih opterećenja, manja je popunjenost mreže što uslovljava drugačije ponašanje vozača. Koriste se uglavnom najbrže trase. Samim tim je pogodnije su jednostavnije procedure. U svakom slučaju radi se metodama koje uzimaju u obzir kapacitet saobraćajnica, a zakonitost promene vremena putovanja u odnosu na promenu iskorišćenja kapaciteta je definisana VD funkcijom za svaku grupu saobraćajnica (kategoriju).

Kretanja teretnih vozila po uličnoj mreži su uglavnom uslovljena vremenskim ili prostornim ograničenjima. Zato je modeliranje ovih tokova uglavnom jednostavnije od podsistema putničkih vozila, s obzirom da je na raspolaganju manji broj alternativnih trasa pa se samim tim i koriste jednostavnije metode raspodele saobraćaja na mreži.

Osnovne razlike u raspodeli saobraćaja u podsistemu javnog prevoza su u većem broju putovanja na mrežu i manjem obimu mreže, s obzirom da je u pitanju determinisana mreža koju koriste linije javnog prevoza putnika. Putovanja iz matrice transportnih zahteva mogu biti raspodeljena samo na definisanim linijama. Metode raspodele saobraćaja se zasnivaju na srednjem intervalu sleđenja vozila na linijama ili definisanim redom vožnje. Pri raspodeli će presudan uticaj na odabir linije imati otpor kretanju koji predstavlja težinsku kombinaciju vremenskih gubitaka: terminalna pešačenja, čekanje na prevoz, vreme vožnje, vremena ulaska i izlaska, vreme čekanja na presedanje itd. Specifičnost modeliranja javnog prevoza su lokacije (stajališta) definisana kao jaka presedačka mesta. Na ovim mestima je omogućena komunikacija na nivou transportnih podsistema kao i linija u okviru istog podsistema.

### 3. UPOTREBA TRANSPORTNIH MODELA

Primeri koji će biti predstavljeni su iskustva u korišćenju makroskopskih transportnih modela, prevashodno u kontekstu planiranja saobraćaja odnosno procena globalnih eksploatacionih pokazatelja celokupnog transportnog sistema.

Transportni modeli predstavljaju aproksimaciju stvarnosti i predstavljaju procenu sa određenim nivoom neizvesnosti. To je možda zanemarljivo kada se uzmu u obzir ciljevi zbog kojih je transportni model prvobitno izgrađen (analiza zagušenja, analiza multimodalne mreže, analiza saobraćajne mreže, itd), ali za povezivanje sa emisionim modelom je važno da se proceni stepen pouzdanosti saobraćajnih podataka (prosečna brzina, razdaljine, itd) da bi se dobili prihvatljivi rezultati emisija.

### 3.1. Transportni model Beograda

Razvoj transportnog modela Beograda tekao je kroz četiri faze. U prve tri faze, u periodu od 2002. do 2007. godine formirane su osnovne baze podataka neophodne za formiranje modela, a za potrebe izrade Master plana razvoja saobraćaja (Smartplan), izvršena je validacija transportnog modela iz 2007. godine i unapređenje u segmentima ulične mreže, javnog prevoza i matrica transportnih zahteva. To je praktično formiranje jedinstvene baze ažurnih saobraćajnih podataka na jednom mesto, odnosno u okviru Transportnog modela Beograda.

Za potrebe formiranja tako velike baze podataka bilo je potrebno izvršiti čitav niz opsežnih istraživanja. Istraživačke aktivnosti koje su obuhvaćene su:

- Istraživanje karakteristika saobraćajnih tokova (brojanje saobraćaja) realizovano je na 178 lokacija i to 11 na spoljašnjem prstenu (SOP), 125 u širem gradskom području (GP) i 42 karakteristične raskrsnice (KR).
- Istraživanje vremena putovanja putničkih automobila na 26 poteza, čime je obuhvaćeno oko 160 kilometara osnovne ulične mreže grada Beograda.
- Istraživanje pešačkih tokova na 19 karakterističnih lokacija na prostoru grada Beograda. Od ukupnog broja 15 je signalisanih raskrsnica i 4 raskrsnice sa kružnim tokom koje su nesignalisane, a najveći broj pozicioniran je u centralnoj gradskoj zoni.
- Istraživanje rada svetlosnih signala na karakterističnim lokacija utvrđivanjem broja neopsluženih vozila u procesu pražnjenja reda i evidentiranju broja vozila koja se nisu opslužila tokom pripadajućeg zelenog signalnog pojma, vrednosti zasićenog toka tj. teoretske vrednosti kapaciteta raskrsnice, dužine inicijalnog reda na karakterističnim raskrsnicama i vremenskih gubitaka. Deo baze podataka su postali i svi signalni planovi rada svetlosnih signala u Beogradu.
- Istraživanja karakteristike lokalnih kretanja, odnosno kretanja koja se obavljaju u okviru gradskog područja (izvor i cilj u okviru grada) sprovođenjem ankete u domaćinstvima (8.326 domaćinstava u kojima živi 26.679 članova).
- Istraživanje karakteristika tranzitnih i izvorno-ciljnih putovanjima odnosno onih čiji je jedan ili oba kraja van teritorije Beograda. Sprovedena je anketa na spoljnom kordonu oko grada na 11 ulazno-izlaznih putnih pravaca i to na uzorku putničkih i teretnih vozila.
- Istraživanje karakteristika tranzitnih i izvorno-ciljnih koji koriste sisteme masovnog prevoza. Sprovedena je anketa na putničkim terminalima u gradu Beogradu (autobuska stanica BAS i Lasta, aerodrom i glavna železnička stanica).

Objedinjena baza podataka sadrži tehničke i eksploatacione karakteristike saobraćajnih mreža Beograda, socio-ekonomske karakteristike područja, karakteristike saobraćajnih tokova i karakteristike kretanja stanovnika i posetilaca Beograda. Baza podataka sadrži i istorijske podatke iz istraživanja koja su obavljena u prethodnom istraživačkom periodu (2005. godine).

### 3.2. Smartplan i procena uticaja plana na životnu sredinu

Izgradnja i razvoj saobraćajnog sistema grada Beograda koji će omogućiti održivu mobilnost stanovništva, pružiti podršku ubrzanom razvoju grada i njegovoj konkurentnosti i u regionu i na području jugoistočne Evrope su ciljevi utvrđeni Strategijom razvoja grada Beograda (Urbanistički zavod Beograd & Cenatr Palgo, 2011). U tom kontekstu, u okviru Smartplan-a izvršen je proces provere i evaluacije određenih projekata izvršen je pomoću višekriterijumske analize, a korišćenjem strateškog transportnog modela (Transportni model Beograda).

Značajni projekti koji su razmatrani u Smartplan-u su:

- Beogradski Metro
- Stari Savski Most + Tunelska Veza Savska i Dunavska Padina
- BG Voz
- Unutrašnji magistralni poluprsten UMP
- Spoljna magistralna tangenta SMT



Dodatno je razmatran određen broj potencijalnih projekata za koje nisu potrebna velika ulaganja, koji imaju mogućnost optimizacije korišćenja već postojeće infrastrukture i sistema kao što su „parkiraj i vozi“ sistemi, konverzija železničkog u pešački most i sl.

Procene emisija osnovnih zagađujućih materija, gasova koji izazivaju efekat staklene bašte i buke su značajni rezultati koji se mogu dobiti na osnovu simulacionih transportnih modela. Opšti pristup u proceni emisije drumskog saobraćaja podrazumeva sabiranje proizvoda jedinične emisije i odabranih saobraćajnih promenljivih. Postoji čitav niz emisionih modela za različite prostorne i vremenske uslove. Emisioni modeli mogu se svrstati u tri osnovne grupe: modeli emisionih faktora, modeli prosečne brzine i režimski modeli (Pimentel, 2008).

Emisioni modeli se na istim osnovama razvijaju u odnosu na nivo preciznosti izlaznih podataka transportnih modela. Tako se za potrebe procena na nacionalnom ili regionalnom nivou koriste manje detaljni modeli kao što su modeli emisionih faktora vozila. Ovi modeli mogu koristiti podatke iz makroskopskih transportnih modela i to podatke o transportnom radu (pređenim vozilo kilometrima). Makroskopski i mezoskopski transportni modeli mogu da posluže kao osnova saobraćajnih podataka za emisione modele koji se baziraju na prosečnoj brzini. Ovi modeli su precizniji jer se klase emisija ne zavise samo od transportnog rada već i od srednje brzine saobraćajnog toka. Koriste se na nivou urbanih celina. Izvori podataka za formiranje modela emisionih faktora i prosečnih brzina mogu biti merenja na putu. Time se dobijaju podaci koji omogućavaju da se emisije predstave u pogodnoj jedinici koja je obično g/km (najčešće u toku jednog sata).

Samo u mikroskopskim modelima procena se zasniva na svakom pojedinačnom vozilu. Ukupna emisija vozila predstavlja sumu emisija koje vozilo proizvodi u toku kretanja i posledica je stalne promene brzine. Mikroskopski transportni modeli su dobra osnova za procenu trenutnih emisija vozila jer se kretanje vozila modelira na nivou svake sekunde.

Procena uticaja plana na životnu sredinu je sprovedena u odnosu na razvijene scenarije i bazirana je na tri elementa: procenu emisije gasova, procenu gasova sa efektom staklene bašte i procenu emisije buke. Metodologija procene emisije gasova (CO, NO<sub>x</sub>, PM i CO<sub>2</sub>) u podsistemu putničkih vozila je bazirana na prosečnim brzinama i transportnom radu (vozilokm koji proizvod protoka i dužine svake deonice). Prosečna brzina na deonici saobraćajne mreže je osnovni eksploatacioni pokazatelj koji je preuzet iz modela. Korišćeni su emisioni faktori iz COPERT baze (Zvanična EU metodologija za procenu emisije zagađivača) i to najdetaljniji nivo procene (Tier 3) (Ntziachristos & Samaras, 2000). Emisioni faktori su definisani u odnosu na strukturu voznog parka po emisionim standardima vozila (EURO emisioni standard). Procena strukture voznog parka je zasnovana istorijskim podacima i dostupnim trendovima, a za prognozne godine procena je bazirana na nizu pretpostavki (uvođenje novih tehnologija, otpis vozila, učešće elektro vozila itd.).

Metodologija procene emisije gasova u podsistemu teretnih vozila i autobusa je bazirana samo na ostvarenom transportnom radu. U voznom parku teretnih vozila, u odnosu na putnička, postoji dodatna, velika raznolikost po nosivosti vozila, a za razvrstavanje voznog parka na taj način nema dostupnih podataka. Zato je procena zasnovana samo na transportnom radu, pogonskom gorivu i emisionom standardu motora.



**Slika 3.** Procena emisije CO<sub>2</sub> (a) i buke (b) u jednom od scenarija Smartplan-a

Emisija buke je procenjena direktnom upotrebom transportnog modela u odnosu na scenarije razvoja. Zbog prirode buke kao pojave koja se ne može sabirati kao što je npr. moguće sabirati ukupno emitovane zagađivače, nivo buke je procenjen na nivou svake deonice modelirane u saobraćajnom sistemu. Na strateškom nivou nisu uzeti u obzir faktori koji utiču na disperziju buke u prostoru već je focus bio na emisionim karakteristikama na izvoru, što je saobraćajni tok kao linijski izvor buke. U tom kontekstu, potrebni ulazni podaci su bili najviše u vezi sa ostvarenim protocima po deonicama što je direktan izlazni podatak iz transportnog modela. Aktuelnim pravilnicima u Srbiji je predloženo da se procena uskladi sa francuskim standardom NMPB Route (Vlada\_RS, 2010). Metodologijom je predviđeno da se iskoristi standard RLS-90 koji je integralni deo softvera VISUM, a da se zatim rezultati transformišu ako da budu u skladu sa preporučenim NMPB Route standardom.

### 3.3. Modeliranje razvoja sistema javnog gradskog prevoza<sup>2</sup>

U procesu planiranja razvoja urbanog šinskog sistema u Beogradu (2007. godine) ukazala se potreba provere i eventualna korekcija transportnih zahteva definisanih u prethodnim fazama izrade dokumentacije. Bilo je potrebno i definisanje i provera (sa aspekta saobraćaja) različitih scenarija reorganizacije linija ostalih podsistema javnog prevoza putnika.

Strateško opredeljenje razvoja saobraćajnog sistema Beograda je uvek bilo oslonjeno na značajno učešće javnog prevoza u raspodeli kretanja u odnosu na način prevoza. Konceptom razvoja urbanog šinskog sistema definisano je da takav sistem treba da postane nosilac javnog gradskog prevoza putnika u Beogradu. Duž pravaca na kojima je planiran ne bi trebalo da postoji izražena konkurencija podsistema sa manjom prevoznom sposobnošću (autobuski i trolejbuski). Tramvajski prevoz, na pravcima preklapanja, gde je to moguće treba da koristi istu infrastrukturu, a cilj je veća realizacija kretanja šinskim sistemima.

Na ostalim pravcima, tramvaj predstavlja nosioca prevoza uz ograničenu konkurenciju autobusnog vida prevoza. Trolejbuski i autobuski podsistemi imaju distributivnu ulogu u gradskim celinama u kojima ne postoje šinski sistemi. U gravitacionom području šinskog sistema imaju napojnu ulogu. Periferne linije koje treba da imaju napojnu ulogu, potrebno je dovesti do terminala na kojima će se vršiti redistribucija tokova prigradskih putnika.

U kontekstu ovako postavljene ideje i koncepta korišćenjem transportnog modela reorganizovana je kompletna mreža linija ostalih vidova javnog prevoza u odnosu na scenarije i dinamiku izgradnje prve linije urbanog šinskog sistema, a zatim i ostalih.



Podsystem	Broj putnika (7-8)	Vreme putnika (7-8)	Putnik-kilometar (7-8)	Učešće putnika (%)	Učešće putnik-km (%)	Prosečno vreme vožnje (min)	Prosečna dužina vožnje (km)
autobus	145 021	30632h 33min 50s	691 768	68.0%	69.5%		4.77
prigrad	8 471	1821h 24min 14s	62 008	4.0%	6.2%		7.32
<b>KSS</b>	<b>30 310</b>	<b>4295h 27min 16s</b>	<b>131 020</b>	<b>14.2%</b>	<b>13.2%</b>	<b>8.50</b>	<b>4.32</b>
trolejbus	4 861	734h 34min 56s	9 220	2.3%	0.9%		1.90
tramvaj	22 441	3548h 43min 7s	72 551	10.6%	7.3%		3.23
zeleznica	2 296	492h 15min 57s	26 267	1.1%	2.8%		12.31
<b>Ukupno</b>	<b>213 402</b>		<b>994 853</b>				<b>4.66</b>

Slika 4. Reorganizacija linija (primer linije 71) (a) i rezultujuće učešće podsistema javnog prevoza (b)

Za potrebe analize transportnih zahteva, izvršena je modelska simulacija svih scenarija i vremenskih preseke relevantnih za formiranje mreže urbanog šinskog sistema u Beogradu. Cilj modelskih simulacija je bio utvrđivanje stepena uticaja predloženih scenarija na obim, prostornu distribuciju i karakteristike putovanja u sistemu javnog gradskog prevoza (Slika 4(b)). Rezultati simulacije modela svakog scenarija su se odnosili na:

- Transportni rad svih podsistema (broj putnika, putnik-km, vreme putovanja...)

<sup>2</sup> Tekst je proistekao iz projekta (Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF, 2008)

- Opterećenje mreže urbanog šinskog sistema visokog kapaciteta
- Transfer i protok putnika po stanicama urbanog šinskog sistema visokog kapaciteta

Podaci dobijeni simulacijom su svakako bili podložni logičkoj kontroli i podešavanju da bi se zadovoljila logika raspodele tokova i ponašanja putnika. Ovaj proces je obuhvatao kontrolu na nivou sistema, podsistema i svake pojedinačne linije. Na sistemskom nivou korišćeni su pokazatelji:

- Ukupan broj ostvarenih vožnji
- Ukupan transportni rad u sistemu javnog prevoza
- Ukupno vreme transporta u sistemu javnog prevoza

Definisani su i specifični pokazatelji koji su izvedeni na osnovu sistemskih pokazatelja kao što je koeficijent presedanja (prosečan broj presedanja koji se ostvari u toku jednog putovanja od izvora do cilja).

Na nivou podsistema i delova grada korišćeni su pokazatelji:

- Ukupan broj ostvarenih vožnji po transportnim podsistemima
- Ukupan transportni rad po podsistemima javnog prevoza i njihov međusobni odnos
- Ukupno vreme transporta po podsistemima javnog prevoza i njihov međusobni odnos
- Ostvarena presedanja između podsistema javnog prevoza
- Razmena između delova grada, pre svega, na skrin linijama i na važnijim gradskim magistralama

Na nivou linija i manjih prostornih jedinica korišćeni su pokazatelji:

- Opterećenje linija
- Odnos opterećenja među linijama
- Ulaz i izlaz po stajalištima, protok putnika po deonicama, vremena putovanja, ponuđeni i popunjeni kapacitet po deonicama.

### 3.4. Modeliranje saobraćaja u različitim vremenskim uslovima<sup>3</sup>

S obzirom na aktuelnost teme klimatskih promena, poslednje decenije je intezivirana analiza uticaja nepovoljnih vremenskih prilika na sve segmente funkcionisanja društva, pa tako i na saobraćajni sistem. Postojeća praksa izrade transportnih modela ne uzima u obzir uticaj nepovoljnih vremenskih prilika, odnosno modeli se uglavnom optimiziraju prema idealnim vremenskim prilikama.

Imajući u vidu posledice uticaja nepovoljnih vremenskih prilika i činjenicu da je u današnje vreme nepovoljne vremenske prilike moguće predvideti, postavilo se pitanje da li bi bilo korisno implementirati ovaj uticaj u transportne modele da bi sekvantifikovale promene opterećenja ulične mreže pod uticajem nepovoljnih vremenskih prilika. To ne podrazumeva potrebu za optimiziranjem kapaciteta ulične mreže i saobraćajnog sistema prema uticaju nepovoljnih vremenskih prilika, već da uvidom u posledice uticaja upravljači saobraćajnim sistemom i donosioci odluka mogu spremnije reagovati radi redukovanja pomenutog uticaja.

Kada se govori o saobraćaju, pod nepovoljnim vremenskim prilikama se podrazumeva svako odstupanje od idealnih vremenskih prilika koje se mogu opisati kao: suvo vreme, bez padavina, sa vidljivošću većom od 400m, brzinom vetra manjom od 16km/č i temperaturom iznad 10 °C (Ivanović & Jović, 2017; Kyte, Khatib, Shannon, & Kitchener, 2001; Tsapakis, Cheng, & Bolbol, 2013). Promenom okruženja učesnici u saobraćaju menjaju svoje ponašanje i na taj način utiču na performanse čitavog transportnog sistema. Opšte je poznata činjenica da uticaj nepovoljnih vremenskih prilika utiče na smanjenje efikasnosti transportnog sistema bez obzira na nivo razvoja urbane sredine. Kao posledica toga najčešće dolazi do povećanja vremena putovanja i saobraćajnih zagušenja.

Da bi se preventivno delovalo ili uticalo na redukciju nekog negativnog uticaja neophodno je prethodno izvršiti kvantifikaciju istog. Specifično za uticaj nepovoljnih vremenskih prilika je to što se uticaj prepoznaje i na strani transportne potražnje i transportne ponude.

Pilot istraživanja koja su realizovana na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu pokazala su da nepovoljne vremenske prilike utiču na karakteristike transportne potražnje pre svega kroz promene u vremenskoj raspodeli i raspodeli po načinu prevoza. Rezultati ovih istraživanja pokazali su potrebu za značajnim promenama u ulaznim podacima za formiranje transportnog modela.

<sup>3</sup> Tekst je proistekao iz doktorske disertacije (Ivanovic, 2017)

Pilot istraživanja su pokazala da postoji prostor i za izmenom procedura modeliranja u odnosu na uticaj nepovoljnih vremenskih prilika. U odnosu na razmatrane kategorije nepovoljnih vremenskih prilika istraživanja su pokazala značajan uticaj na kapacitet saobraćajnice i brzinu kretanja vozila. Dobijeni rezultati poslužili su da se funkcije vremena putovanja kao jedan od najznačajnijih ulaznih parametara procedure raspodele saobraćaja na mreži kalibrišu u odnosu na uticaj nepovoljnih vremenskih prilika. Ukoliko je model raspodele saobraćaja na mreži baziran na vremenu putovanja na alternativnim trasama, kvalitet raspodele direktno zavisi od definisane funkcije vremena putovanja. Bez obzira na veliki broj različitih tipova funkcija vremena putovanja, uglavnom je reč o uspostavljanju što realnije korelacije između vremena putovanja na alternativnim trasama u odnosu na koeficijent iskorišćenja kapaciteta.

Na narednoj slici je dat primer kalibrirane funkcija vremena putovanja za određenu kategoriju saobraćajnica i za uticaj kiše različitog intenziteta (KKI i KKII).



Slika 5. Kalibrirane funkcije vremena putovanja (Ivanovic, 2017)

Implementacija faktora uticaja nepovoljnih vremenskih prilika u transportne modele ukazuje na porast nivoa sveobuhvatnosti i detaljnosti modeliranja uzimajući u obzir sve veći broj faktora uticaja na karakteristike saobraćajnog sistema, unapređujući na taj način nivo pouzdanosti i kvaliteta transportnih modela.

### 3.5. Integracija makro i mikro modeliranja

Makroskopski modeli opisuju saobraćajni tok koji podleže globalnim pravilima dok mikroskopski simuliraju individualno ponašanje putnika, odnosno vozila (Bourel & Lesort, 2003). Prisutan je trend sve većeg korišćenja mikrosimulacionih alata kao posledice sve veće dostupnosti podataka. Obe vrste modela imaju svoje prednosti i mane pri korišćenju u specifičnim situacijama. Makroskopski modeli omogućavaju analizu homogenih pojava upotrebom manjih količina podataka i moguće ga je prilagoditi veličini (obuhvatu) problema koji se rešava. S druge strane, kada se modelira neki specifični deo saobraćajne mreže koji može imati značajan uticaj na celokupni sistem, mikroskopski model omogućava precizniju analizu.

Kombinovanjem makro i mikro modela u okviru integrisanog modela moguće je iskoristiti njihove prednosti na rešavanju istog problema. Pristup je iskorišćen na primeru naselja „Stepa Stepanović“ u Beogradu gde značajne saobraćajnice: Kumodraška, Kružni put i Vojvode Stepe tranzitiraju naselje, pri čemu kolski pristupi još nisu u potpunosti definisani. Očekivani porast transportnih zahteva koji generiše naselje „Stepa Stepanović“ je iskorišćen da bi se testirale odgovarajuće mere kako bi se ublažilo saobraćajno zagušenje koje nastaje kao posledica izgradnje naselja.

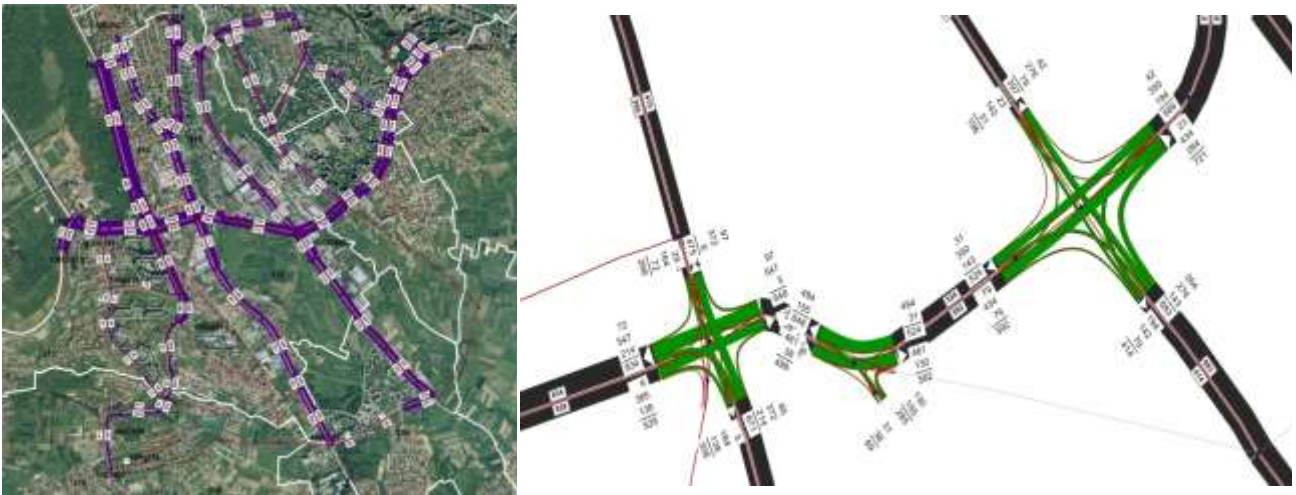
U okviru integrisanog pristupa su sprovedeni sledeći koraci:

- Definisanje generisanog motornog saobraćaja za period od naredne dve godine
- Raspodela saobraćaja po mreži (makromodel) kao ulaz u mikromodel
- Analiza upravljačkih scenarija rada svetlosnih signala (mikromodel).

Rezultat prognoze je zasnovan na prosečnom broju domaćinstava koji predstavlja procenu stepena korišćenja zemljišta izraženu brojem stambenih jedinica koji se aktivno koristi odnosno brojem domaćinstava koja učestvuju u generisanom saobraćaju. Na osnovu brojanja saobraćaja utvrđeni su transportni zahtevi koje stambeno naselje ispostavlja prema transportnom sistemu kao i o raspodeli kretanja u odnosu na način (npr. maksimalno 1200 kretanja u vršnom satu sa raspodelom 40/40/20 u PA vozač/JP/PA putnik).

Na osnovu definisanog realnog prognoznog scenarija (postojali su i pesimistički i optimistički) merodavni saobraćajni tokova na deonicama i raskrscima su definisani u raspodelom saobraćajnih tokova u makro modelu i to na širem gravitacionom području. Tako su definisani ulazni protoci za proces mikrosimulacije.





**Slika 6.** Rezultat raspodele saobraćaja na širem području i na raskrsnicama

U prvom koraku izvršena je simulacija tokova sa postojećim vrednostima saobraćajnog opterećenja za mrežu bez investicija. Osnovna svrha ovog dela simulacionog projekta bila je analiza postojećeg stanja i kalibracija simulacionog modela na rezultate dobijene istraživanjem. Simulacija saobraćajnih tokova za definisane skale porasta generisanog saobraćaja iz naselja, izvršena je za varijante mreže bez investicija i mreže sa minimalnim investicijama. Osnovi cilj generisanja podvarijantnih rešenja postojećeg načina upravljanja sa skalama porasta generisanog saobraćaja iz naselja je definisanje vremenskog perioda (sa aspekta tempa urbanizacije naselja) do kojega postojeća mreža, odnosno mreža sa minimalnim investicijama, u kontekstu aktuelnog načina upravljanja, može prihvatiti porast generisanog saobraćaja.

Povećanje generisanog saobraćaja većeg od 60% u odnosu na postojeće stanje nije moguće kompenzovati merama optimizacije rada svetlosnih signala (Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF, 2014).

### 3.6. Proračun eksternih efekata

Analiza je sprovedena na osnovu makroskopskog transportnog modela Novog Sada (NOSTRAM). U obzir su uzeta samo kretanja koja završavaju ili prolaze kroz centralnu zonu grada. Za ova kretanja je karakteristično jednako korišćenje putničkog vozila i javnog prevoza pri realizaciji, što je posledica mera transportne politike (pre svega u vezi sa parkiranjem i upravljanjem sistemom javnog prevoza). Pored eksternih troškova uticaj mera upravljanja transportnim zahtevima je kvantifikovan vidovnom preraspodelom i nivoima emisija gasova. Modeliranjem raspodele saobraćaja u sistemu putničkih vozila i javnog prevoza se generišu ulazni podaci za proračun eksternih efekata ali je vođeno računa o mogućnosti sistema javnog prevoza da realizuje zahteve koji mogu nastati kao posledica preraspodele.

Korišćena su tri seta procena:

- Vrednost prosečnih brzina i protoka na svakoj deonici predmetne saobraćajne mreže i scenarija
- Struktura voznog parka i aktivnost na nivou Srbije usled dostupnosti podataka iz prethodnih studija (Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF, 2010)
- Emisioni faktori (COPERT) u odnosu na brzine generisane u procesu makro simulacije

Procena eksternih troškova zagušenja se oslanjala na marginalne eksterne troškove zagušenja pri određenom protoku koji su definisani kao:

$$MET_{zag}(Q) = \frac{VOT \cdot Q}{v(Q)^2} \cdot \frac{\partial v(Q)}{\partial Q} \quad (1)$$

Gde: VOT označava vrednost vremena (npr. 3.75 EUR/sat za Srbiju (Italferr, 2009)), Q je protok, a v(Q) označava brzinu u zavisnosti od protoka. U ovom proračunu iz ugla modeliranja najznačajnija je promena brzine kretanja u odnosu na popunjenost kapaciteta (odnos protoka i kapaciteta), što je u stvari definisano VD funkcijom. Time se omogućava da se proračuna vremenski gubitak koji se stvara kada se nova vozila pojavljuju na mreži.



Eksterni troškovi zagađenja i klimatskih promena su bazirani na proceni emisije gasova na osnovu transportnog modela i COPERT baze emisionih faktora. Jedinične cene po toni zagađujuće materije su preuzete iz baze preporučenih vrednosti za Srbiju (NEA, 2010). Eksterni efekti globalnog zagrevanja odnosno klimatskih promena su bazirani na proceni emisija CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O i CH<sub>4</sub> i svođenjem njihovog zajedničkog uticaja na ekvivalentnu vrednost u CO<sub>2</sub> i preporučenim vrednostima troškova po toni emisije. Za ostale kategorije eksternih troškova koje čine buka, saobraćajne nezgode, zagađenje zemljišta i dr. Proračun je baziran na vozilo kilometrima, a na osnovu podataka iz IMPACT studije (M. Maibach, C. Schreyer, 2008), u nedostatku relevantnih domaćih izvora.

Tako je set procenjenih eksternih troškova činio kategorije: zagušenja, zagađenja, klimatskih promena, buke, saobraćajnih nezgoda i zagađenja zemljišta i vode (Basaric, Djoric, Jevdjenic, & Jovic, 2014).

#### 4. ZAKLJUČAK

U okviru rada je kroz prikaz mogućnosti primene transportnih modela ukazano na njihov značaj. Transportni modeli se mogu koristiti planiranju i upravljanju transportnim sistemom, kao osnova u procesu vrednovanja, u ispitivanju optimalnih saobraćajnih rešenja, ispitivanju efekata različitih scenarija razvoja transportnog sistema i kao baza za različita istraživanja, što je prikazano u konkretnim primerima.

Transportne modele je moguće prilagođavati za potrebe istraživanja u aktuelnim oblastima koje se tiču analize otpornosti transportnog sistema: uticaj nepovoljnih vremenskih prilika na saobraćaj, emisije štetnih gasova i buke i uticaj na globalno zagrevanje.

Pored funkcionalnog aspekta direktno vezanog za transportni sistem, transportni model pruža mogućnost kreiranja sveobuhvatne baze podataka, direktno ili indirektno u vezi sa saobraćajem, koja se može koristiti u različitim analizama ili za prosto objedinjavanje podataka. U tom smislu, posao se ne završava kreiranjem transportnog modela, već se podrazumeva njegovo konstantno osvežavanje aktuelnim i novim bazama podataka.

#### Literatura

- [1] Barceló, J., Casas, J., García, D., & Perarnau, J. (2005). Methodological Notes on Combining Macro, Meso and Micro Models for Transportation Analysis. In *Proceedings of the 13th World Conference on ITS* (pp. 1–40).
- [2] Basaric, V., Djoric, V., Jevdjenic, A., & Jovic, J. (2014). Efficient Methodology for Assessment of Targets and Policy Measures for Sustainable Mobility Systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9(3), 217–226. <http://doi.org/10.1080/15568318.2012.756088>
- [3] Bourrel, E., & Lesort, J. (2003). Mixing microscopic and macroscopic representations of traffic flow: Hybrid model based on Lighthill-Whitham-Richards theory. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1852(1), 193–200. <http://doi.org/10.3141/1852-24>
- [4] DfT. (1997). *Design Manual for Roads and Bridges - Traffic Appraisal of Road Schemes 12(1)* (Vol. 12). UK.
- [5] Đorić, V. (2013). *Istraživanje i modeliranje emisija vozila u funkciji modeliranja saobraćajnih tokova na uličnoj mreži*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni Fakultet.
- [6] FHA. (1996). *Quick Response Freight Manual*. US.
- [7] Grujičić, D. (2010). *Transportni modeli - alati u planiranju saobraćaja : diplomski rad*.
- [8] Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF. (2008). *Analiza transportnih zahteva na prvoj liniji KŠS-a*.
- [9] Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF. (2010). *Određivanje količina emitovanih gasovitih zagađujućih materija poreklom od drumskog saobraćaja primenom COPERT 4 modela evropske agencije za životnu sredinu (Road Transport gas emissions using COPERT 4)*. Beograd.
- [10] Institut saobraćajnog Fakulteta/ISF. (2014). *Saobraćajni projekat sa simulacijom saobraćajnih tokova i predlogom optimalnog rešenja za odvijanje saobraćaja u zoni naselja Stepa Stepanović*. Retrieved from <http://trb.metapress.com/index/9U4R884U77042117.pdf>
- [11] Italferr. (2009). *Generalni Master plan saobraćaja u Srbiji - Završni izveštaj (Transport Master Plan of Serbia - Final Report)*. Belgrade. Retrieved from [http://mi.gov.rs/mostovi\\_files/Aneks II - Zeleznicki saobraćaj.pdf](http://mi.gov.rs/mostovi_files/Aneks II - Zeleznicki saobraćaj.pdf)
- [12] Ivanovic, I. (2017). *Modeliranje opterećenja ulične mreže za različite vremenske prilike*. Doktorska disertacija.
- [13] Ivanović, I., & Jović, J. (2017). Sensitivity of street network capacity under the rain impact: case study of Belgrade. *Transport*, 4142. <http://doi.org/10.3846/16484142.2017.1283532>

- [14] Jović, J. (1996). *Planiranje saobraćaja u gradovima: praktikum*. Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [15] Jović, J. (2007). *Transportni model Beograda*. Beograd.
- [16] Kyte, M., Khatib, Z., Shannon, P., & Kitchener, F. (2001). Effect of Weather on Free-Flow Speed. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1776(1), 60–68. <http://doi.org/10.3141/1776-08>
- [17] M. Maibach, C. Schreyer, D. S. (2008). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/transport/sustainable/doc/2008\\_costs\\_handbook.pdf](http://ec.europa.eu/transport/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf)
- [18] NEA. (2010). *Manual Cost Benefit Analysis- Republic of Serbia*. Belgrade. Retrieved from [http://www.putevi-srbije.rs/strategijapdf/Manual\\_Cost\\_Benefit\\_Analysis.pdf](http://www.putevi-srbije.rs/strategijapdf/Manual_Cost_Benefit_Analysis.pdf)
- [19] Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2000). *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport*. EU.
- [20] Pimentel, M. (2008). *Transportation Modelling for Environmental Impact Assessment Porto Metropolitan Area Case Study*. University of Porto.
- [21] Tsapakis, I., Cheng, T., & Bolbol, A. (2013). Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times. *Journal of Transport Geography*, 28, 204–211. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.003>
- [22] Urbanistički zavod Beograd, & Cenatr Palgo. (2011). *Strategija razvoja grada Beograda*.
- [23] Vlada\_RS. Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini (2010).
- [24] Vukanović, S. (1997). *Saobraćajne mreže I*. Beograd: Saobraćajni Fakultet.

## TERMIČKO DIMENZIONIRANJE KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA METODOM EKVIVALENTA TLA

**Prof. dr sc. Branko Mazić, dipl. ing. građ.**<sup>1</sup>

*Građevinski fakultet u Sarajevu, [mazic@lsinter.net](mailto:mazic@lsinter.net)*

**Doc. dr sc. Mirza Pozder, dipl. ing. građ.**

*Građevinski fakultet u Sarajevu, [pozder.mirza@hotmail.com](mailto:pozder.mirza@hotmail.com)*

**Doc. dr sc. Suada Džebo, dipl. ing. građ.**

*Građevinski fakultet u Sarajevu, [suada.dzebo@gf.unsa.ba](mailto:suada.dzebo@gf.unsa.ba)*

**Aleksandra Mandić, dipl. ing. građ.**

*„Zavod za izgradnju grada“, Novi Sad, [familyns@mts.rs](mailto:familyns@mts.rs)*

**Rezime:** *Analizirajući termičke karakteristike materijala slojeva kolovozne konstrukcije i tla, sračunata je dubina prodiranja mraza u zavisnosti od vrste materijala, njihove zapraminske težine, vlažnosti i meteoroloških uslova. Na osnovu dubine prodiranja mraza kroz ove materijale u odnosu na dubinu prodiranja mraza u tlo, dobijeni su ekvivalenti za te materijale.*

*Kolovoznu konstrukciju koju smo sračunali na osnovu saobraćajnog opterećenja, kada debljine slojeva pomnožimo sa odgovarajućim ekvivalentom svakog sloja, tada njihova suma daje dubinu prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju, u zavisnosti od njenih termičkih karakteristika.*

*Upoređenjem dubine prodiranja mraza u tlo, na razmatranom lokalitetu i dubine prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju u zavisnosti od ekvivalenta tla, moguće je provjeriti da li je kolovozna konstrukcija zaštićena od štetnog dejstva mraza.*

**Ključne riječi:** *Termički parametri, kolovozna konstrukcija, indeks mraza zraka, dubina prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju.*

## THERMAL DESIGN OF THE PAVEMENTS STRUCTURE BY METHOD OF THE SOIL EQUIVALENTS

**Abstract:** *Analysing the thermal properties of the material layers of the pavement structure and the ground, the calculated depth of penetration of frost depending on the type of materials, their volume weight, moisture and weather conditions. Based on the depth of frost penetration through these materials with respect to the depth of frost penetration into the soil, were obtained equivalents for these materials.*

*Pavement which we calculated based on the traffic loading, when the layer thickness were multiplied by the corresponding equivalents of each layer, then their sum gives a depth of penetration of the frost through the pavement structure, depending on its thermal characteristics.*

*The comparison of the penetration depth of the frost in the ground, on the observed location and the depth of penetration of the frost through the pavement structure depending on the equivalents of the soil, it is possible to check whether the pavement is protected from the harmful effects of frost.*

**Keywords:** *Thermal parameters, pavement structure, the index of the air freezing, frost penetration depth through the pavement.*

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: emali, [mazic@lsinter.net](mailto:mazic@lsinter.net)

## 1. UVOD

Od projektanta kolovozne konstrukcije, zahtjeva se da pored dimenzioniranja kolovozne konstrukcije na saobraćajno opterećenje, provjere kolovoznu konstrukciju na štetno dejstvo od mraza, kako bi mogli reći da je kolovozna konstrukcija u potpunosti zaštićena.

Ovim radom trebao se olakšati postupak proračuna dubine prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju. Da bi rad bio ostvaren, prišlo se je proračunavanju prodiranja mraza kroz materijale-slojeve koji formiraju kolovoznu konstrukciju i posteljicu-tlo.

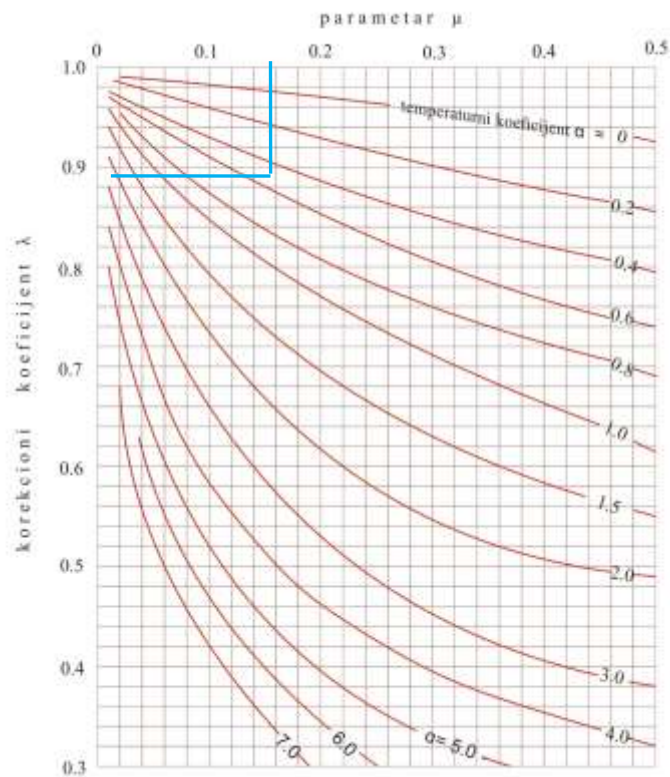
## 2. PRORAČUN TERMIČKIH PARAMETARA

Za proračun dubine prodiranja mraza po modifikovanoj Berggen-ovoj formuli, prethodno treba proračunati termičke karakteristike materijala i parametar meteoroloških uslova, a to su:

- korekcionni bezdimenzionalni parametar  $\lambda$ ,
- koeficijent toplotne provodljivosti  $k$  ( $cal/cm \text{ sec } ^\circ C$ ),
- volumenski toplotni kapacitet  $C$  ( $cal/cm^3 \text{ } ^\circ C$ ),
- latentna toplota tla  $L$  ( $cal/cm^3$ ), i
- indeks mraza zraka  $I$  ( $^\circ C \times dana$ ), koji zavisi od meteoroloških uslova.

### 2.1. Korekcionni parametar $\lambda$

Korekcionni parametar bez dimenzije  $\lambda$ , kreće se od 0,5 do 1. Ovaj koeficijent zavisi od parametara  $\alpha$  i  $\mu$ , (Slika 1). Za sračunate parametre  $\alpha$  i  $\mu$  iz Slike 1, odredi se korekcionni parametar  $\lambda$ .



Slika 1. Koeficijent promjene temperature u masi tla  $\alpha$  i  $\mu \lambda$ <sup>[9]</sup>

Parametri  $\alpha$  i  $\mu$  računaju se po formuli:

$$\alpha = \frac{T_0 * t}{I} \qquad \mu = \frac{C * I}{L * t} \qquad (1. i 2.)$$

gdje je:

$T_0$  – srednja godišnja temperatura ( $^{\circ}C$ ),

$t$  – broj dana trajanja mraza,

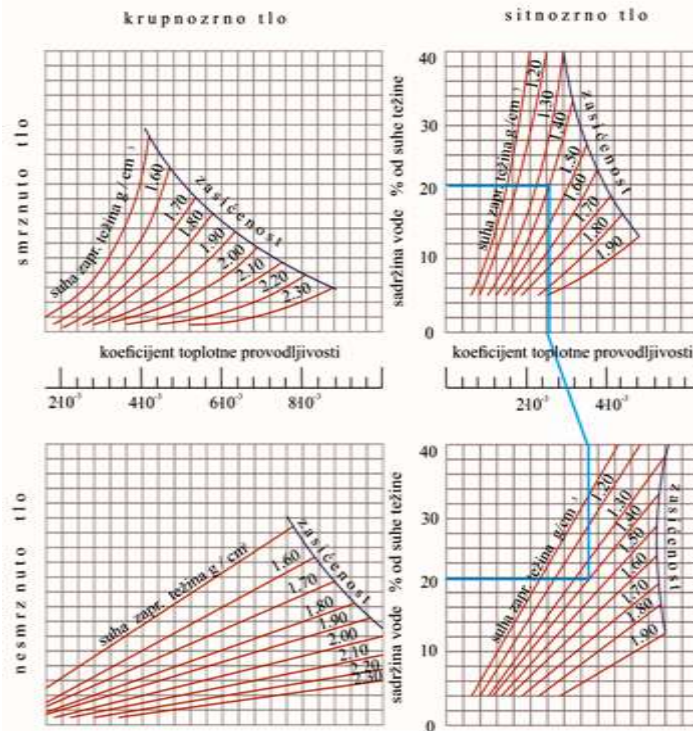
$I$  – indeks mraza zraka ( $^{\circ}C \times \text{dana}$ ),

$C$  – srednja vrijednost toplotnog volumenskog kapaciteta smrznutog i nesmrznutog tla ( $\text{cal/cm}^3 \text{ } ^{\circ}C$ ), i

$L$  – latentna toplota fuzije vode ( $\text{cal/cm}^3$ ).

### 2.2. Koeficijent toplotne provodljivosti

Koeficijent toplotne provodljivosti  $k$  ( $\text{cal/cm sec } ^{\circ}C$ ), određen je na osnovu Kersten-novog dijagrama, (Slika 2), dobijen laboratorijskim opitima, za krupnozrni i sitnozrni materijal, u smrznutom i nesmrznutom stanju tla, vlažnosti tla i njihove suhe zapreminske težine. Za vrijednost koeficijenta toplotne provodljivosti  $k_1$  i  $k_2$ , za smrznuti i nesmrznuti materijal računa se prosječna vrijednost,  $k = (k_1 + k_2) / 2$  ( $\text{cal/cm sec } ^{\circ}C$ ).



Slika 2. Toplotna provodljivost po Kersten-u<sup>[6]</sup>

### 2.3. Volumenski toplotni kapacitet

Volumenski toplotni kapacitet računa se po formuli:

- za smrznuto tlo

- za nesmrznuto

$$C_1 = \left( C_s + \frac{C_g * w}{100} \right) * \gamma_d \qquad C_2 = \left( C_s + \frac{C_w * w}{100} \right) * \gamma_d \quad (\text{cal/cm}^3 \text{ } ^{\circ}C) \qquad (3. i 4.)$$

gdje je:

$C_s$  – specifična toplota suhog tla ( $\text{cal/cm}^3 \text{ } ^{\circ}C$ ),

$C_g$  – specifična toplota leda ( $\text{cal/cm}^3 \text{ } ^{\circ}C$ ), i

$C_w$  – specifična toplota vode ( $\text{cal/cm}^3 \text{ } ^{\circ}C$ ).



Za poznate vrijednosti specifičnih toplota suhog tla  $C_s=0,2$ , leda  $C_g=0,5$  i vode  $C_w=1,0$  volumenski toplotni kapacitet je:

$$\begin{array}{ll} \text{- za smrznuto tlo} & \text{- za nesmrznuto tlo} \\ C_1 = \left(0,2 + \frac{0,5 * w}{100}\right) * \gamma_d & C_2 = \left(0,2 + \frac{1,0 * w}{100}\right) * \gamma_d \quad (\text{cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}) \end{array}$$

Srednja vrijednos volumenskog toplotnog kapaciteta  $C$  računa se kao prosjek smrznutog i nesmrznutog tla,  $C=(C_1+C_2)/2$  ( $\text{cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

#### 2.4. Latentna toplota tla

Latentna toplota tla računa se po formuli:

$$L = \gamma_d * \frac{w}{100} * 80 \quad (\text{cal/cm}^3) \quad (5.)$$

jer pri temperaturi od  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , pri prelasku vode u led, oslobađa se latentna toplota fuzije u količini od 80 cal za svaki gram ili  $\text{cm}^3$  vode.

#### 2.5. Indeks mraza zraka

Indeks mraza zraka ( $^\circ\text{Cxdana}$ ), računa se kao razlika maksimuma i minimuma na kumulativnoj liniji srednjih dnevnih temperatura zraka u zimskom periodu.

Proračun indeksa mraza zraka, je kumulativna vrijednosti srednjih dnevnih temperatura, za period koji počinje 10 dana prije registrovanja prve negativne temperature, a završava se 10 dana po registrovanju zadnje negativne temperature.

Određivanje mjerodavnog indeksa mraza zraka, za projektne periode kolovozne konstrukcije je sljedeći:

- za dvadesetogodišnji projektni period kolovozne konstrukcije usvaja se prosječna vrijednost indeksa mraza određena za tri najhladnije zime u prethodnom tridesetogodišnjem periodu, i
- za petnaestogodišnji projektni period usvaja se prosječna vrijednost indeksa mraza okoline određena za tri najhladnije zime u prethodnom petnaestogodišnjem periodu.

Istraživanjem veličine mjerodavnog indeksa mraza zraka na Građevinskom fakultetu u Sarajevu, za povratne periode javljanja jednom u 15 i 20 godina, dobijene su formule koja glasi<sup>[5]</sup>:

$$I_{m15} = 678,00 - 342,50 * RV + 129,83 * UM \quad (^\circ\text{Cxdana}) \quad (6.)$$

$$I_{m30} = 726,87 - 352,53 * RV + 141,08 * UM \quad (^\circ\text{Cxdana}) \quad (7.)$$

gdje je:

- $I_{mn}$  – indeks mraza zraka ( $^\circ\text{Cxdana}$ ), za povratne periode javljanja jednom u 20 ili 30-godina,
- RV – relativna visina određena kao  $(2067-NV)/1000$ , gdje je NV nadmorska visina u (m), i
- UM – udaljenost od mora, upravno na jadransku obalu, u stotinama kilometara ( $\text{km}/100$ ).

#### 2.6. Kategorije materijala koje su osjetljive na smrzavanje

Kolovoznu konstrukciju dimenzioniranu na saobraćajno opterećenje, treba provjeriti na dubinu prodiranja mraza. Proračun prodiranja mraza kroz slojeve kolovozne konstrukcije u zavisnosti od njenih termičkih karakteristika, sastoji se iz umnoška koeficijenta zamjene ekvivalenta tla sa njenom odgovarajućom debljinom. Suma tih umnožaka daje ukupnu ekvivalentnu dubinu prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju.

Materijal koji je osjetljiv na smrzavanje je onaj, kod kog se uslijed dejstva mraza, koji se nalaze u zoni smrzavanja, pojavljuju ledena leća ili sočiva. Ledena leća ili sočiva zbog promjene zapremine izazivaju izdizanje kolovozne konstrukcije, tada je kolovozna konstrukcija najčvršća, a pri odmrzavanju materijala značajno gube svoju nosivost.

Osjetljivost materijala na smrzavanje zavisi od:

- granulometrijskog sastava materijala,
- oblika zrna,
- kompaktnosti,
- grupe sitnozrnog materijala, i
- mineraloško-hemijskih svojstava.

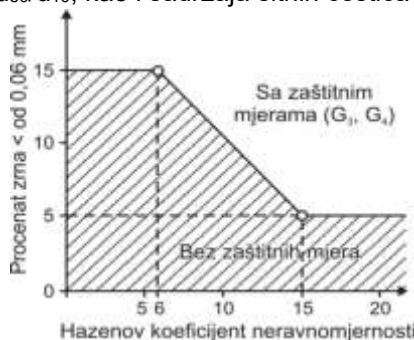
Materijali koji se upotrebljavaju za izgradnju puteva svrstavaju se u tri grupe prema njihovoj osjetljivosti na smrzavanje, (Tabela 1).

Tabela 1. Kategorije materijala osjetljivih na mraz<sup>[1]</sup>

Grupe	Osjetljivost materijala	Sadržaj zrna do 0,063 mm % mase	Kategorizacija <sup>1</sup> .
G <sub>1</sub>	neosjetljiv	< 5	GW, GP; SW, SP
G <sub>2</sub> - G <sub>3</sub>	malo do srednje osjetljiv	5...15	GC <sup>2</sup> , GM <sup>2</sup> ; SC <sup>2</sup> , SM <sup>2</sup> ; CL, CH
G <sub>4</sub>	veoma osjetljiv	>15	SM-ML; ML, MH; CL-ML

Legenda: <sup>1</sup> – Kategorizacija prema DIN 18 196 i USCS (G–šljunak, S–pijesak, M–prašina i C–glina)

Materijali koji su osjetljivi na mraz određeni su na osnovu koeficijenta neravnomjernosti oblika granulometrijske krive materijala  $U=d_{60}/d_{10}$ , kao i sadržaja sitnih čestica manjih od 0,063 mm, (Slika 3).



Slika 3. Osjetljivost materijala G<sub>3</sub> i G<sub>4</sub> u zavisnosti od koeficijenta neravnomjernosti U<sup>[1]</sup>

### 3. DUBINA PRODIRANJA MRAZA

Za proračun dubine prodiranja mraza korištena je formula Stefana<sup>[1]</sup>, koja je modifikovana od strane Berggren-a dodatkom koeficijenta  $\lambda$ . Da bi se dubina prodiranja mraza izrazila u centimetrima izvršena je transformacija i dobijena je formula po Berggen-u.

$$\begin{array}{l} \text{Stefan} \\ \xi = \sqrt{\frac{2 * k * I}{L}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Berggren-ova formula} \\ \xi = 60\lambda * \sqrt{\frac{48 * k * I}{L}} \end{array} \quad (\text{cm}) \quad (8. i 9.)$$

gdje je:

- $\xi$  – dubina prodiranja mraza (cm),
- $\lambda$  – korekcionni parametar bez dimenzije,
- $k$  – koeficijent toplotne provodljivosti (cal/cm sec °C),
- $I$  – indeks mraza (°Cxdana), i
- $L$  – volumenska latentna toplota fuzije vode (cal/cm<sup>3</sup>).

#### 3.1. Dubina prodiranja mraza kroz materijale

Dubina prodiranja mraza kroz materijale, koja zavisi od geomehaničkih osobina, suhe zapreminske težine i vlažnosti. U ovom radu obrađeni su materijali koji čine slojeve kolovozne konstrukcije i podlogu-posteljicu, a to su:

- asfaltni sloj,
- tamponski sloj,
- temeljni kameni sloj, i
- tlo (glina i zemlja).

Geomehaničke osobine obuhvaćaju suhu zapreminsku težinu,  $\gamma_d$ , koja je obuhvaćena od 2,45 g/cm<sup>3</sup> za asfaltne slojeve od 1,6 g/cm<sup>3</sup> za posteljicu od zemljanog materijala. Vlažnost w, od 0% do 20%, za asfaltne slojeve do zemljanog materijala.

Pored geomehaničkih osobina obuhvaćeni su i meteorološki uslovi koji su potrebni za proračun parametra  $\lambda$ . Meteorološki parametri su, indeks mraza zraka, trajanje mraza i prosječna godišnja temperatura.

Indeks mraza zraka obuhvaćen je od 187 (°Cxdana) do 600 (°Cxdana), trajanje mraza od 20 do 60 dana i prosječna godišnja temperatura od 4 °C do 20 °C. U Tabeli 2, prikazan je dio proračuna dubine prodiranja mraza, kroz materijale slojeva kolovozne konstrukcije.

Tabela 2. Proračun dubine prodiranja mraza

PARAMETAR	JEDINICA	POSTELJICA - ZEMLJA					
		3	4	5	6	7	8
l=	°Cxdana	600	600	600	387	387	387
t <sub>z</sub> =	trajanje mraza-dana	90	90	90	40	40	40
<sub>g</sub> T <sub>0</sub> =	°C	4	4	4	12	12	12
$\gamma_d$ =	g/cm <sup>3</sup>	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6
W=	%	20	15	10	20	15	10
C <sub>s</sub> =	cal/cm <sup>3</sup> °C	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
C <sub>g</sub> =	cal/cm <sup>3</sup> °C	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
C <sub>w</sub> =	cal/cm <sup>3</sup> °C	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C <sub>1</sub> =	cal/cm <sup>3</sup> °C	0,42	0,39	0,35	0,48	0,44	0,40
C <sub>2</sub> =	cal/cm <sup>3</sup> °C	0,56	0,49	0,42	0,64	0,56	0,48
C=	cal/cm <sup>3</sup> °C	0,49	0,44	0,39	0,56	0,50	0,44
L=	cal/cm <sup>3</sup>	22,40	16,80	11,20	25,60	19,20	12,80
$\alpha$ =		0,60	0,60	0,60	1,24	1,24	1,24
$\mu$ =		0,15	0,17	0,23	0,21	0,25	0,33
$\lambda$ =		0,88	0,86	0,83	0,84	0,75	0,65
k=	cal/cm sec °C	0,0029	0,0029	0,0029	0,0038	0,0032	0,0024
$\xi$ =	cm	100	114	135	84	79	73

### Primjer proračuna parametara

dubine prodiranja mraza za poseljicu od zemljanog materijala je:

#### Volumenski toplotni kapacitet:

- za smrznuto tlo

$$C_1 = \left( 0,2 + \frac{0,5 * w}{100} \right) * \gamma_d = \left( 0,2 + \frac{0,5 * 20}{100} \right) * 1,4 = 0,42 \quad (\text{cal/cm}^3 \text{°C})$$

(cal/cm<sup>3</sup>°C)

- za nesmrznuto tlo

$$C_2 = \left( 0,2 + \frac{1,0 * w}{100} \right) * \gamma_d = \left( 0,2 + \frac{1,0 * 20}{100} \right) * 1,4 = 0,56 \quad (\text{cal/cm}^3 \text{°C})$$

(cal/cm<sup>3</sup>°C)

**Latentna toplota tla:**  $L = \gamma_d * \frac{w}{100} * 80 = 1,4 * \frac{20}{100} * 80 = 22,4 \quad (\text{cal/cm}^3)$

### Parametar $\lambda$ :

Parametri  $\alpha$  i  $\mu$  računaju se po formuli:

$$\alpha = \frac{T_0 * t}{I} = \frac{4 * 90}{600} = 0,60 \quad \mu = \frac{C * I}{L * t} = \frac{0,49 * 600}{22,4 * 90} = 0,15$$

Iz slike 1, očita se parametar  $\lambda$  koji iznosi 0,88.

### Koeficijent toplotne provodljivosti $k$ :

Koeficijent toplotne provodljivosti  $k$ , određen je na osnovu Kester-novih dijagrama, za smrznuti i nesmrznuti materijal, (vidi Sliku 2), i iznosi  $k = 2,85 * 10^{-3}$  (cal/cm sec °C).

Proračun dubine prodiranja mraza po modifikovanoj formuli od strane Berggren-a je:

$$\xi = 60\lambda * \sqrt{\frac{48 * k * I}{L}} = 60 * 0,88 * \sqrt{\frac{48 * 0,0029 * 600}{22,4}} = 100 \quad (cm)$$

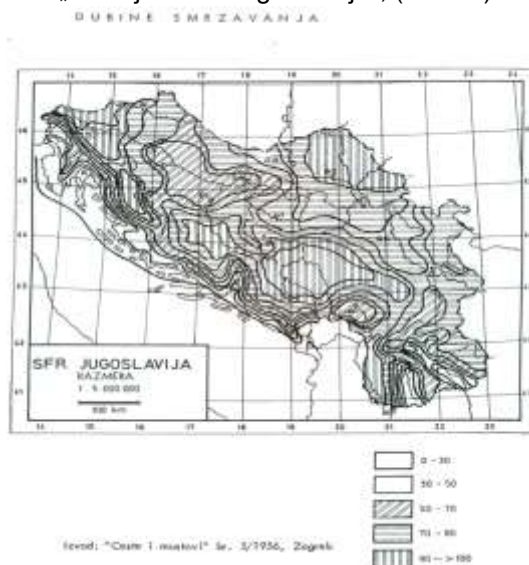
Na osnovu ovih sračunatih vrijednosti dubina prodiranja mraza, kroz obrađivane vrste materijala, sračunate su vrijednosti koeficijenata zamjene materijala kolovozne konstrukcije u odnosu na tlo, (Tabela 3). Dubine prodiranja mraza kroz vrste materijala su različite u zavisnosti od geomehaničkih i meteoroloških uslova. Sračunati odnosi koeficijenta zamjene materijala kolovozne konstrukcije u odnosu na tlo su beznačajno različiti. Usvojeni koeficijenti zamjene su prosječne vrijednosti po vrstama materijala.

Tabela 3. Koeficijenti zamjene sloja kolovozne konstrukcije

Kolovozna konstrukcija	$a_x$
Asfaltni sloj	1,5
Tampon	1,4
Temeljni sloj od kamena	1,3
Zemljana posteljica	1,0

### 3.2. Dubina prodiranja mraza u tlo

Časopis „Ceste i mostovi“ iz 1956. godine, objavio je rad pod naslovom „Odnos kolnika i tla“ autora ing. Nikole Horvata. Na osnovu korištenog dijagrama, uticaja trajanja mraza u danima takozvane suhe zime, bez snježnog pokrivača, te raspoloživih podataka Hidrometeorološke službe Jugoslavije o dubinama smrzavanja, određene su približne linije jednake dubine smrzavanja tla za područje cijele države Jugoslavije. Ta karta razmjere 1:5 000 000, uvrštena je u Smjernicama BiH, koju koriste projektanti kolovozne konstrukcije. Sam autor u članku navodi da je ta karta „tek orjencionog značaja“, (Slika 4).



Slika 4. Linije jednakih dubina smrzavanja u FNRJ<sup>3)</sup>

Na Građevinskom fakultetu u Sarajevu 1996. godine, urađena je doktorska disertacija „Istraživanje uticaja lokacionih parametara na ekstremnu dubinu prodiranja mraza u tlo“. Istraživanje je obuhvatilo otkrivanje uticaja hladnog vala i njegovog intenziteta na dubinu prodiranja mraza u tlo. Za ovo istraživanje korišteni su specijalno naručeni podaci istovremenog snimanja temperatura zraka i temperatura tla po dubini 1975./76. sa 26 lokaliteta meteoroloških stanica u BiH, od Hidrometeorološkog zavoda Sarajevo.

Tom prilikom otkrivena je zakonitost dubine prodiranja mraza u tlo. Primjenom ove otkrivene zakonitosti na istorijske podatke o temperaturama zraka u zimskom periodu, na obrađivanim meteorološkim stanicama od dana osnivanja do 1983/84, otkriveni su maksimalni hladni valovi i sračunate maksimalne dubine prodiranja mraza u tlo.

Za dobijene vrijednosti nizova po meteorološkim stanicama, definisani su povratni periodi javljanja ekstremne dubine prodiranja mraza u tlo, po vremenskim presjecima za svaku meteorološku stanicu.

Da bi se ustanovila zakonitost uticaja mikrolokaiteta meteoroloških stanica, formirana je matrica nezavisno promjenjive, dubine prodiranja mraza u tlo i zavisno promjenjivih karakteristika mikrolokaiteta.

Primjenom matematičkog modela multivarijantne regresione analize, dobijena je jednačina združenog uticaja lokacionih parametara koja glasi:

$$D_{pn} = -81,64 + 47,06 \cdot NV + 27,90 \cdot G\check{S} \quad (\text{cm}) \quad (10)$$

gdje je:

- NV – nadmorska visina (km), i
- GŠ – geografska širina uzeta kao ( $G\check{S} - 45^\circ$ ).

Primjenom ove jednačine nacrtana je karta istih dubina prodiranja mraza u tlo za BiH, (Slika 5).



Slika 5. Dubina prodiranja mraza u tlo na teritoriji BiH<sup>[4]</sup>

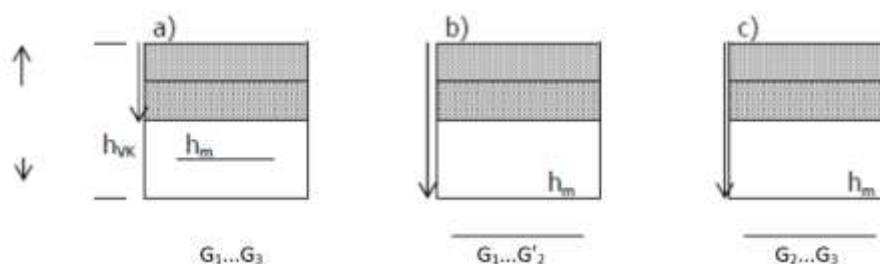


### 3.3. Dubina prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju

Kolovoznu konstrukciju dimenzioniranu na saobraćajno opterećenje, treba provjeriti na prodiranje mraza. Proračun prodiranja mraza kroz slojeve kolovozne konstrukcije, sastoji se iz umnoška koeficijenta zamjene sloja sa njenom odgovarajućom debljinom. Suma tih umnožaka daje ukupnu dubinu prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju, primjer kolovozne konstrukcije

### 3.4. Provjera zaštite kolovozne konstrukcije od štetnog dejstva mraza

Mjere za sprečavanje negativnog uticaja zamrzavanja i odmrzavanja materijala koji su klasificirani u kategorije  $G_1$  i  $G_2$ , kada dubina zamrzavanja dostigne do ovih materijala, tada je potrebno uzeti nepovoljne hidrološke uslove, (Slika 6c). Za ostale uslove (Slika 6a i 6b), otpornost na mraz je relativno velika pri projektovanju kolovozne konstrukcije, (Slika 6).



Slika 6. Vrste mjera za sprečavanje štetnog uticaja zamrzavanja<sup>[11]</sup>

Minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije  $h_{min\ k,k}$ , uzimajući u obzir ove uslove, date su u Tabeli 5.

Tabela 5. Minimalne debljine kolovozne konstrukcije u zavisnosti od dubine prodiranja mraza  $X$

Otpornost materijala posteljice na uticaj zamrzavanja i odmrzavanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije (cm)
otporan	povoljni	$h_{min\ k,k} \geq 0,6 X$
	nepovoljni	$h_{min\ k,k} \geq 0,7 X$
neotporan	povoljni	$h_{min\ k,k} \geq 0,7 X$
	nepovoljni	$h_{min\ k,k} \geq 0,8 X$

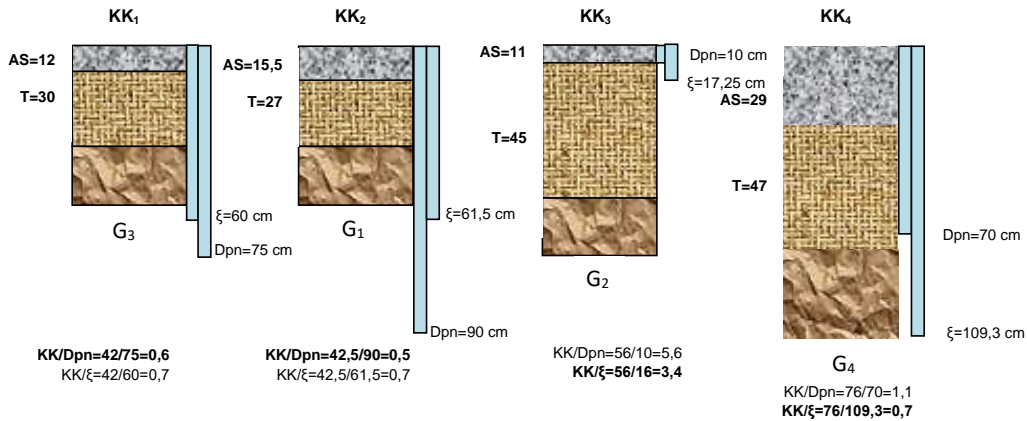
## 4. PRIMJER

Projektanti kolovoznih konstrukcija prilikom provjere kolovozne konstrukcije na štetno dejstvo mraza, koriste minimalne debljine kolovozne konstrukcije u zavisnosti od dubine prodiranja mraza  $X$ , Tabela 5. Za dubinu prodiranja mraza u tlo uglavnom se koristi karta (Slika 4), linije jednakih dubina smrzavanja u FNRJ, umjesto dubinu prodiranja mraza kroz kolovoznu konstrukciju.

U primjeru su obrađene karakteristične dionice iz Katastara kolovozne konstrukcije, koji je finansirala Direkcija cesta Federacije BiH, 2008. U Tabeli 6, dat je broj puta, naziv dionica, koordinate na mjestimu kernovanja-raskopa, osjetljivost materijala na smrzavanje  $G_n$ , kolovozna konstrukcija sa debljinama slojeva iz Katastra. Ekvivalentna dubina smrzavanja kolovozne konstrukcije, sračunata je množeći debljine slojeva sa koeficijentima zamjene sloja i sumiranjem, (Tabela 3) i dubina smrzavanja tla na tim lokalitetima očitana je sa karte, (Slika 7). Grafički prikaz kolovoznih konstrukcija sa dubinama smrzavanja prikazan je slikom 6.

Tabela 6. Elementi puta iz katastra kolovoznih konstrukcija F BiH

R. Br.	Put	Dionica	Koordinate kernovanja			G osj. na mraz	Kolovozna konstrukcija			Ekviv. dubine smrza. $\xi$ (cm)	$D_{pn}$ (cm)
			X	Y	Z		AS (cm)	T (cm)	$\Sigma$ (cm)		
1.	M 16	Donji Vakuf - Bugojno 0	6455556	4883398	542	3	4+8,0	30	42,0	60,00	75
2.	M 16	Bugojno - Kupres	6446709	4875629	1100	1	4+11,5	27	42,5	61,05	95
3.	M 17	Žitomislčići - Tasovčići	6477126	4774963	20	2	4+7,0	45	56,0	79,50	10
4.	M 17	Tarčin - Konjic 1	6506433	4848744	677	4	5+24,0	47	76,0	109,3	70



Slika 7. Grafički prikaz kolovoznih konstrukcija i dubine prodiranja mraza

Analizirajući minimalne debljine kolovozne konstrukcije u zavisnosti od dubine prodiranja mraza u tlo ili dubine mraza koja je dobijena metodom ekvivalenta tla, može se zaključiti:

- Za dionicu 1, gdje je Dpn veća od dubine prodiranja mraza dobijena metodom ekvivalenta tla i odnos  $KK/Dpn=0,6$ , za materijale malo do srednje osjetljive na mraz G<sub>3</sub>, bez obzira na hidrološke uslove podložna je štetnom dejstvu mraza, (Tabela 5). Zaštita ovakvih kolovoznih konstrukcija je da se kod dugih i hladnih zima, prilikom otopljenja i odmrzavanja kolovozne konstrukcije zakonski ograniči osovinsko opterećenje.
- Dionica 2, gdje je Dpn veća od dubine prodiranja mraza dobijena metodom ekvivalenta tla za odnos  $KK/Dpn=0,5$ , za materijale otporne na mraz G<sub>1</sub>, za povoljne i nepovoljne uslove konstrukcija je podložna štetnom dejstvu mraza.
- Kod dionice 3, zbog malog prodiranja mraza Dpn 10 cm, iako kolovozna konstrukcija zadovoljava daleko veće termičke uslove, kolovozna konstrukcija bez obzira na geomehaničke osobine i hidrološke uslove zadovoljava.
- Dionica 4, zbog prodiranja mraza koji nije prošao kolovoznu konstrukciju Dpn 70 cm, i dubine prodiranja mraza dobijena metodom ekvivalenta tla  $\xi=109,3$  cm, gdje je  $KK/\xi=0,7$ , za materijale neotporne na mraz G<sub>4</sub>, za povoljne i nepovoljne hidrološke uslove, konstrukcija je zaštićena od štetnog dejstva mraza.

## 5. Zaključak

Dobijeni rezultati koeficijenta ekvivalenta slojeva kolovozne konstrukcije u odnosu na posteljicu-tlo, su očekivani. Prema autorima koji se bave problemom zamrzavanja kolovozne konstrukcije i njihovom konstatacijom, da je dubina prodiranja mraza kroz slojeve materijala sa manjom vlažnošću veća, to su slojevi kolovozne konstrukcije (asfalt i kamen). Uzrok većem prodiranju mraza je posljedica manje vlažnosti u slojevima, pa je i latentna toplota fuzije vode manja, koja usporava prodiranje mraza.

Ove dobijene rezultate koeficijenata ekvivalenta, treba uzeti sa rezervom dok se ne provedu laboratorijska ili terenska istraživanja.

## Literatura

- [1] Jumikis A. The frost penetration problem in highway engineering, Rutgers University press, New Brunswick, New Jersey, 1955.
- [2] Jumikis A. Thermal soil mechanics, Rutgers University press, New Brunswick, New Jersey, 1966.
- [3] Horvat N. Ceste i mostovi, Zagreb 1956.
- [4] Mazić B. Asfaltne kolovozne konstrukcije, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo 2007.
- [5] Mazić B. Uticajni zimski indikatori za projektovanje kolovoznih konstrukcija, Univerzitetska knjiga, Građevinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo 2003.
- [6] Papo I. O jednoj francuskoj metodi za termičko dimenzioniranje kolovoznih konstrukcija, 9. Kongres JDP, Portorož 1975.
- [7] Philippe, A. Aguirre-Puente, H. Bertouille, M. Fredémond La propagation du gel dans les chaussées et sa simulation a la Station de gel expérimentale de Caen, Bulletin de liaison, No. 68, Paris, 1973.
- [8] Philippe A. Méthode provisoire d'évaluation des profondeurs atteintes par le gel dans les soil et les chaussées, Bulletin de liaison, No. 28, Paris, 1967.
- [9] Yoder, E . J. Principles of pavement desing, New York, 1959.
- [10] JUS UC4.016 Projektovanje i građenje puteva. Klimatski i hidrološki uslovi.
- [11] Smjernice Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Poglavlje 7: Konstruktivni elementi puteva, Sarajevo/Banja Luka 2005.

## УРБАНИЗАЦИЈА, САОБРАЋАЈ И ЗОНЕ САНИТАРНЕ ЗАШТИТЕ

Проф.др Весна Златановић-Томашевић,диа<sup>1</sup>

Удружење инжењера Београда, Београд, Кнеза Милоша 7а/III,  
е-маил:uib\_begrad@ptt.rs

**Апстракт:** Република Србија се суочава са великим изазовима у унапређивању система заштите животне средине, у оквиру темељних друштвено-економских реформи ка тржишној економији и грађанском друштву. Овај процес подразумева унапређење досадашње политике заштите животне средине и секторских политика ка управљању заштитом животне средине и природним ресурсима на принципима одрживог развоја. Плански основ за реализацију планираних намена у Београду је Генерални план Београда до 2021.године који је урађен 2003.године са изменама и допунама као „динамички план“ који је касније лагано ишао у правцу прагматизоване тезе „инвеститорског урбанизма“. Резултат реализације ГУП-а је видљив у еколошкој политици где су приоритети уређења комунална инфраструктура, канализација, саобраћајна мрежа и др Проблем који је приказан у раду је изградња новог путног правца Коридора 11 од Обреновца до Београда преко Сурчинског поља, у постојећој граници (у том моменту) уже санитарне зоне заштите водоизворишта. Ревизиона комисија Министарства је на седници од 05. јула 2013. године, разматрала обе варијанте Коридора 11, левом и десном обалом Саве и усвојила да варијанта по левој обали Саве има доминантну предност над варијантом по десној обали Саве, а на основу Студије вишекритеријумског вредновања коју је урадио Универзитет у Новом Саду, Факултет Техничких наука (Департмана за саобраћај и Департмана за грађевинарство и геодезију). После доношења решења Ревизионе комисије Министарства, дана 01.08.2014. године је донето Решење Министра здравља (бр.530-01-48/2014-10), којим су границе зона санитарне заштите водоизворишта, Сурчинског и Макишког поља умањене, а бришу се и границе зона санитарне заштите водоизворишта водоснабдевања Ратног острва и Црвенке на Дунаву. У елаборату о Зонама санитарне заштите водоизворишта (страна 445) стоји следеће: „Променом зона санитарне заштите тј. њиховим суужењем, поједине зоне на Макишком и Сурчинском пољу постају посебно атрактивне. На појединим локацијама може доћи до промене намене земљишта из доминантно пољопривредног у грађевинско или евентуалне пренамене из шумског у грађевинско земљиште (Макиш). Све будуће активности морају бити у складу са прописаним законима, урбанистичким мерама, уз поштовање мера заштите животне средине.“

**Кључне речи:** саобраћајни коридори, водоизворишта Београда, зоне заштите, водотоци, сливови

## URBANIZATION, TRANSPORT AND ZONE SANITARY PROTECTION

Prof. Dr Vesna Zlatanovic-Tomasevic

Association of Engineers of Belgrade, Belgrade, Serbia, Kneza Milosa 7A/III,  
vesnazlatanovic@yahoo.com

**Abstract:** The Republic of Serbia faces major challenges in improving the environmental protection system, within the framework of fundamental socio-economic reforms towards a market economy and civil society. This process implies the improvement of the current environmental protection policy and sectoral policies to manage environmental protection and natural resources on the principles of sustainable development. The plan for the realization of the planned purposes in Belgrade is the General Plan of Belgrade until 2021, which was done in 2003 with amendments and amendments as a "dynamic plan", which later slowly went towards the pragmatic thesis of "investor urbanism". The result of the realization of the GUP is visible in the environmental policy where the priorities of regulation are communal infrastructure, sewerage, traffic network etc. The problem presented in the paper is the construction of a new road section of Corridor 11 from Obrenovac to Belgrade through Surčin Field in the existing border (at that moment) of sanitary protection. At the session of 5 July 2013, the Audit Committee of the Ministry reviewed both variants of Corridor 11, the left and right banks of the Sava River, and adopted the variant along the left bank of the Sava River, having a dominant advantage over the variant on the right bank of the Sava River, based on the Multi-Criteria Evaluation Study was done by the University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences (Department of Transportation and Department of Civil Engineering and Geodesy). After the decision was made by the Auditing Commission of the Ministry, on 01.08.2014. The decision was made by the Minister of Health (No. 530-01-48 / 2014-10), which limits the sanitary protection zone of the water supply system, Surčin and Makiškog polja, and the boundaries of the sanitary protection zone of the water supply basin of the water supply of the War Island and Crvenka on the Danube. In the study on Sanitary Wastewater Protection Zones (page 445), the following is stated: "Changing the sanitary protection zone, ie, their narrowing, certain zones in the Makiš and Surčin fields become particularly attractive. In some locations, the land use can be changed from dominantly agricultural to construction or possibly converted from forest to grain land (Makiš). All future activities must be in accordance with prescribed laws, urban measures, while respecting environmental protection measures."

**Keywords:** traffic corridors, water supplies of Belgrade, protection zones, watercourses, basins

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [vesnazlatanovic@yahoo.com](mailto:vesnazlatanovic@yahoo.com)

## 1.УВОД

Данас је у свету један од приоритета унапређење заштите животне средине првенствено због пораста загађења ваздуха, воде и земљишта. Потрошња сировина у свету се стално повећава, што доводи до тешкоћа у погледу снабдевања енергентима из необновљивих ресурса и доводи до скока цена на тржишту. На глобалном нивоу људска насеља троше око 50 до 60% енергије у грађевинарству, становању (загревање и потрошња топлеводе, лети хлађење) и у саобраћају. У градовима се ваздух загађује првенствено од саобраћаја, а негативне последице на околину се огледају у емитовању угљендиоксида и појединих полутанта и плаћа се велика цена за високу мобилност приватних аутомобила и превелики транспорт робе камионима. Годишње у свету погине преко 250 000 људи у саобраћају, а само у САД годишње умире преко 30000 људи од последица загађеног ваздуха. Загађеност земљишта и еколошка деструкција још више увећавају проблеме, а наслаге контаминираних елемената представљају опасан проблем. Резултати су обесхрабрујући и у делу загађености вода. Нарушавање квалитета вода настаје као резултат испуштања фосфора и нитрогена у реке, језера и мора и доводи до аутрофикације, а квалитет воде и повезаних акваторијалних система угрожава лоше руковање градским канализационим системима, и загађење од индустрије, пољопривреде и разних хемијских загађења. Повећана је концентрација нитрата у подземним водама у пољопривредним подручјима. На пример Реке Елба и Рајна представљају велики проблем за Северно море.(5)

Да би се у Београду повећала контрола и заштита животне средине, Дирекције за грађевинско земљиште и изградњу Београда ЈП је са Градским заводом за заштиту здравља, службом за екотоксикологију из Београда, склопила Уговор за израду „Еколошког атласа Београда“, за подручје ГУП-а (1998).(6)Циљ истраживања је био развој и операционализација модела управљања животном средином Београда, који ће омогућити квалитетнији приступ процесу планирања, изградње и коришћења земљишта на подручју града Београда, еколошко зонирање града и праћење стања животне средине, развојем информационог система и развојем система урбо - еколошких индикатора и критеријума за њихово вредновање. На основу евиденција и анализа постојеће документационо-информационе основе урађен је „Еколошког атласа Београда“, са 56 карата( сл.1 и 2), које обрађују појединачне тематске области. Резултат рада на заштити животне средине и новом приступу заштити животне средине и управљања природним ресурсима је омогућио да се Београд 2002.године прикључи европском покрету “Еколошких и одрживих градова“, односно светском покрету “Здравих градова”



Слика 1. Хидрогеолошка карта подручја (Еколошки атлас Београда 2002)



Слика 2. Зоне заштите изворишта водоснабдевања (Еколошка атлас Београда 2002)

Данас се Београд суочава са бројним проблемима у заштити животне средине које проузрокује недовољно контролисано коришћење комуналних система, непоштовање еколошких и функционалних капацитета градских физичких структура, угроженост површинских и подземних вода, неуређеност и загађеност речних обала, загађеност ваздуха, нивои буке у појединим деловима града од саобраћаја, угрожено пољопривредно земљиште итд. Може се са правом констатовати да су општи узроци проблема у области заштите животне средине недовољни капацитети институција у области заштите животне средине, неделотворан систем мониторинга и извештавања, недовољна ефикасност инспекцијског надзора, спорост судова, неделотворан систем финансирања заштите животне средине и недостатак економских подстицаја, као и низак ниво свести о животној средини због недовољне едукације о животној средини и неадекватног учешћа јавности у одлучивању.(3) Програм заштите животне средине административног подручја града Београда (територије 17



градских општина, 2013.) је урађен за период од десет година. Програм је усклађен са Националним програмом заштите животне средине, Националном стратегијом одрживог развоја Републике Србије, Стратегијом развоја града Београда и Секторским стратешким и планским документима на нивоу града Београда. У Програму је констатовано да је неопходно успостављање јединственог система идентификације, планирања и програмског управљања заштитом животне средине, да је основни циљ уравнотежено и рационално коришћење геопростора града и његових природних ресурса, уређење територије, смањење загађења, елиминисање конфликта слабости и притисака на животну средину, развојање активности за изградњу здравог окружења са дефинисаним приоритетима активности у области вода, увођењем нових технологија, проширењем мреже мониторинга емисија отпадних вода, развијањем интегралног катастра загађивача, унапређењем квалитета водних ресурса, спровођењем мера санитарне заштите и одржавања свих изворишта водоснабдевања, реконструкцијом постојећих и изградњом нових система за прикупљање, одвођење и пречишћавање отпадних комуналних и индустријских вода и др. Задачи утврђени Програмом се спроводе Акционим планом, а реализација утврђених активности се врши путем годишњих оперативних планова надлежних институција и организација. Извештаји о реализацији Акционог плана се усвајају сваке друге године, на основу њих се доносе оцене о степену реализације Акционог плана и врше измене и допуне Акционог плана.

## **2. САОБРАЋАЈНИ КОРИДОР 11, ДЕОНИЦА ОБРЕНОВАЦ - СУРЧИН И ЗОНЕ САНИТАРНЕ ЗАШТИТЕ ВОДОИЗВОРИШТА БЕОГРАДА**

Уређење и развој регионалног административног подручја града Београда, његовог метрополитенског подручја и јачање регионалног позиционирања града за достизање општег циља будућег развоја има саобраћајна инфраструктура. На подручју града Београда саобраћај и саобраћајна инфраструктура представљају врло присутан проблем због недовољне развијености, изграђености и одговарајућих капацитетних способности. Основне карактеристике постојеће саобраћајне инфраструктуре подручја београдског метрополитена су путеви међународног значаја који су делом изграђени са елементима аутопута, затим недостатак комплетне обилазнице око Београда, ниво опремљености оперативним и пратећим садржајима и др. Железничка инфраструктура је са малом пропусном моћи и малим брзинама, а градско - приградски железнички саобраћај има релативно мало учешће у укупном превозу путника. Посебан проблем је недостатак висококапацитетне подземне железнице, типа метроа који је у ГУП-овима Београда од 1972.године до 2003.године и од 2011.године до данас. (У ГУП-у Београда од 2003-2012 године не постоји метро систем). Међумесни и приградски саобраћај је ослоњен на аутобуски превоз чија је ефикасност у директној зависности од стања путне инфраструктуре и саобраћајног оптерећења. Недовољно је развијен систем који обезбеђује приступачност саобраћајној инфраструктури и коришћењу саобраћајних средстава инвалидним особама и лицима са посебним потребама. Погодности које има аеродром „Београд” у погледу географског положаја су недовољно искоришћене. Речни путнички саобраћај је сведен само на сезонски и туристички и то превасходно је међународног карактера, лучки капацитети немају дефинисан статус и визију будућег развоја, није успостављена ни одговарајућа координација између луке „Београд” и лука у метрополитенском подручју (Панчево, Смедерево). Мрежа логистичких центара је неразвијена, терминали интегралног транспорта су на неповољним локацијама, недовољно технолошки опремљени и зато не може да се говори о Београду као мултимодалном чвору. (4)

Од примарне уличне и путне мреже на подручју Генералног урбанистичког плана, у периоду до 2021. године приоритет у реализацији има важан саобраћајни правац, аутопут коридор 11 Јужни Јадран (Е-763). Идеја о изградњи аутопута Београд - Обреновац, дуж десне обале Саве и долином Колубаре, најкраћим путем до Јужног Јадрана, је стара више деценија. На овом природном правцу, од Умке до улаза у Барич, су стара клизишта Умка и Дубоко. Прва истраживања и анализе започете су 1979-81, а потом настављене 1990-93. године. У циљу изналажења оптималног положаја будућег аутопута, приступило се детаљнијим геолошко - геотехничким истраживањима и осматрањима клизишта Умка – Дубоко. Разматрано је више варијанти провођења аутопута: тунелска варијанта у брдском залеђу клизишта, обилазак клизишта са два моста на Сави и преласком на равничарску леву обалу, делимично или потпуно измештање реке, обалом реке у ножици клизишта у комбинацији насип - мост, затим дугачки мост у зони ножице клизишта и др. Коначна одлука о варијанти у зони клизишта тада није донета али је у међувремену изграђен полуаутопут од Остружнице до Умке, на око километар испред клизишта. Новим Генералним пројектом аутопута Београд (Остружница) – Чачак – Пожега (Л = 148 км), који је урађен 1998. а усвојен 2000. год. је одабран коридор аутопута који је смештен дуж десне обале Саве. (Институт за путеве а.д.) Републичка Ревизиона комисија је прихватила генерални пројекат десном обалом Саве 10.октобра 2000 године, с тим да се у следећој фази израде техничке

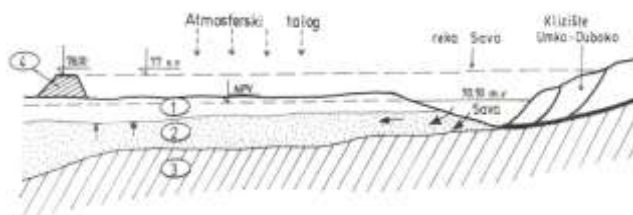
документације преиспита улазно/излазни прикључак у зони Београда левом обалом Саве. Инвеститор је наручио израду пројектних решења за обе варијенте, по десној и левој обали Саве. Влада Републике Србије је 20. априла 2006. године, (05 број 110-2072/2006), на предлог Републичке агенције за просторно планирање, донела Уредбу о утврђивању Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд-Јужни Јадран, деоницу Београд – Пожега ("Службени гласник РС", бр. 37/2006)(12). За израду техничке документације је важно да је за овај простор битно и Решење о одређивању и одржавању зона и појасева санитарне заштите изворишта која се користе за снабдевање водом за пиће подручју града Београда ("Службени лист града Београда" бр. 29/87и бр.1/88).(9) (сл.3,4 и 5).



Слика 3. Зоне уже санитарне заштите изворишта (плава боја) до 01.08.2014.



Слика 4. Зоне високе рањивост и зоне без заштитног ефекта (шрафирано)



Слика 5. Шематски приказ прихрањивања терена подземном водом у зони алувијона леве обале Саве (1. седименти „поводња“ прашинасто-песковита и муљевита зона, 2. седименти „корита“ песковите и песковито-шљунковите наслаге, носиоци сталних, слободних, изданских вода, 3. хидрогеолошки изолатори, панонски масивни лапори, 4. левообални против-поплавни насип)

На основу ППППН урађен је **идејни пројекат на десној обали Саве**. Пројекат је достављен Ревизионој комисији на разматрање, која је на својим седницама 14. и 21. децембра 2007. године разматрала и прихватила исти. У складу са закључцима Републичке ревизионе комисије, а на захтев Инвеститора Републичке дирекције за путеве, урађено је и **генерално решење варијанте левом обалом Саве**, од Јакова до Обреновца (Саобраћајни институт ЦИП – 2005. год.). Циљ израде Генералног решења било је упоређење и вредновање две варијанте аутопута: дуж десне и леве обале Саве. Процес разматрања решења је отежан чињеницом да су различити нивои пројектне документације ..

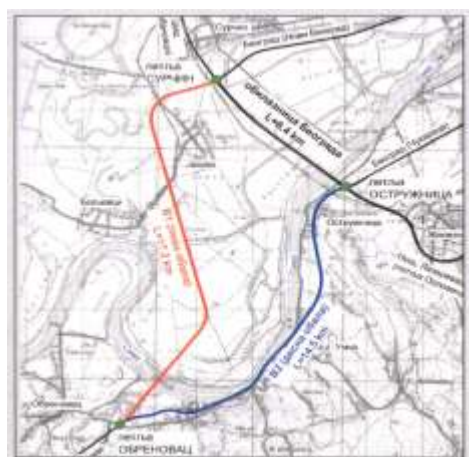
Влада Републике Србије 29. априла 2010. године доноси Уредбу о измени и допуни донете Уредбе о утврђивању Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд-Јужни Јадран, за деоницу Београда –Пожега („Службени гласник РС”, број 31/2010)<sup>13</sup>. У Уредби о измени и допуни Уредбе о утврђивању Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд–Јужни Јадран, деоница Београд–Пожега (у даљем тескту: Просторни план), у текстуалном делу у поглављу I. ПОЛАЗНЕ ОСНОВЕ, у одељку 2. Опис граница подручја Просторног плана, у ододељку 2.1. Обухват Просторног плана, ставу 3. додаје се нова тачка 2), која гласи: „2) алтернативно општина Сурчин (град Београд) катастарске општине Јаково и Бољевци и део катастарске општине Сурчин - П 94,8 км<sup>2</sup>.”(13)

Траса аутопута Јужни Јадран се од петље “Обреновац”, затим разматра у две варијанте и то (сл. 7) : десном обалом Саве (ЛОС) до петље “Остружница” где се остварује веза са обилазницом- и левом обалом Саве (ЛОС), преко сремског подручја, до планиране петље "Сурчин" (око 5 километара од изграђене петље Добановци) преко које се остварује веза са обилазницом. По варијанти (ЛОС) од петље "Сурчин", у рангу магистрале планира се нова траса Војвођанске улице до саобраћајнице Т-6, преко које се овај правац везује са постојећим аутопутем, Северном тангентом, Банатским подручјем и ширим подручјем централне зоне града.

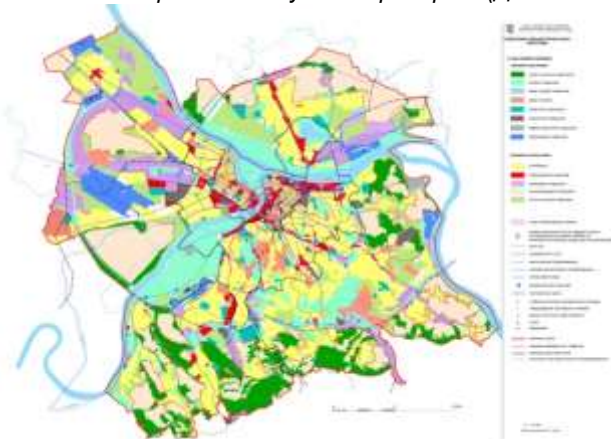
Урађено генерално решења деонице коридора 11 левом обалом Саве, је достављено Ревизионој комисији министарства која је разматрала и прихватила дато решење на седници 28.јуна 2012. године. Инвеститор је по усвајању оба варијантна решења донео одлуку о изради Студије вишекритеријумског вредновања урађених варијанти Универзитету у Новом Саду, Факултету Техничких наука (Департману за саобраћај и Департману за грађевинарство и геодезију)(11).



**Слика 6.** Сурчинско поље, постојећа траса пута Р101 која повезује коридор 10 у изградњи (Обреновац- Добановци), лева обала Саве



**Слика 7.** Алтернативни путни коридор 11 (ДОС И ЛОС)



**Слика 8.** ГУП Београда-Измена и допуна, децембар 2012.- алтернатива ДОС и ЛОС.

По изради Студије, иста је дата Ревизионој комисији на разматрање, која је на седници 05. јула 2013. године(7) разматрала и усвојила Студију вишекритеријумског вредновања варијантних решења. Закључено је да је на основу изложених секторских анализа и резултата вишекритеријумског

вредновања, аналитичком хијерархијском методом, укључујући и резултате теста осетљивости, варијанта (ЛОС) на левој обали Саве у предности над варијантом (ДОС) на десној обали Саве. Међутим важно је напоменути да Ревизиона комисија, и Студија вишекритеријумског вредновања, није узела у разматрање Решење о постојећим зонама заштите изворишта водоснабдевања АП Београда, („Службени лист града Београда“ бр. 29/87., бр. 1/88. )(9). Усвојена траса аутопута левом обалом Саве већим делом је у ужој зони санитарне заштите изворишта подземних вода (Зони II), а мањим делом трасе у широј зони (Зона III) која је подељена на два сектора: Сектор појачаног надзора – шира А зона и Сектор надзора – шира Б зона. ( слика 3 и 4). Код усвајања пројекта левом обалом Саве није узет у обзир ни прописан начин одржавања зона са мерама заштите, које су дефинисане у наведеним Сл. листовима града Београда . Према прописима у оквиру уже зоне заштите је забрањена било каква инвестициона изградња, а у оквиру сектора појачаног надзора забрањена је изградња објеката за производњу и складиштење из делатности електропривреде, металопрерађивачке индустрије, базне хемије, фармације, текстилне индустрије и сл. У оквиру сектора надзора ове делатности су дозвољене само уз посебне мере заштите док је и на овом простору забрањена изградња објеката за производњу електричне енергије на нуклеарни погон. Такође, прописано је да се сви објекти у зонама заштите морају на адекватан начин (без или са посебним мерама) повезати на канализациони систем. Усвојене границе зона санитарне заштите које су приказане на сл. 3 и 4 су узеле у обзир три најбитнија елемента планираног развоја града и објеката водоснабдевања: 1.планираног на Новом Београду од топлане до насеља Иван Рибар, 2.планираног у зони новобеоградских блокова, и 3. да граница уже зоне заштите изворишта иде линијом савског насипа, на удаљењима најчешће значајно мањим од 100 m од бунарских шахтова.



**Слика 9.** Лева обала Саве, пост. подземне издани



**Слика 10.** Лева обала Саве и пут ЛОС

По усвајању варијанте левом обалом Саве и Студије вишекритеријумског вредновања од стране Ревизионе комисије (7), Инвеститор је одлучио да се у наредној фази изради техничка документација - Главни пројекат Коридора 11 деоница Обреновац-Сурчин, на левој обали реке Саве.

Важно је напоменути да је у усвојеној Студији за одређивање релативне тежине усвојених критеријума примењена поједностављена „Делпфи“ метода (анкетом) на узорку од 30 испитаника високе стручне спреме. Обзиром на постављене циљеве који су изражени у критеријумима и жељеним вредностима релевантних показатеља (минималним и максималним), добијени су следећи тежински односи (%): Минимални трошкови изградње 25,78 %; Максимална расподела саобраћајних токова 17,92 %; Минимално време путовања 15,50 %; Минималне просторне последице 15,50 %; Минималне еколошке последице 13,43 %; Максимални индиректни економски ефекти 11,88 %. Геотехнички и хидрогеолошки услови и ограничења терена фигурирају у четири критеријума: трошковима изградње, просторним и еколошким последицама и индиректним економским ефектима.(11)

Анализирајући Извештаје Ревизионе комисије Министарства и Студије вишекритеријумског вредновања у делу Утицај варијанти на животну средину може се констатовати следеће(7):

- Да ће обе варијанте, као увек када је у питању изградња саобраћајне инфраструктуре, имати одређени утицај на промене квалитета животне средине.

- Код варијанте ДОС-а је извршена анализа: 1. Загађења вода, 2.Чврстих и течних отпадних материја, 3.Земљишта и 4 Бука и вибрација.

- Код варијанте ЛОС-а је извршена анализа:1. Течних и чврстих отпадних материја, 2.Буке и вибрација,3.Ваздуха, 4.Земљишта.

На основу изнетог се може донети следећи закључак а то је да урбанистичко-еколошком анализом није извршена анализа загађења ваздуха за ДОС, а за ЛОС анализа загађења вода што је код ове варијанте најважније, па самим тим није доследно заузет исти став за варијенту ДОС и ЛОС. Код



варијанте ДОС се затим наводе само негативни делови анализа, а код ЛОС само позитивни делови анализа, што је са стручног и научног становишта неупоредиво.

Закључак дат за ДОС и ЛОС у анализи Извештаја Ревизионе комисијена страни 3, предпоследњи и последњи пасус гласи (7):

Под 1. Предпоследњи пасус(извод) :

**Варијанта ДОС** (десна обала Саве, 14,4 км. вредност 136.850.000 €),(Сл.7). Рачунска брзина је 120км/сат. Геометријски елементи ситуационог плана су усклађени са елементима раније изграђеног полуаутопута од Остружнице до Умке. Део трасе од Умке до Обреновца пролази подручјем Умка и Барич и клизишта Дубоко/ 4км./, обухвата 200 ха градског земљишта са приближно 500 кућа.(Слика.11). Од укупно 8 критеријума по којима варијанта ДОС (десна обала Саве) има следећу предност су : 1.Техничко-технолошки критеријуми, 2. Саобраћајни критеријум, подкритеријум: Приступачност централних садржаја, 3. Геотехнички подкритеријум: Стабилизација клизишта Умка и Дубоко, 4.Хидротехнички подкритеријум: Побољшани услови пловидбе, 5.Трошкови грађења, подкритеријум (напомена је дата да нису узети у обзир трошкови експропријације и расељавања за објекте без грађевинске дозволе, а авидентно је да су на клизишту 90% објекти са грађевинском дозволом),6.Трошкови одржавања пута, подкритеријум, 7.Трошкови саобраћајних незгода, и 8.Трошкови експлоатације возила.



Слика 11. Модел аутопута и регулационе грађевине дуж десне обале Саве

Закључак дат за ДОС и ЛОС у анализи Извештаја Ревизионе комисије на страни 3, предпоследњи и последњи пасус гласи (7):

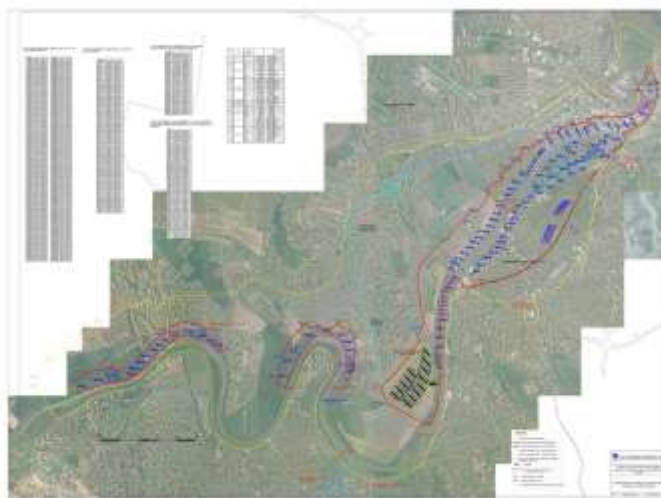
Под 1. Последњи пасус(извод) :

**Варијанта ЛОС** (лева обала Саве, 17,2км. вредност 166.391.188 €).(Сл.7). Рачунска брзина вишекритеријумском анализом није дата. Траса аутопута обилази насеље Јаково, војни комплекс у близини насеља и зоне ограничења (водоизворишта) од Јакова према реци Сави. На овом делу траса пролази између две ограничене површине водоснабдевања, у зони постојећег локалног пута. (Коментар. Дата анализа из „Елабората о зонама санитарне заштите изворишта подземних и површинских вода за водоснабдевање града Београда Института за водопривреду - Јарослав Черни“ад.Београд“ није могла да буде разматрана на Ревизионој комисији 28 јуна и 5 јула 2012.г)јер је усвојена Решењем министарства здравља 01.08.2014.). Већи део коридора аутопута на овој деоници је под обрадивим површинама, а мањи део под шумама, ( коментар је да вишекритеријумском анализом није дат обухват земљишта са наменом, као за ДОС). За доминантне предности варијанта ЛОС, највећи значај имају : 1.Урбанистички критеријуми : Однос варијанти према, усвојеним просторним и урбанистичким плановима и Урбанистичка правила, норме и стандарди, (коментар, за обе варијанте је исто); 2.Еколошки критеријуми: Последница загађења земљишта због формирања депоније иза одбрамбеног насипа, за одлагање јаловине из корита Саве. (коментар је да је евидентно да загађење подземних вода, затварање приступног пута за манастир Фенек, грејање целе трасе аутопута у зимском периоду и постављање непропусне фолије испод трасе аутопута није узето у обзир у анализи. )

Потреба израде новог елабората изворишта водоснабдевања Београда је покренута првенствено из потребе за новим приступом одређивању зона, сагласно усвојеним новим прописима и мишљењем да су : величине зона (шира зона је обухватала 1928.8 km<sup>2</sup>, а ужа 282.8 km<sup>2</sup>) онемогућиле одговарајуће контроле спровођења и немогућност адекватног планирања и инфраструктурног уређења простора, што је за последицу имало, појаву интензивне дивље градње. За нови Елаборат о зонама заштите изворишта водоснабдевања Београда је урађена Конкурсна документација за јавну набавку (ОП-6/11 од 18. јануара 2012.године) потписана од стране ЈКП «Београдски водовод и канализација, ЈП «Дирекције за грађевинско земљиште и изградњу Београда, Секретаријата за



комунално-стамбене послове и Управе за воде. Израду новог Елабората о зонама санитарне заштите изворишта снабдевања града Београда је на конкурс добио Институт «Јарослав Черни» ад.Београд.Нови Елаборат о зонама санитарне заштите изворишта снабдевања града Београда (2013.године)(1) је рађен на основу новог Закона о водама, („Службени гласник РС”, број 30/10 и 93/12)(2), усвојен 01 августа 2014.год. од стране Министарства здравља Републике Србије.(10) (сл.12). У Елаборату су извршене промене постојећих зона уже и шире заштите водоизворишта града Београда, смањене су на Сурчинском и Макишком пољу и избрисана је зона заштите изворишта Црвенка на левој обали Дунава, и зона Велико ратно острво (на основу Уредбе о еколошкој мрежи – станиште за птице). Усвојеним Елаборатом су проширене зоне заштите изворишта у зони Новог Београда и Ушћа. У Елаборату је наведено и следеће; Да уколико траса саобраћајнице прати обалу реке, (што значи да је паралелна линији бунара а налази се на удаљењу мањем од 1000м од линије бунара), њоме не би требало вршити транспорт опасних материја: Дате су и допунске мере за ужу зону заштите за саобраћајнице које пресецају зоне - управно на линију бунара и водоток Саве (транспорт опасних материја се може дозволити само уз примену допунских мера заштите тј. пратња специјализованих возила за помоћ у случају акцидента);Да се морају врло пажљиво и детаљно размотрити техничка решења и проверити сигурност трасе и елемената пута, (обзиром на чињеницу да се ради о приобалној зони са честим маглама, поледицом и сл); Да морају да се размотре и алтернативне могућности примене одређених допунских мера заштите врста и начин одржавања коловоза-грејањем, (уместо уобичајених мера посипања коловоза индустријском сољу током снежних падавина); Осветљење саобраћајних трака са довољном ширином - проширењем карактеристика пута и сл.; Примена адекватних решења за прихват и пречишћавање атмосферских вода, (које се приликом падавина сливају са трупа пута), уз обавезно разматрање алтернативних решења одвођења вода (забрана њиховог упуштања у мелиоративне канале у ужој зони заштите);Забрана формирања одморишта, паркинга, бензинских пумпи и других садржаја дуж саобраћајнице на потезу кроз ужу зону заштите; Код дефинисања границе зоне заштите усвојен је критеријум потребног удаљења од минимум 500 м до 560 м, у зонама у којима је предложена граница унутар простора постојеће уже зоне заштите (Сурчинско и Макишко поље и узводни сектор). ЈП „Београдски водовод и канализација“ је на Елаборат Института „Јарослав Черни“ дао **условну сагласност**, а Секретаријат за заштиту животне средине примедбе на смањене зоне санитарне заштите изворишта Београда. Важно је напоменути да Решење Министра здравља о новим зонама санитарне заштите водоизворишта града Београда, (донето 01 августа 2014.год., бр.530-01-48/2014-10), није објављено у Службеном листу града Београда (сагласно Закону о водама и Правилнику) већ је са приложеном документацијом дистрибуирано свим градским институцијама уз обавештење о доношењу, важењу и обавези његовог примењивања, што значи да су нове границе унете: у План управљања водама, Регионални просторни план Београда, Генерални урбанистички план Београда и Планове генералне и детаљне регулације. Пошто је Београд регион, по важењем Закону о водама, решење о зонама санитарне заштите изворишта одређује Влада Републике Србије, а не Министарство здравља, на захтев Секретаријата за комунално-стамбене послове - Управе за воде.(6)



**Слика 12.** Нове уже зоне санитарне заштите (црвена боја) и шире зоне заштите (жута боја) 01.08.2014.и положај траса Коридора 11.(Елаборат о Зонама санитарне заштите водоизворишта Институт „Јарослав Черни“, ад.Београд 2013.)

### 3.ЗАКЉУЧАК

Изградњом аутопута дуж леве обале Саве девастира се еколошки исправан терен, трајно се уништава обрадиво земљиште, угрожава деценијама грађен мелиорациони систем „Галовица“ у Бољевачком пољу. Без обзира на предвиђене мере заштите и даље постоји опасност загађења изворишта пијаће воде и будућег водопривредног објекта „Зидине“.Изградњом аутопута дуж десне обале Саве, деценијама девастиран терен, насеље и инфраструктура у зони клизишта Умка – Дубоко, се санира и доводи у еколошки исправно стање, што би омогућило решавање услова урбанизације простора, даљи развој инфраструктурног коридора, санацију магистралног пута М19, проширење пловног пута реке Саве, омогућила изградња гасовода, телекомуникација, електроводова и изградњом камене грађевине уклонио главни узрок обнављања процеса клизења – ерозија десне обале и зауставио процес у иницијалном приобалном појасу. Изградњом система дубоких дренажа и каналске мреже, планирањем и пошумљавањем терена уз будуће планско регулисање испуштања отпадних вода, зауставила би се дубока иницијална померања клизишта, а потом и плитка померања на ширем угроженом простору. Вредновани индиректни ефекти су вишеструко на страни изградње аутопута десном обалом Саве и наравно једног домаћинског односа државе према децениским проблемом, који на жалост нису прихваћени донетом одлуком о изградњи коридора 11 левом обалом Саве.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Елаборат о зонама санитарне заштите изворишта површинских и подземних вода водоснабдевања града Београда (Институт „Јарослав Черни“, 2013.).
- [2] Закон о водама (Сл.Гласник РС бр. 30/2010.,Сл. Гласник РС бр. 93/2012).
- [3] Закон о заштити животне средине (Службени Гласник РС”, бр. 135/04, 36/09,36/09).
- [4] Златановић –Томашевић,В., Урбанизација и заштита природних ресурса и пејзажа, часопис ТЕХНИКА бр.4(17),стр 603-611.
- [5] Златановић-Томашевић В. (2017), Конвенција о сарадњи на заштити и одрживом коришћењу реке Дунав, Планска и нормативна заштита простора и животне средине.АППС,Зборник, стр.97—103.
- [6] Златановић-Томашевић В. (2017), Саобраћај и заштита вода – природних ресурса Београда Саобраћај и инфраструктурни системи, природни ресурси и еколошки аспекти заштите животне средине.УИБ, Зборник, стр.78-91.
- [7] Извештај Ревизионе комисије (05. јула 2013. године).
- [8] Правилник о начину одређивања и одржавања зона санитарне заштите за снабдевање водом за пиће (Сл. Гласник РС бр. 92/08).
- [9] Решење о постојећим зонама заштите изворишта водоснабдевања АП Београда, („Службени лист града Београда“ бр. 29/87., бр. 1/88. ).
- [10] Решење о одређивању зона санитарне заштите на административној територији града Београда за изворишта подземних и површинских вода које служе за водоснабдевање града Београда, Министарство здравља Републике Србије(бр. 530-01-48/2014-10, од 01.08.2014.).
- [11] Студија вишекритеријумског вредновања, Универзитет у Новом Саду, Факултет Техничких наука (Департман за саобраћај и Департману за грађевинарство и геодезију,2013).
- [12] Уредба о утврђивању Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд-Јужни Јадран, за деоницу Београд – Пожега ("Службени гласник РС", бр. 37/2006).
- [13] Уредба о измени и допуни донете Уредбе о утврђивању Просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд-јужни Јадран, за деоницу Београда –Пожега („Службени гласник РС”, број 31/2010).

# INTEGRISANI MENADŽMENT SISTEMI I POSLOVNA IZVRSNOST U JP “PUTEVI SRBIJE”

## Zoran Pešović<sup>1</sup>

Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, [zoran.pesovic@putevi-srbije.rs](mailto:zoran.pesovic@putevi-srbije.rs)

## Aleksandra Heleta – Milošević

Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, [aleksandra.heleta@putevi-srbije.rs](mailto:aleksandra.heleta@putevi-srbije.rs)

**Rezime:** U radu se prezentuje način definisanja, implementacije, primene, razvoja i koordinacije na poslovima integrisanih menadžment sistema koji se razvijaju u JP “Putevi Srbije“. Integrisani menadžment sistem je postavljen od osnovnog standarda sistema menadžmenta kvalitetom po ISO 9001:2015 i sistema menadžmenta zaštitom zdravlja i bezbednošću na radu po OHSAS 18001:2008, na koji se integrišu ostali sistemi. Predstavljen je način definisanja i inženjeringa svih poslovnih procesa koji se realizuju kroz kreativne radionice u okviru preduzeća, kao način postavljanja indikatora performansi koji su povezani sa ciljevima preduzeća. Takođe je predstavljen i model poslovne izvrsnosti iz nekoliko pojedinačnih kriterijuma.

**Ključne reči:** putevi srbije, integrisani menadžment sistemi, poslovna izvrsnost, poslovni proces, kreativne radionice, indikatori performansi, zainteresovane strane.

## 1. UVOD

Razvoj poslovne izvrsnosti baziran na integrisanim menadžment sistemima u JP “Putevi Srbije“ (JPPS) doživljava svoju ekspanziju. Višegodišnji rad na unapređenju menadžment sistema, koji je započeo 2011.godine na dobro utemeljenom osnovnom modelu, pokazao je da su standardizacija i stalna poboljšanja menadžment sistema, uz osnovne principe modela izvrsnosti, postala prvorazredno pitanje poslovanja JPPS u okruženju koje se dinamično menja. Definisanjem i usvajanjem Dugoročnog i srednjoročnog plana poslovne strategije i razvoja 2017-2027, JPPS je definisalo i svoje strateške odluke vezano za dalje pravce razvoja preduzeća. Na ovaj način integrisani menadžment sistemi u JPPS daju punu podršku stabilnosti i razvoju preduzeća kroz jačanje strateškog menadžmenta sa jedne strane i operativnog menadžmenta sa druge strane, što predstavlja dve strane iste medalje [5]. Brzina promena u kojima posluju organizacije, zahteva da se pored definisanja strategije i izgradnje operativnog menadžment sistema uspostavi dinamička interakcija između strateškog i operativnog menadžmenta. To znači da procesi kao operacionalizacija strateških odluka, moraju biti dobro definisani sa jasnim indikatorima performansi koji se prate na godišnjem nivou i koji su deo stalnih procesa poboljšanja. Na taj način je omogućeno poslovanje preduzeća poštujući zahteve zakonske regulative i u korist svih zainteresovanih strana.

## 2. PIRAMIDA MENADŽMENTA I MODEL IZVRSNOSTI

Pitanja vezana za menadžment imaju ključni značaj za svaku organizaciju. Od načina na koji se planira obavljanje radnih zadataka, organizuje preduzeće da bude efektivno i efikasno, predvode i motivišu zaposleni do načina na koji se uspostavljaju kontrolni mehanizmi da bi se pratilo ostvarenje planova u delo i ispunjenost ciljeva [3]. Piramida menadžmenta prikazana je na Slici 1.

Model poslovne izvrsnosti postavljen u JP “Putevi Srbije“ baziran je na definisanoj strategiji i dobro postavljenim integrisanim menadžment sistemima koji obuhvataju osnovni sistem menadžmenta kvalitetom po ISO 9001:2015 i sistem upravljanja zaštitom zdravlja i bezbednosti na radu po OHSAS 18001:2008.

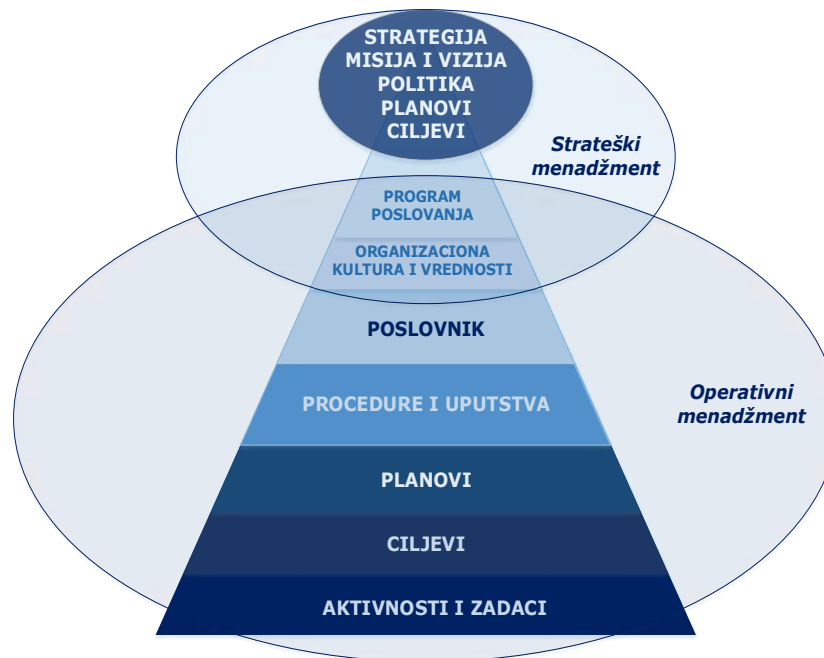
---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [zoran.pesovic@putevi-srbije.rs](mailto:zoran.pesovic@putevi-srbije.rs)

Model izvrsnosti predstavlja kreativni okvir sa kriterijumima koji koriste metod benčmarkinga – poređenje sa drugima i učenje na njihovim iskustvima za ocenu postignutog nivoa izvrsnosti i njihovog pravca razvoja [1].

Model je baziran na 9 kriterijuma, čiju potvrdu uspešnosti preduzeće je dobilo kroz osvajanje nacionalne nagrade za poslovnu izvrsnost – Oskar kvaliteta, od strane Fondacije za kulturu i izvrsnost (FQCE) u tri kategorije:

- Strategija, čime je prikazan dobro uspostavljen strateški pravac preduzeća da racionalno i blagovremeno reaguje na promene u sredini u kojoj obavlja svoju poslovnu delatnost, kroz definisan plan, a radi ostvarenja jasno definisanih ciljeva [2],
- Partnerstvo i resursi, kojim je potvrđen dobar odnos sa partnerima i veliki potencijal resursa kojim preduzeće raspolaže,
- Rezultati kod korisnika, kojim smo potvrdili unapređenje performansi kod korisnika kroz povećanje kvaliteta upravljanja saobraćaja u Republici Srbiji, upravljanje novim deonicama, poboljšanim kvalitetom održavanja puteva, skraćivanjem vremena zadržavanja na našim naplatnim stanicama, kao i znatnim poboljšanjem kvaliteta i brzine davanja informacija o stanju na putevima putem Informativnog centra.



**Slika 1. Piramida menadžmenta u JPPS**  
Izvor: Poslovnik JPPS [6]

Na vrhu piramide strateškog menadžmenta definisana je strategija preduzeća kroz Dugoročni i srednjoročni plan poslovne strategije i razvoja 2017-2027. U okviru strategije su definisane vizija i misija preduzeća kao i strateški ciljevi JP "Putevi Srbije" grupisani u 9 celina:

- Institucionalno jačanje
- Finansijski ciljevi
- Mreža puteva
- Razvoj puteva
- Bezbednost saobraćaja
- Zaštita životne sredine
- Poboljšanje saobraćajnih veza
- Kvalitet usluge
- Uposlenost kapaciteta.

Strateški plan preduzeća takođe zahteva da se sve poslovne funkcije: od projektovanja i planova, investicija, održavanja putne infrastrukture, upravljačko informacionih sistema u saobraćaju i naplate putarine do pravnih, kadrovskih, opštih i finansijskih poslova potpuno integrišu sa vizijom, misijom, politikom i ključnim strategijama u cilju stvaranja operativnog menadžment sistema kako bi preduzeće odgovorilo na zahteve svih zainteresovanih strana. S obzirom da je osnivač javnog preduzeća "Putevi Srbije" Vlada Republike Srbije, osnovni zahtevi proističu iz poštovanja zakonske regulative koja je definisala delokrug rada preduzeća.

Realizacija strategije poslovanja se operacionalizuje u okviru godišnjih planova svih sektora koji sačinjavaju godišnji Program poslovanja. Dalja razrada strateških ciljeva preduzeća je uključena u Program poslovanja preduzeća.

Za efikasno i efektivno upravljanje realizacijom Programa poslovanja definisani su poslovni procesi u okviru integrisanih menadžment sistema koji su dokumentovani poslovníkom, procedurama i uputstvima za rad pojedinačnih delatnosti rada preduzeća, gde su jasno definisani vlasnici svakog procesa, što su uglavnom rukovodioci organizacionih jedinica.

### **3. STRATEGIJA U JP "PUTEVI SRBIJE"**

Strategija JP "Putevi Srbije" je određena državnom politikom i spremnošću da se investira u izgradnju, rekonstrukciju, modernizaciju i rehabilitaciju putne infrastrukture i projekte od značaja za važne performanse i aspekte poslovanja, zatim od spremnosti međunarodnih finansijskih institucija da kreditiraju ove investicije, kao i spremnosti same organizacije da uspešno koordinira poslove projektovanja i izgradnje koje obavljaju izvođači kao isporučioци usluga. Saradnja sa međunarodnim institucijama sa jedne strane i jačanje partnerskih odnosa sa isporučioциma usluga su ključne za podizanje spremnosti organizacije za realizaciju strategije.

Na osnovu definisanih strateških ciljeva prioriteta u narednom periodu koje je neophodno sprovesti se odnose na sledeće oblasti [7]:

- Izgradnju i razvoj putne mreže,
- Održavanje i zaštitu putne mreže,
- Upravljanje i eksploataciju,
- Razvoj podsistema inteligentnih transportnih sistema (ITS) i video nadzora,
- Razvoj putno metrološkog informacionog sistema (PMIS),
- Razvoj informaciono komunikacionih tehnologija (IKT),
- Razvoj baza podataka o putnoj mreži,
- Razvoj centralizovanog informacionog sistema naplate putarine (AOP),
- Proces naplate putarine,
- Proces bezbednosti saobraćaja,
- Proces zaštite životne sredine,
- Proces energetskeg menadžmenta,
- Razvoj integrisanih menadžment sistema i poslovne izvrsnosti,
- Razvoj ljudskih resursa.



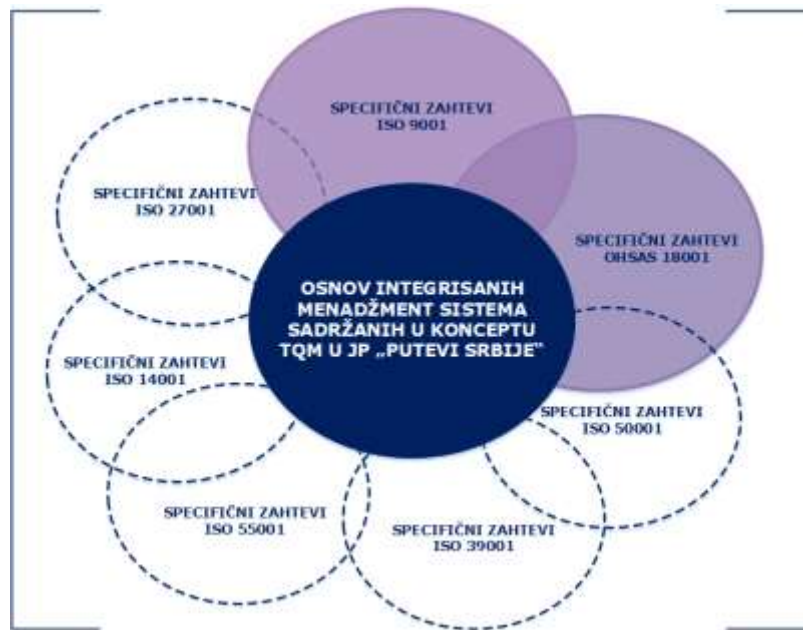


**Slika 2. Zainteresovane strane u JPPS**  
 Izvor: Poslovnik JPPS [6]

U okviru strategije sprovedena je SWOT analiza kroz prepoznavanje snaga i slabosti, prilika i pretnji u međusobnom odnosu sa okruženjem u kome deluje. Da bi dobro definisala kontekst i okruženje, uspostavljen je proces identifikacije zainteresovanih strana i njihovih potreba. Prepoznavanjem zainteresovanih strane JPPS, koje su prikazane na Slici 2, njihovih potreba i kreiranjem dobre saradnje sa njima, omogućena je kontinuirana komunikacija oko najvažnijih tema i rešavanja potencijalnih problema.

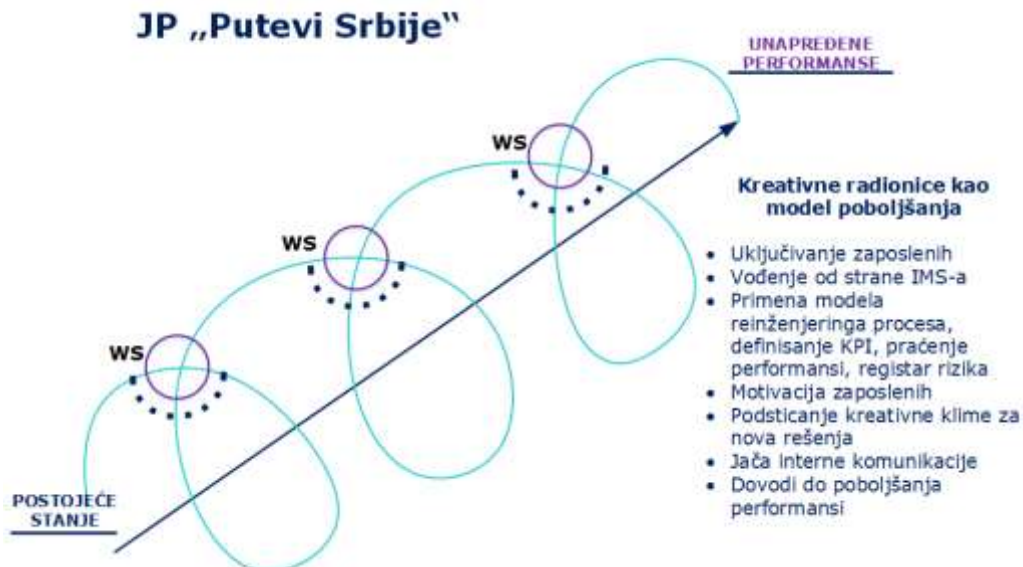
#### 4. INTEGRISANI MENADŽMENT SISTEMI U JP "PUTEVI SRBIJE"

Osnovni menadžment sistem koji je kreiran 2011. godine, a sertifikovan 2012. godine od strane sertifikacione kuće TUV SUD je sistem menadžment kvalitetom po ISO 9001:2008, koji trenutno doživljava tranziciju na verziju standarda ISO 9001:2015.godine. Ovaj sistem je kreiran i uspostavljen primenom procesnog modela sa različitim procesima za realizaciju usluga, kao i procesima za održavanje i poboljšavanje samog sistema. Prva integracija modela je izvršena 2016.godine kada je uspostavljen i sistem bezbednosti i zdravlja na radu po OHSAS 18001:2008. Time je zvanično i započeo rad na integriranim menadžment sistemima u JP "Putevi Srbije". U međuvremenu je pokrenuta inicijativa za implementaciju i drugih menadžment sistema.



**Slika 3. Konceptija integrisanja menadžment sistema**  
 Izvor: M.Heleta, TQM – modeli izvrsnosti i integrisani menadžment sistemi [1]

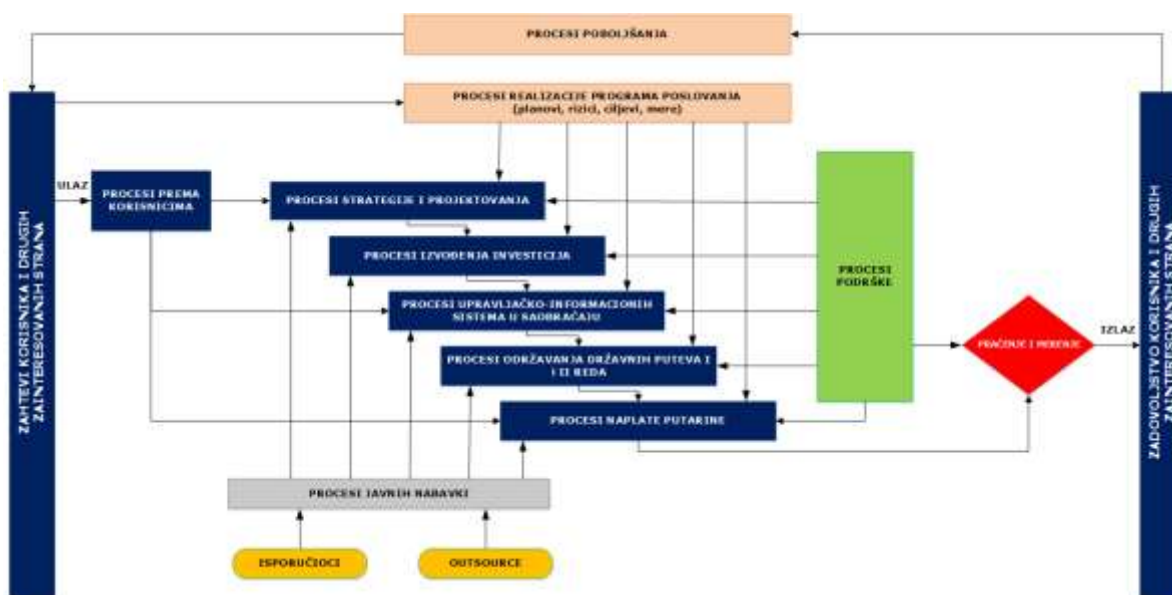
Integracija novih sistema se realizuje kroz organizovanje timova koji rade na uspostavljanju planiranih sistema primenom metodologije reinženjeringa procesa i brainstorminga. Timovi okupljeni oko stručnjaka za integrisane menadžment sisteme (IMS) sa jedne strane i vlasnika procesa sa druge, tokom više kreativnih radionica, rade na definisanju, unapređenju i optimizaciji svih procesa. Na ovaj način se, uz profesionalno vođenje timova, uključuju svi zaposleni, davanjem ideja i predloga vezano za svoj delokrug rada. Postavljanjem modela unapređenja sistema putem organizovanja kreativnih radionica i uključivanjem zaposlenih, raste njihova motivacija i jača međusektorska saradnja čime se pobuđuje svest pripadnosti organizaciji i jača organizaciona kultura.



**Slika 4. Proces poboljšanja putem kreativnih radionica**

#### 4.1. Procesni model

Procesni model u JPPS je razvijen putem reinženjeringa svih procesa. Ključni poslovni procesi u JPPS su orijentisani prema osnivačima, poštovanju zakonske regulative, korisnicima puta i drugim zainteresovanim stranama. Svi procesi svoje ulaze dobijaju kroz proces planiranja i realizaciju programa poslovanja, dok pojedini procesi ulaze dobijaju i kroz odnose sa korisnicima što se prevashodno odnosi na procese naplate putarine i upravljačko informacione sisteme u saobraćaju. Kroz proces javnih nabavki uspostavljena je veza pojedinih ključnih procesa sa isporučiocima i procesima koji se rade u outsource-u, dok se praćenje ovih procesa odvija neposredno u okviru nadležnih organizacionih jedinica [4].



**Slika 5. Pojednostavljena mapa procesa u JPPS**  
Izvor: Poslovnik JPPS [6]

U okviru procesnog prisupa, definisani su i procesi podrške, koji u JPPS obuhvataju sledeće procese:

- Proces održavanja IKT resursa
- Proces održavanja i nadzora automatskih brojača saobraćaja
- Održavanje ITS opreme i instalacija tunela
- Održavanje putno metroloških informacionih sistema
- Održavanje računara, računarske i kompjuterske opreme
- Održavanje opreme, objekata i vozila

Kroz procedure stalnih poboljšavanja i preispitivanja od strane rukovodstva sistema, obezbeđuje se analiza, praćenje i poboljšavanje sistema.

#### 4.2. Planiranje i ciljevi

Planovi definisani Programom poslovanja se operacionalizuju putem pojedinačnih procesa u okviru svakog sektora. Takođe, strateški ciljevi definisani u strategiji preduzeća, se u Programu poslovanja prevode u opšte ciljeve, koji se u okviru procedure realizacije Programa poslovanja svode na operativne ciljeve integriranih menadžment sistema. Ovi ciljevi se prate putem ključnih indikatora performansi za svaki pojedinačni proces u okviru organizacije.

Na primeru strateških ciljeva razvoj puteva, mreža puteva i institucionalno jačanje, dat je prikaz opštih ciljeva iz Programa poslovanja i njegove razrade na operativne ciljeve integriranih menadžment sistema.

**Tabela 1. Izvod iz ciljeva IMS u JPPS**

<b>Strateški cilj: Razvoj puteva</b>					
Opšti cilj: <i>Ulaganja u putnu infrastrukturu</i>					
Ciljevi preduzeća u oblasti investicija	Operativni ciljevi	Indikatori performansi	KPI	Vrednost Planirano/ostvareno	
Ulaganja u izgradnju, rehabilitaciju i rekonstrukciju puteva	Unapređenje putne mreže (puteva i objekata)	Rehabilitacija postojećih puteva i objekata	% realizacije planirane rehabilitacije puteva	preko 80%	54,83%
<b>Strateški cilj: Mreža puteva</b>					
Opšti cilj: <i>Očuvanje vrednosti putne mreže</i>					
Ciljevi preduzeća u oblasti održavanja puteva	Operativni ciljevi	Indikatori performansi	KPI	Vrednost Planirano/ostvareno	
Ulaganja u rehabilitaciju i rekonstrukciju puteva	Poboljšanje upotrebne vrednosti puteva	Dužina obnovljenog kolovoza	Broj kilometara obnovljenog kolovoza	više od 5% u odnosu na prethodnu godinu	7%
Ulaganja u rehabilitaciju i rekonstrukciju puteva	Prohodnost saobraćaja u zimskim uslovima	Neprekidnost odvijanja saobraćaja	Broj prekida saobraćaja na putevima I i II reda	I red 0 II red 15	I red 1 II red 13
<b>Strateški cilj: Insitucionalno jačanje</b>					
Opšti cilj: <i>Unapređenje upravljačko – informacionih sistema u saobraćaju</i>					
Ciljevi preduzeća u oblasti UIS u saobraćaju	Operativni ciljevi	Indikatori performansi	KPI	Vrednost Planirano/ostvareno	
Obezbeđenje funkcionalnosti i pouzdanosti sistemima ITS-a,	Pouzdanost u radu sistema za video nadzora	Neprekidnost u radu kamera video nadzora	% rada sistema bez otkaza	95%	preko 96%
	Efikasnost rada tunela	Smanjenje broja pojave otkaza	% smanjenja pojave otkaza	više od 10% u odnosu na prethodnu godinu	preko 10%
		Smanjenje broja lažnih dojava	% smanjenja pojave lažnih dojava	više od 10% u odnosu na prethodnu godinu	preko 10%
Obezbeđenje funkcionalnosti i pouzdanosti automatske obrade podataka (AOP) sa naplate putarine	Modernizacija IT-opreme	Inoviranje, povećanje brzine obrade, sigurnost, efikasnost	% inovacija	preko 25%	43,9%
Obezbeđenje funkcionalnosti i pouzdanosti sistemima IT	Inoviranje računarske opreme	Prosečna starost računarske opreme	Smanjenje prosečna starosti opreme	manje od 7g	9g
<b>Strateški cilj: Finansijski cilj</b>					
Opšti cilj: <i>Racionalizacija trošenja finansijskih sredstava na svim nivoima</i>					
Ciljevi preduzeća u oblasti finansija	Operativni ciljevi	Indikatori performansi	KPI	Vrednost Planirano/ostvareno	

Realizacija planiranih rashoda prema Programu poslovanja	Racionalno trošenje sredstava	Stepen ostvarenja planiranih rashoda u odnosu na Program poslovanja	% ostvarenja	<b>preko 95%</b>	<b>98%</b>
--	-------------------------------	---	--------------	------------------	------------

Izvor: Poslovnik JPPS[6] i Ciljevi IMS

## 5. ZAKLJUČAK

Razvoj i kontinuirano poboljšanje na primeni integriranih menadžment sistema, kao i jačanje principa poslovne izvrsnosti u JPPS, doprinosi podizanju celokupnih performansi preduzeća u složenim uslovima i uz objektivna ograničenja sa kojima se preduzeće susreće. Jasno definisani procesi kao i veća motivacija zaposlenih, podižu nivo efektivnosti i efikasnosti i doprinose boljoj kako internoj tako i eksternoj komunikaciji sa svim zainteresovanim stranama. U skladu sa tim, opredeljenje menadžmenta JPPS je da se nastavi sa razvojem integriranih menadžment sistema i modela izvrsnosti sopstvenim resursima, tako što se planiraju implementacije i novih sistema; ISO 27001 – Sistem menadžmenta bezbednošću informacija, ISO 14001 – Sistem upravljanja zaštitom životne sredine, ISO 50001 – Energetski menadžment i ISO – Menadžment imovinom.

### Zahvale

Autori se zahvaljuju profesoru dr. Milenku Heleti na bogatom znanju i iskustvu koje im je ostavio i preneo, kao i na korisnim razgovorima i podsticajima za dalji rad i usavršavanje. Takođe pružaju zahvalnost kolegama i saradnicima na zajedničkom radu na poslovima integriranih menadžment sistema i poslovne izvrsnosti.

### Literatura

- [1] Heleta, M. N.; 2010 .*TQM: modeli izvrsnosti i integrirani menadžment sistemi*. Zavod za udžbenike, (Beograd: Službeni glasnik). 212, 316p,
- [2] Mašić, B.; 2009. *Strategijski menadžment*. Univerzitet Singidunum, Beograd, 36p
- [3] Williams, Ch.; 2011. *Principi menadžmenta*. DATA STATUS, Beograd, (Novi Sad: SP Print). 2p
- [4] Heleta, M., Pešović, Z. 2010 . Novi koncept kvaliteta u JP "Putevi Srbije", International Journal "Total Quality Management & Excellence", Vol.38, No. 1, 2010. 203p
- [5] Stanković, J. Pojam i značaj strategijskog menadžmenta. Univerzitet Singidunum Beograd. (on-line) available at:  
[http://predmet.singidunum.ac.rs/pluginfile.php/13013/mod\\_folder/content/0/Lekcija%201%20Pojam%20i%20zna%C4%8Daj%20Strategijskog%20menad%C5%BEmenta.pdf?forcedownload=1](http://predmet.singidunum.ac.rs/pluginfile.php/13013/mod_folder/content/0/Lekcija%201%20Pojam%20i%20zna%C4%8Daj%20Strategijskog%20menad%C5%BEmenta.pdf?forcedownload=1)  
 (22.03.2018)
- [6] Poslovnik o IMS, 2016. JP "Putevi Srbije". 14, 18, 20, 26p.
- [7] Dugorični i srednjoročni plan poslovne strategije, 2017. JP "Putevi Srbije". 201-202p.



## PRIMJENA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA OD VALOVITOG LIMA – MultiPlate - U PROJEKTIRANJU I REKONSTRUKCIJI DOTRAJALIH PROPUSTA, PROLAZA I MOSTOVA

### **Mario Bogdan ing.građ.**

*Protekta d.o.o., Ivana šibla 9, 10000 Zagreb, Hrvatska, GSM +385 91 1229 703, e-mail:*

*mario.bogdan@protekta.hr*

### **Adam Czerepak Civ.Eng.**

*ViaCon Sp. z o.o., ul.Przemysłowa 6, 64-130 Rydzyna, Poland, GSM ++48 607 394 387, e-mail:*

*adam.czerepak@viacon.pl*

### **Damir Lukačević dipl.ing.građ.**

*Rencon d.o.o., V. Ivana Mažuranića 8, 31000 Osijek, Hrvatska, GSM +385 99 312 33 00, e-mail:*

*damir.lukacevic@rencon.hr*

**Apstrakt:** Tehnologija rekonstrukcije propusta, prolaza i mostova čeličnim konstrukcijama od valovitih limova MultiPlate do sada nije primijenjena na našim prostorima iako se primjenjuje na prostorima EU preko 70 godina a u svijetu od konca 19. stoljeća. U projektu Obnove državne ceste DC3 na dionici Delnice-Rogozno koja prelazi dotrajali kameni most u park šumi "Golubnjak" a prema smjernicama za projektiranje, kojima je zadano proširenje kolovoza na predmetnoj dionici, predviđena je rekonstrukciju kamenog mosta. Sukladno vremenskim, tehnološkim i financijskim prednostima u odnosu na "stare" - konvencionalne načine gradnje i rekonstrukcije, a nastavno na stečena iskustva iz prethodnih projekata u EU, investitor i projektant su se odlučili za rekonstrukciju starog mosta primjenom čelične konstrukcije od valovitih limova - MultiPlate.

*U ovom članku opisana su iskustva i postupci u primjeni MultiPlata u projektiranju i rekonstrukciji starog dotrajalog kamenog mosta.*

**Ključne riječi:** čelične konstrukcije od valovitih limova, MultiPlate, projektiranje, rekonstrukcija, most

## DESIGN AND APPLICATION OF STEEL STRUCTURES OF CORRUGATED PLATES – MultiPlate - IN RECONSTRUCTION OF DILAPIDATED CULVERTS, PASSAGES AND BRIDGES

**Abstract:** The technology of reconstruction of culverts, passageways and bridges made of corrugated steel sheets MultiPlate has not been applied in our areas so far although it has been applied in the EU for over 70 years and in the world since the late 19th century. In the project Reconstruction of the state road DC3 on the Delnice-Rogozno section, which crosses the overturned stone bridge in the forest park "Golubnjak", and according to the design guidelines, which set the augmentation of the pavement on the relevant section, the reconstruction of the stone bridge is foreseen. In accordance with the time, technological and financial advantages comparing to "old" conventional construction and reconstruction practices, and following the experience gained from previous projects in the EU, the investor and the designer have decided to reconstruct the old bridge using the steel sheet corrugated structure - MultiPlate. This article describes the experiences and practices in the application of MultiPlata in designing and reconstruction of the old dotted stone bridge.

*Key words:* Steel structures of corrugated plates, MultiPlate, Design, Reconstruction, Bridge

### **1. Uvod**

Sukladno redovitoj potrebi za rekonstrukcijom cestovne mreže u smjeru povećanja prometno – tehničke i sigurnosne razine usluge cesta neophodna su proširenja koja uvjetuju rekonstrukciju postojećih objekata na trasi pa tako i propusta i prolaza. Rekonstrukcija cesta, koje su pod prometnim opterećenjem, u velikoj mjeri je izložena zahtjevnosti po pitanju regulacije prometa i dinamici gradnje u svim fazama, što zahtijeva osigurati najkraće moguće vrijeme gradnje, a nastavno na osnovne zahtjeve projektiranja.

Izradom usporednih kalkulacija troškovničkih stavki i dinamičkog plana sa svim ostalim tehnologijama rekonstrukcije propusta i prolaza, dokazima o klasama, normama i standardima u skladu s propisima EU i preko 120 godišnjem iskustvu na svjetskoj, 80 godišnjem iskustvu na europskoj i 17 godišnjem iskustvu na hrvatskoj razini uz referentno izvedene građevine [2], [4] i [5] dokazane su prednosti tehnologije rekonstrukcije propusta čeličnim spiralnim cijevima i konstrukcijama od valovitih limova u financijskom, tehnološkom i vremenskom smislu [3] [7] [8] na velikom broju projekata rekonstrukcije cestovne mreže.



**Slika 1. i 2.** *Primjeri rekonstrukcije propusta i prolaza iz EU*

Dokazano niski troškovi i kratko vrijeme gradnje do uspostave prometnog opterećenja, zadovoljenje pravila tehničke struke, mogućnosti velikih nosivosti sa svim opterećenjima u gradnji cesta i željeznica do brzina od 200 km/h, lako produljenje, mogućnosti jednostavne rekonstrukcije i dogradnje, fleksibilnosti rješenja, veliki izbor oblika i raspona - promjera, male težine cijevi i konstrukcije, visoki stupnjem zaštite od korozije sa projektiranim vijekom trajanja od preko 100 godina, uvjetovali su prihvatanje investitora, projekatnata i izvođača za primjenom čeličnih spiralnih cijevi i konstrukcija od valovitih limova u projektiranju i gradnji novih ili rekonstrukciji postojećih propusta, prolaza ili mostova.

## **2. Primjeri primjene čeličnih konstrukcija od valovitih limova na rekonstrukciji propusta i prolaza u EU.**

### **2.1. Primjer rekonstrukcije prolaza iz Poljske**

Sukladno potrebama za izgradnjom novog kolosijeka na međunarodnoj pruzi u Poljskoj neophodno je bilo rekonstruirati postojeći prolaz ili izgraditi novi. Osim neophodnih proširenja potrebno je predvidjeti i radnje, na nadsovođenom kamenom prolazu ispod pruge, zbog njegove dotrajalosti sa narušenom statičkom stabilnošću i pukotinama kroz koje se procjeđuje voda. Rušenjem postojećeg prolaza i gradnjom nove građevine, a sukladno smjericama za projektiranje, zatvorenost međunarodne pruge znatno bi utjecala na financijsku konstrukciju projekta. Uz izradu dinamičkog plana, analizu cijena i paralelnu kalkulaciju ustanovljena je mnogostruka prednost, kako financijska tako i u vremenu gradnje/rekonstrukcije a što je najvažnije bez zatvaranja prometa na međunarodnoj pruzi, u korist tehnologije gradnje i rekonstrukcije prolaza od čeličnih konstrukcija od valovitih limova MultiPlate.



**Slika 3. i 4.** *Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz Poljske*





**Slika 5. i 6.** *Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja*

Nastavno na poljski primjer možemo utvrditi da je potreba za rekonstrukcijom objekata na cestovnim prometnicama sve učestalija kako zbog njihove dotrajalosti tako i zbog sve većih potreba za povećanjem prometno – tehničke i sigurnosne razine usluge cesta. Primjeri i iskustva iz Europske Unije u proteklih 80 godina pokazali su opravdanost primjene čeličnih konstrukcija od valovitih limova MultiPlate sa mnogim prednostima u odnosu na konvencionalne načine gradnje i rekonstrukcije propusta, prolaza i mostova.

## **2.2. Primjeri rekonstrukcije propusta i prolaza iz Europske Unije**



**Slika 7. i 8.** *Primjer rekonstrukcije nadsvodjenog prolaza od opeke iz EU zbog proširenja*



**Slika 9. i 10.** *Primjer rekonstrukcije nadsvodjenog prolaza od opeke zbog proširenja*



PRIMJENA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA OD VALOVITOG LIMA – MultiPlate – U PROJEKTIRANJU I REKONSTRUKCIJI DOTRAJALIH PROPUSTA, PROLAZA I MOSTOVA



**Slika 11. i 12. Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja**



**Slika 13. i 14. Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja**



**Slika 15. i 16. Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja**



**Slika 17. i 18. Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja**



Slika 19. i 20. Primjer rekonstrukcije AB prolaza iz EU zbog proširenja

### 3. Primjeri primjene MultiPlate konstrukcija od valovitih limova u Hrvatskoj.

#### 3.1. Rekonstrukcija kamenog mosta/prolaza ispod trase državne ceste D3 za Park šumu Golubinjak

##### 3.1.1. Općenito o rekonstrukciji državne ceste D3

Predmetna dionica dio je državne ceste D3, većim dijelom trase je dio poznate Lujzinske ceste, koja ima i dvjestogodišnji životni vijek. Dio predmetne dionice nalazi se i na rekonstruiranom dijelu ove ceste, koja je rađena od 1952. do 1955. godine. U najvećem dijelu svoje povijesti ova cesta najznačajniji je prometni pravac između Rijeke i Karlovca, te Rijeke i Zagreba, sve do izgradnje i dovršenja autoceste A6 2004. godine. Sadašnje stanje dionice karakterizira asfaltni kolnik širine u granicama od 7.00 – 7.30m. Poprečni nagibi kolnika većinom su jednostrešni ali i u dvostrešnom nagibu, što se projektom mora ispraviti, budući je riječ o dionicama izvan naselja. Rigoli su većinom također dotrajali i općenito su u lošem stanju, sa gubitkom geometrije rubnjaka. Na području kojim prolazi planirani zahvat – obnova postojeće trase državne ceste D3 u užem koridoru promatranog zahvata nalazi se park šuma "Golubinjak". U širem koridoru planiranog zahvata nalazi se posebni rezervat šumske vegetacije: "Debela Lipa-Velika Rebar". Park šuma je kroz svoju mrežu šetnica, puteljaka i staza idealna za odmor i sportske aktivnosti, a pogotovo je atraktivan planinarski put Japlenški vrh-Golubinjak koji spaja dvije zaštićene park šume i uglavnom se nalazi u koridoru Lujzijanske ceste. Park-šuma "Golubinjak" u općini Lokve je zaštićena površina u kojoj su izraženi brojni kraški fenomeni vrtača, stijena, pećina i polupećina. I ova šuma je početkom šezdesetih godina prošlog stoljeća zaštićena kao park šuma. Golubinjak je mjesto posebnih prirodnih ljepota sa svim karakteristikama goranskog krajolika. Park šuma smještena je na n/v visini od 720 metara. Na samom ulazu u park šumu nalazi se stablo jele koje je sa svojih 140 cm prsnog promjera i 37 metara visine s pravom označeno kao kraljica šume. Planirani zahvat obnove državne ceste D3 u potpunosti zadržava prostorni odnos (udaljenost) od područja zaštićenih dijelova prirode kao i postojeća trasa navedene državne ceste [6]. Predmet projekta iz primjera jeste izrada projekta rekonstrukcije državne ceste D3; na dionici Delnice - Rogozno. Osnovni ciljevi projekta jesu cjelovita obnova kolnika na predmetnoj dionici, uređenje priključaka i raskrižja, sanacija postojećih potpornih konstrukcija, poboljšanje elemenata odvodnje kao i prometne signalizacije i opreme; prema projektom zadatku i njeno usklađenje s važećim zakonima i pravilnicima. Od svih elemenata koji čine obnovu cesta, naročito državnih koje su pod najvećim prometnim opterećenjem [3] [4] [5], najzahtjevniji dio je obnova propusta te rekonstrukcija objekata, jer direktno izvođenjem radova u trupu ceste utječe na postavljene zahtjeve a u vrijeme izvođenja ostalih radova na rekonstrukciji ceste.

Početak predmetne dionice ceste nalazi se na izlasku iz gradskog dijela Delnica, dok se završetak dionice nalazi u predjelu Rogozno. Prema provedenom sustavu označavanja Hrvatskih Cesta projektom obuhvaćeni dio ceste dio je dionice 015 državne ceste D3, a čini ukupnu duljinu zahvata od 12.525 m. Na preglednim situacijama u MJ 1:5000 danim u grafičkim prilogima 0910, vidljiv je položaj predmetne dionice državne ceste; oznaka dionice, stacionaže i važnija raskrižja.





Slika 21. i 22. Pregledna situacija ceste D3 na dionici Delnice Rogozno – park šuma GOLUBINJAK

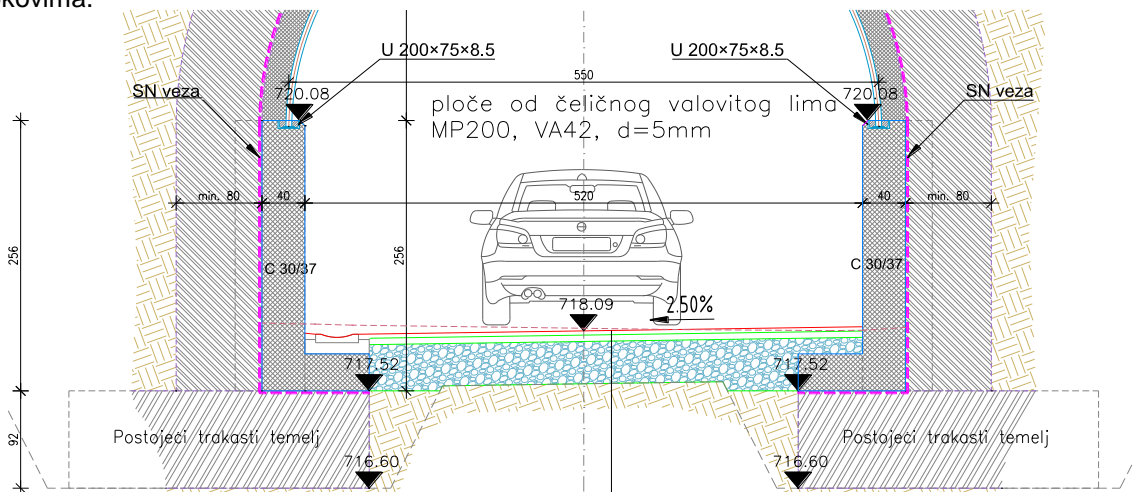
### 3.1.2. Kameni most/prolaz ispod trase državne ceste D3 za Park šumu “Golubinjak“

Od značajnijih objekata, na trasi se nalazi samo jedan objekt, prolaz ispod trase za Park šumu Golubinjak u km 3+655.00. Uvidom u stanje na terenu, zaključeno je da je ovaj objekt potrebno značajnije rekonstruirati ili izvesti novi objekt, budući je postojeći u vrlo lošem stanju s izraženim pukotinama kroz koje prodire voda.



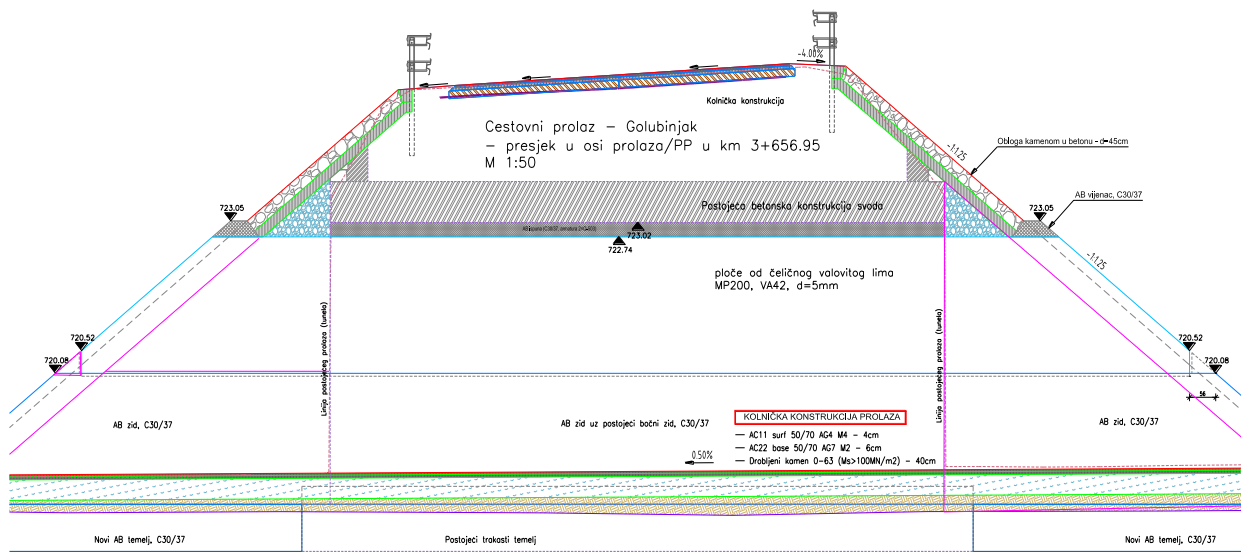
Slika 23. Stari kameni prolaz Park šuma GOLUBINJAK

Postojeći prolaz (podvožnjak) konstruiran je i građen kao tunel kroz cestovni nasip. Tunel je izrađen od nearmiranog betona, oblika s polukružnom kalotom koja se oslanja na vertikalne bočne zidove. Visina postojećeg tunela je u tjemenu 4.90m, a svijetla širina između bočnih zidova 6.00m. Portale tunela predstavljaju paralelni krilni zidovi od betona s licem od kamenih poluklesanaca. Radi relativno visokih portalnih zidova, te interakcije s nasipom izgrađeni su stožasti čunjevi čiji su pokosi obloženi kamenim blokovima.



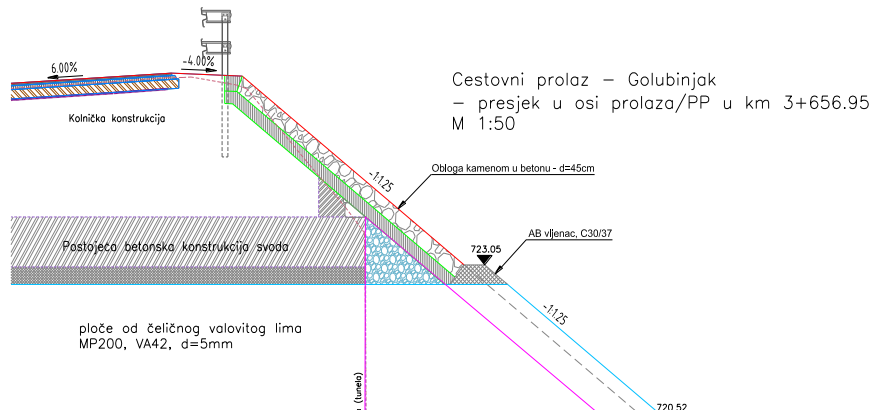
Slika 24. Poprečni presjek - prolaz Park šuma GOLUBINJAK

Tijekom razrade projekta razmatrano je više varijanti sanacije predmetnog objekta, između kojih je odabrano rješenje izvedbe novog objekta od valovitog čeličnog lima. U ranijim varijantama planiralo se je srušiti stari objekt, međutim ovi radovi značili bi nužnost zatvaranja državne ceste D3 na predmetnoj dionici na dulji rok, što se je svakako željelo izbjeći. Stoga je iznađeno rješenje koje obuhvaća izvedbu novog prolaza s nosivom konstrukcijom od valovitog čeličnog lima, u poprečnom smislu unutar gabarita postojećeg objekta, čime se izbjegava njegovo rušenje. Nova konstrukcija prolaza sastoji se od armirano-betonskog donjeg ustroja i nosive spregnute rasponske konstrukcije. Armirano betonski donji ustroj čine trakasti temelji i vertikalni zidovi, koji se unutar postojećeg tunela prislanjaju uz temelje i zidove istih. Nosiva čelična konstrukcija poprečnim oblikovanjem prati postojeću kalotu tunela [2]. Na dijelu unutar tunela prostor između postojeće konstrukcije (cca. 22-25cm) ispunjava se (injektira) betonom te na navedenom dijelu nastaje spregnuta konstrukcija čelik-beton. Na dijelu izvan postojećeg tunela čelična konstrukcija zasipa se te nastaje spregnuta konstrukcija čelik-tlo.

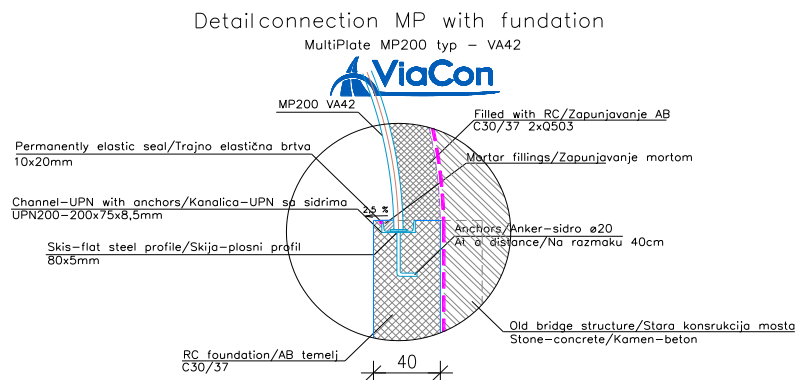


Slika 25. Uzdužni presjek prolaza ispod D3 - Park šuma GOLUBINJAK

PRIMJENA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA OD VALOVITOG LIMA – MultiPlate – U PROJEKTIRANJU I REKONSTRUKCIJI DOTRAJALIH PROPUSTA, PROLAZA I MOSTOVA



Slika 26. Detalj proširenja - Kameni prolaz - Park šuma GOLUBINJAK



Slika 27. Detalj spoja čelične konstrukcije sa AB temeljem i kamenim zidovima

Duljina novog prolaza od 28.80m uvjetovana je novim profilom glavne trase s tim da portali prate nagib pokosa. Radi navedenog oblikovanja portala vertikalni zidovi donjeg ustroja, te sama čelična konstrukcija su zakošeni s nagibom 1:1.25. Pokosi portala oblažu se kamenom u betonu, a uz zakošene završetke čelične konstrukcije izvodi se AB vijenac. Detalji izvedbe za navedeni objekt dani su u grafičkim priložima.

#### 4 Zaključak

Primjena čeličnih valovitih limova u gradnji prometnica poznata je više od 120 godina. Prve takve ploče proizvedene su 1784. godine, dok je njihova masovna proizvodnja započela tek 1890. godine i to najčešće u zemljama s razvijenom čeličnom industrijom i skupom radnom snagom [1]. Korištenjem dugogodišnjih iskustava u Svjetskim i Europskim razmjerima [7] i [8] te na području Hrvatske [2], [3], [4] i [5] ovu tehnologiju gradnje koristimo i kod rekonstrukciji propusta i prolaza. Stečena iskustva svih sudionika u investiranju, projektiranju i gradnji građevina sa čeličnim spiralnim cijevima i konstrukcijama od valovitih limova producirali su visoku razinu kvalitete građevina uz zadovoljenje pravila struke, [3] [4] [5], znatnu financijsku uštedu u odnosu na ostale načine rekonstrukcije i gradnje propusta. Ono što je najčešće kod gradnje novih građevina a u svakom slučaju kod projekata rekonstrukcija propusta, prolaza i mostova, najveća prednost ove tehnologije gradnje je nekoliko puta kraće vrijeme gradnje bez zaustave prometa [2], [4], [5], i [7].

## Literatura

- [1] V. Dragčević & T Rukavina.:Donji ustroj prometnica, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006.
- [2] Denis Šimenić i D. Lukačević, Rencon d.o.o., Izvedbeni projekt. Obnova državne ceste D3 na dionici Delnice - Rogozno u duljini od 12,45 km, lipanj 2017.
- [3] M. Bogdan, Tehnička svojstva i smjernice za gradnju, Protekta i ViaCon, 2013.
- [4] M. Bogdan, A. Czerepak, Do optimizacije primjenom tehnologije gradnje spregnutih nosivih ukopanih građevina od čeličnih valovitih limova na projektima u cestogradnji, IV BiH kongres o cestama, 2016.
- [5] M. Bogdan, Zamjena dotrajalog mosta Požeška Koprivnica 4 novim mostom, Građevinar, 61, 2009.
- [6] Elaborat zaštite okoliša za zahvat obnove državne ceste D3 na dionici Delnice – Rogozno, Hrvatske Ceste Zagreb, rujan 2015.
- [7] Assembly instruction of Buried flexible steel structure with open section for MultiPlate, [www.viacon.pl](http://www.viacon.pl)
- [8] Katalog HelCor®, katalog MultiPlate, katalog, SuperCor; <http://viacon.pl/en/download>
- [9] Technical Data Sheet for MultiPlate, [www.viacon.pl](http://www.viacon.pl)

# WEIGH IN MOTION MEASUREMENTS IN THE REPUBLIC OF MACEDONIA

**Bajko Kulauzović, M.Sc.**

*Cestel d.o.o., Slovenia, bajko.kulauzovic@cestel.si*

**M.Sc. Julijana Jamnik, B.Sc.**

*Julijana Jamnik svetovanje s.p., Slovenia, jamnik.julijana@gmail.com*

**Abstract:** *The primary objective of the project was to determine traffic loading (ESAL) information on most trafficked road sections in Macedonia for planning and programming of maintenance treatments in RAMS and to define overall average equivalency factor per vehicle type. The scope of the project assignment was the performance of 20 fortnight Bridge WIM measurements in free traffic flow on most trafficked road sections, analysis of individual and summarized data and preparation of conclusions and proposals for the manager of the national road network in Macedonia, focusing on proposed equivalency factors for individual vehicle types for future distribution on whole road network. Paper will show high usability of WIM data in relation to major planning decision for future steps in road network maintenance and design.*

**Keywords:** *weigh-in-motion, equivalency factors, road network, overloading.*

## 1. FOREWORD

The Public Enterprise for State Roads (PESR) as a manager of the national road network in Macedonia wishes to determine traffic loading (ESAL) information on most trafficked road sections for planning and programming of maintenance treatments in Road Asset Management System (RAMS). According to the project guidelines, Company Cestel performed 20 fortnight Bridge Weigh-in-Motion (WIM) measurements with the SiWIM® systems.

Locations of the measurements were strategically selected to cover as much of road network as possible, not only in road sections length, but also expected traffic loading with data derived from traffic counters. Bridge WIM systems were installed over all of the traffic lanes, that means in both directions on regional roads and on driving, overtaking and slow lane (if exists) on motorway sections. The installation of the equipment was done without making any damage to the road surface and without stopping the traffic.

The calibration of the Bridge WIM systems on every site was done with the r1 conditions (fully repeatability conditions), which means with one typical example of a heavy loads vehicle per site, with 15 runs over each traffic lane.

## 2. ESAL CALCULATION

Road pavements are structures with finite lives and are designed to withstand a specific number of Equivalent Single Axle Loads (ESALs). Influence of traffic on pavement is usually accounted for with the number of the ESALs. Consequently, the truck traffic consumption of ESAL design life, and increased road infrastructure costs associated with it, can increase rapidly where significant volumes of truck traffic is involved. If a road section was not designed for heavy axle loads, as many rural roads are not, it could be rendered inadequate in a matter of months or even weeks. When repairs, reinforcements or new constructions are planned, they involve analyzing available traffic data, where usually only traffic counters data is available. Since investments are high, any additional input, to help with decision, is highly anticipated and desired.

The common procedure to evaluate cumulative ESAL value for certain traffic can be described by the formula:

$$ESAL = \sum_{i=1}^n 10^{-4} \times f_t \times f_a \times P_i^\alpha$$

where

- ESAL* - traffic loading expressed as the sum of nominal (equivalent single) axle loads
- f<sub>a</sub>* - axle factor which depends on the type of the axle and the reference axle load
- f<sub>t</sub>* - type of the tyre and type of suspension on the axis; factor *f<sub>t</sub>* is often disregarded
- P* - axle loading in tons
- α* - type of the pavement and the damage phenomena; in most countries a constant value of 4 is used



$n$  - number of axles

This approach to ESAL calculation was further refined and upgraded with introduction of additional factors in OECD methodology for assessment of heavy freight vehicle [1] and is based on the same theoretical principles as the previous equation, but is more advanced in a sense that it incorporates effects of different types of tyres and suspension. Lately the merger of previous equations produced the following formula:

$$FE_{veh} = 10^{-8} \times \sum_{i=1}^n f_{a,i} \times (f_{t,i} \times P_i)^4$$

where

- $FE_{veh}$  traffic loading of a vehicle, expressed as the sum of individual nominal (equivalent standard) axle loads (ESAL of 80 kN) of the vehicle
- $f_{a,i}$  axle factor, which depends on the type of the axle  $i$ :
- $f_a = 2,4415$  for single axle  
 $f_a = 0,216$  for double axle  
 $f_a = 0,0533$  for triple axle
- $f_{t,i}$  factor of the type of the tyre on axle  $i$ :
- $f_t = 1,0$  for double tire  
 $f_t = 1,2$  for super single tire  
 $f_t = 1,3$  for single tire
- $P_i$  axle loading of axle  $i$  (kN)
- $N$  number of the axles of the vehicle

Reference axle load (an axle load equal to the reference axle load yields an ESAL value of 1) was related to 80kN and was as such selected by the PESR.

Daily traffic loading on a road section is then calculated as the sum of Equivalency Factors ( $FE_{veh}$ ) of all vehicles that cross the section in a day.

In this paper the traffic loading on a section is represented with the number of passes of ESAL of 80 kN in a day and marked with  $ESAL_{SiWIM}$ .

SiWIM® at the same time evaluates overload as a difference between the measured real traffic loading and the traffic loading caused by legally loaded vehicles. It is marked with  $ESAL_{overload}$ . The difference between  $ESAL_{SiWIM}$  and  $ESAL_{overload}$  is  $ESAL_{without\_overload}$ .

### 3. MEASUREMENT RESULTS

The SiWIM® measurements took place from the beginning of September 2017 until the end of November 2017 on locations throughout Macedonian road network on predefined locations (Table 1).

**Table 1.** List of road sections with SiWIM® measurements

Road	Road section (name of the site)	Road	Road section (name of the site)
A1	Skopje – Kumanovo (Kumanovo 1)	A2	Gostivar – Kičevo (Kičevo)
A1	Kumanovo – Skopje (Kumanovo 2)	A2	Ohrid – Struga (Struga)
A1	Petrovec – Klučka Hipodrom (Petrovec 1)	A2	Stracin – Kriva Palanka (Kojnare)
A1	Klučka Hipodrom – Petrovec (Petrovec 2)	A3	Bitola – Prilep (Vašarejca)
A1	Petrovec – Negotino (Negotino 1)	A3	Veles – Štip (Peširovo)
A1	Negotino – Petrovec (Negotino 2)	A3	Kočani – Delčevo (Makedonska Kamenica)
A2	Tetovo – Aračinovo (Stopanski dvor 1)	A4	Škopje – Kačanik (Orman)
A2	Aračinovo – Tetovo (Stopanski dvor 2)	A4	Štip – Strumica (Čifilik)
A2	Tetovo – Gostivar (Žerovjane 1)	A4	Strumica – Novo Selo (Sušica)
A2	Gostivar – Tetovo (Žerovjane 2)	R1201	Struga – Debar (Vraništa)

#### 3.1. Accuracy of the measurements

All measurements were required to meet the accuracy class of at least C [2], as defined in COST323 European WIM specifications and presented in Table 2.

**Table 2.** Accuracy classes according to the COST323 specification

Class	GVW	Axle loads	Confidence interval	Intended use of the results
A	5%	8%	≈ 98%	Penalties, when legally allowed
B+	7%	11%	≈ 95%	Intermediary phase to class A
B	10%	15%	≈ 95%	Specific controls for the industry Traffic safety
C	15%	20%	≈ 95%	Classification of vehicles, pre-selection of vehicles for statistical weighing
D+	20%	25%	≈ 95%	Classification of vehicles, pre-selection of vehicles for statistical weighing
D	25%	30%	≈ 95%	Rough estimate of traffic flows
E	>25%	>35%	≈ 95%	Rough estimate of traffic flows

The calibration of the SiWIM® system was done with the r1 conditions (fully repeatability conditions) on all sites, which means with 15 passes per traffic lane of a heavy vehicle, which was statically weighed before calibration.

The SiWIM® system weighed more than 95% of all vehicles with gross weight over 3,5 tonnes [4].

### 3.2. Results by vehicle types

In Table 3 there are the results of SiWIM measurements by vehicle types 5 to 8 for all 20 measurements:

- vehicle type 5                      Truck (> 3,5 tons)
- vehicle type 6                      Truck with trailer
- vehicle type 7                      Tow
- vehicle type 8                      Bus and Bus with trailer.

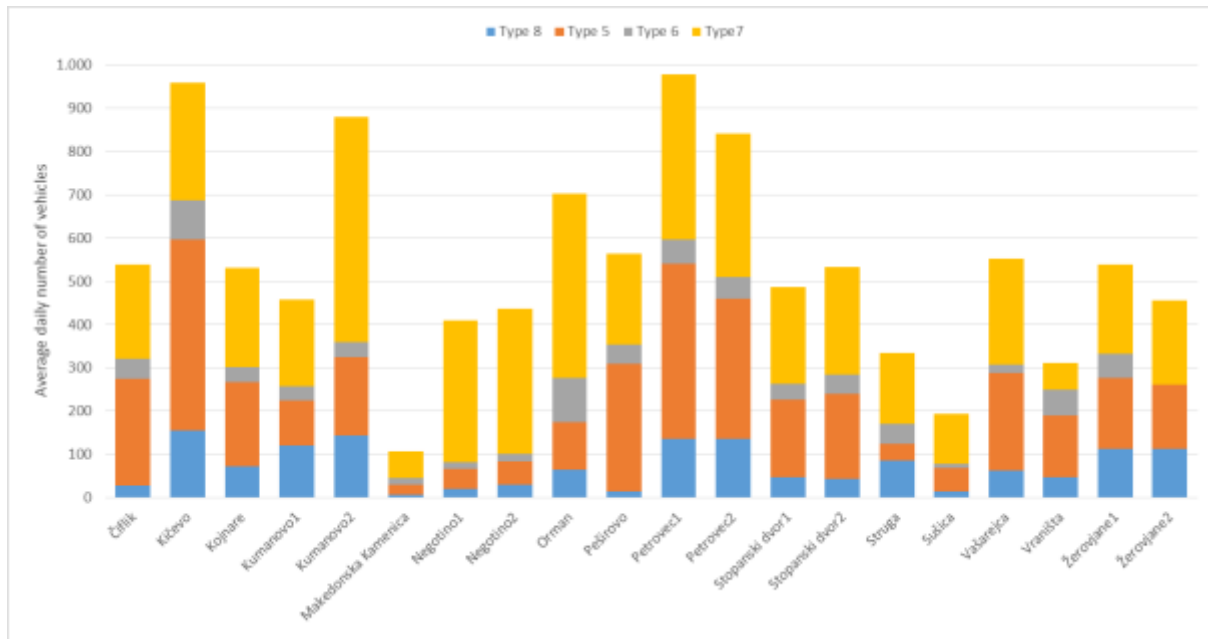
**Table 3.** Average daily number of vehicles per vehicle type

Measurement	Type 8	Type 5	Type 6	Type 7
Čiflik	27,00	246,79	47,07	217,79
Kičevo	155,64	441,14	91,50	270,36
Kojnare	72,86	194,71	34,29	229,07
Kumanovo1	119,50	104,36	33,43	200,14
Kumanovo2	143,71	181,57	33,86	521,21
Makedonska Kamenica	6,07	22,79	16,29	62,29
Negotino1	20,36	46,14	14,79	328,50
Negotino2	28,79	54,93	17,50	334,86
Orman	64,00	110,57	101,71	426,50
Peširovo	14,93	294,93	43,79	210,29
Petrovec1	135,07	406,21	55,50	381,79
Petrovec2	136,14	322,93	51,36	330,57
Stopanski dvor1	46,07	181,07	35,57	223,93
Stopanski dvor2	43,43	197,29	42,64	249,21
Struga	85,57	38,14	46,36	164,00
Sušica	14,00	54,21	10,07	116,00
Vašarejca	61,43	226,64	18,71	246,07
Vraništa	47,21	143,07	58,93	61,43
Žerovjane1	111,93	164,21	56,29	207,29
Žerovjane2	112,14	149,14	28,79	195,43

The results are expressed with the average number of vehicles (classes 5 to 8) per day. According to the number of vehicles, sites are significantly different. Sites on the motorways have on average between 400 and 1.000 heavy vehicles per day, where sites on a regional roads can have as low as 100 heavy vehicles per day, as it can be also seen in Picture 1.

Traffic loading, expressed in ESAL values per vehicle type on each measuring site is shown in Table 4. Significant differences in ESAL values on different sites are in direct relation with actual location of the measurement and type of traffic on that location. If only transit traffic is expected, then ESAL values for heavy trucks are lower (Petrovec 1 and Petrovec 2), where the location is close to construction sites, quarries, local

industry or agricultural activities, values can be quite high, as seen in Sušica or Stopanski dvor 1 and Stopanski dvor 2.

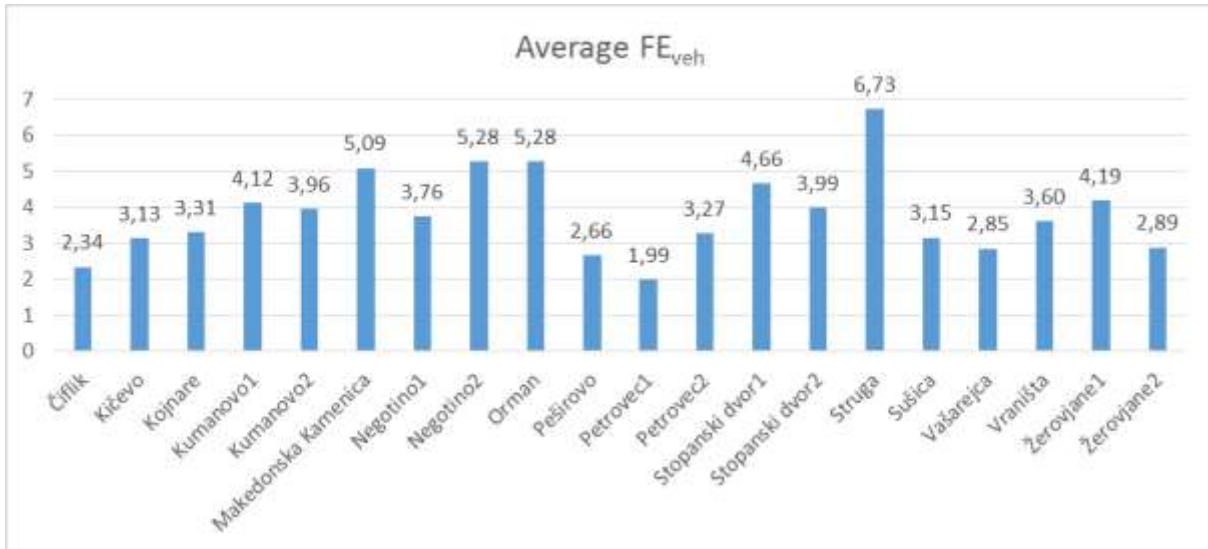


Picture 1. Average daily number of vehicles per site according to the vehicle type

Table 4. Average  $FE_{veh}$  factors per vehicle type

Measurement	Type 8	Type 5	Type 6	Type 7	Average $FE_{veh}$
Čiflik	2,37	0,56	4,57	3,89	<b>2,34</b>
Kičevo	3,42	0,68	4,22	6,65	<b>3,13</b>
Kojnare	6,26	0,70	3,35	4,65	<b>3,31</b>
Kumanovo1	4,05	0,94	6,45	5,47	<b>4,12</b>
Kumanovo2	3,41	0,52	4,70	5,29	<b>3,96</b>
Makedonska Kamenica	1,05	0,54	3,24	7,63	<b>5,09</b>
Negotino1	2,62	1,23	2,70	4,24	<b>3,76</b>
Negotino2	2,69	0,67	6,74	6,21	<b>5,28</b>
Orman	4,26	1,04	6,17	6,35	<b>5,28</b>
Peširovo	1,88	0,87	5,24	4,89	<b>2,66</b>
Petrovec1	2,84	0,51	3,06	3,10	<b>1,99</b>
Petrovec2	1,69	0,47	5,83	6,22	<b>3,27</b>
Stopanski dvor1	2,98	0,73	3,33	8,13	<b>4,66</b>
Stopanski dvor2	2,62	1,00	3,89	6,61	<b>3,99</b>
Struga	2,81	1,35	5,33	10,19	<b>6,73</b>
Sušica	2,63	0,59	4,45	4,31	<b>3,15</b>
Vašarejca	2,91	0,74	3,25	4,76	<b>2,85</b>
Vraništa	3,23	1,37	4,40	8,41	<b>3,60</b>
Žerovjane1	2,74	1,13	2,51	7,87	<b>4,19</b>
Žerovjane2	2,60	0,44	1,46	5,15	<b>2,89</b>
<b>AVERAGE</b>	<b>2,95</b>	<b>0,80</b>	<b>4,24</b>	<b>6,00</b>	<b>3,81</b>

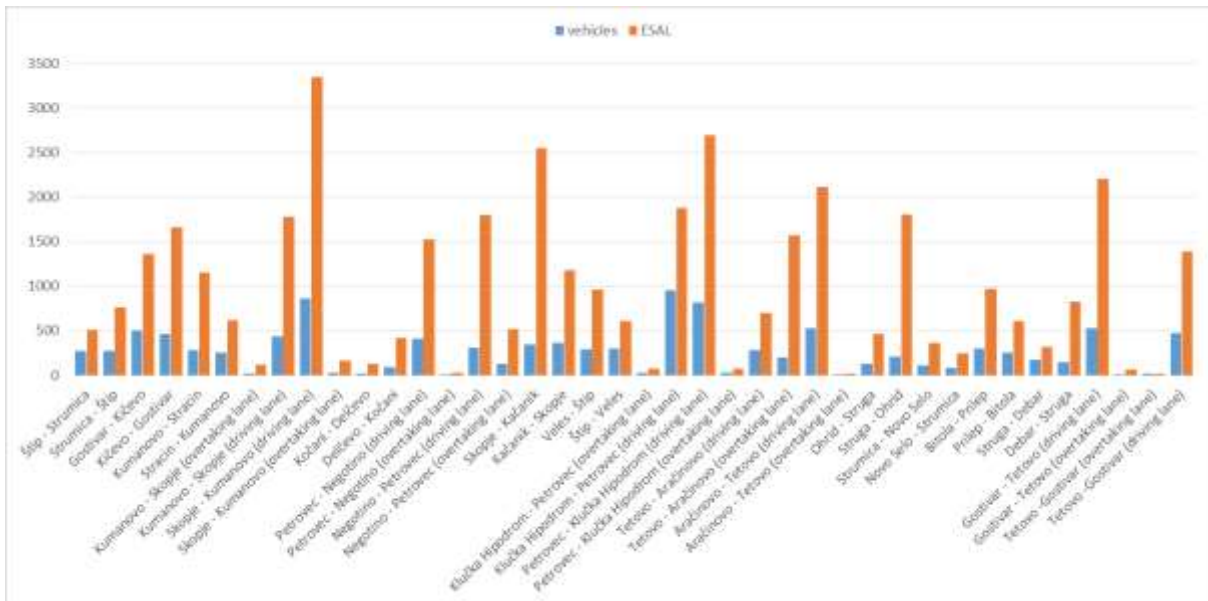
Overall average  $FE_{veh}$  factors per vehicle type were also calculated in Table 4. They represent average ESAL value per vehicle type according to the collected data on 20 sites on a specific dates (Picture 2). Season, road section and site specifics should be considered during evaluation of the calculated average overall values. Explanation is further elaborated in following chapters, but it should be noted, that site Struga stands out with the average equivalency factor reaching 6,73 ESAL/vehicle, almost twice the average value of all measurements.



Picture 2. Average  $FE_{veh}$  per site

**3.3. Results by axle type and determination of overloading**

Traffic loading is not the same as the amount of vehicles and even with the same number of vehicles on both lanes, traffic loading can be significantly different. Picture 3 shows significant asymmetry in traffic loading between traffic lanes on the same site, which is important for pavement design because the maximum traffic loading on a section must be taken into account and not only half of all traffic loading on that road section. Numerically, data from Picture 3 is presented in Table 5.



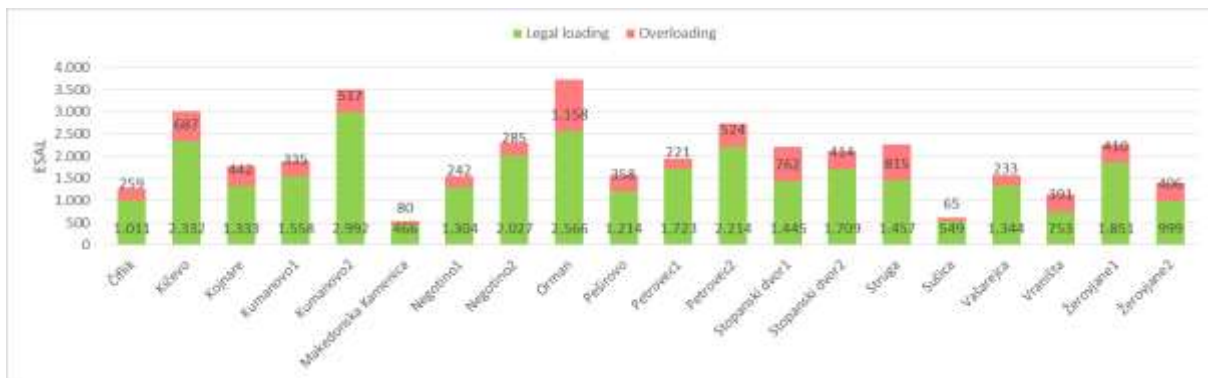
Picture 3. Average daily ESAL and number of vehicles per lane per site

At the same time SiWIM® calculates the overloading as a difference between the measured real traffic loading (Daily loading) and the traffic loading caused by legally loaded vehicles (Legal loading), as shown in Table 6.

Overview of traffic loading and overloading for both traffic lanes is presented in Picture 4.

**Table 5.** Average daily vehicle count and traffic loading per traffic lane and site

Measurement	Lane	ESAL	vehicles
Čiflik	Štip - Strumica	511,6	270,4
	Strumica - Štip	759,1	271,5
Kičevo	Gostivar - Kičevo	1357,0	502,3
	Kičevo - Gostivar	1664,0	463,0
Kojnare	Kumanovo - Stracin	1156,2	284,6
	Stracin - Kumanovo	618,6	251,6
Kumanovo1	Kumanovo - Skopje (overtaking lane)	117,0	23,0
	Kumanovo - Skopje (driving lane)	1776,0	436,1
Kumanovo2	Skopje - Kumanovo (driving lane)	3349,7	859,0
	Skopje - Kumanovo (overtaking lane)	160,4	26,6
Makedonska Kamenica	Kočani - Delčevo	128,6	17,0
	Delčevo - Kočani	418,1	90,4
Negotino1	Petrovec - Negotino (driving lane)	1520,1	404,0
	Petrovec - Negotino (overtaking lane)	26,4	7,2
Negotino2	Negotino - Petrovec (driving lane)	1796,3	308,9
	Negotino - Petrovec (overtaking lane)	515,6	128,6
Orman	Skopje - Kačanik	2548,7	345,7
	Kačanik - Skopje	1181,4	361,4
Peširovo	Veles - Štip	963,9	291,4
	Štip - Veles	608,1	298,6
Petrovec1	Ključka Hipodrom - Petrovec (overtaking lane)	73,3	31,6
	Ključka Hipodrom - Petrovec (driving lane)	1878,9	949,2
Petrovec2	Petrovec - Ključka Hipodrom (driving lane)	2692,8	816,4
	Petrovec - Ključka Hipodrom (overtaking lane)	69,6	27,5
Stopanski dvor1	Tetovo - Aračinovo (driving lane)	695,6	285,3
	Tetovo - Aračinovo (overtaking lane)	1573,4	202,1
Stopanski dvor2	Aračinovo - Tetovo (driving lane)	2110,7	523,1
	Aračinovo - Tetovo (overtaking lane)	20,9	10,9
Struga	Ohrid - Struga	464,0	125,0
	Struga - Ohrid	1808,4	212,8
Sušica	Strumica - Novo Selo	367,2	109,9
	Novo Selo - Strumica	246,3	84,6
Vašarejca	Bitola - Prilep	972,8	300,7
	Prilep - Bitola	605,0	252,9
Vraništa	Struga - Debar	321,8	174,4
	Debar - Struga	822,3	143,1
Žerovjane1	Gostivar - Tetovo (driving lane)	2202,9	530,5
	Gostivar - Tetovo (overtaking lane)	64,6	11,2
Žerovjane2	Tetovo -Gostivar (overtaking lane)	14,0	14,9
	Tetovo -Gostivar (driving lane)	1391,6	471,9



**Picture 4.** Traffic loading and overloading in ESAL



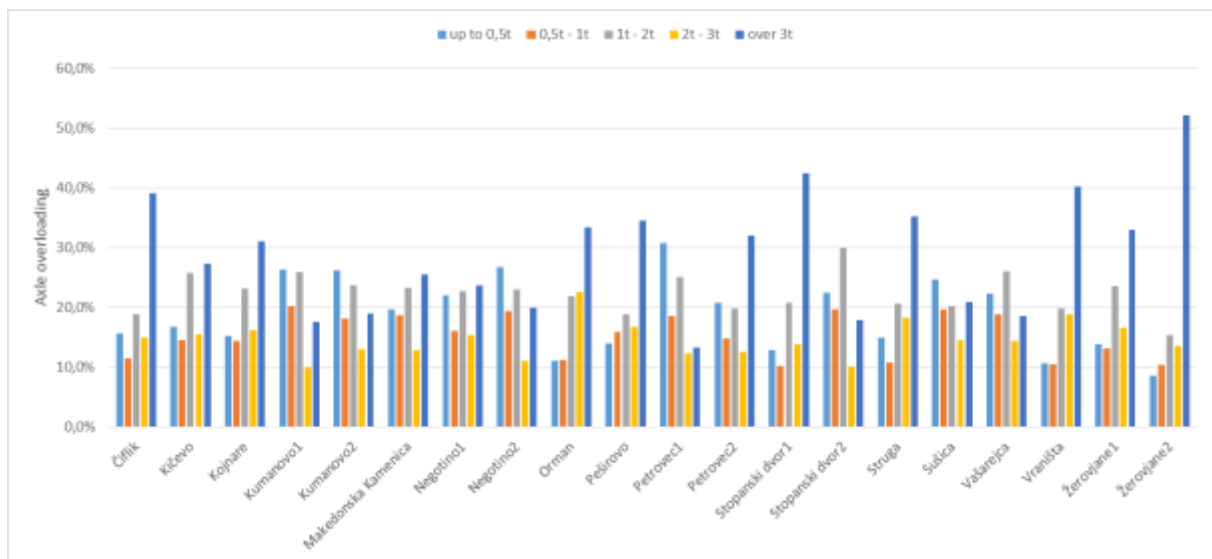
**Table 6.** *Traffic loading and overloading in ESAL*

<b>Measurement</b>	<b>Legal loading</b>	<b>Overloading</b>	<b>Daily loading</b>
Čiflik	1.010,82	258,56	1.269,39
Kičevo	2.331,90	686,96	3.018,86
Kojnare	1.333,05	441,74	1.774,79
Kumanovo1	1.557,71	335,30	1.893,01
Kumanovo2	2.992,25	517,19	3.509,45
Makedonska Kamenica	465,87	80,26	546,13
Negotino1	1.303,70	241,69	1.545,39
Negotino2	2.026,74	284,55	2.311,29
Orman	2.566,34	1.158,25	3.724,59
Peširovo	1.213,74	357,91	1.571,65
Petrovec1	1.722,71	221,30	1.944,01
Petrovec2	2.214,49	523,93	2.738,42
Stopanski dvor1	1.444,95	762,03	2.206,97
Stopanski dvor2	1.709,18	414,42	2.123,60
Struga	1.457,23	814,81	2.272,04
Sušica	548,87	64,63	613,50
Vašarejca	1.344,31	233,34	1.577,65
Vraništa	753,30	390,71	1.144,01
Žerovjane1	1.851,26	410,05	2.261,31
Žerovjane2	999,08	405,61	1.404,69

We analyzed at the same time the amount of axle overloading and classified it according to the generated overweight per axle/axle group, as shown in Table 7 and Picture 5. Significant overloading on axles and axle groups for more than 3 tons are the main reason for the deterioration of the pavement [3].

**Table 7.** *Amount of axle overloading*

<b>Measurement</b>	<b>up to 0,5t</b>	<b>0,5t - 1t</b>	<b>1t - 2t</b>	<b>2t - 3t</b>	<b>over 3t</b>
Čiflik	15,6%	11,5%	18,9%	15,0%	39,0%
Kičevo	16,8%	14,6%	25,8%	15,5%	27,3%
Kojnare	15,2%	14,4%	23,1%	16,2%	31,1%
Kumanovo1	26,4%	20,2%	25,9%	10,0%	17,5%
Kumanovo2	26,2%	18,1%	23,7%	13,1%	18,9%
Makedonska Kamenica	19,7%	18,7%	23,3%	12,9%	25,5%
Negotino1	22,1%	16,0%	22,8%	15,4%	23,7%
Negotino2	26,7%	19,4%	22,9%	11,0%	19,9%
Orman	11,0%	11,1%	21,9%	22,5%	33,4%
Peširovo	14,0%	16,0%	18,8%	16,7%	34,5%
Petrovec1	30,8%	18,6%	25,0%	12,4%	13,3%
Petrovec2	20,8%	14,8%	19,8%	12,6%	32,1%
Stopanski dvor1	12,8%	10,2%	20,8%	13,9%	42,4%
Stopanski dvor2	22,4%	19,6%	30,0%	10,1%	17,9%
Struga	15,0%	10,8%	20,7%	18,3%	35,2%
Sušica	24,7%	19,6%	20,3%	14,5%	20,9%
Vašarejca	22,3%	18,8%	26,0%	14,4%	18,6%
Vraništa	10,7%	10,5%	19,7%	18,9%	40,2%
Žerovjane1	13,8%	13,1%	23,6%	16,6%	32,9%
Žerovjane2	8,6%	10,3%	15,4%	13,5%	52,2%



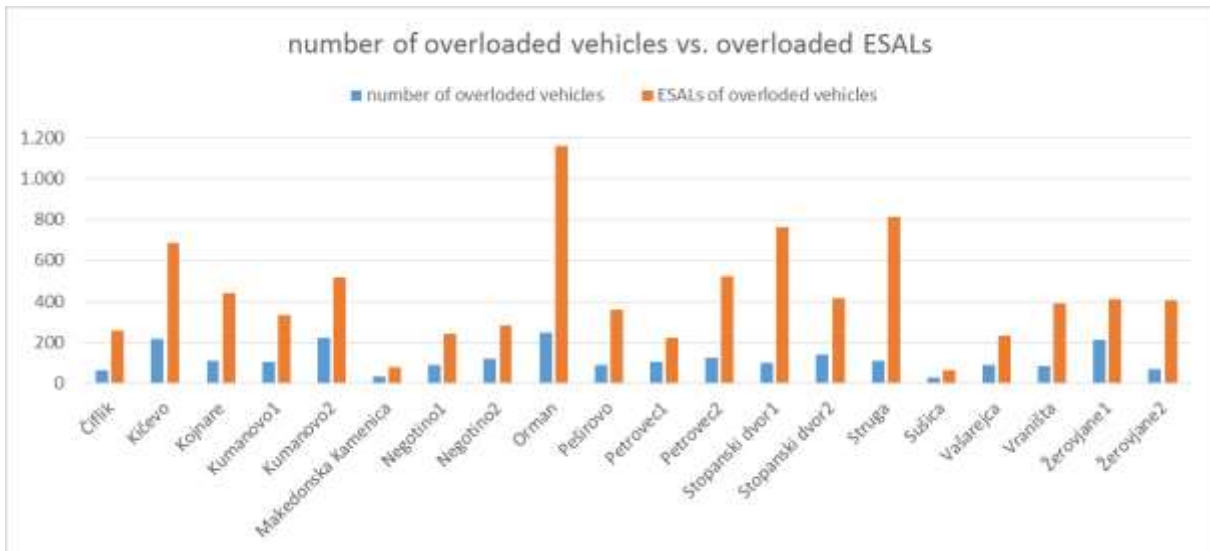
Picture 5. Amount of axle overloading

### 3.4. Number of overloaded vehicles vs. ESAL contribution from overloading

Another aspect to consider is comparison between the number of overloaded heavy vehicles and their contribution to ESAL from overloading. Table 8 shows, that sites are very diverse. Orman and Struga show significant contribution to total loading due to the overloading, but number of vehicles is much lower. On the other side sites Negotino 1 and 2 have similar amount of overloaded vehicles but much lower impact on traffic loading. Graphical representation of Table 8 is shown in Picture 6.

Table 8. Number of overloaded heavy vehicles and their contribution to ESAL from overloading

Measurement	vehicles	traffic loading
	overloaded [#]	Overloading [ESAL]
Čiflik	65,21	258,56
Kičevo	216,71	686,96
Kojnare	109,21	441,74
Kumanovo1	105,86	335,30
Kumanovo2	222,93	517,19
Makedonska Kamenica	34,00	80,26
Negotino1	87,64	241,69
Negotino2	121,71	284,55
Orman	249,64	1.158,25
Peširovo	88,93	357,91
Petrovec1	103,07	221,30
Petrovec2	126,14	523,93
Stopanski dvor1	97,93	762,03
Stopanski dvor2	139,50	414,42
Struga	112,14	814,81
Sušica	28,29	64,63
Vašarejca	89,43	233,34
Vraništa	83,79	390,71
Žerovjane1	210,07	410,05
Žerovjane2	67,64	405,61



**Picture 6.** Number of overloaded heavy vehicles and their contribution to ESAL from overloading

Good example are both Žerovjane locations, where at Žerovjane1 210 overloaded vehicles per day contributes to 410 additional ESALs of traffic loading per day, but on Žerovjane2 68 overloaded vehicles contributed almost 406 additional ESALs – the same amount of traffic loading on both sites. This translates to important information, that majority of overloaded vehicles on Žerovjane1 are only slightly overloaded, where overloaded vehicles on Žerovjane2 are heavily overloaded.

Another important information, deduced from measurements is asymmetry of the traffic and loading. If we look at the data in Table 9, the ratio of the number of vehicles in the lanes is for 70% more in favor of the second lane, and when comparing the traffic loading, it is almost 3 times higher on the second lane.

This is very important information for every road owner or every civil engineer, when designing new road section or planning any future rehabilitation on measured road section. If you take into account average daily ESAL value on this road section, which is half the sum of ESAL values from both lanes, 1.136,2 ESAL, then pavement will be overdesigned in lane 1 and under designed on lane 2. Road will deteriorate on lane 2 much faster and repairs will be needed sooner. If, instead of using average, one uses maximal ESAL value per lane, pavement would be properly designed and therefore last designed number of years.

**Table 9.** Asymmetry in lanes

Lane	ESAL	vehicles
Ohrid - Struga	464,0	125,0
Struga - Ohrid	1808,4	212,8
	<b>290%</b>	<b>70%</b>

#### 4. PROPOSED OVERALL AVERAGE EQUIVALENCY FACTORS FOR INDIVIDUAL VEHICLE GROUPS

As calculated in Table 4 and shown also in Table 10, calculated average Equivalency Factors for vehicle types are as follows:

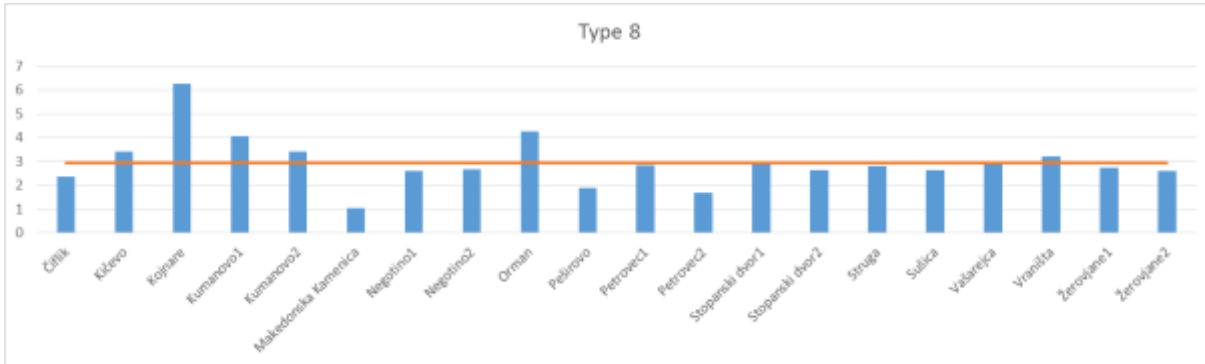
**Table 10.** Calculated average overall Equivalency Factor -  $FE_{veh}$

Vehicle type	Type 8	Type 5	Type 6	Type7
Equivalency Factor $FE_{veh}$	<b>2,95</b>	<b>0,80</b>	<b>4,24</b>	<b>6,00</b>

- busses and busses with trailers amounts to  $FE_{veh}$  of 2,95 ESAL 80 kN,
- trucks with total mass over 3,5 tons amounts to  $FE_{veh}$  of 0,80 ESAL 80 kN,
- trucks with trailers amounts to  $FE_{veh}$  of 4,24 ESAL 80 kN and
- tows amounts to  $FE_{veh}$  of 6,00 ESAL 80 kN.

Analyzing each individual type of the vehicle, specifics were observed and some adjustments are required to calculated values.

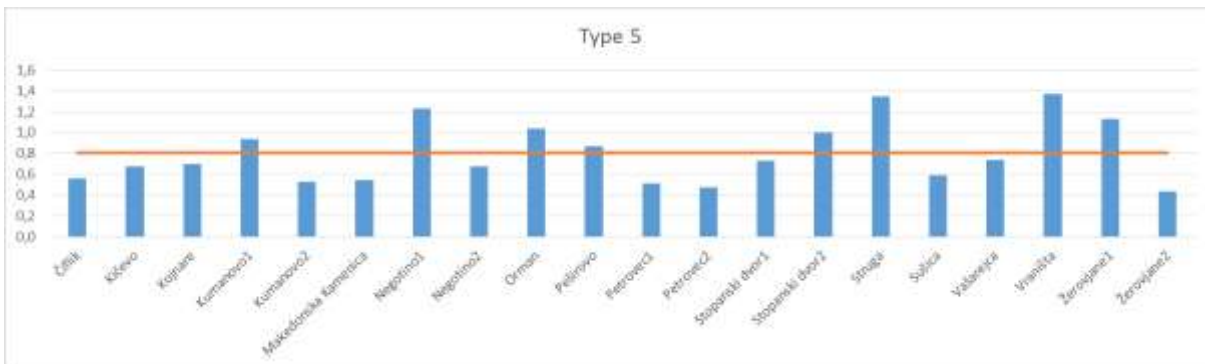
In type 8 (busses, Picture 7), majority of individual site equivalency factors were under average overall  $FE_{veh}$ , but 8 of them with values above this value. Due to the fact, that values above the average are dominantly from sites with the most of traffic, minor adjustment should be applied to average overall Equivalency Factor.



**Picture 7.** Average equivalency factor for type 8 vehicles on individual sites

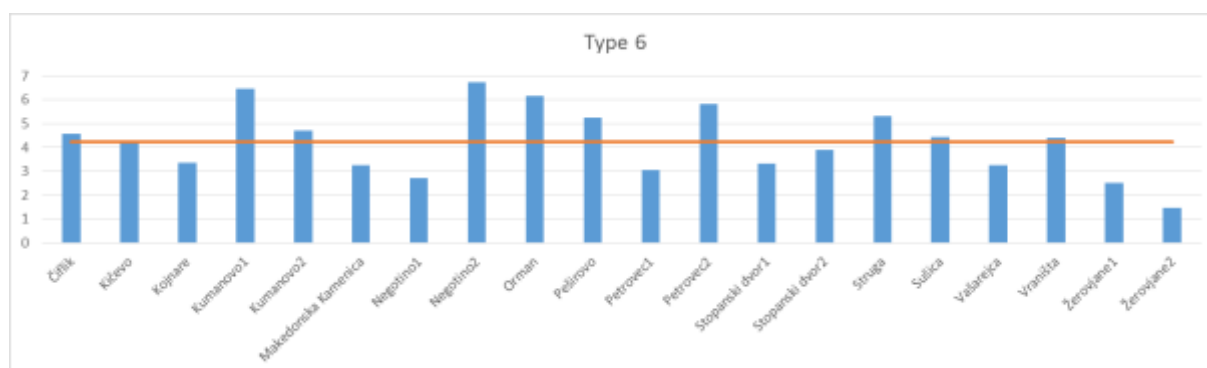
Taking into account amount of vehicles on individual sites, proposed adjusted overall average equivalency factor for vehicles type 8  $FE_8$  is **2,7 ESAL 80kN**.

Trucks with total mass over 3,5 tons, vehicles type 5, have quite the opposite situation with majority of motorway traffic being under or around the average value (Picture 8). Since they represent majority of the traffic, and due to the fact, that on regional roads significantly overloaded trucks are expected, proposed adjusted overall average equivalency factor for vehicles type 5  $FE_5$  is **0,9 ESAL 80kN**.



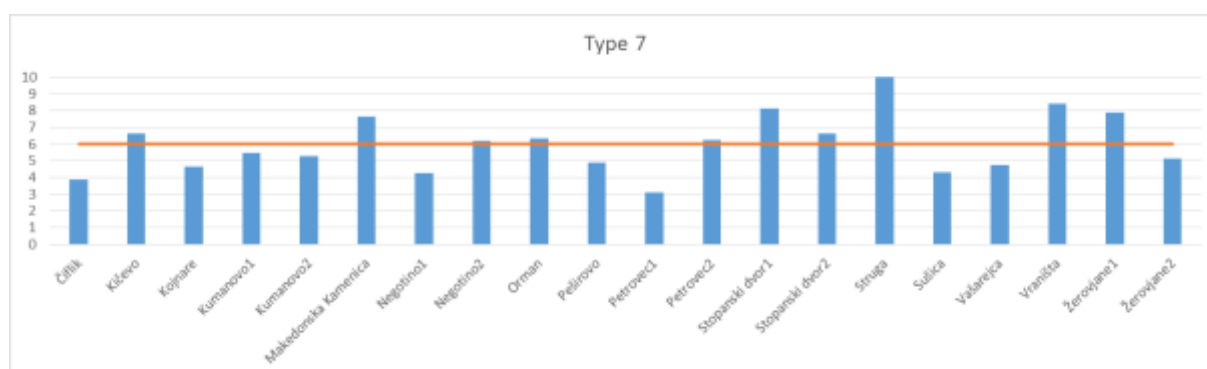
**Picture 8.** Average equivalency factor for type 5 vehicles on individual sites

Trucks with trailer, vehicles type 6, have  $FE_{veh}$  between 2,5 and 6,7, with motorway sites showing typical behaviour, where empty vehicles (lower FE) are travelling in one direction and fully loaded (higher FE) in the opposite (Picture 9). Average value is quite good representation of actual situation on Macedonian roads, so proposed adjusted overall average equivalency factor for vehicles type 6  $FE_6$  is **4,4 ESAL 80kN**.



**Picture 9.** Average equivalency factor for type 6 vehicles on individual sites

Tows, vehicles type 7, have  $FE_{veh}$  between 3,1 and 10,2 (Picture 10), which is quite a wide range. The highest FE's are measured on sites, where either construction works are in vicinity, or queries, mines or other industry causes vehicles to significantly overload. Analyzing all different types of tows yields results, that are lower than calculated average for 0,6 due to the fact, that transit tows are usually not overloaded and should present significant part of all vehicles. Taking into account all relevant information leads us to proposed adjusted overall average equivalency factor for vehicles type 7  $FE_7$  as **5,4 ESAL 80kN**.



**Picture 10.** Average equivalency factor for type 7 vehicles on individual sites

To summarize results and when taking into account all above mentioned influences and calculations, proposed overall average Equivalency Factors for individual vehicle groups in Macedonia are as follows:

- for busses and busses with trailers, vehicle type 8,  $FE_8$  equals 2,7 ESAL 80 kN,
- for trucks with total mass over 3,5 tons, vehicle type 5,  $FE_5$  equals 0,9 ESAL 80 kN,
- for trucks with trailers, vehicle type 6,  $FE_6$  equals 4,4 ESAL 80kN and
- for tows, vehicle type 7,  $FE_7$  equals 5,4 ESAL 80 kN.

All above mentioned equivalency factors are presented also in Table 11.

**Table 11.** Final proposed average overall Equivalency Factors

<b>Vehicle type</b>	<b><math>FE_{type}</math></b>	<b>ESAL</b>
Type 8	$FE_8$	<b>2,7</b>
Type 5	$FE_5$	<b>0,9</b>
Type 6	$FE_6$	<b>4,4</b>
Type 7	$FE_7$	<b>5,4</b>

## 5. CONCLUSIONS

The SiWIM® measurements took place from the beginning of September 2017 until the end of November 2017 on locations throughout Macedonian road network on predefined locations. Since all measurements were performed in autumn, traffic might be specific for this season; measurements in different seasons are suggested.



Reference ESAL values, used in this report are related to 80kN reference axle. In majority of EU countries, reference axle used is 100kN, so ESAL values, calculated in Macedonia are at least 2,2 higher than values with different reference axle. Average ESAL values for heavy vehicle in countries like Sweden, Finland, Germany or Slovenia are in the range of 1,1 ESAL. Even with all this taking into account, average ESAL value in Macedonia was calculated to 3,81 ESAL, significantly higher than any expected average [5].

Generally, overloading in EU ranges between 5% and 20%, depending on type of the road and location of the measurement. Average overloading in Macedonia was slightly above this values. Heavily overloaded vehicles are destroying pavement significantly faster than anticipated from legally loaded vehicles.

Proposed overall average Equivalency Factors are summarized suggestion, calculated from all available measurements on different measurement sites. They differ significantly not only from site to site but also from lane to lane. It is important to understand, that due to the asymmetry in loading, to use different factors on different sites and to always use more trafficked lane as reference for any calculation. Proposed overall average Equivalency Factors are suggested according to overall calculation and are not related to the type of the road. We suggest separating this factors to different types of roads (Motorways/regional/local roads).

The results of the measurements show that the drivers constantly exceed the allowable axle load on a section, which is 10 tons per single axle in quite some cases with single axle weights over 15 tons. On average, majority of overloading was due to the GVW and axle overloading, followed by axle only overloading and GVW only overloading.

Traffic on certain road sections is very specific for that area and do not necessary represent general traffic; selection of other road sections for the measurements is proposed.

## Literature

- [1] OECD (1983), OECD report Impacts of Heavy Weight Vehicles, OECD Paris, 1983
- [2] Aleš Žnidarič, Jan Kalin & Maja Kreslin (2017), Improved accuracy and robustness of bridge weigh-in-motion systems, Structure and Infrastructure Engineering, DOI:10.1080/15732479.2017.1406958
- [3] AASHO (1993), AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993
- [4] Aleš Žnidarič, Igor Lavrič & Jan Kalin (2010), Latest practical developments in the Bridge WIM technology, Philadelphia, USA, Proceedings of IABMAS 2010 conference, pp. 993-1000
- [5] Aleš Žnidarič, Pakrashi, V., O'Brien, E. J. & O'Connor, A. (2011), A review of road structure data in six European countries. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban design and planning, 164(4), pp. 225-232

## БЕТОНСКИ КОЛОВОЗ У ТУНЕЛУ (НА ПРИМЕРУ ТУНЕЛА „БРЂАНИ“)

Милован Ђеранић<sup>1</sup>, дипл.грађ.инж,  
Коридори Србије д.о.о., [ceranicmilovan@gmail.com](mailto:ceranicmilovan@gmail.com)

**Резиме:** Први пут у Републици Србији, у једном аутопутном тунелу, тунел „Брђани“, уграђен је бетонски коловоз. Израда бетонског коловоза у тунелу се показала као знатно компликованији објекат који се у многоме разликује од класичних бетонских коловоза. Разлике се огледају у недовољној висини тунела за истовар бетона, малом маневарском простору, ограниченом зидовима тунела, смањеним дневним учинцима, а самим тим и већим јединичним ценама уграђеног бетона, што је на крају резултовало и великим утицајем на комфор вожње. Ако се томе додају и претходна припрема за израду бетонског коловоза, много ручног рада, заштита бетонског коловоза после уградње, уз веома скупу механизацију за уградњу бетонског коловоза, долази се до закључка да је израда бетонског коловоза у тунелима врло захтевна у техничком смислу. Циљ рада је да се сагледају сви фактори које треба узети у обзир приликом доношења одлуке о типу коловозне конструкције у тунелима у Републици Србији.

**Кључне речи:** тунел „Брђани“, бетонски коловоз, коловозна конструкција, финишер, уградња.

## CONCRETE PAVEMENT IN TUNNEL ( TUNNEL IN THE EVENT OF „BRĐANI“)

Milovan Ćeranić, Msc. Civ. Eng.,  
Koridori Srbije d.o.o., [ceranicmilovan@gmail.com](mailto:ceranicmilovan@gmail.com)

**Abstract:** For the first time in Serbia, in a motorway tunnel, the tunnel "Brđani", built a concrete pavement. Production of concrete pavement in the tunnel proved to be significantly more complicated structure that is in many ways different from conventional concrete pavements. The differences are reflected in the lack of height of the tunnel for unloading concrete, a small room for maneuver, narrowness of the tunnel walls, reduced daily output, and thus higher unit prices laid concrete, which eventually resulted in the large impact on ride comfort. If we add the previous preparation for the production of concrete pavement, a lot of manual labor, protection of concrete pavement after installation, with very expensive machinery for the installation of concrete pavement, it can be concluded that the production of concrete pavement in tunnels very challenging technically. The aim is to look at all the factors to be taken into account when deciding on the type of pavement in tunnels in the Republic of Serbia.

**Keywords:** tunnel „Brđani“, concrete pavement, pavement, paver, to place.

---

<sup>1</sup> Милован Ђеранић: [ceranicmilovan@gmail.com](mailto:ceranicmilovan@gmail.com)

## 1. Увод

У тунелу Брђани (слика бр. 1), на деоници аутопута Е-763, Београд – Јужни Јадран, се први пут у Републици Србији уграђивао бетонски коловоз у тунелу.



Слика бр.1: Тунел „Брђани“

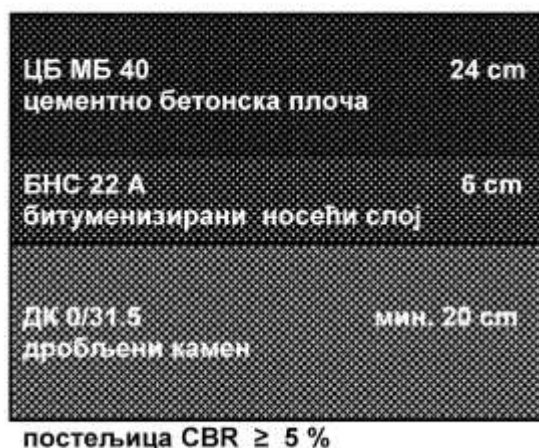
Бетонска коловозна конструкција, према Главном пројекту тунела „Брђани“ [1], се састојала од бетонских плоча димензија 4,0 x 3,65 x 0,24 m и то:

лева цев→ L1=118 поља x 4,0 m = 472 m<sup>3</sup> (бетонских плоча)

десна цев→ L2=113 поља x 4,0 m = 452 m<sup>3</sup> (бетонских плоча).

Бетонске плоче су постављене на слој БНС 22, d = 6 cm, чија је улога да смањи утицаје преласка оптерећења са једне на другу бетонску плочу, али и да обезбеди бољу заштиту доње подлоге од продирања воде са површине. Ради обезбеђења еластичног налегања крутог коловоза, као доња подлога коловоза је израђен слој од дробљеног камена гранулације 0/31,5 mm, дебљине 20 cm.

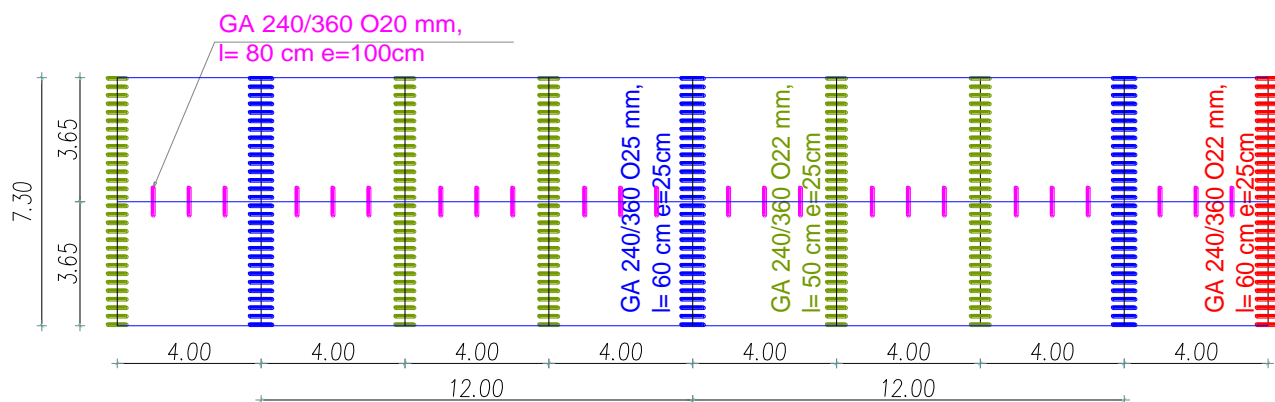
Укупна дебљина коловозне конструкције у тунелу је 50 cm ( слика бр. 2).



Слика бр.2: Шематски приказ коловозне конструкције у тунелу „Брђани“ [2]

Распоред спојница у бетонском коловозу је приказан на слици бр. 3:

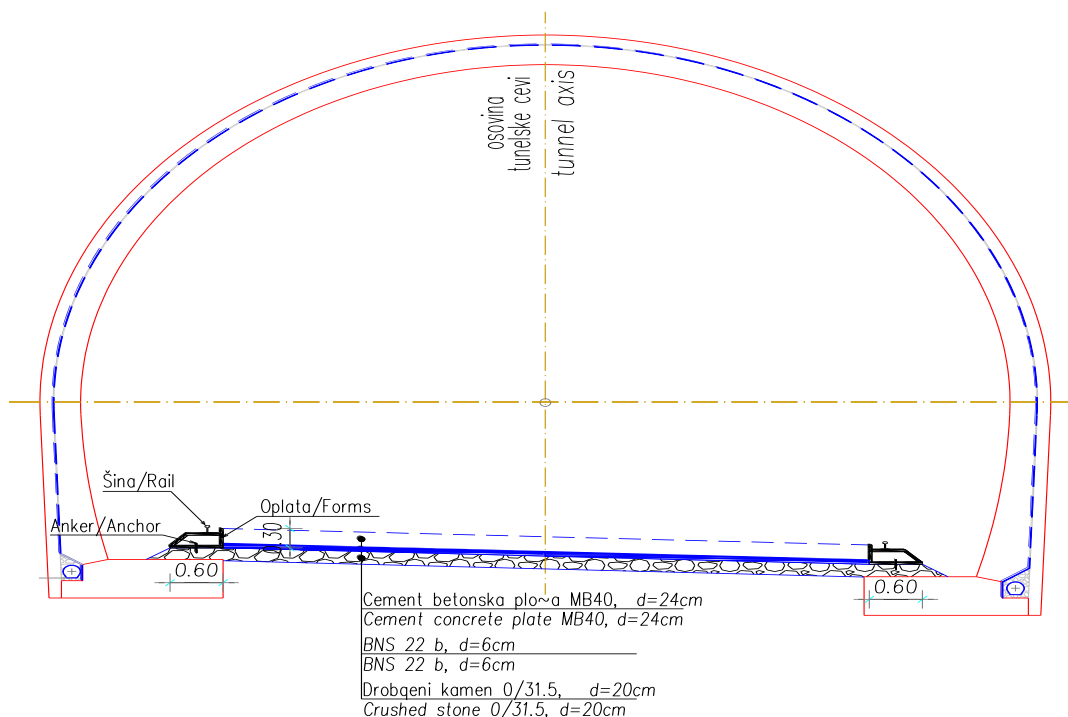
- на сваких 4 метра – привидна спојница
- на сваких 12 метара – дилатациона спојница



Слика бр.3: Шематски приказ распореда можданика, котви и спојница [3]

## 2. Израда бетонског коловоза у тунелу „Брђани“

Пре почетка израде бетонског коловоза, подлогу (БНС22) је било неопходно очистити компресором или четком. На слој БНС 22 се постављала фолија која је онемогућавала исушивање уграђеног бетона (спречава продирање воде из свежег бетона у ниже слојеве коловозне конструкције или отицање са стране). Фолија се закивцима причвршћивала за слој БНС-а, да не би, у току израде бетонског коловоза, дошло до њеног померања. Затим су се постављале „шалунг“ шине – оплата за израду бетонске плоче, које су уједно биле и носач шина, по којима се кретао финишер за уградњу бетона (слика бр.4). Спречавање померања „шалунг“ шина вршило се њиховим причвршћењем клиновима за ниже слојеве. Из тог разлога, бочно од ивица БНС–а био је изведен слој од дробљеног каменог агрегата 0/31,5 mm у ширини од 0,60 m, дебљине  $d = 20$  cm.



Слика бр.4: Постављање „шалунг“ шина [3]

Оплата за бетон је морала бити премазана одговарајућим средствима (оплатолом) која спречавају да дође до оштећења изведеног бетона, при њеном одвајању.

Пре почетка радова на уграђивању бетона, на шине вођице се монтирао финишер за бетон (слика бр.5). Ширина финишера је морала да буде 7,30 м.



**Слика бр.5:** *Постављање финишера на шине вођице*

У тунелу Брђани, због ограничене висине, за истовар бетона користили су се камиони кипери. Приликом истовара бетона, због његове особине прионљивости за каросерију, није се смео вршити директан истовар у кош разасирача. Консистенција свеже бетонске масе приликом уградње требала је да буде полукрута, тј слегање бетона, методом Абрамсовог конуса, морало је да буде између 3 и 6 cm, што је представљало додатни проблем приликом истовара. Због поменутих проблема, извођач радова је истоварао свежу бетонску масу у бокс, постављен непосредно испред разасирача за бетон, (слика бр. 6). Бетон из бокса се у кош разасирача преносио багером точкашем са кашиком од 1m<sup>3</sup>. Количина бетона која се утоварала у један камион није требала да прелази 6m<sup>3</sup> бетона захтеване марке.



**Слика бр.6:** *Истовар свежег бетона у бокс*

Ограниченост тунела бетонским зидовима имала је за последицу да се истовар бетона у кош разасирача није могао извести „са стране“. Разасирач за бетон, је због потребе радова у тунелу ,морао да буде ротиран за 90 степени у односу на свој фабрички положај за истовар бетона, (слика бр. 7).

Због промене положаја разасирача за бетон, како би се утовар бетона у кош вршио испред разасирача, арматура која се уграђивала у бетонски коловоз, „корпице“ и можданици, није могла да се постави на целој дужини тунела јер је онемогућавала приступ камиона кипера са бетоном и постављање бегера.





**Слика бр.7:** Положај разасираща за рад у тунелу

Разасиращач за бетон приликом уграђивања бетона у тунелу Брђани, је морао да се креће напред – назад. Кретањем унапред постављао се у положај за утовар. Ако би арматура била постављена целом дужином тунела, разасиращач би проводио много времена у доласку на утовар бетона, што би смањивало количину уграђеног бетона у бетонски коловоз. Извођач радова се одлучио да монтажу „корпица“ и можданика изводи у дужини од 24 метра, два поља дужине од 12 метара, (слика бр. 8).



**Слика бр.8:** Утовар бетона у разасиращач на припремљеној дужини од 24 метра

После проласка разасиращача и његовог грубог нивелисања површине бетона, кретао је финишер за бетонски коловоз и прво је лопатицама скидао вишак материјала а затим вибро гредом вршио збијање и довођење на пројектовану коту.

Финишери за бетон са клизном оплатом захтевају уједначен квалитет бетона (конзистенцију, влагу, уградљивост и обрадљивост), који се у већини случајева не може обезбедити (удаљеност бетонске базе, временске прилике, висока температура ваздуха, квар транспортног средства). Како не би дошло до појаве неравнина на коловозу обрада горње површине бетона се изводила ручно.

На крају обраде површине бетона вршило се „метлање“, преласком врха метле преко свеже бетонске масе, како би се добила површина која ће омогућити бољи контакт точкова возила за подлогу.

Како се сваких 24 метра прекидало бетонирање због монтаже арматуре за нова поља од 24 метра, дневни учинак бетонирања је био смањен.

Након уграђивања бетонског коловоза и почетка везивања бетона, морало се извршити сечење бетона по ивицама бетонских плоча, димензија 3,65 x 4,00 метра, (слика бр. 9). Сечење бетонског коловоза се изводило, како би се спречила неконтролисана појава пукотина изазвана процесом скупљања бетона.



**Слика бр.9:** Спојнице на бетонском коловозу

Након бетонирања, нарочито у зонама близу улазних и излазних портала, бетонски коловоз се штитио од спољних утицаја, прскањем разним хемиским средствима која су имала задатак стварање танког филма на површини свеже бетонске масе. ГП „Планум“ А.Д. је свој бетонски коловоз од спољних утицаја штитило 300 грамским геотекстилом, на целој дужини тунела. Квашење геотекстила се вршило водом из аутоцистерни за воду.

После израде бетонског коловоза монтирани су се елементи за одводњавање. Због потребе отпорности на високу температуру, елементи су били од полимер бетона и велике тежине (слика бр. 10).

Елементи за одводњавање, ивични канали и шахтови, израђени од полимер бетона су тежине неколико стотина килограма и у скученом простору су били тешки и незгодни за уграђивање. Извођач радова је морао да направи адекватне алате како би могао да елементе постави на своје место. Стеновити материјал на месту монтаже елемената представљао је додатни проблем извођачу.



**Слика бр.10:** Шахт од полимер бетона

### 3. Закључак

Бетонски коловоз у тунелима сигурно има својих предности. Отпорнији је на пожар и високе температуре од асфалтних коловоза, лакше подноси екстремне температуре ваздуха али практично нема поправке након његовог уграђивања.

Међутим, у нашим условима, пројектовање бетонског коловоза у тунелима треба избегавати и због још неких чињеница:

- Финишер за уградњу бетонског коловоза тренутно има само једна фирма у Србији

- Скупа опрема за уградњу бетонског коловоза се не исплати куповати без обезбеђења већег броја пројеката са бетонским коловозом на траси и у тунелима
- Велика зависност од ручног рада
- Мало квалитетне радне снаге на тржишту рада.

## Литература

- [1] Саобраћајни институт ЦИП (2011), ГЛАВНИ ПРОЈЕКАТ Аутопута Е-763: Београд (Остружница) – Пожега, Сектор II: Љиг – Пожега, Деоница 3: Таково – Прељина, (км 100+411,54 – 117+476,55), Књига 9 ПРОЈЕКАТ ТУНЕЛА, Свеска 3 Пројекат тунела „Брђани“,
- [2] Саобраћајни институт ЦИП (2011), ГЛАВНИ ПРОЈЕКАТ Аутопута Е-763: Београд (Остружница) – Пожега, Сектор II: Љиг – Пожега, Деоница 3: Таково – Прељина, (км 100+412,01 – 117+477,02), Књига 4 ПРОЈЕКАТ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ,
- [3] ГП „Планум“ А.Д. (2015), Технологија израде круте (бетонске) коловозне конструкције у тунелу „Брђани“

# NATURAL BITUMEN – AN ANSWER TO THE CHALLENGES OF FUTURE ASPHALT MIXES

M Sc Eng. Edith Tartari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical Department, SeleniceBitumiSha, RrugaGjikeKuqali, Pallati Melrose, K2, 1019, Tirana-Albania

**Abstract:** *The purpose of this article is to highlight the benefits of using natural bitumen as part of the emerging environmental sustainability innovations and trends in asphalt mixture design. A recent research work conducted jointly by the French Centre for Studies and Expertise CEREMA and Institute for Science and Technology IFSTTAR, focused for the first time on the use of vegetable oils and natural bitumen to produce asphalt binders for asphalt mixes. Based on the special characteristics of natural bitumen Selenizza SLN as a hardener and ageing inhibitor for soft bitumen and the capability of the vegetable oils to rejuvenate aged bitumen and to provide more flexibility to the final product, the implementation of a new type of asphalt binder, obtained by blending both types of products, was studied. It will then be briefly described the experimental investigation of a new Job Mix Formula, implemented for the first time in Germany, which was developed to evaluate the potential use of 100% RAP and a rejuvenated asphalt binder, based on waste vegetable oil and natural bitumen.*

**Keywords:** *natural bitumen additive, High Modulus Asphalt (HMA), Ageing, Rejuvenators, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Recycling*

## 1. INTRODUCTION

The issues raised by global environmental change are leading to the further development of innovative concepts in HMA technology. At the same time, the increasing traffic intensity and aggressiveness are creating new challenges for binders and asphalt mixtures obliging us to adopt and improve our chosen method of mix design. The future will bring greater emphasis on using reclaimed asphalt pavement in mixtures. The industry is improving the effectiveness of using recycled material, leaning towards ever more perpetual pavements, which are already gaining acceptance. It is providing the means to reduce the life-cycle cost of owning a pavement and to minimize user delay, by having a long-lasting structure that only requires periodic resurfacing.

The binder and the time evolution of its properties, play an essential role to ensure the performance of the pavement structure. In an effort to minimize or avoid the use of crude oil bitumen, which originates from nonrenewable natural resources and is characterized by high impact on the CO<sub>2</sub> emissions, French researchers, for the first time, examined the potentiality to produce asphalt binder by mixing natural bitumen and waste vegetable oil. Thus, combining the hardening and anti-ageing property of natural bitumen Selenizza SLN, with the capability of vegetable oils to rejuvenate and provide more flexibility to bitumen, a new type of binder was obtained, with rheological and mechanical properties similar to P35/50roadbitumen. Asphalt concretes using the new binder were manufactured and their stiffness modulus, rutting resistance and water sensitivity performance was evaluated.

In parallel, the reuse of 100% RAP asphalt in surface layers bound with rejuvenated binders, composed of natural asphalt Selenizza SLN and vegetable oil, was studied and experimented recently by German researchers. 12 variants of asphalt concrete and the associated binders were investigated. It was observed that it is possible to reverse the rheological properties of RAP aged binder and to restore the original fresh bitumen values. The processability and performance of asphalt mixes were analyzed and optimized through a tests section in Greußen, Germany.

## 2. HARDENING EFFECT AND ANTI-AGING PROPERTIES OF NATURAL BITUMEN SELENIZZA SLN

Various petroleum refining techniques are available for the production of hard bitumen. With the ever increasing use of high modulus asphalt mix technology (an excellent solution to reduce the use of materials while maintaining a very long service life of road structures), there is a strong demand for hard bitumen. An advantageous alternative is the modification of soft bitumen with natural asphalt additive. For many years now, in several construction projects such as highways, ports, airports, the natural bitumen Selenizza SLN, has proved to be a worthwhile additive for obtaining hard bitumen.

---

<sup>1</sup>[e.tartari@selenicebitumi.com](mailto:e.tartari@selenicebitumi.com)

The natural bitumen Selenizza SLN is mined from Selenice deposit in southwest Albania. The raw material, a glossy, black, solid natural asphalt, is a mixture of bitumen (65-75 %), minerals (22 - 23%), water (6-19%) and volatile substances. It is purified through evaporation of free water and volatile materials and separation of mineral or organic pollutants. The final product of this technology is pure asphalt called Selenizza SLN and contains approximately 82% natural bitumen and 18 % inorganic matter. It is ground and delivered to customers in the form of powder 0/6 mm or granules of grain size 4/12 mm.

Selenizza SLN is used in road construction as a performance-enhancing agent of hot mix asphalts. This additive may partially or totally replace polymers making possible the implementation of high performance hot mix asphalts with higher stability, increased resistance to rutting and water and reduced temperature susceptibility. It is also used in the form of emulsion for roofing, coating, or other sealing applications.

The natural bitumen Selenizza SLN, is used as a hardener of base bitumen. It is blended at a percentage of approximately 1% by total weight of asphalt mix. Unlike other additives, by the very fact of its original composition as bitumen, Selenizza SLN entirely substitutes the part of the base bitumen to which it is blended, without requiring any increase of the total mass of the final binder.

An estimation of SARA fractional composition of Selenizza with IATROSCAN method resulted in the following average values: Saturates 1.7%, Aromatics 23.7%, Resins 36.1 and Asphaltenes 38.5%. The colloidal instability index  $I_c$  values, indicate that the organic phases of Selenizza SLN, have a sol or sol-gel character, with a sufficient quantity of resins to peptize the asphalts.

The impact of adding different percentages of Selenizza SLN to the mechanical properties of modified bitumen reflected by the decrease of penetrability and increase of softening point temperature.

Table 1 shows an example of the evolution of the values of penetration and softening temperatures, for a base bitumen 50/70 blended with different percentages of Selenizza SLN.

**Table 1.** *Hardness evolution of modified bitumen based on the added percentage of Selenizza*

Description	Penetration (dmm)	TR&B(°C)	Penetration Index	Grade obtained
Petroleum bitumen 50/70	54	49,0	22,4	-
Natural bitumen Selenizza	0.1	120,0	6,5*	-
Mixed with 5% Selenizza	38	52,6	19,7	35/50
Mixed with 10% Selenizza	28	56,2	17,8	20/30
Mixed with 15% Selenizza	20	-61,6	16,1	10/20

\* In the calculation, the penetration of Selenizza was assumed to equal 0,1dmm

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

Considering that the aging of the binder is of key importance for pavement durability, a recent research study examined the evolution of bitumen modified with natural asphalt during artificial ageing process. In this study, specimen of 50/70 bitumen, modified with different percentages of Selenizza, as well as the respective equivalent grade standard bitumen, were submitted to accelerated artificial ageing RTFOT followed by PAV.

The bitumen oxidation, which characterizes the state of its ageing, has an important impact on the physico-chemical and mechanical properties of the binder.

The evolution of penetrability and R&B temperature are presented in respectively in the figures 1 and 2 below.

The ageing effect was quantified using the following mathematical expression:

$$EV_x = \frac{|x^{RTFOT+PAV} - x^{New}|}{x^{New}} * 100$$

Where:

EV<sub>x</sub>: the evolution of mechanical property X



X<sup>RTFOT + PAV</sup>: mechanical property X after artificial ageing RTFOT and PAV

X<sup>New</sup>: mechanical property X before artificial ageing

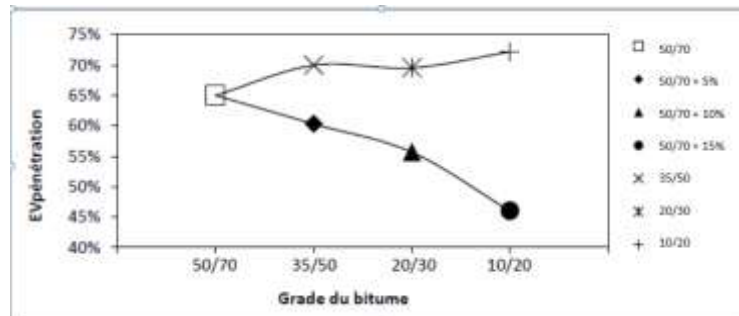


Figure 1. Evolution of penetration after RTFOT and PAV ageing

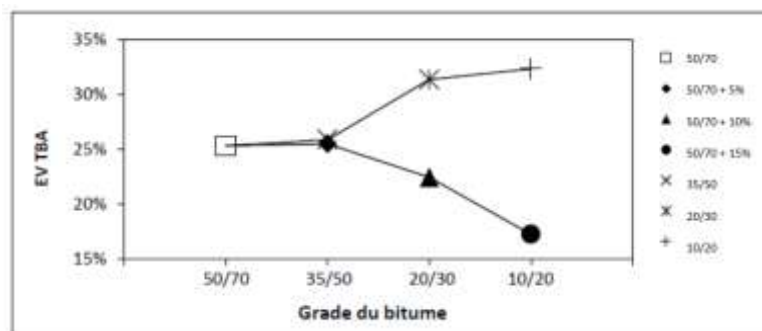


Figure 2. Evolution of R&B after RTFOT and PAV ageing

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

It was observed that after ageing, the changes of modified bitumen were lower than the changes of initial bitumen 50/70. Also, for the modified specimen, the changes are attenuated with the increase of the modification rate. Last, and more importantly, comparing the modified bitumen with the equivalent grade standard bitumen, it can be seen that the modified bitumen are characterized by minor changes, which means that the modifying additive Selenizza SLN, acts as an ageing inhibitor

### 3. POTENTIAL USE OF WASTE VEGETABLE OILS-MODIFIED NATURAL BITUMEN FOR DEVELOPING A NEW TYPE OF BINDER

During the last years, there is a burgeoning interest and significant research efforts are being made to develop innovative bio-asphalt binders as an alternative for petroleum-based binder, to improve asphalt binder's properties while reducing asphalt pavements' construction cost.

A recent study, conducted by the French Centre for Studies and Expertise CEREMA and the French Institute for Science and Technology IFSTTAR, focused for the first time on the use of waste vegetable oils and natural bitumen to produce asphalt binders for mixes.

Usually, natural asphalt is used as additive for the modification of paving grade bitumen. Several research works and laboratory tests show an improvement of the modified bitumen compared with the base bitumen, in terms of water sensitivity, resistance to fatigue and rutting, direct tensile strength and stiffness modulus. These improvements, along with the anti-ageing property of natural bitumen Selenizza SLN, make of it a suitable choice for the development of a new innovative binder.

On the other hand, recently published papers indicate that waste oils have the capability to restore the properties of aged asphalt binder and provide more flexibility to the final product. According to some authors, the Aromatics, Resins and Saturates fractions content in vegetable oils (except for the Asphaltene), are similar to those of petroleum bitumen, ensuring a good compatibility between the two types of product.

The new developed binder consisted of natural bitumen Selenizza SLN, blended with two types of waste vegetable oils, rapeseed and sunflower. Hard bitumen P 15/25 was added to the mixture in the quantity equal to the inorganic matter contained in Selenizza®SLN.

**Table 2.** Composition of binders

Composition of binders.				
Constituent materials	Natural bitumen		Waste vegetable oil	Hard bitumen
	Hydrocarbon	Mineral fraction		
Percentage	60.7%	10.7%	17.9%	10.7%

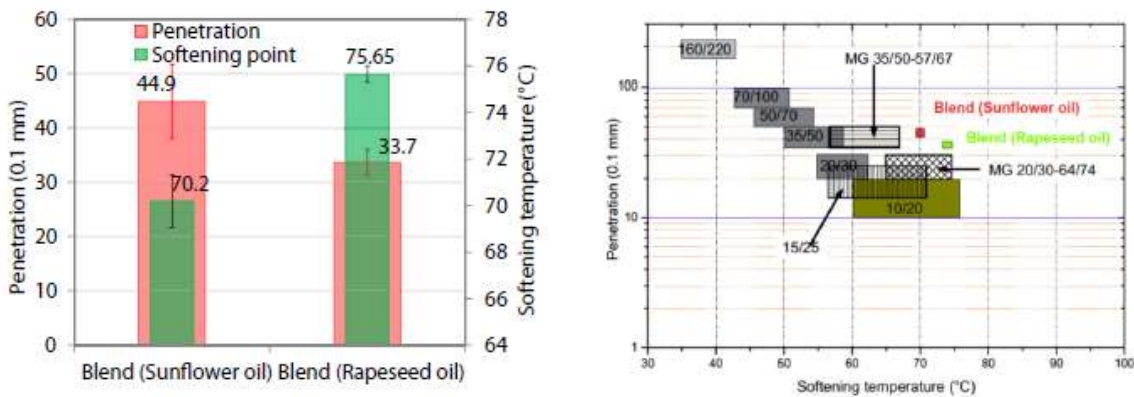


**Figure 3.** Main constituents of binders

Source: (S.C. Somé et al / International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 368-375)

### 3.1. Characterization of the new binder

The binder manufacturing process consists of preheating the natural asphalt into a mixer at 190 °C and then the addition of the waste oil and the hard P15/25 bitumen to the melted natural bitumen



**Figure 4.** Engineering properties of blended binders

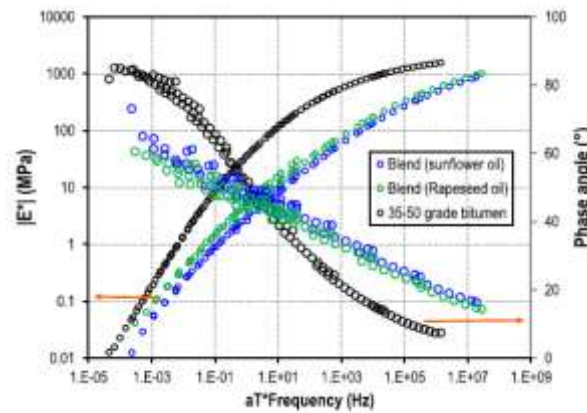
Source: (S.C. Somé et al / International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 368-375)

The analysis of engineering properties of the blended binders, showed that in terms of penetration, the new obtained binders are close to P35/50 petroleum bitumen, but with higher values of softening temperature compared to conventional petroleum bitumen. Also, it was observed that the rapeseed oil binder is harder than the sunflower oil binder

The differential scanning calorimeter analysis highlighted the fact that the new produced binders were characterized by the increase of low temperature performance due to the waste vegetable oil's glassy transition temperatures that are lower than those of bitumen.

Binder's complex modulus and phase angle master curves (fig 5) indicate that the reference bitumen is slightly stiffer than the new binders in temperature the range between -20°C and 60°C. The phase angle of the latters, are lower than the one of reference bitumen for the reduced frequency  $a_T \times f \leq 2.5\text{Hz}$  (e.g.  $T \geq 20$  °C) and higher for the reduced frequency  $a_T \times f \geq 2.5\text{Hz}$  (e.g.  $T \leq 20$  °C).

Also, it can be deduced that the phase angles of produced binders are not equal zero, which means that the viscous effects are not negligible compared to reference bitumen. This could be an advantage for low temperature stress relaxation compared to the reference bitumen.



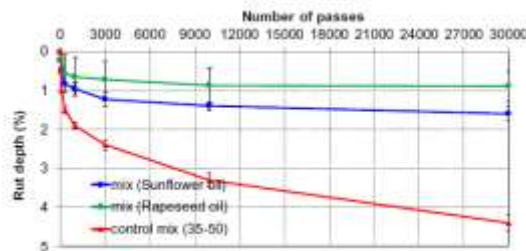
**Figure 5.** Binder complex modulus and phase angle master curves at 15°C

Source: (S.C. Somé et al / International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 368-375)

### 3.2. Characterization of asphalt mixtures

Semi Coarse Asphalt Concrete (BSG 3, 0/10) has been manufactured to determine the behaviour of hot mix asphalt designed with the produced binders.

The rut depths (at 60°C) of the mixes manufactured with the produced binders are lower than the control mix rut depth (fig. 6). The better resistances to the permanent deformation obtained with produced binders are probably due to the asphaltite even if the real mechanism that occurs, is not known yet.

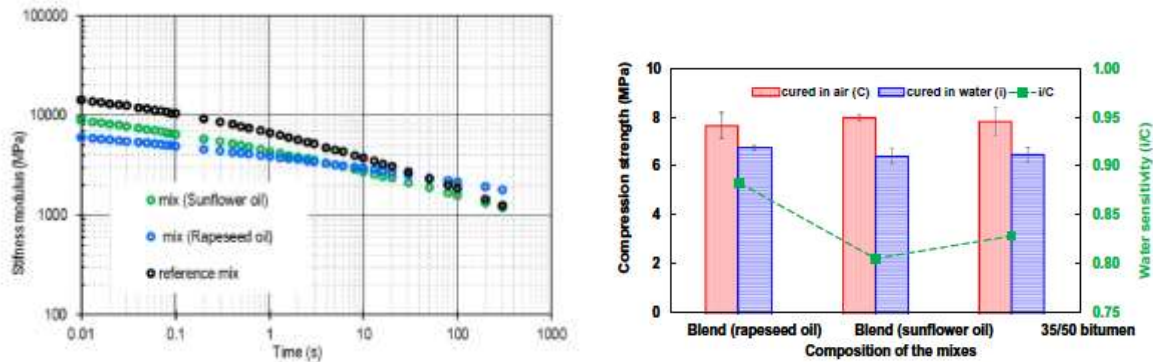


**Figure 6.** Evolution of the rut depth

Source: (S.C. Somé et al / International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 368-375)

Master curves of the stiffness modulus were built at the reference temperature  $T_{ref} = 15^{\circ}C$ . It resulted that the reference mix obtained with the P35/50 bitumen is stiffer than the two others, which is consistent with the evolution of the complex modulus of the binders. The stiffness modulus of rapeseed oil asphalt mix (< 7000 MPa), does not comply with the requirement of EN 13108-1 (2007).

No significant difference between the vegetable oils mixes and the reference mix is observed regarding the water sensitivity. Since the ratios  $i/C$  exceed 0.7, all the results comply with the standard EN 13108-1 (2007) requirements.



**Figure 7.** Master curves of stiffness modulus of the mixes at 15°C & water sensitivity resistance  
 Source: (S.C. Somé et al / International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 368-375)

**4. EXAMPLE OF INNOVATIVE MIX DESIGN OF ASPHALT MIX FOR SURFACE LAYERS REUSING 100% RAP AND A BINDER COMPOSED OF NATURAL BITUMEN SELENIZZA AND VEGETAL OIL**

The use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in asphalt mixtures was steadily developed in recent years because of the enormous economic and environment benefits associated with high percentage use of RAP.

In Germany, RAP is increasingly being used as an effort to boost the sustainable use of road materials and pavement durability, but also to cope with the increasingly scarce number of world-wide oil deposits, subject to constant inflation.

One of the factors limiting the use of high percentages of RAP is the hardening of bitumen in the RAP because of ageing. In a recent study conducted by the University of Erfurt, the use of 100% RAP with the addition of a rejuvenator was evaluated. A new rejuvenator, aiming to restore the original characteristics of the bitumen and its effectiveness, was developed based on natural bitumen Selenizza SLN and vegetable oil.

For this project, 12 variants of an asphalt concrete AC 11 DN and the associated binders were investigated.

**Table 3.** Different variants of Asphalt Concrete AC DN 11

Variant	Asphalt mix	Binder	binder content [M-%]	Additive content [M-%]
JA 1	AC 11 DN	Shell B 50/70	6,2	-
JA 2	AC 11 DN	BP3 B 50/70	6,2	-
JA 3	AC 11 DN	Olexobit PmB 25/55-55	6,2	-
JB 1	AC 11 DN	Shell B 50/70 - BSA	6,2	-
JB 2	AC 11 DN	BP3 B 50/70 - AASHTO R30	6,2	-
JB 3	AC 11 DN	Olexobit PmB 25/55-55 - AASHTO R30	6,2	-
JB 4	AC 11 DN	RC -Elxleben	6,2	-
JC 1	AC 11 DN	Shell B 50/70 - BSA	6,2	4,0
JC 2	AC 11 DN	BP3 B 50/70 - AASHTO R30	6,2	8,0
JC 3	AC 11 DN	Olexobit PmB 25/55-55 - AASHTO R30	6,2	8,0
JC 4.1	AC 11 DN	RC -Elxleben	6,2	3,0
JC 4.2	AC 11 DN	RC -Elxleben - BSA	6,2	3,0

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

Asphalt mixtures without a rejuvenator and the same aged mixtures with 3, 4 and 8 % rejuvenator content by mass of the bitumen in the asphalt, were investigated.

The test program is based on determining the effect of ageing and the use of the additive to determine the optimum rejuvenator content.

In the table 3, JA refers to reference variant of asphalt mixtures, JB to the aged variants and JC the aged asphalt mixes added with a rejuvenator.



To simulate the accelerated ageing of bitumen and asphalt mixtures the following methods were used in laboratory:

- Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) according to DIN EN 12607-1:2013
- Pressure Ageing Vessel (PAV) according to DIN EN 14769:2012;
- Standard Practice for mixture conditioning of hot mix asphalts (AASHTO R 30)
- Braunschweiger process for the ageing of asphalt mix (practical method of asphalt mix ageing developed at the Technical University Braunschweig)

The developed additive or rejuvenator consists of finely ground natural bitumen Selenizza SLN and a vegetable oil rich in unsaturated acids. The ratio of the two components has a considerable influence on the storage capacity of the additive as well as on the properties of the binder and asphalt mix.

In order to be able to complement and verify the results of asphalt ageing, the binder was aged in parallel with the asphalt mixture.

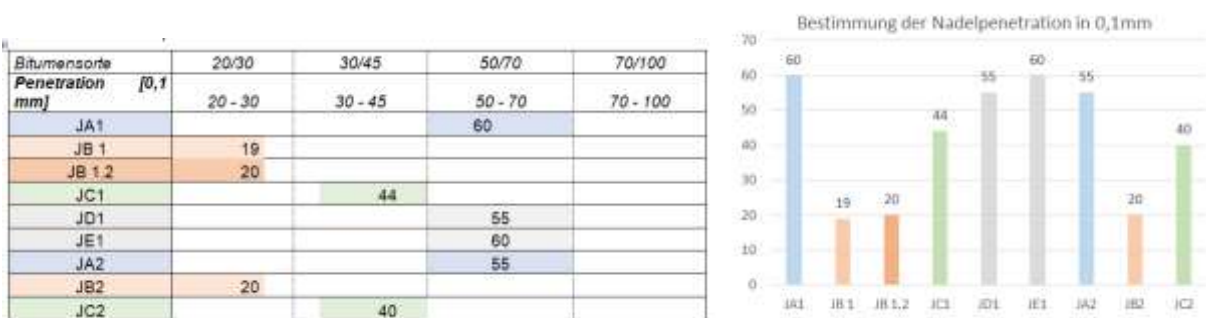
Various tests were carried out on the binder to investigate the aging behavior and the influence of the subsequently used Juvenate additive, which led to a first validation of suitable formulation that should serve for the asphalt mixture.

**Table 4. Softening point R&B**



It can be seen that due to ageing, the softening temperature of aged binders (JB1, JB1.2 and JB2) increased in comparison with (JA1, JA2) reference variants and the penetration decreased. The addition of the additive leads to a significant reduction of softening point (JC1, JC2) as well as a significant increase of the penetration.

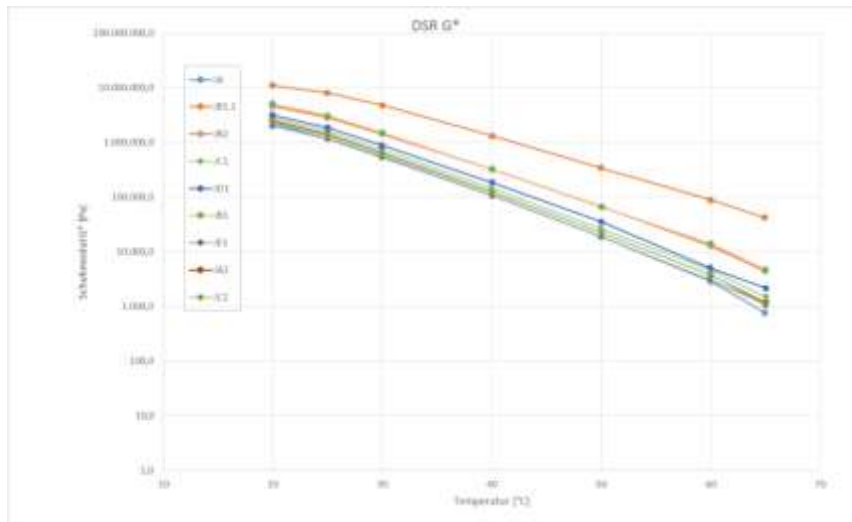
**Table 4. Penetration**



Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

Below are shown the results of Dynamic Shear Rheometer analysis at a load frequency of 1.59 HZ and temperature range of 20°C to 65 °C. It can be seen that aged variants (JB) have a greater rigidity compared to reference variant (JA) over the entire temperature range. The rejuvenated variants (JC) are again in the range of the initial values.

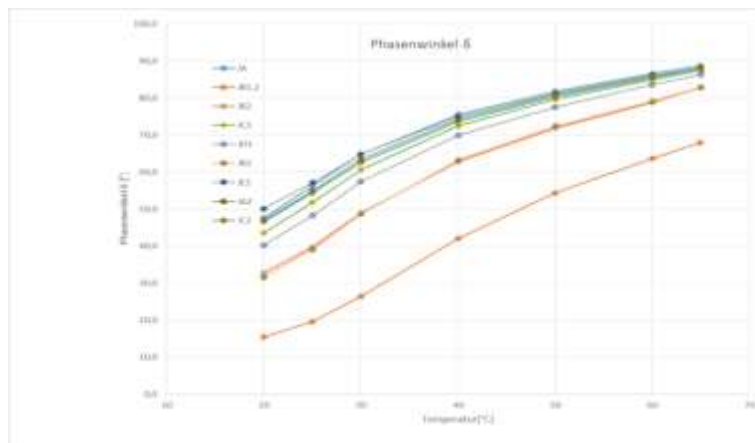




**Figure 8. Temperature sweep G\*test**

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

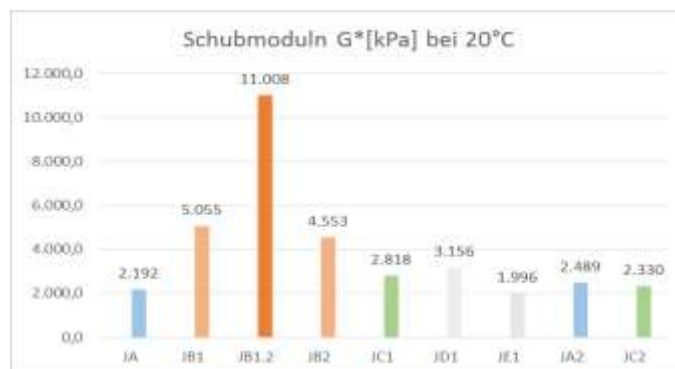
Figure 9 shows the phase angle results for temperature sweeps at a frequency of 1.59Hz in the temperature range of 20 °C - 65 °C. It can be seen that the aged variants (JB), in particular compared to the reference variant (JA), have a lower phase angle over the entire temperature range. The rejuvenated variants (JC) are again in the range of the initial values.



**Figure 9. Temperature sweep phase angle test**

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

Figure 10 shows the shear modulus at 20 °C. It can be seen that the shear modulus of the aged variants have increased 100% to 500% with respect to the reference variant. It can also be seen that the values of the rejuvenated variants (JC), are again in the range of the initial values.



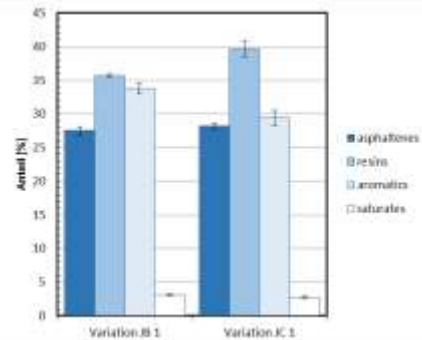
**Figure 10. Shear Modulus 20°C**

Iatrosan SARA analysis determined the respective proportions of the four main groups of variant JB1 and JC1. The mean values were calculated from two sub-samples, each with 5 individual scans.

Variation JB 1	average [%]	standard deviation
asphaltenes	27,548	0,233
resins	35,635	1,205
aromatics	33,763	0,801
saturates	3,056	0,635

Variation JC 1	average [%]	standard deviation
asphaltenes	28,179	0,240
resins	39,675	0,111
aromatics	29,423	0,972
saturates	2,723	0,621



**Figure 11.** SARA analysis - graphical comparison

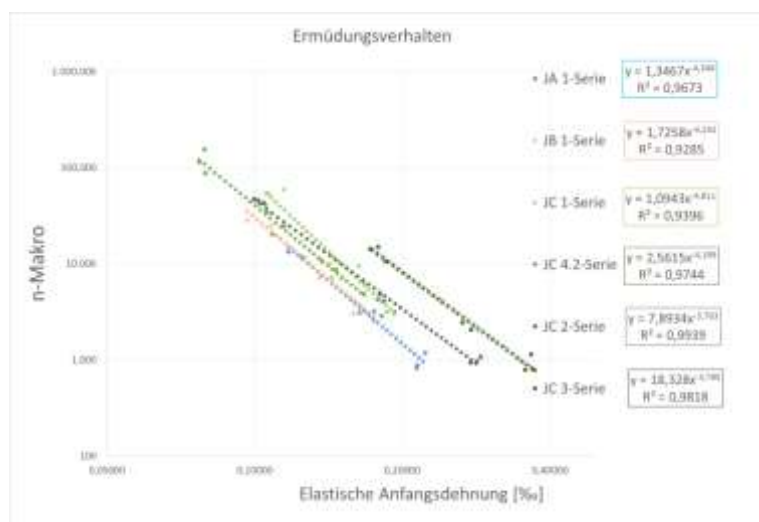
Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

It was observed that the addition of the additive leads to a difference in the percentage distribution of the main SARA groups. Rejuvenation leads to an increase of the polarizable fractions resins and asphaltenes and at the same time, it can be seen a reduction of the aromatics and saturates.

Subsequently, comparison test were carried out to evaluate the changes of mixture performance with respect to a reference asphalt mixture.

Figure 12 shows the fatigue functions of dynamic indirect tensile testing at 20 °C. On the ordinate axis, are plotted the number of load cycles to the occurrence of macro cracks  $N_{Makro}$ , and on the abscissa axis, is shown the initial elastic strain.

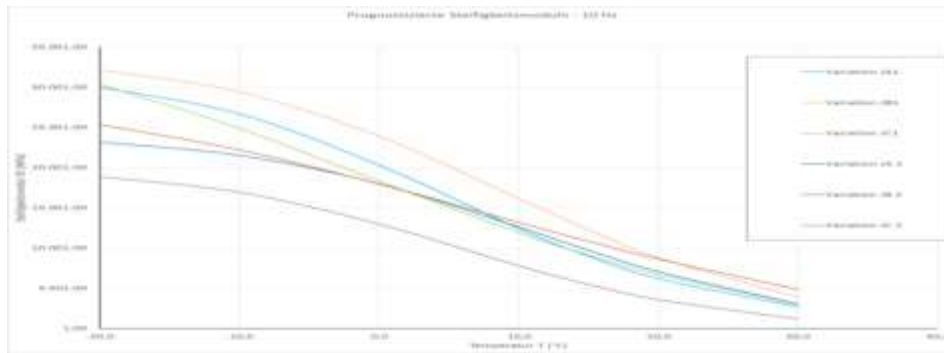
It can be seen that the rejuvenated variants (JC variants) in relation to the aged variant (JB) and reference variant (JA), with the same elastic initial strain, endure more load changes up to the macro cracking.



**Figure 12.** Fatigue behaviour

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

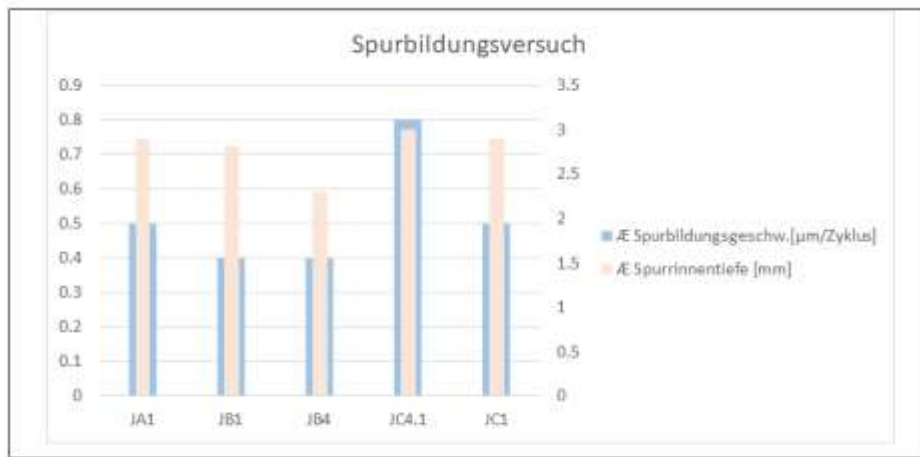
Figure 13 shows the stiffness-temperature functions for 10 Hz in the temperature range -20°C to C - 30°C. It can be seen that ageing leads to an increase of the stiffness modulus (JA to JB) in the temperature range under consideration. At the same time, there is a reduction in stiffness modulus after the addition of the additive (JB to JC). Comparing the rejuvenated variant to the reference variant (JC-JA), it was observed that the values after rejuvenation, are in the range of the reference variants or below.



**Figure 13.** Stiffness modulus-temperature function

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

Figure 14 shows results of the wheel track test after 10,000 cycles. It was observed that no variant reached the 8cm rut depth failure criteria. All variants were in within the authorized standard range.



**Figure 14.** Wheel tracking test

Source: Steffen Riedl & Ronny Sorge / Project AiFJuvenate - The innovative contract on asphalt production (2017)

Table 5 shows the degrees of bitumen coverage of the variant JA-JC. It can be seen that the values have only very small deviations. Compared to the reference variant JA, the variant JC (24-72h) has 5% -10% more coating

**Table 5.** Degree of bitumen coverage

		Rolling time [h]			
		6	24	48	72
Coverage [%]	Var. JA1	80	55	45	40
	Var. JA2	80	55	45	40
	Var. JB1	80	60	50	45
	Var. JB1.2	75	55	45	40
	Var. JB2	75	55	50	45
	Var. JC1	80	60	55	45
	Var. JC2	80	60	50	45

In conclusion, the series of lab scale experimentation has shown that the use of the developed Rejuvenator reverses the ageing rheological binder properties and restores the original fresh bitumen values, positively influencing binder and asphalt mix characteristics. It significantly improves the fatigue behavior (which could be explained by the increase of polar resins percentage in the binder composition) and reduces the risk of cracking.

All tests were carried out on numerous laboratory-aged mixes and reclaimed asphalts, without the addition of fresh bitumen and additional aggregates.



**Figure 15.** Test section in D-99718 Greußen.

As a follow up to verify the results of this research, a test section with the implementation of an upper layer using 100% RAP with vegetable oil and Selenizza SLN, has been laid in Greußen, near Erfurt.

Further long-term observations on the laid test section have to be carried out in order to clarify and better map the improvement and potential savings of the technology developed in this project. Furthermore, it is necessary to develop a general production and Use Guide for industrial production in other mixing plants in order to guarantee uniform quality.

## 5. CONCLUSION

The addition of the natural bitumen Selenizza SLN, strongly affects the mechanical behavior of bitumen. Simultaneously, it has been demonstrated that Selenizza SLN decreases the susceptibility to ageing of modified bitumen as the percentage of natural bitumen content increases. For equivalent penetration grades, crude oil bitumen mixed with Selenizza, result more resistant to ageing compared to traditional road bitumen.

Based on researches and observations, it seems that the modification of road bitumen introduced by Selenizza SLN, does not correspond to a simple addition of Selenizza's molecules to those of base bitumen, but to a reorganization of the molecular structure of the latter, which may be explained by the breaking of intermolecular bonds of large agglomerates in natural bitumen, followed by a recombination with smaller structures, creating intermediary size structures that lead to new equilibrium conditions.

The hardening and anti-ageing properties of natural bitumen, may be used advantageously to develop new binders combining the high performance mechanical and durability properties of Selenizza SLN (thanks to its high percentage of asphaltene content), with the rejuvenating capability of waste vegetable oils, whose Aromatics, Resins and Saturates fractions contents, are relatively close to those of petroleum bitumen.

The expanded use of reclaimed asphalt (RAP) materials in the production of asphalt mixtures has significant economic benefits and environmental advantages. 100%RAP mixtures were successfully implemented with the addition of a new developed rejuvenator based on waste vegetable oil and natural bitumen Selenizza SLN. The new developed binder, which contains a high proportion of maltenes, re-balanced the composition of the aged binder, conferring to the asphalt mixtures high mechanical properties and optimal performance characteristics.

## References

- Santarelli M.L.; Scarsella M. 2005. Natural asphalts as modifiers of distillation bitumen: thermo-rheological characterization, RassegnadelBitume, pp. 21-29.
- Themeli A. 2015. Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé ».
- Somé et al., 2016. International Journal of Pavement Research and Technology 9: 368-375
- Steffen Riedl& Ronny Sorge: Research Institute FH-ErfurtProject AiF-Juvenate:The innovative contract on asphalt production (2017)
- Tran, N.H., Taylor, A., & Willis, R. 2012. Effect of Rejuvenator on Performance Properties of HMA Mixtures with high RAP and RAS content s. Auburn, AL: National Center of Asphalt Technology.
- EyassuHagoset et al, June 2016: The development of 100% RAP asphalt mixture with the use of innovative rejuvenator. Conference Paper 6th Eurasphalt&EurobitumeCongres.
- Tartari E., Assessing the performance of natural bitumen from Albania, World Highways, November 2015



## EKSPERIMENTALNE METODE ZA ODREĐIVANJE GRANIČNIH KRIVIH PROHODNOSTI VOZILA

**Istraživač-saradnik Vladan Ilić<sup>1</sup>, master inž. građ**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Doc. dr Sanja Fric, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Stefan Vranjevac, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Projektovanje površinskih raskrsnica, parkinga, autobuskih stajališta i drugih objekata putne infrastrukture danas je praktično neizvodljivo bez korišćenja modernih softvera za kontrolu prohodnosti vozila. Trenutno je na tržištu dostupan veliki broj softverskih alata, baziranih na različitim matematičkim modelima, za simulaciju kretanja svih kategorija vozila u CAD okruženju. Međutim, da bi se ocenila realna tačnost komercijalnih softverskih aplikacija, neophodno je pripremiti i obaviti testove pouzdanosti poređenjem krivih prohodnosti dobijenih iz softvera sa snimljenim graničnim trajektorijama vozila. Da bi se na osnovu stvarnog ponašanja vozila izmerile njegove granične trajektorije organizuju se eksperimentalne vožnje izabranih testnih vozila na specijalno pripremljenim poligonima. U ovom radu biće razmatrane i međusobno upoređene najzastupljenije eksperimentalne metode za određivanje graničnih krivih prohodnosti realnih vozila. Pored tačnosti snimljenih trajektorija najisturenijih tačaka na karoseriji vozila, veoma bitni parametri su brzina obrade snimljenih rezultata, potrebno vreme za montažu odgovarajuće opreme na testna vozila, kao i priprema poligona za eksperimentalne vožnje. Na kraju rada date su i važne preporuke za izbor odgovarajuće eksperimentalne metode za ocenu pouzdanosti softverskih rešenja.

**Ključne reči:** granične krive prohodnosti, offtracking, GNSS, GPS, frekvencija merenja, tačnost pozicioniranja.

## EXPERIMENTAL METHODS FOR SETTING ROAD VEHICLE MOVEMENT TRAJECTORIES

**Summary:** Nowadays, the design of at-grade intersections, parking lots, bus stations and other road infrastructure facilities is practically unfeasible without the use of modern computer programs for vehicle swept path analysis. Currently a large number of software tools, based on different mathematical models, for movement simulations of various vehicle types in CAD environment are available on the market. However, in order to assess the real accuracy of commercial software applications, it is necessary to prepare and conduct the reliability tests by comparing the swept path envelopes obtained from the software with the vehicle movement trajectories recorded on the field. To record critical vehicle movement trajectories, based on the vehicle behavior in real traffic conditions, experimental runs of the selected test vehicles on specially prepared polygons are organized. In this paper, the most commonly used experimental methods for setting critical movement trajectories of the real vehicles will be discussed and compared. In addition to the accuracy of the recorded trajectories of the most prominent points on the vehicle body, very important parameters are the processing speed of the recorded results, the time required for mounting appropriate equipment on test vehicles, as well as the preparation of test polygon for experimental runs. At the end of the paper, important recommendations for selecting proper experimental method for the assessment of the reliability of software solutions were given.

**Key words:** critical vehicle movement trajectories, offtracking, GNSS, GPS, recording frequency, positioning accuracy.

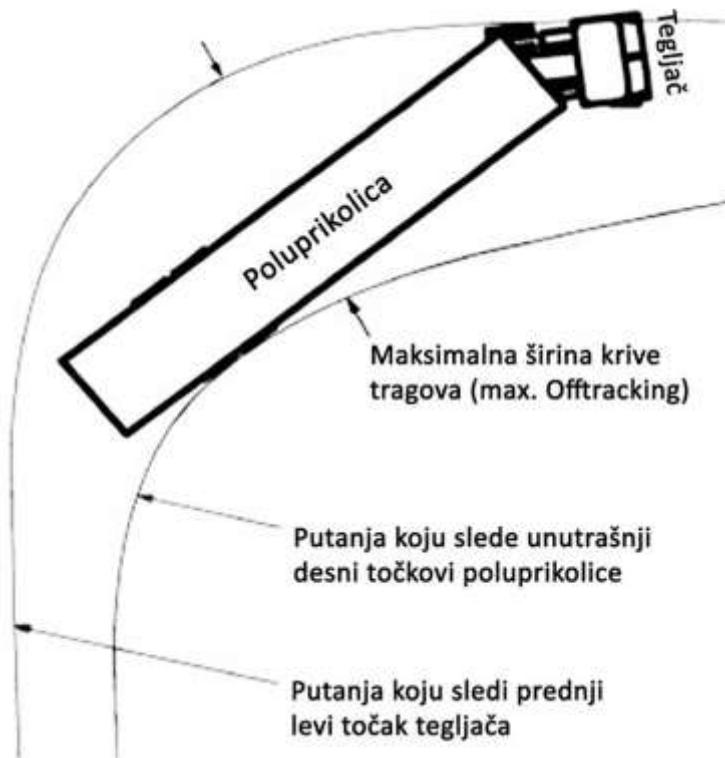
---

<sup>1</sup> Vladan Ilić: [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Pri skretanju vozila malim brzinama zadnji točkovi vozila ne prate trajektorije kretanja prednjih, nego se sve više zanoše ka unutrašnjosti krivine kako vozilo napreduje prema kraju krivine. Ovo postepeno zanošenje zadnjih točkova ka unutrašnjosti krivine najčešće se definiše u literaturi kao "Offtracking" fenomen, koji se najočiglednije ispoljava prilikom skretanja autobusa, kamiona, i drugih dugačkih vozila. Za oblikovanje elemenata ivične geometrije na površinskim raskrsnicama, parkinzima, prilaznim putevima i drugim saobraćajnim površinama dominantan uticaj ima fenomen "Low-speed offtracking-a" [1], odnosno, pojava offtracking-a pri kretanju malim brzinama ( $V \leq 15.00$  km/h).

Za proračun vrednosti offtracking-a koriste se različite metode i matematički modeli u zavisnosti od geometrije vodeće putanje koju prati vozilo. Kada je vodeća putanja proizvoljne geometrije, mogu se koristiti samo numeričke i grafičke metode. Ako je vodeća putanja sastavljena isključivo od kružnih lukova i tangentnih pravaca, pored numeričkih i grafičkih, za proračun offtracking-a mogu se primeniti i analitičke metode. Od tačnosti proračuna offtracking-a zavisi oblik graničnih trajektorija, a posredno i valjanost celog postupka kontrole minimalne prohodnosti vozila. Najveća "slabost" postojećih matematičkih modela za proračun offtracking-a jeste nepreciznost pri određivanju tačnog položaja vozila u kojem se dostiže najveće rastojanje između graničnih trajektorija vozila, ili na engleskom "Maximum offtracking problem" (Slika 1).



Slika 1. Najveće rastojanje između graničnih trajektorija vozila - Maximum offtracking problem

Razvojem računarske tehnike početkom 1980-ih godina i njenom sve širom primenom u projektovanju puteva stvorile su se nove mogućnosti za efikasniji proračun vrednosti offtracking-a, odnosno, za bržu konstrukciju krivih minimalne prohodnosti. Veliki broj istraživanja iz ove oblasti sproveden je na Saobraćajnom institutu Univerziteta u Mičigenu (University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI). Među istraživačima sa navedenog instituta, naročito se ističe rad Sayers-a [2,3] koji je razvio novu numeričku metodu za konstrukciju krivih minimalne prohodnosti i proračun offtracking-a za proizvoljno vozilo (ili kombinaciju vučnog i različitih priključnih vozila), i proizvoljnu veličinu skretnog ugla i radijusa kružne putanje kretanja. Takođe, njegov algoritam, prvobitno razvijen za proračun i iscrtavanje krivih prohodnosti izabranog vozila na drugoj generaciji PC računara u SAD (Apple II computer), kasnije je dodatno unapređen u kompjuterski program AUTOSIM, napisan u Fortran-u, za simulaciju kretanja vozila duž putanje proizvoljne geometrije [4].

Kontrola minimalne prohodnosti vozila i proračun offtracking-a prilikom projektovanja površinskih raskrsnica, naročito su detaljno razmatrani u zemljama poput Kanade, Australije i SAD, gde se tradicionalno najveći deo

transporta robe i tereta odvija drumskim saobraćajem, odnosno, teškim teretnim vozilima i vučnim vozovima. Zato se i najveći broj ranih verzija kompjuterskih programa za proračun i iscrtavanje krivih tragova na PC računarima, kao što su Truck Offtracking Model (TOM) [5], VEHICLE/PATH [6] i PathTracker [7], prvi put razvio i počeo intenzivnije primenjivati u praksi upravo u pomenutim zemljama.

Početakom 1990-ih, tačnije od 1991. do 1993. god., dolazi do naglog razvoja kompjuterski podržanog projektovanja (Computer-Aided-Drafting and Design / CADD), kojeg istovremeno prate intenzivna poboljšanja performansi hardverskih komponenti PC računara, u prvom redu procesorskih jedinica i grafičkih kartica. Već posle 1995. god. postaje evidentno da će u budućnosti projektovanje saobraćajne infrastrukture najvećim delom biti oslonjeno na kompjuterske programe koji koriste AutoCAD ili Microstation platformu. U tom periodu nastala su i tri najpopularnija softvera za simulaciju kretanja vozila i kontrolu prohodnosti (AutoTRACK, AutoPATH i AutoTURN), koja su mogla biti instalirana na platformi PC računara. Trenutno, u evropskoj i srpskoj putarskoj praksi, najzastupljeniji softveri za proveru prohodnosti vozila su: AutoTURN [8], Vehicle Tracking [9], CARD/1 [10]; RIB - Stratis [11], Autopath [12], i GCM++ [13].

Da bi projektanti puteva bili sigurni u pouzdanost komercijalnih softverskih alata za proveru prohodnosti vozila, proizvođači pomenutih softvera moraju potvrditi, odnosno, verifikovati tačnost njihovih proizvoda. Verifikacija valjanosti i pouzdanosti bilo kojeg softverskog rešenja za simulaciju kretanja vozila ogleda se isključivo u međusobnom poređenju realno snimljenih krivih prohodnosti vozila na testnom poligonu sa krivama dobijenim simulacijom na računaru posle primene navedenog softvera. Generalno posmatrano, postoje dva različita tehnološka pristupa za precizno merenje prostora (širine traga vozila) obuhvaćenog graničnim trajektorijama vozila pri izvođenju realnih manevara:

- 1) tehnologije ili sistemi koji koriste vozila opremljena specijalnim uređajima za detektovanje njihovog položaja (GNSS merni sistemi);
- 2) sistemi koji ne zahtevaju nikakve unapred instalirane instrumente u vozilu (klasične tahimetrijske i metode bazirane na obradi video i foto snimaka).

U nastavku rada biće analizirane ključne prednosti i mane klasične tahimetrijske, zatim metoda baziranih na primeni video i foto tehnike i moderne GNSS tehnologije.

## 2. KLASIČNE TAHIMETRIJSKE METODE

U skladu sa istorijskim razvojem merne tehnike i instrumenata, tahimetrijske ili klasične metode počele su najranije da se primenjuju za određivanje položaja graničnih trajektorija vozila. Sa razvojem optičkih uređaja, a naročito sa uvođenjem elektronike i računarske tehnike, klasične geodetske instrumente poput tedolita i nivelira uspešno su tokom 1990-tih zamenile totalne stanice i drugi još efikasniji merni instrumenti.

Kod klasičnih metoda, prilikom izvođenja eksperimentalnih vožnji na testna vozila privremeno se ugrađuju mali rezervoari sa vodom ili drugom tečnošću. Rezervoari se obično postavljaju na mestima najisturenijih tačaka na karoseriji vozila kako bi tečnost koja izlazi iz njih što realnije opisala granične trajektorije (**Slika 2**).

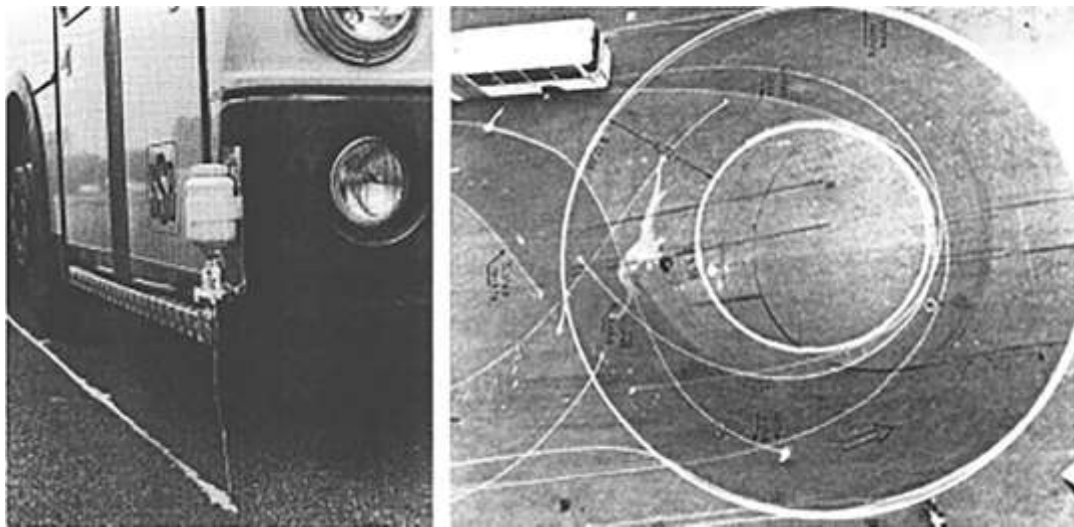


**Slika 2.** Postavljanje rezervoara sa vodom na mestima najisturenijih tačaka na vozilu [14]

Pre izvođenja eksperimenta na testnom poligonu obeležavaju se vodeće linije ili koridori koje moraju da prate izabrana testna vozila. Na početku izvođenja manevara odvrnu se slavine ili ventili na rezervoarima i pusti se da tečnost polako curi direktno na suhu površinu kolovoza poligona. Zatim se, primenom standardnih tahimetrijskih geodetskih metoda, u odnosu na prethodno definisane i georeferencirane (fiksne)

tačke, brzo snime sve koordinate duž mokrog traga koji je nastao curenjem tečnosti pri kretanju vozila. Često se zbog tačnosti i pouzdanosti rezultata merenja duž planirane putanje kretanja vozila razvije poseban poligonski vlak sa vidno markiranim tačkama na kolovozu.

Umesto vode, čiji trag se relativno brzo osuši i postaje nevidljiv na kolovozu, u rezervoare se često sipaju i različite vrste boje, a najčešće bela ili žuta (**Slika 3**). Međutim, kao i kod rezervoara sa vodom, problem nastaje ako je potrebno istovremeno označiti granične trajektorije dve ili više najisturenijih tačaka na vozilu. U takvom slučaju preporučuje se sipanje različitih vrsta boja u rezervoare na različitim delovima vozila. Još jedan problem predstavlja "broj ponavljanja" testnih vožnji pri ovakvoj postavci eksperimenta, jer dok se prethodni tragovi od boje dobro ne očiste sa površine kolovoza, nema smisla ponavljati već izvedeni manevar sa istim testnim vozilom. Iako primena nekoliko vrsta različitih boja ima nesumnjive prednosti u odnosu na korišćenje rezervoara sa vodom, treba imati na umu da testni poligon posle završetka eksperimenta treba vratiti u prvobitno stanje. Shodno tome, primenjene boje moraju biti takvog sastava da se mogu lako očistiti ili brzo oprati sa površine kolovoza na poligonu.



**Slika 3.** Curenje boje iz rezervoara montiranog na prednjem desnom uglu autobusa i izgled poligona posle završetka testne vožnje [15]

Bez obzira na vrstu tečnosti koja je sipana u rezervoare na vozilu, merenje tragova na kolovoznoj površini zahteva angažovanje većeg broja geodetskih inženjera i tehničara uz pažljivu koordinaciju njihovog rada. Greška pri merenjima i obradi rezultata je reda veličine do 1.00 cm, i većinom zavisi od spretnosti i obučenosti angažovanih geodetskih profesionalaca. Zbog ograničenih mogućnosti za ponavljanje testnih vožnji, pre svega za vozila opremljena rezervoarima u koje je sipana boja, neposredno pre odvrtnja ventila za ispuštanje tečnosti i početka planiranog eksperimenta, testni vozači moraju obaviti po nekoliko serija probnih vožnji duž obeleženih vodećih putanja. Zapravo na ovaj vačin, vozači trebaju dobro uvežbati sve manevre skretanja za koje će kasnije biti merene granične trajektorije testnog vozila.

Iako su postignuta tačnost i pouzdanost rezultata merenja visoki, klasične tahimetrijske metode zahtevaju veliko fizičko angažovanje svih učesnika eksperimenta. Samim tim, uzimajući u obzir obim terenskog posla, teško je postići visoku detaljnost merenja u smislu broja, odnosno razmaka, snimljenih tačaka duž markiranih tragova vozila na površini testnog poligona. Takođe, potreban je dodatni rad da bi se snimljeni rezultati u digitalnom obliku "prebacili" u formate fajlova (dwg, dxf, txt), pogodne za dalju obradu u nekom softveru za projektovanje puteva koji radi u CAD okruženju. Premda se koristi relativno jednostavna geodetska merna tehnika bez ikakvih dodatnih uređaja montiranih na vozilu, zbog većeg angažovanja ljudstva i količine utrošenih radnih sati, posledično i ukupna cena izvođenja eksperimenta je visoka. Imajući u vidu sve navedeno, klasične tahimetrijske metode sve ređe se koriste za eksperimentalno određivanje graničnih trajektorija vozila, osim u slučajevima kada se kombinuju sa nekim savremenijim metodama merenja (GPS, aerofotogrametrija i 3D foto tehnika).

### 3. ODREĐIVANJE GRANIČNIH TRAJEKTORIJA NA OSNOVU VIDEO I FOTO SNIMAKA

Još od 60-tih godina 19. veka i razvoja prvih fotoaparata, inženjeri su uvideli veliki potencijal fotografije kao medija za lakše snimanje i prikupljanje raznovrsnih podataka sa terena. Upotreba fotografije naročito dolazi

do izražaja za vreme Prvog svetskog rata i pripreme namenskih karata za vojno-taktičke i odbrambene svrhe. Tada započinje i razvoj fotogrametrije kao posebne oblasti geodezije za prikupljanje podataka i izradu karata na osnovu fotografskih snimaka. Sa razvojem avijacije i kamera veće rezolucije primat preuzima aerosnimanje, da bi se posle Drugog svetskog rata, opet kao posledica napretka vojne tehnike, intenzivno razvila aerofotogrametrija. Idući u korak sa stepenom razvoja prateće tehnologije, instrumenti za restituciju materijala iz fotogrametrijskih snimaka u početku su bili analogni, da bi kasnije sa razvojem PC računara, primat preuzela analitička, i na kraju digitalna fotogrametrija. Početkom 80-tih godina 20. veka na tržištu počinju da se prodaju i prve digitajzerske table (digitajzeri) za digitalizaciju planova i karata. Danas, novi softverski alati u digitalnoj fotogrametriji omogućavaju da se snimljeni sadržaj digitalnih fotografija, automatizovanim postupkom restitucije, prevede u vektorski i/ili rasterski digitalni format pogodan za dalju obradu.

Digitajzer, kao periferni računarski uređaj, na svojoj radnoj površini (ploči) obezbeđuje određivanje pozicija (koordinata) diskretnih tačaka i njihov prenos ka računarskom sistemu. Iako se najviše koriste za digitalizaciju planova i karata, digitajzeri se uspešno mogu primeniti i za restituciju položaja bilo koje zakrivljene linije sa perspektivnog fotografskog snimka, uključujući i granične trajektorije vozila. Da bi se dobili korektni rezultati u postupku restitucije, digitajzerska tabla se pre upotrebe mora kalibrisati. Za kalibraciju se koriste tačke sa poznatim koordinatama koje se nalaze na fotografiji ili planu.

U protekloj deceniji, kada je digitalna fotografija postala opšteprihvaćena u svakodnevnom životu, na tržištu je plasiran veći broj softvera, koji na osnovu amaterskih fotografija snimljenih običnim fotoaparatom, mogu generisati 3D model nekog objekta ili prostorne celine. Štaviše, ako je na snimljenim fotografijama prisutan dovoljan broj georeferenciranih tačaka, kreirani modeli objekata lako se kalibrišu i referenciraju prema koordinatama poznatih tačaka. Sa povećanjem kvaliteta (rezolucije) snimljenih fotografija, raste i tačnost generisanih 3D modela. Pomenuti softveri mogu se uspešno primeniti za rekonstrukciju 3D položaja vozila na osnovu sukcesivno snimljenih fotografija ako su snimcima obuhvaćene i georeferencirane tačke. Pre snimanja na najisturenijim delovima karoserije testnog vozila postavljaju se jarko obojeni markeri kao vizuelne determinante, da bi se što lakše, prateći položaje markera, modelirale granične trajektorije vozila u 3D prostoru. Mussone i ost. [16] razvili su i testirali novi softver VeTRA-Vehicle Tracking for Roundabout Analysis za procesiranje sukcesivno snimljenih fotografija sa terena, kako bi rekonstruisali putanje kretanja vozila, odnosno njihove trajektorije, pri prolasku kroz kružne raskrsnice.

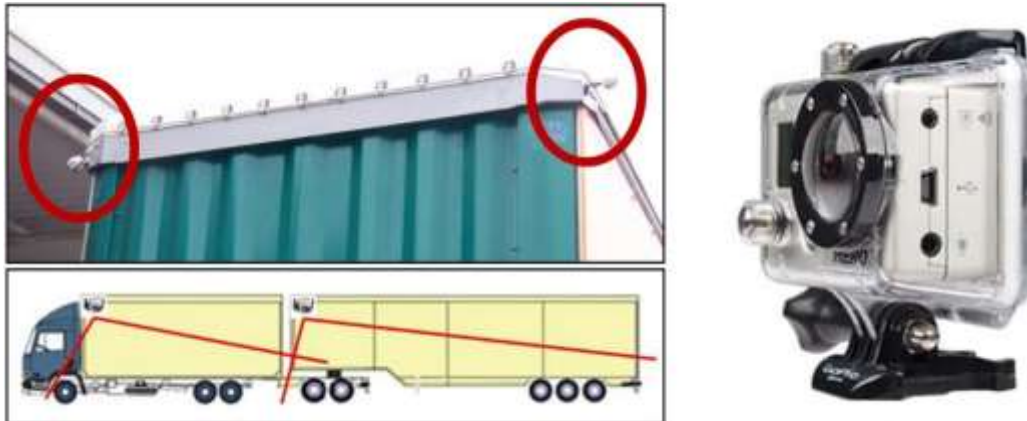
Rekonstrukcija položaja vozila u raskrsnici moguća je na osnovu snimaka sa stacionarnih kamera postavljenih na nekoj uzvišenoj koti u neposrednoj blizini raskrsnice, ili na osnovu snimaka sa pokretnih kamera montiranih na nekom vozilu. U doktorskoj disertaciji Barth-a [17] razvijena je nova metodologija za detekciju položaja vozila koje se kreće kroz raskrsnicu pomoću snimaka iz drugog pokretnog vozila. Praćenjem odabranih 3D tačaka na površini karoserije posmatračnog vozila, osim njegovog tačnog položaja i oblika, dobijeni su i precizni podaci o brzini i ubrzanju tog vozila.

Cheng i Huang [18] izveli su obiman eksperiment i odredili realne granične trajektorije autobusa i kamiona sa poluprikolicom koristeći video kamere prosečnih performansi. Na testnom poligonu prvo su klasičnim geodetskim (tahimetrijskim) metodama označili geometriju vodećih putanja za oba testna vozila. Zatim su na svakih metar rastojanja duž obeleženih putanja nacrtali pomoćne linije upravne na te putanje. Sve pomoćne linije posle su ručno graduirali sa centimetarskom podelom. Tokom kretanja vozila malom brzinom duž obeleženih putanja, video kamerama snimali su kako točkovi vozila prelaze preko pomoćnih linija. Na osnovu snimljenog materijala i graduiranih skala na svakoj od pomoćnih linija, naknadno su odredili tačno rastojanje između spoljašnjih i unutrašnjih graničnih trajektorija testnih vozila. Takođe, posebna kamera postavljena je u kabini vozila iznad upravljača, tako da je paralelno snimano okretanje upravljača pri izvođenju zadatih manevara. Pri svakom polasku vozila iz mesta i prelasku preko neke od detaljnih tačaka duž vodećih putanja (početak i kraj kružne krivine, početak i kraj prelaznice, kraj izlazne tangente, itd.) korišćeni su zvučni signali, odnosno, pištaljke da bi se koordinisale aktivnosti svih učesnika eksperimenta. Pored toga, snimci sa video kamera uperenih prema točkovima vozila tokom testnih vožnji i snimak kamere iznad upravljača sinhronizovani su vođenjem precizne evidencije o vremenu kada je svaki od manevara skretanja izveden. Na kraju eksperimenta granične trajektorije vozila dobijene iz video snimaka upoređenje su sa graničnim trajektorijama sračunatim primenom novog matematičkog modela kojeg su razvili isti autori.

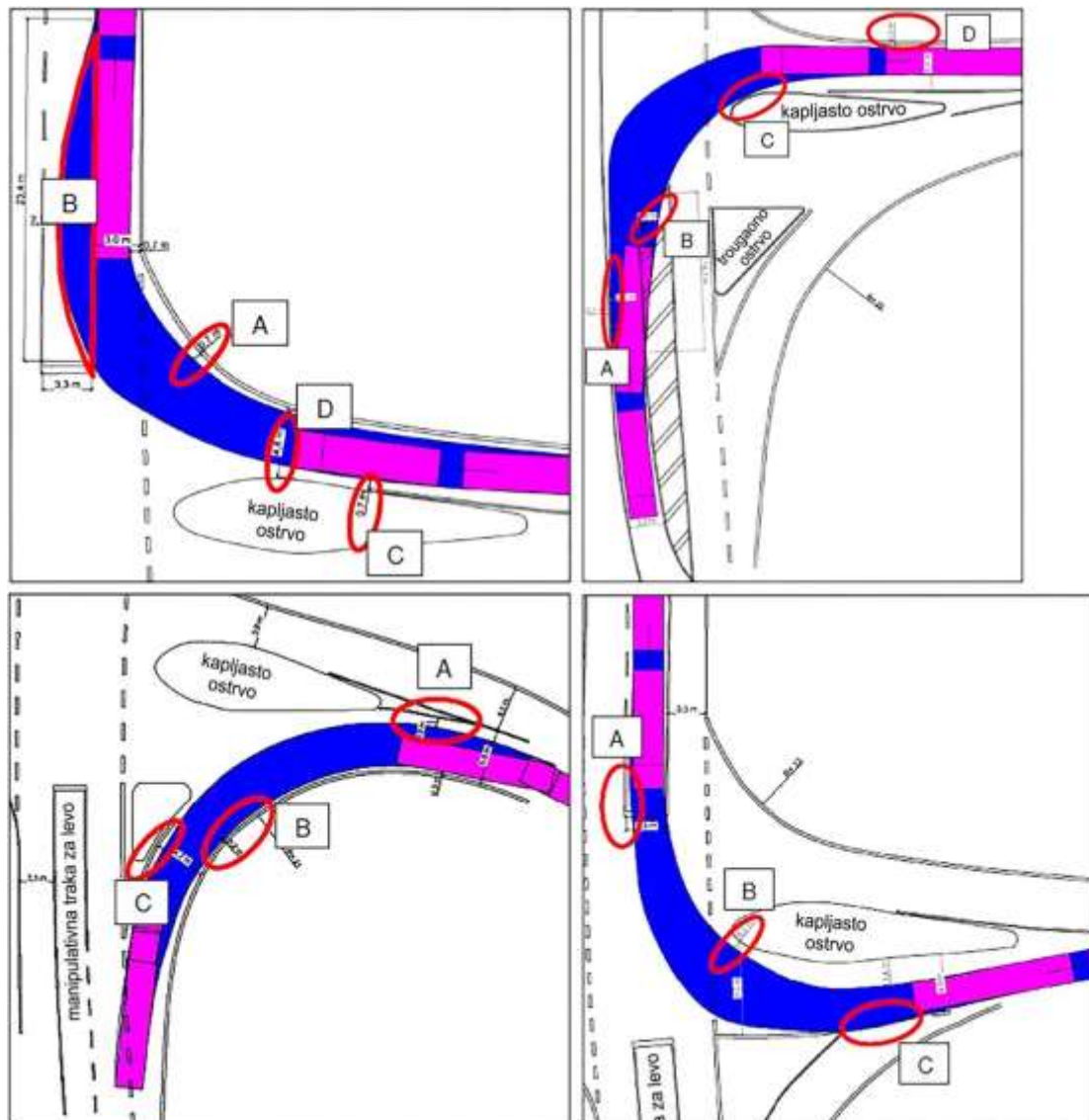
Lippold i Schemmel [19] su na veoma praktičan način koristili video tehnologiju i fotogrametriju kako bi ustanovili realne trajektorije kretanja dugačkih teretnih vozila na površinskim raskrsnicama na putnoj mreži Nemačke. U njihovom eksperimentu analizirane su granične trajektorije za pet tipova (kombinacija) dugačkih teških teretnih vozila (vučnih vozova), čija ukupna dužina ne prelazi 25.25 m. Tokom testnih vožnji na



najvišim bočnim delovima karoserija vučnih vozova montirane su akcione kamere. Ugao snimanja podešen je tako da snimkom budu pokriveni točkovi vozila (**Slika 4**). Sve kamere sinhronizovano su snimale putanje točkova, a snimci su kasnije obrađeni u specijalnim softverima za restituciju video snimaka i fotografija.



**Slika 4.** Dispozicija montiranja akcionih kamera na bočnim stranama karoserije vučnog voza sa prikazom obuhvata snimka [19]



**Slika 5.** Lokacije potencijalnih "uskih grla" na situacionom planu površinske raskrsnice gde je ugrožena prohodnost testiranih vozila pri manevrima levih i desnih skretanja [19]

Pored snimljenog video materijala, za precizno određivanje graničnih trajektorija autori su koristili i laserski skener koji je snimao koordinate tačaka duž ivica vučnih vozova u lokalnom koordinatnom sistemu. Sve snimljene tačke posle su "uvezene" u CAD softver. Na osnovu njih definisane su trajektorije najjsturenijih tačaka testnih vozila i označen prostor omeđen graničnim trajektorijama tokom izvođenja različitih manevara. S obzirom da su testne vožnje izvedene na realnoj putnoj mreži, bez remećenja ostalih učesnika u saobraćaju, rezultati eksperimenta pokazali su stvaran potencijal postojeće geometrije na površinskim raskrscnicama da se prilagodi saobraćaju dugačkih vučnih vozova. Poseban akcenat pri kontroli minimalne prohodnosti bio je na identifikaciji "uskih grla" na situacionim planovima površinskih raskrscnica. Označena su sva mesta na kojima je potencijalno ugrožena prohodnost za testirane tipove vozila (**Slika 5**).

Poslednjih godina sve učestalija je primena dronova (PhotoModeler Technologies) [20], opremljenih sa kamerama i foroaparatom, koji lete neposredno iznad testnog poligona snimajući sve manevre koje izvode testna vozila. Pošto su u dronovima najčešće ugrađeni i GPS prijemnici njihov položaj je poznat, pa preciznost merenja, odnosno tačnost realno snimljenih graničnih trajektorija, najviše zavisi od kvaliteta snimljenih fotografija ili video zapisa.

S obzirom da se najveći broj eksperimentalnih testova za merenje graničnih trajektorija vozila organizuje na specijalno pripremljenim poligonima na otvorenom prostoru, na kvalitet snimljenih fotografija dodatno utiču i klimatski parametri kao što su vetar, osunčanost, pojava magle, veće oblačnosti ili kiše. Iako već postoje razvijeni softverski alati koji mogu da "poprave" kvalitet snimljenih fotografija, granične trajektorije, dobijene na osnovu ovako popraavljenih snimaka, odstupaju od realnih za više od 10.0 cm. Dosadašnji eksperimenti na terenu potvrdili su da se najpouzdaniji rezultati, koji garantuju veoma mala odstupanja graničnih od realnih trajektorija vozila, dobijaju kombinovanjem video i foto tehnike sa drugim savremenim metodama snimanja kao što su GNSS tehnologije i LiDAR (light detection and ranging) 3D lasersko skeniranje.

#### 4. ODREĐIVANJE POLOŽAJA VOZILA POMOĆU GNSS TEHNOLOGIJE

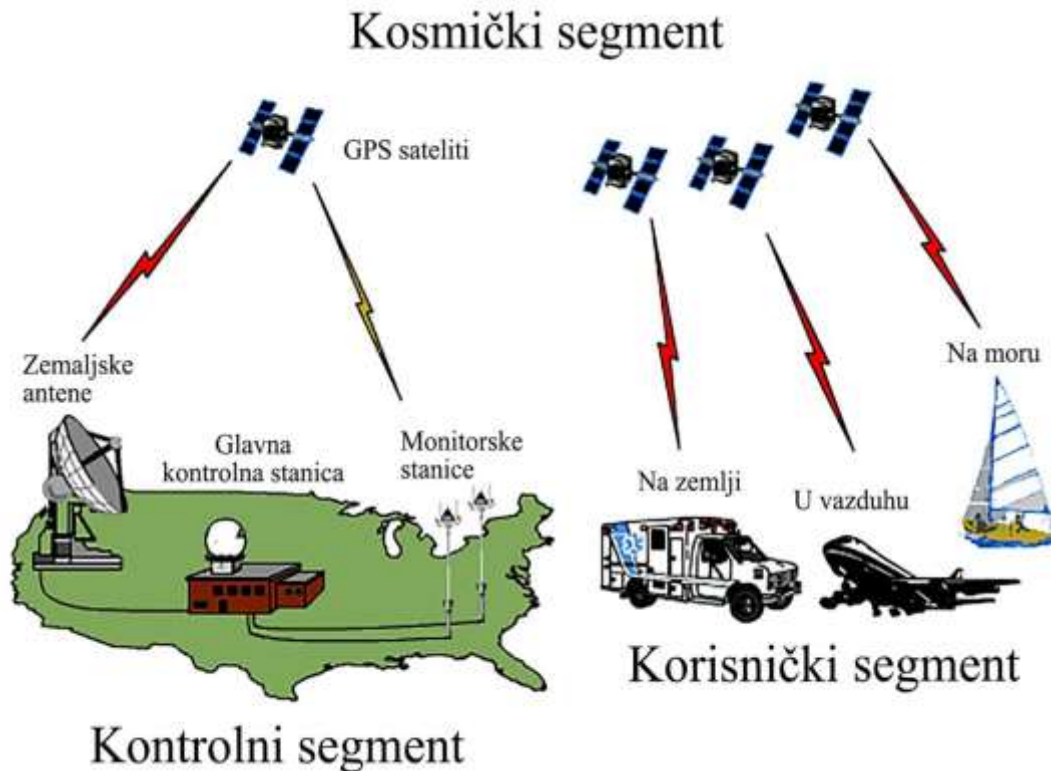
Globalni navigacioni satelitski sistemi (GNSS) predstavljaju trenutno tehnološki najrazvijenije sisteme za određivanje tačnog položaja, odnosno, realnih koordinata vozila ili nekog njegovog dela. Skraćenica GNSS predstavlja zapravo "zajedničko ime" za sve globalne navigacione sisteme kao što su: GPS, GLONASS (na ruskom: ГЛОНАСС), Galileo, Compas, itd. S obzirom da je prvi put zvanično lansiran 1978. god. od strane Ministarstva odbrane SAD, posle prelaska sa NAVSTAR-a (NAVigation Satellite Timing And Ranging), GPS je danas najčešće korišćen sistem za navigaciju u svetu. Takođe, GPS je prvi sistem koji je dostigao puni operativni kapacitet 1995. god., i pored ruskog GLONASS-a, jedini obezbeđuje pokrivenost cele površine Zemlje. Upravo zahvaljujući "ranoj otvorenosti" prema civilnim korisnicima (već od 1994. god.), GPS ima vodeću komercijalnu ulogu na tržištu. Na **Slici 6** prikazani su osnovni segmenti GPS sistema. Kosmički segment čine 24 operativna satelita ravnomerno raspoređena u odnosu na Zemlju. Sateliti se kreću u 6 orbitalnih ravni (po 4 satelita u svakoj) poluprečnika 26560.00 km, koje zaklapaju ugao od 55° u odnosu na ekvatorijalnu ravan [21]. Ovakva konstelacija i ovako projektovane orbite satelite omogućavaju da se u bilo kom trenutku i na bilo kojoj tački na Zemlji mogu primiti signali sa 4 satelita.

Kontrolni segment obuhvata pet zemaljskih stanica raspoređenih tako da je glavna smeštena u vazduhoplovnoj bazi Schriever (ranije Falcon) u Koloradi Springsu, a ostale četiri se nalaze na ostrvima u okeanima (Hawaii, Ascension Islands, Diego Garcia i Kwajalein) u zoni ekvatorijalnog pojasa [21]. U korisnički segment sistema spadaju razni prijemnici, bilo kao zasebni instrumenti, ili kao delovi drugih mernih instrumenata ili digitalnih uređaja različite namene.

Određivanje položaja pomoću GPS bazira se na trilateraciji GPS satelita, odnosno na metodi prostornog lučnog preseka. Na četiri GPS satelita mere se vremena potrebna da elektromagnetni signali sa satelita dospeju do prijemnika na Zemlji. Koordinate satelita kao referentnih tačaka unapred su poznate. Od presudne važnosti za tačnost izmerenih dužina (vremena) je sinhronizacija časovnika na satelitima i na prijemniku. Jednoznačno pozicioniranje tačke na mestu prijemnika obavlja se rešavanjem prostornog lučnog preseka za tu tačku tako što se izmere dužine od prijemnika (tačke) do tri GPS satelita. Usled grešaka pri sinhronizaciji časovnika na satelitima i prijemniku na Zemlji, meri se i nepoznata dužina od prijemnika do četvrtog satelita kako bi se korigovale ove greške.

Za pozicioniranje tačaka na Zemlji primenom GPS tehnologije koriste se dve metode:

- metoda apsolutnog pozicioniranja;
- metoda relativnog (diferencijalnog) pozicioniranja (DGPS).



Slika 6. Osnovni segmenti GPS sistema [22]

Za razliku od apsolutnog pozicioniranja gde se koristi jedan prijemnik, kod diferencijalnog pozicioniranja potrebna su dva prijemnika za simultano registrovanje signala sa satelita. U inženjerskim disciplinama, kao i za potrebe različitih eksperimentalnih istraživanja na otvorenom prostoru, mnogo češće se primenjuje diferencijalno pozicioniranje, jer omogućava veću tačnost pozicioniranja. Kod ove metode jedan prijemnik lociran je na tački sa poznatim koordinatama (bazna stanica), dok se drugi prijemnik (rover) postavlja na tačku čiju poziciju je potrebno odrediti. Na ovaj način se, korelacijom merenja između dva prijemnika, u značajnoj meri redukuje uticaj sistematskih grešaka [21].

U navigaciji se za određivanje položaja vozila koristi metoda apsolutnog pozicioniranja sa tačnošću reda veličine nekoliko metara. S druge strane, određivanje položaja vozila u cilju definisanja njegovih graničnih trajektorija obavlja se pomoću kinematičke tehnike merenja, zasnovane na diferencijalnom pozicioniranju. Kod ove tehnike (metode), prijemnik (rover) montira se na vozilo u pokretu, dok je bazna stanica postavljena na nekoj fiksnoj tački sa ranije određenim koordinatama. Pri upotrebi kinematičke metode razlikuju se dva režima rada:

- sa naknadnim procesiranjem korekcija sa bazne stanice (na engleskom: Post-Processing Kinematic-PPK);
- sa procesiranjem korekcija u realnom vremenu (na engleskom: Real-Time Kinematic-RTK), gde se sve korekcije sa bazne stanice očitavaju tokom rada na terenu, pod uslovom da postoji radio veza ili neka druga "wireless" konekcija između prijemnika.

U RTK režimu rada kinematičke metode, prijemnici (bazna stanica i rover) moraju istovremeno "hvatati" signal sa najmanje pet satelita. Opravdanje za "angažovanje" povećanog broja satelita leži u potrebi da se uvek ima u "rezervi" najmanje jedan, kako bi sa apsolutnom sigurnošću u svakom trenutku imali trilateraciju GPS satelita. Na poznatoj tački, gde je postavljena bazna stanica, nalazi se i radio antena povezana sa tom stanicom. Preko te antene radio predajnik šalje ispravke korekcija prema pokretnom roveru (Slika 7). Rastojanja između bazne tačke i rovera obično su reda veličine od 10.0 do 20.0 km, što je značajno kraće u odnosu na efektivan opseg diferencijalnog GPS pozicioniranja. Primenom "state-of-the-art" tehnologije pri izradi GNSS prijemnika, a posebno pri izradi mobilnih GNSS antena (Leica Viva GS16, Trimble R8s GNSS receiver), RTK metoda za horizontalno pozicioniranje u realnim uslovima može obezbediti centimetarsku tačnost reda veličine  $\pm 2.0$  cm. Imajući u vidu brzinu određivanja položaja vozila i postignuti nivo tačnosti, RTK metoda nametnula se kao skoro idealna merna tehnika za snimanje graničnih trajektorija vozila koja se kreću malim brzinama.

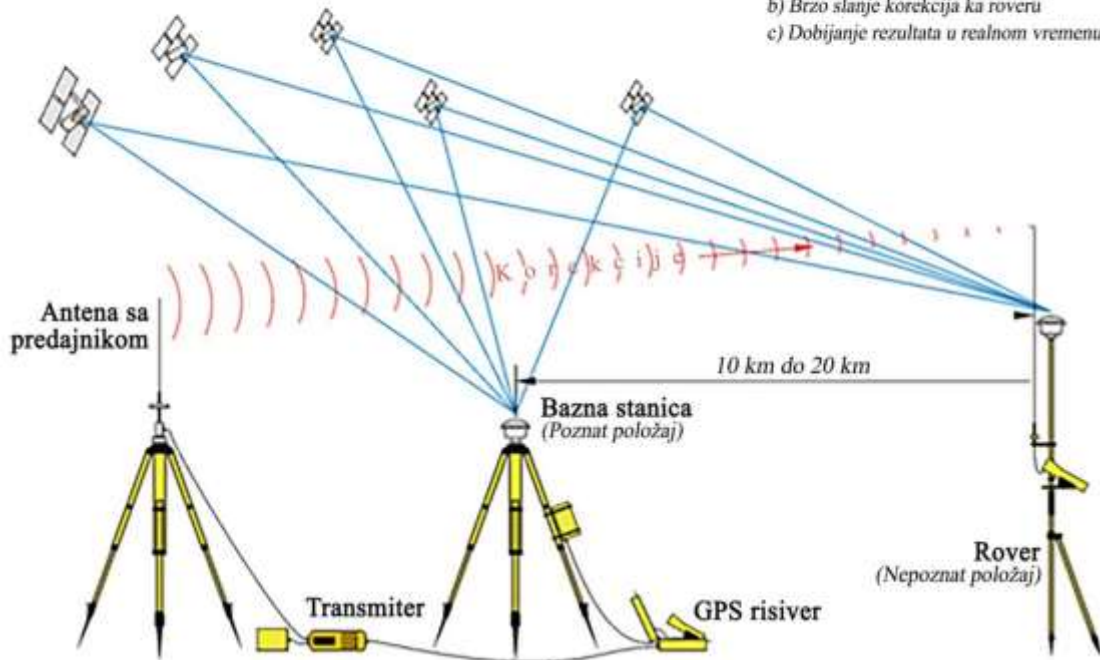
## Kinematička metoda u realnom vremenu (RTK)

Tačnost pozicioniranja  $\pm 2.0$  cm

**\*Ista konstelacija satelita**  
(Bazna stanica - rover/ili roveri)

**\*Carrier Phase**  
(Prati se minimum 5 satelita istovremeno)

**\*Radio veza**  
a) Više informacija  
b) Brzo slanje korekcija ka roveru  
c) Dobijanje rezultata u realnom vremenu



Slika 7. Princip rada kinematičke metode sa procesiranjem korekcija u realnom vremenu (RTK) [23]

Kao četvrti segment GNSS-a (GPS-a), u mnogim zemljama sveta razvijene su posebne nacionalne mreže permanentnih stanica (prijemnika), koje zamenjuju potrebu za postavljanjem baznih stanica. Razvijanjem ovakvih mreža znatno se olakšava diferencijalno pozicioniranje pri izvođenju različitih geodetskih i drugih inženjerskih radova. Korišćenjem mreže permanentnih stanica, tačno RTK pozicioniranje unutar prostora pokrivenog tom mrežom može se obaviti pomoću samo jednog prijemnika [21]. Mreža permanentnih stanica na teritoriji Srbije naziva se Aktivna geodetska referentna osnova Srbije (AGROS). Ova mreža je u funkciji od 2005. god, a njome upravlja i održava je Republički geodetski zavod iz dva kontrolna centra. Ukupno 29 permanentnih stanica raspoređeno je na teritoriji Republike Srbije na prosečnom međusobnom rastojanju od 70.00 km [21]. AGROS mreža takođe pruža korisnicima u Srbiji servis kinematičkog pozicioniranja u realnom vremenu (RTK). Prenos podataka između permanentnih stanica i prijemnika (rovera) obavlja se putem mobilnog GPRS interneta. Tačnost koja se postiže u realnom vremenu je od 1.00 cm do 3.00 cm [24].

Pecchini i Giuliani [25] snimali su položaj tegljača sa poluprikolicom (šlepera), koji se kretao kroz kružnu raskrsnicu. Za određivanje položaja šlepera koristili su diferencijalno pozicioniranje, odnosno, kinematičku metodu sa naknadnom obradom korekcija sa bazne GPS stanice. U njihovom eksperimentu, po dva GPS rovera bila su montirana na tegljač i poluprikolicu da bi se dobile trajektorije najisturenijih tačaka na karoseriji šlepera (Slika 8). Posle procesiranja snimljenih GPS koordinata dobijene su realne krive prohodnosti šlepera. Zatim je za iste realno izvedene manevre simulirano kretanje šlepera pomoću AutoTURN-a [8]. Granične trajektorije dobijene simulacijom upoređene su sa realnim krivama prohodnosti snimljenim na terenu, kako bi se verifikovala pouzdanost primenjenog AutoTURN softvera. U ovoj eksperimentalnoj studiji nivo preciznosti, obezbeđen primenom opisane GPS tehnike pozicioniranja, bio je ograničen na 10.00 cm.

Pošto se vozila na koja su montirani GPS roveri kreću malim brzinama ( $V \leq 20$  km/h), i učestalost, odnosno, frekvencija očitavanja GPS koordinata mora da bude veća u odnosu na uobičajenu primenu kinematičke metode za brzo pozicioniranje neke statične tačke ili objekta. Takođe, frekvencija očitavanja GPS koordinata u direktnoj je vezi sa "gustinom", odnosno, međusobnim rastojanjem snimljenih tačaka na terenu iz kojih se kasnije trebaju rekonstruisati granične trajektorije testnih vozila. Na osnovu ranije sprovedenih eksperimentalnih istraživanja [14], preporučuje se da frekvencija očitavanja GPS koordinata na prijemnicima, montiranim na testnim vozilima, bude podešena na 10 Hz. To praktično znači da, ako se testno vozilo kreće brzinom od 10 km/h pri izvođenju planiranog manevra, na svakih 10.00 cm pređenog puta dobija se jedno očitavanje trenutnog položaja vozila, tj. koordinate GPS rovera.





**Slika 8.** Položaj GPS rovera na kabini tegljača (levo), i manevar šlepera na izlasku iz kružnog toka posle skretanja pod uglom od 180° (desno) [25]

Za kombinovana vozila sastavljena od više slogova, na svako pojedinačno vozilo ili segment mora da se postavi dovoljan broj GPS rovera da bi se mogao precizno definisati položaj vozila. Ako se svaki slog vozila posmatra kao apsolutno kruto i nedeforabilno telo, dovoljno je postaviti dva GPS rovera na karoseriju da bi položaj vozila bio jednoznačno određen u horizontalnoj projekciji. Izuzetak od ovog pravila čine pomoćni osovinski sklopovi kao što su podvosci sa sedlom za vuču poluprikolice (na engleskom: dolly), na koje je dovoljno postaviti jedan GPS rover. Poseban problem predstavlja precizno određivanje položaja GPS rovera u odnosu na karoseriju testnog vozila, s obzirom da danas većina modernih tegljača i drugih teških teretnih vozila ima zaobljene aerodinamične karoserije. Tačno pozicioniranje GPS rovera u odnosu na karoseriju vozila moguće je postavljanjem rovera na specijalno izrađene nosače, ili laserskim merenjem svih dimenzija karoserije vozila pre eksperimenta u posebno akreditovanim laboratorijama za ispitivanje vozila. Pecchini i Giuliani [25] su položaje GPS rovera, postavljenih na vrh kabine modernog tegljača, određivali merenjem relativnih rastojanja u odnosu na glavčine točkova prednje i zadnje osovine tegljača. Iako je ovakav postupak metodološki ispravan, imajući u vidu činjenicu da je kabina tegljača elastično oslonjena na njegovu šasiju, postavlja se pitanje da li su izmerena rastojanja dovoljno tačna, ako se uzme u obzir blago naginjanje kabine tegljača u odnosu na šasiju prilikom skretanja ili izvođenja nekog drugog manevra.

Tokom poslednje decenije, koristeći modernu GNSS tehnologiju, softverska kompanija "Transoft Solutions" organizovala je i izvela niz testova na terenu sa realnim vozilima da proveri tačnost krivih prohodnosti dobijenih korišćenjem njihovog softvera AutoTURN-a [8]. U sprovedenim testovima, naročita pažnja posvećena je dugačkim vozilima nestandardne konfiguracije za prevoz specijalnih tereta kao što su turbine vetrogeneratora. Za ovaj tip vozila u literaturi na engleskom jeziku često se vezuje termin "oversized /overweight vehicles - OSOW". Za određivanje položaja "OSOW" vozila korišćena je RTK kinematička metoda, pri čemu su GPS roveri bili postavljeni na krovu tegljača, kao i iznad prednjih i zadnjih osovine specijalnih prikolica za prevoz vetrogeneratora [26]. Flores i ost. [27] takođe su koristili RTK metodu i GPS rovere da dobiju granične trajektorije "OSOW" vozila za prevoz vetrogeneratora na specijalnom poligonu. Kasnije su granične trajektorije sa testnog poligona uporedili sa trajektorijama dobijenim simulacijom istih manevara kretanja u AutoTURN-u [8]. Ustanovili su da je jedan od glavnih uzroka neslaganja između graničnih trajektorija, dobijenih eksperimentalnim putem i simulacijom, u potencijalno netačno određenim položajima GPS rovera u odnosu na karoseriju testiranog "OSOW" vozila.

Prilikom određivanja koordinata GPS rovera mogu se javiti različite greške kao posledica "nesigurnosti rada" celokupnog GPS navigacionog sistema. Izvori grešaka pri radu GPS mogu se grupisati kao [21]:

- greške časovnika, odnosno, razlika između vremena izmerenih na časovnicima u satelitima i u GPS prijemnicima na Zemlji;
- kašnjenje GPS signala prilikom prolaska kroz jonosferski i troposferski pojas;
- višestruka refleksija ili interferencija osnovnog signala sa reflektovanim signalima sa susednih objekata ili sa nekih glatkih površina;
- loša geometrija ili nepovoljan raspored satelita (na engleskom: Dillution of Precision - DOP).



## 5. ZAKLJUČAK

Klasične tahimetrijske metode, pored visoke tačnosti i pouzdanosti merenja zahtevaju veliko fizičko angažovanje svih učesnika eksperimenta. Samim tim, uzimajući u obzir obim terenskog posla, primenom ovih metoda teško je postići visoku detaljnost (gustinu) merenja, zbog čega se sve ređe koriste.

Primena video i foto tehnike za određivanje graničnih trajektorija vozila daje najbolje rezultate ako se video i foto snimci kombinuju sa drugim savremenim metodama snimanja kao što su GNSS tehnologije i LiDAR (Light Detection and Ranging) 3D lasersko skeniranje.

GPS kinematička metoda pozicioniranja sa procesiranjem korekcija sa bazne stanice u realnom vremenu (Real-Time Kinematic-RTK), uzimajući u obzir postignuti nivo tačnosti i brzinu određivanja položaja vozila, predstavlja skoro idealnu mernu tehniku za određivanje graničnih trajektorija vozila. Da bi se dobile dovoljno "gusto" snimljene tačke, iz kojih se posle precizno mogu rekonstruisati granične trajektorije testnih vozila, frekvencija očitavanja koordinata na GPS prijemnicima, montiranim na testnim vozilima, treba da bude podešena na 10 Hz. Za merenje graničnih trajektorija dugačkih kombinovanih vozila, sastavljenih iz više slogova, na svako pojedinačno vozilo (slog) mora se postaviti dovoljan broj GPS rovera kako bi se mogao precizno definisati položaj čitavog vozila.

U svim prethodno analiziranim eksperimentalnim testovima, gde je primenjena moderna GPS tehnologija pozicioniranja, nije uzeta u obzir specifična morfologija, odnosno, nivelacione karakteristike kolovozne površine na testnom poligonu. Položaji GPS rovera, montiranih na testna vozila, najčešće su bili određeni samo jednostavnim merenjem relativnih rastojanja rovera od ivica kabine vozila ili glavčina pojedinih točkova, što predstavlja značajan izvor dodatnih grešaka pri definisanju tačnog položaja vozila.

Veliki nedostatak i prepreka za masovnu upotrebu GPS tehnologije, odnosno RTK metode, za merenje graničnih trajektorija vozila je veoma visoka cena GPS opreme i instrumenata. Jedan savremeni GPS prijemnik, koji ima mogućnost podešavanja frekvencije očitavanja izmerenih GPS koordinata, sa pratećim softverom košta u proseku 9000 eura pa naviše. Imajući u vidu broj potrebnih prijemnika za jednoznačno definisanje položaja karoserije testnog vozila (najmanje dva po jednom vozilu), kao i potrebu za angažovanjem dodatne bazne stanice, ukupna cena izvođenja eksperimentalnih testova sa dugačkim kombinovanim vozilima može dostići i nekoliko desetina hiljada eura.

Tačno merenje graničnih trajektorija na terenu u realnim uslovima, za vozila različite konfiguracije, od velikog je interesa za sve kompanije koje se bave razvojem softvera za projektovanje puteva i raskrsnica. Ovim kompanijama zapravo su potrebne pouzdane i efikasne metode kako bi testirale tačnost njihovih novorazvijenih softverskih rešenja za kontrolu prohodnosti vozila.

### Literatura

- [1] Cheng, J.F.; Huang, H.C. (2011). Effects of Roadway Geometric Features on Low-Speed Turning Maneuvers of Large Vehicles. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(6): 373-383.
- [2] Sayers, M.W. (1986). Vehicle Offtracking Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., No. 1052: 53-62.
- [3] Sayers, M.W. (1990). *Symbolic Computer Methods to Automatically Formulate Vehicle Simulation Codes*. Doctoral dissertation, The University of Michigan, USA.
- [4] Sayers, M.W. (1991). Exact Equations for Tractrix Curves Associated with Vehicle Offtracking. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Taylor&Francis Group, 20 (3): 297-308.
- [5] Division of Transportation Planning. (1985). *Truck Offtracking Model (TOM)*. Program Documentation and User's Guide, California Department of Transportation - Caltrans, USA.
- [6] Department of Transport and Main Roads. (1988). *VEHICLE/PATH*. Operating procedures, Users Instructions and Installation Guide, Queensland Government, Australia.
- [7] Garlick, G.S., Kanga, D.N., Miller, G.G. (1993). Vehicle Offtracking: A Globally Stable Solution. *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers - ITE, 63(3): 17-21.
- [8] Transoft Solutions. (2018). *AutoTURN 10.2*, Product Brochure, Richmond, British Columbia, Canada. (on-line) available at: <http://www.transoftsolutions.com/vehicle-swept-path/autoturn-select/> (15.02.2018)

- [9] AUTODESK. (2018). *Vehicle Tracking*. Integrated Swept Path Analysis Software, Product Brochure, San Rafael, CA., USA. (on-line) available at: <http://www.autodesk.com/products/vehicle-tracking/overview> (15.02.2018)
- [10] CARD/1. (2018). *Swept Turning Path*. Swept Turning Path Calculation Software, Product Brochure, Hamburg, Germany. (on-line) available at: <http://www.card-1.com/en/product/card1-tours/swept-turning-path/> (15.02.2018)
- [11] RIB-Stratis. (2018). *Design Alignment Module, Road Planning, Design of Intersections, Tractrix calculation*. Product Brochure, RIB Software SE, Stuttgart, Germany. (on-line) available at: <https://www.rib-software.com/en/main/rib-solutions/rib-stratis/design-alignment.html> (15.02.2018)
- [12] CGS Labs. (2018). *Autopath PRO*. Swept path analysis and vehicle turning simulation software, Product Brochure, CGS Labs d.o.o., Ljubljana, Slovenia. (on-line) available at: <http://www.cgsplus.com/Software/Plateia.aspx> (15.02.2018)
- [13] Gavran, D. (2013). *User Manual - GCM++*. Gavran Civil Modeller, Belgrade, Serbia. (on-line) available at: <http://www.gcm-gavran.com/gavran-gcm-preview.htm> (15.02.2018)
- [14] Glabsch, J., Heunecke, O., Schuhbäck, S., Wirth., W. (2012). Swept path determination by means of PDGNSS. *Proceedings of the 3rd International Conference on Machine Control & Guidance - MCG*, 27-29 March 2012, Stuttgart, Germany. (on-line) available at: <http://www.uni-stuttgart.de/ingeo/mcg2012/proceedings.htm> (20.03.2018)
- [15] Bonz, M., Schmid, C.H. (1980). Untersuchung des Flächenbedarfs von Bussen in der Kurvenfahrt an Haltestellen. *Straßenverkehrstechnik*, Nr. 6: 197-201.
- [16] Mussone, L., Matteucci, M., Bassani, M., Rizzi, D. (2011). An innovative method for the analysis of vehicle movements in roundabouts based on image processing. *Journal of Advanced Transportation*, 47(6): 581-594.
- [17] Barth, A. (2010). *Vehicle Tracking and Motion Estimation Based on Stereo Vision Sequences*. Doctoral Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- [18] Cheng, J.F., Huang, H.C. (2011). Effects of Roadway Geometric Features on Low-Speed Turning Maneuvers of Large Vehicles. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(6): 373-383.
- [19] Lippold, C., Schemmel, A. (2014). *Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw*. Forschungsprojekt FE 09.0284/2013/CRB, Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Lehrstuhl für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen, Institut für Verkehrsanlagen, Technische Universität Dresden, Deutschland. (on-line) available at: <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/...lang-lkw/.../890284.pdf> ( 9.02.2018)
- [20] PhotoModeler Technologies. (2018). *PhotoModeler for Unmanned Aircraft Systems - PhotoModeler UAS*. PhotoModeler Technologies - Eos Systems Inc., Vancouver, BC, Canada. (on-line) available at: <http://www.photomodeler.com/applications/UAS/default.html> (20.03.2018)
- [21] Bajat, B., Ašanin, S. (2015). *Primena geodezije u saobraćajnicama*. Akademski misao, Srbija. 170 str.
- [22] GIS Resources. (2018). *Fundamentals of GPS Signal and Data*. A Knowledge Archive. (on-line) available at: [http://www.gisresources.com/fundamentals-of-gps-signal-and-data\\_2/](http://www.gisresources.com/fundamentals-of-gps-signal-and-data_2/) (24.02.2018)
- [23] PennState. (2018). *GPS and GNSS for Geospatial Professionals*. Department of Geography, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. (on-line) available at: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1845> (27.02.2018)
- [24] AGROS. (2018). *Servisi Kontrolnog centra AGROS GNSS mreže - RTK servis*. Aktivna Geodetska Referentna Osnova Srbije, Republički geodetski zavod (RGZ), Beograd. (on-line) available at: <http://agros.rgz.gov.rs/agros/servisi.php> (7.03.2018)
- [25] Pecchini, D., Giuliani, F. (2013). Experimental Test of an Articulated Lorry Swept Path. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 139(12): 1174-1183.
- [26] Frost, M. (2014). Improving the Modeling of OSOW Movements through Field Test Studies. *Presented at Rapid City - 2014th Joint Western/Midwestern ITE District Annual Meeting*, Session 1D - Oversized Trucks in Roundabouts, Institute of Transportation Engineers - ITE, 29 June - 1 July 2014, South Dakota, USA. (on-line) available at: [https://www.westernite.org/annualmeetings/14\\_Rapid\\_City/Presentations/1D-Frost.pdf](https://www.westernite.org/annualmeetings/14_Rapid_City/Presentations/1D-Frost.pdf) (20.03.2018)
- [27] Flores, J., Chan, S., Homola, D. (2015). A Field Test and Computer Simulation Study on the Wind Blade Trailer. *Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Geometric Design*, Transportation Research Board (TRB), Compendium of papers, 22 - 24 June 2015, Vancouver, Canada, CD-ROM, 17p.

## BEARING CAPACITY AND DURABILITY OF STABILIZED SOILS WITH HRB

Titre en français. Instructions aux auteurs (inverser les titres pour un article en français)

**János Szendefy PhD**

*Dep. of Engineering Geology and Geotechnics, Budapest University of Technology and Economics, Hungary, [szendefy@mail.bme.hu]*

**ABSTRACT:** Many types of soils are unsuitable for earthwork material, therefore large volume of soil replacements may be necessary in road and railway construction. Soil treatment can modify the properties of soil to make them suitable for earthworks. It can increase its durability against moisture content change and reduce the risk of frost. The recommended binder is lime for cohesive soils and cement for granular soils. Hungary is mostly covered by transitional soils, where lime and cement mixture binders are recommended. The laboratory results and analysis of Viacalco HRB are based on 144 CBR and 72 uniaxial test results.

**RÉSUMÉ :** Ci-joint les instructions pour la préparation de votre communication au 19<sup>ème</sup> congrès CIMSG de Seoul, 17-22 Septembre 2017. Les articles, écrits en Times New Roman 9 ne doivent pas dépasser **4 pages A4** et être fournis sous **format MS Word** (.doc or .docx.) et **PDF**. Les résumés ne doivent pas dépasser 10 lignes. Il n'est pas demandé de transfert de copyright mais seulement une autorisation de publication. Il n'y aura pas de volume post-congrès pour les communications en retard. Vérifiez l'échéance posée par votre Société membre. Vous êtes invités à utiliser directement cette feuille canevas pour mettre en forme votre contribution. Pour un article en français, inverser la disposition des titres et résumés avec les mots clés en français et anglais (ajouter « Mots-clés »).

**KEYWORDS:** soil-stabilization, soil-treatment, HRB, CBR, durability, frost resistance

### 1 INTRODUCTION

The area of Hungary is mostly covered with soils, rock outcrops can only be found in some mountainous areas. Roughly two-thirds of the area covered with soils is comprised of weak cohesive, so-called transitional soils, while the remaining regions are made up of cohesive and poorly graded sandy soils. Transitional soils appear as fluvial sediments, aeolian loess and fluvio-aeolian combination of these or deluvial soils as the result of erosional processes. Poorly graded sands are also deposited by wind, while cohesive soils rather have fluvial origin. Weak cohesive soils are composed of mainly silt and sand fractions; their clay content varies between 5-20%.

Due to the near-surface abundance of the aforementioned soils, they are often subjected to large volume earthworks, but their unfavourable properties make their scope of utilization limited. Bearing capacity of cohesive soils is sensitive to moisture content due to the presence of fines that are capable of absorbing relatively large amount of water. In poorly graded sands, because of the similar-sized particles, stable soil skeleton cannot develop, loading pushes sideways grains rolling on top of each other. Due to their non-adequate bearing capacity, the construction of a coarse-grained improvement layer is necessary on top of them. Moreover, soaking of transitional and cohesive soils can cause problems regarding their placement and bearing capacity, which can largely increase uncertainty in both construction time and budget.

Soil treatment can provide a technically and economically optimal solution for the above problems, with which the properties of soils can be improved effectively (Gáspár L. 1959, Kézdi Á 1967, Stocker P. 1972, Szendefy J. 2009). It is expected from a soil treatment method to improve soils' workability, hence making it possible for broader water content interval, increase their bearing capacity and turn them insensitive to water and frost effects. Thereby local soils can be utilized for broader purposes, and the amount of imported coarse-grained soils can be reduced (Biczók E. 1982, Kézdi Á 1967).

### 2 PRESENTATION OF TESTED SOILS

The primary purpose for the selection of testing materials was to purposefully study the effect of Viacalco binder on

transitional soils, and their lower (cohesive soils) and upper boundaries (granular soils) to illustrate the performance limits of the binder. At the selection of soil samples, it was targeted to choose such materials, that besides their soil mechanical properties, differ from geographical and geological aspects as well.

In the present study 4 different soils were tested; their grain size distribution is shown in Figure 1.

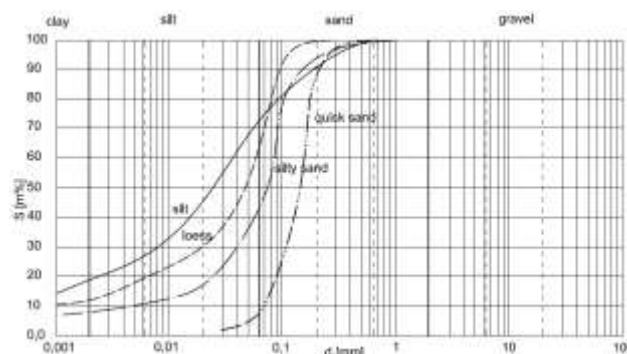


Figure 1. Grain size distribution of the tested soils

Poorly graded sands are typical aeolian sediments of Hungary, which is often called quicksand, because due to the winds it is still in motion in many places. The soil represents the upper boundary of transitional soils, or it can be already regarded as a granular soil. Its steep grain size distribution curve makes it less suitable for embankment construction, according to Út 2.1-222:2007 standard it is unsuitable for compaction.

Moving towards the fine-grained soils, the next sample was a silty sand from the town of Győr. This soil well-represents Holocene sediments near the main rivers of the country. Because of their near-surface presence, they are often used as subgrades for roads, railways, industrial floors and pavements. Silty sands and sandy silts are favourable from compaction point of view, due to their abundance they are often used as materials for infrastructure investments (roads, railways, levees). Although, they can be well compacted, their bearing capacity is extremely sensitive to water (hydro-collapsible) as even at the optimal or higher water content their bearing capacity decreases rapidly.

The grain size distribution of the third soil sample was similar to that of the sample from Győr, but its geological history was totally different. The loess sample is a frequent near-surface soil of Hungary, which covers more than the 1/3 of its area. Similarly to the first sample, it has also aeolian origin, but its grain composition is more diverse. Besides its abundance, it is known for its special, macroporous structure.

While poorly graded sands can be regarded as the upper, then silts as the lower boundary of transitional soils. Further increasing the fines content brings us to clayey soils, which can be treated with powdered quicklime (Little Dallas 1987, Szendefy 2013), therefore they were not included in our research. The fourth sample is a fluvio-eolian silt, so a wind-deposited sediment that was later reworked by water. The soil has similar properties as sandy silts and silty sands, namely it can be compacted well or moderately, but it can lose its bearing capacity due to moisture.

### 3 PRESENTATION OF BINDERS AND LABORATORY TESTS

The goal of the study was to evaluate the performance of Viacalco hydraulic road binder (HRB). The manufacturer of the product, who mainly produces lime, realized the opportunities hiding in soil treatment and has been doing researches in Hungary since the early 2000's (Szendefy 2009). The successful researches resulted in the spread of soil treatment in the country, and lime was used for the subsoil improvement of numerous highways and industrial facilities. Most part of the county is covered with transitional soils, which can be treated with lime, but because of their fines content hydraulic bonds poorly develop in them. To create hydraulic bonds, the presence of hydraulic binders or trass materials contributing to their formation are necessary, thus efficiency of lime was increased by admixing such materials. Within Viacalco product family, the specific products bear the name according to the mixture ratio of lime and added hydraulic materials, so Viacalco C30 contains 30% CaO and C50 has 50% active lime.

One of the goals was to compare the performance of C30 and C50 binders with other known binders, therefore tests were made with soils close to granular with cement binder and soils close to cohesive with lime binder. Every sample was tested with 3 different binder dosages: 28.5kg/m<sup>3</sup>, 57kg/m<sup>3</sup> and 95 kg/m<sup>3</sup>. The tested mixtures are presented in Table 1.

Table 1. Types of tested mixtures, binder dosage was 28.5kg/m<sup>3</sup>, 57kg/m<sup>3</sup> and 95 kg/m<sup>3</sup> for all cases

Type of binder/soil	C30	C50	lime	cement
sand	✓	-	-	✓
silty sand	✓	✓		✓
loess	✓	✓	✓	✓
silt	✓	✓	✓	-

Bearing capacity of soil samples treated with different binders were obtained by means of CBR tests. To evaluate influence of setting time and weather conditions on bearing conditions the following storage times and conditions were determined:

- 3 days in vapour tight packaging,
- 10 days in vapour tight packaging, then 4 days underwater storage,
- 4 days underwater storage,
- 28 days in vapour tight packaging.

The 4 soil types, with 3 dosages of 4 different binders and the evaluation of 4 different weather and environmental conditions resulted in altogether 144 CBR tests. Besides these, uniaxial compression tests were carried out on samples stored for 7 days at 40°C in vapour tight packaging then subjected to 4 freeze-thaw cycles to assess the frost resistance of treated soils. Control measurements from untreated samples were considered as unnecessary since based on previous experiences, samples stored underwater for multiple days lose their bearing capacity, therefore tests performed on them cannot be evaluated.

### 4 EVALUATION OF TEST RESULTS

Two different laboratory tests were used for the measurement of treated soils' bearing capacity. By means of CBR testing, the bearing capacity that can be considered during design can be determined, while uniaxial compression tests were used to determined frost resistance.

#### 4.1 Evaluation of CBR test results

To help easier interpretation, CBR results in the graphs are shown with the commonly used E<sub>2</sub> [MPa] bearing capacity modulus.

Based on the results, cement treatment provides a quick and effective solution for the treatment of the sand, because even at the initial period after mixture (after 3 days curing), the majority of bearing capacity had already developed (Figure 2.). However, bearing capacity of samples treated with C30 approached that of cement-treated samples as curing time passed. Soil samples improved with both binders showed sufficient resistance against water, no bearing capacity reduction was measured.

According to literature and experiences, sands with same grain size distribution as used in the present research can be associated with E<sub>2</sub> value between 30-50MPa. Their bearing capacity are less sensitive to water, but without cohesion, the grains move sideways upon loading, which makes them unsuitable for vehicle usage. Samples treated with binders gave bearing capacity modulus values of E<sub>2</sub> = 100-200MPa, which means 3-5 times increase. Based on these values, treated sands can reach similar bearing capacity as well graded sandy gravel and crushed stones.

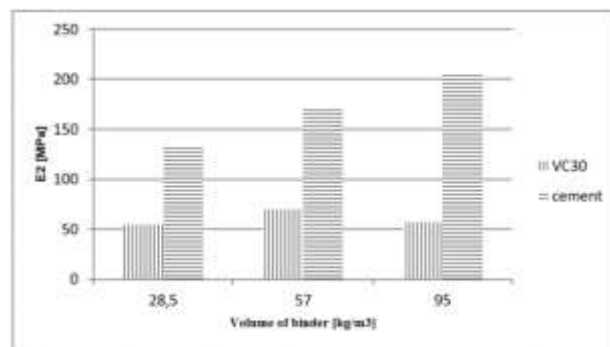


Figure 2. E<sub>2</sub> bearing capacity of the treated sand soil after 3days curing

Typical surface soil formation of Hungary is silty sand, which can be properly compacted, but due to the presence of fines, its bearing capacity deteriorates quickly at or slightly above the optimal moisture content. Its bearing capacity around optimal moisture content is E<sub>2</sub> = 25-35MPa, while after increasing its moisture content it decreases to E<sub>2</sub> = 0-10MPa. Among the binders, the cement proved to be the quickest, which gave the highest bearing capacity after the initial curing days, but after some time the bearing capacity of HRB products

exceeded than that of cement. Bearing capacity of samples stored for 10 days in vapour tight packaging then 4 days underwater didn't decrease, but contrarily even increased compared to its 3 days value and showed  $E_2 = 60-160\text{MPa}$  values (Figure 3.). Based on the results, to obtain adequate bearing capacity minimum 3% (~58kg/m<sup>3</sup>) binder dosage is recommended to be selected during stabilization, with which bearing capacity typical for coarse-grained soils may be reached. But the most important aspect of utilizing binders is that the resistance of silty sands against water should be adequate.

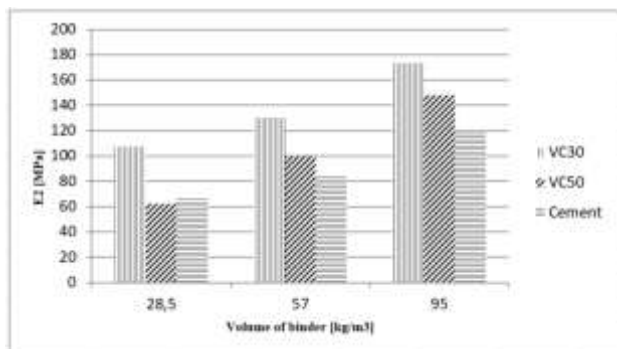


Figure 3. E<sub>2</sub> bearing capacity of the treated silty sand after soaking

Untreated loess soils have slightly more unfavourable strength properties than silty sands due to their higher fines content. However, stabilization during present study yielded higher bearing capacity values than it was measured for sand and silty sand. This higher bearing capacity can be explained by the flatter grain size distribution, thus extremely good grain structure of loess. The measurements showed that with proper binder selection and dosage  $E_2$  value can even reach 250MPa or more, which is even a high value for crushed stone. Moreover, this bearing capacity can be considered as permanent, because after 4 days of underwater storage no reduction in it was noticed (Figure 4.).

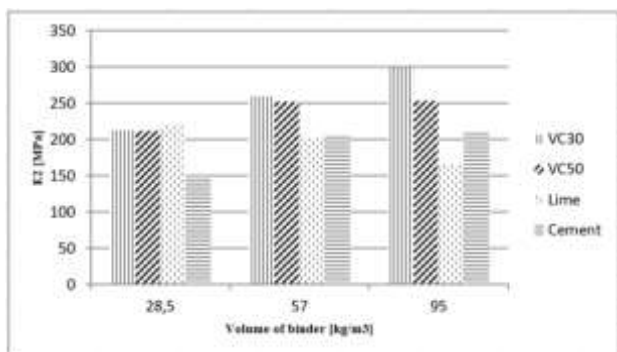


Figure 4. E<sub>2</sub> bearing capacity of the treated loess after soaking

Using silt soils as earthwork material can impose significant hazards on the construction. Having soaked, its bearing capacity decreases to basically zero, hence not only the built embankment becomes unqualifiable, but transportation on it also becomes impossible. Loss of bearing capacity can be compensated with soil replacement, but besides considerable excess expenditure it can also upset the construction schedule causing the shifting of deadline. In rainy period, it also poses additional problems and risks that during soil replacement, the soil underlying the replaced layer can also get soaked, thus the replacement cannot fulfil its predestined function. Thus, the most important goal is to make the soil resistant against

moisture. C30, C50 and lime binders used for treating the silt could stabilize the soil extremely efficiently, securing high bearing capacity even in the initial days. The highest bearing capacity was given by the C50 binder containing 50% lime. The  $E_2=300-350\text{MPa}$  bearing capacity considerably exceeded than that of crushed stones.

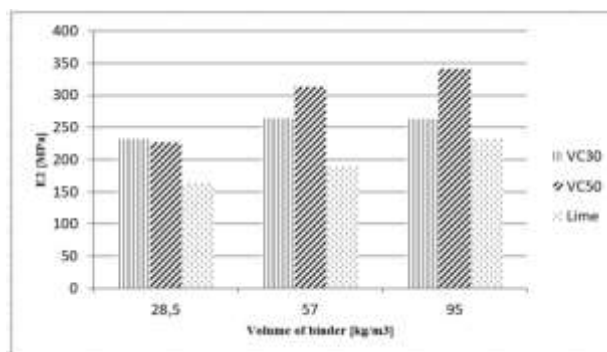


Figure 4. E<sub>2</sub> bearing capacity of the treated silt after soaking

Based on the evaluation bearing capacity tests, it can be concluded that generally rapid cement used for soil stabilization gains the majority of its bearing capacity quickly, within a few days, while for quicklimes it typically takes approx. 7-14 days (Szendefy 2009, Mitchell and Hooper 1961). In addition, a tendency was apparent that moving towards more cohesive soils, binders with higher lime content provide efficient solutions for soil stabilization. In case of cohesive soils, binders with lime content can give permanently higher bearing capacity, and they are more favourable in reducing the soil's moisture content and improving its workability than cements.

#### 4.2 Evaluation of UCS test results

In accordance with the international literature (Mixture design 2006) freeze-thaw testing was carried out using uniaxial compression testing. Due to unsuccessful preparation and curing of small samples in previous laboratory tests, samples prepared in small Proctor mold were subjected to freeze-thaw cycles what proved to be successful regarding the subsequent tests. Evaluation of the tests were carried out following the criteria belonging to the highest expected freeze-thaw cycle (Table 2) as presented in the NLA report (Mixture design 2006), thus following the strictest requirements.

Table 2. Recommended UCS values of stabilization considered resistant against frost

Anticipated use	Recommended UCS [kPa]
Subbase, rigid pavement/floor slabs/foundations	≥ 850
Subbase, flexible pavement (>25cm)	≥ 900
Subbase, flexible pavement (20-25cm)	≥ 950
Subbase, flexible pavement (12-20cm)	≥ 1100
Base or bedding layers	≥ 1400

The test results show that in for the sand sample cement binder can result in much higher uniaxial compressive strength of the treated soil than C30. The results draw attention to the fact, that frost resistance is highly dependent on the amount of binder used, because for small dosage the UCS values given in Table 2 were not reached. In case of cement binder, only the samples admixed with 95kg/m<sup>3</sup> binder proved to yield sufficient strength (Figure 5.).



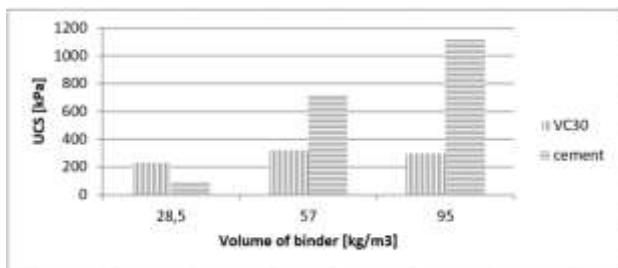


Figure 5. UCS of treated sand samples

Similar results were obtained for silty sand also, and the cement only gave sufficient strength for the loess with the highest dosage as well. On the other hand, lime-treated loess yielded adequate UCS values even with 57kg/m<sup>3</sup> dosage surpassing the highest requirement UCS>1400kPa (Figure 6.).

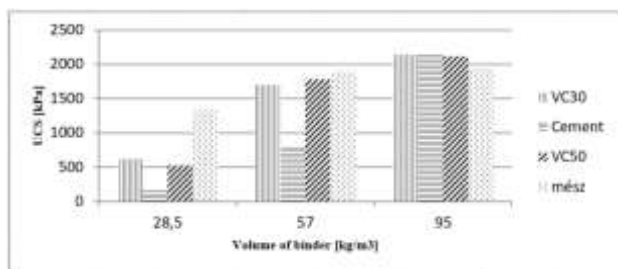


Figure 6. UCS of treated loess samples

Although, silt samples gave higher uniaxial compressive strength values than loess samples, the required UCS values can only be secured with 57 kg/m<sup>3</sup> and 95kg/m<sup>3</sup> dosages similarly (Figure 7.).

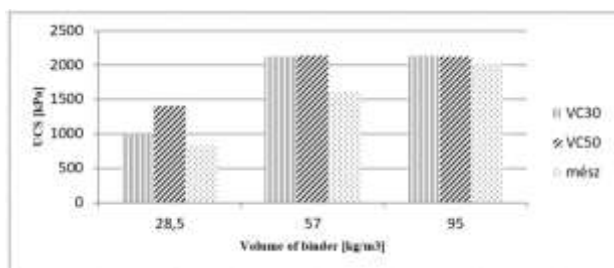


Figure 7. UCS of treated silt samples

## 5 CONCLUSIONS

Based on the large number of performed laboratory tests, it can be concluded that transitional soils can be treated with admixing them with binders. Soil treatment resulted in increased resistance against moisture, thus the volume of imported coarse-grained soils can be reduced during earthworks, and risks regarding the budget and time of constructions can be minimized.

CBR tests showed that treatment of soils with even 1.5% (28kg/m<sup>3</sup>) binder dosage can yield bearing capacity similar to that of coarse-grained soils (sandy gravel, crushed stone), which remains permanent even if the soil gets soaked. However, frost resistance requires higher binder dosage (3-5%), thus different layers of the earthwork may require different binder dosages. While the material of an embankment not subjected to frost can be stabilized with smaller amount of binder, the upper portion of the embankment may require higher dosage.

Furthermore, the tests show that different types of binder may be necessary for different types of soil. Efficiency of binders can be verified by laboratory tests, but generally it can

be stated that the more cohesive is the soil to be treated, the more lime-based binder is recommended to use.

## 6 REFERENCES

- Biczók E. 1982. *Mezőgazdasági utak stabilizálása*, BME Geotechnikai Tsz., Budapest
- Gáspár L. 1959. *Talajstabilizálás I-II.*, Útügyi Kutató Intézet, Budapest
- Kézdi Á. 1967. *Stabilizált földutak*, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Kézdi Á. 1967. A talajstabilizáció néhány fizikai és kémiai vonatkozása, *Építőipari és Közlekedés Tudományi Közlemény* (1), 179-204.
- Little, Dallas N. 1987. *Fundamentals of the Stabilization of Soil With Lime*, Arlington
- Mitchell, J. K. and Hooper, D. R. 1961. Influence of Time Between Mixing and Compaction on Properties of a Lime-Stabilized Expansive Clay, *Highway research Board, Bulletin* 14-31.
- Nagyválti B. 1965. Cementtalaj-utak építése, *Mélyépítés Tudományi* 15 (8)
- Stocker, P. T. 1972. Diffusion and Diffuse Cementation in Lime and Cement Stabilized Clayey Soils, *Australian Road Research Board Special Report* (8) 18-64.
- Szendefy, J. 2013. Impact of the soil-stabilization with lime, *Proc. of the 18th ISSMGE, Paris*, 2061-2064.
- Szendefy, J. 2009. *Hazai talajok szerkezetének és teherbírásnak változása meszes talajstabilizáció hatására*, BME, Budapest
- Szendefy, J. and Vamos M. 2015. Mésszel stabilizált talajok teherbírásának tartóssága és fagyállósága *Útügyi Lapok* 2 (3)
- Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilized Soil*, National Lime Association Technical Brief 2006.
- Amélioration des sols pour terrassements et fond de coffre: guide pratique* Centre de Recherche Routier, Belgium, 2010.
- ÚT 2.1-222:2007 General Geotechnical Rules of Planning and Construction of Roads and Highways* MAUT, Budapest 2007.

## SAOBRAĆAJNICE U FAZI EKSPLOATACIJE SA ASPEKTA STABILNOSTI TERENA

Vladeta Vujanić<sup>1</sup>, Slobodan Nedeljković<sup>2</sup>, Milovan Jotić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 11000 Beograd, Cara Nikolaja II 61c, e-mail: v.vujanic944@gmail.com; <sup>2</sup> 11000 Beograd, Južni Bulevar 38 Beograd, slnedeljkovic@sbb.rs; <sup>3</sup> 11000 Beograd, Nikolaja Gogolja 88, mjotic@hotmail.rs

**Rezime:** Finalizacija izgradnje saobraćajnica najviših kategorija koje se odlikuje velikim brzinama u odvijanju saobraćaja, u našoj zemlji privode se kraju. Kolovoz saobraćajnice u tesnoj je povezanosti sa terenom koji pripada saobraćajnici i bezbednost odvijanja saobraćaja na kolovozu u velikoj meri zavisi od inženjersko geološkog stanja terena koji je u zoni saobraćajnice. Kako teren pravca saobraćajnice prihvata veći broj generalnih revitalizacija kolovoza i objekata na kojima egzistira kolovoz (više vekova eksploatacije kolovoza, - jedinično trajnje veka uzimamo da je 10-20 godina), to je važno da svaki put generalnoj revitalizaciji kolovoza, prethodi dijagnoza inženjersko geološkog stanja terena, sa prognozom očekivanog razvoja inženjersko geoloških pojava u terenu u okviru konkretnog, njenog eksploatacionog perioda. Danas je u navedene svrhe prisutna dijagnostika i način inventarizacije inženjersko geoloških pojava, po metodološkom postupku koji je razrađen za potrebe baze podataka (Institut za puteve ad. Beograd).

Praktični značaj u navedenom pristupu, Autori vide pre svega, u mogućnosti doprinosa efikasnijem održavanju novo izgrađenih saobraćajnica. Na ovaj način, pokušava se da se rizici od nastanka inženjersko geoloških pojava, kroz efikasno održavanje saobraćajnica, svedu na prihvatljiv nivo, što će uvažiti ekonomsku i bezbednosnu komponentu.

**Ključne reči:** teren saobraćajnica, inženjersko geološke pojave, baza podataka, održavanje saobraćajnica

## THE ROADWAY IN THE PHASE OF ITS EXPLOITATION FROM THE ASPECT OF TERRAIN STABILITY

Vladeta Vujanić<sup>1</sup>, Slobodan Nedeljković<sup>2</sup>, Milovan Jotić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 11000 Beograd, Cara Nikolaja II 61c, e-mail: v.vujanic944@gmail.com; <sup>2</sup> 11000 Beograd, Južni Bulevar 38 Beograd, slnedeljkovic@sbb.rs; <sup>3</sup> 11000 Beograd, Nikolaja Gogolja 88, mjotic@hotmail.rs

**Abstract:** Completion of the construction of the high speed motorways in our country is in final stage. The motorway's pavement is in close connection with terrain and safety of traffic depends to a great extent on the engineering – geological state of the terrain which is in direct zone of the motorway. As the terrain of the roadway can receive a large number of the pavement's reconstructions as well as road objects reconstructions (more centuries of exploitation of the pavement – the unit life of the pavement should be taken to be 10-20 years), it is necessary to undertake diagnostic analyses of the engineering geological state of the terrain prior to reconstruction, with a prognosis of the expected development of engineering geological events in the terrain within the particular exploitation period. Now days they have been developed diagnostics and way of inventory of engineering-geological events for this purpose, according to methodology for the database established by The Highway institute JSC Belgrade.

According to authors' opinion, the practical significance of this approach is the possibility of contributing to more efficient maintenance of newly constructed roadways. In this way, through the efficient maintenance of the roadways, it is trying to reduce the risks of engineering geological phenomena to an acceptable level, which will take into account the economic and safety component.

**Keywords:** the roadway terrain, engineering geological phenomena, database, maintenance of the roadways.

### 1. UVOD

Saobraćajnice tretiramo kao objekte niskogradnje. To su pre svega liniski objekti koji između ostalog, po parametru funkcije, imaju ulogu „krvotoka“ za objekte visokogradnje.

Teren u kome egzistiraju saobraćajnice predstavlja deo geološke sredine koji je predmet izučavanja inženjerske geologije, odnosno geotehnike. **Opšti princip** koji je prisutan u **geologiji je princip samoorganizacije**. U navedenom delu geološke sredine prisutna je **tekuća prirodna samoorganizacija terena** koja je dominantno regulisana zastupljenim **inženjersko geološkim procesima** koje modifikuju **egzogeni prirodni uslovi** (atmosfera, mraz, sunce itd.), kao i **čovekova delatnost** [1], [2], [3], [4].

<sup>1</sup> Vladeta Vujanić: v.vujanic944@gmail.com

Pri planiranju izgradnje saobraćajnice (studije, istraživanja, gradnja), postupa se po projektima koji omogućuju da geološka sredina na inženjerski način prihvati saobraćajnicu, i ova uspešnost verifikuje se odgovarajućom procedurom kojom se saobraćajnica uključuje u tekući saobraćaj.

U daljem postupku (eksploatacija saobraćajnice), vrši se **održavanje** saobraćajnice preko **održavanja kolovoza** i **otklanjanja prepreka** koji nastanu na kolovozu **pri nestabilnosti delova terena koji je neposredno uz kolovoz**. Otuda, **održavanje** saobraćajnice pre svega, **vezano je za kolovoz**, dok samo **ugrožavanje saobraćaja** svodi se u **otklanjanju prepreka sa kolovoza**. Uspešnost **održavanja** saobraćajnice ima svoju **ekonomsku cenu**, i mi smo u našem radu pokušali da ukažemo **na put za koji očekujemo** da može da dovede **troškove održavanja na prihvatljiv nivo**, kada je reč o **uticaju geološke sredine na odvijanje saobraćaja**. Dosadašnja faktografija o broju evidentiranih lokacija klizišta i drugih vrsta nestabilnih pojava na putnoj mreži Srbije koja je prikazana na slici 1, kao i novoizgrađeni kilometri autoputeva, traže da se pristupu u održavanju saobraćajnica **posveti dužna pažnja**.

Radi boljeg pojašnjenja u sprovedenoj analizi, Autori u ovom radu u okviru **veka eksploatacije puta**, uveli su dva pojma i to, **eksploatacija putnog pravca** i **eksploatacija kolovoza**, s tim da se, postavka i analiza problema odnosi na eksploataciju putnog pravca.

## 2. POSTAVKA PROBLEMA

Kolovoz je usko povezan **sa odvijanjem saobraćaja** i prisutan je kako na trupu puta, tako i na objektima visokogradnje koji su u sastavu odvijanja saobraćaja na datom putu. Na ovaj način, vek eksploatacije puta povezan je sa objektima visokogradnje koji učestvuju u neposrednom odvijanju saobraćaja i kolovozom. Oni tokom te eksploatacije, mogu da budu više puta revitalizovani.

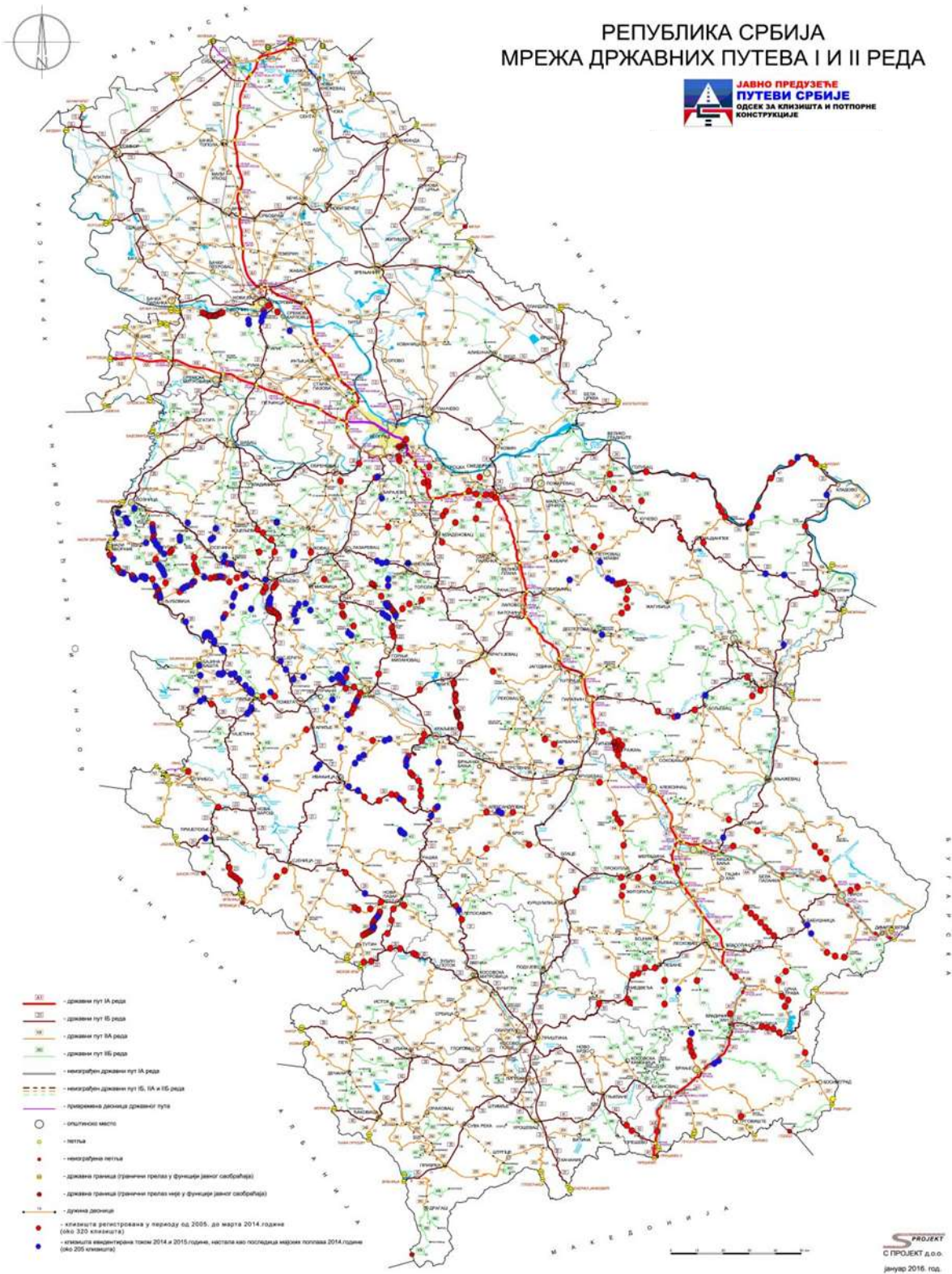
Vek eksploatacije putnog pravca vezan je, pre svega, **za teren koji je zauzet putem i nalazi se u zoni kolovoza do propisane udaljenosti sa obe njegove strane**. Zaleđe ovog dela terena je deo geološke sredine, koja praktično diktira prirodno geološko stanje terena (putnog pravca), preko **prirodnih, inženjersko geoloških procesa**. Teren putnog pravca tehnogenim građevinskim merama, biva prilagođavan bezbednom odvijanju saobraćaja duž kolovoza, i trajnost tih mera zavisi u mnogome, od njihove usaglašenosti sa prisutnim prirodnim inženjersko geološkim procesima, koji su zastupljeni u terenu neposrednog zaleđa geološke sredine. **Pri čemu je ovaj deo zaleđa u tesnoj povezanosti sa terenom putnog pravca**.

Naime, povredljivost terena manifestuje se preko inženjersko geoloških procesa i pojava, koje su veoma raznovrsne i zavise od litoloških članova koji učestvuju u građi terena, hidroloških i hidrogeoloških uslova, slika 1, [5]. Prikaze sa slika 1 i 2, autori često koriste u svojim radovima, pa i u ovom, jer one, ukazuju da se princip samoorganizacije terena u Srbiji manifestuje pojavama nestabilnosti (dominantno klizištima), i da se zato posle izvesnog vremena po izgradnji saobraćajnice iste (ili druge), javljaju duž njene trase [2], [3], [4].

Na slici 2, pokazana je potencijalnost nestabilnih terena i ona nam ukazuje na princip samoorganizacije inženjersko geološke sredine relevantne za prihvatanje putne mreže Srbije, [1] [2] i [3].

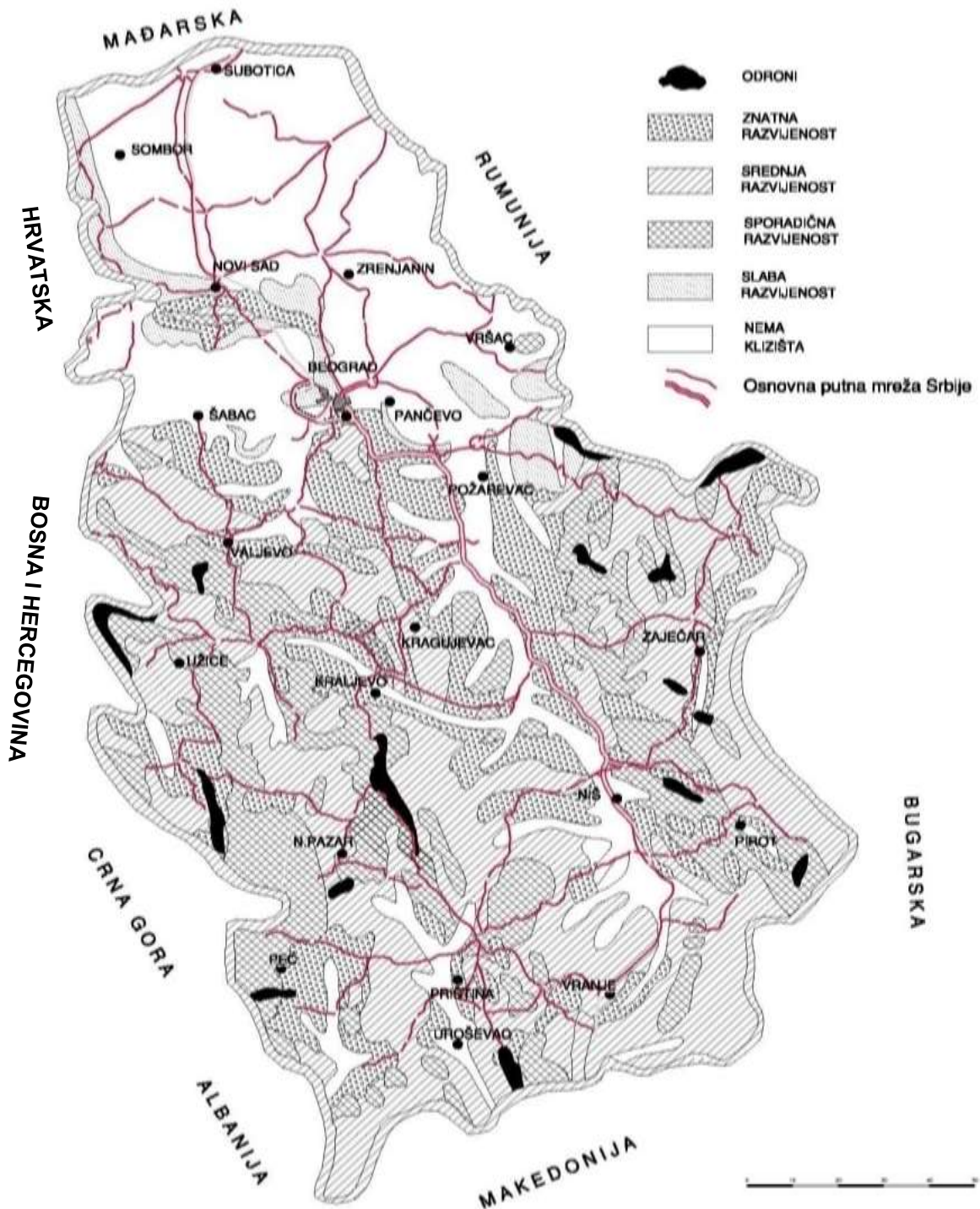
Princip samoorganizacije terena je prirodni proces i njemu se treba prilagoditi ako se teži ekonomskom pristupu. Otuda, ekonomski aspekt traži iznalaženje metodologije kojom je moguće prilagođavanje upravljanja terenom, **na način**, da se uticajnost nepovoljnih inženjersko geoloških procesa **dovede pod kontrolu**, i rezultat delatnosti tih procesa **svede na prihvatljiv nivo**. Prkatično, mi se zalažemo, da se u veku eksploatacije saobraćajnice pored evidentiranja nastalih nestabilnosti sprovodi, i **paralelni projekat** istraživanja zastupljenih inženjersko geoloških procesa, na osnovu metodologije koju treba oformiti. Metodologiju treba vezati za (projekat) inventarizaciju inženjersko geoloških pojava, po metodološkom postupku koji je razrađen za potrebe baze podataka (Institut za puteve ad. Beograd), slika 1. Jer su one, u suštini, po metodološkom principu i postupku komplementarne.

Održavanje puta u funkciji vezano je za obezbeđivanje bezbednog odvijanja saobraćaja na kolovozu i regulisano je odgovarajućom saobraćajnom signalizacijom. Otuda je održavanje vezano, pre svega, za otklanjanje nastalih deformacija kolovoza i sklanjanje fizičkih prepreka saobraćaju na kolovozu.



**Slika 1.** Pregledna karta klizišta na državnim putevima Srbije (M.Jotić, 2016.god.)





Slika 2. Shematski prikaz stepena razvijenosti procesa kliženja u Srbiji (M.Lazić, V.Vujanić I dr.)

Predispoziciju inženjersko geološkim pojavama datog tipa diktira inženjersko geološka građa terena datog pravca (teren saobraćajnice sa neposrednim zaleđem). Za potrebe preventive **treba konstatovati tip inženjersko geoloških procesa** koji je zastupljen na datim lokacijama. Naše zalaganje je, **da se sprovedu namenska istraživanja u ovom pravcu u okviru održavanja saobraćajnica**. Kontinuirano praćenje inženjersko geoloških procesa potrebno je, jer ovaj deo terena **prihvata više generalnih revitalizacija kolovoza**, i ima trajni karakter dok egzistira saobraćajnica. Praktično, ovakav pristup omogućuje prognozu **moгуćih** inženjersko geoloških pojava u vremenskom domenu sa određenom verovatnoćom, **i na osnovu toga može se definisati dinamički plan preduzimanja neposrednih aktivnosti u tekućem planu održavanja saobraćajnice**.



Događanje inženjerskogeoloških pojava možemo tretirati kao **vrstu povredljivosti** terena saobraćajnice. Inženjersko geološki procesi, dovode teren do potencijalnog stanja nastanka inženjersko geoloških pojava, kao što je prikazano na slici 2. Povećani uzrok nastanka pojava su, učestale atmosferske padavine velikog intenziteta, koje aktiviraju lokacije na kojima je delatnost inženjersko geoloških procesa dovela teren u stanje za nastanak pojave, ali se mogu aktivirati i lokacije na kojim je teren predisponiran za nastanak ovih pojava, [3], [6], [8].

### 3. SPROVEDENA ANALIZA I PREPORUKE

Upoređujući faktografiju datu na slici 1 i slici 2, jasno se može uočiti potencijal (razmere) pojava nestabilnih terena za prostor u kome su prisutne saobraćajnice, što je od značaja za opštu stabilnost i bezbednost odvijanja saobraćaja na pojedinim putnim pravcima.

Održavanje puta, vezano za bezbednost odvijanja saobraćaja na kolovozu (za razliku od putnog pravca, gde nema preciznijih propisa), regulisano je odgovarajućom saobraćajnom signalizacijom u skladu sa normativnom regulativom.

Sadašnje održavanje vezano je, pre svega, za otklanjanje nastalih deformacija kolovoza i fizičkih prepreka na njemu, nastalih zbog saobraćajnih uslova i događaja, kao i zbog inženjersko geoloških pojava u terenu duž putnog pravca, odnosno njihovim oštećenjem trupa puta, a time i samog kolovoza.

Održavanje saobraćajnica kako je postavljeno u dosadašnjoj praksi, praktično je interventnog tipa, tj. bavi se posledicama. Autori se zalažu da se uvede i komponenta prognoze nastanka buduće (nove) nestabilnosti, ali **i mera koje bi uticaj ovih nestabilnosti dovele na prihvatljiv ekonomski i bezbednosni nivo**. Bazu podataka o registrovanim nestabilnostima na putnoj mreži Srbije koju vodi Institut za puteve iz Beograda, trebalo bi oplemeniti, **tako da interventno održavanje puta ima i komponentu oslonca na ranije sprovedeno praćenje u kotinuiranom (po) vremenskom domenu stanja geološke sredine putnog pravca**. Ovo kontinuirano praćenje povezano je i sa praćenjem stanja geološke sredine, koja je u neposrednom zaleđu putnog pravca, **i zato je van domašaja zadataka koje ima služba održavanja**.

Za uspešnu realizaciju (svega) navedenog (kao predlog) neophodno je, **uvažiti prisutne inženjersko geološke i geotehničke uslove terena duž putnog pravca** i primenu inženjerskih tehničkih mera, prilagoditi tim uslovima. Jer, saobraćajnica u (širem) terenu putnog pravca predstavlja strano telo, i na pojedinim deonicama prisutni uslovi terena **ne prihvataju način** na koji je ista ugrađena. Pa se, preko inteziviranja rada inženjersko geoloških procesa dovodi do inženjersko geoloških pojava nestabilnosti. Otuda, sanaciji inženjersko geološke pojave nestabilnosti, treba prići sa aspekta (saznanja) prirodnih uslova **koju teren šalje**. Zato sanacija ne treba da bude **isključivo stvar tehničke prirode**. Praktično, sanacija inženjersko geoloških pojava ne treba da bude zasnovana, samo na uvažavanju njihovih **efikasnih otklanjanja**, kako bi se obezbedilo tekuće odvijanje saobraćaja. Potrebno je prići strategijom koja obezbeđuje trajnost sanacionih mera. Postupajući na predloženi način, obzbeđuje se, da teren putnog pravca bude u funkciji odvijanja saobraćaja, kako sa bezbednog (sigurnog), tako i sa racionalnog (efikasnog) aspekta.

### 4. ZAKLJUČAK

Teren jednom zauzet (izgrađenim) putnim pravcem, ne može se revitalizovati, i zato je neophodno poznavati inženjersko geološke procese (i pojave), koji se odvijaju (na i) u njemu. Na osnovu toga potrebno je oformiti saznanje o mogućem, njihovom uticaju na put, **kroz vreme eksploatacije puta**. Ova saznanja mogu se prevesti na izradu „**prognozne karte hazarda terena**“, koja treba da bude baza za ocenu, rizika terena po značaju pojava za nivo oštećenja trupa i kolovoza, kao i ometanje tekućeg saobraćaja, duž izgrađenog putnog pravca, sa novim (aktuelnim) kvalitativnim parametrima, koji su od značaja za **sigurnost i bezbednost putnog pravca**.

Neophodno je, **uvažiti prisutnu samoorganizaciju terena** duž putnog pravca i primenu inženjerskih tehničkih mera prilagoditi njenim zahtevima.

Novo izgrađene saobraćajnice tipa autoputa uz uvažavanje navedene faktografije, **traže dopunu postojećeg pristupa** koji se odnosi na službu održavanja saobraćajnica.

Autori ovim radom, žele **da daju doprinos poboljšanju postojećeg pristupa** koji se odnosi na službu održavanja saobraćajnica, imajući u vidu obim i značaj (novo) izgrađenih saobraćajnica.

## Literatura

- [1] Vujanić V., Izgradnja puta na labilnim I nestabilnim terenima. Monografija, časopis "Materijali I konstrukcije" N°1-2 (1994.godine).
- [2] Rokić LJ., Vujanić V., Proučavanje padinskih procesa za potrebe planiranja, projektovanja, izgradnje objekata. Monografija "Padine", Institut za puteve a.d. Beograd 2000. godina.
- [3] Vujanić V., Uticaj padinskih procesa na putno inženjerstvo. Prvi srpski kongres o putevima, Zbornik apstrakta i na CD-u Beograd, 5-10 jun 2014. godine.
- [4] Vujanić V. Šta je to geotehničko inženjerstvo, a šta je to geotehnika u putnom inženjerstvu – tumačenje značenja njegovih pojmova. Prvi srpski kongres o putevima, Zbornik apstrakta i na CD-u Beograd, 5-10 jun 2014 godine.
- [5] Vujanić V., Nedeljković S., Jotić M., Povredljivost terena i prihvatljiv rizik u savremenoj sredini, neki aspekti. 11 međunarodni naučno stručni skup „Savremena teorija i praksa u graditeljstvu“, Banja Luka 14 – 15 maj 2015.godine (135 – 142).
- [6] Jotić M., Vujanić V., Razmere i štete izazvane ciklonom "Tamara" na državnim putevima Srbije. XI Međunarodno naučno stručni skup "Savremena teorija i praksa u graditeljstvu" Banja Luka, 14-15 maj 2015. (113-122) godine.
- [7] Vujanić V., Nedeljković S., Jotić M., Zaštita životne sredine pri eksploataciji saobraćajnica – neki aspekti, Peti naučno stručni skup „put i životna sredina“, zbornik apstrakta i na CD-u, Vršac 28-29 septembar 2017godine.
- [8] Jotić M., Vujanić V., Zlatković M., Božić–Tomić K., Uticaj ekstremnih padavina i majskih bujičnih poplava 2014g., na formiranje klizišta na državnim putevima Srbije, zbornik apstrakata i na CD-u, Vršac 28-29 septembar 2017. godine.

## SEETO NETWORK MAINTENANCE NEEDS ASSESSMENT

**Prof. Igor Jokanović, Civil Eng., Ph.D.<sup>1</sup>**

*University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, Subotica, jokanovici@gf.uns.ac.rs*

**Assist. Prof. Bojan Matić, Civil Eng., Ph.D.**

*University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, bojanm@uns.ac.rs*

**Georgios Xanthakos, Civil Eng.**

*Mott MacDonald Connecta Consortium, Belgrade, georgios.xanthakos@connecta-ta.eu*

**Dušan Savković, Civil Eng.**

*Mott MacDonald, Belgrade, dusan.savkovic@mottmac.com*

**Abstract:** *The Western Balkans Comprehensive Network is strategically located with regard to the European transport system. It enables the continuity of different parts of the TEN-T Network, providing connections for the Central European countries to the Black Sea and further beyond to Asia. In order to ensure the sustainability of the network, which is playing an important role in the socio-economic development of the region, there is need for proper maintenance (routine and periodic), to maintain the service quality to its users, ensure economic and efficient road transport system, and also preserve the assets. A proper assessment of the maintenance needs is the foremost task for formulating any maintenance strategies and also there is a need to develop a sustainable mechanism to estimate the road maintenance needs in any given region or area. The entire maintenance needs assessment exercise is highly guided by the road asset preservation concept.*

**Keywords:** *SEETO network, condition, maintenance needs, assessment, data collection*

## OCENA POTREBA ODRŽAVANJA SEETO MREŽE

**Prof. dr Igor Jokanović, dipl.građ.inž.**

*Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica, jokanovici@gf.uns.ac.rs*

**Doc. dr Bojan Matić, dipl.građ.inž.**

*Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, bojanm@uns.ac.rs*

**Georgios Xanthakos, dipl.građ.inž.**

*Mott MacDonald Connecta Consortium, Beograd, georgios.xanthakos@connecta-ta.eu*

**Dušan Savković, dipl.građ.inž.**

*Mott MacDonald, Beograd, dusan.savkovic@mottmac.com*

**Rezime:** *Sveobuhvatna mreža zapadnog Balkana je strateški pozicionirana u odnosu na evropski transportni sistem. Ona omogućava kontinuitet različitih delova TEN-T mreže, obezbeđujući veze srednjeevropskih zemalja prema Crnom moru i dalje ka Aziji. Da bi se osigurala održivost mreže, koja igra važnu ulogu u društveno-ekonomskom razvoju regiona, neophodno je korektno obavljati održavanje (redovno i periodično), održavati kvalitet usluge njenim korisnicima, osigurati ekonomičan i efikasan drumski transport, kao i očuvati imovinu. Pravilna procena potreba za održavanjem je najvažniji zadatak za formulisanje bilo kakvih strategija održavanja, pri čemu postoji i potreba za razvijanjem održivog mehanizma za procenu potreba za održavanjem puteva u datom regionu ili području. Celokupan postupak procene potreba za održavanjem je vođen konceptom očuvanja putne imovine.*

**Ključne reči:** *SEETO mreža, stanje, potrebe održavanja, procena, prikupljanje podataka*

### 1. INTRODUCTION

The Berlin High Level Conference for the Western Balkans, which was held in August 2014, introduced the concept of the European Commission (EC) Connectivity Agenda for the Western Balkans Region. The initiative sought to improve cooperation and economic stability within the region and reaffirm the region's European Union (EU) perspective. This conference also provided a political framework for the more intensive development of transport infrastructure in the region.

Furthermore, substantial progress has been achieved during 2015, notably the agreement by the six Western Balkan (WB6) Prime Ministers in Brussels in April 2015 on the regional core transport network. This has been followed by the agreement (in Riga in June 2015) on the proposed extension of Core Network

---

<sup>1</sup> Igor Jokanović: jokanovici@gf.uns.ac.rs

Corridors (CNC) (the Mediterranean, Orient/East-Med and Rhine/Danube corridors were extended to WB6), as well as by the list of infrastructure projects and soft measures (including specific time lines for each measure) to be implemented by 2020 (in Vienna in August 2015).

In order to ensure the sustainability of the existing network, which is playing an important role in the socio-economic development of the region, there is need for proper maintenance (routine and periodic), to maintain the service quality to its users, ensure economic and efficient road transport system, and also preserve the assets, i.e. roads. It does not require further emphasis that an adequate and timely maintenance is required for all types of road surfaces to keep the roads in good level of serviceability, and also to preserve the road assets which have been developed over a long period of time.

## 2. SEETO CORE AND COMPREHENSIVE ROAD NETWORK

The Trans-European Transport Network (TEN-T) is a EC policy directed towards the implementation and development of a Europe-wide network of transportation facilities (roads, railway lines, inland waterways, maritime shipping routes, ports, airports and rail-road terminals).

The ultimate objective of TEN-T is to close gaps, remove bottlenecks and eliminate technical barriers that exist between the transport networks of EU Member States, strengthening the social, economic and territorial cohesion of the EU and contributing to the creation of a single European transport area. This aim should be achieved through several measures:

- construction of new physical infrastructure;
- adoption of innovative digital technologies, alternative fuels and universal standards;
- modernizing and upgrading of existing infrastructures and platforms.

The TEN-T Regulation 1315/2013 [1], recently amended by EC Delegated Regulation 2016/758 [2] forms the current legal basis for the development of the TEN-T. The EC has concluded that the TEN-T would be best developed through a dual-layer approach, consisting of a Comprehensive Network and a Core Network:

- The Comprehensive Network constitutes the basic layer of the TEN-T. It consists of all existing and planned infrastructure meeting the requirements of the TEN-T Guidelines. The Comprehensive Network is to be in place by the 31 December 2050;
- The Core Network is a focused sub-set of the Comprehensive Network, overlaying it, to connect the strategically most important nodes, hubs, and links/routes of the Comprehensive Network. The Core Network is to be in place by the 31 December 2030.

Therefore, only parts of the Comprehensive Network are selected for the Core Network (Figure 1), which are essentially the components of TEN-T with the highest European added value in terms of addressing cross border missing links, key bottlenecks and multi-modal nodes.



**Figure 1. Core Network Corridors**

Source: [https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure_en)

In a future EU enlargement, the transport networks of future Member States would be required to be integrated into the EU TEN-T Network at any given time. Coherence between the network development and compliance with EU regulations would undeniably enhance the integration process.

The Western Balkans Comprehensive Network is strategically located with regard to the European transport system. It constitutes a physical transport corridor that enables the continuity of different parts of the TEN-T Network, providing connections for the Central European countries to the Black Sea and further beyond to Asia. In June 2015, the transport infrastructure related Ministries of the WB6 and the EC (DG NEAR and DG MOVE) indicatively identified the main transport axes that will be connected to the existing TEN-T CNCs (as considered by Article 8 of the Regulation 1315/2013 [1]). The indicative extension of the TEN-T Network to the Western Balkans Region is articulated in EC Regulation 2016/758 [1], which amended the TEN-T Regulation. This was carried out in accordance with the application of the Planning Methodology for the Trans-European Transport Network [3], which sets out many of the specific criteria for identifying the network's Core nodes and subsequently Core links in terms of connecting Core nodes.

The WB6 agreed on the alignment of their core transport networks, which shall be developed in line with EU recommendations. Independent of their anticipated future membership of the EU, these Regional Partners (RPs) are already moving towards improving their transport systems in terms of both infrastructure and operational measures.

Furthermore, in June 2015 during the TEN-T days in Riga, three of the nine identified CNCs were proposed to be extended for the Western Balkans. The three identified CNCs are:

- the Orient-East Mediterranean Corridor which connects central Europe with the maritime interfaces of the North, Baltic, Black and Mediterranean seas;
- the Mediterranean Corridor which links the Iberian Peninsula with the Hungarian-Ukrainian border;
- the Rhine/Danube Corridor which provides the main East-West link between continental European countries, connecting France, Germany, Austria, Czech Republic, Slovakia, Hungary, Romania and Bulgaria all along the Main and Danube rivers to the Black Sea.

Within the revision process of the TEN-T network, the SEETO Comprehensive Network maps were included in the TEN-T Guidelines [3], where they appeared as indicative, and moreover, the SEETO Comprehensive Network was defined as "TEN-T Comprehensive Network in the South East Europe", and interlinks were determined. In this way, a clear perspective is given to become fully a part of the wider TEN-T network through RPs accession process.

The SEETO Core/Comprehensive Network consist of Routes and Corridors and its basic definition may be seen in Tables 1. and 2, while the general alignment is presented on Figure 2. The network totals to about 5,370 km.

**Table 1.** *Routes of the SEETO Core/Comprehensive Network*

Route	Indicative length [km]	General alignment
1	126	CRO border/Neum Northwest - Neum (BIH) - Bar (MNE)
2a	228	CRO border/Gradiška - Banja Luka (BIH) - Lašva (BIH)
2b	395	Sarajevo (BIH) - Podgorica (MNE) - Vore (ALB)
2c	125	Fier (ALB) - Kakavija/GR border
3	185	Sarajevo (BIH) - Užice (SER)
4	601	Romanian border/Vatin - Belgrade (SER) - Podgorica (MNE) - Bar (MNE)
5	213	Čačak (SER) - Kruševac (SER) - Paraćin (SER) - Vrška Čuka/BG border
6a	259	Ribarevina (MNE) - Ribariće (SER) - Prishtina (KOS) - Skopje (MKD)
6b	205	Prishtina (KOS) - Peje/Peć (KOS) - Kolašin (MNE)
7	314	Lezhe (ALB) - Prishtina (KOS) - Doljevac (SER)
8	78	Podmolje (MKD) - Bitola (MKD)
9a	305	Novi Sad (SER) - Ruma (SER) - Loznica (SER)/Zvornik (BIH) - Tuzla (BIH) - Doboj (BIH) - Banja Luka (BiH)
10	142	Miladinovci (MKD) - Štip (MKD) - Novo Selo (MKD)
Total:	3,176	

Source: <http://www.seetoint.org/seeto-comprehensive-network/seeto-comprehensive-road-network/routes/>



**Table 2.** Corridors of the SEETO Core/Comprehensive Network

Corridor	Indicative length [km]	General alignment
Vc	400	CRO border/Šamac (BIH) - Sarajevo (BIH) - Doljani/CRO border
VIII	657	Tirane/Durres/Vlore (ALB) - Skopje (MKD) - Deve Bair/BG border
X	726	CRO border/Batrovci - Belgrade (SER) - Skopje (MKD) - Bogorodica/GR border
Xb	185	HU border/Horgoš - Novi Belgrade (SER)
Xc	110	Niš (SER) - Gradina/BG border
Xd	117	Veles (MKD) - Medžitlija/GR border
Total:	2,195	

Source: <http://www.seetoint.org/seeto-comprehensive-network/seeto-comprehensive-road-network/corridors/>

**Figure 2.** General alignment of the SEETO Core/Comprehensive Network

Source: <http://www.seetoint.org/seeto-comprehensive-network/seeto-comprehensive-road-network/corridors/>

### 3. NETWORK CONDITION

#### 3.1. Data availability, quality and degree of update

The main challenge in establishing the maintenance needs for the SEETO Core/Comprehensive Network was the data availability and accuracy within WB6. Initial findings [4] showed that most of the road authorities do not perform regular road surveys and available information is well outdated (in certain cases even more than a decade old - for instance within the Republic of Srpska (RS) in Bosnia and Herzegovina (BIH) with the records dated in 2004), while some of the authorities (for instance at Kosovo) did not report any data on the lengths, quality or traffic volumes. Also, Macedonian and Montenegrin road authorities have never performed condition survey with automated equipment.

For these reasons, the comprehensive data questionnaire [4] asked for definition of the network quality either through International Roughness Index (IRI) values or by expert opinion and definition of surface quality by descriptive categories (very good - good - medium - poor - very poor), apart from other type of information on the network, maintenance and management activities.

Missing data on the road condition has been collected from the existing SEETIS (SEETO Information System) [5] records, however with critical assessment of the available information in terms of aggregation level and because it is established from the information received from RPs. Field surveys were not considered within this assignment, but the team has also provided their own expert estimate for the sections that did not have data according to their best knowledge or for which the information is available about certain interventions made in the recent times by which the condition was improved.

Traffic volume data is generally being collected for all WB6, however not at regular intervals as systematic process. Available records are spread between 2011 and 2016, while approximately one third (32.3%) of sections do not have any record of traffic volumes. For those that have, most of the records also show

vehicle classes. Information on traffic volume is one of the most important for deterioration forecast and future planning of works.

### 3.2. Description of network by quality parameters

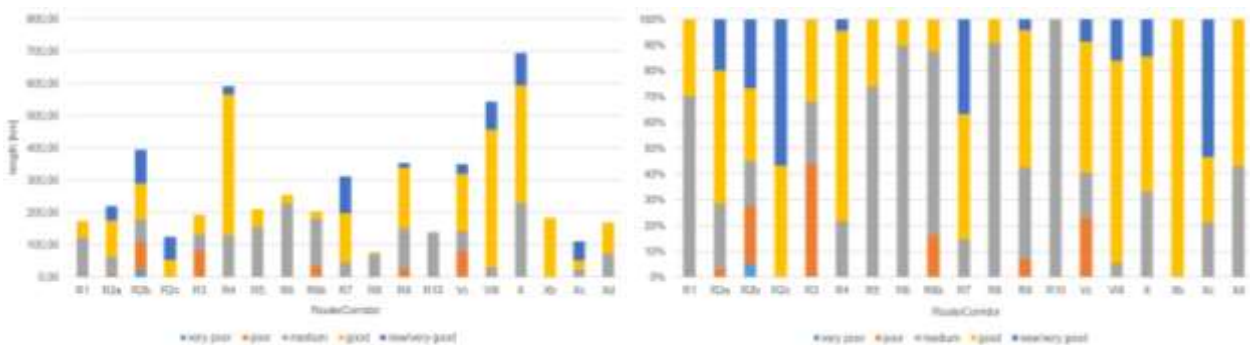
SEETO has overtaken the methodology for quality qualification of pavement surface from the TENtec [5]. This methodology defines five quality levels expressed through the IRI parameter, as presented in Table 3. For the purpose of the analysis of maintenance needs IRI thresholds were slightly modified, but this does not influence obtained results.

**Table 3. Pavement surface quality categories**

Quality rating	TENtec IRI [m/km]	Modified IRI [m/km]
very good	< 1.24	< 1,2
good	1.24 - 2.84	1.2 - 2.8
medium	2.84 - 5.09	2.8 - 5.1
poor	5.09 - 8.94	5.1 - 9
very poor	> 8.94	> 9

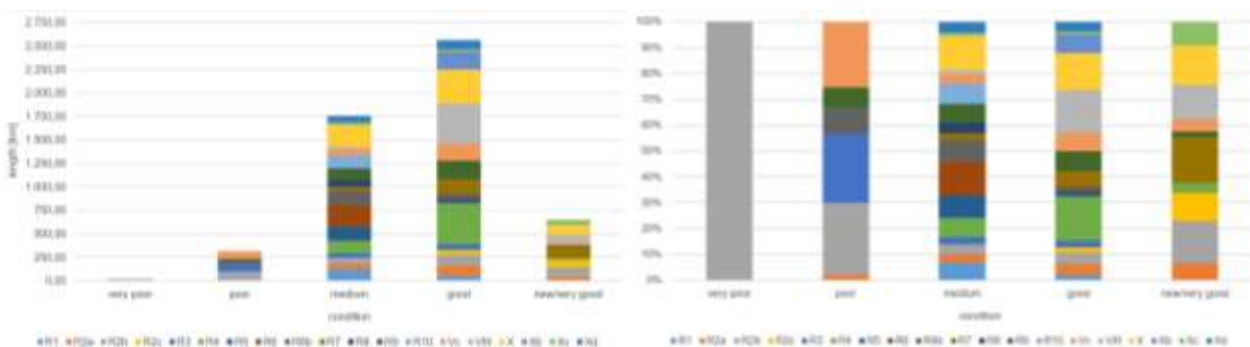
Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Data analysis [4] showed interesting findings about the existing network that are presented in Figures 3. to 7, and discussed below.



**Figure 3. Overview of Routes/Corridors condition**

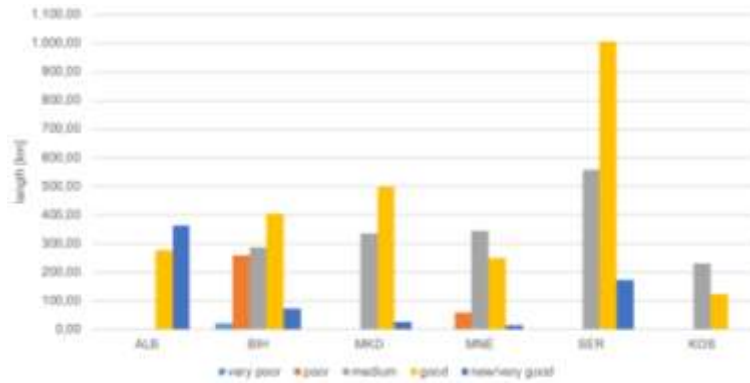
Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]



**Figure 4. SEETO Core/Comprehensive network divided to condition categories**

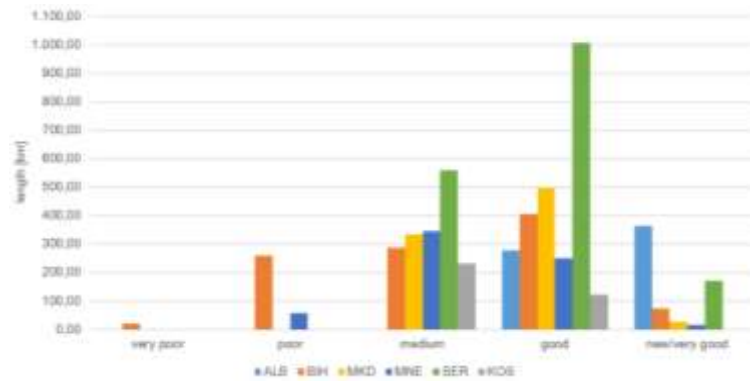
Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Throughout the network, there are only two roads having very good or good condition (or their combination). These are Route 2c (125 km) and Corridor Xb (183.9 km), while for the remaining roads condition is mostly varied between two or three categories (Figures 3. and 4). Very simplified, the roads in the best possible condition are Routes 2c (125 km) and 7 (312.7 km), as well as Corridors VIII (543.65 km) and Xb (183.9 km). The only road within the network having a certain portion of its length in very poor condition is the Route 2b, with the section between Brod na Drini and Šćepan Polje (20.75 km), near the border between BIH and Montenegro, running through the very hard, mountainous terrain, with number of rock- and landslides. It must be noted that construction of new alignment for this section had started in the early 1990's, but still not completed.

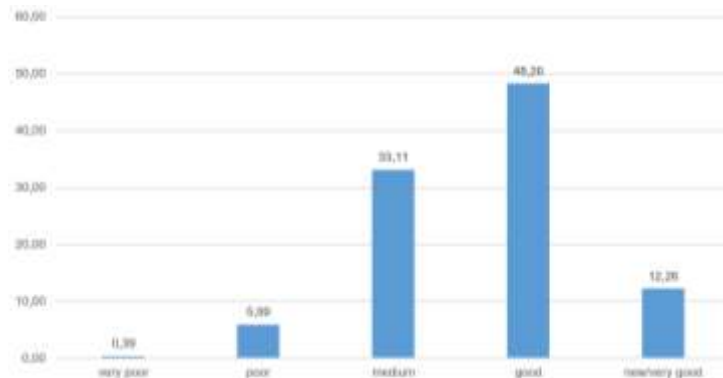


**Figure 5.** Overview of condition rating within each WB6  
 Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Interesting to note (Figures 5. and 6), condition of Albanian roads belonging to SEETO network is much better comparing to the remaining five RPs (only good and very good condition rating). Such condition is the result of major activities on Albanian roads belonging to SEETO network in the recent years (new construction and reconstruction/rehabilitation). Another important element of good practice in Albania is that all SEETO roads are now maintained through performance-based contracts with the support of the World Bank. It is also expected that Serbia will significantly improve condition of its portion of the SEETO network soon, apart from completion of the Corridor X, knowing that major road improvement project is ongoing. The only RP whose roads are spread through all five categories is BIH, although the very poor portion of the network is recorded for only 20.75 km.



**Figure 6.** Comparison of quality categories between WB6  
 Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]



**Figure 7.** Overall condition rating for SEETO Core/Comprehensive network  
 Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Overall, road sections in good and medium condition prevail (about 72%, Figure 7), while only some 6.4% of the overall SEETO Core/Comprehensive Network can be treated as “non-maintainable roads” (being in poor and very poor condition). The same figure shows that, in general, rather high portion of the network is in good and very good condition (about 60%). This can be attributed to the fact that many of the sections on the Corridors (Vc, VIII and X) are newly built or recently rehabilitated, and still did not suffer extensive traffic load.

This is also visible from Figure 3. So, this is not the result of the higher priority or specific treatment of the SEETO Core/Comprehensive Network during maintenance planning and programming exercises in any of the WB6 - all these roads are treated at the same level as any other section within the respective networks, but receive more frequent attention due to higher traffic load and faster deterioration.

#### 4. ASSESSMENT OF MAINTENANCE NEEDS

A proper assessment of the maintenance needs for the existing SEETO network is the foremost task for formulating any maintenance strategies and also there is a need to develop a sustainable mechanism to estimate the road maintenance needs in any given region or area. The entire maintenance needs assessment exercise [4] is highly guided by the road asset preservation concept.

##### 4.1. Methodology

Maintenance needs can be easily determined by comparison of survey results with relevant indicator values i.e. pre-determined levels of intervention. These levels are usually called intervention criteria. These criteria indicate the moment when a certain maintenance alternative has to be undertaken and represent the basic element of each management system. When the assessed condition falls outside the acceptable condition, a certain type of maintenance is required to rectify the condition. Selection of values for each of these criteria is very important because it directly influences the country's economy and is directly linked to the goal to be attained. These values are neither technically ideal nor the result of possible financial policy. The acceptable condition is normally based on economic and safety evaluations and criteria and varies for different road categories.

As described in the above section 3.2, the SEETO Core/Comprehensive Network has been already qualified in accordance with the TENtec methodology [5]. Following the soft measure “no section in poor/very poor condition”, all sections currently being qualified as poor or very poor immediately become the candidate for certain maintenance treatment (Table 4). Described maintenance treatments are also recommended through the SEETIS [5].

**Table 4.** *Pre-defined maintenance treatments*

Quality rating	Maintenance treatment
very good	road without problems and completely complying with standards (mainly new constructions)
good	road without problems
medium	road needs a new wearing course
poor	road needs a new overlay and wearing course
very poor	road needs a completely new pavement

Source: *Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018* [4]

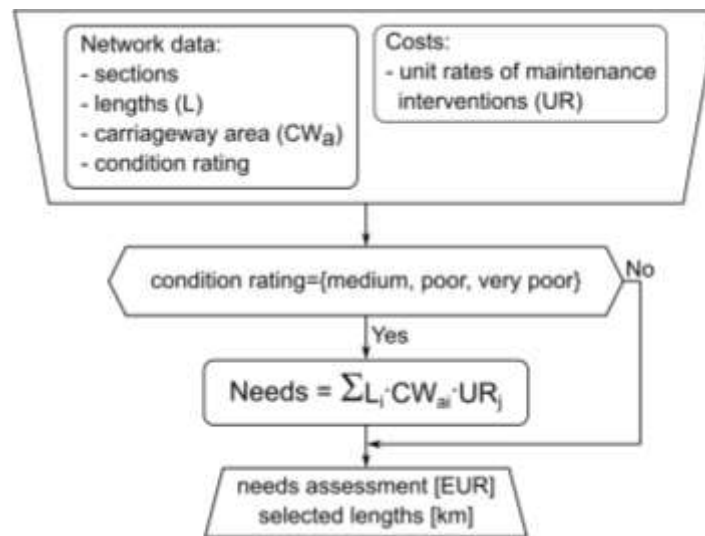
The roads showing the first three categories, i.e. very good, good and medium, are considered as the “maintainable roads”. However, knowing that the general road budgets in each of the WB6 is not enough to cover improvement of the condition for sections that are currently qualified as medium (or at least maintaining such condition at the same level), and taking into consideration traffic growth, it can be expected that most (if not all) sections in the medium condition will suffer decrease of the rating to poor or very poor. Therefore, all such sections were also taken into consideration while assessing maintenance needs.

In order to identify the amount of financial resources to be spent, i.e. to establish the maintenance backlog for a certain section, its carriageway surface area (length x carriageway width) is multiplied by the unit rate of the pre-defined intervention. After summing all individual needs, the total amount of funds for improving the quality of the network is obtained. Explained procedure is presented in Figure 8.

This procedure does not account maintenance needs or repairs of the major structures like bridges and tunnels. These were not subject to inspections for a prolonged period of time (some of them not even once since opening to traffic) so the records of the condition and remaining service life do not exist. Knowing that the pavement is the most valuable and the most exposed element of the road structure and may carry up to 80-85% of the maintenance costs, the assessment presented below in section 4.3 may be deemed accurate enough to get the impression of the current maintenance backlog along the SEETO Core/Comprehensive Network.

At the moment it is doubtful how accurate the routine maintenance needs can be assessed through this exercise. For such assessment, a detail inventory of all road assets (their quantity) and relevant costs are

necessary, but the records on the remaining items of the road structure (right-of-way area, culverts, bridges, tunnels, drainage elements, small engineering structures) and traffic signalization and equipment are not completely available within the WB6 road authorities. Very general assessment of routine maintenance needs is presented within the section 4.4.



**Figure 8.** Algorithm for assessment of major maintenance needs  
Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

#### 4.2. Unit rates of interventions

In order to assess maintenance needs, unit rates of various maintenance interventions were collected from the WB6 road authorities. Upon the detailed analysis of the available unit rates, either through the questionnaire or through the official pricelists for routine and periodic maintenance, as well as for new construction, the rates presented in Tables 5. to 7. were adopted for further work.

New pavement construction (pre-defined treatment for pavements in very poor condition (Table 5) consists of demolishing the pavement structure to depth of 25 cm and construction of new layers or cold recycling to depth of 25 cm (both include asphalt concrete 5 cm and bituminous layer 7 cm).

**Table 5.** Unit rate for construction of new pavement [EUR/m<sup>2</sup>]

ALB	BIH			MKD	MNE	SER	KOS	average	adopted
	RS	CFBIH	ACFBIH						
-	-	29.61	-	-	38.00	21.00	33.50	30.53	31.00

Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

**Table 6.** Unit rate for placement of new wearing course and bituminous layer [EUR/m<sup>2</sup>]

treatment	ALB	BIH			MKD	MNE	SER	KOS	average	overall average	adopted
		RS	CFBIH	ACFBIH							
AC 4 cm + BB 6 cm	19.80	18.46	20.24	17.65	16.86	29.36	13.77	-	19.45	21.01	22.00
AC 5 cm + BB 7 cm	24.00	22.15	-	19.02	20.28	33.36	16.59	-	22.57		

Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

**Table 7.** Unit rate for placement of new wearing course [EUR/m<sup>2</sup>]

treatment	ALB	BIH			MKD	MNE	SER	KOS	average	overall average	adopted
		RS	CFBIH	ACFBIH							
mill and replace 4 cm	10.00	9.74		8.55	9.30	12.46	7.37	5.50	8.99	12.34	13.00
mill and replace 5 cm	12.00	12.31	10.12	11.11	11.12	16.77	9.22	6.67	11.17		
mill and replace 6 cm	22.00	21.54			14.06	18.76	16.78	8.00	16.86		

Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Final unit rates for placement of new wearing course and bituminous layer (pre-defined treatment for pavements in poor condition, Table 6) and for placement of new wearing course (pre-defined treatment for pavements in medium condition, Table 7) are slightly impacted by lower rates for Kosovo and Serbia. These do not significantly reduce the average rates, but may to a certain level influence calculation for certain RPs where the unit rates are higher (e.g. Montenegro).



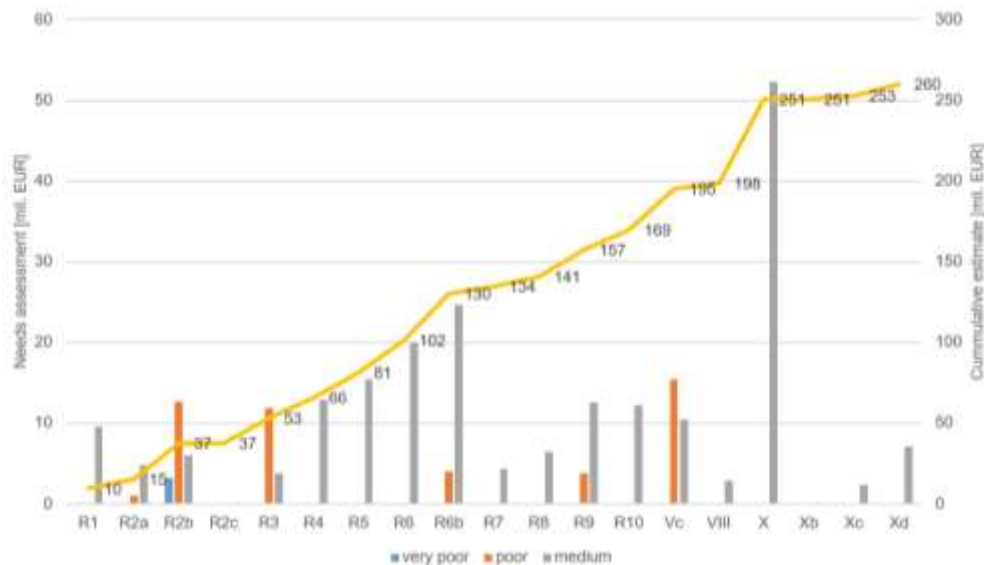
### 4.3. Results presentation and discussion

Following the methodology detailed in the above section 4.1 and algorithm for assessment of maintenance needs (Figure 8), needs of the existing network were assessed on the basis of data collected through questionnaires from WB6. Main results are presented and discussed further below (Table 8). Figures 9. and 10. show graphical presentation of results.

**Table 8.** Summary of maintenance needs per Route/Corridor

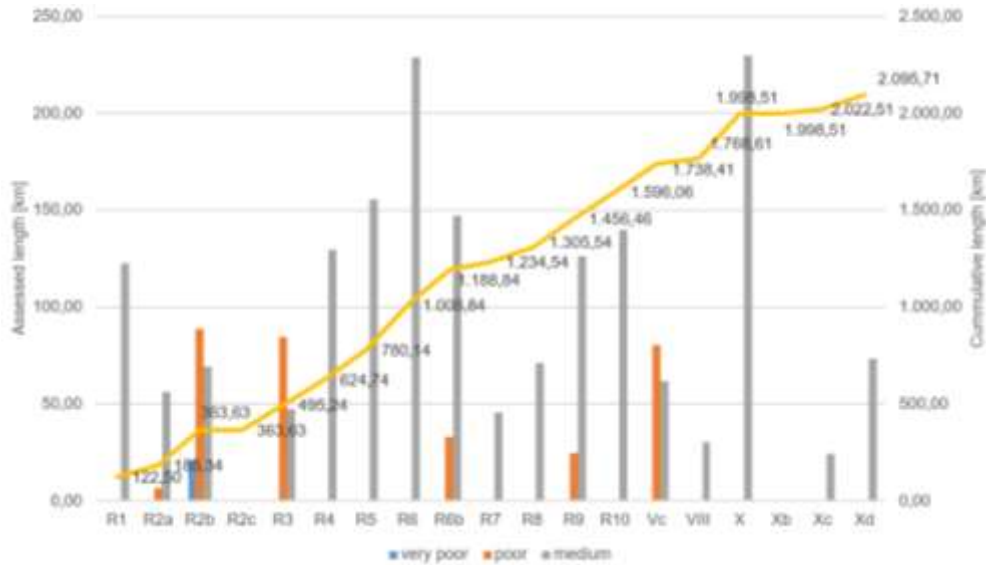
Route/ Corridor	Total length [km]	Condition						Total per Route/Corridor	
		very poor		poor		medium		length [km]	cost [EUR]
		length [km]	cost [EUR]	length [km]	cost [EUR]	length [km]	cost [EUR]		
R1	174.10	0.00	0.00	0.00	0.00	122.50	9,555,000.00	122.50	9,555,000.00
R2a	219.67	0.00	0.00	6.79	1,045,660.00	56.05	4,804,436.00	62.84	5,850,096.00
R2b	395.39	20.75	3,216,250.00	88.54	12,708,608.00	69.00	6,039,800.00	178.29	21,964,658.00
R2c	125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R3	200.52	0.00	0.00	84.31	11,888,904.50	47.31	3,843,937.50	131.62	15,732,842.00
R4	591.70	0.00	0.00	0.00	0.00	129.50	12,919,920.00	129.50	12,919,920.00
R5	210.00	0.00	0.00	0.00	0.00	155.40	15,434,250.00	155.40	15,434,250.00
R6	254.50	0.00	0.00	0.00	0.00	228.70	20,046,000.00	228.70	20,046,000.00
R6b	205.00	0.00	0.00	33.00	3,993,000.00	147.00	24,625,900.00	180.00	28,618,900.00
R7	312.70	0.00	0.00	0.00	0.00	45.70	4,339,010.00	45.70	4,339,010.00
R8	78.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.00	6,506,500.00	71.00	6,506,500.00
R9	354.13	0.00	0.00	24.61	3,814,382.00	126.31	12,503,081.50	150.92	16,317,463.50
R10	139.60	0.00	0.00	0.00	0.00	139.60	12,174,500.00	139.60	12,174,500.00
Vc	351.29	0.00	0.00	80.49	15,476,076.00	61.85	10,392,649.80	142.35	25,868,725.80
VIII	543.65	0.00	0.00	0.00	0.00	30.20	2,944,500.00	30.20	2,944,500.00
X	694.50	0.00	0.00	0.00	0.00	229.90	52,302,900.00	229.90	52,302,900.00
Xb	183.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Xc	111.42	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	2,340,000.00	24.00	2,340,000.00
Xd	170.20	0.00	0.00	0.00	0.00	73.20	7,137,000.00	73.20	7,137,000.00
Total per condition:		20.75	3,216,250.00	317.74	48,926,630.50	1,757.22	207,909,384.80	2,095.71	260,052,265.30

Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]



**Figure 9.** Summary of maintenance needs per Route/Corridor  
Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Total estimate for the identified portion of the SEETO Core/Comprehensive network of almost 2,100 km (39.4% of total network) reaches approximately EUR 260 million. Logically, and as a direct result of the longer portion of network in the medium condition (almost 1,800 km), comparing to the remaining two categories (21 km and 318 km), approximately EUR 208 million is necessary to keep this part of the network on the safe side, i.e. not to let it deteriorate further. Repair of Corridors requires about EUR 90 million, which is almost 35% of the needs to be spent for approximately 24% of the network. Taking into consideration importance of these Corridors in the overall WB6 transport system and traffic volumes, this is reasonable amount of resources needed for their maintenance.



**Figure 10.** Summary of Routes/Corridors' lengths deserving maintenance treatment  
 Source: Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, 2018 [4]

Out of the identified part of the network that needs maintenance treatment, 11.31 km within the poor category, as well as 284.09 km within the medium category, are roads with double carriageway providing highway/expressway level of service. This makes 17.1% of the whole double carriageway part of the network.

Having in mind the fact that maintenance needs for structures were not assessed, it can be concluded that the above amount of EUR 260 million may be increased for another 15-20% to come to the final estimate of EUR 300-315 million for coverage of the maintenance backlog over the complete SEETO Core/Comprehensive Network and taking into consideration the whole structure of the road. It must be noted that majority of structures has been built some 30+ years ago and usually did not receive proper care for all the past years.

#### 4.4. Assessment of routine maintenance needs

Routine maintenance comprises small-scale works conducted regularly, with the aim to ensure the daily passability and safety of existing roads in the short-run and to prevent premature deterioration of the roads. Frequency of activities varies, but is generally once or more a week or month. Typical activities include roadside verge clearing and grass cutting, cleaning of silted ditches and culverts, crack sealing, patching and pothole repair, small repairs of structures, maintenance during winter period, etc.

Current annual routine maintenance expenditures in the region vary between EUR 5,000 and 9,000 per kilometer for a single, dual lane carriageway [4]. About one quarter to one third of this cost covers maintenance during the winter season which can be harsh in the mountainous areas of the WB6 including heavy snow cleaning and prevention of ice forming on the carriageway. The respective unit rate for dual carriageway roads (i.e. highways and expressways) may be even double or triple higher than the same for a single carriageway road.

Thus, calculating with the average rates of EUR 7,000 per kilometer of single carriageway road and EUR 14,000 per kilometer of a dual carriageway road, the very rough estimate for the total network of about 5,300 km would be about EUR 50 million per annum (or roughly EUR 9,000 per kilometer as average for both single- and dual-carriageway roads) [4]. This estimate sounds reasonable comparing to the current levels of expenditures for routine and winter maintenance among WB6. It is the estimate that such effort in routine maintenance of the SEETO Core/Comprehensive Network would enable deterioration of carriageway at an average rate without the requirement for extensive rehabilitation or reconstruction works, and at the same time, would provide satisfactory level of service regarding remaining elements of the road body.

## 5. SYSTEMATIC APPROACH TO DATA COLLECTION FOR FUTURE NEEDS

For successful maintenance management it is crucially important to have the information necessary to realize the goals of the management system and to evaluate possible maintenance alternatives. Such information is the basis for rational planning and programming of works. Sound decisions need reliable, relevant, accessible and affordable information so that rational and informed judgments can be made. While it is possible for poor decisions to be made with good information, it is extremely difficult to make good decisions without it.

Data, i.e. inventory, condition, traffic, environmental and cost data, is vital to the success of any management system. Without data, it is not possible to conduct proper analysis and monitoring of the road network. Problems with data are one of the main causes cited in failure of a road management system or road maintenance management system [6].

Data are needed to provide the basis for management decisions on such aspects as:

- determining optimum road condition and maintenance strategies and expenditures needed to achieve this;
- determining optimum road condition within actual budget constraints;
- assessing current levels of road and structures (bridges, tunnels, etc.) condition;
- determining appropriate levels of investment;
- prioritizing capital improvements and investments in maintenance;
- simulating effects of any improvements on future condition and performance of the road system;
- estimating the cost of improvements;
- controlling on-going expenditures.

As presented in the above section 3.1, the main challenge during the needs assessment was to collect the data and fill-in the missing information. The analysis is based on condition data that were collected in different timeframes, some going back to even a decade ago. Moreover, outdated information on road condition prevents road authorities to plan and program appropriate activities at certain period of time, or at least track network condition and deterioration progress. So, the WB6 road authorities are basically in a position to make a double error, i.e. on the basis of the obsolete data for certain elements of the road structure or the absence of others, they are trying to make the decision that will guide them on the short- or long-term run.

Therefore, it is inevitably important to establish (or re-establish in certain cases) proper practice of road network data collection, not only for portions of SEETO Core/Comprehensive Network running through the respective RP, but for all roads under the jurisdiction of certain road authority.

Without proper database, particularly for the road inventory and latest pavement condition, any road maintenance intervention, planning, costing, funding, etc. cannot be worked out. Hence, all the road authorities must have a sustainable mechanism and system for collecting data with analysis support. For better data storing and analysis on an iterative basis for any planning purposes, computerized database arrangement would be highly useful, and hence desirable. The road authorities should have proper budgetary and adequate trained manpower support for the data collection on a regular basis.

## 6. CONCLUSION

The need for undertaking timely road maintenance has been widely realized for conserving the asset and also for ensuring uninterrupted efficient and effective road transport system. It has been often noticed that in socio-economic development plan, the construction of new roads gets due consideration, but when it comes on preserving the asset by proper maintenance plan and adequate financial support, it does not get the required importance. And with the result, i.e. "due to negligence in road maintenance", the road network gets deteriorated considerably and even completely. In such conditions, the network requires severe maintenance or rehabilitation demanding much higher financial allocations, causing higher transport cost, en-route damages and inconvenience to the road users.

All WB6 are highly dependent on the road transport system for passenger and freight movement, which reflects the high need for road maintenance with proper planning, technical strategies, and sustainable funding. This is even more important considering that most of the SEETO Core/Comprehensive Network coincides with the important road axis in the region. Some part of the overall road budget thus has to be

spent on construction and some part on maintaining the main network. But, many RPs have tended to favor new construction, rehabilitation or reconstruction of roads over maintenance. This has led to a steady increase in the backlog of road repairs and a loss of development impact.

Analysis performed within this study has shown that some 6.4% of the overall SEETO Core/Comprehensive Network can be treated as “non-maintainable roads” (being in poor and very poor condition), while another 33%, which is now in the medium condition, may soon become a good candidate to receive heavy maintenance treatment if the current practice continues. The needs for the backlog repair were assessed on the basis of data collected through questionnaires from WB6, resulting in the estimate of approximately EUR 260 million for almost 2,100 km. Moreover, in order to support asset preservation, the annual routine maintenance needs were estimated at about EUR 50 million for the overall SEETO Core/Comprehensive network.

Undertaking road maintenance activities requires a pragmatic approach, which would consist of proper needs assessment, availability of latest data on road inventory, pavement condition, cross drainage structure, terrain, and traffic data on volume, composition and loadability, desegregation of different types of maintenance as per the interventions required, appropriate technological choice, viz. man, machine and material. There is no need to emphasize the importance that the availability of funds is very essential for carrying out the proper and timely road maintenance works.

### **Acknowledgements**

The presented work was done through the European Union supported Technical Assistance to Connectivity in the Western Balkans. The authors are grateful for efforts and understanding of all the authorities who approved the operation and use of the data.

### **References**

- [1] Regulation (EU) No. 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU (Text with EEA relevance), Official Journal of the European Union, L 348, 2013.
- [2] Commission Delegated Regulation (EU) 2016/758 of 4 February 2016 amending Regulation (EU) No. 1315/2013 of the European Parliament and of the Council as regards adapting Annex III thereto (Text with EEA relevance), Official Journal of the European Union, L 126, 2016.
- [3] Building the Transport Core Network: Core Network Corridors and Connecting Europe Facility, European Commission, Communication from the Commission, COM (2013) 940 final, 2014.
- [4] Assessment Report for Road Maintenance Needs in WB6, Preparation of Maintenance Plans 2019-2023 for Road/Rail TEN-T indicative extensions to WB6, Mott MacDonald Connecta Consortium, 2018.
- [5] Available at: <http://webseetis.seetoint.org/seetis.home/> (March 17, 2018)
- [6] Bennett, C.R., Chamorro, A., Chen, C., De Solminihac, H., Flintsch, G.W. (2007). Data collection technologies for road management, The World Bank, Washington, D.C.

# UTICAJ SINTETIČKIH VLAKANA NA BAZI ARAMIDA I POLIOLEFINA NA FIZIČKO-MEHANIČKE I DINAMIČKE KARAKTERISTIKE ASFALTNE MEŠAVINE

Tošković Đorđe<sup>1</sup>, Jovanović Pavle, Tatić Uroš, Pap Imre

<sup>1</sup> Institut za puteve AD, Beograd, Srbija, Bulevar Peka Dapčevića 45, dj.toskovic@highway.rs

**Rezime:** Mešavina vlakana, opisana u ovom radu, sačinjena je od vlakana na bazi aramida i poliolefina, poznatih po svojoj čvrstoći, trajnosti i vezivnom svojstvu. Ovo je nova tehnologija sa primenom super materijala koja omogućava formiranje 3D skeletne armirajuće mreže u asfaltu. Vlakna se koriste kako bi se poboljšale performanse asfaltne mešavine u pogledu otpornosti na trajne deformacije, reflektujuće pukotine i pukotine usled zamora kolovozne konstrukcije. Ekonomski efekat je izražen kroz smanjenje debljine asfaltnog sloja i produženje eksploatacionog veka kolovoza.

Cilj ovog rada je da se uporede karakteristike asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana kao što su modul krutosti, otpornost na trajne deformacije i otpornost na zamor. Takođe, ispitivanja otpornosti na pojavu kolotruga, osetljivosti na vodu i indirektnu zateznu čvrstoću, pokazala su poboljšanja karakteristika asfaltne mešavine sa dodatkom vlakana.

**Ključne reči:** asfalt, supermaterijal, aramid, poliolefin, deformacija.

## THE INFLUENCE OF SYNTHETIC FIBERS ON THE BASE OF ARAMIDE AND POLYOLEFINES ON PHYSICAL-MECHANICAL AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES

Tošković Đorđe<sup>1</sup>, Jovanović Pavle, Tatić Uroš, Pap Imre

<sup>1</sup> Highway Institute, Belgrade, Serbia, Bulevar Peka Dapčevića 45, dj.toskovic@highway.rs

**Abstract:** Mixture of fiber used in this paper is made of fiber based on aramid and polyolefin, known for its strength, durability and bonding properties. This is a new technology with the use of super material that allows the formation of 3D skeletal reinforcing mesh in asphalt. Fibers are used to improve the performance of asphalt mix in terms of resistance to permanent deformation, reflecting cracks and cracks due to the fatigue of the pavement construction. The economic effect is expressed through the reduction of the thickness of the asphalt layer and the extension of the exploitation period of asphalt.

The aim of this paper is to compare the characteristics of asphalt mix AB 11s with and without fiber addition, such as stiffness modulus, resistance to permanent deformation and fatigue resistance. Also, resistance to rutting, water sensitivity and indirect tensile strength has been shown improvements the characteristics of asphalt mix with fiber reinforcement.

**Keywords:** asphalt, supermaterial, aramid, polyolefin, deformation.

### 1. UVOD

Povećanje saobraćajnog opterećenja kao i promena klime zahtevaju upotrebu dodataka asfaltu kako bi se poboljšale njegove karakteristike, jer asfaltne mešavine sa standardnim putnim bitumenom ne mogu da ispune sve zahteve kvaliteta (otpornost na kolotrage, otpornost na zamor, otpornost na termičke pukotine). Za poboljšanje karakteristika bitumena najčešće se koriste aditivi-polimeri, komercijalni ili reciklovani koji modifikuju karakteristike bitumena, odnosno asfaltnih mešavina. Pored aditiva koja modifikuju bitumen, primenjuju se i dodaci u obliku vlakana koja u asfaltu formiraju strukturu u obliku trodimenzionalne mreže. Takav tip vlakna, koja su primenjena u ovom radu, su na bazi aramida i poliolefina. Poliolefini se rastvaraju u bitumenu, a aramid formira 3D strukturu u asfaltu [1], [2], [3].

Cilj laboratorijskih ispitivanja, u ovom radu, je bio da se uporede efekti dodavanja vlakana na bazi aramida i poliolefina na fizičko-mehaničke, kohezivne karakteristike asfaltne mešavine, otpornost na pojavu kolotruga, otpornost na zamor, otpornost na trajnu deformaciju pri cikličnim pritiskom kao i dinamički modul krutosti u

---

<sup>1</sup> Đorđe Tošković: dj.toskovic@highway.rs



odnosu na asfaltnu mešavinu sa standardnim putnim bitumenom BIT 60 (B 50/70). Poboljšanje karakteristika asfaltne mešavine, primenom vlakana, omogućuje dimenzionisanje tanjih slojeva kolovozne konstrukcije a time i finansijsku uštedu za isti vek trajanja.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Ispitivanja u ovom radu obavljena su na asfaltnoj mešavini tipa asfaltnog-betona AB 11s (AC 11). Svi komponentalni materijali asfaltne mešavine (kamenno brašno, drobljeni pesak, agregat, bitumen), ispitani su u skladu sa važećim standardima. Za izradu asfaltnih mešavina AB 11s upotrebljeni su: kamenno brašno karbonatnog sastava, drobljeni pesak i drobljeni kameni agregat silikatnog sastava, što odgovara zahtevima standarda SRPS U.E4.014:90, za vrlo teško saobraćajno opterećenje. Kao vezivo upotrebljen je putni bitumen vrste B 50/70 i 0,05 % (m/m) vlakana u odnosu na asfaltnu mešavinu. Ispitivanje asfaltnih mešavina obavljeno je na Maršalovim uzorcima spravljanim u skladu sa SRPS EN 12697-35:2012, i asfaltnim pločama spravljanim uz pomoć roler kompaktora u skladu sa standardom SRPS EN 12697-33:2012. Temperatura pri kojoj su sabijani uzorci asfaltne mešavine sa vezivom B 50/70 kao i sa dodatkom vlakana, bila je  $150 \pm 3$  °C.

Vlakna koja su primenjena u ovom radu su kombinacija aramida i poliolefina (slika 1). Aramid je žute boje, a poliolefin sive boje. Pri mešanju sa vrelim asfaltom poliolefin se rastvara u bitumenu, a vlakna od aramida disperguju u mineralnoj mešavini i formiraju trodimenzionalnu strukturu u asfaltu. Količina vlakana koja se dodaje u asfaltnu mešavinu iznosi 0,05% (m/m).



Slika 1. Vlakna od aramida i poliolefina (FORTA FI®)

### 2.1. Projektovanje sastava i ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez vlakana

#### 2.1.1. Sastav mineralnih mešavina AB 11s

Mineralna mešavina za AB 11s projektovana je od drobljenog peska silikatnog sastava frakcije 0/2 mm i drobljenog kamenog agregata silikatnog sastava frakcija 2/4, 4/8 i 8/11,2 mm, uz dodatak kamenog brašna karbonatnog sastava u skladu sa graničnim pojasom iz SRPS U.E4.04:90.

U tabeli 1. prikazan je granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s.

Tabela 1. *Granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s, prolaz u % (m/m)*

	0,09 mm	0,25 mm	0,71 mm	2,0 mm	4,0 mm	8,0 mm	11,2 mm	16,0 mm
Projektovano	<b>9,0</b>	<b>13,3</b>	<b>20,9</b>	<b>40,5</b>	<b>56,9</b>	<b>80,5</b>	<b>98,6</b>	<b>100</b>
SRPS U.E4.014:90	3 - 11	8 - 18	16 - 30	31 - 48	49 - 65	75 - 87	97 - 100	100

### 2.1.2. Sastav asfaltnih mešavina AB 11s

Učešće komponentalnih materijala u asfaltnim mešavinama AB 11s prikazano je u tabeli 2. Optimalan sadržaj bitumena B 50/70 u oba slučaja je bio 5,6%, s tim što je u drugoj seriji mešavina dozirano i 0,05% vlakana.

**Tabela 2.** Sastav asfaltnih mešavina AB 11s sa 5,6 % (m/m) B 50/70

	Mineralna mešavina
Kameno brašno	8,5
Drobljeni pesak frakcije 0/2 mm	33,5
Drobljeni agregat frakcije 2/4 mm	11,0
Drobljeni agregat frakcije 4/8 mm	28,0
Drobljeni agregat frakcije 8/11,2 mm	19,0
Svega:	100,0

Temperatura zbijanja epruveta asfaltnih mešavina po Maršalu je  $150 \pm 3$  °C sa 2 x 50 udaraca za AB 11s sa i bez dodatka vlakana.

Umešavanje asfaltnih mešavina obavljeno je u asfaltnom mikseru prema SRPS EN 12697-35:2012 (slika 2), a sabijanje asfaltnih ploča pomoću kompaktora sa valjkom u skladu sa SRPS EN 12697-33:2012 (slika 3).



Slika 2. Asfaltni mikser



Slika 3. Kompaktor sa valjkom

### 2.1.3. Fizičko-mehanička ispitivanja asfaltnih mešavina AB 11s

Određivanje fizičko – mehaničkih karakteristika asfaltnih mešavina obavljeno je prema odgovarajućim standardima prikazanim u tabeli 3, u kojoj su prikazani uporedni rezultati sa i bez dodatka vlakana.

Iz rezultata ispitivanja se vidi da asfaltna mešavina sa dodatkom aditiva poseduje veću stabilnost i odnos stabilnosti i tečenja po Maršalu za približno iste zapreminske karakteristike asfaltna mešavine.

**Tabela 3.** Физичко-механичке карактеристике AB 11s са и без додатка vlakana

Karakteristike	Metod	Asfaltna mešavina		Критеријуми SRPS U.E4.014:90
		AB 11s	AB 11s + 0,05% vlakana	
Stabilnost na 60°C, (kN)	SRPS EN 12697-34: 2013	10,3	10,8	> 8,0
Tečenje na 60°C, (mm)		4,7	4,7	-
Odnos stabilnosti i tečenja na 60°C, (kN/mm)		2,2	2,3	> 2,2
Šupljine u asfaltnom uzorku, % (v/v)	SRPS U.E4.014:90 Т.13.5.3	5,0	5,0	4,5 – 5,5
Šupljine u mineralnoj mešavini ispunjene vezivom, % (v/v)	SRPS U.E4.014:90 Т.13.5.5	72,7	73,0	66 - 78
Šupljine u min. mešavini, % (v/v)	SRPS U.M8.093:67	18,4	18,5	-
Zapreminska masa asfaltnog uzorka, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.081:67	2439	2454	-
Prividna zapreminska masa asfaltne mešavine, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.082:67	2568	2584	-
Optimalan sadržaj veziva, (%)	SRPS U.E4.014:90	5,6	5,6	-

## 2.2. Dinamička ispitivanja uzoraka asfaltne mešavine

Ispitivanja dinamičkog modula krutosti, otpornosti na zamor i određivanje trajne deformacije pri cikličnom pritisku obavljena su na uređaju NAT (Nottingham Asphalt Tester).

### 2.2.1. Određivanje indirektnog zateznog modula krutosti (E\*) (ITSM-Indirect Tensile Stiffness Modulus Test)

Dinamički modul krutosti asfaltne mešavine (E\*) određen je na Maršalovim uzorcima Ø100 iz opita indirektnog zatezanja u skladu sa standardom SRPS EN 12697-26:2012 (slika 4).

Opit je izveden pod sledećim uslovima:

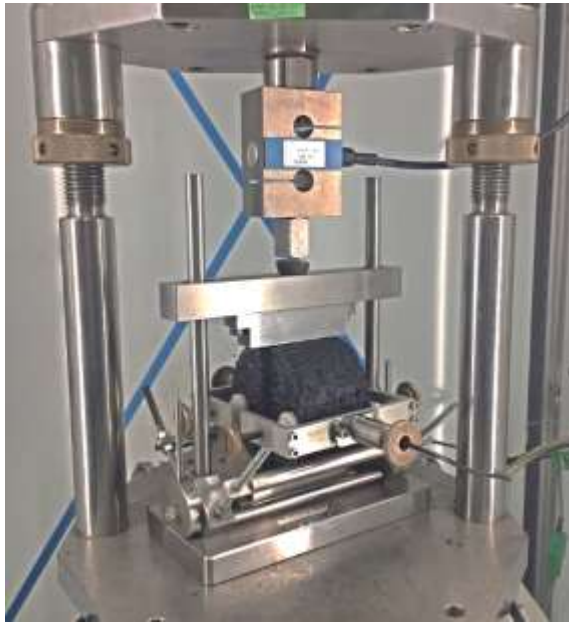
- temperatura: 20 ± 0,5 °S
- vreme rasta opterećenja: 124 ± 4 ms
- ponavljanje pulseva: 3,0 ± 0,1s
- broj ciklusa opterećenja: 5

U tabeli 4. prikazani su rezultati ispitivanja dinamičkog modula krutosti (E\*) AB 11s sa i bez dodatka vlakana.

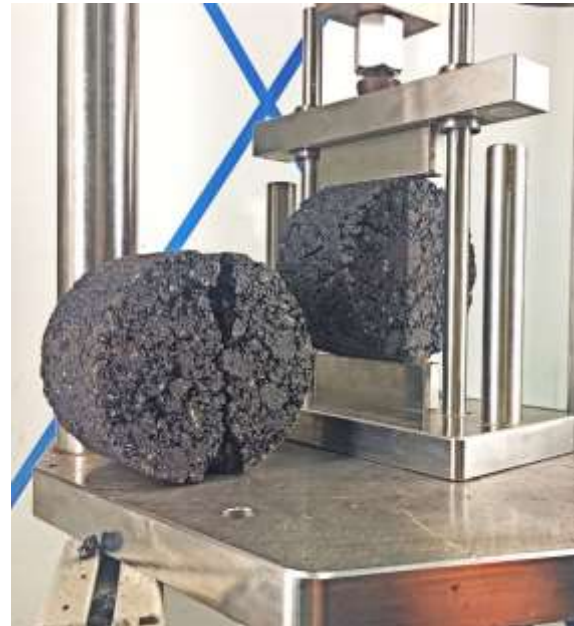
**Tabela 4.** Dinamički modul krutosti (E\*) asfaltne mešavine AB 11s sa i bez vlakana

Vrsta mešavine	Dinamički modul krutosti E* (MPa)
	izmerno
AB 11s	5840
AB 11s + vlakna	6777

Iz rezultata ispitivanja se vidi da dodatkom aditiva povećava modul krutosti asfaltne mešavine za oko 16 % u odnosu na asfaltnu mešavinu bez vlakana.



**Slika 4.** Oпит određivanja dinamičkog modula krutosti ( $E^*$ ) iz opita indirektnog zatezanja



**Slika 5.** Oпит одређивања отпорности на замор

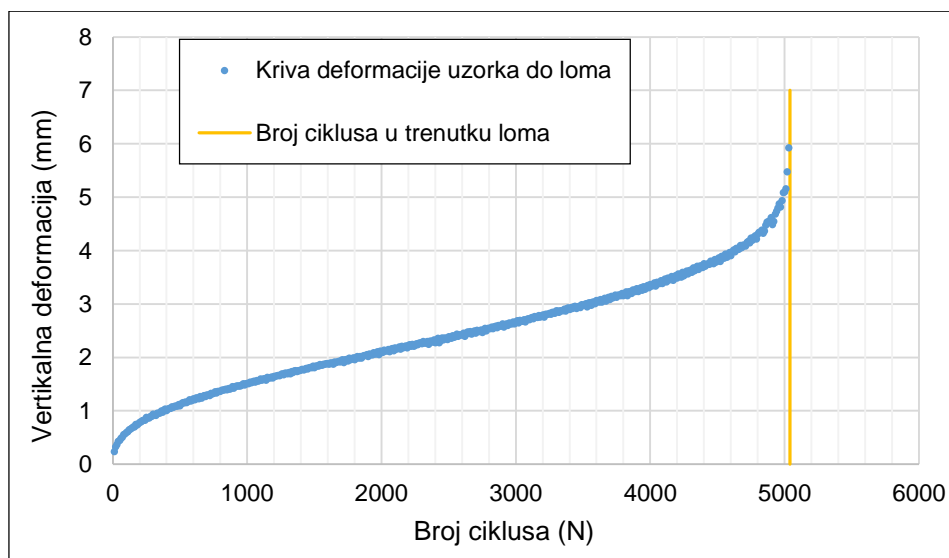
### 2.2.2. Određivanje otpornosti na zamor iz opita indirektnog zatezanja (ITFT - Indirect Tensile Fatigue Test)

Otpornost na zamor asfaltne mešavine određena je iz opita indirektnog zatezanja na maršalovim uzorcima prečnika  $\varnothing 100$  mm, slika 5. a u skladu sa standardom SRPS EN 12697-24:2013.

Opit je izveden pod sledećim uslovima:

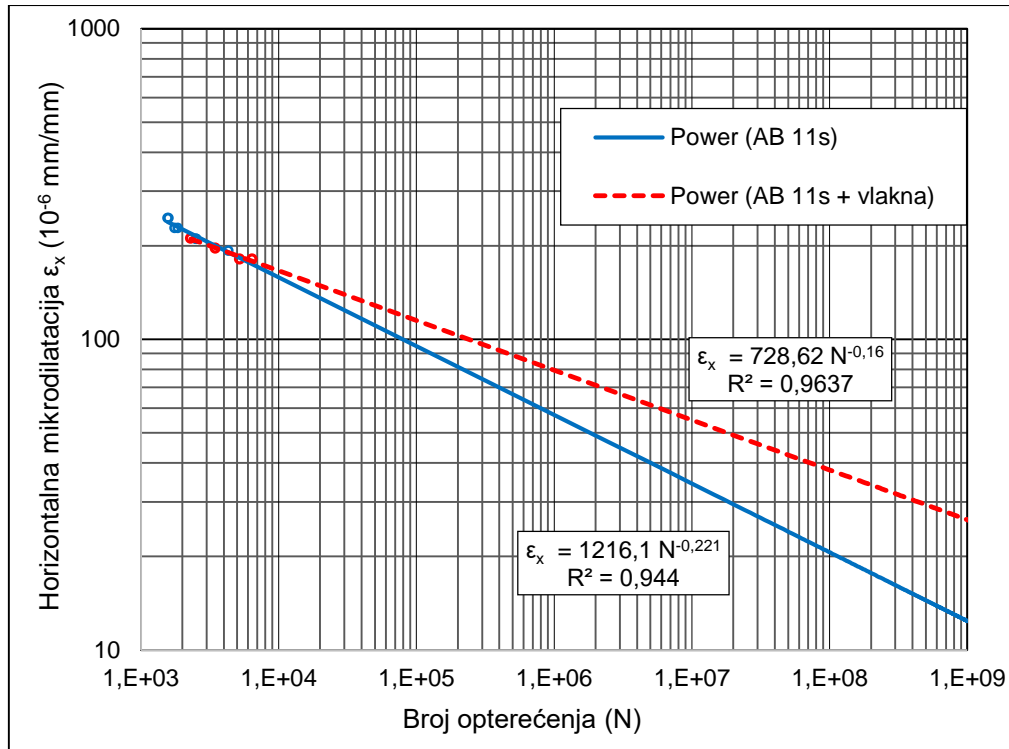
- temperatura:  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- vreme rasta opterećenja: 124 ms.

Primer krive, slika 6, vertikalne deformacije uzorka u odnosu na broj ciklusa do loma uzorka, pri horizontalnom naponu od 650 kPa i vremenu rasta opterećenja od 124 ms pri temperaturi od  $20^\circ\text{C}$ .



**Slika 6.** Kriva vertikalne deformacije u odnosu na broj ciklusa do loma uzorka

Na slici 7. prikazan je rezultat merenja otpornosti na zamor cilindričnih asfaltnih uzoraka iz opita ITFT-zavisnost mikrodilatacije pri zatezanju  $\epsilon_x$  ( $50 \times 10^{-6}$  mm/mm) od broja ciklusa opterećenja do zamora na 20°C za AB 11s sa i bez dodatka vlakana.



Slika 7. Dijagram otpornosti na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

U tabeli 5. i na dijagramu na slici 7. prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana (broj ciklusa opterećenja do zamora pri horizontalnoj mikrodilataciji  $50 \times 10^{-6}$  mm/mm).

Tabela 5. Otpornost na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

Vrsta mešavine	Broj cilusa opterećenja do zamora ( $N \times 10^6$ ) pri horizontalnoj mikrodilataciji od $50 \times 10^{-6}$ mm/mm
	Izmereno
AB 11s	1,868
AB 11s + vlakna	18,710

Iz rezultata ispitivanja otpornosti na zamor asfaltnih uzoraka, vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodatkom vlakana poseduje manji nagib krive zamora, samim tim i za oko 10 puta veću otpornost na zamor.

### 2.2.3. Određivanje otpornosti na kolotrage (WTT- Wheel Tracking Test )

Otpornost na kolotrage asfaltne mešavine određena je prema metodi sa malim točkom (slika 8) na pločama dimenzija 320x260x50 mm, spravljanim u kompaktoru sa valjkom (slika 3).

Opit je izveden u skladu sa standardom SRPS EN 12697-22:2012., Metoda B u vazduhu, Mali točak pod sledećim uslovima:

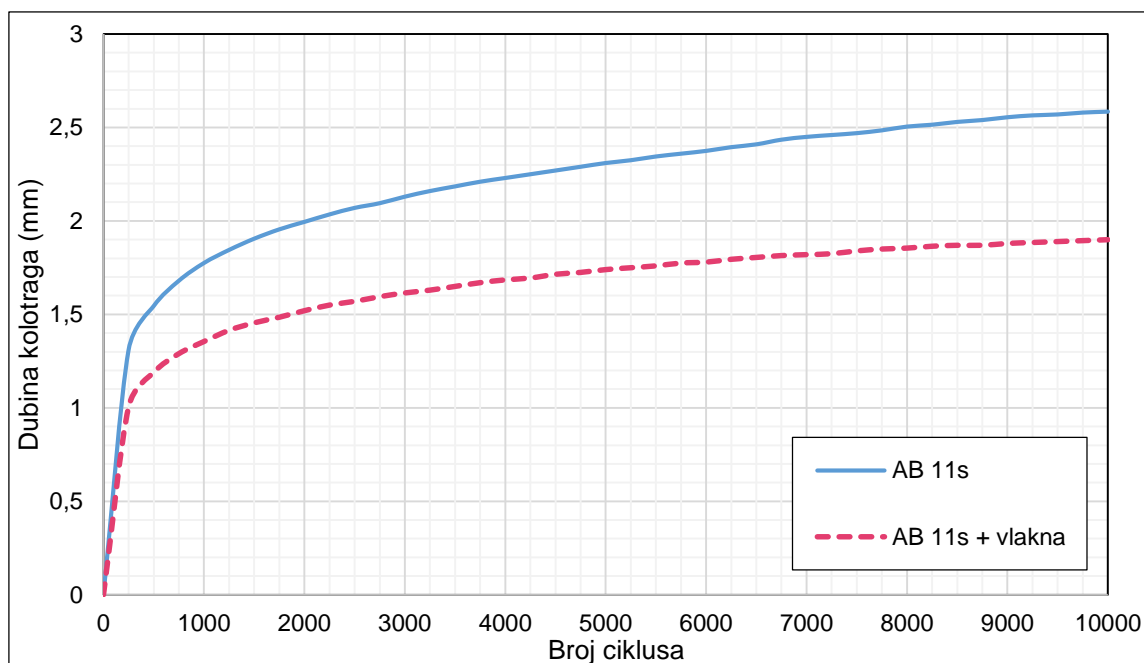
- kondicioniranje: 360min.
- temperatura ispitivanja:  $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$
- broj ciklusa/ponavljanja: 10000/20000

U dijagramu na slici 9. prikazan je rezultat merenja otpornosti na kolotrage asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez dodatka vlakana.





Slika 8. Uređaj za ispitivanje kolotruga metodom malog točka



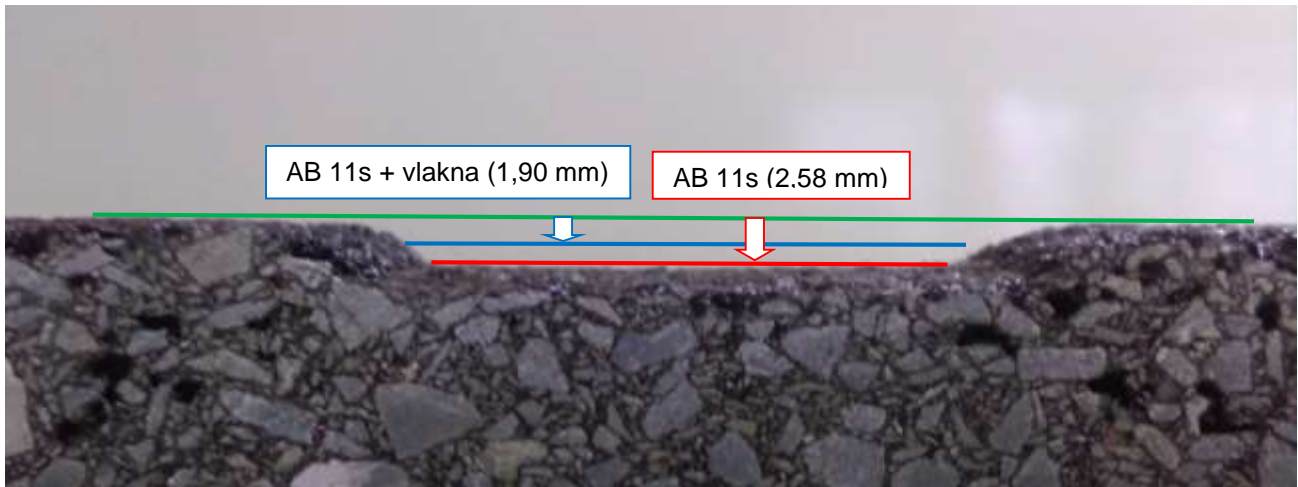
Slika 9. Dijagram otpornosti na kolotrage asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

U tabeli 6. prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na kolotrage asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez dodatka vlakana.

Tabela 6. Otpornost na kolotrage asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

Karakteristika	Mešavina	
	AB 11s	AB 11s + vlakna
Debljina uzorka, (mm)	50,0	50,0
Dubina kolotruga, $RD_{air}$ , (mm)	2,58	1,90
Proporcionalna dubina kolotruga, $PRD_{air}$ , $\%(\text{mm}/\text{mm})$	5,16	3,80
Nagib krive $WTS_{AIR}$ , $\text{mm}/10^3$ ciklusa opterećenja	0,055	0,032

Na slici 10. je prikazan uzorak asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana nakon izvršenog opita otpornosti na trajnu deformaciju metodom malog točka.



Slika 10. Uzorak ploče nakon opita određivanja otpornosti na kolotrage

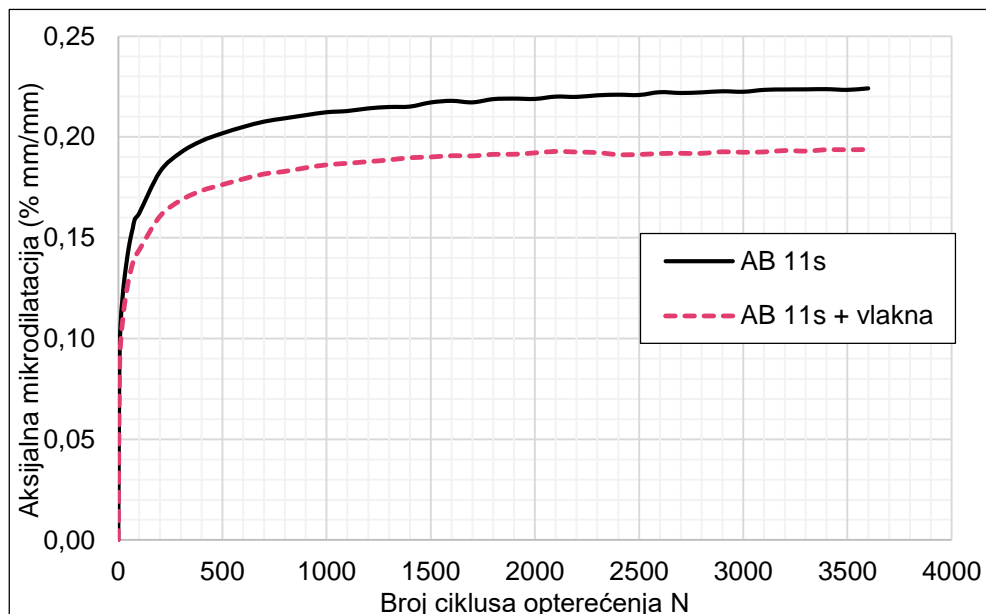
Iz rezultata ispitivanja, tabela 6. vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodakom vlakana, poseduje za oko 26 % manju dubinu kolotruga (RD), kao i manji nagib krive ( $WTS_{AIR}$ ).

#### 2.2.4. Trajna deformacija pri cikličnom pritisku (RLA - Repeated Load Axial)

Određivanje trajne deformacije pri cikličnom pritisku asfaltne mešavine, određena je na Maršalovim uzorcima prečnika  $\varnothing 100$  mm, a u skladu sa standardom SRPS EN 12697-25:2012, metoda B (Opit triaksijalnog pritiska), slika 10.

Opit je izveden pod sledećim uslovima:

- temperatura:  $40 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,
- bočni pritisak: 50 kPa;
- aksijalni pritisak: 100 kPa;
- broj ciklusa: 3600.



Slika 11. Dijagram otpornosti na trajne deformacije pri cikličnom pritisku asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

**Tabela 7.** Otpornost na kolotrage asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

Karakteristike	Metod	Mešavina	
		AB 11s	AB 11s + vlakna
Aksijalna trajna deformacija (% mm/mm)	SRPS EN 12697-25: 2012	0,2656	0,1938

Iz rezultata ispitivanja, tabela 7. vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodakom vlakana, poseduje za oko 27 % manju aksijalnu mikrodilataciju (% mm/mm). Primena vlakna pozitivno utiče na trajne deformacije, što je dokazano opitom kolotruga i cikličnim pritiskom pri sprečenim bočnim deformacijama.

### 2.2.5. Pad indirektna zatezne čvrstoće (ITSR-Indirect Tensile Strength Ratio)

Određivanje indirektna zatezne čvrstoće asfaltne mešavine, kao mera kohezivnih karakteristika asfaltne mešavine, određena je na Maršalovim uzorcima prečnika Ø100 mm, a u skladu sa standardom SRPS EN 12697-23:2012, metoda A.

Opite je izveden pod sledećim uslovima:

- temperatura:  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,
- brzina prirasta opterećenja:  $(50 \pm 2)$  mm/min,
- uzorci tretirani u vodenom kupatilu na  $40 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  u vremenskom periodu od 72 h.

**Tabela 8.** Pad indirektna zatezne čvrstoće uzoraka asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka vlakana

Karakteristike	Metod	Mešavina	
		AB 11s	AB 11s + vlakna
Indirektna zatezna čvrstoća u suvom stanju na $25^{\circ}\text{C}$ , (kPa)	SRPS EN 12697-23: 2012	1228,3	1349,4
Indirektna zatezna čvrstoća nakon tretiranja uzorka u vodi 72 h na $40^{\circ}\text{C}$ , (kPa)	SRPS EN 12697-23: 2012	996,2	1111,9
Pad indirektna zatezne čvrstoće na $25^{\circ}\text{C}$ , (%)	SRPS EN 12697-12: 2012	18,9	17,6



**Slika 12.** Vrsta loma uzorka asfaltne mešavine AB 11s

Iz rezultata ispitivanja vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodakom vlakana, poseduje za oko 10 % veću indirektnu zateznu čvrstoću (ITS). Pored indirektna zatezne čvrstoće, primena vlakna pozitivno utiče i na pad indirektna zatezne čvrstoće. Svi uzorci su mešovito g loma, kao što se može zaključiti na slici 11. uz ilustraciju mešovito g loma iz standarda SRPS EN 12697-12:2012.

### 3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Asfaltna mešavina za habajući sloj AB 11s, sa dodatkom 0,05 % vlakana na bazi aramida i poliolefina, poseduje veću krutost i otpornost na trajne deformacije (otpornost na kolotrage i ciklični pritisak), kao i veću otpornost na zamor i manji uticaj vode na koheziju, što je posledica velike čvrstoće na zatezanje vlakna aramida.

Dinamički modul krutosti je odnos amplituda napona i deformacija kao i funkcija frekvencije opterećenja i temperature. Određivanjem dinamičkog modula krutosti, zaključak je da se primenom vlakana, dobija kruća asfaltna mešavina. Modul krutosti asfaltne mešavine sa B 50/70, povećan je sa 5840 MPa na vrednost od 6777 MPa kod asfaltne mešavine sa dodatkom vlakana.

Otpornost asfaltne mešavine na trajne deformacije, određena je opitom kolotrage. Pojava kolotrage može biti izazvana sleganjem i/ili viskoplastičnom deformacijom na delu kolovoza izloženim prelazima točka. Vrednost dubine kolotrage asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva iznosi 1,90 mm (3,80 %), dok dubina kolotrage asfaltne mešavine sa B 50/70 iznosi 2,58 mm (5,16 %). Nagib krive zavisnosti deformacije - dubine kolotrage od broja ciklusa opterećenja - prelaza točka, kod asfaltne mešavine sa vlaknima iznosi 0,032, dok je kod asfaltne mešavine bez aditiva 0,055, što ukazuje na veću otpornost na pojavu kolotrage.

Otpornost na trajne deformacije, određena je opitom cikličnim pritiskom sa sprečenim bočnim deformacijama, pri aksijalnom naponu od 100 kPa i bočnim od 50 kPa. Asfaltna mešavina sa dodatkom vlakna poseduje aksijalnu mikrodilataciju od 0,1938 (% mm/mm), dok je asfaltna mešavina bez dodatka vlakana 0,2656 (% mm/mm). Ovim opitom je pokazano da asfaltna mešavina sa dodatkom vlakana, poseduje veću otpornost na trajne deformacije, samim tim i veću nosivost i trajnost kolovozne konstrukcije, što je pokazano i opitom kolotrage.

Otpornost asfaltne mešavine na zamor, određena je opitom indirektnog zatezanja na cilindričnim uzorcima (ITFT). Na osnovu rezultata ispitivanja, formirana je trend linija uz pomoć koje je moguće definisati otpornost asfaltne mešavine na zamor. Kao kriterijum otpornosti na zamor, usvojena je vrednost broja ciklusa pri horizontalnoj mikrodilataciji  $\epsilon_x = 50 \times 10^{-6}$  mm/mm. Asfaltna mešavina AB 11s ( $\epsilon_x = 1216,1 \cdot N^{-0,221}$ ) poseduje veći nagib krive što rezultuje broju ciklusa od  $1,868 \cdot 10^6$  pri horizontalnoj dilataciji od  $\epsilon_x = 50 \times 10^{-6}$  mm/mm, samim tim i manjom otpornosti na zamor u odnosu na asfaltna mešavina AB 11s sa dodatkom vlakana ( $\epsilon_x = 728,62 \cdot N^{-0,160}$ ), koja ostvaruje horizontalnu mikrodilataciju  $\epsilon_x = 50 \times 10^{-6}$  mm/mm pri  $18,710 \cdot 10^6$  broju ciklusa. Ovim opitom, ustanovljeno je da asfaltna mešavina sa dodatkom vlakana, može značajno više prelaza vozila da podnese pre nastanka inicijalnih pukotina a nakon toga i progresivnih, samim tim, asfaltna mešavina poseduje bolje performanse na pojavu pukotina i trajnost samog kolovoza.

Indirektna zatezna čvrstoća kod asfaltne mešavine sa dodatkom vlakana na bazi aramida i poliolefina je povećana sa 1228,34 kPa na 1349,4 kPa, a pad indirektno zatezne čvrstoće smanjen sa 18,9 % na 17,6 %, u odnosu na asfaltnu mešavinu sa B 50/70. Ovim opitom pokazano je da se primenom aditiva, poboljšavaju kohezivna svojstva asfaltne mešavine, samim tim dobija se otpornija mešavina na uticaj vode. Mešavina sa većom vrednošću pada indirektno zatezne čvrstoće, poseduje manju otpornost na razna oštećenja kolovoza, kao što je pojava pukotina usled zamora i udarnih rupa.

### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja asfaltnih mešavina AB 11s, poredeći asfaltnu mešavinu sa standardnim putnim bitumenom BIT 60 (B 50/70) i mešavine sa dodatkom vlakana na bazi aramida i poliolefina, može se konstatovati da se dodatkom 0,05% vlakana u asfaltnu mešavinu, ostvaruju sledeća poboljšanja:

- Povećanje stabilnosti i odnosa stabilnosti i tečenja po Maršalu za približno iste zapreminske karakteristike asfaltne mešavine,
- povećanje dinamičkog modula krutosti asfaltne mešavine za 16 %,
- povećanje otpornosti asfaltne mešavine na trajnu deformaciju (otpornost na kolotrage) za 26 %.
- povećanje otpornosti asfaltne mešavine na trajnu deformaciju (ciklični pritisak sa sprečenom bočnom deformacijom) za 27 %.
- povećanje otpornosti na zamor asfaltne mešavine za 10 puta,
- povećanje zatezne čvrstoće asfaltne mešavine za 10 %,
- veća indirektna zatezna čvrstoća i manji pad indirektno zatezne čvrstoće asfaltne mešavine posle dejstva vode.

S obzirom da su ispitivanja asfaltnih mešavina sa dodatkom vlakana na bazi aramida i polioelifna, sprovedena u laboratoriji, pokazala bolje karakteristike u odnosu na standardnu asfaltnu mešavinu, sledeća faza je izrada opitne deonice. Izradom opitne deonice pratiće se ponašanje asfaltno mešavine sa dodatkom vlakana u uslovima odvijanja saobraćaja i uticaja klimatskih faktora. Nakon određenog perioda eksploatacije ponovo će se ispitati karakteristike ugrađene asfaltno mešavine kao što otpornost na zamor, otpornost na pojavu kolotruga, uticaj vode na koheziju i vrednost dinamičkog modula krutosti asfaltno mešavine.

### **Zahvale**

Zahvaljujemo se firmi OPTICUS DOO BEOGRAD što nam je za ispitivanja u ovom radu ustupila uzorak vlakana FORTA-FI®.

### **Literatura**

- [1] Jaskula P., Stienss M., Szydłowski C. (2017). Effect of Polymer Fibres Reinforcement on Selected Properties of Asphalt Mixtures. Department of Highway Engineering, Gdańsk University of Technology, No. 11/12 Narutowicza St., 80-233 Gdansk, Poland, Pages 441-448.
- [2] Abiola O. S., Kupolati W. K., Sadiku E. R., and Ndambuki J. M. (2014) Utilisation of natural fibre as modifier in bituminous mixes. Department of Civil Engineering, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa, Pages 305-312.
- [3] Mondschein P., Mondschein P., Vavříčka J. (2011). Laboratory performance assessment of fiber reinforced asphalt mixes, 10, 5th international conference bituminous mixtures and pavements Thessaloniki, Pages 10.



# UTICAJ ADITIVA NA BAZI RECIKLIRANE GUME NA KARAKTERISTIKE ASFALTNE MEŠAVINE

Tošković Đorđe<sup>1</sup>, Jovanović Pavle, Tatić Uroš, Pap Imre

<sup>1</sup> Institut za puteve AD, Beograd, Srbija, Bulevar Peka Dapčevića 45, dj.toskovic@highway.rs

**Rezime:** Aditiv upotrebljen u ovom radu predstavlja sintetički polimer na bazi SBR kaučuka iz reciklirane gume i kopolimera olefina i voska stabilizovanih u bitumenu. U zavisnosti od vrste bitumena ovaj aditiv se dodaje bitumenu u količini od 10 do 20% za poboljšanje fizičko-mehaničkih i dinamičkih karakteristika asfaltnih mešavina tipa AB, BNS i SMA. Primena ovog aditiva, takođe, ima i pozitivan uticaj na zaštitu životne sredine sa aspekta reciklaže otpadne gume i smanjenja nivoa buke.

Cilj ovog rada je bio da se uporede karakteristike asfaltne mešavine tipa AB 11s sa i bez dodatka aditiva na bazi reciklirane gume, korišćenjem laboratorijskih ispitivanja kao što su dinamički modul krutosti, otpornost na trajne deformacije i otpornost na zamor, ispitanih na uređaju Nottingham Asphalt Tester (NAT). Takođe, ispitivanja otpornosti na pojavu kolotruga, osetljivosti na vodu i indirektno zatezne čvrstoće, pokazala su poboljšanja karakteristika asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva u odnosu na standardnu asfaltnu mešavinu.

**Ključne reči:** asfalt, aditiv, reciklovana guma, zaštita od buke

## THE EFFECT OF ADDITIVES BASED ON RECYCLED RUBBER TO THE ASPHALT MIXTURE CHARACTERISTICS

Tošković Đorđe<sup>1</sup>, Jovanović Pavle, Tatić Uroš, Pap Imre

<sup>1</sup> Highway Institute, Belgrade, Serbia, Bulevar Peka Dapčevića 45, dj.toskovic@highway.rs

**Abstract:** The used additive is a synthetic polymer based on SBR rubber from recycled rubber and olefin copolymers and bitumen stabilized wax. Depending on the type of bitumen, this additive is added to a bitumen in an amount of 10 to 20% for improving the physicomechanical and dynamic characteristics of asphalt mixtures of type AB, BNS and SMA. The application of this additive also has a positive impact on environmental protection from the recycling of waste tires and noise reduction.

The aim of this paper is to compare the characteristics of the asphalt mixture of type AB 11s with and without the addition of additives based on recycled rubber, using laboratory tests such as a complex dynamic module, resistance to permanent deformation and fatigue resistance tested on the Nottingham Asphalt Tester (NAT). Also, tests for resistance to rutting, water sensitivity and indirect tensile strength showed improvements in the characteristics of the asphalt mixture with the addition of the additive compared to the standard asphalt mixture.

**Keywords:** asphalt, additive, recycled rubber, noise reduction

### 1. UVOD

Povećanje saobraćajnog opterećenja kao i promena klime zahtevaju primenu modifikovanih veziva u asfaltnim mešavinama, jer standardni putni bitumeni ne mogu da ispuni sve zahteve kvaliteta (otpornost na kolotrage, otpornost na zamor, otpornost na termičke pukotine). Za poboljšanje karakteristika bitumena najčešće se koriste aditivi-polimeri, komercijalni ili reciklovani koji modifikuju karakteristike bitumena, odnosno asfaltnih mešavina. Aditiv koji je primenjen u ovom radu je na bazi SBR (Stiren-Butadien-Rubber) kaučuka iz reciklirane gume i kopolimera olefina i voska stabilizovanih bitumenom. Količina aditiva koja se dodaje asfaltnoj mešavini zavisi od vrste i učešća veziva koji se koristi u mešavini, u našem slučaju 0,5 % (m/m).

Cilj laboratorijskih ispitivanja, u ovom radu, je bio da se uporede efekti dodavanja aditiva na bazi reciklirane gume na fizičko-mehaničke i kohezivne karakteristike asfaltne mešavine, otpornost na pojavu kolotruga, otpornost na zamor kao i na dinamički modul krutosti u odnosu na asfaltnu mešavinu sa standardnim putnim bitumenom BIT 60 (B 50/70). Poboljšanje karakteristika asfaltne mešavine, pored uticaja na zaštitu životne sredine (reciklaža otpadne gume, smanjenje nivoa buke) omogućio bi i dimenzionisanje tanjih slojeva kolovozne konstrukcije, a time i finansijsku uštedu.

<sup>1</sup> Đorđe Tošković: dj.toskovic@highway.rs

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Ispitivanja u ovom radu obavljena su na asfaltnoj mešavini tipa asfaltnog-betona AB 11s (AC 11). Svi komponentalni materijali asfaltne mešavine (kamenno brašno, drobljeni pesak, agregat, bitumen), ispitani su u skladu sa važećim standardima. Za izradu asfaltnih mešavina AB 11s upotrebljeni su: kamenno brašno karbonatnog sastava, drobljeni pesak i agregat silikatnog sastava, što odgovara zahtevima standarda SRPS U.E4.014:90, za vrlo teško saobraćajno opterećenje. Kao vezivo upotrebljen je putni bitumen vrste B 50/70 i 0,5% aditiva u odnosu na asfaltnu mešavinu (9% u odnosu na bitumen). Ispitivanje asfaltnih mešavina obavljeno je na Maršalovim uzorcima, spravljanim u skladu sa SRPS EN 12697-35:2012, i asfaltnim pločama, spravljanim uz pomoć kompaktora sa valjkom, u skladu sa standardom SRPS EN 12697-33:2012. Temperatura pri kojoj su sabijani uzorci asfaltne mešavine sa vezivom B 50/70 je bila  $150 \pm 3^\circ\text{C}$ , a sa aditivom  $160 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Dodatkom 9% aditiva na bazi reciklovanе gume karakteristike bitumena B 50/70 se modifikuju u polimer-bitumen vrste PmB 25/55-60 (tabela 1).

**Tabela 1.** Karakteristike bitumena sa dodatkom 9% aditiva

Karakteristike	Metode ispitivanja	Rezultati ispitivanja		SRPS EN 14023:2013 PmB 25/55-60
		B 50/70	B 50/70 +9% Aditiva	
Penetracija na 25°C (1/10 mm)	SRPS EN 1426:2012	58	39	25 - 55
Tačka razmekšanja po PK (°C)	SRPS EN 1427:2012	51	60	≥ 60
Povratna elastičnost na 25°C (%)	SRPS EN 13398:2012	-	> 50	≥ 50

### 2.1. Projektovanje sastava i ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez aditiva

#### 2.1.1. Sastav mineralnih mešavina AB 11s

Mineralna mešavina za AB 11s projektovana je od drobljenog peska silikatnog sastava frakcije 0/2 mm i drobljenog agregata silikatnog sastava frakcija 2/4, 4/8 i 8/11,2 mm, uz dodatak kamenog brašna karbonatnog sastava u skladu sa graničnim pojasom iz SRPS U.E4.04:90.

U tabeli 2. prikazan je granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s.

**Tabela 2.** Granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s, prolaz u %(m/m)

	0,09 mm	0,25 mm	0,71 mm	2,0 mm	4,0 mm	8,0 mm	11,2 mm	16,0 mm
Projektovano	9,0	13,3	20,9	40,5	56,9	80,5	98,6	100
SRPS U.E4.014:90	3 - 11	8 - 18	16 - 30	31 - 48	49 - 65	75 - 87	97 - 100	100

#### 2.1.2. Sastav asfaltnih mešavina AB 11s

Učešće komponentalnih materijala u asfaltnim mešavinama AB 11s prikazano je u tabeli 2. Optimalan sadržaj bitumena B 50/70 u oba slučaja je bio 5,6%, s tim što je u drugoj seriji mešavina dozirano i 0,5% aditiva.

**Tabela 2.** Sastav asfaltnih mešavina AB 11s sa 5,6 %(m/m) B 50/70

	Mineralna mešavina
Kamenno brašno	8,5
Drobljeni pesak frakcije 0/2 mm	33,5
Drobljeni agregat frakcije 2/4 mm	11,0
Drobljeni agregat frakcije 4/8 mm	28,0
Drobljeni agregat frakcije 8/11,2 mm	19,0

Svega:	100,0
--------	-------

Temperatura zbijanja epruveta asfaltnih mešavina po Maršalu:

- $150 \pm 3$  °C sa 2 x 50 udaraca za AB 11s sa vezivom B 50/70
- $160 \pm 3$  °C sa 2 x 50 udaraca za AB 11s sa dodatkom aditiva na bazi reciklirane gume

Umešavanje asfaltnih mešavina obavljeno je u asfaltnom mikseru prema, SRPS EN 12697-35:2012 (slika 2), a sabijanje asfaltnih ploča pomoću kompaktora sa valjkom u skladu sa SRPS EN 12697-33:2012 (slika 3).



**Slika 2.** Asfaltni mikser



**Slika 3.** Kompaktor sa valjkom

### 2.1.3. Fizičko-mehanička ispitivanja asfaltnih mešavina AB 11s

Određivanje fizičko – mehaničkih karakteristika asfaltnih mešavina obavljeno je prema odgovarajućim standardima prikazanim u tabeli 4, u kojoj su prikazani uporedni rezultati sa i bez dodatka aditiva.

Iz rezultata ispitivanja se vidi da asfaltna mešavina sa dodatkom aditiva poseduje veću stabilnost i odnos stabilnosti i tečenja po Maršalu za približno iste zapreminske karakteristike asfaltne mešavine.

**Tabela 4.** Физичко-механичке карактеристике AB 11s са и без додатка адитива

Карактеристике	Метод	Асфалтна мешавина		Критеријуми SRPS U.E4.014:90
		AB 11s	AB 11s + 0,5% Адитив	
Стабилност на 60°C, (kN)	SRPS EN 12697-34: 2013	10,3	11,1	> 8,0
Теčenje на 60°C, (mm)		4,7	4,7	-
Однос стабилности и теčenja на 60°C, (kN/mm)		2,2	2,4	> 2,2
Šупљине у асфалтном узорку, % (v/v)	SRPS U.E4.014:90 Т.13.5.3	5,0	5,0	4,5 – 5,5
Šупљине у минералној мешавини испуњене везивом, %(v/v)	SRPS U.E4.014:90 Т.13.5.5	72,7	72,9	66 - 78
Šупљине у мин. мешавини, %(v/v)	SRPS U.M8.093:67	18,4	18,5	-
Запремска маса асфалтног узорка, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.081:67	2439	2437	-
Привидна запремска маса асфалтне мешавине, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.082:67	2568	2566	-
Оптималан садржај везива, (%)	SRPS U.E4.014:90	5,6	5,6	-

### 3.2. Динамичка испитивања узорака асфалтне мешавине

#### 2.2.1. Одређивање индиректног затезног модула крутости (E\*) (ITSM-Indirect Tensile Stiffness Modulus Test)

Динамички модул крутости асфалтне мешавине (E\*) одређен је на Маршаловим узорцима Ø100 из опита индиректног затезања, у складу са стандардом SRPS EN 12697-26:2012. (слика 4)

Опит је изведен под следећим условима:

- температура: 20 ± 0,5 °C
- време раста оптерећења: 124 ± 4 ms
- понављање pulseва: 3,0 ± 0,1s
- број циклуса оптерећења: 5

У табели 5. приказани су резултати испитивања динамичког модула крутости (E\*) AB 11s са и без додатка адитива.

**Tabela 5.** Динамички модул крутости (E\*) асфалтне мешавине AB 11s са и без адитива

Врста мешавине	Динамички модул крутости E* (MPa)
	измерно
AB 11s	5840
AB 11s + Адитив	8204

Из резултата испитивања се види да се додатком адитива повећава модул крутости асфалтне мешавине за око 40% у односу на асфалтну мешавину без адитива.



Slika 4. Oprema za određivanje dinamičkog modula krutosti ( $E^*$ ) iz opita indirektnog zatezanja



Slika 5. Oprema za određivanje otpornosti na zamor

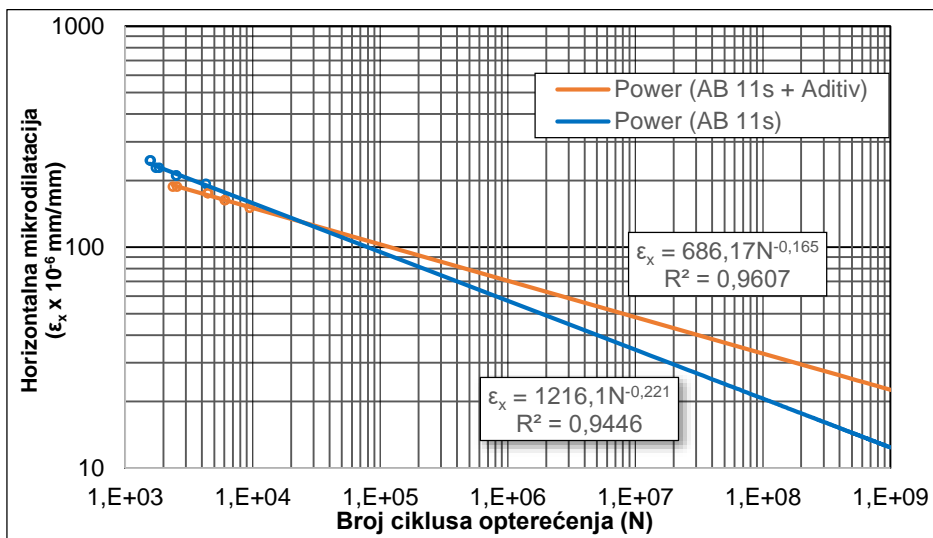
### 2.2.2. Određivanje otpornosti na zamor iz opita indirektnog zatezanja (ITFT - Indirect Tensile Fatigue Test)

Otpornost na zamor asfaltne mešavine određena je iz opita indirektnog zatezanja na maršalovim uzorcima prečnika  $\Phi 100$  mm, slika 5. a u skladu sa standardom SRPS EN 12697-24:2013.

Opite je izveden pod sledećim uslovima:

- temperatura:  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- vreme rasta opterećenja: 124 ms.

Na slici 6. prikazan je rezultat merenja otpornosti na zamor cilindričnih asfaltnih uzoraka iz opita ITFT-zavisnost horizontalne mikrodilatacije od broja ciklusa opterećenja do zamora na  $20^\circ\text{C}$  za AB 11s sa i bez dodatka aditiva.



Slika 6. Dijagram otpornosti na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva



U tabeli 6. i na dijagramu na slici 6. prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva (broj ciklusa opterećenja do zamora pri horizontalnoj mikrodilataciji  $50 \times 10^{-6}$  mm/mm).

**Tabela 6.** Otpornost na zamor asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva

Vrsta mešavine	Broj cilusa opterećenja do zamora ( $N \times 10^6$ ) pri horizontalnoj mikrodilataciji od $50 \times 10^{-6}$ mm/mm
	Izmereno
AB 11s	1,868
AB 11s + Aditiv	7,829

Iz rezultata ispitivanja otpornosti na zamor asfaltnih uzoraka, vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodakom aditiva poseduje manji nagib krive zamora, kao i za oko 4 puta veću otpornost na zamor.

### 2.2.3. Određivanje otpornosti na kolotrage (WTT- Wheel Tracking Test )

Otpornost na kolotrage asfaltne mešavine određena je prema metodi sa malim točkom (slika 7) na pločama dimenzija 320x260x50 mm, spravljanim u kompaktoru sa valjkom (slika 3).

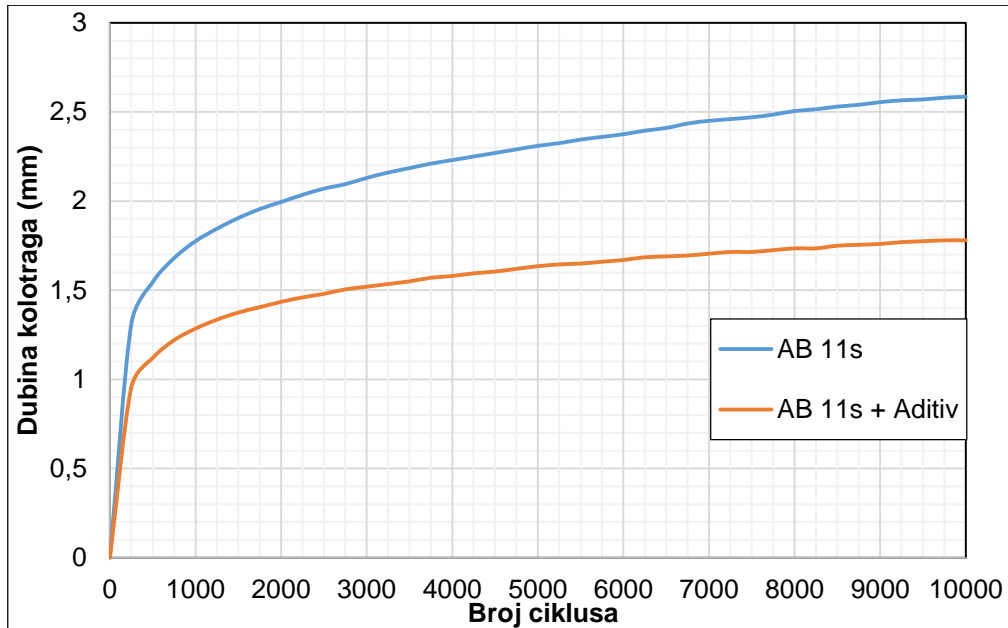
Opit je izveden u skladu sa standardom SRPS EN 12697-22:2012., Metoda B u vazduhu, Mali točak pod sledećim uslovima:

- kondicioniranje: 360min.
- temperatura ispitivanja:  $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$
- broj ciklusa/ponavljanja: 10000/20000

U dijagramu na slici 8. prikazan je rezultat merenja otpornosti na kolotrage asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez dodatka aditiva.



**Slika 7.** Uređaj za ispitivanje kolotruga metodom malog točka



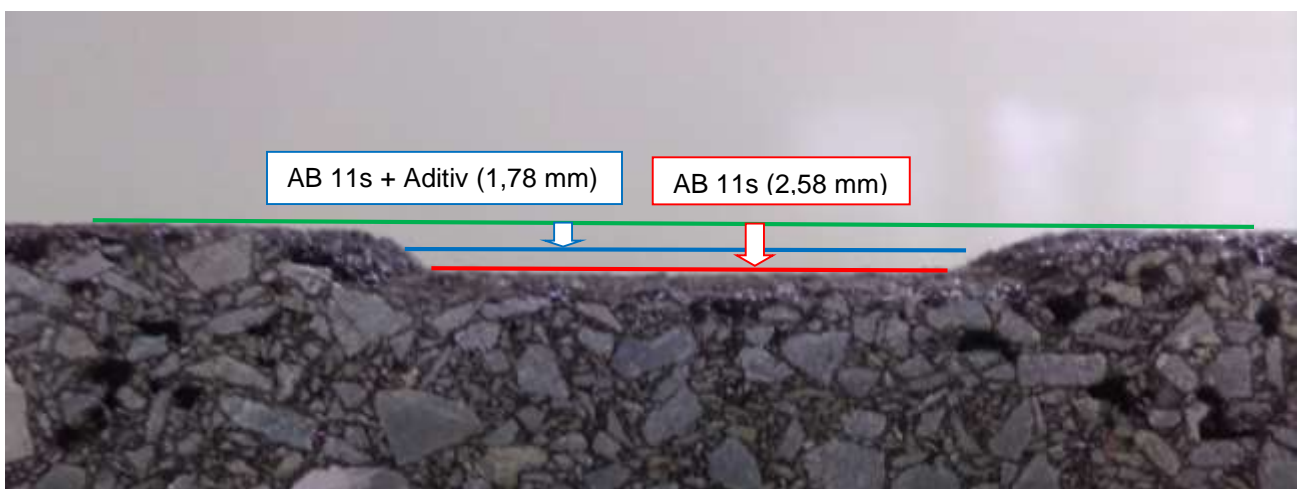
Slika 8. Dijagram otpornosti na kolotrage asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva

U tabeli 7. prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na kolotrage asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez dodatka aditiva.

Tabela 7. Otpornost na kolotrage asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva

Karakteristika	Mešavina	
	AB 11s	AB 11s + Aditiv
Debljina uzorka, (mm)	50,0	50,0
Dubina kolotruga, $RD_{air}$ , (mm)	2,58	1,78
Proporcionalna dubina kolotruga, $PRD_{air}$ , $\%$ (mm/mm)	5,16	3,56
Nagib krive $WTS_{AIR}$ , mm/ $10^3$ ciklusa opterećenja	0,055	0,029

Na slici 9. je prikazan uzorak asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva nakon izvršenog opita otpornosti na trajnu deformaciju metodom malog točka.



Slika 9. Uzorak ploče nakon opita određivanja otpornosti na kolotrage

## 2.2.4. Pad indirektna zatezne čvrstoće (ITSR-Indirect Tensile Strength Ratio)

Određivanje indirektna zatezne čvrstoće asfaltne mešavine, kao mera kohezivnih karakteristika asfaltne mešavine, određena je na Maršalovim uzorcima prečnika Ø100 mm, a u skladu sa standardom SRPS EN 12697-23:2012, metoda A.

Opit je izveden pod sledećim uslovima:

- temperatura:  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,
- brzina prirasta opterećenja:  $(50 \pm 2)$  mm/min,
- uzorci tretirani u vodenom kupatilu na  $40 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  u vremenskom periodu od 72 h.

**Tabela 8.** Pad indirektna zatezne čvrstoće uzoraka asfaltne mešavine AB 11s sa i bez dodatka aditiva

Karakteristike	Metod	Mešavina	
		AB 11s	AB 11s + Aditiv
Indirektna zatezna čvrstoća u suvom stanju na $25^{\circ}\text{C}$ , (kPa)	SRPS EN 12697-23:2012	1228,34	1423,88
Indirektna zatezna čvrstoća nakon tretiranja uzorka u vodi 72 h na $40^{\circ}\text{C}$ , (kPa)	SRPS EN 12697-23:2012	996,21	1284,34
Pad indirektna zatezne čvrstoće na $25^{\circ}\text{C}$ , (%)	SRPS EN 12697-12:2012	18,9	9,8



**Slika 10.** Vrsta loma uzorka asfaltne mešavine AB 11s

Iz rezultata ispitivanja vidi se da asfaltna mešavina AB 11s sa dodatkom aditiva, poseduje za oko 16 % veću indirektnu zateznu čvrstoću (ITS), kao i da je pad indirektna zatezne čvrstoće skoro prepolovljen. Svi uzorci su mešovito loma, kao što se može zaključiti na slici 10. uz ilustraciju mešovito loma iz standarda SRPS EN 12697-12:2012.

## 3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Dodatak aditiva na bazi reciklovanе gume modifikuje karakteristike bitumena B 50/70 u polimer-bitumen vrste PmB 25/55-60.

Asfaltna mešavina za habajući sloj AB 11s, sa dodatkom 0,5 % aditiva na bazi reciklirane gume, poseduje veću krutost i otpornost na trajne deformacije (otpornost na kolotrage), kao i veću otpornost na zamor i manji uticaj vode na koheziju, što je posledica elastičnih karakteristika SBR kaučuka iz reciklirane gume.

Dinamički modul krutosti je odnos amplituda napona i deformacija kao i funkcija frekvencije opterećenja i temperature. Određivanjem dinamičkog modula krutosti, zaključak je da se primenom aditiva, dobija kruća asfaltna mešavina. Modul krutosti asfaltne mešavine sa B 50/70, povećan je sa 5840 MPa na vrednost od 8204 MPa kod asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva.

Otpornost asfaltne mešavine na trajne deformacije, određena je opitom kolotruga. Pojava kolotruga može biti izazvana sleganjem i/ili viskoplastičnom deformacijom na delu kolovoza izloženim prelazima točka. Vrednost dubine kolotruga asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva iznosi 1,78 mm (3,56 %), dok dubina kolotruga asfaltne mešavine sa B 50/70 iznosi 2,58 mm (5,16 %). Nagib krive zavisnosti deformacije - dubine kolotruga od broja ciklusa opterećenja - prelaza točka, kod asfaltne mešavine sa aditivom iznosi 0,029, dok je kod asfaltne mešavine bez aditiva 0,055, što ukazuje na veću otpornost na pojavu kolotruga.

Otpornost asfaltne mešavine na zamor, određena je opitom indirektnog zatezanja na cilindričnim uzorcima (ITFT). Na osnovu rezultata ispitivanja, formirana je trend linija uz pomoć koje je moguće definisati otpornost asfaltne mešavine na zamor. Kao kriterijum otpornosti na zamor, usvojena je vrednost broja ciklusa pri horizontalnoj mikrodilataciji  $\epsilon_x = 50 \times 10^{-6}$  mm/mm. Asfaltna mešavina AB 11s sa B 50/70 poseduje veći nagib krive, samim tim i manju otpornost na zamor u odnosu na asfaltnu mešavinu AB 11s sa dodatkom aditiva. Ovim opitom, ustanovljeno je da asfaltna mešavina sa dodatkom aditiva može da podnese značajno više prelaza vozila pre nastanka pukotina, što utiče na trajnost samog kolovoza.

Indirektna zatezna čvrstoća kod asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva na bazi reciklirane gume je povećana sa 1228,34 kPa na 1423,88 kPa, a pad indirektno zatezne čvrstoće smanjen sa 18,9% na 9,8 %, u odnosu na asfaltnu mešavinu sa B 50/70. Ovim opitom pokazano je da se primenom aditiva, poboljšavaju kohezivna svojstva asfaltne mešavine, samim tim dobija se otpornija mešavina na uticaj vode. Mešavina sa većom vrednošću pada indirektno zatezne čvrstoće, poseduje manju otpornost na razna oštećenja kolovoza, kao što je pojava pukotina usled zamora i udarnih rupa.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja asfaltnih mešavina AB 11s, poredeći asfaltnu mešavinu sa standardnim putnim bitumenom BIT 60 (B 50/70) i mešavine sa dodatkom aditiva na bazi reciklirane gume može se konstatovati da se dodatkom 0,5% aditiva u asfaltnu mešavinu, ostvaruju sledeće performanse:

- Povećanje stabilnosti i odnosa stabilnosti i tečenja po Maršalu za približno iste zapreminske karakteristike asfaltne mešavine,
- povećanje dinamičkog modula krutosti asfaltne mešavine za oko 40%,
- povećanje otpornosti asfaltne mešavine na trajnu deformaciju (otpornost na kolotrage) za oko 30%.
- povećanje otpornosti na zamor,
- povećanje zatezne čvrstoće asfaltne mešavine za oko 16 %,
- veća indirektna zatezna čvrstoća i skoro duplo manji pad čvrstoće asfaltne mešavine posle dejstva vode.

Izradom opitne deonice pratiće se ponašanje asfaltne mešavine na bazi reciklirane gume u uslovima odvijanja saobraćaja i uticaja klimatskih faktora. Nakon određenog perioda eksploatacije ponovo će se ispitati karakteristike ugrađene asfaltne mešavine kao što su otpornost na zamor, otpornost na pojavu kolotruga, uticaj vode na koheziju i vrednost dinamičkog modula krutosti asfaltne mešavine.

#### Zahvale

Zahvaljujemo se firmi „Koltech“ iz Rusije što nam je za ispitivanja u ovom radu ustupila uzorak aditiva K.M.A.1105®.

#### Literatura

- [1] Andrić, I., Pap, I., Smiljanić, M., Stojnić, D. (2010). Primena aditiva na bazi reciklirane gume pri izradi habajućeg sloja na deonicama magistralnih puteva u Srbiji. Zbornik radova sa I nacionalnog simpozijuma sa međunarodnim učešćem "Teorijska i eksperimentalna istraživanja konstrukcija i njihova primena u građevinarstvu" TEIK 2010, Niš, Knjiga III, C 61-67.

## UTICAJ DODATKA ELEKTROFILTERSKOG LETEĆEG PEPELA NA ZATEZNE ČVRSTOĆE CEMENTNIH STABILIZACIJA OD ŠLJUNKA

**Milija Stojanović<sup>1</sup>, prof.dr Vlastimir Radonjanin, prof.dr Mirjana Malešev, dr Bojan Matić, Saeeda Furgan**

*Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, ul. dr Sime Miloševića 12, 21000 Novi Sad*

**Rezime:** U radu je analiziran uticaj količine i vrste veziva (portland cementa i elektrofilterskog letećeg pepela iz termoelektrana) na vrednost indirektno zatezne čvrstoće (ITS) cementnih stabilizacija kolovoznih konstrukcija. Agregat koji je stabilizovan navedenim vezivnim materijalima bio je trofrakcijski rečni šljunak. U eksperimentalnom istraživanju varirana je ukupna količina veziva, kao i procentualno učešće portland cementa i elektrofilterskog letećeg pepela. Opisane su osnovne karakteristike stabilizacijskih mešavina sa navedenim komponentnim materijalima.

*Laboratorijska ispitivanja su podeljena u dve faze. U prvoj fazi su Proctor-ovim opitom određene suve zapreminske mase mešavina za različite količine vode i ispitana njihova zavisnost u odnosu na ukupnu količinu veziva i procentualno učešće elektrofilterskog letećeg pepela. Druga faza je obuhvatila spravljanje uzoraka i ispitivanje indirektno zatezne čvrstoće, koja je obavezan uslov kvaliteta cementne stabilizacije. Indirektna zatezna čvrstoća je određena za dva različita perioda nege uzoraka.*

*Osnovni cilj rada je bio da se kroz teorijsko i eksperimentalno istraživanje provere mogućnosti primene otpadnog materijala, kao što je elektrofilterski leteći pepeo, u izradi kolovoznih konstrukcija, sa osvrtom na zatezne čvrstoće stabilizacije.*

**Ključne reči:** cementna stabilizacija, elektrofilterski leteći pepeo, indirektna zatezna čvrstoća (ITS), životna sredina.

## INFLUENCE OF FLY ASH ADDITION ON TENSION STRENGTH OF CEMENT STABILIZATION BASED LAYER WITH GRAVEL

**Abstract:** The influence of the quantity and type of binder (portland cement and fly ash from thermal power plants) on the value of indirect tensile strength (ITS) of cement stabilization of pavement structures are analyzed in the paper. The aggregate stabilized by these binder materials was a river aggregate separated in three fractions. In the experimental study, the total amount of binder has been varied, as well as the percentage participation of portland cement and fly ash. The basic characteristics of stabilization mixtures with specified components are described.

*Laboratory tests were divided into two phases. In the first phase, dry bulk density of mixtures for different quantities of water were determined with Proctor's experiment and their dependence on the total amount of binder and the percentage participation of fly ash were tested. The second phase was comprised the preparation of samples and the testing of indirect tensile strengths, which is a mandatory condition for the quality of cement stabilization. Indirect tensile strength was determined for two different curing periods of samples.*

*The main goal of the paper was to verify, through theoretical and experimental research, the possibility of using waste material, such as fly ash, in the construction of pavement structures, with a review to the tensile strength of the stabilization.*

**Keywords:** cement stabilization, fly ash, indirect tensile strength (ITS), environment.

### 1. UVOD

Dimenzionisanje slojeva kolovozne konstrukcije i njihov sastav zavise od više faktora, a osnovni parametar koji ih određuje je vrednost saobraćajnog opterećenja za koju se kolovozna konstrukcija projektuje. Veće saobraćajno opterećenje zahteva ugradnju kvalitetnijih nosećih slojeva kolovozne konstrukcije čija funkcija je prijem i prenos opterećenje na posteljicu. Jedan od tih nosećih slojeva je i sloj cementne stabilizacije. Tradicionalna izrada stabilizacija kolovoznih konstrukcija, sa prirodnim agregatima i cementnim vezivima, u poslednje vreme se u svetu sve manje koristi, a prednosti se daju novijim tipovima gradnje. Brojna istraživanjima dokazuju da je izrada stabilizacija kolovoznih konstrukcija moguća i opravdana i uz upotrebu

---

<sup>1</sup> Milija Stojanović, email: [milijastojanovic@gmail.com](mailto:milijastojanovic@gmail.com)



nekim drugim materijala, pri čemu se akcenat stavlja na primenu industrijskih nusproizvoda. Tako se u zamenu za cement, kao vezivo mogu koristiti: elektrofilterski leteći pepeo i šljaka iz termoelektrana, granulirana zgrna iz visokih industrijskih peći i razne vrste biopepela. Njihova pucolanska svojstva su već dokazana, a navedeni materijali se dugi niz godina uspešno primenjuju kao zamena za deo cementa u klasičnim betonskim konstrukcijama.

Primena otpadnih materijala, u svojstvu veziva u stabilizacijama kolovoznih konstrukcija, je jedan od načina smanjenja deponija tih materijala, koje predstavljaju veliki problem u mnogim državama sveta, pa i u Srbiji.

Gradnja novih i/ili rekonstrukcija postojećih kolovoznih konstrukcija uspešno se izvodi i uz primenu nekih otpadnih materijala, u koje se može svrstati i industrijski nusproizvod iz termoelektrana – elektrofilterski leteći pepeo. Veća primena elektrofilterskog letećeg pepela u gradnji puteva ima veliku opravdanost i ostvarivanje brojnih ušteda. Te uštede se ogledaju u: ekonomskim, ekološkim, materijalnim, energetskim, vremenskim, sigurnosnim i mnogim drugim aspektima.

## 2. ELEKTROFILTERSKI LETEĆI PEPEO

Elektrofilterski leteći pepeo (*FA – Fly Ash*)<sup>2</sup> predstavlja fini mineralni ostatak spaljivanja mlevenog uglja u pećima termoelektrana, pri čemu zajedno sa izduvnim gasovima izlazi iz kotla. Tokom procesa nastanka električne energije, ugalj u termoelektranama sagoreva pri temperaturama od 1000 do 1600°C. U tom procesu organski sastojci izgore, a mineralne nečistoće iz uglja (kao što su kvarc i glina) ostaju kao neizgoreli. Taj ostatak se brzo transportuje u zonu sa nižim temperaturama (gde se solidifikuje), u obliku sfernih staklastih čestica, te se dobije fini prah koji se, zajedno sa gasovima iz dimnjaka mehaničkim i elektrostatičkim putem (u elektrostatičkim filterima) sakuplja u posebne silose za pepeo [1]. Takav pepeo je poznat kao usitnjeni pepeo i čini oko 75-85% ukupne količine pepela. Ostatak predstavljaju krupnije čestice pepela koje padaju na dno peći, gde se formira tzv. pepeo sa dna peći.

Na *XIII Svetskom kongresu za puteve*, koji je održan 1983.godine u Sidneju (Australija), leteći pepeo iz termoelektrana je klasifikovan kao industrijski nusproizvod, koji nastaje u postrojenjima za proizvodnju električne energije [2]. U Republici Srbiji je leteći pepeo definisan kao najvažniji neorganski, sekundarni materijal [2], a prema autoru *P.Braunoviću* [3] leteći pepeo se može svrstati u grupu veštačkih pucolanskih materijala.

### 2.1. Hemijski sastav i fizičke karakteristike

Hemijska svojstva letećeg pepela su najbitniji indikator kod ocene njegove podobnosti primene u svojstvu građevinskog materijala, ili kao sirovine za njegovu proizvodnju. Mnoga laboratoriska ispitivanja su pokazala da presudni uticaj na fizičko-hemijska svojstva letećeg pepela imaju vrsta i kvalitet uglja, kao i stepen njegove usitnjenosti. Laboratorijskim ispitivanjima je utvrđeno da se leteći pepeo nastao od lignitskog i mrkog uglja znatno razlikuje, po svom sastavu i kvalitetu, od pepela koji je dobijen sagorevanjem kamenog uglja. Istraživanja su pokazala da se leteći pepeo uglavnom sastoji od preko 85% aluminata, silikata, oksida gvožđa i magnezijuma, u širokim rasponima varijacija pojedinih komponenta [4].

Boja letećeg pepela je nepouzdan indikator njegovog hemijskog sastava, a uglavnom varira od svetlog tona, preko nijansi sive do crne. Pepeo koji se dobija od lignita ili delimično bitumeniziranog uglja obično ima svetlu ili bledu mrkožutu boju. Svetlije nijanse sive boje ukazuju na bolji kvalitet pepela. Bakarna boja je obično povezana sa prisustvom fero-oksida, dok tamnije boje ukazuju na prisustvo ugljenika [5].

Specifična masa letećeg pepela varira u zavisnosti od njegovog porekla, a najčešće je u rasponu od oko 1700 do 3000kg/m<sup>3</sup>. Najzastupljenije vrednosti specifične mase su između 2000 i 2800kg/m<sup>3</sup> [6].

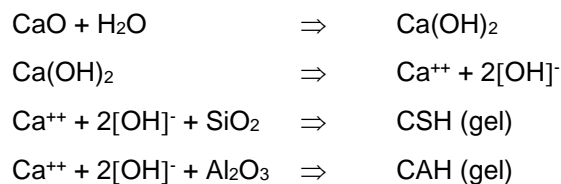
### 2.2. Pucolanska svojstva letećeg pepela

Još od ranije je poznato da leteći pepeo ima pucolanske karakteristike i kao takav pronalazi svoju bitnu primenu u betonskim mešavinama. Leteći pepeo je se svrstava u grupu industrijskih pucolana i smatra se za najčešće upotrebljavani pucolan, a poznat je i pod nazivom *moderni pucolan* [7].

Hidratacija letećeg pepela je proces očvršćavanja cementnog kamena usled reakcije kreča i pucolana (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) uz prisustvo vode.

<sup>2</sup> U nastavku rada koristiće se termin *leteći pepeo*

Pucolanska reakcija koja se odvija tom prilikom u cementnim stabilizacijama je sledeća [7]:

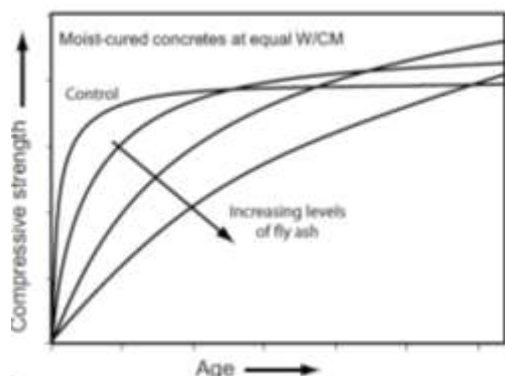


Leteći pepeo je samostalno slabo ili nimalo hidraulično aktivno vezivo, međutim u praškastom stanju i u kontaktu sa vodom, reaguje hemijski sa kalcijum hidroksidom ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) i kalcijum oksidom ( $\text{CaO}$ ) i pri sobnoj temperaturi formira jedinjenja koja imaju vezivna svojstva [3].

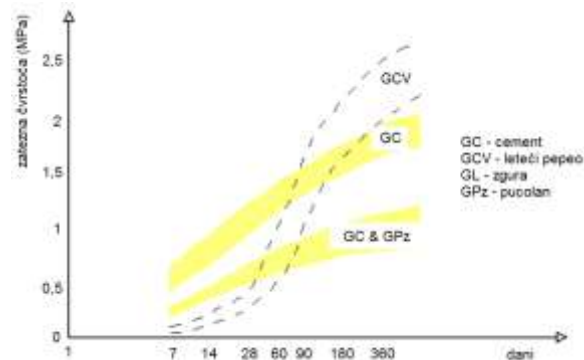
### 2.3. Primena letećeg pepela kroz istoriju i mogućnosti upotrebe u građevinarstvu

Termin *leteći pepeo* prvi put se službeno pominje u literaturi 1937.godine u SAD-u, kada su objavljeni rezultati naučnog istraživanja američkog instituta za beton – *ACI (American Concrete Institute)*. Njegova značajnija primena, kao dodatka cementu, prvi put je zabeležena prilikom izgradnje brane *Hungry Horse Dam* 1948.godine, kada je u branu ugrađeno 120.000 tona letećeg pepela. Nakon toga, u SAD je leteći pepeo počeo da se primenjuje i u gradnji puteva i to u mešavinama za izradu nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija pod nazivom *Poz-o-Pac*, što u stvari predstavlja početak njegove primene u cementnim stabilizacijama. Ovaj proizvod sadržao je mešavinu agregata (drobljenog kamena i šljunka lokalnog karaktera), kreča i letećeg pepela [7]. Primena letećeg pepela u građevinskoj industiji (pored razlike u ceni u odnosu na cement) se razvijala i usled problema sa njegovim deponovanjem. U Kini su prva istraživanja letećeg pepela, kao građevinskog materijala, počela 1950.godine. Danas su cementare, fabrike građevinskih materijala i firme za gradnju puteva najveći potrošači letećeg pepela u Kini, zemlji koja se smatra najvećim proizvođačem letećeg pepela u svetu [8].

Bitan razlog povećane primene letećeg pepela, je činjenica da ima pucolanska svojstva i mogućnost povećanja čvrstoća kroz vreme i do par godina nakon njegove ugradnje, pa betonske mešavine sa letećim pepelom mogu da dostignu čvrstoće koje su karakteristične za klasične betonske konstrukcije. Vrednosti ranih čvrstoća mešavina sa dodatkom letećeg pepela su uglavnom niske, a njihov prirast je sporiji od mešavina sa dodatkom samo cementa [7]. Činjenica da ovakvi kompozitni materijali imaju niske rane čvrstoće, nekada može predstavljati ograničavajući faktor u upotrebi letećeg pepela i tu činjenicu treba uzeti u obzir tokom projektovanja kolovoznih konstrukcija. Sa povećanjem učešća letećeg pepela u betonskim mešavinama rane pritisne čvrstoće se uglavnom smanjuju, a kasnije povećavaju (*grafikon 1.*) [1]. Isto zapažanje se uočava i kod analize čvrstoća na savijanje betonskih mešavina sa dodatkom letećeg pepela (*grafikon 2.*). Na osnovu *grafikona 1.* i *2.* može se zaključiti i da su čvrstoće na pritisak i savijanje kod konstrukcija sa većim učešćem letećeg pepela, nakon 90 i više dana nege, približno iste ili veće u odnosu na kontrolne, čisto betonske (cementne) konstrukcije.



**Grafikon 1.** Uticaj dodatka letećeg pepela na razvoj pritisnih čvrstoća betonskih konstrukcija u toku vremena [1]



**Grafikon 2.** Razvoj čvrstoća na savijanje i njihove vrednosti za stabilizacije sa različitim vrstama veziva [7]

Leteći pepeo, kao industrijski nusproizvod, već dugi niz godina predstavlja ozbiljan problem, kako zbog njegove količine tako i zbog njegovog štetnog uticaja na životnu sredinu.

Brojne su mogućnosti upotrebe letećeg pepela u građevinarstvu, samostalno ili u kombinaciji sa drugim materijalima, a neke od njih su:

- 1) za poboljšanje fizičkih i mehaničkih karakteristika očvrstlog betona;
- 2) kao deo zamene za cement u betonskim mešavinama;
- 3) u proizvodnji cementa;
- 4) u proizvodnji lakih agregata, betona i betonskih prefabrikata;
- 5) za isušivanje podtla građevinskih objekata;
- 6) za stabilizaciju slabo nosivog tla, samostalno ili u kombinaciji sa drugim vezivnim sredstvima;
- 7) za stabilizaciju donjih i gornjih nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija;
- 8) za stabilizaciju nasipa;
- 9) u izradi asfaltnih mešavina;
- 10) kod sanacije oštećenih površina kolovoza i sanacije klizišta;
- 11) za injektiranje, tj. pravljenje injekcionih smesa;
- 12) za stabilizaciju otpada i njegovo očvršćavanje (ukrućivanje) i drugo.

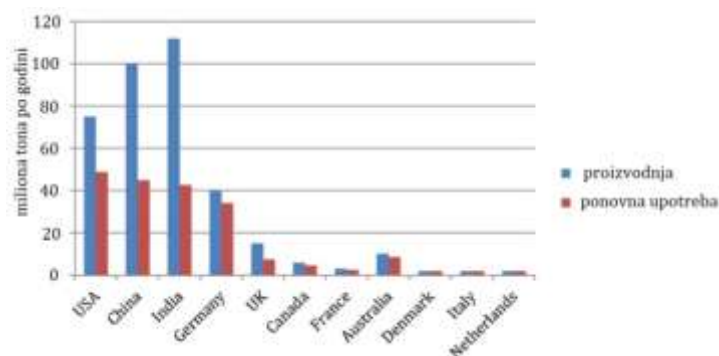
#### 2.4. Proizvodnja letećeg pepela i dosadašnja primena u Srbiji i svetu

Prema statističkim podacima u Republici Srbiji se u termoelektranama za proizvodnju električne energije godišnje troši oko 35 miliona tona uglja, uglavnom lignitskog porekla. Pored proizvedene električne energije godišnje se proizvede i oko 7 miliona tona otpadnog letećeg pepela i šljake, kao nusproizvoda [2]. Proizvodnja letećeg pepela i šljake u proseku iznosi oko 20% od količine upotrebljenog uglja. Navedeni podaci svrstavaju leteći pepeo i šljaku u najzastupniji sekundarni otpad u Srbiji, a Srbiju u red svetskih zemalja sa najvećom proizvodnjom letećeg pepela (u odnosu na broj stanovnika) [8].

Problem velikih količina proizvedenog i deponovanog otpadnog letećeg pepela u svetu nije nov, već je star onoliko koliko je stara proizvodnja električne energije u termoelektranama. Autor *P.Braunović* [3] navodi da su se još 1980.godine u svetu javljali problemi sa velikim količinama letećeg pepela, čija proizvodnja je u tom periodu, u SAD iznosila oko 40 miliona tona godišnje.

Upotreba letećeg pepela u Srbiji je u svim privrednim granama, pa i u gradnji puteva, veoma mala. Postoje samo pojedinačni primeri deonica na kojima je rađena kolovozna konstrukcija sa dodatkom pepela. Za razliku od Srbije, veći dio Evrope, ima nešto manje problema sa letećim pepelom i njegovim deponijama, jer je njegova primena u industiji evropskih zemalja značajno veća. U 15 zemalja Evropske Unije proizvodnja letećeg pepela za 2010.godinu iznosila je oko 14 miliona tona, a od te količine najveći deo se koristio za proizvodnju betona (oko 35%) i za gradnju puteva (oko 25%) [9].

Razlika u količini proizvedenog i upotrebljenog letećeg pepela u svetu varira iz godine u godinu, ali poslednjih godina ima tendenciju postepenog smanjenja. Iskorišćenost letećeg pepela (za 2010.godinu) bila je najveća u nekim evropskim zemljama (Danskoj, Holandiji i Italiji) i Australiji, dok je za najveće svetske proizvođače (Indiju i Kinu) ta iskorišćenost bila ispod 50% [10] (*dijagram 1.*).



Dijagram 1. Odnos proizvodnje i primene letećeg pepela za pojedine svetske zemlje (za 2010.godinu) [10]

#### 2.5. Primena letećeg pepela kod stabilizacija nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija

Izrada cementnih stabilizacija sa dodatkom letećeg pepela smatra se jednim od prvih slučajeva primene otpadnih materijala u gradnji nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija. Stabilizacije sa cementom ili krečom, u kombinaciji sa nekim otpadnim materijalima (kao što je leteći pepeo), neki autori nazivaju kompleksno stabilizovane mešavine (KSM) [3].

Zbog pucolanskih svojstava i svojstva samovezivanja, leteći pepeo se može uspešno koristiti kao vezivo ili dopuna vezivu i u izradi stabilizovanih gornjih i donjih nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija, bilo da se radi o sitnoznom ili krupnoznom agregatu. Laboratorijska i terenska ispitivanja su pokazala da se leteći pepeo može uključiti u proračun nosivost polukrutih kolovoznih konstrukcija. Ukoliko se u stabilizacijskim mešavinama koristi pepeo klase *F* (klasifikacija po: *ASTM C618*) mešavini je potrebno dodati i aktivator, kako bi se podstakla pucolanska reakcija. Najčešće korišćeni aktivatori su kreč i cement, mada se koriste i cementna i krečnjačka prašina iz peći za žarenje, kao i kombinacija navedenih materijala. Samovezujući pepeo klase *C* (klasifikacija po: *ASTM C618*) ne zahteva aktivator i kao takav nudi ekonomičnije alternative za širok spektar primena u cementnim stabilizacijama. Zadovoljavajuće karakteristike stabilizacijskih mešavina zavise od prirasta čvrstoće unutar mase, koja nastaje pucolanskom reakcijom između letećeg pepela i aktivatora. Ova vezivna masa ima ulogu da drži zajedno zrna agregata, slično kao kod betona niskih čvrstoća.

U početku, primena letećeg pepela u cementnim stabilizacijama se odnosila samo za lokalne saobraćajnice nižeg ranga i sa lakim saobraćajnim opterećenjem. Vremenom se pepeo počeo koristiti i za stabilizacije sa većim saobraćajnim opterećenjem, pa i na auto-putevima. Primena letećeg pepela se može odnositi, kako za izradu novih saobraćajnica, tako i za rekonstrukciju postojećih oštećenih kolovoznih konstrukcija. Takođe, leteći pepeo, kao vezivo, uspešno se može primeniti prilikom rekonstrukcije puteva postupkom reciklaže asfaltnih slojeva, za sve njene tipove [11].

## 2.6. Cilj primene stabilizacija sa dodatkom letećeg pepela

Krajnji cilj primene letećeg pepela u izradi cementnih stabilizacija kolovoznih konstrukcija je:

- 1) Povećanje primene otpadnih materijala;
- 2) Smanjenje potrebne količine cementa pri izradi stabilizacija;
- 3) Poboljšanje kvaliteta kolovozne konstrukcije i uslova odvijanja saobraćaja;
- 4) Ostvarivanje ekonomskih ušteda upotrebom otpadnih i jeftinih materijala;
- 5) Upravljanje otpadom i smanjenje deponija letećeg pepela;
- 6) Ispunjenje ekoloških zahteva i promocija održive gradnje.

## 2.7. Prednosti upotrebe letećeg pepela u izradi cementnih stabilizacija

Cementne stabilizacije sa dodatkom letećeg pepela imaju brojne prednosti primene, a neke od njih su:

- 1) Povećanje mehaničkih karakteristika u toku vremena (zbog kasnije pucolanske reakcije);
- 2) Veća trajnost stabilizacije;
- 3) Veća obradivost sveže betonske mešavine;
- 4) Povećanje nosivosti polukrute kolovozne konstrukcije;
- 5) Rast zateznih čvrstoća očvrstle cementne stabilizacije;
- 6) Redukcija izdvajanja vode u mešavinama sa letećim pepelom;
- 7) Smanjenje/redukcija vodopropusnosti;
- 8) Veća otpornost na dejstvo sulfata;
- 9) Niža cena koštanja ukupne konstrukcije;
- 10) Smanjenje primene skupljih veziva (cementa i kreča);
- 11) Smanjenje poroznosti betona;
- 12) Mogućnost „zarastanja“ prslina i pukotina u toku eksploatacije puta;
- 13) Smanjenje skupljanja u betonu;
- 14) Smanjenje toplotne hidratacije cementa;
- 15) Smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu;
- 16) Smanjenje deponija letećeg pepela, a samim tim i štetnog uticaja na ekosistem.

## 2.8. Leteći pepeo i životna sredina

Kako u svetu tako i u Srbiji potrebe za električnom energijom stalno rastu, a samim tim i potrebe za većom eksploatacijom uglja, kao sirovine za njenu proizvodnju u termoelektranama. Uporedo sa tim, povećavaju se i deponije letećeg pepela, pa je zbog toga potrebno posvetiti veću pažnju rešavanju veoma složenog problema njegovog deponovanja. Da bi se smanjile deponije letećeg pepela i njegov štetni uticaj po čoveka i okolinu razvijene svetske zemlje konstantno otkrivaju nove mogućnosti primene ovog industrijskog nusproizvoda.

Cementna industrija je odgovorna za emisiju najmanje 5-7% ukupnog ugljendioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferu. Do emisije (CO<sub>2</sub>) u cementarama dolazi u toku procesa dobijanja oksida kalcijuma iz krečnjaka (oko 60%) i usled visokih temperatura, potrebnih za odvijanje ovih procesa (oko 40%) [12]. Većom upotrebom letećeg pepela, kao zamene za cement u betonskim kompozitima, štetna emisija CO<sub>2</sub> bi se značajno smanjila. Gasovi kao što su ugljendioksid i azotni oksidi, nastali usljed proizvodnje cementa ili sagorevanja uglja, utiču i na pojavu nastanka kiselih kiša i efekta staklene bašte.

Državna regulativa SAD-a, koja se odnosi na zaštitu životne sredine, regulisala je upravljanje deponijama letećeg pepela, zbog mogućnosti rastvaranja njegovih mikroelemenata u atmosferskim vodama. Ako se leteći pepeo koristi u betonu, mogućnost izdvajanja mikroelemenata je veoma niska, jer su sastojci pepela zatvoreni u betonskoj masi. Izdvajanje mikroelemenata iz letećeg pepela je moguće kod njegove neizolovane upotrebe. Upotreba letećeg pepela u nasipima ili stabilizovanim slojevima kolovozne konstrukcije zahteva pažljivu upotrebu, kako bi se negativni uticaji na životnu sredinu sveli na minimum.

### 3. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

U sklopu eksperimentalnog istraživanja dati su rezultati ispitivanja *Proctor*-ovog opita i indirektnih zatezних čvrstoća (ITS) za 6 različitih stabilizacijskih mešavina, nakon 7 i 28 dana nege cilindričnih uzoraka. Cilindrični uzorci su spravljani u metalnim kalupima, na osnovu prethodno definisanih optimalnih vlažnosti ( $w_{opt}$ ) za različite mešavine. Optimalne vlažnosti su definisane u postupku određivanja *Proctor*-ovog opita.

#### 3.1. Komponentni materijali

Komponentni materijali (*slike 1., 2., 3. i 4.*) koji su korišćeni u eksperimentalnom istraživanju bili su:

- prirodni agregat - trofrakcijski šljunak (*Dunavac, deponija Veternik*);
- cement CEM II/B-M (V-L) 32,5R (*fabrika Lafarge, Beočin*);
- elektrofilterski leteći pepeo (*iz termoelektrane Nikola Tesla B, Obrenovac*).



**Slika 1.** Prirodni agregat – šljunak (G – Gravel), frakcije 8/16, 4/8, 0/4



**Slika 2.** Prirodni agregat (šljunak), mešavina tri frakcije (0/4, 4/8 i 8/16)



**Slika 3.** Cement (C)

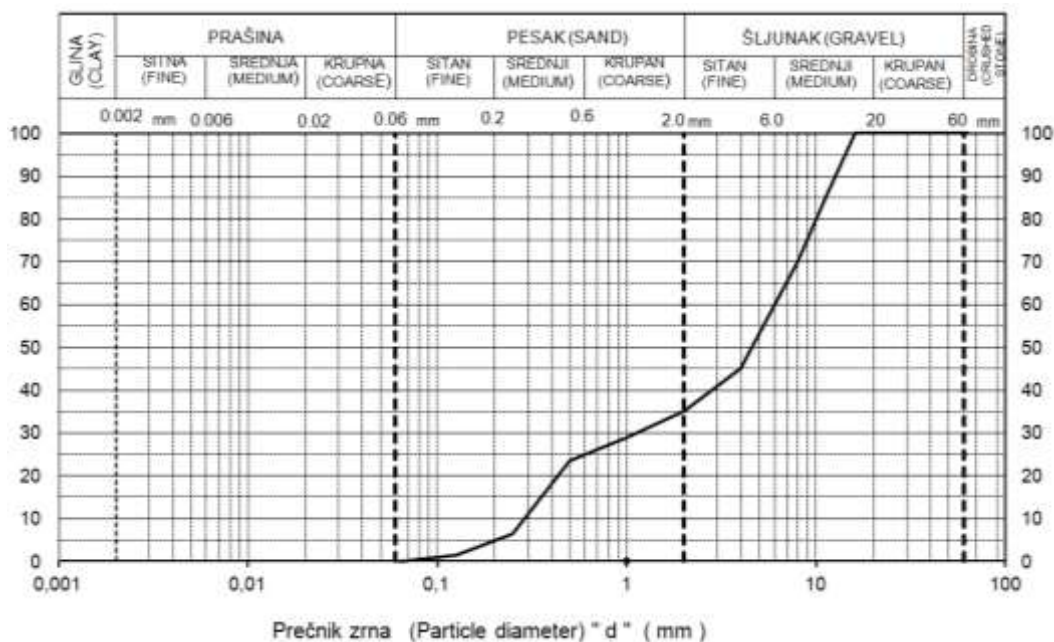


**Slika 4.** Leteći pepeo (FA – Fly Ash)

Na *slici 1.* su pojedinačno prikazane tri frakcije prirodnog agregata (šljunka) koje su korišćene u istraživanju, dok je na *slici 2.* prikazana njihova mešavina. Datoj mešavini agregata su u toku spravljanja uzoraka dodati vezivo (cement i leteći pepeo) i voda, u različitim procentualnim odnosima. Granulometrijski sastav mešavine



prirodnog agregata (datog na slici 2.) određen je po standardnu SRPS U.B1.018:2005, a rezultati ispitivanja dati su na grafikonu 3. Analizom date granulometrijske krive (grafikon 3.) može se zaključiti da postoji blagi diskontinuitet na delu krive koji prikazuje procentualno učešće veličine zrna agregata od 0,25mm do 0,50mm, što je uglavnom karakteristika prirodnog šljunka datog porekla.



**Grafikon 3.** Granulometrijska kriva prirodnog agregata (šljunka) koji je korišćen u eksperimentalnom istraživanju

Učešće frakcije 1 (0/4) u ukupnoj mešavini je iznosilo 45%mas (grafikon 3.). Uloga date frakcije u stabilizacijskim mešavinama je veoma bitna zbog ostvarivanja kompaktne mešavine tokom zbijanja, u postupku spravljanja uzoraka. Postupak zbijanja se obavljao Proctor-ovim nabijačem u metalnom cilindričnom kalupu sa nastavkom.

Pritisna čvrstoća portland kompozitnog cementa korišćenog u istraživanju (CEM II/B-M (V-L) 32,5R) nakon 2 dana nege iznosila je 16,20MPa, a nakon 28 dana nege 42,14MPa. Vrednosti savojne čvrstoće su bile 4,15MPa (nakon 2 dana nege) i 8,21MPa (nakon 28 dana nege). Ispitivanje navedenih čvrstoća rađeno je na osnovu standarda SRPS EN 196-1:2008.

Kao zamena za deo cementnog veziva, tokom eksperimentalnog istraživanja, u određenim procentualnim iznosima korišćen je leteći pepeo. Pre spravljanja stabilizacijskih uzoraka leteći pepeo je samleven i prosejan kroz sito 0,125mm. Hemijski sastav pepela koji je korišćen u ovom istraživanju prikazan je u tabeli 1.

**Tabela 1.** Hemijski sastav letećeg pepela

Hemijski element	Učešće [%]
SiO <sub>2</sub>	50,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,84
TiO <sub>2</sub>	0,51
CaO	11,29
MgO	1,34
Na <sub>2</sub> O	0,74
K <sub>2</sub> O	1,79
SO <sub>3</sub>	2,63
MnO	0,02
Gubitak žarenjem na 950°C	7,16

Analizom rezultata ispitivanja datih u *tabeli 1.* leteći pepeo korišćen u ovom istraživanju se na osnovu američkog standarda *ASTM C618* može svrstati u pepeo klase *F*, dok se na osnovu standarda *SRPS EN 197-1:2010* može klasifikovati kao krečnjački pepeo. Prosečna vrednost pritisknih čvrstoća letećeg pepela je iznosila 45,94MPa, a čvrstoća na zatezanje pri savijanju 8,72MPa. Ispitivanja su rađena na epruvetama (40x40x160mm), nakon starosti od 7 dana.

Glavno eksperimentalno istaživanje je rađeno za 6 različitih stabilizacijskih mešavina. Kao varijabilne komponente korišćeni su ukupna količina veziva i odnos učešća cementa i letećeg pepela u toj količini (*tabela 2.*). Granulometrijski sastav agregata je bio isti za svih 6 mešavina.

**Tabela 2.** Sastavi mešavina cementnih stabilizacija koje su korišćene u eksperimentu

Oznaka	Dodatak veziva [%] <sup>3</sup>	Učešće cementa (C) u vezivu [%]	Učešće letećeg pepela (FA) u vezivu [%]
M1 – 100C/0FA (4%)	4	100	0
M2 – 80C/20FA (4%)	4	80	20
M3 – 60C/40FA (4%)	4	60	40
M4 – 100C/0FA (6%)	6	100	0
M5 – 80C/20FA (6%)	6	80	20
M6 – 80C/20FA (6%)	6	60	40

### 3.2. Proctor-ov opit

Prethodnim ispitivanjem, tj. *Proctor*-ovim opitom, određena je optimalna vlažnost ( $w_{opt}$ ) i maksimalna suva zapreminska masa ( $\gamma_s$ ) svih 6 stabilizacijskih mešavina. Ispitivanje je rađeno postupkom Standardnog *Proctor*-ovog opita (po standardu: *EN 13286-2:2010*), na cilindričnim kalupima prečnika  $d=10\text{cm}$  i visine  $h=12\text{cm}$ . Energija zbijanja je iznosila  $0,6\text{MJ/m}^3$ . Standardni *Proctor*-ov opit i navedene dimenzije kalupa su izabrane na osnovu nominalnog maksimalnog zrna agregata (koje je iznosilo  $16\text{mm}$ ). Navedene mešavine su tretirane kao samodrenirajuće (*self-draining mixtures*), na osnovu dodatka D (*Annex D*) standarda *EN 13286-2:2010*. Maksimalne suve zapreminske mase ( $\gamma_s$ ) i optimalne vlažnosti ( $w_{opt}$ ), za različite stabilizacijske mešavine, date su u *tabeli 3.*

**Tabela 3.** Vrednosti maksimalnih suvih zapreminskih masa ( $\gamma_s$ ) za različite sastave mešavina

Oznaka	Optimalna vlažnost, $w_{opt}$ [%]	Maksimalna suva zapreminska masa, $\gamma_s$ [ $\text{g/cm}^3$ ]
M1 – 100C/0FA (4%)	6,8	2,15
M2 – 80C/20FA (4%)	6,8	2,15
M3 – 60C/40FA (4%)	6,8	2,15
M4 – 100C/0FA (6%)	6,8	2,22
M5 – 80C/20FA (6%)	6,8	2,22
M6 – 80C/20FA (6%)	6,8	2,22

Vrednosti optimalnih vlažnosti su za svih 6 stabilizacijskih mešavina, bez obzira na odnose učešća cementa i letećeg pepela u mešavinama, iznosile 6,8%. Takođe, optimalne vlažnosti nisu bile zavisne od ukupne količine dodatka veziva (iste vrednosti  $w_{opt}$  su bile za mešavine i sa 4 i sa 6% veziva), dok su vrednosti maksimalnih suvih zapreminskih masa ( $\gamma_s$ ) bile zavisne od ukupnog dodatka veziva. Naime, vrednosti maksimalnih suvih zapreminskih masa za mešavine sa 4% ukupnog dodatka veziva (M1, M2 i M3) su iznosile  $2,15\text{g/cm}^3$ , dok su vrednosti maksimalnih suvih zapreminskih masa za mešavine sa 6% ukupnog dodatka veziva (M4, M5 i M6) bile  $2,22\text{g/cm}^3$  (*tabela 3.*), pa se može zaključiti da se sa povećanjem ukupnog sadržaja veziva u mešavinama povećavaju i vrednosti maksimalnih suvih zapreminskih masa.

<sup>3</sup> Procentualni dodaci veziva su dati u odnosu na ukupnu masu agregata u mešavinama, pri čemu se pod pojmom vezivo smatraju cement i leteći pepeo

### 3.3. Indirektna zatezna čvrstoća

Povećanjem količine cementa u mešavini povećava se i pritisna čvrstoća stabilizacije, a samim tim i zatezne karakteristike stabilizacija, što je i cilj. Naime, kolovozne konstrukcije su specijalan primer građevinskih konstrukcija koje pored pritisnih čvrstoća moraju da imaju i znatne zatezne karakteristike, da bi kolovozna konstrukcija mogla da prihvati dinamičko opterećenje usled dejstva saobraćaja. Krutost kolovozne konstrukcije obrnuto je proporcionalna elastičnosti iste, pa je iz tog razloga potrebno ograničiti maksimalnu količinu cementa u stabilizacijskim mešavinama. Iz prethodno navedenog se zaključuje da su idealne cementne stabilizacije one koje imaju maksimalne zatezne karakteristike (indirektnu zateznu čvrstoću i dinamički modul elastičnosti) uz ispunjenje potrebne vrednosti pritisne čvrstoće, koja se po standardu *SRPS U.E9.024:1980* ograničava na max 5,5MPa nakon 7 dana, odnosno na max 6,5MPa nakon 28 dana nege.

Ispitivanje zatezne čvrstoće za noseće slojeve stabilizovane cementom nije propisano srpskim standardom. U svetu postoji više metoda za ispitivanje zateznih čvrstoća betonskih mešavina, a najpoznatije su:

- direktna zatezna čvrstoća,
- čvrstoća na savijanje,
- indirektna zatezna čvrstoća (ITS) – brazilski opit cepanja [3].

Izbor metode ispitivanja, između ostalog, zavisi i od dimenzija uzoraka, a uzorci koji se spravljaju za ispitivanje karakteristika cementnih stabilizacija odgovarajućih su dimenzija i za određivanje indirektna zatezne čvrstoće (slike 5. i 6.). Indirektna zatezna čvrstoća (ITS) je određena na osnovu standarda *EN 13286-42* (slika 7.).



**Slika 5.** Uzorak spravljn u kalupu (postupkom intenzivnog zbijanja), za ispitivanje ITS-a

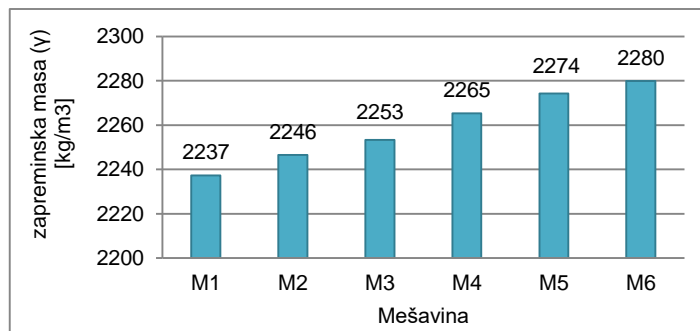


**Slika 6.** Izgled uzorka za ispitivanje ITS-a



**Slika 7.** Laboratorijsko ispitivanje ITS-a (brazilski opit cepanja)

Pre postupka ispitivanja ITS-a, na svim stabilizacijskim mešavinama određena je zapreminska masa ( $\gamma$ ), gde je primećeno da je ona direktno proporcionalna količini ukupnog dodatka veziva i količini dodatka letećeg pepela u mešavinama (dijagram 2.).

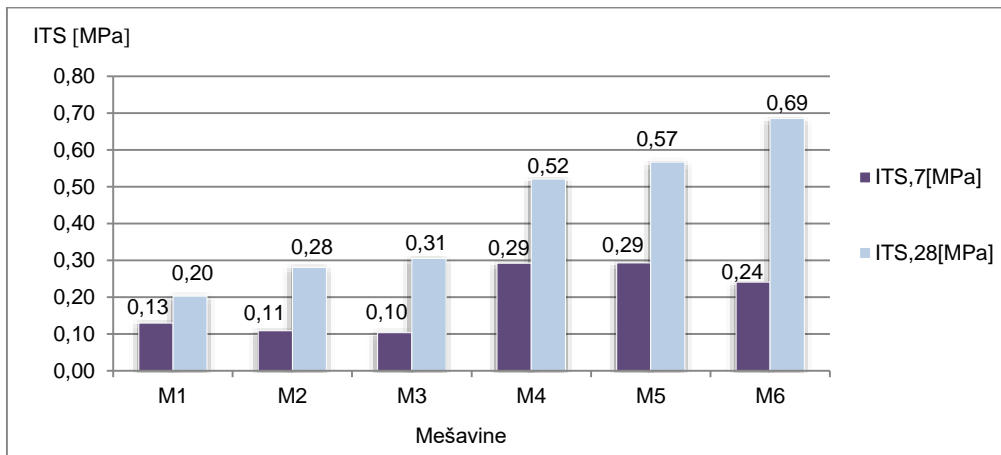


**Dijagram 2.** Vrednosti zapreminske mase ( $\gamma$ ) za različite stabilizacijske mešavine

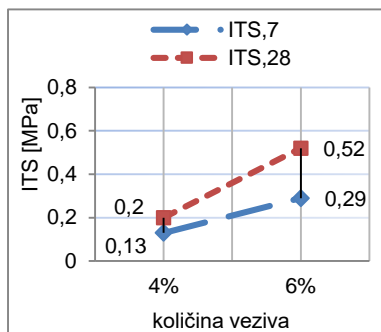
Sa povećanjem sadržaja letećeg pepela u mešavinama, za istu ukupnu količinu veziva, zapreminske mase se povećavaju, što se može pripisati većoj zapremini koju zauzima leteći pepeo u odnosu na cement, za istu masenu jedinicu (zapreminska masa letećeg pepela je manja u odnosu na cement). Uzimajući u obzir činjenicu da u uzorcima stabilizacijskih mešavina (uvek ima zaostalog vazduha) veća količina letećeg pepela (u mešavinama M2 i M3, odnosno M5 i M6) će popuniti taj prazan prostor i povećati ukupnu zapreminsku

masu uzoraka. Zapremiska masa se, očekivano, povećava i sa povećanjem ukupnog sadržaja veziva u mešavinama.

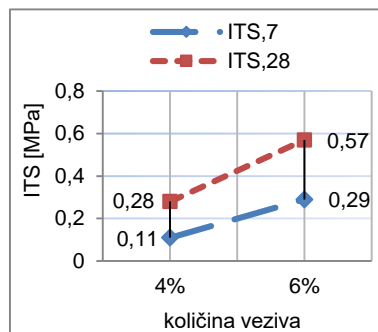
Laboratorijska ispitivanja indirektnih zatezних čvrstoća su rađena za mešavine sa 4 i 6% veziva, nakon 7 i 28 dana nege cilindričnih uzoraka cementnih stabilizacija, za 6 različitih stabilizacijskih mešavina, a rezultati ispitivanja su dati na *dijagramima 3., 4., 5. i 6.*



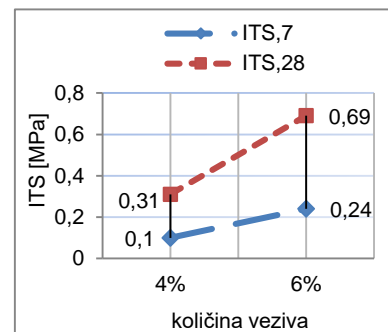
**Dijagram 3.** Uticaj perioda nege i sastava stabilizacijskih mešavina na vrednosti indirektnih zatezних čvrstoća (ITS)



**Dijagram 4.** Uticaj količine veziva na vrednosti indirektnih zatezних čvrstoća (ITS), za čisto cementne stabilizacije (M1 i M4)



**Dijagram 5.** Uticaj količine veziva na vrednosti indirektnih zatezних čvrstoća (ITS), za mešavine sa 80% cementa i 20% letećeg pepela (M2 i M5)



**Dijagram 6.** Uticaj količine veziva na vrednosti indirektnih zatezних čvrstoća (ITS) za mešavine sa 60% cementa i 40% letećeg pepela (M3 i M6)

Analizom *dijagrama 3., 4., 5., i 6.* može se zaključiti da se vrednosti indirektnih zatezних čvrstoća, za iste stabilizacijske mešavine, povećavaju sa periodom nege uzoraka. Najveći rast vrednosti ITS-a, u odnosu na period nege uzoraka, je za mešavinu M3 (210%), a najmanji kod mešavine M1 (54%). Takođe, sa povećanjem sadržaja letećeg pepela vrednosti ITS-a nakon 7 dana nege opadaju, dok se nakon 28 dana nege povećavaju, a to povećanje je direktno proporcionalno količini dodatka letećeg pepela za oba ukupna učešća veziva. Najveće vrednosti ITS-a su zabeležene kod mešavine M6, nakon 28 dana nege (0,69MPa), a najmanje kod mešavine M3, nakon 7 dana nege (0,10MPa). Na *dijagramima 4., 5. i 6.* su prikazane vrednosti ITS-a u zavisnosti od količine ukupnog veziva i perioda nege uzoraka, za tri različita odnosa cementa i letećeg pepela u mešavinama. Na navedenim dijagramima je primetno povećanje vrednosti ITS-a sa povećanjem ukupnog sadržaja veziva, za sva tri slučaja odnosa cementa i letećeg pepela u stabilizacijskim mešavinama.

## ZAKLJUČAK

Mogućnosti primene otpadnih industrijskih nusproizvoda, kao što je elektrofilterski leteći pepeo su velike, a stepeni njihovih iskorišćenosti veoma mali. Jedna od mogućih primena letećeg pepela iz termoelektrana je u gradnji puteva i to pri izradi cementnih stabilizacija kolovoznih konstrukcija. Eksperimentalnim istraživanjem dokazano je da leteći pepeo može uspešno da zameni deo količine cementa (20 i 40%mas) u stabilizacijskim mešavinama, pri čemu može značajno da poveća vrednosti indirektno zatezne čvrstoće, koja je mera kvaliteta elastičnosti sloja cementne stabilizacije. Analizom rezultata prikazanog eksperimentalnog istraživanja ustanovljeno je da vrednosti indirektnih zateznih čvrstoća za mešavine sa dodatkom letećeg pepela (M2, M3, M5 i M6) nakon 28 dana nege rastu sa povećanjem sadržaja letećeg pepela (za razliku od ispitivanja nakon 7 dana nege), te se to može opravdati kasnijom pucolanskom reakcijom letećeg pepela.

Prednost primene letećeg pepela, pored njegove lake dostupnosti je i ta što je to jedan od retkih otpadnih materijala koji se u betonskim kompozitima može koristiti u svom izvornom obliku, dakle bez neke prethodne obrade. Mogućnost njegove primene u navedenim kolovoznim konstrukcijama bi u svakom slučaju imala veliku opravdanost.

Kontrola količine ukupnog dodatka cementa u mešavini je veoma bitna stavka u projektovanju ovakvog tipa kolovoznih konstrukcija. Primena veće količine cementa od potrebne negativno utiče na kolovoznu konstrukciju, jer se u tom slučaju javljaju velike razlike u krutostima susednih slojeva. Pravilnim odabirom količine dodatog cementa i granulacije agregata mogu se postići optimalni rezultati fizičkih, mehaničkih i hemijskih karakteristika za ovaj sloj kolovozne konstrukcije.

## Zahvalnost

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: "Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji".

## Literatura

- [1] M.Thomas, *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*, Portland Cement Association, Illinois, US (2007)
- [2] S.Cmiljanić, V.Vujanić, *Problemi u primjeni elektrofilterskog pepela i šljake u izgradnji puteva u Republici Srbiji*, Savjetovanje o primjeni elektrofilterskog pepela i šljake u izgradnji putne infrastrukture, Tuzla (2003)
- [3] P.Braunović, *Kolovozne konstrukcije od stabilizovanog lokalnog materijala*, Građevinska knjiga Beograd (1991)
- [4] C.E.Brackett, Availability, *Quantity and Present Utilization of Fly Ash*, Proc.FACC, BMIC, Wahington D.C. (1979)
- [5] Projekat: *Uputstvo za korisnike nusproizvoda i upotrebu sekundarnih sirovina u izgradnji puteva*, G2G09/SB/5/4 u okviru kratkog G2G programa, Agentschap NL TerrAdvies EVD Unit Internationale Publieke Samenwerking (2010)
- [6] Lj.Tanasijević, *Upotreba elektrofilterskog pepela i šljake proizvedenih iz termoenergetskih postrojenja*, Privredna komora Srbije - internet prezentacija (2011)
- [7] S.Dimter, M.Šperac, *Stabilizacijske mešavine s letećim pepelom u nosivim slojevima kolničke konstrukcije*, Zbornik radova, 1.bh kongres o cestama, Sarajevo, BiH (2007)
- [8] <http://carma.org/plant/detail/31240>
- [9] <http://www.ecoba.com/ecobaccputil.html>
- [10] S.Mahvash, S.López-Querol, A.Bahadori-Jahromi, *Effect of class F fly ash on fine sand compaction through soil stabilization*, Structural Engineering, Civil Engineering (2017)
- [11] Д.Дрндарски, *Рециклирање постојећих асфалтних коловоза*, Рехабилитација и реконструкција путева, Златибор (2007)
- [12] J.Dragaš, S.Marinković, L.J.Miličić, S.Marković, N.Tošić, I.Ignjatović, *Geopolimeri na bazi alkalno aktiviranog elektrofilterskog pepela kao novo vezivo u betonu*, IZGRADNJA 67 (2013)



# INTEGRALNO UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM – STRATEŠKI POTENCIJAL I(LI) REALNA POTREBA

**Milica Gačić**

Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, milica.gacic@yahoo.com

**Rezime:** Saobraćaj kao poseban sistem osnovu svoje funkcionalnosti mora imati u usaglašavanju različitih elemenata. Drumski, železnički, vazdušni i vodni saobraćaj kao osnovni vidovi imaju zasebne sisteme upravljanja, a mera kvaliteta njihove koordinacije nedovoljno je izražena ili je nema. Kako tehnološki napredak svakako utiče na sve aspekte upravljanja, ukoliko se informacioni sistemi u pozadini upravljačkih struktura svih vidova saobraćaja uzmu kao reprezentativan primer njihove međuzavisnosti, može se doći do otvaranja novih strateških perspektiva u upravljanju celokupnim saobraćajem. Informacioni sistemi i legislativno moraju biti efikasni, proširivi i međusobno usaglašeni, tako da omogućavaju povezivanje sa informatičkim sistemima drugih vidova transporta, komercijalnim delatnostima i upravljačkim sistemima u transportu, te je svrha analize njihove kompatibilnosti svakako osnova za dalji razvoj i unapređenje, što će u radu biti predstavljeno na primeru različitih relacija drumskog i vodnog saobraćaja i mogućnosti integrisanja elemenata njihovih informacionih sistema u cilju efikasnog upravljanja.

**Ključne reči:** saobraćaj, upravljanje, informacioni sistemi, usaglašavanje.

## INTEGRAL TRANSPORT MANAGEMENT – A STRATEGIC POTENTIAL AND (OR) A REAL NECESSITY

**Milica Gačić**

**Abstract:** The basepoint of the transport as a unique system is in harmonizing diverse elements. Road, rail, air and waterway transport as basic types have separate management systems, and the measure of the quality of their coordination is insufficiently expressed or absent. As the technological progress certainly affects all aspects of management, if the information systems in the background of the management structures of all modes of transport are taken as a representative example of their interdependence, it may be possible to open up new strategic perspectives in managing overall traffic. Information systems must be efficient, expandable and interconnected both from the legislative point of view, so that they enable connection with information systems of other modes of transport, commercial activities and transport control systems. The purpose of analyzing their compatibility is therefore certainly the basis for further development and improvement, which will be presented in the paper on the case of different relations of road and waterway transport and the possibility of integrating the elements of their information systems in order to manage them more efficiently.

**Keywords:** transport, management, information systems, harmonization.

### 1. UVOD

Infrastruktura je jedan od osnovnih instrumenata povezivanja i integracije u šire okruženje. Panevropski multimodalni koridori za zemlje istočne Evrope definisani su na sastancima 1994. na Kipru i 1997. godinu u Helsinkiju - kao deset panevropskih multimodalnih koridora, od kojih dva prolaze kroz Republiku Srbiju - koridor VII i koridor X. *Panevropski multimodalni koridori su intermodalni koridori, što podrazumeva kombinaciju i povezivanje više vidova saobraćaja i načina transporta (povezivanje putnog, železničkog, rečnog i vazdušnog saobraćaja transporta)* [1].

Panevropskim koridorima je dodeljen logičan i dobro uspostavljen sistem brojeva, od kojih Koridori V, VII, VIII i X prolaze kroz region. Ovo je omogućilo Republici Srbiji, kvalitetan saobraćajni pravac i veze prema jugoistoku Evrope i Bliskom istoku. Prema Prostornom planu Republike Srbije iz 2010. godine [2], preduslov uspešne integracije teritorije Republike Srbije i njene povezanosti, kako geografski tako i društveno-ekonomski će biti razvijena mreža transportnih sistema, a što zahteva njihovo efikasno upravljanje.

Saobraćajni sistemi širom sveta prolaze kroz brze promene. Globalizacija je stvorila potražnju za robama i uslugama, što dovodi do toga da su bolja infrastruktura i efikasniji saobraćajni sistemi preduslovi ekonomskog razvoja. O ulozi saobraćaja u ekonomskom razvoju se obično raspravlja u vezi sa njegovim doprinosom u prevozu roba i ljudi na lokalnom i međunarodnom nivou. Kao što liberalizacija trgovine može otvoriti nova tržišta za zemlje u razvoju, efikasni saobraćajni sistemi i rute mogu povećati obim trgovine i kretanje ljudi, na taj način doprinoseći većem rastu. Kako se navodi u Beloj knjizi o transportu (2001) [3], odgovarajući

transportni troškovi, pouzdanost i kvalitetna usluga predstavljaju suštinske činioce unapređenja konkurentnosti izvoza. Komodalitet i integracija individualnih načina transporta u cilju odvijanja nesmetanog saobraćaja, podstiču trgovinu i konkurentnost.

Dugo Evropska zajednica nije mogla ili nije htela da primeni politiku kombinovanog transporta osmišljenu u Rimskoj deklaraciji. Nadalje, Mاستrihtska deklaracija je dala ideju za transevropsku mrežu u kojoj se definiše povezivanje različitih vidova saobraćaja kao model budućeg saobraćajnog razvoja, a što je onda omogućilo da se izradi plan saobraćajne infrastrukture na evropskom nivou uz finansijsku pomoć Zajednice [4].

Transevropska transportna mreža (TEN-T) je politika Evropske komisije usmerena na implementaciju i razvoj sveevropske mreže puteva, železničkih pruga, unutrašnjih plovnih puteva, pomorskih pomorskih puteva, luka, aerodroma i železničkih terminala. Krajnji cilj TEN-T je da se zatvori praznine, ukloni uska grla i eliminiše tehničke barijere koje postoje između transportnih mreža država članica EU, jačanje socijalne, ekonomske i teritorijalne kohezije Unije i doprinos stvaranju jedinstvenog evropskog transportnog područja. Cilj politike je postizanje ovog cilja kroz izgradnju novih fizičkih infrastruktura; usvajanje inovativnih digitalnih tehnologija, alternativnih goriva i univerzalnih standarda; i modernizaciju i nadogradnju postojećih infrastruktura i platformi. Nakon revizije TEN-T politike za 2013. godinu, identifikovano je 9 koridora glavnih mreža kako bi se usmerio i olakšao koordinirani razvoj TEN-T Core mreže [11]. Srbija je obuhvaćena koridorom Rajna – Dunav, gde se odmah i upuću na mogućnosti neophodnost povezivanja više vidova saobraćaja, što je u radu ukazano na primeru drumskog i vodnog saobraćaja.

Uprkos nespornim prednostima položaja Republike Srbije, saobraćaj se kao delatnost karakteriše više slabostima i problemima nego pozitivnim ekonomskim efektima u poređenju sa susednim zemljama. Jedan od glavnih problema jeste to što transportna infrastruktura na evropskim koridorima nije harmonizovana ni izgrađena do kraja i nije opremljena savremenim tehničko-tehnološkim sistemima. U Strategiji razvoja transporta Republike Srbije do 2015. godine [5] naglašeno je da je potrebno razviti intermodalni transport i podsticati intenzivnije korišćenje železničkog, a posebno rečnog saobraćaja, kao i privući međunarodne tokove saobraćaja i iskoristiti plovni put Dunava. Efekti sprovedenih mera i aktivnosti pozitivno bi se odrazili na razvoj i primenu domaćih informacionih tehnologija, ali i na poboljšanje međunarodne konkurentnosti privrede i stvorili bi pozitivne eksterne efekte u sektoru ostalih usluga.

Iako vodni i drumski saobraćaj ne sučeljavaju "u nivou", njihovo funkcionisanje je isprepletano u mnogim segmentima, a što vodi do činjenice da je uspostavljanje nekog oblika usaglašenog sistema upravljanja i mogućnost i potreba.

## **2. Informacione tehnologije kao element upravljanja**

Efikasnost funkcionisanja saobraćajnih sistema se obezbeđuje, pored ostalog, kvalitetnim upravljanjem. Jedan od osnovnih ciljeva upravljanja jeste, da se racionalnim planiranjem, organizacijom, regulisanjem i kontrolom saobraćajnih procesa obezbedi realizacija ostalih ciljeva i zadataka organizacije u svim uslovima, uz minimum troškova i utrošaka resursa. Upravljanje hijerarhijskim sistemima, kakav je saobraćaj generalno, zasniva se na racionalnom odlučivanju, uz podršku adekvatnih savremenih informacionih sistema. Primena savremene informacione tehnologije omogućuje praćenje procesa (transportnih kretanja i kretanja objekata transportno-saobraćajnih sredstava) u stvarnom vremenu i prostoru. Upravljanje se definiše kao skup aktivnosti kojima se neki sistem prevodi iz jednog stanja u drugo, obično kvalitetnije stanje [6]. Upravljanje je funkcija sistema usmerena na održavanje njegovih osnovnih svojstava u uslovima promene okruženja ili realizaciju nekog programa koji treba da obezbedi stabilnost funkcionisanja sistema. U sistemu upravljanja se izdvajaju dva podsistema: upravljački (upravljajući) i upravljani. Upravljački podsistem realizuje funkciju upravljanja, a upravljani podsistem je njegov objekat [7].

Upravljanje organizacionim sistemima saobraćaja i transporta je složen zadatak. Teži se optimizaciji upravljanja sastavnim delovima – podsistemima. Pri utvrđivanju optimalnog funkcionisanja sistema i razvoja svake pojedinačne komponente sistema mora da se ima u vidu efikasnost funkcionisanja sistema u celini, jer optimalna rešenja delova ne moraju uvek da budu u skladu sa optimumom celine; na primer, razvoj samo tehničke komponente, bez istovremenog razvoja organizacije i kadrova, ne može dati zadovoljavajuće rezultate. Rešavanje svih problema upravljanja vezano je za obradu i prenos informacija, te informacioni sistemi predstavljaju podsistem sistema upravljanja [6]. Osnovni uslov za ostvarivanje uspešne savremene ekonomije jeste postojanje neometanog i efikasnog transporta ljudi i robe. Neuspeh na ovom polju ugrožava konkurentnost i ukazuje na neodrživu upotrebu transportne infrastrukture [8].

Uspostavljanje i efikasnost funkcionisanja saobraćajnog sistema nezamislivi su bez odgovarajuće konfiguracije sistema veza i primene savremenih automatizovanih informacionih sistema u planiranju funkcionisanja saobraćaja i u operativnom upravljanju određenim procesima [8]. Upravljanje podrazumeva manipulaciju podacima - organizovanje, uređivanje i održavanje baze podataka. Savremeni softverski alati danas predstavljaju neizostavnu kariku u procesu izvršenja inženjerskih poslova, i gotovo da nema poslova ili procedura koje se u većoj ili manjoj meri oslanjaju na softverske alate.

## 2.1. GIS i ITS

Poseban značaj među softverskim alatima imaju i geografski informacioni sistemi (GIS) i inteligentni transportni sistemi (ITS).

Saobraćaj se uopšte vezuje za promenu mesta u prostoru, pa shodno tome značajan deo podataka u oblasti drumskog saobraćaja sadrži prostornu odrednicu zbog čega su pogodni za predstavljanje u prostoru korišćenjem GIS alata. GIS u osnovi omogućava unos, skladištenje, manipulaciju, analizu, upravljanje, prezentovanje prostornih podataka i dr. [12]. Sastavni deo GIS-a predstavljaju (geoprostorne) baze podataka kojima GIS manipuliše. U prvi plan kod GIS-a ističe se prezentovanje podataka u smislu generisanja karti sa prikazanim prostornim podacima, što predstavlja mogućnost obavljanja raznih analiza sa prostornim podacima kao značajnu mogućnost GIS alata.

Uvođenjem i primenom GIS tehnologije u saobraćaju otvara se mogućnost analize saobraćajnih mreža i usluga i stvara osnova za primenu sistema koji koriste transport telematiku za rešavanje problema koji se javljaju u svim oblastima saobraćaja, u samim prevoznim sredstvima, putnoj mreži, organizaciji i upravljanju, kao i međusobnu povezanost svih navedenih elemenata [13].

Sa druge strane, kao element upravljanja saobraćajem, dokazano je da su inteligentni transportni sistemi (ITS) aplikacije validan i troškovno efikasan način podrške rukovođenju i funkcionisanju transportnih usluga. Sve veći broj ITS aplikacija sada je na raspolaganju u različitim modelima transporta. Da bi se obezbedila maksimalna korist, ove aplikacije moraju biti kompatibilne, što znači da njihova implementacija mora biti zasnovana na strateškom okviru. Svrha systemske arhitekture za ITS, ili ITS arhitekture, jeste da obezbedi taj okvir. Ovi sistemi imaju potencijal da pruže značajne koristi vezane za operativnu efikasnost, pouzdanost usluge, upravljanja infrastrukturom, kao i povećanu bezbednost, smanjen uticaj na okolinu i vredne informacione usluge za korisnike transporta [7]. Kao i ostali veoma kompleksni sistemi, integrisane ITS aplikacije zahtevaju strateški okvir kao osnovu za izbore vezane za njihov dizajn i upotrebu, kao i odluke vezane za odlučivanje. Sposobnost integrisanja sistema znatno povećava njihov potencijal, čineći ih interoperativnim. Međusobna operativnost obuhvata tehničke, operativne i organizacione aspekte i podrazumeva harmonično i komplementarno funkcionisanje celokupnog sistema. Glavni ciljevi informacionih sistema u saobraćaju stoga i jesu [10]:

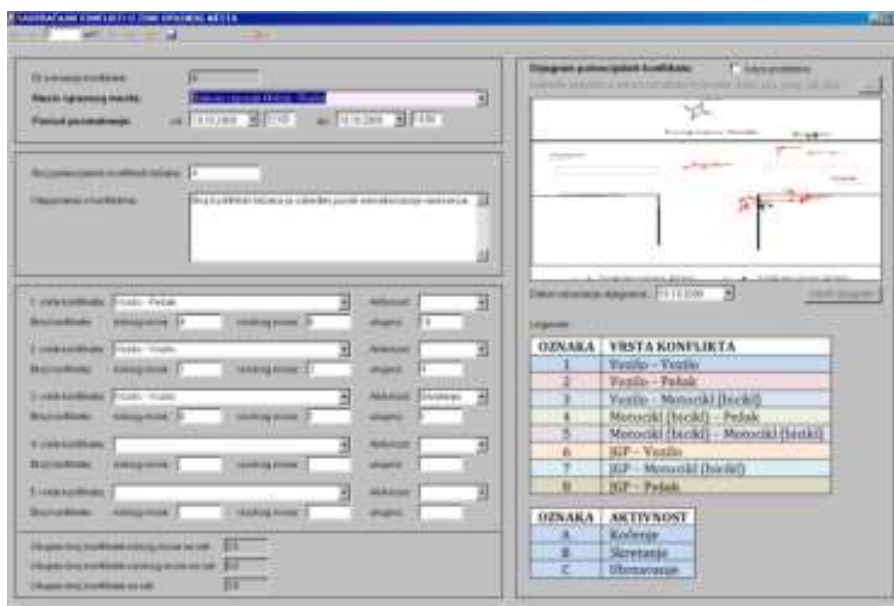
- Omogućavanje pouzdanog i bezbednog funkcionisanja saobraćaja;
- Adekvatan razmeštaj infrastrukturnih objekata u prostoru u odnosu na korisnike;
- Poboljšanje mobilnosti u saobraćaju;
- Optimalno korišćenje energije u skladu sa principima zaštite životne sredine.

### 2.1.1. Informacioni sistemi u drumskom saobraćaju u Srbiji

GIS i ITS razvijeni su za potrebe različitih funkcionalnosti drumskog saobraćaja.

GIS je postavljen kao osnova definisanja mreže puteva i prateće opreme na nivou Srbije, kao potreba za kartografskim dinamičkim praćenjem statusa Sistema u prostoru. Najznačajniji podatak jeste sama putna mreža i njen položaj u prostoru, sa obeleženim deonicama, kategorijama, trenutnim statusom izgradnje. Pomoću saobraćajne signalizacije, u GIS okruženju moguće je pratiti i prostorni položaj automatskih brojača saobraćaja na odabranoj mreži državnih puteva, što omogućava sagledavanje saobraćajnog opterećenja na posmatranim deonicama, kao i interpolaciju podataka sa brojača saobraćaja na ostale susedne deonice. Ovaj podatak je veoma važno posmatrati u prostornoj dimenziji, s obzirom da poznavanjem saobraćajnog opterećenja na državnoj putnoj mreži, kao i mogućnost odliva ili priliva saobraćaja na susedne deonice, čini važnu kariku prilikom izdvajanja materijalnih resursa za rekonstrukciju putnog poteza ili deonica ili projektovanju novih deonica. Mesta ukrštanja železničkog i drumskog saobraćaja u istom nivou, predstavljaju

mesta potencijalnih konflikata, i kao takvi zahtevaju kontinualno praćenje i sprovođenje adekvatnih mera sa ciljem uspostavljanja funkcionisanja sistema upravljanja bezbednošću saobraćaja na njima [12]. Tako se u okviru sistema upravljanja putevima u Srbiji ažuriraju baze podataka o: putevima, objektima (mostovi, tuneli) saobraćaju (PGDS, struktura vozila, brzine), saobraćajnoj signalizaciji, pružnim prelazima i opasnim mestima [14].



**Slika 1.** Baza podataka o opasnim mestima na putevima  
Izvor: Petrović, 2018.

Još jedan aspekt praćenja saobraćajnih sistema, koji je, kao što je rečeno, podrška i njihovom upravljanju, čine ITS aplikacije. Da bi se obezbedila maksimalna korist, ove aplikacije moraju biti kompatibilne, što znači da njihova implementacija mora biti zasnovana na strateškom okviru. Svrha systemske arhitekture za ITS, ili ITS arhitekture, jeste da obezbedi taj okvir. ITS arhitektura identifikuje oblasti funkcionalnosti sistema i ističe trenutno raspoložive podatke, njihov izvor i sve komunikacione veze koje postoje između oblasti funkcionalnosti. Ovi sistemi imaju potencijal da pruže značajne koristi vezane za operativnu efikasnost, pouzdanost usluge, upravljanja infrastrukturom, kao i povećanu bezbednost, smanjen uticaj na okolinu i vredne informacione usluge za korisnike transporta. Opseg sistema uključuje sisteme za: automatsko upravljanje saobraćajem, podršku operacijama javnog transporta, upravljanje potražnjom, informisanje putnika i usluge planiranja putovanja, upravljanje teretom i voznim parkom, rešavanje incidenata i podršku hitnim službama, usluge elektronskog plaćanja i naplate putarina, napredne tehnologije u vozilu [8].

U okviru upravljanja dramskim saobraćajem u Srbiji, vodi se evidencija o državnim putevima, o označavanju državnog puta i saobraćajno tehničkim podacima vezanim za puteve, ali i upravljanje saobraćajem, snimanje saobraćajnog opterećenja i brojanje vozila na državnom putu, za šta je neophodan adekvatan informacioni sistem. Pomoću razvijenog ITS-a Sektor za upravljačko informacione sisteme u saobraćaju u okviru JP „Putevi Srbije“ [15]:

- vodi sve baze podataka od značaja za mrežu državnih puteva;
- vrši monitoring, nadzor i upravljanje saobraćajem na delu mreže državnih puteva opremljenih ITS uređajima;
- vrši kontrolu i upravljanje opremom u tunelima koji imaju upravljačke sisteme;
- obezbeđuje podršku nadležnim službama za zimsko održavanje na delu mreže državnih puteva opremljenih meteo-stanicama (PMIS);
- vodi poslove snimanja saobraćaja na državnim putevima i prikupljanje podataka vezanih za saobraćaj.

Obavljaju se poslovi upravljanja i održavanja na pet sistema koji predstavljaju tehničko-tehnološko i funkcionalne celine u oblasti upravljačko informacionih sistema u saobraćaju [14]:

- UPRAVLJANJE SISTEMIMA U TUNELIMA;
- UPRAVLJANJE ITS OPREMOM NA PUTEVIMA;
- UPRAVLJANJE AOP-om U NAPLATI PUTARINE;
- UPRAVLJANJE AUTOMATSKIM BROJAČIMA SAOBRAĆAJA (ABS);

- UPRAVLJANJE METEOSTANICAMA (PMIS).

Neki od ovih subsystema primenjivi su u više oblasti i mogu ponajpre doprineti povezivanju više informacionih sistema.

Baze podataka u okviru ITS-a sadrže osnovne podatke koji datu aktivnost lociraju na mreži državnih puteva u Srbiji, uz dodatne specifične karakteristike vezane za datu celinu informacionog sistema. Tako ITS relevantan za upravljanje tunelima sadrži podatke o samom tunelu, a onda i o broju, tipu vozila, intenzitetu saobraćaja i slično, što je karakteristično i za otvorene deonice puteva [15].



Slika 2. ITS – Upravljanje tunelima  
Izvor: Petrović, 2018.

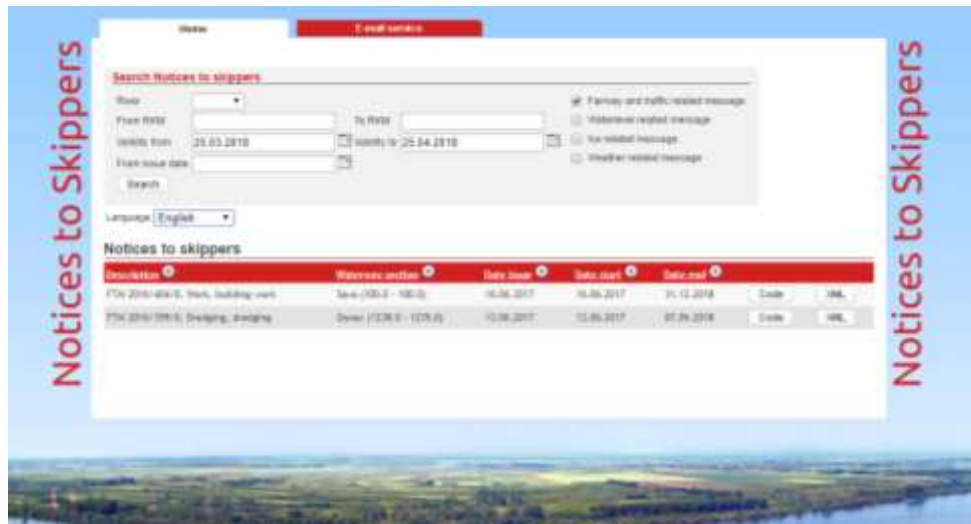
Ovi informacioni sistemi omogućavaju dobijanje i dopunskih podataka i o određenom vozilu, mestu, deonici, a koji u datom trenutku ne mogu biti dostupni na isti način putem drugih sistema, dakle, u krajnjoj liniji daju realni vizuelni prikaz stanja na terenu (npr. pomoću video nadzora) [15].



Slika 3. Video nadzor na putevima  
Izvor: Petrović, 2018.







Slika 5. Notices to Skippers portal  
Izvor: <http://nts.risserbia.rs>

### 3. Mogućnosti kombinovanja informacionih sistema drumskog i vodnog saobraćaja u Srbiji

Kako navodi Jovanović [18], čisto inženjerski, projektni pristup kojim je formiran začaran krug rešavanja saobraćajnih zagušenja izgradnjom novih puteva više ne zadovoljava, a što zahteva adekvatno upravljanje postojećim infrastrukturnim sistemima. Budući da država svoju ulogu sprovodi preko različitih institucionalnih struktura, navodi Ђорђевића [19] da „postojanje intersektorske saradnje olakšava posao ekspertskih timova da odrede prioritete u prostornom razvoju“ svakako su potvrđeni. Bez obzira na to što će se pri rešavanju ovakvih odnosa uglavnom sukobiti različiti interesi, ovakve relacije globalnih i lokalnih, kako dugoročnih tako i kratkoročnih ciljeva neizostavan su deo procesa planiranja i kao takve se ne mogu izostaviti, zbog čega ih je neophodno tehnički i stručno preduprediti. To se može uočiti i na primeru različitih vrsta saobraćaja.

Putevi Srbije i Koridori Srbije poseduju detaljne karte puteva kojima upravljaju u vidu karata referentnih sistema na kojima je naznačen rang puta, njegova trasa, kao i mapa radova na njima [14]. Ipak, to ne pruža dovoljan uvid u to u kakvoj su relaciji ovi putevi sa okruženjem, kako utiču na njegov razvoj, a čak i ostali vidovi saobraćaja sa kojim se drumski saobraćaj prostorno ukršta dobijaju sekundarni značaj i njihova interakcija se ne definiše na adekvatnom nivou.



Slika 6. Mapa radova na putevima  
Izvor: <http://www.putevi-srbije.rs/>

Sa druge strane, elektronske plovidbene karte kao osnova RIS-a sadrže detaljne informacije o stanju plovnog puta, sistemu obeležavanja, objektima duž reke, a što onda biva upotpunjeno ostalim celinama RIS-a, pre svega položajem plovila.



**Slika 7.** Elektronske plovidbene karte kao osnova RIS-a  
Izvor: <http://www.plovput.rs>

Svakako da će se u svakom od sistema detaljan prikaz usredsrediti upravo na segment na koji se nadležnost odnosi. Međutim, postoje mnogi delovi infrastrukturne mreže na kojima dolazi do neposrednog interagovanja najmanje dva vida saobraćaja. Kako indiciraju i Strategija razvoja transporta u Republici Srbiji, Prostorni plan Republike i drugi strateški dokumenti, jedna od osnovnih karakteristika razvoja saobraćaja u proteklom i narednom periodu jeste fokus na intermodalnom saobraćaju, koji takođe iziskuje potrebu za usaglašavanjem više transportnih sistema.

Ako uzmemo primer drumskog i vodnog saobraćaja, tipični su neki vidovi njihovog neposrednog povezivanja. Primer mostova ili luka može takvu situaciju neposredno da definiše. Posebnu ulogu ovakva koordinacija ima u slučaju pokretnih mostova, gde drumski i vodni saobraćaj svoju međuzavisnost potvrđuju naizmeničnim obustavama jednog i drugog vida saobraćaja u cilju omogućavanja celokupne efikasnosti transporta na datoj lokaciji. Takođe, radovi na nekom od mostova izgrađenim na plovnim vodotokovima utiču i na jedan i na drugi vid transporta i mogu se u jedinstvenom sistemu identifikovati od strane upravljača oba sistema. Luke, iako jedan od glavnih elemenata vodnog transporta, zahtevaju usaglašavanje jednog i drugog vida saobraćaja, promena u realnom vremenu, a pogotovo u pogledu transporta robe posredstvom oba transportna sistema.

Informacioni sistemi i jednog i drugog vida transporta se moraju prvenstveno usredsrediti na funkcionisanje sistema za koje su nadležni, ali se baze podataka o drugom sistemu mogu obuhvatiti kao subsistemi, sa karakteristikama koje na određeni način mogu biti u kauzalnom odnosu sa datim infrastrukturnim sistemom. Sadašnje informatičke interakcije sistema ne omogućavaju paralelni uvid u status svih saobraćajnih sistema, tj. vodnog i drumskog na pomenutom primeru, budući do su na plovidbenim kartama putevi predstavljeni kao linijski objekti bez ikakvog atributa, što je slučaj i sa rekama (za šta ovde značaja imaju plovne) na kartama mreže puteve i drugih karata u okviru drumskog saobraćajnog sistema.

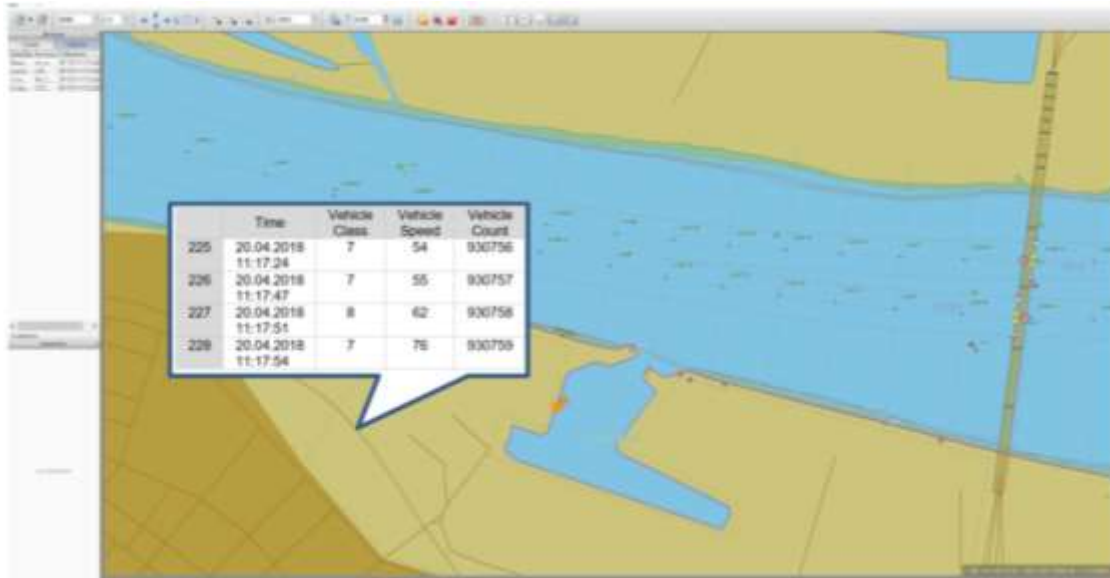
#### 4. Zaključak

Infrastrukturni sistemi su jedna od osnova funkcionisanja i veza različitih aktivnosti i različitih područja. Njihovo upravljanje stoga zahteva efikasnost i transparentnost neophodnih podataka za sve učesnike u saobraćaju, a što u vreme neprikosnovenosti informacionih tehnologija jeste itekako ostvarivo.

Opšti cilj implementacije informacionih servisa u saobraćaju jeste unapređenje bezbednosti i efikasnosti transporta – npr. drumskog saobraćaja, unutrašnje plovidbe itd. Njima se omogućava koordinacija logističkih procesa sa konkretnim transportnim rešenjima na svakodnevnoj osnovi.

Kako bi se informacioni sistemi, kojima u Srbiji upravljaju različite institucije i koji su zbog toga segmentirani i nedovoljno usaglašeni, neophodno ih je povezati – ako ne u jedinstvenu bazu podataka onda kroz sisteme koji će pored svoje osnovne namene koristiti i baze podataka o drugim vidovima saobraćaja kao subsisteme. Tako bi, na primer luka, RIS sistem kao osnovnu bazu između ostalog ima: informacije o plovilu ili tip potiskivanog sastava, dimenzije plovila, maksimalni gaz, informacije o opasnom teretu, određenu luku i

procenjeno vreme dolaska (dinamički podaci sa druge strane, se automatski prenose preko AIS transpondera i AIS radio kanala i automatski se ažuriraju svake dve sekunde). Ukoliko se, kao primer interakcije, uvede podsistem drumskog saobraćaja, on bi mogao, kao specifičnu podbazu podataka uklopljenu u pomenuti deo RIS-a, obuhvatiti deonicu puteva do date luke, informacije o vozilima, informacije o mogućnosti transporta tereta, njihove pozicije, vreme transporta do nekog odredišta i dostupnost u odnosu na pristizanje plovila u luku i sl. Već i ovaj jedan primer ukazuje na mnogobrojne mogućnosti intersektoralnog kombinovanja informacionih sistema u saobraćaju. Na Slici 8 je prikazan potencijalni primer inkorporiranja informacija o vozilima za potrebe transporta robe do luke i pretovara na plovilo.



**Slika 8.** Integrisanje podataka o drumskom saobraćaju u elektronske plovidbene karte

Izvor: Autor

Prikaz saobraćajne slike u realnom vremenu spregom transpondera i ECDIS karte, kao i video nadzora na deonicama plovnog puta kompatibilni s sa istim mogućnostima na nivou drumskog saobraćaja, što je još jedan od pokazatelja mogućnosti njihovog povezivanja a u cilju efikasnosti obavljanja aktivnosti kojima je veza ova dva vida transporta neophodna.

Iz toga proističu mnoge prednosti integrisanja:

- Besplatna je razmena poruka koje se tiču bezbednosti preko transpondera i ITS-a i mogućnost da se primaju podaci o promenama uslova za obavljanje usluge transporta.
- Mogućnost preklapanja radarskog prikaza sa različitim kartografskim prikazima kako bi se poboljšala bezbednost.
- Pristup trenutnim podacima o plovilu/vozilu preko web portala koji omogućava automatski prenos podataka na postojeće IT sisteme.
- Omogućava se fleksibilnost u delovanju ukoliko dođe do odstupanja od prvobitnog plana.
- Pružaoci logističkih servisa mogu povezati podatke o teretu sa podacima o saobraćaju koje pružaju infomacioni sistemi različitih vidova saobraćaja, omogućavajući svim partnerima u logističkom lancu da prate teret u realnom vremenu.

Stoga, integralno upravljanje putem diverzifikovanih mogućnosti kombinovanja podataka dostupnih u okviru upravljačkih sistema više vidova saobraćaja omogućava efikasno i ciljno orijentisano upravljanje. „Izolovano“ upravljanje samo jednim vidom saobraćaja odstupa od planske kategorije upravljanja i onemogućava realizaciju kontinualnog saobrajnog toka u smislu nivoa kvaliteta pruženih informacija. Podaci u realnom vremenu upravo zahtevaju adekvatnu potporu informacionom sistemu, a infrastrukturni sistemi kao mrežni entiteti time imanentno zahtevaju i pružaju osnovu umrežavanju i usaglašenom upravljanju.



## Literatura

- [1] Taxiltaris, Ch. et al. (2005). *Implementation of the PanEuropean Corridors Concept: The case of Corridor X. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, Republic of Greece – Ministry of Transport and Communications.*
- [2] (2010). *Закон о просторном плану Републике Србије 2010. до 2020.* Сл. гласник РС, бр. 88/2010, Београд.
- [3] (2001). *White Paper European Transport Policy for 2010: time to decide.* European Commission, Bruxelles.
- [4] (2011). *White Paper on Transport – Roadmap to a single European transport area – Towards a competitive and resource-efficient transport system.* Directorate-General for Mobility and Transport, Bruxelles.
- [5] (2008). *Strategija razvoja železničkog, drumskog, vodnog, vazdušnog i intermodalnog transporta u Republici Srbiji od 2008. do 2015. godine.* Sl. glasnik RS, br. 4/2008, Beograd.
- [6] Arsić, M. (1999). *Prilog usavršavanja metodologije planiranja saobraćajnog obezbeđenja u korpusnoj operaciji.* Vojnotehnička akademija Vj, Beograd.
- [7] Arsić, M. (2001). *Značaj savremenih informacionih tehnologija u upravljanju procesima saobraćaja i transporta u korpusnoj operaciji.* Naučnotehnički PREGLED, vol. LI, broj 3: 93-96.
- [8] Bosom, R. (2004). *Planiranje savremenog transportnog sistema – Vodič kroz arhitekturu inteligentnog transportnog sistema,* Izdanje 2, FRAME projekti, 1-17.
- [9] Čekerevac, Z. et al. (2010). *Savremene tendencije primene GIS tehnologija.* Zbornik radova sa Međunarodne naučne konferencije MENADŽMENT 2010, Kruševac, 531-536.
- [10] Jain, S. (2016). GIS for traffic management system. (on-line) available at: <https://www.slideshare.net/SourabhJain89/gis-for-traffic-management-system> (20. 02. 2018)
- [11] *Mobility and Transport.* Available at: [https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/rhine-danube\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/rhine-danube_en) (19.04.2018)
- [12] Росић, М. и др. (2015). *Значај и могућности примене ГИС-а у области друмског саобраћаја.* Зборник радова са ГИС форума, Београд,
- [13] Zeng, T. Q. (2001). *Optimal spatial decision making using GIS: a prototype of a real estate geographical information system (REGIS).* International Journal of Geographical Information Science, Vol. 15, Issue 4, 307-321.
- [14] *Organizacija.* Dostupno na: <http://www.putevi-srbije.rs/> (10.02.2018).
- [15] Пешовић, З. *Сектор за управљачко информационе системе у саобраћају.* Доступно на: <http://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/organizacija/sektor-za-upravlja%C4%8Dko-informacione-sisteme-u-saobra%C4%87aju> (10.02.2018).
- [16] *Rečni informacioni servisi.* Dostupno na: <http://www.plovput.rs/recni-informacioni-servisi> (10.02.2018)
- [17] *Notices to Skippers.* Dostupno na: <http://nts.risserbia.rs> (10.02.2018).
- [18] Jovanović, M. (2014). *Gradski saobraćaj i životna sredina.* Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Beograd.
- [19] Ђорђевић, Д. (1995). *Методe одређивања намене површина у просторним плановима (Посебна издања – Књига 5).* Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд.



## KVALITET SITNIH ČESTICA U AGREGATIMA ZA NOSEĆE SLOJEVE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

Marijana Nikolić Ivanović<sup>1</sup>, Olivera Đokić<sup>1</sup>, Suzana Stefanović<sup>1</sup>, Bratislav Milić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za puteve a.d., Beograd

(e-mail: [m.nikolic-ivanovic@highway.rs](mailto:m.nikolic-ivanovic@highway.rs), [o.djokic@highway.rs](mailto:o.djokic@highway.rs), [suzana.stefanovic@highway.rs](mailto:suzana.stefanovic@highway.rs), [b.milic@highway.rs](mailto:b.milic@highway.rs))

**Rezime:** Kvalitet sitnih čestica u agregatima određuje se preko ekvivalenta peska, indeksa plastičnosti, metilen plavog. U Republici Srbiji, za tamponske slojeve proizvođači vrše kontrolu kvaliteta prema Tehničkim specifikacijama iz 2009. godine (sadržaj čestica manjih od 0,02 mm <3% odnosno manjih od 0,08 mm < 6% i  $l_p < 12$ ). Ispitivanja ekvivalenta peska i metilen plavog nisu predviđena. Od 2010. godine u projektima, kao i Tehničkim specifikacijama Puteva Srbije iz 2012. godine uvode se evropski standardi, postavljaju novi zahtevi kvaliteta, pa se pri izgradnji Koridora 10 i Koridora 11 javljaju problemi pri oceni upotrebljivosti agregata. Evropski standard za ekvivalent peska u periodu od 2008. do 2016. godine trpi velike proceduralne izmene. S obzirom da u Srbiji postoji dugogodišnje iskustvo u proceni kvaliteta materijala prema starom sprskom standardu (SRPS U.B1.040), vršena su paralelna ispitivanjima sa različitim evropskim standardima. Dobijene razlike iznosile su do 50%. Zbog navedog, na nekim deonicama koridora usvojena je granica  $SE_{\geq} 45$ . Nameće se neophodnost sistemskih ispitivanja agregata prema SRPS EN standardima i uspostavljanje jedinstvenih kriterijuma za ocenu kvaliteta.

**Ključne reči:** fine čestice, ekvivalent peska, čistoća agregata

## FINES QUALITY FOR BASE AND SUBBASE LAYERS IN PAVEMENT

**Abstract:** The quality of fine particles in aggregates is being determined through sand equivalent, plasticity index, methylene blue. In the Republic of Serbia, for base and subbases the producers perform the quality control in compliance with the Technical Specifications from 2009 (contribution of particles smaller than 0.02 mm <3% i.e. smaller than 0.08 mm < 6% and  $l_p < 12$ ). Tests of sand equivalent and methylene blue are not foreseen. Since 2010 in the designs, as well as in Technical Specifications of Roads of Serbia from 2012, the European standards are being implemented, the new quality requests are being set, thus during the Corridor 10 and Corridor 11 construction, the problems appear at assessment of aggregate usability. European standard for sand equivalent in the period from 2008 to 2016 suffers great procedural changes. Considering the fact that in Serbia there is a longtime experience in material quality assessment in accordance to the previous Serbian standard (SRPS U.B1.040), parallel tests with various European standards have been performed. The obtained differences amounted up to 50%. Due the stated, on some sections of the corridor,  $SE_{\geq} 45$  limit was accepted. The necessity of system aggregate testing is being imposed in accordance to SRPS EN standards and the establishment of the unique criteria for quality assessment.

**Key words:** fine particles, sand equivalent, aggregate purity

### 1. UVOD

Sitne čestice (fines) predstavljaju frakciju agregata sa veličinom čestica manjom od 0,063 mm (prašina i glina) [4]. U zavisnosti od sastava, mogu znatno uticati na otpornost na mraz nevezanih nosećih slojeva, a time i na kvalitet i na trajnost kolovozne konstrukcije. Koliko će ova frakcija uticati na trajnost kolovozne konstrukcije zavisi od procentualnog učešća u ukupoj masi, kao i od sastava/prirode minerala koji je sačinjavaju.

Ukoliko je sadržaj sitnih čestica ispod 3%, smatraju se neškodljivim [4]. U slučaju da je sadržaj veći, potrebno je odrediti njihov kvalitet. Kada dominiraju minerali gline u ovoj frakciji, oni imaju veću sklonost ka apsorpciji vode, što ima za posledicu promene zapremine tokom perioda smrzavanja i otapanja.

Za određivanje kvaliteta sitnih čestica mogu se primeniti različite metode. U Republici Srbiji, do uvođenja metode ekvivalenta peska u projekte kolovoznih konstrukcija (2010. godina), čistoća drobljenih agregata uglavnom je ocenjivana preko granulometrijskog sastava i indeksa plastičnosti.

Pri izvođenju Koridora 10 i Koridora 11, kontrola kvaliteta materijala bazirana je na Tehničkim uslovima iz projekata kolovoznih konstrukcija ili Tehničkim uslovima za građenje koridora (izdanje JP „Putevi Srbije“ iz 2009. godine). Pri projektovanju kolovozne konstrukcije, projektant se oslanja na trenutno važeću regulativu

kod nas, ali u cilju obezbeđenja kvaliteta ugrađenog drobljenog kamenog agregata (DKA) može da zahteva i dodatna ispitivanja, definisana stranim standardima. Projekti radjeni nakon 2010. godine uvode evropske standarde za ocenu kvaliteta materijala. Zahteva se ocena kvaliteta sitnih čestica preko ekvivalenta peska i uglavnom se uzima kategorija  $SE > 60\%$ . Sve je u skladu sa evropskim standardima i visoko postavljenim granicama, kada je u pitanju kvalitet agregata. Ako se u fazi izvođenja radova pojave problemi u vezi upotrebljivosti kamenog agregata, konsultuje se projektant za eventualnu korekciju tog dela projekta. Uvođenjem evropskih standarda u našu regulativu [3] počinju da se javljaju problemi oko procene kvaliteta kao i dostupnosti kamenog agregata zahtevanog TU Projekta.

Kako bi se sagledao kvalitet materijala sa aspekta usvojenih Evropskih standarda, u Institutu za puteve pokrenuta su uporedna ispitivanja ekvivalenta peska po različitim procedurama, kao i ispitivanja na metilen-plavo.

## 2. DOMAĆA REGULATIVA

Drobljeni kameni agregati (DKA) 0/63 mm i 0/31,5 mm koji se koriste za izradu nevezanih nosećih slojeva kolovozne konstrukcije moraju da ispune zahteve u pogledu mineraloško-petrografskih svojstva kamena, fizičko–mehaničkih svojstva kamena i agregata, kao i geomehanička ispitivanja (granulometrijski sastav, maksimalna zapreminska težina i optimalna vlažnost, kalifornijski indeks nosivosti - CBR). Proizvodna kontrola kvaliteta materijala za tamponske slojeve vrši se periodičnim ispitivanjima na 12 meseci, najčešće prema zahtevima Tehničkih uslova (JPPS) iz 2009. godine. Proizvođač angažuje akreditovanu laboratoriju za uzorkovanje materijala ili sam dostavi uzorke ispitnim laboratorijama. Na osnovu izvršenih ispitivanja, dobija se „Izveštaj sa mišljenjem o upotrebljivosti“. U ovim TU, metode ispitivanja i kriterijumi za ocenu kvaliteta materijala definisani su prema SRPS standardima, koji su se izdavali do 1990. godine. U pogledu sitnih čestica (<0,063 mm) nisu propisani zahtevi za maksimalno dozvoljeni sadržaj i kvalitet. Propisan je sadržaj čestica manjih od 0,02 mm na max. 3%. Ovaj uslov najveći broj domaćih kamenoloma zadovoljava.

TU JPPS iz 2012. godine uvode evropske standarde u domaću regulativu. Propisani zahtevi za sadržaj i kvalitet sitnih čestica prikazani su u tabeli 1.

**Tabela 1. Propisani zahtevi za sadržaj i kvalitet sitnih čestica**

Sadržaj zrna manjih od 0,02 mm	< 3 %
Učešće finih frakcija $\leq 0,063$ mm (po EN 13242)	$\leq 5m.-%$ na deponiji, $\leq 8m.-%$ po ugradnji
Ekvivalent peska (po EN 933-8)	$SE_4 \geq 60\%$ velika saobraćajna opterećenja $SE_4 \geq 50\%$ srednja, mala saobraćajna opterećenja $SE_4 \geq 40\%$ vrlo mala ili privremena saobraćajna opterećenja

Izvor: Tehnički Uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji JP "Putevi Srbije" 2012. godine

### 2.1. METODA ODREĐIVANJA EKVIVALENTA PESKA

Metoda za određivanje ekvivalenta peska predstavlja brz i jednostavan opit za proveru čistoće agregata. Ovim testom se utvrđuje prisustvo i relativna količina čestica gline, glinovite prašine (clay or plastic fines) i prašine (dust) u nevezanim materijalima, kao i u sitnom agregatu (fine aggregate) [9]. Dobijena vrednost predstavlja odnos zapremine peskovitih frakcija prema ukupnoj zapremini uzorka, odnosno relativan odnos peskovite i ostalih frakcija u materijalu (glinovite, prašinasto glinovite i prašinaste). On nije mera sadržaja gline, već indikator količine i plastičnosti sitnih čestica u agregatu. Što je dobijeni rezultat veći, znači da je materijal čistiji, odnosno, da je prisutna veća količina peska u odnosu na čestice glinovitog karaktera.

Evropski standard za određivanje ekvivalenta peska EN 933-8 u izdanjima od 1999. do 2016. godine, ima promene u procedurama formiranja test uzorka. Osnovni problem koji se javio u praksi prilikom ocene kvaliteta DKA za tamponske slojeve je što se ispitivanjima po različitim verzijama standarda, odnosno primenom različitih procedura, u nekim materijalima dobijaju velike razlike u krajnjem rezultatu. S obzirom da u Srbiji postoji dugogodišnje iskustvo u proceni kvaliteta materijala prema „starom“ sprskom standardu (SRPS U.B1.040), vršena su paralelna ispitivanja sa različitim verzijama evropskog standarda. Ispitivanjima po SRPS-u dobijene vrednosti mogu biti i do 60% manje u odnosu na vrednosti dobijene prema poslednjoj verziji evropskog standarda.

## 2.2. PROCEDURE STANDARDA ZA ODREĐIVANJE EKVIVALENTA PESKA U SRBIJI

Osnovne promene u proceduri različitih izdanja standarda odnose se na formiranje uzorka za ispitivanje. Takođe, uvode se i nove oznake navedenog parametra. U ovom poglavlju dat je kratak prikaz promena po različitim izdanjima standarda.

### – *SRPS U.B1.040*

Standard SRPS (ranije JUS) U.B1.040. usvojen je u našoj zemlji 1968. god. i uveden je u regulativu za agregate za asfaltne mešavine, ali ne i za noseće slojeve od DKA.

Ovaj standard po proceduri ispitivanja odgovara američkom standardu ASTM D2419 - određivanje ekvivalenta peska za tla i fine agregate. Opit se izvodi na frakciji 0/4,75 mm. Odnos zapremine peskovitih frakcija prema ukupnoj zapremini uzorka predstavlja ekvivalent peska i označava se sa **ES**. Ako je  $ES > 30$  tlo je neplastično [5]. Takođe, poredjenja radi Tehničkim specifikacijama za agregate za asfaltne mešavine u Srbiji je zahtevan  $ES > 60$ .

Standard je povučen 2013. godine.

### – *SRPS EN 933-8: 2008*

U odnosu na proceduru ispitivanja identičan je sa američkim, kao i sa SRPS U.B1.040, ali se izvodi na frakciji 0/2 mm (referentna). Dobijeni rezultat se označava sa **SE**. Opciono, izvodi se i na frakciji 0/4 mm, kada se označava sa **SE<sub>4</sub>** [6].

Ispitivanje na frakciji 0/2 mm vrši se kako bi se izbeglo zadržavanje i "uklještenje" sitnih čestica između čestica veličine 2-4 mm pljosnat oblika (flaky shape), ali se mogu dobiti numerički niže vrednosti, nego na krupnijoj frakciji (0/4 mm).

Prema ovom standardu zahtevana je ocena čistoće agregata u projektima za Koridor 10 i Koridor 11. Definisana je granica od  $SE > 60$ . Ova vrednost odgovara najvišim evropskim kriterijumima. Na osnovu dostupnih literarnih podataka, u periodu pre izmena standarda i uvođenja korekcije, u zemljama Evropske Unije zahtevane vrednosti kretale su se od  $SE \geq 40$  (Grčka) do  $SE \geq 60$  (Francuska) [16].

TU Puteva Srbije iz 2012. god., propisan je kriterijum prema ovom standardu za frakciju 0/4mm (tabela 1).

### – *SRPS EN 933-8: 2013*

Evropski komitet za standardizaciju razvija (2012 god.) proceduru ispitivanja sa korekcijom na frakciji 0/2 mm (referentna), ako je sadržaj sitnih čestica ( $< 0,063$  mm) u njima  $> 10\%$ . Korekcija se sastoji u zameni dela sitnog materijala sa krupnozrnijim, ispranim materijalom (0,063/2 mm). Dobijena vrednost označava se sa **SE(10)**. Procedura za frakciju 0/4 mm je ne promenjena (nekorigovana), **SE<sub>4</sub>** [7].

Ovaj evropski standard se usvaja u RS u drugoj polovini 2013. godine, a povučen je početkom 2016. godine.

### – *SRPS EN 933-8: 2016*

U narednom izdanju standarda iz 2016. godine, korekcija se vrši za obe frakcije (0/2 mm i 0/4 mm), ako je sadržaj sitnih čestica u njima  $> 10\%$  [8].

Test uzorak formiran sa korekcijom daje obično visoke vrednosti ekvivalenta peska, koje često prelaze granicu od 50 i 60, pa se sa stanovišta Tehničkih uslova agregati smatraju čistim. Problem koji se javio u praksi pri proceni kvaliteta DKA je kada se dobiju vrednosti korigovanog ekvivalenta  $SE(10) \geq 50 / 60$ , a prisustvo štetnih, glinovitih čestica je potvrđeno drugim metodama – metilen-plavo, Aterbergovim granicama konzistencije.

## 3. STRANA REGULATIVA (EVROPSKA I AMERIČKA)

### – EVROPSKI STANDARD ZA AGREGATE EN 13242: 2002 + A1: 2007

Prema ovom standardu [4], na osnovu ispitivanja pojedinačnih tehničkih svojstva agregata vrši se kategorizacija materijala i definišu klase/kategorije kvaliteta. Kategorije se odnose, na primer, na: oblika zrna agregata, sadržaja sitnih čestica, otpornost na drobljenje ili postojanosti na delovanje mraza (magnezijum-sulfat test). Kroz nacionalne dodatke ili Tehničke uslove, zemlje članice EU propisuju zahteve kvaliteta u skladu sa potrebama i propisima svake države. Ovaj standard je usvojen u Republici Srbiji 2010. godine.

- sadržaj sitnih čestica u zavisnosti od maksimalno dozvoljenog procenta, deklarise se kroz kategorije od f3 do f15. Iznad  $> 15\%$  je kategorija  $f_{\text{deklarisano}}$  i kategorija  $f_{\text{NR}}$  – bez zahteva, tabela 2.
- kvalitet sitnih čestica propisano je da se određuje metodom ekvivalenta peska (SE) ili metodom metilen plavo (MB). Zahtevane minimalne vrednosti za navedene parametre nisu definisane. Prema

standardu, granice i/ili kategorije se moraju utvrditi na lokalnom nivou, u zavisnosti od važećih odredbi i postojećih zahteva za materijale.

Takođe, propisano da se navedeni parametri (sadržaj i kvalitet sitnih čestica), u okviru fabričke kontrole proizvodnje kontrolišu najmanje jedanput nedeljno, kao i granulometrijski sastav.

**Tabela 2. Kategorije prema najvećim vrednostima sadržaja sitnih čestica**

Agregat	Masa frakcije koja prolazi kroz sito od 0,063 mm %	Kategorija <i>f</i>
Mešavina	≤ 3	<i>f</i> <sub>3</sub>
	≤ 5	<i>f</i> <sub>5</sub>
	≤ 7	<i>f</i> <sub>7</sub>
	≤ 9	<i>f</i> <sub>9</sub>
	≤ 12	<i>f</i> <sub>12</sub>
	≤ 15	<i>f</i> <sub>15</sub>
	>15	<i>f</i> <sub>deklarisano</sub>
Bez zahteva	<i>f</i> <sub>NR</sub>	

Izvor: SRPS EN 13242: 2002 + A1: 2007

- AMERIČKI STANDARD ZA AGREGATE D2940/D2940M – 15

Standardne specifikacije za agregate za nevezane noseće slojeve za puteve ili aerodrome definisane su sa D2940/D2940M – 15. Za sitne agregate (ispod 4,75 mm) propisani su sledeći zahtevi:

- Sadržaj frakcije koja prolazi kroz sito 0,075 mm ne sme preći 60% od sadržaja frakcije koja prolazi kroz sito 0,6 mm
- Granica tečenja frakcije ispod 0,425 mm mora biti manja od 25, a index plastičnosti od 4, ( $WI < 25$ ,  $I_p < 4$ )
- Ekvivalent peska mora biti veći od 35,  $SE \geq 35$
- Za materijale koji se koriste na većim dubinama od zone uticaja mraza zahteva se indeks plastičnosti  $I_p < 6$ , kao i ekvivalent peska  $SE \geq 30$ .

#### 4. REZULTATI

##### 4.1. Uporedna ispitivanja ekvivalenta peska – SE(10) i SE<sub>4</sub>

U laboratoriji Instituta za puteve i drugim laboratorijama vršena su uporedna ispitivanja ovih parametara. Rezultati su prikazani u tabeli 3.

Uporedna ispitivanja po navedenim procedurama, SE<sub>4</sub> bez korekcije i SE(10), uradjena su iz sledećih razloga:

- Ispitivanje na SE<sub>4</sub> po proceduri SRPS EN 933-8: 2013 odgovara SRPS U.B1.040 standardu, tako da sa dobijenim vrednostima postoji iskustvo domaćih inženjera u proceni kvaliteta materijala
- TU JPPS iz 2012. god. propisuju zahtevane vrednosti za frakciju 0/4 mm
- ispitivanje SE na frakciji 0/2 mm bez korekcije, daje obično niže vrednosti od vrednosti na 0/4 mm. Po evropskom standardu ova frakcija jeste referentna, ali se u domaćoj praksi nije primenivala do uvođenja standarda u projekte kolovoznih konstrukcija. EU standard ne definiše kada se koja frakcija ispituje, pa je pretpostavka da zavisi od lokalnih propisa/prakse zemlja članica.

**Tabela 3. Rezultati uporednih ispitivanja ekvivalenta peska bez i sa korekcijom mase**

Red. br.	Ispitivanja izvršila	Objekat	Materijal	Bez kokorekcije		Sa korekcijom	
				0/2mm	0/4mm	0/2mm	0/4mm
				SE	SE <sub>4</sub>	SE(10)	SE <sub>4</sub>
1	Laboratorija IP	Podaci iz kontrole gradnje IP laboratorija na različitim objektima <sup>1</sup>	0/31,5mm		38	62	
2			0/31,5mm		28	60	
3			0/31,5mm		40	60	
4			0/31,5mm		23	54	59
5			0/31,5mm		37,9	64,5	
6			0/31,5mm		32,5	64,1	
7			0/31,5mm		24,7	55,9	
8			0/63 mm	22,2	24,1	57,4	
9			0/63 mm		27,0	56,7	62,2
10			0/63 mm		57,2	72,6	74,1
11	Laboratorija IMS <sup>2</sup>	Koridor 11, E-763, deonica 3, Deponije kamenoloma krečnjačkog i dolomitskog materijala	0/31,5mm		30,6	51,8	
12			0/31,5mm		34,7	67,7	
13			0/31,5mm		63,1	78,1	
14			0/31,5mm		61,2	73,7	
15			0/31,5mm		67,3	73	
16			0/63 mm		29,1	48,5	
17			0/63 mm		29,1	63,3	
18			0/63 mm		50,9	65,8	
19			0/63 mm		62,6	68,6	
Objašnjenje: IP – Institut za puteve a.d., Beograd; IMS – Institut za ispitivanje materijala, Beograd							

Kao i u slučaju nekorigovane procedure, uvođenjem korekcije mase na frakciji 0/4 mm (2016. godine), dobijaju se numerički veći rezultati, u odnosu na frakciju 0/2 mm SE(10).

#### 4.2 Uporedna ispitivanja ekvivalenta peska i metilen-plavo

Ispitne laboratorije su u obavezi da prate promene izdanja standarda i da, ukoliko se koriste nedatirane reference, primenjuju poslednje izdanje. S obzirom da za EN 933-8 rezultati zavise od procedure ispitivanja, u skladu sa preporukama američkih standarda [9], na nekim uzorcima prikazanim u tabeli br. 2, uporedo sa određivanjem ekvivalenta peska urađen je opit metilen-plavo (hemijska ispitivanja na prisustvo gline), kao i određivanje Aterbergovih granica konzistencije. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli br. 4.

<sup>1</sup> Podaci u arhivi Instituta za puteve

<sup>2</sup> Ispitivanja tekuće laboratorije Izvođača radova China Shandong International na izgradnji Autoputa E-763, deonica 3, vršena u okviru prethodnih ispitivanja materijala i dostavljena nadzornoj službi Instituta za puteve.



**Tabela 4.** Rezultati uporednih ispitivanja ekvivalenta peska, metilen-plavo i Aterbergovih granica konzistencije

Redni br.	Materijal	Bez korekcije		Sa korekcijom		Metilen plavo		% čestica ≤0,063mm	Aterbergove granice		
		SE	SE4	SE(10)	SE4	MB	MB <sub>0/D</sub> *		Wl	Wp	Ip
1	0/63 mm	22,2	24,1	57,4	/	4,8	0,9	4	/	/	/
2	0/31,5mm	/**	23,0	54,0	59,0	10,4	3,12	8	19,1	14,2	4,9
3	0/63mm	/	27,0	56,7	62,2	/	/	6	24,2	15,7	8,5
4	0/31,5mm	/	32,5	64,1	/	3,0	0,54	4	NP		
5	0/31,5mm	/	24,7	55,9	/	3,3	0,7	4	NP		

\* prema BS 13242:2013 - za DKA umesto vrednosti metilen-plavo (MB), upotrebljava se parametar MB<sub>0/D</sub> koji se dobija prema obrascu MB<sub>0/D</sub> = MB x % prolaza na 2 mm; vrednost MB se koristi za ocenu čistoće sitnog agregata  
/\*\*opit nije rađen

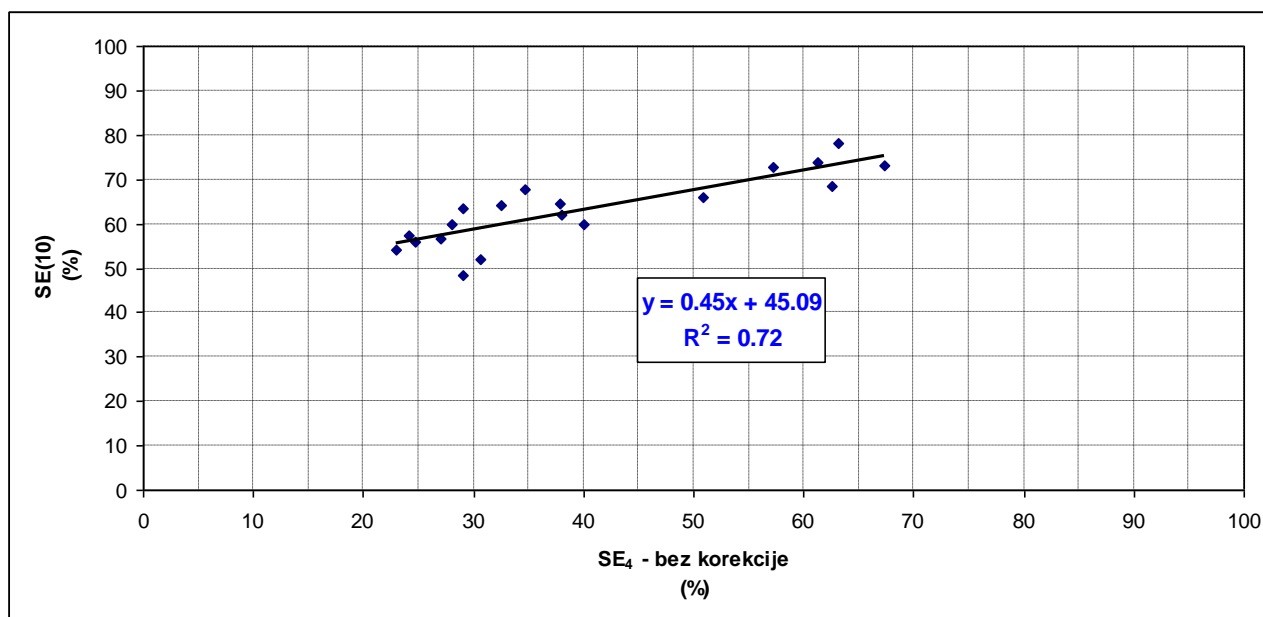
U domaćim specifikacijama nema propisanog kriterijuma za dozvoljenu vrednost metilen-plavog. Za analizu rezultata korišćene su Evropske preporuke prikazane u tabeli 5.

**Tabela 5.** Evropski kriterijumi za metilen-plavo

Agregati	Francuske	Grčke	Britanski standard	
	NF XP P 18-540	(EOAE)	BS EN 13242:2013	
	<b>MB</b>	<b>MB</b>	<b>MB<sub>0/D</sub></b>	Kategorija
Nevezani	≤3,0	≤3,0	≤ 0,8	MBA 0,8
			≤ 1	MBA 1
			≥ 1	MBA

## 5. DISKUSIJA

Određivanjem ekvivalenta peska sa korekcijom mase na frakciji 0/2 mm SE(10), dobijene vrednosti su bile i do 130% veće u odnosu na vrednosti SE<sub>4</sub> (SRPS EN 933-8: 2013). Sa povećanjem procenta korekcije, povećava se i razlika u vrednostima ovih parametara. Iz navedenih razloga, postavilo se pitanje ocene kvaliteta materijala. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3, uspostavljena je međusobna zavisnost SE<sub>4</sub> i SE(10), prikazana na slici 1. Postavljen je linearni trend između navedenih parametara, za koji je dobijen koeficijent determinacije (R<sup>2</sup>) od 0.72.



**Slika 1.** Dijagram korelacije zavisnosti ekvivalenta peska SE<sub>4</sub> i SE (10)

Na osnovu dobijene korelacije i zadatih vrednosti  $SE_4$  u tabeli 6 prikazane su proračunate vrednosti  $SE(10)$ .

**Tabela 6.** Vrednosti nekorigovanog  $SE_4$  i proračunate vrednosti  $SE(10)$ , na osnovu korelacije sa slike 1.

$SE_4$	$SE(10)$
20	54
25	56
30	59
35	61
40	63
45	65
50	68
55	70
60	72

Ekvivalent peska je veličina na koju utiču paramteri kao što su: vrsta stene koja se drobi, vrsta gline koja je u agregatu prisutna, odnos glinovite i prašinate frakcije, oblik zrna agregata, tako da uspostavljanje korelacione zavisnosti većeg stepena pouzdanosti zahteva i znatno veći broj uzoraka i detaljniju statističku analizu. S obzirom na broj analiziranih parova (19), dobijeni trend prikazan je kako bi se na još jedan način ukazalo na stepen razlike ovih parametara i potrebu za analizom i eventualnom revizijom postavljenih kriterijuma.

Poređenjem dobijenih rezultata sa zahtevanim kriterijumima, ukazuje da neki materijali kod kojih je dobijena vrednost ekvivalenta peska sa korekcijom mase  $SE_4$  i  $SE(10) \geq 50$ ; 60, imaju u sebi nedozvoljen sadržaj gline. Primer takvih materijala prikazan je pod br. 2 i 3 u tabeli 4.

Sa druge strane, vrednosti za materijale pod br. 4 i 5 (tabela 4), ukazuju da imaju povećan sadržaj sitnih čestica koje nisu dominantno glinovitog porekla. Primenom samo kriterijuma nekorigovanog ekvivalenta peska ovakvi materijali bi bili eliminisani za upotrebu. Preporuke strane literature su da se u ovim slučajevima izvede opit metilen-plavo, kako bi se utvrdio karakter sitnih čestica, odnosno da li su štetne ili ne.

Na slikama od 2 do 5 prikazani su primeri iz prakse sa navednom problematikom.



**Slika 2.** Deponija krečnjačkog materijala



**Slika 3.** Krečnjački materijal sa deponije  
 $SE(10)$  56,7;  $I_p$  8,5; %<0.063 mm=6%



**Slika 4.** Krečnjački materijal sa  $SE_4$  33,7;  $WI$  18; % < 0.063 mm=9%



**Slika 5.**

Kao što je već rečeno, u domaćim Tehničkim uslovima ne postoji definisan kriterijum za parametar metilen-plavo. Kod preuzimanja zahtevanih vrednosti za kvalitet materijala iz stranih tehničkih specifikacija mora se uzeti uobzir da su definisane u skladu sa dostupnim materijalima, kvalitetom lokalnih materijala, klimatskim prilikama na određenom području, materijalnih mogućnostima, raspoloživim sredstvima i sl.

Problemi u proceni kvaliteta DKA za tamponske slojeve primenom različitih izdanja standarda SRPS EN 933:8, uočen je tek pri izvođenju radova.

Primera radi, na izgradnji Autoputa E-763, deonica 3, Izvođač radova je tražio relaksaciju projektom zahtevanog kriterijum  $SE > 60$  i usvajanje kriterijuma  $SE(10) > 50$ , za DKA 0/31,5 mm. Obrazloženje za navedeni zahtev je da DKA u okruženju, koji su zadovoljavali zahteve TU JPPS 2009. god., sada nisu više mogli da se koriste, jer nisu zadovoljavali ovaj kriterijum ili proizvođači nisu svojim kapacitetima mogli da isprate dinamiku gradnje i da u kontinuitetu obezbede zahtevani kvalitet.

Zbog bojazni da bi primenom predloženog kriterijuma moglo doći do odobrenja materijala čiji kvalitet nije odgovarajući za noseći sloj, predlog Izvođača nije prihvaćen. Nadzor je predložio da se projektni kriterijum sa  $SE \geq 60$  relaksira primenom kriterijuma  $SE_4 > 45$ , za frakciju 0-4mm, bez korekcije (SRPS EN 933-8, 2013), uz napomenu da u slučaju sumnje da su niže vrednosti ekvivalenta peska posledica većeg učešća „neškodljive“ prašine, a ne glinovite frakcije, Izvođač metodom metilen-plavo može dokazati njihov karakter. Ovaj predlog je odobren od strane investitora.

## 6. ZAKLJUČAK

Zbog navedenog, potrebno je vršiti paralelna ispitivanja ekvivalenta peska po evropskom standardu sa i bez korekcije, kao i hemijska ispitivanja na prisustvo gline (metilen-plavo test) u okviru dostupnih lokalnih materijala. Na osnovu dobijenih vrednosti granice za ekvivalent peska mogle bi da se koriguju ili potvrde, kao i definišu zahtevani kriterijumi za metilen-plavo u kontroli kvaliteta drobljenih kamenih agregata. Takođe, ovo bi omogućilo da se sagleda kvalitet domaćih materijala prema SRPS EN standardima.

Na bazi dobijenih podataka potrebno je izvršiti korekcije i dopune postojećih Tehničkih specifikacija iz 2009. godine, kao i Tehničkih uslova za građenje iz 2012.godine (izdanja JP Putevi Srbije).

Takođe, potrebno je uraditi Nacionalni dodatak za kontrolu kvaliteta proizvodnje i ugrađivanja drobljenih kamenih agregata. Na ovaj način bi se osigurao izbor kvalitetnog materijala za noseće slojeve kolovozne konstrukcije.

## Literatura

- [1] JP Putevi Srbije, Tehničke specifikacije, Poglavlje 6: Donji noseći slojevi, JP Putevi Srbije, 2009.
- [2] S. Stefanović, O. Đokić, B. Milić, Usaglašavanje tehničkih uslova iz projekta sa kvalitetom dostupnih kamenih agregata, in: Zbornik Radova Sa I Srpskog Kongresa O Putevima, Beograd, 2014: pp. 1–12.
- [3] JP Putevi Srbije, Tehnički uslovi za građenje puteva u RS, 2 Posebni tehnički uslovi, 2.4. Kolovozne konstrukcije, JP Putevi Srbije, 2012.
- [4] SRPS EN 13242: 2002 + A1: 2007, Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za

- standardizaciju: Agregati za za nevezane i hidraulički vezane materijale za upotrebu u građevinskim radovima i izgradnji puteva, Tehnički komitet CEN/TC154, 2010.
- [5] SRPS U.B1.040, Nacionalni standard Srbije: Određivanje ekvivalenta peskovitih tla, Savezni zavod za standardizaciju, 1968.
  - [6] SRPS EN 933-8, Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje ekvivalenta peska, Savezni zavod za standardizaciju, 2008.
  - [7] SRRS EN 933-8, Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje ekvivalenta peska, Savezni zavod za standardizaciju, 2013.
  - [8] SRPS EN 933-8, Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje ekvivalenta peska, Savezni zavod za standardizaciju, 2016.
  - [9] ASTM D2419 - 14, Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.
  - [10] ASTM D2440/D2940M - 15, Standard Specification for Graded Aggregate Material For Base or Subbase for Hihgways or Airports
  - [11] BS EN 13242:2013, Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction
  - [12] Bohar F. (2007), DOLČITVE METILEN MODRO NA ZNAČILNIH KAMENIH AGREGATIH – KAJ PA ZEMLJINE?
  - [13] Sand Equivalent , (on-line) available at:  
[http:// www.pavementinteractive.org/sand-equivalent/](http://www.pavementinteractive.org/sand-equivalent/)
  - [15] CPL, AD „CENTAR ZA PUTEVE VOJVODINE“ (2010), Glavni projekat autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor I: Beograd (Ostružnica) – Ljig, Deonica 3, Obrenovac – Ub, od km 14+416,09 do km 40+645,28, Glavni projekat kolovoznih konstrukcija
  - [16] Nikolaides A., Manthos M., Sarafidou M., 2007, Sand Equivalent and Methylene Blue V of Aggregates for Highway Engineering, Foundations of Civil and Environmental Enigneering, No 10, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań 2007, 111-121.

## ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMENE KRUŽNIH RASKRSNICA UMETO KLASIČNIH RASKRSNICA SA PRESECANJEM SAOBRAĆAJNIH STRUJA

**Asis. Stefan Vranjevac<sup>1</sup>, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Doc. dr Sanja Fric, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Istraživač-saradnik Vladan Ilić, master inž. građ**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [ftprcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftprcevski@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Raskrsnice kao mesta na kojima se ukrštaju različiti putni pravci, odnosno kao čvorišta putnih pravaca, zauzimaju značajno mesto u svakoj putnoj mreži. S obzirom na to da imaju bar dva puta manju propusnu moć od osnovne deonice, raskrsnice predstavljaju ograničavajući faktor cele deonice. Zbog ovako velike važnosti raskrsnica, odluka o izboru njihovog tipa treba biti doneta već na nivou generalnog projekta. U sklopu održavanja puteva i sanacija opasnih mesta sve češće smo svedoci rekonstrukcija klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja u moderne kružne raskrsnice. Do takvih rekonstrukcija dolazi prvenstveno radi povećanja bezbednosti – time što su na kružnim raskrsnicama u najvećoj meri izbegnute konfliktne tačke u kojima dolazi do saobraćajnih nezgoda sa težim posledicama. Ovaj rad će dati uvid u opravdanost takvih rekonstrukcija, sa stanovišta svih učesnika u saobraćaju, kao i uvid u uticaj na bezbednost i brzinu odvijanja saobraćaja.

**Ključne reči:** klasične raskrsnice, kružne raskrsnice, konfliktne tačke, ulivni tokovi.

## FEASIBILITY ANALYSIS OF APPLICATION OF THE ROUNDABOUT INSTEAD OF THE CLASSICAL INTERSECTION

**Abstract:** As junction of roadways, intersections take very important location in every road network. Intersections are at least two times less permeable than the main section, which represents the limiting factor of the whole section. Because of the big importance of intersections, the decision about choosing their type should be made in conceptual design. Within the current road maintenance and repair of dangerous spots we are increasingly witnessing reconstructions of the classical intersections in the modern roundabouts. That kind of reconstructions are made first and foremost for the upgrading of traffic safety – by avoidance of conflict points at roundabouts, where it comes to traffic accidents with the severe consequences. This article will provide insight into the feasibility of those kind of reconstruction, from the perspective of all participants in the traffic, and will provide insight into influence on safety and traffic flow.

**Keywords:** classic intersection, roundabouts intersection, conflict point, approach vehicle

### 1. UVOD

Već dugi niz godina u mnogim zemljama sveta prisutan je trend rekonstrukcija klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja u moderne kružne raskrsnice. U Srbiji takođe u poslednjih desetak godina imamo prisustvo sve većeg broja kružnih raskrsnica, otuda i povećano interesovanje o prednostima koje takve raskrsnice donose. U ovom radu su kroz različite parametre date smernice kada kružne raskrsnice predstavljaju povoljnije rešenje od klasičnih, a kada njihovu primenu treba izbeći, da bi se smanjila mogućnost neopravdanih rekonstrukcija. Takođe, za potrebe ovog rada izvršeno je istraživanje o povećanju bezbednosti na konkretnoj lokaciji na kojoj je izvršena rekonstrukcija klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja u kružnu raskrsnicu.

---

<sup>1</sup> Vranjevac Stefan: [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)



## 2. OPŠTE KARAKTERISTIKE

Površinske raskrsnice pružaju zadovoljavajuće rešenje za ukrštanje putnih pravaca čije je opterećenje do 800 vozila po času u oba smera [1], u slučaju većih saobraćajnih opterećenja trebalo bi se pribeci primeni denivelisanih raskrsnica kojima se u potpunosti nivelaciono odvajaju ukršni pravci. Na osnovu ove tvrdnje može se uvideti važnost površinskih raskrsnica i polje primene u putnoj mreži. Jasno je da se na površinskim raskrsnicama javljaju konfliktne zone, tj. mesta na kojima dolazi do korišćenja zajedničkih saobraćajnih površina za vozila koja dolaze iz različitih pravaca. Iz ovog razloga se već na početku procesa projektovanja moraju primeniti regulativne mere, tj. pravila ponašanja, koja će kasnije biti regulisana saobraćajnom signalizacijom.

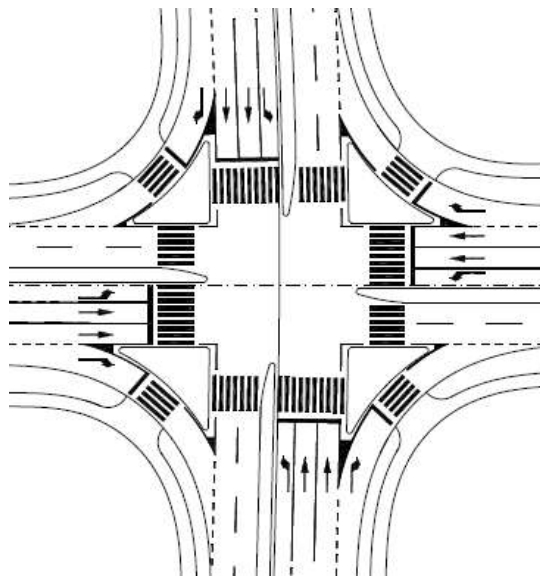
### 2.1. Raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja

Raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja predstavljaju trenutno najzastupljeniji tip raskrsnica. Ono što je za njih karakteristično je da se na zajedničkoj površini različitih smerova vožnje javlja veliki broj konfliktnih tačaka, koje su najvećim delom izbegnute primenom kružnih raskrsnica. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja uvek se jednom pravcu daje pravo prvenstva prolaza pri korišćenju zajedničkih površina, odnosno određuju se glavni (GP) i sporedni (SP) putni pravac.

Kod površinskih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja svetlosnom signalizacijom je moguće razdvojiti konfliktne saobraćajne struje u vremenu slično kao što se denivelisanim raskrsnicama vrši njihovo razdvajanje u prostoru.

Osnovni ograničavajući faktor ovakvog tipa raskrsnica su leva skretanja, koja kod raskrsnica većeg saobraćajnog opterećenja moraju imati posebnu fazu u semaforском ciklusu. Povećanjem broja faza javljaju se i veći gubitci u vremenu jer prelazak iz faze u fazu se razgraničava žutim i svecrvenim svetlom koja predstavljaju čiste vremenske gubitke.

Bitan uslov pri projektovanju ovog tipa raskrsnica je da se u slučaju velikih saobraćajnih opterećenja pravilnim kanalsanjem saobraćajnih struja (slika 1), tačnije izgradnjom podignutih ostrva i ovičenja, razdvoje konfliktne tačke, tj da vozilo pri rešavanju jednog konflikta ima prostor odnosno vreme da se zaustavi do rešavanja drugog konflikta. Ovo praktično znači da će vozač u svakoj tački imati maksimalno jednu dilemu, odnosno maksimalno jedno ukrštanje.

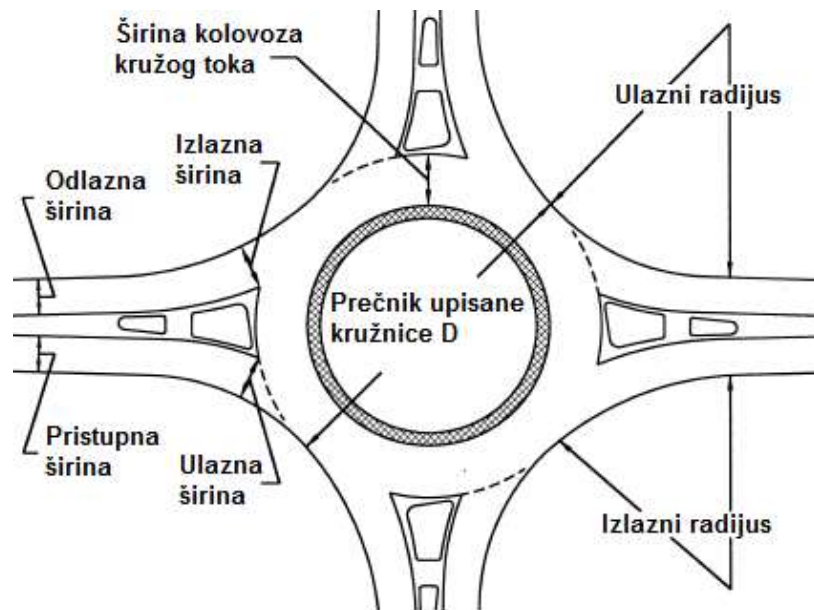


Slika 1. Pravilno kanalsanje saobraćajnih struja

### 2.2. Kružne raskrsnice

Kružne raskrsnice predstavljaju tip raskrsnica koje zauzimaju sve veću primenu, iz više razloga koji će u ovom radu biti navedeni.

Osnovni element je kružni podeonik koji prinudno usmerava putanje kretanja svih vozila koja ulaze u raskrsnicu bez obzira da li ta vozila nastavljaju kretanje desno, pravo ili levo. Osnovni elementi koji najviše utiču na karakteristike kružne raskrsnice kao što su brzina kretanja, propusna moć, bezbednost, gubici vremena itd. su: prečnik upisane kružnice ( $D$ ), širina uliva i izliva, odnosno, broj voznih traka uliva i izliva i širina kolovoza kružnog toka [1] (Slika 2).



Slika 2. Osnovni elementi kružne raskrsnice

Kod raskrsnica sa kružnim tokom nema razdvajanja na glavni i sporedni pravac, odnosno saobraćajne struje pravo, levo ili desno imaju iste uslove ulivanja, kolizije, kružnog kretanja i izlivanja, s tim da prednost uvek imaju vozila u kružnom toku. Dakle, nema privilegovanog pravca, kojem bi se davalo pravo prvenstva prolaza. To takođe znači da se nijednom pravcu ne sme omogućiti velika brzina kretanja, tj. kružnica ne bi smela da ima elipsasti oblik (ako ima, radijusi elipse ne smeju da se razlikuju za više od 15%), jer bi se time vozilima koja nailaze na manji radijus elipse omogućio ulazak u kružni tok velikom brzinom, takođe u toku kretanja vozila kolovozom kružnog toka pri nailasku sa većeg radijusa na manji, došlo bi do velikog bočnog trzaja, što bi značajno smanjilo bezbednost same raskrsnice.

Minimalni prečnik upisane kružnice iznosi 14m za raskrsnice koje se nalaze u gradovima, dok se na kružnim raskrsnicama vangradske putne mreže ne preporučuje primena upisane kružnice prečnika manjeg od 25m. Maksimalna vrednost prečnika upisane kružnice ne bi trebala da prelazi 70m [3], kako zbog prostorne neopravdanosti, tako i zbog nedopustivo dugog zadržavanja vozila u samom kolovozu kružnog toka. Primena tako velikog radijusa mogla bi da prouzrokuje i veće brzine kojima bi se vozila kretala, što bi dovelo do smanjenja bezbednosti, i narušavanja onog što je osnovni cilj ovog tipa raskrsnica. Radijus 70m može se primeniti samo ukoliko se javlja veći broj ulivnih tokova, koje je nemoguće redukovati!

### 3. UTICAJNI PARAMETRI

Da bi se došlo do pravilnog, odnosno optimalnog izbora tipa raskrsnice potrebno je detaljno analizirati veliki broj parametara i težiti da se izborom raskrsnice zadovolji što više programskih uslova, čime će se obezbediti nesmetano odvijanje saobraćaja za što više korisnika.

#### 3.1. Organizacija raskrsnice i ulivni tokovi

Pri organizaciji raskrsnice treba se voditi time da se što je više moguće smanji broj presecanja saobraćajnih struja, odnosno da se smanji broj konfliktnih tačaka, tj. mesta na kojima postoji opasnost od sudara velikom energijom. Naravno, gotovo je nemoguće izbeći sve konfliktnne tačke, ali po mogućstvu ih treba svesti na minimum, pravilnim kanalisanjem saobraćajnih struja, dovoljnim odvajanjem uliva i izliva i obezbeđivanjem dovoljne dužine za preplitanje saobraćajnih tokova. Jasno je da se kod ulivanja i izlivanja takođe javlja mešanje saobraćajnih tokova, ali u ovom slučaju nema velike energije kao što je to slučaj kod presecanja.

Osnovna prednost kružnih raskrsnica u odnosu na raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja je što se kod kružnih raskrsnica svi manevri odvijaju kao ulivanje, izlivanje i preplitanje, tj. nema konfliktnih tačaka, osim pešačkih prelaza na ulasku i izlasku iz raskrsnicu, ako oni postoje, na kojima će naravno pešaci uvek imati prednost u odnosu na vozila.

Očigledno je da se povećanjem broja krakova u raskrsnici javlja veći problem sa regulisanjem saobraćajnih tokova. Ukoliko raskrsnica ima više od 4 ulivna kraka gotovo je nemoguće obezbediti zadovoljavajuće odvijanje saobraćaja, jer će broj konfliktnih i kolizionih tačaka biti nedopustivo veliki. Ovaj problem se na mnogim mestima rešava postavljanjem komplikovane saobraćajne signalizacije, ali to iziskuje velike gubitke u vremenu

na raskrsnici zbog dugog trajanja ciklusa. Ukoliko bi se upotrebom kružne raskrsnice pokušao rešiti ovaj problem, morao bi se koristiti izuzetno veliki radijus upisane kružnice, da bi se dobila dovoljna dužina za preplitanje. Takođe time bi se dosta iskomplikovala isključenja sa kolovoza kružnog toka, jer bi došlo do zbunjivanja vozača čestim isključenjima. Ovaj problem je teško rešiv u gradovima, gde nam prostorna ograničenja ne dozvoljavaju primenu velikih kružnih podeonika neophodnih za bezbedno preplitanje vozila.

Na osnovu ovog se može zaključiti da već u ranim fazama projektovanja, raskrsnice treba organizovati tako da budu svedene na klasične četvorokrake ili trokrake raskrsnice bez obzira da li su sa presecanjem saobraćajnih struja ili sa kružnim tokom. To znači da se na širem području, saobraćajnice trebaju organizovati tako da ni u jednoj raskrsnici nemamo više od četiri kraka. Ukoliko ipak nije moguće regulisati broj ulivnih tokova u samu raskrsnicu, već se mora dopistiti ulivanje više od 4 saobraćajnice, onda bi se negativni uticaji mogli smanjiti primenom kružnih raskrsnica sa prečnikom upisane kružnice većim od 70m, što bi predstavljalo iznuđeno rešenje, sa gore navedenim posledicama.

Na ulivima kružnih raskrsnica mogu se javljati maksimalno dve vozne trake, sve preko toga bi uticalo na smanjenje bezbednosti, time što vozače dovodi skoro do presecanja tokova saobraćaja sa vozilima u kružnom toku, kao i do povećanja šanse za pogrešan manevar pri ulivanju. Ukoliko je nemoguće smanjiti broj ulivnih traka problem se donekle može rešiti tako da vozila koja skreću desno imaju poseban kolovoz van kružnog toka, kojim bi mogli obaviti ovaj manevar (slika 3). Kružna raskrsnica na slici je nestandardna kružna raskrsnica, koja ima svoje nedostatke, ali je ovaj primer izabran da bi se razumelo odvajanje desnog skretanja van kolovoza kružnog toka.



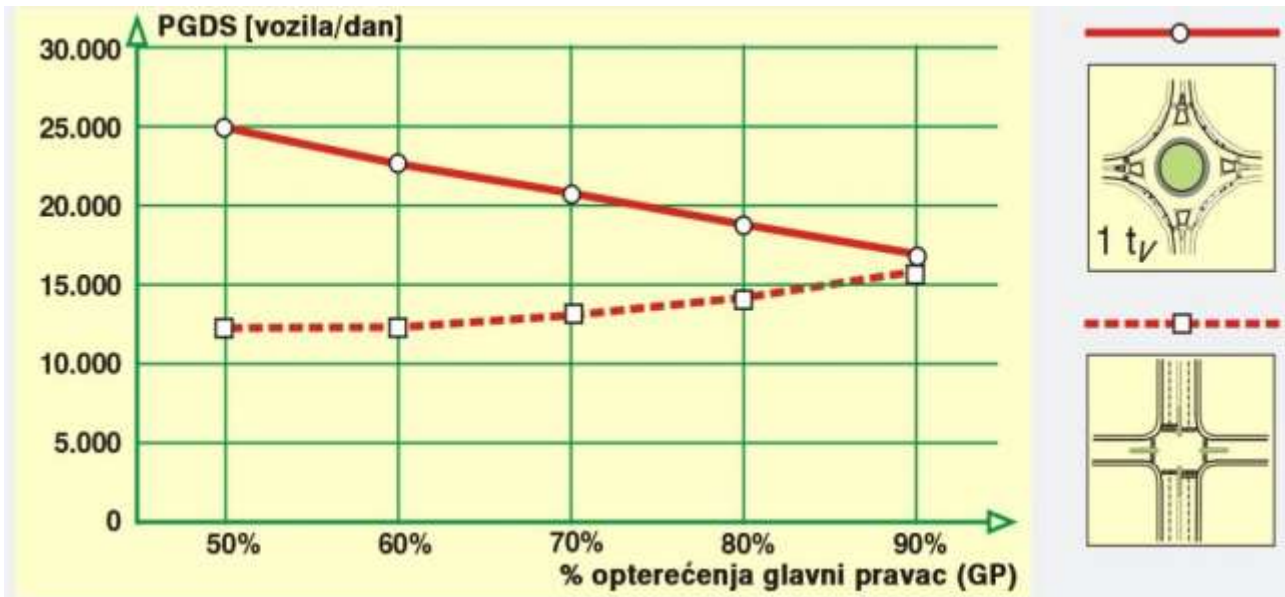
**Slika 3.** Poseban kolovoz za desna skretanja 67 Street/Johnstone Drive Corridor

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Danas smo često svedoci da se različitim rekonstrukcijama pokušava ubrzati saobraćaj na raskrsnicama sa više presečnih pravaca, ali kao rezultat toga se ne dobije kraće vreme zadržavanja u raskrsnici iz prethodno navedenih razloga. Naravno ovaj problem se javlja u mnogim gradovima gde se pri planiranju raskrsnica pre više desetina godina nije mogao predvideti povećan obim saobraćaja sa kojim se danas susrećemo, već su raskrsnice planirane kao trgovi u koje će se ulivati svi putni pravci.

### 3.2. Saobraćajno opterećenje i propusna moć

Primena kružnih raskrsnica pogoršava uslove glavnog pravca, odnosno izjednačava glavni i sporedni pravac po važnosti. Ukoliko je saobraćajno opterećenje glavnog pravca znatno veće treba pribeći primeni klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja, jer pri ukrštanju saobraćajnica različitih rangova primenom saobraćajne svetlosne signalizacije prioritet može da se da glavnom pravcu. Dakle, izbor treba da uvek bude na raskrsnici sa presecanjem saobraćajnih struja ukoliko prioritet treba da se da jednom pravcu (slika 4).



**Slika 4.** Kapacitet kružne i klasične raskrsnice u odnosu na opterećenje glavnog pravca  
 Izvor: Maletin M.: Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, Beograd 2009.

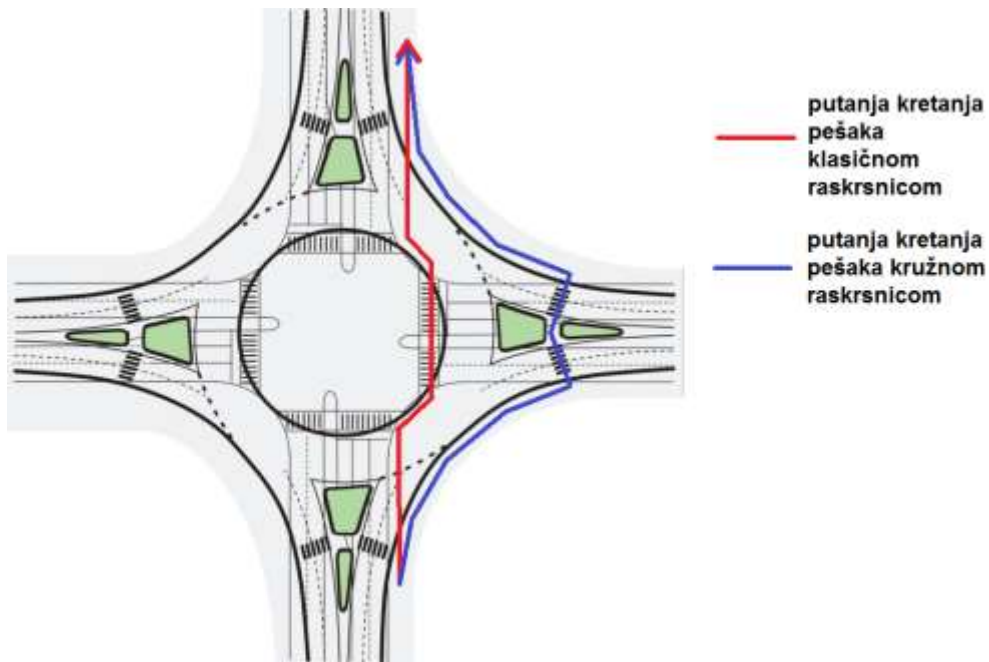
Sa slike se može videti da povećanjem opterećenja glavnog pravca kapacitet kružne raskrsnice opada dok se kapacitet klasične raskrsnice povećava. Tako da ukoliko procenat vozila na glavnom pravcu iznosi 90% ukupnog opterećenja same raskrsnice onda se kapaciteti raskrsnice sa kružnim tokom i klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja (nesignalizovane) izjednačavaju. Dakle, osnovna prednost kružne raskrsnice je ukoliko postoji ravnomerno raspoređeno saobraćajno opterećenje na glavni i sporedni pravac. Zavisno od ukupnog opterećenja glavnog pravca i procenta levih skretanja srednji gubitak vremena na kružnoj raskrsnici (sekundi/vozilu) je 2 – 8 puta manji u odnosu na klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja.

Dakle, veću propusnu moć imaju raskrsnice sa kružnim tokom i takođe imaju manje gubitke u vremenu, naravno ukoliko se ispoštuju sve druge preporuku, koje su navedene u ovom radu.

### 3.3. Pešački i biciklistički saobraćaj

Pri projektovanju raskrsnica u gradovima, prioritetni učesnici u saobraćaju su pešaci i procesom projektovanja bi svaki element putne infrastrukture trebalo prvenstveno podrediti pešačkom saobraćaju. Na vangradskim putevima gde je obim pešačkog saobraćaja minimalan, geometrija se podređuje motorizovanom saobraćaju. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja presečne tačke pešaka sa vozilima se mogu izbeći primenom saobraćajne signalizacije, dok kod kružnih raskrsnica, kod kojih je primena saobraćajne svetlosne signalizacije uvek neopravdana i samo doprinosi usporenju saobraćaja i gubljenju osnovnih efekata kružne raskrsnice, presečne tačke pešaka sa vozilima uvek postoje.

Kretanje pešaka i biciklista u kružnim raskrsnicama se neminovno produžuje (slika 5). Pored toga površina kružnog podeonika je potpuno nepristupačna za pešake, što u zavisnosti od lokacije predstavlja neracionalno korišćenje gradskog zemljišta.



**Slika 5.** Putanja kretanja pešaka na kružnoj i klasičnoj raskrsnici istog nivoa usluga

U primeru prikazanom na slici 12 putanja koju bi pešaci trebali da pređu sa jednog na drugi kraj raskrsnice u slučaju kružne raskrsnice je za oko 25% duža, na osnovu čega se jasno uviđa da klasične raskrsnice imaju prednost sa stanovišta pešaka.

Pri oblikovanju kružne raskrsnice izlazni radijus mora imati takvu vrednost da zadrži nisku brzinu vozilima koja napuštaju kružni tok, kako bi se ta vozila blagovremeno mogla zaustaviti i propustiti pešake na izlazu.

Jedna od najbitnijih odluka je izbor lokacije pešačkih prelaza na kružnoj raskrsnici. Tu se mora naći balans između zahteva pešaka i motornih vozila i prvenstveno razmotriti bezbednost pešaka. Da bi se odgovorilo zahtevima pešaka, mora se obezbediti najkraća putanja kretanja, što znači da bi pešački prelazi trebali da budu što bliže kružnom kolovozu. Međutim, to rastojanje ne sme da bude suviše kratko kako se ne bi ugrozila bezbednost pešaka i došlo do usporjenja saobraćaja u kružnom toku zbog vozila koja čekaju na izlazu. Minimalno rastojanje kolovoza kružnog toka od pešačkog prelaza je 7m (u izuzetnim slučajevima 5m) [2], iz razloga da bi vozilo pri napuštanju kružnog toka moglo da se zaustavi i sačeka pešaka ispred pešačkog prelaza. Veoma je važno kako rastojanje tako i dužina samih prelaza. Dužinu je najbolje smanjiti što više čime bi se minimizirao mogući kontakt pešaka sa vozilima. Na bezbednost pozitivno utiče i korišćenje srednjeg razdelnog, podeljenog ostrva. Geometrija treba da bude takva da brzina vozila pri prelasku preko pešačkog prelaza u urbanim područjima bude ispod 20km/h [3].

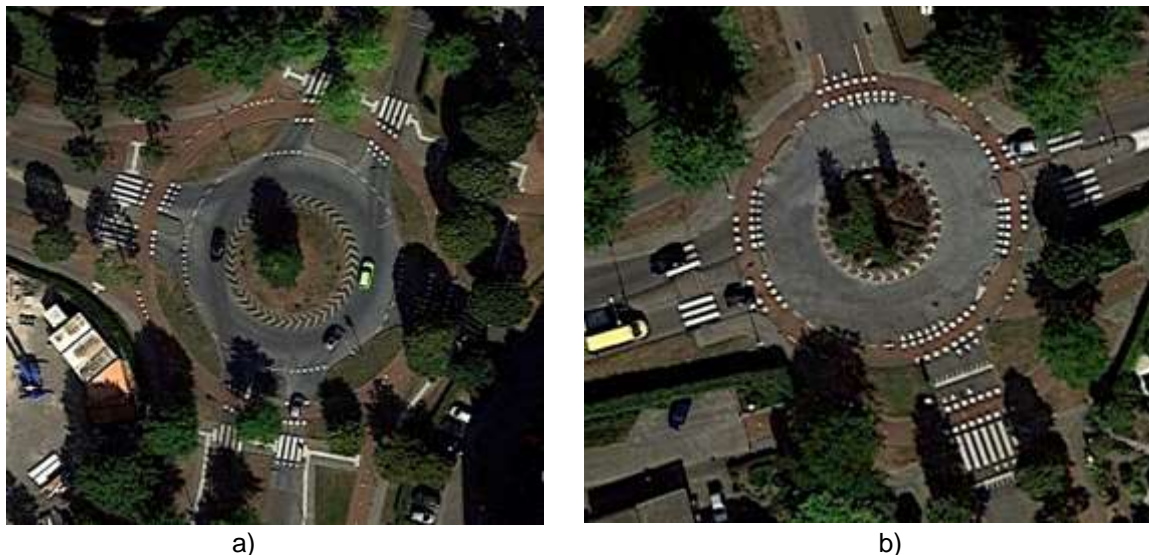
Što se biciklista tiče, postoje dva načina vođenja biciklista u raskrsnicama sa kružnim tokom:

- Samostalno vođenje biciklističkog saobraća, potpuno odvojeno od motornog (slika 6a)
- Kombinovano vođenje biciklističkog i motornog saobraćaja, proširenje kolovoza kružnog toka za širinu biciklističke staze (2m) (slika 6b)

Naravno, znatno je bezbednije samostalno vođenje, gde se biciklistički saobraćaj takođe odvija kružno, potpuno odvojeno od motornog, dok se ukrštanje sa motornim saobraćajem vrši na istim mestima gde se ukrštaju motorni i pešački saobraćaj, tako da broj konfliktnih tačaka ne bude povećan (slika 6a). Konfliktna tačke u ovom slučaju se javljaju samo na mestima ukrštanja motornog saobraćaja sa pešačkim i biciklističkim saobraćajem na ulivnim kracima, tj. na delu pešačkog prelaza i treba uvek voditi računa da to ukrštanje bude pod uglom od 90°, čime se povećava preglednost. Ovakvim načinom vođenja pešaci i biciklisti su jednim delom zaštićeni i samim ostrvima.

Drugi način vođenja biciklista u kome je biciklistička staza deo kolovoza kružnog toka je nebezbedniji i iz razloga što vozila pri isključenju sa kružnog toka imaju smanjenu preglednost i vozači često misle da imaju prednost u odnosu na bicikliste iako im biciklisti dolaze sa desne strane.





**Slika 6. a) poželjno i b) nepoželjno vođenje biciklističke staze u kružnoj raskrsnici, s-Hertogenbosch Den Boš, Holandija**

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Na prethodnoj slici mogu se videti oba načina vođenja biciklističke staze kroz kružnu raskrnicu na jednoj istoj saobraćajnici u Den Bošu. U prvom rešenju se vidi kako je biciklistička staza fizički odvojena od kolovoza kružnog toka, dok se na slici b) vidi da je biciklistička staza u sklopu kolovoza kružnog toka, što iz prethodno navedenih razloga čini znatno nepovoljnije rešenje.

U kružnim raskrsnicama u kojima je moguće kretanje vozila velikom brzinom ili u kojima je značajan obim kako motornog tako i pešačkog saobraćaja, treba razmotriti opravdanost primene podzemnih ili nadzemnih prelaza za pešake. Kod novoprojektovanih kružnih raskrsnica ne preporučuje se semaforizacija pešačkih prelaza, jer bi to uticalo na povećanje vremenskih gubitaka u samoj raskrsnici.

Ukoliko u raskrsnici postoji velika koncentracija pešaka i biciklista, tačnije, >2000 pešaka/času ukupno i >300 biciklista/času ukupno, treba primeniti raskrnicu sa presecanjem saobraćajnih struja, dok se za <500 pešaka/času ukupno i <100 biciklista/času ukupno preporučuje primena kružnih raskrsnica[3].

### 3.4. Javni gradski prevoz

U slučaju kružnih raskrsnica vozila JGP nisu privilegovana u odnosu na ostala vozila. Da bi se njima obezbedila prednost morala bi se primeniti svetlosna signalizacija, što bi dovelo do kršenja osnovnog koncepta kružne raskrsnice.

Primena tramvaja na kružnim raskrsnicama je takođe komplikovana, jedno od rešenja je da idu zajedno sa kružnim kolovozom, dok se danas najčešće primenjuje rešenje gde će tramvaj ići sredinom kružnog podeonika, ali se pritom moraju koristiti semafori da bi se upozorili vozači.

Što se tiče stanica za JGP bolje je kada su koncipirane posle raskrsnice, da se ne bi umanjivala preglednost pešačkog prelaza. Takođe vozači su u nekim situacijama nestrpljivi i došlo bi verovatno do obilaženja vozila JGP dok čekaju na stanici čime bi se značajno ugrozila bezbednost pešaka.

Još jedna negativna primena kružnih raskrsnica kada ima JGP je to što pri presedanju pešaci imaju značajno dužu putanju koju treba da pređu.

Dakle može se izvesti zaključak da na raskrsnicama na kojima ima više od 30 vozila javnog gradskog prevoza na sat [3], uvek treba primeniti klasičnu raskrnicu sa presecanjem saobraćajnih struja, jer kod kružnih raskrsnica to vozilo ulazi u samu raskrnicu pod istim uslovima kao i svaki drugi učesnik u saobraćaju, što naravno nije opravdano, jer se vozilima JGP uvek treba obezbediti prioritet. Može se u nekim slučajevima tolerisati primena kružna raskrnicu ukoliko se javlja do 120 vozila JGP na sat, ali preko toga nikako ne bi trebalo primenjivati kružnu raskrnicu.

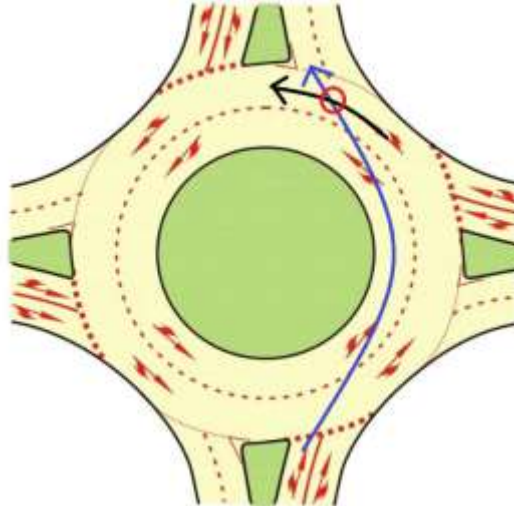
### 3.5. Bezbednost

Bezbednost površinskih raskrsnica predstavlja verovatno najznačajniji parametar na osnovu koga bi se trebalo doći do optimalnog rešenja raskrsnice. Prethodni parametri su objašnjeni da bi se jasnije mogla steći slika kako oni utiču na bezbednost same raskrsnice, a kasnije i na propusnu moć. Pored svih prethodno objašnjenih

parametara koji utiču na bezbednost, u ovom poglavlju će biti date još neke smernice koje bi trebalo primenjivati da bi se povećala bezbednost svih učesnika u saobraćaju.

### 3.5.1. Broj voznih traka u kolovozu kružnog toka

Bezbednost kružne raskrsnice pored velikog broja ulivnih traka (više od dve) može biti ugrožena i ukoliko se u samom kružnom toku nalaze više od 2 vozne trake. Povećanjem voznih traka u kružnom toku povećava se broj sekundarnih presečnih tačaka (slika 7).



Slika 7. Sekundarna presečna tačka

Nažalost, danas smo svedoci da se često bira rešenje sa više od dve vozne trake u kolovozu kružnog toka, što izrazito nepovoljno utiče na bezbednost.

### 3.5.2. Brzina prolaska vozila kroz raskrsnicu

Na bezbednost značajno utiče i brzina prolaska vozila kroz raskrsnicu. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja preporuka je da ukoliko se vozi glavnim pravcem na kome nema zaustavljanja u samoj raskrsnici, vozač makar skloni nogu sa pedale gasa, čime bi brzina vozila trebala da se smanji za nekih 20% usporenjem od 0,6-0,7m/s<sup>2</sup>. Naravno, jasno je da postoje vozači koji uopšte neće usporiti pri prolasku kroz raskrsnicu. S obzirom na to ovde prednost imaju kružne raskrsnice kod kojih vozač prinudno mora da smanji brzinu pri prolasku kroz raskrsnicu, pa brzina najčešće iznosi 0,5 od Vr.

### 3.5.3. Preglednost

U svakoj kružnoj raskrsnici mora se obezbediti zaustavna preglednost, tj. dovoljna dužina na kojoj vozilo može da se zaustavi u slučaju nailaska na prepreku odnosno drugo vozilo. To praktično znači da zonu preglednosti ograničava tetiva tako definisane putanje i posledično zahteva obradu kružnog podeonika samo niskim rastinjem.

### 3.5.4. Zauzetost površine

Kada se govori o površini koju raskrsnica zauzima treba znati da površinu raskrsnice ne čini samo zona zajedničke površine u kojoj se javljaju konfliktna i koliziona tačka, već raskrsnicu čine i zone u kojima vozilo prilazi raskrsnici, prestrojava se u voznu traku zavisno od toga u kome smeru nastavlja kretanje posle raskrsnice i zone postrojanja u kojoj vozilo čeka.

Što se tiče same zauzetosti prostora jasno je da kružne raskrsnice zauzimaju veću površinu u samoj konfliktnoj odnosno kolizionoj zoni, dok površinske raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja zauzimaju veću površinu na samom prilazu raskrsnici, jer klasične raskrsnice da bi obezbedile isti nivo usluga kao kružne moraju imati više saobraćajnih traka na ulivu. Stoga se može zaključiti da u samim centralnim gradskim zonama treba izbegavati primenu kružnih raskrsnica jer su sami kružni podeonici površine koje su nepristupačne za pešake pa se time neadekvatno troši velika površina najvrednijeg gradskog zemljišta.

Na osnovu svega do sada rečenog može se steći zaključak da je osnovni razlog povećane bezbednosti kružne raskrsnice u odnosu na klasičnu to što se kod kružne raskrsnice eliminiše veliki broj konfliktnih tačaka i

mogućnost sudara vozila velikom energijom, pa time saobraćajne nezgode koje se dogode na kružnim raskrsnicama imaju značajno manje posledice.

#### 4. OPRAVDANOST PRIMENE

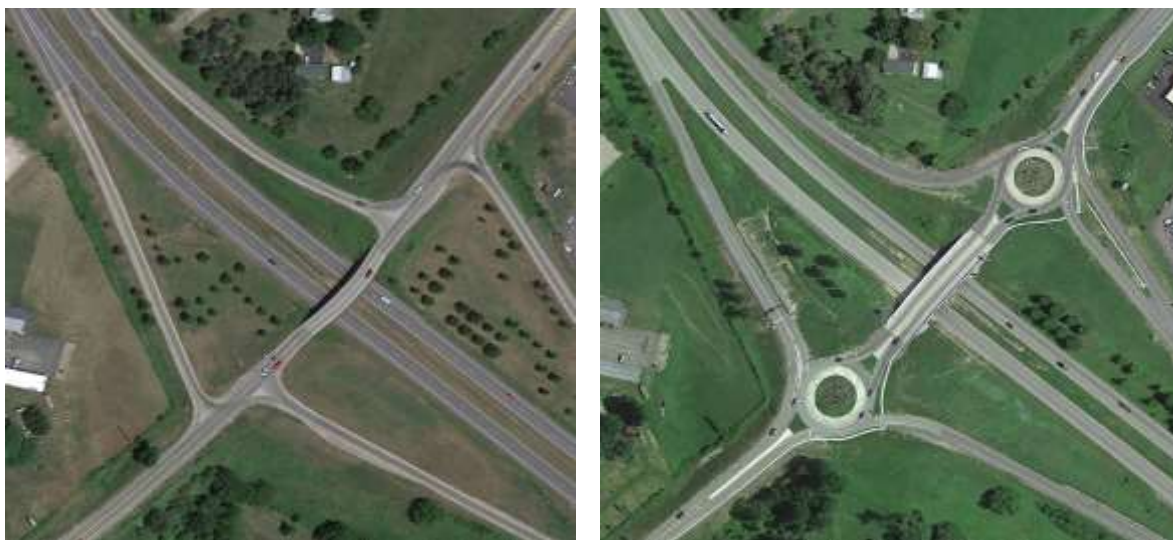
##### 4.1. Primena u praksi

Osnovni problem na koji vozači treba da se naviknu kod rekonstrukcije kojom bi se raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja zamenila kružnom raskrsnicom je taj što se u kružnoj raskrsnici menjaju opšta pravila vožnje. Vozila koja žele da se uključe u kružni tok uvek moraju da propuste vozila koja se kreću kružnim tokom, a dolaze im sa leve strane. To bi se uvek trebalo regulisati saobraćajnim znakovima, tako što se na ulasku u kružni tok postavlja obrnuti trougao kojim se vozačima daje do znanja da moraju propustiti sva vozila u kružnom toku.

Kružne raskrsnice zauzimaju sve veći primenu širom sveta pre svega jer su se pokazale kao značajno bolje rešenje sa stanovišta bezbednosti kroz godine eksploatacije.

Što se lociranja kružnih raskrsnica tiče najčešće se primenjuju u gradskim sredinama sa ujednačenim opterećenjem presečnih pravaca, gde se semaforom signalizacijom dolazilo do značajnih vremenskih gubitaka. Značajnu primenu su zauzele i na saobraćajnicama gde je cilj bio smanjiti brzine kojima se vozila kreću kako zbog čestih uključenja na glavnu saobraćajnicu tako i zbog naseljenih mesta u kojima se javljaju razni vidovi saobraćaja. Jako korisna primena kružnih raskrsnica je i na ulasku i izlasku iz naseljenih mesta kako bi se vozačima prinudno smanjila brzina i skrenula pažnja na nove uslove saobraćaja.

U SAD sve je češća primena duplih kružnih raskrsnica u sklopu denivelisanih raskrsnica na isključenjima sa auto-puteva (slika 8).



**Slika 8.** Rekonstrukcija na autoputu US ROUTE 33 Ohajo

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Na ovakvo rešenje su se odlučili jer su se u periodu od samo dve godine od 2007. do 2009. na ovoj lokaciji dogodile čak 42 veće saobraćajne nezgode. Prvenstveno zbog zadržavanja visokih brzina pri isključenju sa auto-puta.

Ovakva primena kružnih raskrsnica značajno utiče na povećanje bezbednosti iz razloga što se vozač navikava na nove uslove vožnje pri isključenju sa auto-puta.

Tokom analize opravdanosti primene kružnih raskrsnica umesto klasičnih treba uzeti u obzir i troškove same rekonstrukcije. Istraživanjem za potrebe ovog rada ustanovljeno je da je okvirni trošak građevinskih radova pri izgradnji kružne raskrsnice oko 300 000€, na to treba dodati i trošak izrade projektne dokumentacije. Prema tome, odluka o rekonstrukciji treba da se donese detaljnom analizom svega prethodno navedenog, gde se moraju opravdati uložna sredstva, da ne bi došlo do velikih ulaganja koja neće doprineti značajnom povećanju bezbednosti i propusne moći.



## 4.2. Uticaj na bezbednost

Za potrebe ovog rada izvršeno je istraživanje o promeni saobraćajnih nezgoda nakon rekonstrukcije raskrsnice državnog puta Ib reda (ulica Bulevar oslobodilaca), gradske magistrale (ulica Đorđa Tomaševića) i dve nekategorisane saobraćajnice, na obilaznici oko Čačka (slika 9). Ova obilaznica je projektovana po svim parametrima vangradskih puteva, ali je pojačanom urbanizacijom došlo do toga da ima sve odlike gradske saobraćajnice, što uzrokuje smanjenu bezbednost na celoj ovoj deonici. Kao što se na slici vidi raskrsnica je prvobitno bila trokraka sa dva priključka nekategorisanih puteva pod veoma ostrim uglom, što je uticala na znatan broj saobraćajnih nezgoda. Problem se pokušao rešiti uvođenjem svetlosne saobraćajne signalizacije ali je to dovelo do nedopustivo dugog zadržavanja vozila na državnom putu prvog reda i do čestih formiranja kolona. Nakon toga se odlučilo za rešenje koje je prikazano na slici 9b, tj. za kružnu raskrsnicu.



**Slika 9.** (a) Prvobitno rešenje, (b) novoprojektovano rešenje raskrsnice na obilaznici oko Čačka  
Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Podaci o saobraćajnim nezgodama koji su bili dostupni obuhvataju period od četiri godine pre rekonstrukcije i dve godine posle rekonstrukcije.

U tabeli 1 je prikazan ukupan broj saobraćajnih nezgoda godišnje po godinama kako na samom mestu ukrštaja tako i na široj deonici. Šira deonica obuhvata 400m pre i posle raskrsnice, a uzeta je u razmatranje da bi se pokazalo kako kružna raskrsnica dovodi do povećanja bezbednosti ne samo na mestu ukrštaja, već i na široj deonici, što se moglo zaključiti i kroz ovaj rad kada je objašnjeno kako kružna raskrsnica utiče na prinudno smanjenje brzine svih vozila.

**Tabela 1.** Ukupan broj saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici po godinama

	Broj saobraćajnih nezgoda na samom mestu ukrštaja	Broj saobraćajnih nezgoda na široj deonici	Ukupan broj saobraćajnih nezgoda
2006	8	12	20
2007	5	20	25
2008	9	11	20
2009 <sup>2</sup>	3	7	10
2010 <sup>3</sup>	1	2	3
2011	1	0	1

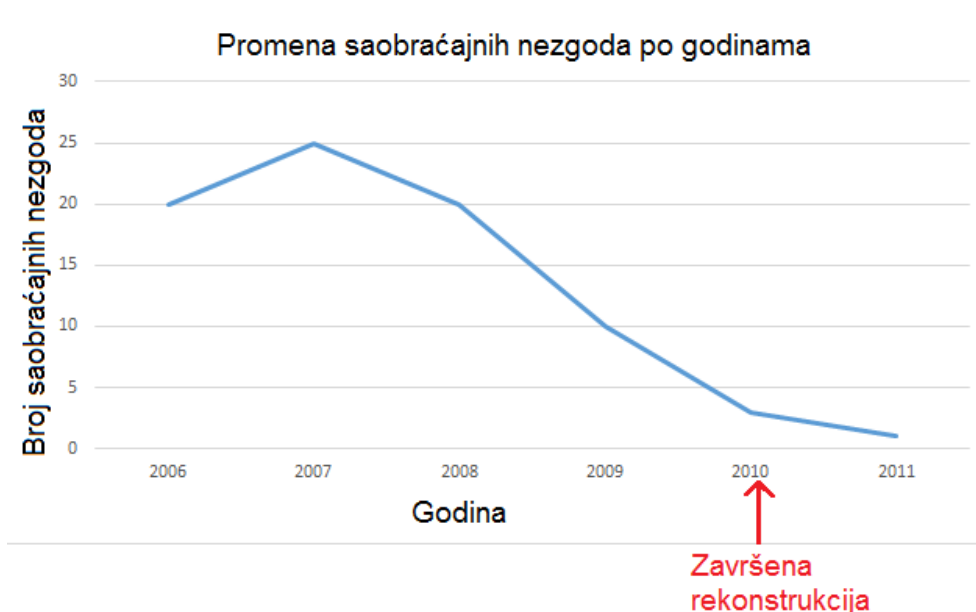
Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

U zbir saobraćajnih nezgoda nije uzet vremenski period rekonstrukcije, jer saobraćajne nezgode koje su tada zabeležene nisu merodavne za ovu analizu.

<sup>2</sup> U 2009. godini nije razmatran period od 1.11.2009 do 31.12.2009.

<sup>3</sup> U 2010. godini nije razmatran period od 1.1.2010. do 1.3.2010.

Na narednom dijagramu je prikazana promena saobraćajnih nezgoda po godinama.



**Slika 10.** Dijagram promene saobraćajnih nezgoda po godinama

Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

Na osnovu tabele 1 i dijagrama na slici 10 jasno je uočljivo koliko je ova rekonstrukcija doprinela poboljšanju bezbednosti na razmatranoj deonici.

U tabeli 2 je prikazan prosek saobraćajnih nezgoda mesečno za period pre i posle izgradnje kao i procenat smanjenja kako broja saobraćajnih nezgoda tako i broja povređenih lica.

**Tabela 2.** Prikaz smanjenja saobraćajnih nezgoda nakon rekonstrukcije razmatrane klasične raskrsnice u kružnu

	Pre rekonstrukcije	Posle rekonstrukcije	Procenat promene
Ukupno nezgoda	1,63	0,18	-89
Povređenih	0,67	0,04	-94

Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

Iz tabele se vidi da je procenat smanjenja saobraćajnih nezgoda 89% dok je procenat smanjenja povređenih čak 94%, što ukazuje na to da, iako se desi nezgoda ona je bez težih posledica.

Glavni uzroci saobraćajnih nezgoda u periodu pre rekonstrukcije su neustupanje prvenstva prolaza sa 41,3% od ukupnog broja, kao i neprilagođena brzina uslovima puta kao i vozilu koje se kreće ispred, takođe sa 41,3%. U razmatranom periodu dogodila se jedna saobraćajna nezgoda sa smrtnim ishodom u kojoj je stradao motociklista zbog neustupanja prvenstva prolaza i dve saobraćajne nezgode sa pešacima.

Što se tiče perioda posle rekonstrukcije u tabeli 1 se vidi da se u 2010. godini na mestu ukrštaja dogodila samo jedna saobraćajna nezgoda i to ubrzo nakon rekonstrukcije. Do nje je došlo tako što se vozilo kretalo pogrešnim smerom u samom kolovozu kružnog toka, što se može pripisati kako nepoznavanju propisa tako i periodu privikavanja vozača na nove uslove u saobraćaju.

Na osnovu ovog prikaza o broju smanjenja saobraćajnih nezgoda može se jasno videti koliko kružne raskrsnice značajno utiču na povećanje bezbednosti.

## 5. ZAKLJUČAK

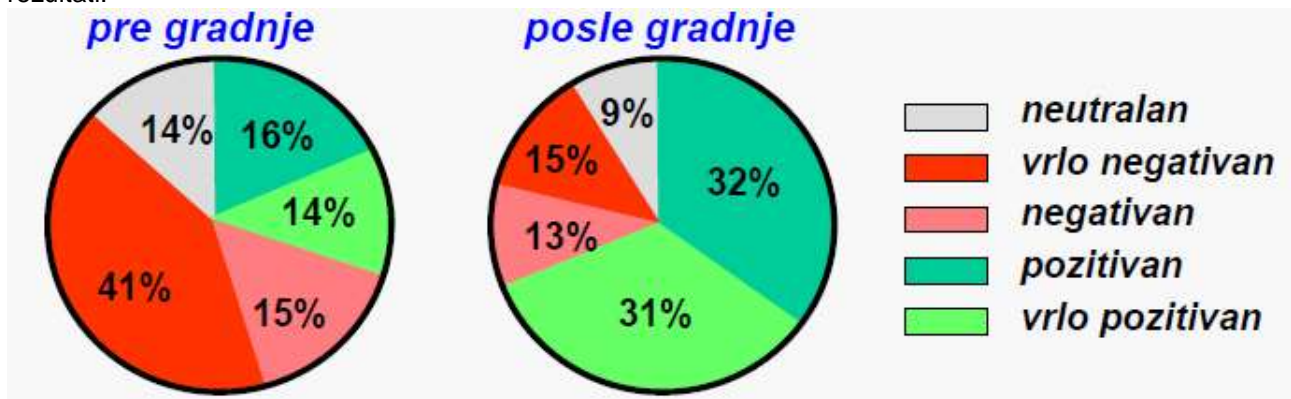
Pri donošenju odluke o izboru optimalnog tipa raskrsnice, teško je zadovoljiti sve parametre koji će uticati na samu raskrsnicu, tj. može se doći do zaključka da raskrsnica u pogledu jednog parametra zahteva uslove koji su u potpunoj suprotnosti onima koji se zahtevaju analizom nekog drugog parametra. Zbog toga se teži izboru optimalnog rešenja koje će zadovoljiti najveći broj uslova i koje će što većem broju korisnika obezbediti nesmetano kretanje.



Teško je jednoznačno reći da je određeni tip raskrsnica bolji. Kao što se moglo videti u ovom radu, sa stanovišta bezbednosti značajnu prednost imaju kružne raskrsnice, dok neki parametri jednostavno ne dozvoljavaju njihovu primenu, pa samim tim ne možemo reći da će primena jednog tipa raskrsnice uvek biti bolje rešenje u odnosu na neki drugi tip. Predlaže se da se detaljno uđe u analizu saobraćajnih problema na konkretnoj lokaciji kroz navedene parametre, da se jasno kaže šta su prioriteti kog putnog pravca i tek na osnovu toga da se donese pravilno rešenje. Jasno je da se moraju analizirati posebni parametri kada se radi o raskrsnici u gradskom odnosno u vangradskom području.

Treba znati i to da bi rekonstrukcija kojom bi se vršila promena koncepcijskog rešenja raskrsnice zahtevala promenu regulacione linije, tj. zahteva urbanističku saglasnost, što je u nekim slučajevima teško izvodljivo.

Prema anketi koju je izvršio Institute of Transportation Engineers o tome kakav je stav vozača o rekonstrukciji kojom se raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja menja kružnom raskrsnicom dobijeni su sledeći rezultati:



**Slika 11.** Rezultati ankete o mišljenju vozača o rekonstrukciji klasične raskrsnice u kružnu  
Izvor: Institute of Transportation Engineers

Iz prikazane slike se vidi da su vozači u početku nezadovoljni takvim rešenjem, ali su kasnije u toku eksploatacije zadovoljniji primenom kružnih raskrsnica.

## Literatura

- [1] Katanić J., Anđus V., Maletin. M.: *Projektovanje puteva*, Beograd 1983.
- [2] Maletin M.: *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*, Beograd 2009.
- [3] Maletin M.: Seminar u organizaciji BUILD PLUS *Projektovanje gradskih površinskih raskrsnica sa kružnim tokom*, Beograd mart 2016.
- [4] <https://www.google.com/earth/>
- [5] <https://a3.geosrbija.rs/>
- [6] Roundabouts: An informational guide, Federal highway administration Publication no. FHWA-RD-00-067
- [7] NCHRP Synthesis 672, Roundabouts: An informational guide, 2010. Година
- [8] NCHRP Synthesis 264, Modern roundabout practice in the United States, 1998. Година
- [9] Schoon, C., and J. van Minnen, "The Safety of Roundabouts in the Netherlands," SWOV Institute for Road Safety Research, Traffic Engineering and Control (March 1994).
- [10] Tudge, R.T., "Accidents at Roundabouts in New South Wales," Proceedings-Part 5 of the 15th ARRB Conference (August 1990) pp. 341-349
- [11] Brilon, W., Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen, unpublished paper (1996).
- [12] Evolution de la Securite Sur Les Carrefours Giratoires, Centre D'Etudes Techniques de l'Equipment de l'Ouest, Nantes, France (1986).
- [13] *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji*, SRDM5-3-kružne-raskrsnice, Funkcionalni elementi, i površine puteva, kružne raskrsnice, Beograd 2012.
- [14] NCHRP Synthesis 572, Roundabouts in the United States, 2007. Година
- [15] <http://library.ite.org/pub/e26c7ba4-2354-d714-5173-345427dcd867>, преузето 15.01.2018.

# UTICAJ BUDUĆEG AUTOPUTA POŽEGA – PEŠTERSKA VISORAVAN – BOLJARE NA RAZVOJ GRAVITACIONOG PROSTORA

Izet Ljajić<sup>1</sup>, Mirsada Uglić<sup>2</sup>, Sead Mujović<sup>3</sup>, Poturak Munir<sup>4</sup>, Elzana Muminović<sup>5</sup>

**Rezime:** *Usvojena trasa autoputa Požega – Ivanjica – Boljari prolazi kroz čuvenu Peštersku visoravan i podnožje planine Golije. Mesto spajanja autoputa dve države je selo Boljari na Pešterskoj visoravni, što znači da se Pešterska visoravan nije mogla izostaviti ni u jednoj od razmatranih varijanti projekta. Izgradnjom autoputa biće omogućen normalan pristup postojećem rezervatu netaknute prirode, kao i svim ostalim znamenitostima ovog prostora.*

*Putevi na ovom prostoru su jedina komunikacija sa širim okruženjem. Teški terenski uslovi i oštre klimatske prilike ne smeju biti razlog da se uporedo sa gradnjom autoputa ne izvrši poboljšanje postojeće mreže državnih puteva koja je u veoma lošem stanju. Sa dobrim saobraćajnicama koje će omogućiti pristup autoputu stvorice se uslovi za sveopšti razvoj krajeva kroz koje autoput prolazi i tek tada će budući autoput imati funkciju na ovom prostoru.*

*Prioritetni zahtevi za svakodnevno i bezbedno odvijanje saobraćaja na autoputu u toku čitave godine moraju se rešiti kvalitetnim letnjim i zimskim održavanjem.*

*Sa svakim kilometrom izgrađenih puteva vraća se život jednom kraju, olakšava se prevoz ljudi i dobara i omogućava se pristup i najudaljenim područjima. Posledica povećanja izgrađenih kilometara puteva jesu određeni negativni uticaji na životnu sredinu. Analiza tih uticaja i ispitivanje poremećaja ekološke ravnoteže usled gradnje puteva, odnosno ispitivanje načina zaštite životne sredine u tim uslovima zahtevaju posebnu strategiju, plan i finansiranje.*

**Ključne reči:** *razvoj Pešterske visoravni, dobre saobraćajnice, prohodnost puteva, zaštita životne sredine*

## THE IMPACT OF THE FUTURE HIGHWAY POZEGA - PESTER PLATEAU – BOLJARI ON THE DEVELOPMENT OF THE GRAVITATIONAL AREA

Izet Ljajić, Mirsada Uglić, Sead Mujović, Poturak Munir, Elzana Muminović

**Summary:** *The adopted route of the Pozega - Ivanjica - Boljari highway passes through the famous Pester plateau and the foot of Mount Golija. The connecting point of the highway between two countries is the village of Boljari at the Pester plateau, which means that the Pester plateau could not be omitted in any of the considered variants of the project. The construction of the highway will allow normal access to the untouched nature reserve, as well as all the other sights in this area.*

*Roads in this area are the only communication with the surrounding areas. Severe terrain and harsh climatic conditions must not be a reason that, along with the construction of the highway, there is no improvement in the existing state road network that is in a very poor condition. With good roads that will provide access to the highway, conditions will be created for the overall development of the areas through which the motorway passes and only then the future highway will have its function in this area.*

*Priority requirements for daily and safe traffic on the highway throughout the year must be fulfilled by quality summer and winter road maintenance.*

*Every built kilometer of the road gives a life to that area, facilitates the transportation of people and goods and allows access to the most distant areas. There are certain negative impacts on the environment as a consequence of roads construction. Analyzing these impacts, examining ecological balance disorders due to road construction, and examining the ways of protecting the environment in these conditions, require a specific strategy, plan and financing.*

**Key words:** *development of Pester plateau, good roads, road passage, environmental protection*

## RADOVI:

1. PROJEKTNO REŠENJE AUTOPUTA POŽEGA – BOLJARE
2. POVEZIVANJE PUTEVA I I II REDA SA AUTOPUTEM
3. UTICAJ AUTOPUTA NA RAZVOJ INDUSTRIJE, POLJOPRIVREDE I TURIZMA
4. UTICAJ IZGRADNJE AUTOPUTA NA ŽIVOTNU SREDINU
5. ZIMSKO ODRŽAVANJE BUDUĆEG AUTOPUTA POŽEGA – PEŠTERSKA VISOPRAVAN - BOLJARE
6. ZBIRNI ZAKLJUČCI

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: dipl. građ. inž., Inženjerska akademija Srbije, email izet.ljajic@np-put.rs

<sup>2</sup> dipl. građ. inž., član IAS-e, šef tehn. pripreme Novi Pazar – put d.o.o. email mirsada.uglic@np-put.rs

<sup>3</sup> dipl. građ. inž., tehn. direktor Novi Pazar – put d.o.o. email sead.mujovic@np-put.rs

<sup>4</sup> dipl. ecc, Grad Novi Pazar email poturakm@gmail.com

<sup>5</sup> dipl. inž. ZZS, Novi Pazar – put d.o.o., email elzana.muminovic@np-put.rs

# 1.PROJEKTNO REŠENJE AUTOPUTA POŽEGA – BOLJARE

Mirsada Uglić,dipl.građ.inž.

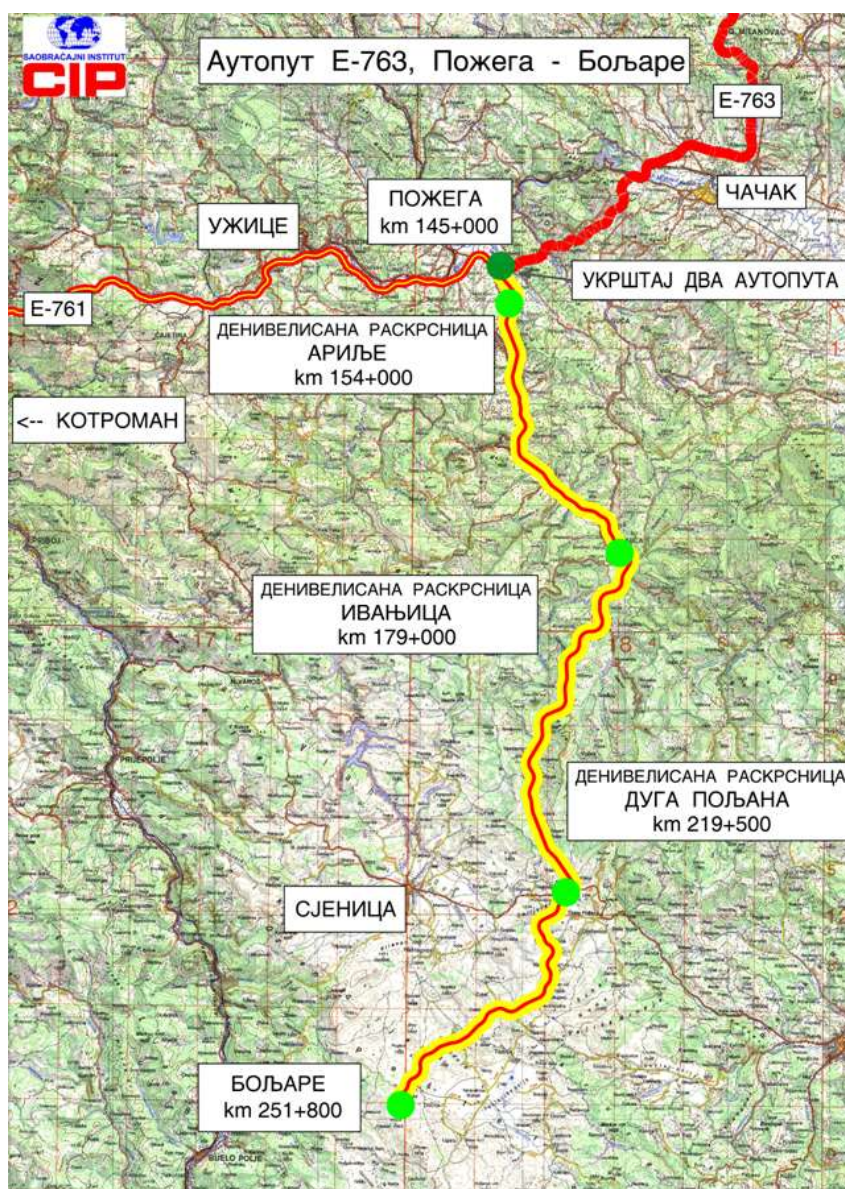
Izet Ljajić,dipl.građ.inž.

## 1. UVOD

Jedan od opštih ciljeva Strategije razvoja železničkog, drumskog, vodnog, vazdušnog i intermodalnog transporta u Republici Srbiji od 2008. do 2015.godine je da transportna mreža Republike Srbije bude integrisana u Transevropsku transportnu mrežu, što uključuje i budući pravac infrastrukturnog koridora Beograd – Južni Jadran.

Realizacija ovog infrastrukturnog koridora dovešće do povećanja saobraćajne dostupnosti – ostvarila bi se najbrža veza Vojvodine i Središnje Srbije sa Crnom Gorom ali i Crne Gore sa Koridorom X, do integrisanosti prostora kroz koji autoput prolazi sa regionalnim okruženjem, do povezanosti tog prostora sa zonama razvoja turizma, kao i sa postojećim ali i potencijalnim zonama privrednog razvoja.

U radu je razmatrana trasa varijante autoputa Beograd – Južni Jadran "Istok 1" koja je u detaljnoj analizi definisanih ciljeva izgradnje brze saobraćajnice, izbora kriterijuma za ocenu varijantnih rešenja i načina vrednovanja tih kriterijuma usvojena kao povoljnija i kao takva ugrađena u Zakon o Prostornom planu Republike Srbije od 2010.godine do 2020.godine (Sl.glasnik RS broj 88/10).



**Slika 1.** Pregledna situacija od Požege do Boljara sa usvojenom varijantom "Istok 1"  
Izvor: CIP, Beograd arhiva

## 2. Varijanta "Istok 1" (L=106,806 km)

Varijanta "Istok - 1" počinje u području sela Prilipac i delom se poklapa sa centralnom varijantom, do Petačkog Polja (km 170+000). Na ovom mestu trasa seče Moravicu (područje Radljeva), a dalje je projektovana po padini, severoistočno od reke Moravice i državnog puta Ib reda br.21. Prilike - Ivanjica. Predviđene su tri denivelisane raskrsnice, i to Arilje, Ivanjica i Duga Poljana.

Denivelisana raskrsnica "Petlja Ivanjica" je predviđena severozapadno od Ivanjice, kao druga, posle denivelisane raskrsnice "Arilje", kako bi obezbedila vezu autoputa Požega - Boljare i državnog puta Ib reda br.21. (Prilike - Ivanjica).

Uzimajući u obzir ograničenja na ovom potezu, trasa i dalje prolazi padinski, severoistočno od Ivanjice, da bi se nakon obilaska Bedine Varoši ponovo spustila u dolinu Moravice. Položaj trase je na prethodnom delu uslovljen topografijom terena i strogim ograničenjima u pogledu (ne) zauzimanja urbanizovane zone i obradivih površina, ali se u cilju racionalizacije troškova izgradnje neminovno nameće ideja o razdvojenim i denivelisanim kolovozima, što bi bio predmet sledeće faze projekta. Dolinom reke Moravice, trasa je položena južno sve do predela Kosavice, severozapadno od zaštićene zone Golije, u kojoj je na osnovu dobijenih uslova Zavoda za zaštitu prirode i životne sredine Srbije, zabranjena izgradnja autoputa.

Obilazeći park prirode Goliju sa zapada, trasa se južno spušta do Kovilja, odakle nastavlja dalje, dolinom reke Nošnice, prolazi kroz predeo "Medovine", sve do Biočana, reona Brnjice. Sama konfiguracija terena uzrokuje granične elemente plana i profila uz naizmenično smenjivanje, kao i na ostalim razmatranim varijantama, tunelskih i mostovskih konstrukcija.

U predelu Duge Poljane planirana je sledeća denivelisana raskrsnica kojom bi se ostvarila veza autoputa sa državnim putem Ib reda br.29 (Sjenica - Novi Pazar).

Dolazeći dolinom Brnjičke reke na Peštersku visoravan, omogućeno je povlačenje trase sa blažim elementima projektne geometrije. Geološka građa terena je takva da se ne očekuju veći problemi u pogledu položaja trase u situacionom pogledu, ali treba napomenuti da je projektant uložio napor oko izbegavanja plitkih i dugih useka, zbog opasnosti od zavejavanja. Do Vrakotica i Rasanskog doła (km 232+000) trasa ide južno, a zatim se spušta jugozapadno do Buđeva (km 242+000), da bi se prolazeći Dugu i Meljovinu (km 245+000), konačno uklopila u pravac osovine iz Generalnog projekta autoputa na teritoriji Crne Gore, i to severozapadno od mesta Boljare.

Trasa je situaciono projektovana tako da su zadovoljeni granični elementi plana (minimalni radijusi horizontalnih krivina, minimalne dužine kružnih lukova, minimalni međupravci, maksimalni pravci i njihovi međusobni odnosi). Računske vrednosti elemenata projektne geometrije su tako odabrane, da je ostavljena mogućnost za lako ubacivanje prelaznih krivina ( $L_{min}=120$  m) u narednoj fazi projektovanja.

Pojedini stambeni i industrijski objekti, koji se nalaze duž lokalnih i nekategorisanih puteva, nisu mogli biti u potpunosti izbegnuti, ali procenat koštanja rušenja ovih objekata je zanemarljiv u odnosu na koštanje gradnje ove deonice autoputa.

Službeni prolazi su sastavni deo trase autoputa, i postavljaju se na pogodnim mestima na međusobnom rastojanju od 2 do 4 km.

Niveleta varijante 3 ili istočne 1, je na početku uklopljena u niveletu već projektovanog dela autoputa po Idejnom projektu na deonici Lučani - Požega, identično po varijanti 2 ili centralnoj, jer se ove dve varijante u početnom delu od Požege do Prilika poklapaju.

Nagibi nivelete se kreću od minimalnih 0.3% (zbog efikasnog prikupljanja zagađene vode sa kolovoza u zatvoreni sistem odvodnjavanja) do maksimalnih 5.0% (izuzetno 6%) i uslovljeni su konfiguracijom terena, neophodnim visinskim položajem u odnosu na postojeće vodotokove kao i težnjom ka što ravnomernijem izjednačavanju količina zemljanih radova, odnosno iskopa iz useka i materijala za izradu nasipa.

Na posebno kritičnim potezima primenjeni su minimalni radijusi verikalnih krivina i to min  $R_{konv}=17000$  m i min  $R_{konk}=12000$  m za računsku brzinu od 120 km/h, odnosno min  $R_{konv}=8000$  m i min  $R_{konk}=5000$  m, na deonicama autoputa koje su za računsku brzinu od 100 km/h.

Na delu poklapanja sa varijantom 2, niveleta varijante 3 je ista kao i na varijanti 2 i generalno u blagom usponu u dolini reke Moravice. Od tačke situacionog odvajanja, niveletu varijante 3 karakteriše značajan broj uspona i padova, što je posledica karaktera terena, jer se duž trase autoputa po ovoj varijanti, smenjuju brdoviti i planinski teren.

Niveleta na početku autoputa u Gorobiljskom polju na km 147+000 je na koti 310 mnm, a na km 251+800 je 1270 mnm. u selu Boljare na granici sa Republikom Crnom Gorom.

U poprečnom smislu, osa varijante Istok 1 se nalazi naizmenično na nasipima i u usecima, ređe u zasecima. Poprečni profili projektovani su na međusobnim rastojanjima od 250 m, u razmeri A1 1:100 (A3 1:200).

Na nasipima većim od 6-7 m projektovane su mostovske konstrukcije. Na varijanti Istok 1, projektovano je 97 (devedesetsedam) mostova ukupne dužine **19.006 m**. Navedeni broj objekata se odnosi na sve objekte na celoj naznačenoj dužini varijante Istok 1, uključujući i delove varijantnih rešenja koja se preklapaju ( u ovom



slučaju se to događa na početku trase autoputa po ovoj varijanti, gde se preklapaju ova varijanta i centralna, odnosno varijanta 2).

Za propuštanje svih ostalih manjih vodotokova predviđeni su objekti otvora do 5.0 m (pločasti i cevasti propusti).

Na osnovu geoloških analiza određeno je da su useci prihvatljivi do 12-15 m, dok za veće dubine usecanja predviđeni su tuneli. Na varijanti Istok 1 ima 51 (pedesetjedan) tunel ukupne dužine **26.800 m**.

Treba napomenuti da će se neki tuneli, izvoditi u otvorenom iskopu jer geološki sastav tla ne dozvoljava klasičan tunnelski iskop, ili je visina nadsloja nedovoljna, da se oni izvode na klasičan način.

Ostali tuneli na ovoj varijanti mogu se izvoditi klasičnim tunnelskim iskopom, a potvrdu ovog stava daće detaljnija inženjersko-geološka istraživanja u sledećim fazama projektovanja.

Nadvožnjaci su predviđeni na ukrštajima autoputa sa državnim i lokalnim putevima. Na varijanti Istok 1 predviđeno je 21 (dvadesetjedan) nadvožnjak, ukupne dužine **3120 m**.

## 2.1. SAOBRAĆAJNE PROJEKCIJE

Na osnovu predloženih dispozicija petlji na pomenutom pravcu varijante Istok 1 formirani su sektori koji su, prikazani u sledećoj tabeli:

**Tabela 1** Definisani sektori na trasi autoputa

ISTOČNA VARIJANTA	
sektor	
1.	Lučani - Arilje
2.	Arilje - Ivanjica
3.	Ivanjica - Sjenica
4.	Sjenica - Boljare

Izvor: Arhiva CIP Beograd

Koristeći se prognozom saobraćaja na putnoj mreži moguće je dati obim saobraćaja na autoputskom pravcu u budućnosti, u slučaju istočnog koridora, pri čemu je u vreme izrade Saobraćajne studije 2005.godina uzeta kao bazna. U narednoj tabeli je obim saobraćaja koji bi se u trenutnom stanju pojavio na pojedinim delovima novog puta projektovan odgovarajućim stopama rasta na period kada se očekuje formiranje saobraćajnice Požega - Boljare.

**Tabela 2** Autoputski pravac, prognoza PGDS-a

sektor	ISTOČNA VARIJANTA			
	I	II	III	IV
2005	9820	5775	4401	3929
2006	10077	5925	4515	4031
2007	10413	6123	4666	4165
2008	10814	6359	4846	4326
2009	11270	6627	5050	4508
2010	11766	6919	5272	4707
2011	12293	7229	5509	4918
2012	12841	7551	5754	5137
2013	13401	7880	6005	5361
2014	13964	8211	6258	5586
2015	14525	8541	6509	5811
2016	15076	8865	6756	6031
2017	15612	9180	6996	6245
2018	16130	9485	7228	6453
2019	16625	9776	7450	6651
2020	17096	10053	7661	6839
2021	17541	10314	7860	7017
2022	17960	10561	8048	7185
2023	18352	10791	8224	7342
2024	18720	11008	8388	7489
2025	19065	11211	8543	7627
2026	19392	11403	8689	7757
2027	19703	11586	8829	7882
2028	20005	11763	8964	8003



2029	20303	11938	9098	8122
2030	20604	12115	9233	8242

Podaci o očekivanom PGDS-u po sektorima takođe ukazuju na neravnomernost u razvoju krajeva kroz koje budući autoput prolazi. Sagledavajući podatak koliko km<sup>2</sup> površine opštine pripada 1km puta kroz koje trasa prolazi imamo situaciju da idući od severa ka jugu taj broj jeste manji, što pokazuje nedovoljnu razvijenost putne mreže po opštinama.

**Tabela 3 Pregled osnovnih podataka o opštinama kroz koje autoput prolazi i na čiji razvoj će imati uticaj**

Opština	Površina (km <sup>2</sup> )	broj stanovnika	dužina puteva I i II reda (km)			broj registrovanih PA	površina kojoj pripada 1km puta	broj stanovnika na 1PA
			ukupna	sa savr.kol.	% sa savr.kol.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Arilje	349	18.792	125,09	125,09	100,00	5.319	2,79	3,53
Pozega	426	29.638	102,78	100,01	97,30	7.600	4,14	3,90
Ivanjica	1.090	31.963	218,77	191,27	87,43	8.005	4,98	3,99
Sjenica	1.059	26.392	176,72	114,22	64,63	4.751	5,99	5,56
Novi Pazar	742	100.410	152,67	133,69	87,57	21.185	4,86	4,74
Tutin	742	31.155	117,1	104,7	89,41	6.093	6,34	5,11

\*napomena: statistički podaci iz 2016.godine, broj stanovnika po popisu iz 2011.god.

Da bi se popravili podaci potrebno je ulagati u razvoj jugozapadnog dela Srbije. Ulaganja u privredni razvoj su moguća onda kada postoji mogućnost da se do tih područja dođe, odnosno potrebni su dobri putevi. Sagledavajući broj registrovanih vozila iz tabele može se sa sigurnošću reći da bi se sa poboljšanjem stanja na putevima koji gravitiraju budućem autoputu vrlo brzo prognozni PGDS na poslednja dva sektora Istočne varijante povećao.

Na osnovu Pravilnika za projektovanje javnih puteva, zavisno od vrste terena, usvojene su sledeće vrednosti računskih brzina:

1. Vr = 120km/h – u ravničarsko-brežuljkastom terenu
2. Vr = 100km/h – u brdovitom i planinskom terenu

## 2.2. Elementi normalnog poprečnog profila

Normalni poprečni profil predstavlja tipsko rešenje u standardnim terenskim i standardnim saobraćajnim uslovima. Njime se utvrđuju fizičke razmere putne konstrukcije, definišu interni odnosi primenjenih elemenata i rešavaju tipski konstruktivni detalji. Na osnovu prognoziranog saobraćajnog opterećenja, strukture saobraćaja, ranga puta i usvojene računске brzine (Vr = 120 km/h i Vr = 100 km/h) usvojen je geometrijski poprečni profil autoputa sa dva odvojena kolovoza:

Za računsku brzinu od Vr = 120 km/h:

vozne trake 4 x 3.75 m = 15.00 m  
 zaustavne trake 2 x 2.50 m = 5.00 m  
 ivične trake 2 x (0.50 m + 0.20 m) = 1.40 m  
 bankine 2 x 1.50 m = 3.00 m  
 razdelna traka = 4.00 m  
**ukupna širina 28.40 m**

Za računsku brzinu od Vr = 100 km/h:

vozne trake 4 x 3.50 m = 14.00 m  
 zaustavne trake 2 x 2.50 m = 5.00 m  
 ivične trake 2 x (0.35 m + 0.20 m) = 1.10 m  
 bankine 2 x 1.50 m = 3.00 m  
 razdelna traka = 3.00 m  
**ukupna širina 26.10 m**

Zbog uslova terena neophodno u sledećoj fazi razrade usvojene optimalne varijante (Idejni projekat), ispitati mogućnosti projektovanja razdvojenih i denivelisanih kolovoznih traka, kako bi se troškovi izgradnje

sveli na najmanju moguću meru. Ovo se posebno odnosi na deonice koje su morale biti isprojektovane na strmim padinama.

### 3. KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA

Za potrebe analiza na nivou generalnog projekta, koristeći raspoložive podatke, izvršeno je preliminarno dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija za dve aktuelne deonice, prema procenjenom saobraćajnom opterećenju na svakoj od njih i za dva različita kvaliteta posteljice: sa CBR = 5% i sa CBR = 15%.

Za usvojenu varijantu autoputa – ISTOK 1, predviđena je jedinstvena kolovozna konstrukcija, prema prognoziranom saobraćajnom opterećenju i prema podacima dobijenim iz geoloških i geotehničkih uslova. Kolovozna konstrukcija se razlikuje po saobraćajnim trakama u profilu.

Na voznoj i preticajnoj traci kolovozna konstrukcija je sledeća:

Habajuci sloj AB od drobljenog kamenog agregata	5 cm
Gornji noseći sloj BNS	12 cm
Donji noseći sloj od drobljenog kamena 0/31	20 cm
Donji noseći sloj od kamene drobine 0/63	25 cm

**UKUPNO 62 cm**

(Za Posteljicu čiji je CBR = 5%)

Habajuci sloj AB od drobljenog kamenog agregata	5 cm
Gornji noseći sloj BNS	12 cm
Donji noseći sloj od drobljenog kamena 0/31	15 cm
Donji noseći sloj od kamene drobine 0/63	16 cm

**UKUPNO 48 cm**

(Za Posteljicu čiji je CBR = 15%)

Uzimajući u obzir zahteve kakvi se uobičajeno postavljaju za zaustavnu traku kod autoputeva i posebno u cilju tehnološki pogodnog rešenja, za zaustavnu traku se definiše sledeća kolovozna konstrukcija:

1. Posteljica sa CBR = 5%; kolovozna konstrukcija je sledeća:

Habajuci sloj AB od drobljenog kamenog agregata	5 cm
Gornji noseći sloj BNS	0 cm
Donji noseći sloj od drobljenog kamena 0/31	20 cm
Donji noseći sloj od kamene drobine 0/63	37 cm

**UKUPNO 62 cm**

2. Posteljica sa CBR = 15%; kolovozna konstrukcija je sledeća:

Habajuci sloj AB od drobljenog kamenog agregata	5 cm
Gornji noseći sloj BNS	0 cm
Donji noseći sloj od drobljenog kamena 0/31	15 cm
Donji noseći sloj od kamene drobine 0/63	28 cm

**UKUPNO 48 cm**

### ZAKLJUČAK

Za istočni koridor je urađen Generalni projekat i "Studija o proceni uticaja na životnu sredinu" koja je urađena na nivou prethodne analize uticaja na životnu sredinu. U fazi je izrada Prostornog plana područja posebne namene infrastrukturnog koridora Beograd – Južni Jadran, deonica Požega – Boljare (granica sa Crnom Gorom) (auto-put E-763) u čijem sastavu će biti i Strateška procena uticaja Prostornog plana predmetnog područja. Osnovni razlog za izradu i donošenje Prostornog plana je stvaranje uslova za realizaciju nacionalnih interesa u oblasti saobraćajne infrastrukture na principima održivog razvoja. Potrebno je pozdraviti i pružiti svu podršku na taj način pokazanoj želji da se podigne nivo pristupačnosti područja obuhvaćenih planom i time doprinese njihovoj dinamici razvoja.

### LITERATURA:

-Generalni projekat autoputa Beograd-Južni Jadran na delu Požega-Boljari (granica Crne Gore) – CIP, 2007, Naučno-stručni skup – okrugli sto „Autoput Beograd-Južni Jadran“ Ivanjica

## 2. POVEZIVANJE PUTEVA I I II REDA SA AUTOPUTEM

Izet Ljajić, dipl. građ. inž. Inženjerska akademija Srbije

Mujović Sead, dipl. građ. inž. tehn. direktor Novi Pazar-put d.o.o.

Mirsada Uglić, dipl. građ. inž., član IAS, šef tehn. pripreme Novi Pazar-put d.o.o.

### 1. UVOD

Polazeći od činjenice da su putevi građevinski-saobraćajni-infrastrukturni objekti koji povezuju i zbližavaju ljude, obezbeđuju realizaciju dijalektičkog principa „sve se menja i sve je u pokretu,“ kao i od izreke koja datira još od Rimljana „VIA-VITA“ ili „Put je život“, pišući o putevima pokušavamo da ispunimo samo deo obaveze koju dugujemo putevima.

Put je potreba. Istorijski posmatrano menjali su se, izgled, elementi, obrada puta, ali svrha izgradnje i održavanja puta je bila ista - potreba i mogućnost sigurnog, brzog i komfornog transporta ljudi i dobara. Grad Novi Pazar i opština Sjenica se nalaze u jugozapadnoj Srbiji i po svom položaju u državnoj mreži Srbije predstavljaju važna saobraćajna čvorišta jer se u njima ukrštaju putevi koji povezuju južni i jugozapadni deo Srbije sa zemljama u okruženju Bosnom i Hercegovinom i Crnom Gorom.

Još u srednjem veku u vreme karavanskih puteva Novi Pazar se nalazio na raskršću puteva: broj 1 – Dubrovačkog puta (puta koji je od Dubrovnika vodio preko Pljevalja, Prijepolja, Sjenice, Novog Pazara do Niša a dalje se granao na jug ka Skoplju (put 6 – Moravsko-varždarski put) i na istok ka Carigradu (broj 3 – Carigradski put)), broj 2 – Bosanskog puta koji je vodio od Sarajeva, preko Sjenice i Novog Pazara ka Skoplju na jugu i broj 7 – Beogradskog puta koji je od Beograda vodio preko Kraljeva do Novog Pazara. To je bilo vreme procvata trgovine i privrednog razvoja Novog Pazara. Istorijski događaji krajem XIX i početkom XX veka doveli su do napuštanja karavanskih puteva koji su prolazili kroz Novi Pazar, što se odrazilo na njegovo stagniranje u razvoju. Novi Pazar i pored pomoći šire društvene zajednice do danas nije dostigao stepen razvoja kojeg je imao u srednjem veku.

Na prostoru jugozapadne Srbije državni putevi IB reda broj 29 Aljinoviće – Sjenica – Novi Pazar, IIA reda broj IIA broj 202 Sjenica – Karajukića Bunari - Tutin i IIA reda broj 203 Novi Pazar - Tutin spadaju u red veoma važnih saobraćajnica, kako za saobraćajno povezivanje Srbije sa zemljama sa kojima se graniči na zapadu i jugu tako i za povezivanje regionalnih centara na ovom prostoru.

Ova tri državna puta predstavljaju okosnicu razvoja grada Novog Pazara i opština Sjenica i Tutin i jedina su njihova veza sa bližim i daljim okruženjem.

Pored pomenutih putnih pravaca i državni put IB 22 Kraljevo – Raška – Novi Pazar – Ribariće – Granica Crne Gore ima veliki značaj na razvoj ovih krajeva. On predstavlja najkraću vezu srednje i istočne Srbije sa Crnom Gorom.

Ako se posmatra karta Pešteri može se videti da ogromno prostranstvo ove visoravni presecaju trase svega četiri puta II reda: IIA 202, IIA 204 Pazarište – Delimlje – Melaje, IIA 197 Preko Brdo – Duga Poljana – Kamešnica – Rasno – Karajukića Bunari – Ugao i po obodu sa zapadne strane put IIA 201 Sjenica – Bare – Kumanica.



— IB 29 — IIA 203 — IIA 202 — IIA 197

Slika 1. Karta puteva IB 29, IIA 202, IIA 203 i IIA 197

## 2. DRŽAVNI PUT IB REDA broj 29 Aljinovići - Sjenica – Novi Pazar

Ovaj putni pravac, počevši od Novog Pazara sa nadmorskom visinom od oko 500m se pruža prema Belim Vodama na oko 750m nadmorske visine. Duga Poljana se nalazi na oko 1.150m n.v. Visinska razlika od oko 400m metara savlađuje se deonicom „Postrmac“ koji se sastoji od 12 serpentina u dužini od oko 5,5km. Deonica se na dalje prostire preko „Golijskog puta“ koji je na oko 1.250m nadmorske visine, dalje preseca teritoriju Opštine Sjenca prolazeći kroz jezgro grada koji je na oko 1.000m i nastavlja se prema Goveđaku na 1.200m n.v. do Aljinovića na oko 1.150m nadmorske visine. Ovo je bitno istaći jer ovaj putni pravac je „žila kucavica“ ovog kraja. Na ovom području ne postoji morski, avio niti železnički saobraćaj, putevi su jedina komunikacija. Polazeći od Novog Pazara, posebno u zimskom periodu, može se u pola sata vožnje uočiti uticaj nadmorske visine, jer se dešavalo da na ovom putnom pravcu imamo radove na betoniranju na području Pazara, dok smo na deonici zvanj „Golijski put“ saobraćaj morali da propuštamo naizmenično jer su se stvarali smetovi preko 3 metra, zbog čega je na Sjeničkom području u istom trenutku proglašeno vanredno stanje.

Put IB 29 Aljinovići - Sjenica – Novi Pazar je putni pravac koji osim toga što ima veoma važan položaj u putnoj mreži Srbije kao veza IB-22 Kraljevo – Novi Pazar, on povezuje centralni i južni deo Srbije, preko Nove Varoši i Prijepolja sa Crnom Gorom odnosno sa Bosnom i Hercegovinom.

Efekte poboljšanja uslova odvijanja saobraćaja na rekonstruisanim deonicama su vidni, ali zahtevaju što skoriji nastavak radova, obzirom da neravnomerni uslovi odvijanja saobraćaja na ovom putnom pravcu predstavljaju potencijalnu opasnost za sve učesnike u saobraćaju.

Dužina ovog putnog pravca iznosi 73,7km, od čega je na dužini od 12,7km sredstvima NIP-a od 2007. do 2009.god. na području Sjenice izvršena rekonstrukcija puta, a 2007. i 2012.god. JP“ Putevi Srbije“ su finansirali deonicu od 1,2+2,2km na izlazu iz Novog Pazara prema Sjenici. Na preostalom delu u dužini od 57km stanje puta je i dalje veoma loše.

Tabela 1. Stanje kolovoza

Vrsta kolovoza	Dužina (km)	% učešća u dužini puta
Asfaltni kolovoz – loše stanje	57	77
Asfaltni kolovoz – dobro stanje	16,1	23

Ako bi posmatrali deonice pojedinačno, uočili bi da je svaka za sebe karakteristična po nekom problemu. Polazeći od Aljinovića, osim rekonstruisanog dela, stanje kolovoza je u strašno lošem stanju, kao i sami elementi puta. Ovde se može najbolje uočiti razlika dobrog i lošeg stanja.



Slika 2. Loše stanje puta



Slika 3. Rekonstruisana deonica-Goveđak

U nastavku deonica prolazi kroz jezgro grada, gde je zbog renoviranja razne infrastrukture, saobraćajnica ruinirana, ali je na deonici do Štavlja stanje zadovoljavajuće jer kao što smo napomenuli izvršena rekonstrukcija. Od Štavlja do Belih Voda nailazimo na dve vrlo karakteristične deonice, prva je prevoj „Golijski put“ koji stvara ogromne probleme pri zimskom održavanju, jer se na ovoj deonici javljaju smetovi i do 4m pa se mnogo puta u toku zime dešava da se prohodnost puta dovodi u pitanje. Samo velikom upomošću i dugogodišnjim iskustvom našeg preduzeća nikad nije došlo do prekida saobraćaja, već se u kritičnim situacijama saobraćaj odvija jednosmerno uz asistenciju saobraćajne policije.



**Slika 4.** Dobro stanje puta



**Slika 5.** Nanosi

Druga karakteristična deonica je „Postrmac“. Postrmac je deonica kojom se u dužini od oko 5,5km savladava visinska razlika tj. uspon od oko 400m. Ovo je postignuto preko 13 serpentina radijusa  $R=4 - 8m$  sa usponima od 0 do 17%. Ova deonica izvedena sa ovakvim serpentinama, nikad nije predstavljala problem za održavanje u zimskom periodu.

Zbog težine rešavanja ovog problema, a samim tim i velike vrednosti radova, za ovu deonicu su rađena tri rešenja od strane projektnih kuća „CIP“ i „Institut za puteve“.

- Prvo rešenje po kojem je projektovana varijanta koja je verovatno najnepovoljnija i ide zaseokom Goluban preko sela Ljutaje pa do Belih Voda. Ovom Varijantom se na kratkoj dužini savlađuje velika visinska razlika pa je zato nepovoljna.
- Druga varijanta ide od Belih Voda preko sela Šare pa do Golijskog puta.
- Treća varijanta ide suprotnom stranom i to od Belih Voda, prolazi ispod sela Buče pa preko Duge Poljane do Golijskog puta.

Zbog ozbiljnosti ovog problema, neophodno je iznaći najpovoljnije tehničko rešenje za savlađivanje ove visinske razlike, kako bi se stvorili saobraćajni uslovi da brzina kretanja može da bude oko 60km/h. Obzirom da je izgradnja ove deonice vrlo skupa, a ne predstavlja problem za svakodnevno odvijanje saobraćaja, vremeski period izgradnje iste može se uskladiti sa dinamikom izvođenja radova na auto putu tj. može se vršiti etapno.



**Slika 6.** Postrmac





**Slika 7.** Varijante projektnih rešenja za Postrmac

Na ovom putnom pravcu tranzitni saobraćaj prema Sjenici prolazi kroz Novi Pazar. Novi Pazar je jedini grad u Srbiji koji nema obilaznicu kojom bi mogao da se odvija normalan tranzitni saobraćaj i povezuje put IB-22 sa putem IB-29. Projekat obilaznice urađen je davne 1995. godine u dužini od 5,5km koji do danas nije realizovan, iako su radovi započeti 2006. godine u dužini od 2,7km od kojih je asfaltirano samo 800 metara, a u poslednjih 8 godina nije ništa rađeno.



**Slika 8.** Situacija projektovane obilaznice oko Novog Pazara koja spaja puteve IB-22 i IB-29  
L=5,5km

Na situacionoj karti Slika broj 8. najbolje se vidi kako „tranzitni“ saobraćaj prolazi kroz grad. Najveći problem je prolaz kroz grad gde je gradska saobraćajnica dužine 1,2km na jednom delu širine puta svega 3,8 metara, i maksimalno 6 metara sa radiusima krivina od svega 10 i 15 metara. Ovo je primer „čepa“ gde dva teretna vozila ne mogu da se mimoiđu. Na ovoj deonici prosečno vreme vožnje traje 4,4 minuta, tj. prosečne brzine od 16 km/h.



**Slika 9.** Usko grlo tranzitnog saobraćaja prolaz kroz grad u dužini od 1,2km od tačke A do tačke B

Ovo dovoljno govori o neophodnosti i nužnosti izgradnje obilaznice prema Sjenici koja se ne bi smela ni dana odlagati, jer realizacijom ove tranzitne saobraćajnice samo će se delimično ublažiti problem. Grad se toliko proširio da se nameće potreba za projektovanje i izvođenje novog gradskog prstena (obilaznice). Za završetak ove deonice potrebno je oko 4 miliona evra što zaista nije mnogo obzirom na izrazito veliki postojeći problem protoka tranzitnog saobraćaja kroz saobraćajnicu koja nema nikakve projektantske elemente.

#### **Put broj IB-22 Novi Pazar – granica sa Crnom Gorom**

Ovaj putni pravac je izuzetno značajan za ovaj region, jer se povezuje sa Beogradom i istočnim delom Republike, onda sa Crnom Gorom i Kosovom. Od Beograda do granice sa Crnom Gorom ima samo dva prevoja. Jedan je kod Gornjeg Milanovca - „Rudnik“ koji je rekonstruisan sa trećom trakom i drugi je kod Novog Pazara - „Kominjske Bare“. Ova deonica je duga oko 10km sa usponima do 7,5% gde je neminovno potrebna izgradnja treće trake koja bi omogućila „normalan“ protok putničkih vozila, jer se danas od Novog Pazara do granice sa Crnom Gorom putuje oko 50 minuta za dužinu od 40km.

Dobar deo saobraćaja iz Istočne Srbije prema moru danas se odvija preko Čačka i Užica, a preko Novog Pazara do mora trasa je kraća za 100km. Mesto spajanja obe trase je Ribarevina.

Izgradnjom treće trake preko Kominjskih bara ne bi dolazilo do zastoja i zagušivanja saobraćaja, a saobraćaj iz istočnog dela Republike išao bi preko Novog Pazara. Kako je ovaj kraj pun istorijsko kulturnih znamenitosti time mi bila veća zainteresovanost turista za njihov obilazak.

Na karti br.10 je prikazan deo deonice od Kruševačkog mosta do tunela, a treću traku je potrebno izgraditi na čitavoj deonici od Kruševačkog mosta preko tunela do podnožja sela Orašja u dužini od oko 10km.





**Slika10.** Satelitski snimak deonice putnog pravca broj IB-22 od Kuševačkog mosta (tačka A) do tunela (tačka B).

Pored direktne veze opštine Sjenica i grada Novog Pazara državnim putem IB reda broj 29 veoma važna veza ova dva centra je poprečna veza preko Pešterske visoravni koju čine državni putevi IIA reda broj 202 Sjenica – Karajukića Bunari – Tutin i 203 Novi Pazar - Tutin. Izgradnjom ove poprečne veze bi se stekli uslovi brže i lakše komunikacije ovih djevu opština a time i omogućili tokovi robe i usluga što bi za posledicu imalo brži privredni razvoj ovog kraja.

### **3. DRŽAVNI PUT IIA REDA broj 203 Novi Pazar - Tutin**

#### **3.1. UVOD**

Državni put IIA reda broj 203 povezuje dva državna puta IB reda broj 29 Sjenica – Novi Pazar i 22 Novi Pazar – Ribarići – granica Crne Gore. Put je rađen davnih šezdesetih godina sa tucaničkim kolovozom, a asfaltiran je u dužini od 28,0km početkom sedamdesetih godina. Deonica od Tutina do Špiljana dužine 9km je rađena osamdesetih godina. Teritorijalno ovaj put u dužini od 10,2km pripada gradu Novom Pazaru a preostalih 26,8km pripadaju opštini Tutin. Za 11 katastarskih opština kroz koje put prolazi ovaj putni pravac predstavlja jedinu vezu sa širim okruženjem.

Do izgradnje deonice puta IB 22 Novi Pazar – Ribarići 1976.godine, put Novi Pazar – Tutin, preko Dobrinje i Batraga je predstavljao vezu ovog dela Srbije i jednog dela Centralne Srbije sa Jadranskom magistralom i dalje severnim delom Crne Gore, odnosno primorjem.

#### **3.1.1. Stanje kolovoza**

Sadašnje loše stanje datira od ranije i ogleda se u lošem stanju kolovoza, ali i u primeni neodgovarajućih elemenata situacije i nivelacije, koji ne zadovoljavaju tehničke uslove za ovaj rang puta, zbog čega se može reći da je na pojedinim delovima ovaj put jedva prohodan.

Realizacijom sredstava NIP-a za 2007. i 2008.godinu izvršena je rekonstrukcija deonice Ulaz u Tutin u dužini od 3,5km. Na delu od Novog Pazara do Pazarišta u period od 2009.-2013.godine rehabilitovano je 2,533km puta a preostali deo do Pazarišta je još uvek u veoma lošem stanju iz razloga što je zbog arheološkog nalazišta na ovoj lokaciji uslovima Zavoda za zaštitu spomenika zahtevano da se izbegne postojeća trasa tako što će se kod Ribnjaka preći sa leve na desnu stranu toka reke Raške, ići padinom jugoistočno od postojeće trase i na km:4+355km se vratiti na postojeću trasu.

Rehabilitacija kolovoza na deonicama sa dobrim stanjem kolovoza je izvršena u skladu sa projektnom dokumentacijom koja je po primenjenim elementima ispoštovala propise za ovaj rang puta.

**Tabela 2. Stanje kolovoza na državnom putu IIA 203**

Vrsta kolovoza	Dužina (km)	% učešća u dužini puta
Asfaltni kolovoz – loše stanje	22,357	79
Asfaltni kolovoz – dobro stanje	6,033	21

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put d.o.o.

Za najveći deo trase je urađen projekat pojačanog održavanja puta – poboljšanja 2009.godine, izuzev za deo puta koji predstavlja obilazak arheološkog nalazišta Pazarište – Stari Ras koji je uvršten u svetsku kulturnu baštinu.

### 3.1.2. Terenski uslovi za vođenje trase

Trasa ovog putnog pravca predstavlja klasičnu deonicu puta IIA reda u brdovitom terenu sa većim brojem horizontalnih krivina manjih radijusa i blagim podužnim padom. Visinska razlika koja se savladava iznosi oko 500m (od 546m – 923m nadmorske visine). Put je na najvećem delu trase u zaseku. Terenski uslovi su definisali primenjene radijuse koji se kreću od minimalnih 25m (45m) pa do 5000m. Primenjeni podužni nagibi se kreću od 0,23% do 8,7%.

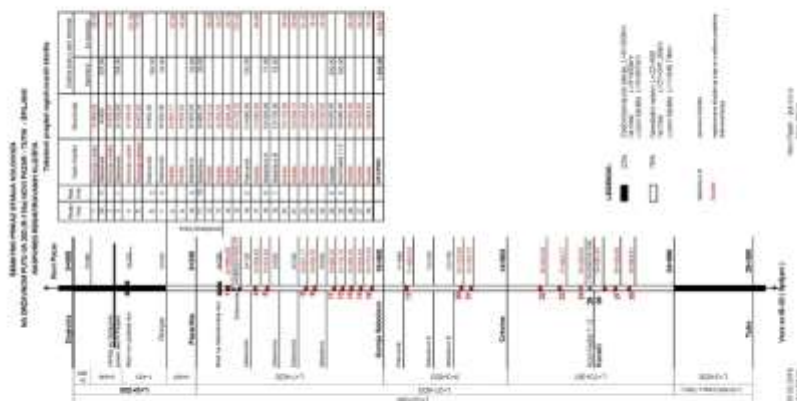
### 3.1.3. Klizišta

Nestabilan teren na kom je postavljena trasa jeste jedan od uzročnika pojave klizišta. Prve veće padavine koje su dovele do aktiviranja novih klizišta bile su 2007.godine. Nakon tih padavina na trasi od Novog Pazara do Tutina je registrovano 28 aktivnih klizišta.

To znači da je prosečno na svakom kilometru ovog putnog pravca bilo registrovano klizište. Do 2014.godine sanirano je 8 klizišta.

Nakon talasa velikih padavina u 2014. i 2015.godini aktivirana su još dva klizišta – u Kovačima na km:18+210 i u Zelenovićima na km:4+650, tako da je ukupan broj registrovanih klizišta porastao na 30. Zbog velike deformacije na desnoj saobraćajnoj traci u zoni klizišta Kovači i brzog napredovanja nastalog loma konstrukcije sa radovima na sanaciji ovog klizišta se moralo vrlo brzo početi.

Tokom 2014. i 2015. izvršena je sanacija dva klizišta u Kovačima i Sebečevu na km: 8+980,22 a u 2017.godini sanirano je klizište Zelenoviće na km:4+650 čime se broj saniranih klizišta povećao na 11. Sa sanacijom ovih 11 klizišta izvršena je ukupno popravka puta u zoni klizišta u dužini od L=1.306,00km. Ali i dalje ostaje veliki problem usled potrebe za sanacijom još 19 registrovanih klizišta. Na mestima pojedinih klizišta sa raskvašavanjem terena i usled stalnog odvijanja saobraćaja rapidno rastu otcepljenja puta što lako može u jednom trenutku da onemogući odvijanje saobraćaja i prekine komunikaciju ovom saobraćajnicom između Novog Pazara i Tutina i silom prilika usmeri stanovnike ovih katastarskih opština da za vezu sa Pazarom koriste deonicu puta Tutin – Bregovi, odnosno da za Novi Pazar idu preko Ribarića, što povećava rastojanje na 40km i povećava vreme potrebnog putovanja. Pojedine katastarske opštine bi u slučaju tako nastalih otcepljenja i prekida puta bile potpuno odsečene od ostalog dela okruženja.



**Slika 11.** Šematski prikaz stanja klizišta na IIA 203

Izvor: Novi Pazar – put d.o.o. arhiva

### 3.1.4. Objekti

Na trasi postoji 7 mostova od kojih su dva – na Rebronjskoj i Sebečevskoj reci rekonstruisana u svemu prema projektnoj dokumentaciji dok je na mostu na km:6+350 izvršeno proširenje pešačkih staza i ugradnja nove zaštitne ograde bez sanacije ostalih delova konstrukcije . Stanje ostala 4 mosta ne zadovoljava ni u pogledu stanja konstrukcije a ni u pogledu širine kolovoza, pešačkih staza i prateće opreme. Usled nedovoljne nosivosti konstrukcije zbog naraslog obima saobraćaja i usled dugogodišnjeg dejstva atmosferijila na svim mostovima su vidna oštećenja. Pored toga na svim mostovima je vidno oštećenje zaštitne ograde a na pojedinim mestima je i nema. Zbog toga i put i objekti izgledaju zapušteno i pored održavanja. Ali od izgleda je veći problem što je kretanje ovim putem nebezbedno. Činjenica je da se sredstva za nabavku nove ili zamenu dotrajale opreme veoma teško izdvajaju.

## 4. DRŽAVNI PUT IIA REDA broj 202 Sjenica – Karajukića Bunari - Tutin

### 4.1. UVOD

Ovaj putni pravac tzv. “Pešterska magistrala” u dužini od oko 60km predstavlja najkraću vezu dva regionalna centra Sjenice i Tutina. U sadašnjim uslovima, zbog lošeg stanja kolovoza na pojedinim delovima ovog puta, za putovanja iz Tutina ka Sjenici se koriste putevi IIA 203 i IB 29 i dužina te veze iznosi 78km. Teritorijalno trasa ovog putnog pravca u dužini 30km prolazi kroz šest katastarskih opština koje pripadaju opštini Sjenica a preostalih 30km prolazi kroz deset katastarskih opština koje pripadaju opštini Tutin.

#### 4.1.1. Stanje kolovoza

U pogledu stanja kolovoza na ovom putnom pravcu zastupljeni su potesi sa lošim stanjem asfalta, sa makadamom i sa asfaltom u dobrom stanju koji je rađen po propisima za ovaj rang puta, odnosno po projektnoj dokumentaciji u periodu od 2006. do 2012. godine.

**Tabela 1.** Stanje kolovoza na državnom putu IIA 202

Vrsta kolovoza	Dužina (km)	% učešća u dužini puta
Makadam	9	15
Asfaltni kolovoz – loše stanje	20	33
Asfaltni kolovoz – dobro stanje	31	52

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put d.o.o.





**Slika 12. Makadam na putu**



**Slika 13. Loš asfalt na putu**  
*Državni put IIA reda broj 202*  
*Izvor: Novi Pazar – put d.o.o. arhiva*



**Slika 14. Dobar asfalt na putu**

Na ovom putnom pravcu u mestu Raždaginja postoji drveni most dužine  $L=6\text{m}$  preko kojeg se odvija saobraćaj i koji je jedini takve vrste na celoj mreži državnih puteva Srbije. Nosivost mosta je ograničena i za saobraćaj ga koriste samo putnički automobili i manja dostavna vozila. Teretna vozila idu preko rečnog korita. U vreme jesenjih kiša i proleća kada se otapa sneg i kada vodostaj u reci poraste ta kretanja su nebezbedna i ograničena.

Deonice sa lošim stanjem kolovoza su deonice na kojima je asfalt rađen po postojećem stanju osamdesetih godina i to jednim slojem asfalta. Te deonice sa velikim brojem udarnih rupa, oštećenja i neravnina u podužnom i poprečnom pravcu zahtevaju radove hitne rehabilitacije kako zbog potrebe korekcije elemenata tako i zbog velikih oštećenja koji otežavaju vožnju, smanjuju brzinu kretanja i znatno smanjuju bezbednost svih učesnika u saobraćaju.

Deonica puta pod makadamom u dužini od 9,00km ima promenljivu širinu kolovoza, neadekvatne elemente situacije i nivelacije i zahteva neodložne radove .

#### **4.1.2. Terenski uslovi za vođenje trase**

Trasa ovog puta je položena na specifičnim terenskim uslovima obzirom da se radi o visoravni i relativno ravnom terenu ali i velikoj nadmorskoj visini od oko 1160m. Prosečna nadmorska visina na kojoj je postavljena trasa se kreće od 867m (Tutin), preko Peštorskog polja (kota čak i 1320m) do 1026 m (Sjenica). Ova specifičnost je posebno uočljiva i dolazi do izražaja u zimskim uslovima održavanja jer je opšte poznato da su ovde zime duge i hladne i da su za ovaj prostor karakteristične velike količine snežnih padavina. Trasa državnog puta IIA 202 se u celoj dužini pruža preko Peštorske visoravni gde su terenski uslovi takvi da omogućavaju slobodno vođenje trase i primenu komotnih elemenata situacije i nivelacije. na delu gde postoji projektna dokumentacija minimalni radijus primenjen na trasi iznosi  $R_h=75\text{m}$ .

### **5.DRŽAVNI PUT IIA REDA broj 197 Preko brdo – Duga Poljana – K.Bunari - Ugao**

#### **5.1.UVOD**

U putnoj mreži koridora budućeg autoputa E-763, deonica Požega – Boljare se nalazi i državni put IIA reda broj 197 Preko brdo – Duga Poljana – K.Bunari – Ugao – granica sa Crnom Gorom.

Ovaj put u dužini od 39,997km povezuje Dugu Poljanu i Peštorsku visoravan sa granicom Crne Gore i predstavlja najkraću vezu središnjeg dela Srbije sa Crnom Gorom preko Peštorske visoravni.

#### **5.2.STANJE PUTA**

Postojeći put je asfaltiran u periodu 2000. – 2006.godine u dužini od 6,6 km (Duga Poljana – Kamešnica). U periodu od 2009.- 2011.godine asfaltirano je još 5,2km puta. Na preostalom delu put je makadamski i promenljive širine.

Na deonici Jankov kamen – Duga Poljana kolovoz je u takvom stanju da se dovodi u pitanje prohodnost puta. Na ovoj deonici puta osim povremenih intervencija u okviru redovnog održavanja u cilju proširenja kolovoza na delovima sa većim odronima nije bilo nikakvih drugih intervencija.

Stanje kolovoza i elemenata puta je takvo da je neophodno izvršiti veće intervencije kako u pogledu primenjenih elemenata puta tako i u pogledu osavremenjavanja kolovoza.

Za kompletnu deonicu puta sa makadamskim kolovozom postoji projektna dokumentacija koju je potrebno novelirati.

Sa poboljšanjem stanja ovog putnog pravca omogućila bi se direktna i najbrža veza srednjeg dela Pešteri sa planiranom denivelisanom raskrsnicom "Duga Poljana" na budućem autoputu. Osim toga ovaj put bi u bliskoj budućnosti, sa uređenjem graničnog prelaza prema Crnoj Gori, mogao da zauzme značajno mesto u međugraničnoj saradnji. Na strani Crne Gore do granice je asfaltiran put na koji se vezuje naš državni put IIA 197 dok je sa naše strane od ukupne dužine  $L=39,997\text{km}$  asfaltirano svega 29,6%.

## **ZAKLJUČAK**

Razvoj jednog kraja je u direktnoj vezi sa njegovim položajem u odnosu na državnu mrežu saobraćajnica. Povezanost dobrim saobraćajnicama sa bližim i širim okruženjem doprinosi prometu dobara, usluga i ljudi. Time se stvaraju uslovi za privredni, ekonomski, kulturni, socijalni i svaki drugi razvoj kraja kroz koji saobraćajnica prolazi.

Svaki kilometar novog puta znači oživljavanje kraja kroz koji taj put prolazi jer saobraćaja samo neće biti tamo gde nema saobraćajnica kojima bi se isti odvijao. Poboljšanje stanja ovih puteva i njihova veza sa budućim autoputem preporodiće ovaj prostor.

Rad je imao za cilj da prikaže glavne državne saobraćajnice sa ovog prostora i stanje u kom se nalaze. Da bi se saobraćaj sa ovih saobraćajnica usmerio ka predviđenoj lokaciji priključka na autoput neminovno je rekonstruisati ove saobraćajnice kako bi mogle da prime saobraćaj sa brzinama koje su regulisane saobraćajnim propisima za puteve I i II reda.

## **LITERATURA:**

- Monografija 45 godina postojanja AD "Novi Pazar – put", Novi Pazar – put, 2007. godina
- Fotodokumentacija: Arhiv Novi Pazar-put
- Pola veka na putevima, 2012. godina, AD "Novi Pazar – put"

### **3.UTICAJ AUTOPUTA NA RAZVOJ INDUSTRIJE, POLJOPRIVREDE I TURIZMA**

Munir Poturak,dipl.ecc., Grad Novi Pazar

Da bismo dobro razumeli potrebe i potencijale posmatrajućeg prostora, potrebno je da imamo jasnu i detaljnu sliku prostora Novog Pazara, Sjenice i Tutina, kroz presek trenutnog opšteg stanja i svim svojim osobenostima.

Administrativni položaj:

Grad Novi Pazar i opštine Tutin i Sjenica pripadaju Jugozapadnoj Srbiji

Grad Novi Pazar i opština Tutin pripadaju Raškom okrugu

Opština Sjenica Zlatiborskom okrugu

#### **Opšti podaci**

##### **SJENICA**

Geografski položaj: Sjenica je gradić i istoimena opština koja se nalazi u jugozapadnom delu Srbije, na prostranoj Sjeničko-Peštterskoj visoravni. Sam grad prostire se sa desne strane reke Uvac i smesten je duz reke Grabovice u prostranoj Sjenickoj kotlini, na nadmorskoj visini 1.000-1.030m. Sjenicki kraj se nalazi u planinsko okruzenju Golije-1.833m, Jadovnika-1.733m, Ozrena-1.693m, Zlatara-1.625m, Giljeve-1.617m, Zilindara-1.616m, Javora-1.519m, Ninaje-1.362m, Jaruta-1.428m, s jedne, i prostranih kotlina Sjenickog, Peštterskog, Kostanskog i drugih polja. Granici se sa opštinama Bijelo Polje ( C.Gora), Prijepolje, Nova Varos, Tutin, Novi Pazar i Ivanjica.

Površina: Sjenica je jedna od najvećih opština u Srbiji sa 1059km/kvadratnih

Stanovništvo: Prema podacima iz popisa stanovništva iz 2011.god u Sjenici živi 26.392 stanovnika, od toga 12.958 ženskog pola (49.10%) i 13.434 muškog pola (50.90%)

Nacionalna pripadnost: U Sjenici – Bošnjaka ima 19.498 (73.88%), Srba 5.264 (19.95%) i ostalih 303 (1.15%).

##### **TUTIN**

Nalazi se na teritoriji jugozapadne Srbije i graniči se sa 7 drugih opština: Novim Pazarom, Sjenicom, Istokom, Zubinim potokom , Rožajama, Beranama i Bijelim Poljem (C.Gora). Prosečna nadmorska visina je 1.000 m, a prostire se na površini od 742km<sup>2</sup>.

Broj stanovnika 31.282 po popisu iz 2011.god. Polna struktura 15.104 (48,283%) ženske populacije i 16.178 (51.716%) muške populacije.

Nacionalna struktura: Bosnjaka 95.7%, Srbi 3.48% i ostali 0,82%

Stanovništvo prema starosnim grupama: Podatak iz 2014.god. Deca do 6.god. 3834, deca starosti od 7-14.god. 4388, i radni kontigent stanovništva od 15-64.god 20460. Preko 65.godina 2600 stanovnika.

Potencijali: Opština Tutin raspolaže veoma značajnim potencijalima za proizvodnju energije u obnovljivim izvorima, odnosno izgradnja vetroparkova i minihidrelektana.Već postoji više studija koje opravdavaju konkurentnost ulaganja u ove projekte. Značajne zalihe biomase, velike površine šumskog i poljoprivrednog zemljišta cine osnovni potencijal za buduća ulaganja i razvoj ove opštine.

##### **NOVI PAZAR**

Grad Novi Pazar se nalazi na jugozapadnom delu Srbije na raskršću puteva za Crnu Goru, Bosnu i Hercegovinu i Kosovo.Prema popisu iz 2011.te god. upisano je 100.410 stanovnika. Grad se prostire na površini od 742km<sup>2</sup> u zvezdastom obliku dolina reka Josanice,Raske, Dezevske i Ljudske na nadmorskoj visini od 496m.. Granici se opštinama Sjenica , Tutin, Ivanjica , Kosovska Mitrovica i Raska . Okruzen je visovima Golije,Rogozne i Pesterske visoravni, a prema severoistoku otvoren prema masivu Kopaonika.Udaljen je od Beograda 280km, Sarajeva 280km, Skopja 270km I Podgorice 270km.

Brdsko-planinski reljef na teritoriji Novog Pazara sa veoma uskim dolinama reka,uslovljava zastupljenost samo jedna vrsta saobraccaja, i to drumskog. Na ovom prostoru ukrstaju se dva znacajna magistralna putna pravca, preko koji se odvija saobraccajna komunikacija sa centralnom Srbijom, BiH, Kosovom i Crnom Gorom. Zemljiste: najveći deo teritorije Novog Pazara se može svrstati u planinski poljoprivredni reon. Gotovo polovina teritorije u površini od 36.270ha, nalazi se pod poljoprivrednim zemljistem. Obzirom na dominantan planinski karakter prostora, u ukupnim poljoprivrednim površinama preovlađuju prirodni travnjaci sa oko 70.85%, od kojih su 29.55% livade , 41.30% pašnjaci 23.77% oranice i 5.385 voćnjaci.

Stanovništvo: Od ukupnog broja žene čine 50.22%, a 49.78% muško stanovništvo (od ukunog broja stanovnika u Srbiji žene čine 51.30%). Prema starosnoj strukturi od 0-18 god=32.226 (32.09%), od 19-34 god=23.151 (23.15%), od 35-44 god=13.447 (13.39%) i od 45-64 god=22.524 (22.53%).

Nacionalna pripadnost stanovništva je Srba 16.234 (16.23%), Bošnjaka 77.443 (77.44%) i još 18 drugih pripadnika nacionalnosti.

## INDUSTRIJA

**Ekonomija:** Ekonomiju Novog Pazara, Tutin i Sjenice karakterišu sektori trgovine, tekstilne proizvodnje, obućarska proizvodnja, drvo-prerađivačka industrija, ugostiteljstvo, građevina, transportna logistika, proizvodnja hrane i turizam i hotelijerstvo.

Na osnovu podataka iz tabela o prosečnim neto zaradama, broju zaposlenih, strukturi i raznovrsnosti privrednih subjekata i delatnosti, može se zaključiti, da ove opštine spadaju u kategoriju najnerazvijenih JLS u Srbiji, sa najnižim ličnim primanjima zaposlenih, i sa najvećom stopom nezaposlenih u odnosu na radono sposobno stanovništvo.

Prosečna zarada bez poreza i doprinosa

Godina	Novi Pazar	Tutin	Sjenica
2014	34.392,00	37.520,00	37.201,00
2015	33.346,00	35.486,00	35.958,00
2016	34.192,00	35.703,00	37.445,00
2017	35.924,00	36.513,00	41.111,00

Registrovani zaposleni 2014.-2017.god.

Godina	Novi Pazar	Tutin	Sjenica
2014	15.348	2.744	4.206
2015	20.967	4.587	4.658
2016	20.517	-	-

### Privredni subjekti

Broj aktivnih privrednih subjekata, prema podacima Agencije za privredne registre u 2017. godini.

Oblik organ.	Novi Pazar	Tutin	Sjenica	Ukupno
Privredna društva	1.250	210	656	<b>1.625</b>
Preduzetnici	3.352	1.058	693	<b>5.103</b>
<b>Svega</b>	<b>4.602</b>	<b>1.268</b>	<b>858</b>	<b>6.728</b>

Privredni subjekti po delatnostima u 2017.god.:

Oblast	Broj aktivnih preduzeća i preduzetnika		
	Novi Pazar	Tutin	Sjenica
TRGOVINA	1.564	733	557
OSTALO	884	301	40
TRANSPORT – LOGISTIKA	538	28	17
TURIZAM I HOTELIJERSTVO	452	33	26
GRAĐEVINSKA INDUSTRIJA	415	25	15
TEKSTILNA INDUSTRIJA	385	13	37
PREHRAMBENA INDUSTRIJA	155	15	46
INDUSTRIJA OBUĆE	73	10	7
DRVNO - PRERAĐIVAČKA INDUSTRIJA I PROIZVODNJA NAMEŠTAJA	58	373	15
POLJOPRIVREDA	36	104	83
METALOPRERAĐIVAČKA INDUSTRIJA	35	6	15
<b>UKUPNO</b>	<b>4.602</b>	<b>1.268</b>	<b>858</b>

Najveći broj malih i srednjih preduzeća nalazi se u sektoru trgovine i prerađivačke industrije, što čini 75% ukupnog broja malih i srednjih preduzeća u privatnom vlasništvu.

## Putna mreža

Saobraćajna infrastruktura integriše prostor i privredu tako iskustva evropskih zemalja potvrđuju međuzavisnost saobraćajne mreže i teritorijalne integracije privrede i drugih oblika integracije u prostoru i ukupnom razvoju društva. Prostor Novog Pazara, Sjenice i Tutina nema autoputa, nema železničke pruge, nema mora ni plovnih reka, nema aerodroma i sa aspekta standarda infrastukture, putna mreža je osnovni prioritet da bi se krenulo put razvoja ove regije. Ukoliko nema putne mreže, nema ni razvijenosti ovog kraja, koji je u 17. i 18. veku doživio najveći procvat zahvaljujući srednjovekovnim putevima u pravcu Dubrovnika, Beograda i Sarajeva. Upoređivanjem mapa trgovačkih pravaca iz srednjovekovnog perioda, sa mrežom puteva koji se planiraju i grade danas, potpuno se opravdava potreba za mnogo većim angažovanjem finansijskih i materijalnih dobara u razvoj ove regije.

Veoma su značajna dva državna puta i reda IB-22, IB-29 koji se pružaju u pravcu sever-jug i istok-zapad, kao i regionalni putevi koji su samo oko 50% dužine zadovoljavajućeg kvaliteta (nivo Republike je 82%).

Stanje lokalnih puteva je u veoma lošem stanju i seoska područja su potpuno zanemarena ili su povezana makadamom i zemljanim putevima.

**Očigledno je neophodno ulaganje kako u regionalne puteve, tako i na lokalnom nivou kako bi se stvorili uslovi za povezivanje sela sa privrednim centrima i njegovu bolju komunikaciju sa širim okruženjem. Na taj način bi se rešio ili smanjio problem odlaska mladih sa sela, a sela bi se uključila u redovne tokove života i razvoja.**

## POLJOPRIVREDA

Prostor Novog Pazara, Tutina i Sjenice ima uglavnom brdsko-planinska svojstva. Izdvaja se Pešterska visoravan, uske doline Ibra i Lima na istočnim, odnosno zapadnim granicama i nevisoke planine Golije, Radočela, Rogozne, Giljeve, Ninaje, Jadovnika i Zlatara po obodnim delovima Pešterske visoravni. Sastav zemljišta je veoma raznovrstan, pa se sreću škriljci, peščari i konglomerati, krečnjaci, flišni sedimenti, dijaboz-rožnaci, magmatske stene, serpentine i peridotiti, neogeni i kvartalni sedimenti.

Po svom geografskom i reljefnom položaju, ovo područje predstavlja vrlo povoljan teren za intenzivnu stočarsku i voćarsku proizvodnju. Tu se pre svega misli na proizvodnju kravljeg i ovčijeg mleka, junećeg i jagnječeg mesa kao i proizvodnju jabuke, šljive i jagodičastog voća.

Očuvana i zdrava životna sredina ovo područje, a naročito Peštersku visoravan čini idealnom za poljoprivredu, a naročito za proizvodnju zdrave hrane, razvoj rekreativnog i ruralnog (seoskog) turizma. Nadaleko su čuveni i poznati pešterski sir, paprika u pavlaci, pršuta, stelja i sudžuk.

Poljoprivredno gazdinstvo 2016.god.

Status	Novi Pazar	Tutin	Sjenica	Ukupno
Aktivni	2.877	2.434	3.949	<b>9.260</b>
Pasivni	1.053	614	827	<b>2.494</b>
<b>Svega</b>	<b>3.930</b>	<b>3.048</b>	<b>4.776</b>	<b>11.754</b>

Stočni fond 2016.god.

Vrsta	Novi Pazar	Tutin	Sjenica	Ukupno
Govedo	7.449	11.633	25.205	<b>44.287</b>
Ovce i koze	10.879	27.537	27.360	<b>65.776</b>
Svinje	468	169	379	<b>1.016</b>
Konji	45	68	209	<b>322</b>
Živine i ptice	15.215	20.501	9.634	<b>45.350</b>
Pčelinjo društvo-košnice	9.830	9.120	4.684	<b>23.634</b>
Ribe	5.000	9.052	34.000	<b>48.052</b>
Životinje ostale	20	21	107	<b>148</b>

**Na osnovu ovih tabela i broja aktivnih poljoprivrednih gazdinstava i raznovrsnosti intenzivnog uzgoja životinja, logično je da se poljoprivredna proizvodnja usmeravala na, pre svega proizvodnju stočne**



**hrane, u najvećem obimu na Pešterskoj visoravni, a voćarstvo i ratarske kulture na prostoru Novog Pazara i dolinama reka, i to pšenice, kukuruza, stočnog ječma, merkantilnog ovsa, raži i hmelja, krmnog bilja, krompira, crnog i belog luka, kupusa, paprika i paradajza.**

## **Turizam**

Turistički potencijali i raznovrsnost manifestacija: Regija Novog Pazara, Sjenice i Tutina je veoma respektabilan turistički potencijal Srbije, sa obavezujućim referencama i za ponudu na inostranom tržištu kao posebna turistička vrednost, pre svega zbog raznovrsnosti fizičko-geografske prirode i položaja, bogato kulturno-istorijsko nasleđe, klimatska, reljefna i hidrografska raznovrsnost kao jedne jedinstvene životne sredine u kojoj svakodnevno funkcioniše i komunicira staro i novo, orijentalno i tradicionalno, multikulturalnost i duhovnost, gostoljubivost i ruralnost .

Imajući u vidu geo-strateški položaj ove regije, bogatstvo resursa koje poseduje, bogatu istoriju i tradiciju, raznolikost turističke ponude u svakom pogledu, kao i blizinu atraktivnih turističkih destinacija (Kopaonik, Pešterska visoravan, Zlatar, Zlatibor...) očigledni su veliki potencijali za razvoj raznih vidova turizma. Zaključak je da se turizam vidi kao jedna od potencijalnih razvojnih privrednih grana u narednom periodu.

Baš ovaj položaj ovog prostora, preplitanje putnih pravaca ostavilo je duboke tragove u istoriskom i kulturnom nasleđu koje ovaj prostor čine zanimljivi i uzbudljivim, a kao darovi prirode ističe se planinska lepota Golija kao najviša na ovom prostoru (Jankov kamen 1833m) i zahteva celovit pristup svojim delom koji pripada ovom području je najpodesniji za turističku ponudu (proglašena kao ZAŠTIĆENA BIOSFERA sa Master planom razvoja). Letnji i zimski klimat Sjeničke kotline kao svojevrsna vazдушna banja, Peštersko polje (odlukom Sekretarijata ramsarske konvencije od 19.01.2007.god. uvršteno u zvaničnu listu međunarodno značajnih područja za očuvanje flore i faune), bogatstvo hidrografskih potencijala za ribolovni turizam-reke Raške, meandri Uvca i Vape, Sjeničkog jezera, jezero na Pešteri u blizini sela Rastenovice i Rasna, izletiste Milina glava na Ibru, Jezero Gazivode (27km<sup>2</sup>) sa naseljem Ribariće, Novopazarska banja–sumporovita hipoterma, Rajčinovića banja-alkalna hipoterma, Deževski kiseljak, Pešterske pećine koje čekaju da otkriju svoje tajnovitosti, kulturno-istorijskih spomenika zaštićenih UNESKO-m: Manastir Sopoćani iz 13-tog veka sa svetski poznatim freskama predstavlja stalno turističko i versko hodočašće, srednjovekovni ostaci starog Rasa, Tvrđave i Podgrađa, Petrova crkva iz 10-tog veka, Đurđevi stupovi iz 12-tog veka, kao i spomenici islamske kulture: Altun-alem džamija sa lepim kupolama i vitkim minaretom iz 16-tog veka, stara tvrđava u centru Novog Pazara gde se i nalazi stara čaršija sa autentičnim tradicionalnim starim zanatima, oronulim hamamom, i čini posebnu draž i ambijentalnu celinu. Običaji i tradicionalna narodna okupljanja-seoski vašari u Delimeđu, Đerekarima, Leskovi, Batragama, Brezi, Belim Vodama ..., je svojevrsna smotra narodnog stvaralaštva narodnih igara, narodne nošnje, razna sportska nadmetanja: trka konja, bacanja ćuskije i kamena sa ramena je kao magnet za sve stanovnike ovog prostora koji su "trbuhom za kruhom" već dugo godina najčešće u zapadnim zemljama, a ima ih dosta i u Sarajevu i Beogradu. Ova okupljanja spaja i stare i mlade, i rodbinu i prijatelje, domaćine i strance, a sve ovo prosto vapi za uređenom kvalitetnom putnom mrežom koja bi olakšala dolazak i putovanje u ovoj regiji.

Kapaciteti za smeštaj turista postoje u manjem obimu u podgolijskim selima i Pešterskoj visoravni.

Prirodni resursi na teritoriji grada Novog Pazara omogućavaju postojanje i letnje i zimske turističke ponude:

Imajući u vidu brdsko-planinsku konfiguraciju terena, kao i vremenski period trajanja zime, ova turistička regija je pogodna za organizovanje skijaških i alpskih disciplina. Najpoznatiji ski centar na Goliji je Odvračenica na nadmorskoj visini od 1744 metra sa pet uređenih ski liftova (uspinjača) i sedam ski staza dužine od 450-1200m, i ski centar Žari u Sjenici, a ovo je "vrh ledenog brega" u potencijalima i razvoju zimskih sportskih i rekreativnih disciplina i odličan izvor prihoda za lokalne zajednice i stanovništvo.

Seoski turizam je, uprkos velikim potencijalima još uvek nedovoljno razvijen. U turističkom pogledu, veoma malo su aktivna samo ona sela koja se nalaze na padinama skijaških lokacija.

Jezero Gazivode je najznačajniji vodeni resurs grada Novog Pazara i Tutina. Povoljno je za razvoj rekreativnih aktivnosti na vodi, koje pak zavise od vremenskih prilika, i vezane su isključivo za letnji deo godine.

Grad Novi Pazar je sam po sebi turistička atrakcija, imajući u vidu bogato kulturno-istorijsko nasleđe, pejsažna, trgovinska i kulturna obeležja. Poseta trgovinskim centrima u gradu je posebna atrakcija (poslovni

ili šoping turizam). Položaj grada u mreži regionalnih putnih pravaca, predstavlja veliki potencijal za razvoj vikend turizma, koji je za sada neorganizovan, i još uvek nedovoljno razvijena putna infrastruktura (udaljenost auto-puteva) predstavlja značajan problem za razvoj turizma.

Kompleks Stari grad Ras sa manastirima Sopoćani i Đurđevi stupovi sa crkvom sv. Apostola Petra i Pavla (Petrova crkva), koji se od 1978. godine nalaze na UNESCO-voj listi svetske kulturne baštine, kao i srednjevekovno nasleđe iz Osmanskog perioda, ambijentalna celina Stara čaršija, Hamam Isa-bega, Bedem sa kulom motriljom, Altun-alem i Arap džamija lociranih u dolini Raške, predstavljaju kulturno-istorijsko nasleđe koje je od posebnog i međunarodnog značaja. Mnogobrojni kulturno-istorijski spomenici su značajne lokacije ekskurzijama i domaćim i stranim turistima.

Nikako ne treba izostaviti svetovne i duhovne običaje, poput verskih praznika, svetkovina, sabora, itd., koji samo doprinose postojećoj turističkoj ponudi u pogledu njene prepoznatljivosti i jedinstvenosti.

Na teritoriji grada Novog Pazara, Sjenice i Tutina postoje lovišta, u kome dominira sitna i krupna divljač.

**Imajući u vidu sve ove prirodne, istorijske i kulturne blagodeti, kao i sve veću zajedničku prezentaciju turističke ponude i promocije turizma kroz međunarodne sajmove, konferencije, prezentacije u domaćim i stranim medijima te kvalitetnim i raznovrsnim promo materijalom rađenim na više svetskih jezika doprinela je unapređenju turističke ponude ove regije a samim tim i povećanim brojem kako domaćih tako i inostranih gostiju. Ovakva aktivnost turističkih uposlenika i organizacija povećalo je interesovanje domaćih i inostranih gostiju, a to je osvestilo domaće ugostitelje, stanovništvo i investiture na vrednosti koje postoje u našem bliskom okruženju i razlog za kvalitetnije usluge smeštaja i zanimljivosti, radi boravka turista na veci broj dana.**

## SWOT ANALIZA

Na osnovu prikupljenih podataka koji prikazuju trenutno stanje u pojedinim oblastima, urađena je SWOT analiza podataka Novog Pazara, Tutin i Sjenice, odnosno analiza osnovnih snaga, slabosti, mogućnosti i pretnji sa kojima se suočavaju ovi gradovi. Snage i slabosti predstavljaju interne (unutrašnje) faktore, dok pretnje i mogućnosti predstavljaju eksterne (spoljne) faktore ekonomskog razvoja.

SWOT ANALIZA	RAZVOJ INVESTICIONOG AMBIJENTA
<p><b>SNAGE:</b>  Mlado stanovništvo,  kvalitetno osnovno i srednje obrazovanje,  postojanje fakulteta, odeljenja za razvoj privrede i odeljenja lokalni ekonomski razvoj,  postojanje državnih institucija u Gradu, agencije za privredne registre, službe za zapošljavanje, regionalne razvojne agencije, međunarodnih organizacija podrška preduzetnicima kroz subvencije za zapošljavanje i podsticaje za postojeće kompanije i za započinjanje sopstvenog biznisa sa lokalnog i nacionalnog nivoa, elektronsko izdavanje dozvola,  kvalifikovana radna snaga u sektorima koji su najrazvijeniji, tekstil, obuća, nameštaj, prehrambena industrija, transport, građevinska industrija,  veliki broj malih i srednjih preduzeća koja mogu biti podizvođači i snabdevači potencijalnim investitorima, dobro organizovani smeštajni kapaciteti, veliki broj ugostiteljskih objekata  dobar geografski položaj  povoljni klimatski uslovi  nezagađena životna sredina</p>	<p><b>SLABOSTI:</b>  loša putna infrastruktura,  loša, odnosno, slaba elektro mreža,  nedostatak slobodnog zemljišta,  nedostatak jeftinih energenata, poput gasa i slično,  velika stopa nezaposlenosti,  nedostatak adekvatne radne snage,  nerazvijena železnička infrastruktura,  udaljenost od kargo centara i aerodroma,  udaljenost od slobodnih carinskih zona,  nedostatak industrijske zone  nedostatak Centara za istraživanje i razvoj  veliki broj administrativnih procedura,  nedostatak one stop shopa za investitore,  nedostatak studija izvodljivosti i analiza postojećeg stanja po sektorima,  nedostupnost mikro kreditnih institucija i fondova,  visoka stopa poreza na dobit,  visok PDV (u odnosu na zemlje u okruženju)  visoka stopa poreza i doprinosa za radnike,  visoka cena koštanja komunalnih i opštinskih taksi,  nedostatak fabrike za preradu otpadnih voda,</p>

	nedostatak komunalne policije
<p><b>MOGUĆNOSTI:</b>                  razvoj uslužnih delatnosti koje nedostaju                  razvoj poslovnih zona,                  razvoj uslužnih centara,                  izgradnja autoputa Koridor 11                  Izgradnja aerodroma u Lađevcima                  izgradnja gasovoda                  pojačan elektro napon                  neiskorišćeni potencijali u poljoprivredi                  neiskorišćena rudna bogatstva                  idealni klimatski uslovi                  dostupnost izvora pijaće vode,                  jaka dijaspora i želja za ulaganjem u rodni kraj i potencijalni povratak                  naklonjenost stranih donatora i međunarodnih organizacija</p>	<p><b>PRETNJE:</b>                  odliv kadrova, (veći centri, inostranstvo)                  velike migracije stanovništva iz sela u gradove i iz gradova u veće centre,                  niske plate, nizak standard i kupovna moć,                  dolazak strane kompanije iz sektora koji su zastupljeni kod nas i potencijalna konkurencija lokalnoj privredi,                  gašenje lokalnih firmi i otpuštanje radnika                  loša kadrovska politika na nivou grada i stvaranje, gomilanje nepotrebnih kadrova                  rad na crno i korišćenje socijalne pomoći,                  neloyalna konkurencija i damping cena,                  nestabilna politička situacija</p>

## ZAKLJUČAK

Ovaj kratki siže najvažnijih oblasti za funkcionisanje lokalnih samouprava nije ni približno dovoljan da argumentuje stručnoj javnosti razloge zašto je prostoru Novog Pazara, Tutina i Sjenice neophodno više investicionog ulaganja u putnu infrastrukturu radi normalne komunikacije i življenja stanovništva. Na ovom prostoru živi oko 170.000 stanovnika, sa veoma mladom populacijom, selima koja su puna života i rada, jedinstvenim vekovnim navikama suživota običaja, vera i kultura, istorijskim znamenjima i prirodnim odlikama koja se uvlače pod kožu svakom ko otvorenih čula posmatra i doživljava ovaj kraj.

I zato izbegavajući bilo kakvu negativnu sugestiju na ranije godine potrebe za sistemskim ulaganjem u ovu regiju, mislim da je ovo ključni moment i prelomna tačka za rešavanje nagomilanih problema u daljem razvoju ovog prostora.

Odluka Vlade Republike Srbije o odabiru trase autoputa iz 2010.god. na bazi mišljenja Revizione komisije da se Koridor XI od Požege, Istočnom varijantom, usmeri preko Pešterske visoravni rešava mnoga pitanja koja su očigledna u SWOT analizi i svi argument potvrđuju opravdanost ove odluke.

Možda mi još i ne vidimo sve blagodeti ove trase autoputa na ovom prostoru, ali dovoljno je da se napomene najsvežije ulaganje u izmeštanje naplatne rampe na Bubanj potoku radi investicionog ulaganja (IKEA), kraka autoputa Batočina-Kragujevac (FIAT i drugi), prilazni putevi prema Kopaoniku stvorili su brend od ove planine sa sistemskim stranim i domaćim ulaganjima, i jos drugim očiglednim uspešnim primerima... A kako se stalno pozivamo na Evropske vrednosti evo i Evropskog primera dobre prakse: Evropske zemlje ,poput Francuske svim regijama obezbeđuju uravnotežen razvoj dajući jednake mogućnosti i izgradnjom odgovarajuće transportne infrastrukture. Tako, po njihovim standardima , nijedno područje ne bi trebalo da bude na udaljenosti većoj od 50km, odnosno distance, koja se ne može savladati za 45 minuta do priključka na autoput ili železničke stanice brzih pruga.

Ovi primeri i sama odluka o projektovanju trase dela autoputa preko Pešterske visoravni ulivaju novu nadu i poverenje u stručnu javnost i politike o ravnomernosti razvoja, i pozicioniranju ove regije kao povoljne destinacije za domaća i strana ulaganja. Sve blagodeti ovog prostora postaju lako i brzo dostupna, više od 300.000 stanovnika dobija novu šansu i novu vrednost, privreda postaje dinamičnija i atraktivnija, i najvažnije da stanovništvo ovog prostora razvija novu svest i poverenje u nosioce vlasti Republike Srbije i stručnu javnost.

### LITERATURA:

- Plan investicionog ulaganja – Grad Novi Pazar
- Podaci Republičkog Zavoda za statistiku

## 4. UTICAJ IZGRADNJE AUTOPUTA NA ŽIVOTNU SREDINU

Mirsada Uglic, dipl. građ. inž.

Elzana Muminović, dipl. inž. ZŽS, Novi Pazar – put d.o.o.

### 1. UVOD

Rad obuhvata uvid i analizu uticaja izgradnje autoputa koji prolazi preko Pešterske visoravni u dužini oko 32 km, na životnu sredinu ovog ekološki osetljivog područja. Akcenat je stavljen na mogući štetan uticaj buke i vibracije, zagađenje vode, vazduha i zemljišta, uticaj klimatskih uslova, kao i uticaj na floru i faunu, i to kako u fazi izgradnje tako i u fazi eksploatacije kao i predlaganje mera za sprečavanje i otklanjanje istih.

### 2. Uticaj izgradnje auto-puta preko Pešteri na životnu sredinu

#### 2.1. Uticaj buke i vibracija

Saobraćajna buka predstavlja jedan od najizraženijih negativnih uticaja autoputa na životnu sredinu kako u fazi izgradnje tako i u fazi eksploatacije. Pri tome treba naglasiti da je faza izgradnje vremenski ograničena. Uticaj buke i vibracije koji potiču od angažovanja mašina i vozila tokom gradnje je potrebno pratiti i meriti i zavisno od dobijenih rezultata preduzimati odgovarajuće mere u skladu sa Pravilnikom o dozvoljenom nivou buke u životnoj sredini.

U toku eksploatacije autoputa za očekivati je da dođe do prekoračenja dozvoljenih nivoa buke za naseljena područja u toku noći na udaljenosti manjoj od 140 m od ivice autoputa. S obzirom na tako prognozirano stanje, jasno je da je na potezima gde trasa budućeg autoputa prolazi kroz naseljena mesta neophodno predvideti adekvatne mere zaštite od buke.



*Slika 1. Prikaz uticaja buke i vibracije na autoputu*

#### 2.2. Uticaj na kvalitet vazduha, vode i zemljišta

##### 2.2.1 Vazduh

Izgradnja saobraćajnice i izvođenje radova predstavlja izvor zagađenja atmosfere zbog korišćenja građevinske mehanizacije koja za pogon uglavnom koristi fosilna goriva. Iskop zemlje i prevoz velikih zemljanih masa tokom izgradnje puta izaziva podizanje u atmosferu velike količine prašine koja izaziva negativne posledice na stanovništvo i vegetaciju. Zagađenje vazduha prisutno je i tokom eksploatacije auto puta s'tim što je uticaj prostorno ograničen uglavnom na površinu kolovoza.

Kvalitet vazduha na ovom području je u najvećoj meri uslovljen intenzitetom saobraćaja na autoputu jer osim sagorevanja fosilnih goriva za potrebe domaćinstava u naseljima kroz koje saobraćajnica prolazi i poljoprivredne proizvodnje, nema drugih značajnijih zagađivača.

##### 2.2.2 Voda

Negativan uticaj puta i moguće zagađenje vode kako privremeno tako i sa dužim trajanjem može se javiti u toku izgradnje i u toku eksploatacije. Na mestima gde je gradilište smešteno u blizini reke ili potoka površinske vode mogu biti ugrožene potencijalnim isticanjem opasnih supstanci kao što su motorna ulja i sredstva za podmazivanje ali i otpadnih voda sa gradilišta. sigurno je da će se tokom iskopa tunela javiti problem prikupljanja i odvođenja podzemnih voda. Ovaj problem će biti rešavan u fazi izrade višeg nivoa projekta uporedo sa definisanjem detaljnog toka trase i geologije terena.

Pored toga u toku redovnog odvijanja saobraćaja može doći do emisija tečnih materija u smislu procurivanja rezervoara, ili delova motora, pri čemu se na kolovozu zadržava gorivo, motorno ulje i antifriz. Iz tog razloga je duž celog autoputa E-763 predviđen zatvoren sistem odvodnjavanja, koji obuhvata prikupljanje i kontrolisano odvođenje atmosferskih voda sa kolovoza autoputa do projektovanih retenzionih objekata i uređaja za tretman voda, i njihovo ispuštanje u najbliži recipijent (otvoreni tok).

Planirani radovi na vodotocima u zoni autoputa treba da održe postojeći režim proticaja i nanosa, a način odvodnjavanja puta (kontrolisano odvođenje i tretman voda sa asfaltnih površina) će obezbediti visok stepen zaštite okoline. Vodotoci na ovom potezu predstavljaju ujedno i recipijente za ispuštanje voda sa autoputa nakon zadržavanja i tretmana.

Uticaj izgradnje autoputa na vodotokove ne mora da ima uvek negativan predznak. Nekada samo usmeravanjem drenažnog odvoda ka suvoj zemlji može dovesti do pojave vegetacije.

### 2.2.3 Zemljište

Ukupna problematika odnosa puta i životne sredine određena je i relacijama koje se javljaju u domenu zagađenja tla.

Tlo je vrlo složen sistem koji je jako osetljiv na različite uticaje, jer reaguje na vrlo male promene, pri čemu dolazi i do degradacije njegovih osnovnih karakteristika. Kod izgradnje će se ova problematika ogledati u potrebama za iskopom i transportom velikih količina građevinskog materijala (oko 12.000.000,00m<sup>3</sup> iskopa, i 2.500.000m<sup>3</sup> nasipa), kao i potrebom za otvaranjem deponija.

Prognoza je da znatna količina materijala iz iskopa sa trase - iz useka, zaseka, a naročito iz tunela omogući dobijanje kvalitetnih materijala za izradu nasipa, ali i kvalitetnih materijala za donje i delimično i gornje noseće slojeve.

Manje količine materijala iz iskopa verovatno se mogu, uz adekvatnu tehnološku pripremu koristiti i za završne slojeve, ali uz detaljnu proveru i ateste laboratorijskih ispitivanja uzoraka (u daljim fazama projektovanja).

Najveće količine materijala iz iskopa dobiće se iz materijala koji se može dalje koristiti. Iz samo malog broja deonica, i u manjim količinama, materijal iz iskopa neće biti korišćen za izradu nasipa. i isti se mora deponovati na za to određena mesta.

Višak materijala iz iskopa, prema proceni kubatura masa, predstavljaće veći problem, naročito u padinskim delovima terena i u zonama tunela u brdsko-planinskim delovima trasa. Veliki svetli profili tunela (preko 100m<sup>2</sup>) daju znatne količine materijala iz iskopa čije deponovanje može biti jako složeno zbog strmih i uskih dolinskih strana, pošumljenosti, mogućnosti pojava nestabilnosti i dr. Ova pitanja će se morati posebno analizirati u narednim fazama projektovanja autoputa.

Sam proces izgradnje puta karakteriše se mehaničkim delovanjem u koridoru trupa skidanjem gornjeg reproduktivno najkvalitetnijeg sloja, koja može na pojedinim osetljivim deonicama uticati na čitav sistem parametara tla, prvenstveno u smislu njegove vodopropustljivosti, sadržaja vazduha u tlu i sl. U fazi eksploatacije puta zagađenje tla u uskom pojasu uglavnom je posledica: taloženja izduvnih gasova, odbacivanja organskih i neorganskih otpada, prosipanja tereta i taloženja čestica iz atmosfere donošenih vetrom.

Sva zagađenja, koja su posledica navedenih procesa, po svojoj vremenskoj karakteristici mogu biti stalna, sezonska i slučajna (incidentna).

### 2.3. Uticaj na klimatske parametre

Što se tiče klime na Pešterskom polju, ona predstavlja najveći problem izgradnje autoputa. Velika nadmorska visina, jaki zapadni vetrovi i golemi brisani prostori mogu stvoriti velike probleme zbog smetova snega i leda na kolovozu. Ovi problemi će se rešiti adekvatno primenjenim merama održavanja u zimskom periodu.

Promene mikroklimatskih karakteristika u području koje obuhvata koridor planiranog autoputa nastale kao posledica njegove izgradnje mogu se posmatrati samo u domenu striktno lokalnih obeležja. Promene mikroklimatskih karakteristika su posledica egzistencije objekta u prostoru i nastaju prvenstveno zbog veštačkih tvorevina koje svojim volumenom izazivaju posledice koje unose promene u relativno ustaljene mikroklimatske režime (nasipi, objekti).

### 2.4. Uticaj na floru i faunu

Šumsko vegetaciono florni segment predstavlja najkompleksniji ekosistem na zemlji, a stanje i stepen očuvanosti šuma u najvećoj meri odražava nivo očuvanja prirode i životne sredine.

Na visinama od 750 do 900 m<sup>nv</sup>. karakteristične su bukove šume, kojih ima na Goliji i Javoru, dok su na većim visinama karakteristične šume bukve, jele i smrče. Vegetaciono florni biodiverzitet Pešterskog polja

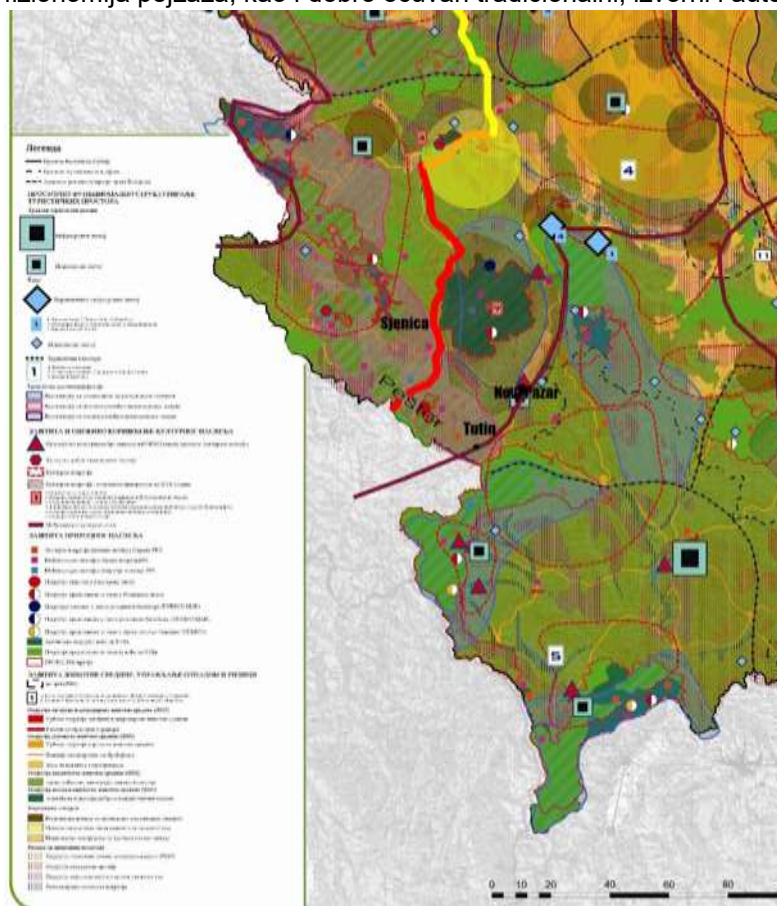


sačinjava planinska i visokoplaninska livadska zajednica, planinski suvati, niskoplaninski žbunovi i planinska vresišta. Od područja predviđenih za zaštitu na ovom području se nalazi zaštićeno prirodno dobro „Park prirode Golija“, specijalni rezervat prirode „Paljevine“, reka Vapa, Crvsko – Duga Poljana i samo Peštersko polje obuhvatajući rezervat prirode „Gutavica“. Vlada Republike Srbije na svojoj sednici održanoj 30. decembra 2015. donela je Uredbu o proglašenju Specijalnog rezervata prirode „Peštersko polje“, i proglasila ga zaštićenim područjem I kategorije međunarodnog i nacionalnog, odnosno izuzetnog značaja.



**Slika 2. Specijalni rezervat prirode "Peštersko Polje"**

Na prostoru Pešterske visoravni, pod specifičnim klimatskim, edafskim, orografskim, hidrografskim i drugim uslovima, formirao se jedinstven kompleks barskih, močvarnih i tresavskih staništa u okruženju sa drugim mezofilnim i suvim tipovima staništa. U okviru pomenutih, relativno dobro očuvanih stanišnih tipova, zabeležen je visok diverzitet prateće flore i faune sa brojnim zaštićenim, retkim i ugroženim predstavnicima od kojih su neki zabeleženi jedino ovde u Srbiji, pa i na svetu. Pored izraženog biodiverziteta, ovaj prostor karakterišu specifični geomorfološki, geološki, hidrogeološki, hidrološki i klimatski fenomeni, karakteristična fizionomija pejzaža, kao i dobro očuvan tradicionalni, izvorni i autohtoni način života.



**Slika 3. Zaštićena prirodna područja**

Izvor: Prostorni plan Republike Srbije

Osim pomenutih činjenica, ova oblast je usled svog međunarodnog značaja uvrštena u „Značajna područja za ptice u Srbiji“ (Important Bird Areas), „Međunarodno značajna staništa biljaka“ (Important Plant Areas),

„Ramsarsku listu važnih staništa od međunarodnog značaja“ (Ramsar Convention), „Odabrana područja za dnevne leptire u Srbiji“ (Prime Butterfly Area) i „Emerald ekološku mrežu“ (PC 0000037)“, stoji, između ostalog, u obrazloženju predloga za pokretanje zaštite Pešterskog polja u Studiji koju je izradio Zavod<sup>6</sup>.

Što se tiče faune na ovom području postoje međunarodno značajne vrste klasifikovane prema kategorizaciji Međunarodne unije za zaštitu prirode IUCN.

Od međunarodno značajnih vrsta sisara na Pešterskoj visoravni su prisutni iz reda zveri (Carniora) : vuk, šakal, lisica, divlja mačka, medvedi, kune, riđa lasica, mrki i šareni tvor, jazavac, vidra. Iz reda papkara (Artidactyla) prisutni su: divlje svinje, jeleni, srne, šupljorosi i divokoze. Iz reda Lagomorpha na celom području su prisutni zečevi. Iz reda bubojeda (Insectivora) prisutni su ježeви, rovice, krtice. Iz reda glodara (Rodentia) prisutne su veverice, miševi, slepo kuče, riđa voluharica, poljski miš, crni i sivi pacov, obični i puh lešnikar. Po međunarodnoj klasifikaciji 25 vrsta je skoro ugroženo, 5 vrsta ima status poslednje brige, 4 vrste su zavisne od zaštite i 5 vrsta je u kategoriji ranjivih.

Svi uticaji na floru i faunu se mogu podeliti na uticaje tokom izvođenja radova i tokom eksploatacije. Aktivnosti u fazi izvođenja radova (miniranje, skidanje sloja humusa, pozajmišta, deponije i sl.) koje mogu dovesti do delimičnog ili potpunog narušavanja prirodne ravnoteže potrebno je sprovesti u potpunosti u skladu sa propisima i merama koje definiše Zakon.

Uticaji u toku eksploatacije na vegetofloru mogu se reflektovati kroz povećanje količine izduvnih gasova zbog uspostavljanja novog protoka sistema saobraćaja, tj. zbog predviđanog tzv. teškog saobraćajnog opterećenja; ovo povećanje različitih izduvnih gasova (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) i teških metala može prouzrokovati sušenje i kovrdžavost lisne mase, slabljenje korenovog sistema, slabiju produkciju kiselonika, smanjenje hlorofila i sl.

Uticaji na faunu posmatranog područja vezani su za zauzimanje površina (veliki broj objekata na trasi 97 mostova i 51 tunel). Sa gradnjom trase i objekata dolazi do uništavanja pojedinih staništa, mrestilišta i zimovnika, ali i do presecanja tradicionalnih puteva životinja. U narednoj projektantskoj fazi tj. u fazi izrade Idejnog projekta neophodno je da se uočene negativne posledice detaljno analiziraju i predlože mere za njihovo minimiziranje.

### 3. Monitoring

Projektovanje i sprovođenje monitoringa kvaliteta životne sredine u koridoru autoputa na deonici preko Pešteri omogućava dobijanje informacija o efektima preduzetih mera zaštite.

Permanentna kontrola određenih parametara životne sredine vrši se radi uvida u stanje njenog kvaliteta. Globalni ciljevi monitoringa su dobijanje podataka za formiranje politike upravljanja kvalitetom životne sredine i održavanje kvaliteta životne sredine.

Ciljevi održavanja kvaliteta promovišu se saglasno potrebama u zadatom vremenskom periodu za određeni parametar životne sredine. Krajnji cilj monitoringa je održavanje kvaliteta životne sredine, i da se na osnovu dobijenih informacija ukaže gde je neophodno preduzeti adekvatne mere zaštite. Konačni cilj monitoringa je prikupljanje i transfer informacija do korisnika, a sve u cilju uvida u stanje kvaliteta pojedinih parametara životne sredine.

Izgradnjom a kasnije i eksploatacijom autoputa na predmetnoj deonici postoji potencijalna mogućnost ugrožavanja postojećeg kvaliteta životne sredine. Imajući to u vidu predlaže se sprovođenje monitoringa i to za sledeće parametre kvaliteta životne sredine: vazduh, zemljište, površinske i podzemne vode kao i nivo buke.

### 4. Mere zaštite

#### 4.1. Mere zaštite od buke

Za očekivati je da će, na pojedinim deonicama nivo buke biti veći od merodavnog nivoa definisanog Pravilnikom i neophodno je predvideti određene mere zaštite.

U smislu blagovremenog preduzimanja potrebnih mera zaštite od saobraćajne buke neophodno je sankcionisati buduću izgradnju duž planiranog puta, propisati posebne uslove za uređenje pojasa uz saobraćajnicu, pratiti stanje buke sa porastom saobraćajnog opterećenja i blagovremeno preduzimati potrebne intervencije u smislu primene tehničkih mera zaštite od buke.

Postavljanjem zidova za zaštitu od buke od različitih materijala (armirani beton, beton, opeka, drvo, aluminijum, staklo, pleksiglas i dr.) mogu se ostvariti značajna umanjavanja buke putem refleksije ili apsorpcije zvučnih talasa.

<sup>6</sup> [http://www.zzps.rs/novo/index.php?jezik=\\_la&strana=vest&n=359](http://www.zzps.rs/novo/index.php?jezik=_la&strana=vest&n=359)

Odluka o izboru zida donosi se na osnovu troškova izrade, troškova održavanja i estetskog izgleda. Vegetacija, iako nema značajnije efekte u pogledu smanjenja buke, često služi kao dodatno sredstvo. Efekti zaštitnog zelenila se ogledaju u vizuelnoj izolaciji od puta.

#### **4.2. Mere zaštite od zagađenja vazduha**

S obzirom da emisije zagađujućih materija iz automobila u eksploataciji, pri planiranom obimu saobraćaja se odnose na zagađivanje vazduha u graničnomi pojasu autoputa, to nisu potrebne mere zaštite u ovoj oblasti. Smanjena emisija produkata sagorevanja „SUS“ motora, mogu se postići smanjenjem potrošnje goriva i korišćenjem ekološki prihvatljivijih goriva.

Takođe zaštita vazduha se unapređuje:

- podizanjem zaštitnih šumskih pojasa duž autoputa, sastavljenih od različitih vrsta zasada otpornih na aerozagađenje i
- obezbeđivanjem odgovarajućeg hortikulturnog rešenja za zaštitu od pojačanog zagađivanja vazduha od autoputa na lokacijama pratećih sadržaja (odmorišta, parkirališta, benzinskih stanica i motela).

#### **4.3. Mere zaštita od zagađenja zemljišta, površinskih i podzemnih voda**

U cilju minimiziranja negativnog efekta eksploatacije deonice preko Pešteri na zemljište, površinske i podzemne vode predviđene su određene mere zaštite:

- kontrolisano sakupljanje atmosferskih otpadnih voda koje se slivaju sa kolovoznih površina (zatvoreni sistem odvodnjavanja) i njihovo prikupljanje u retezijama - taložnicima lociranim duž trase autoputa.

Retenzije je neophodno održavati povremenim čišćenjem mulja koji se u njima zadržava. Mulj se mora deponovati na propisano mesto zato što on sadrži teške metale i

- Pražnjenje retezija preko filtera u najbliži recipijent (otvoreni tok). Za izuzetne padavine postoji preliv ka recipijentu.

Filterima se vrši uklanjanje nafte i naftnih derivata, glavnih polutanata u otpadnoj vodi. Nivo prečišćavanja otpadnih voda definisan je kvalitetom vode recipijenta.

Preporučuje se monitoring kvaliteta atmosferskih otpadnih voda pre njihovog mešanja sa vodama recipijenta. Ispitivanje kvaliteta otpadne vode vrši se putem uzoraka koji se laboratorijski ispituju.

#### **4.4. Mere zaštite flore i faune**

- Projektom dokumentacijom treba predvideti podizanje zaštitne ograde duž čitavog autoputa. Iako će ova ograda sprečavati reproduktivnu i svaku drugu komunikaciju unutar populacija, kao i među populacijama različitih vrsta s jedne i druge strane saobraćajnice, ona predstavlja sigurnu zaštitu od izletanja domaćih i divljih životinja na put i njihovog izginuća.

- Projektom dokumentacijom je poželjno predvideti propuste za prolaz životinja, tako da postoji mogućnost da i krupniji predstavnici faune na ovim mestima ispod mostova prelaze s jedne na drugu stranu saobraćajnice. Osim što prati liniju puta, potrebno je da se zaštitna ograda završava na osnovi mosta, tako da se usmerava divljač ka prolazu ispod mosta. Izradom tehničke dokumentacije biće definisana izgradnja multifunkcionalnih prolaza za životinje i uslovi za njihovu izgradnju.

- Izvesna je izgradnja i hidrotehničkih propusta, koji mogu biti mesta za prolaz sitnijih predstavnika faune.

- U slučaju akcidenata na ovim prostorima, štetno dejstvo hemijskih materija je na floru i faunu veće u odnosu na kriterijume za stanovništvo, a u slučaju fizičkih kontakata opasnost je generalno manje verovatnoće, ali se efekti ispoljavaju kumulativno u vremenu i posebno pogađaju životinje veće telesne mase i grabljivice.

- U slučaju akcidentalnih situacija na ovom prostoru, potreban je intenzivan monitoring vrsta ugroženih udesom i to ne samo monitoring stanja populacija, već i monitoring stanja staništa.

- Da bi se ustanovilo štetno dejstvo u slučaju akcidenata, ekipe za snimanje stanja, procenu i otklanjanje posledica je neophodno popuniti stručnjacima iz oblasti zaštite prirode i ekotoksikologije, kao i veterinarima i predvideti uzorkovanje i analize biljnog i životinjskog materijala

### **ZAKLJUČAK**

Specifičnosti Golije i Pešterskog polja će zahtevati posebnu pažnju kod odabira mera zaštite životne sredine zbog izgradnje autoputa. Ali je istina da će te specifičnosti biti dostupne svima koji požele da ih gledaju i uživaju u njima samo ako do njih vodi dobra, sigurna i brza saobraćajnica – autoput.

**LITERATURA:**

- Studija o proceni uticaja na životnu sredinu u sklopu Generalnog projekta autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, deonica Požega – Boljare CIP, 2008.god.
- Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja (2010.god.) – Izveštaj o strateškoj proceni uticaja prostornog plana Republike Srbije na životnu sredinu, Beograd, Republička agencija za prostorno planiranje
- Strategija održivog razvoja opštine Sjenica 2010.-2020., Opština Sjenica,2011.god.
- Održivo korišćenje obnovljivih resursa Pešterske visoravni, M.Ratknić, Beograd, 2005., Prirodno matematički fakultet
- Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards and Integrated Approach,Chatelaine/Geneva: UNEP 2004.
- Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu, Beograd, Sl.Glasnik RS br.135/2004 i br.36/2009.

## **5.ZIMSKO ODRŽAVANJE BUDUĆEG AUTOPUTA POŽEGA – PEŠTERSKA VISORAVAN – BOLJARI**

**Izet Ljajić, dipl. građ. inž. Inženjerska akademija Srbije**

**Ertan Ljajić, master inž. elek. i račun., Novi Pazar – put d.o.o.**

**Senad Ibragić, građ. tehn., Novi Pazar – put d.o.o.**

Zimsko održavanje puteva je najodgovorniji proces u održavanju. Na bezbednost održavanja puteva u ovom periodu utiče više faktora, od kojih su najbitniji:

- Snežne padavine
- Niske temperature
- Zavejavanje prouzrokovano vetrovima
- Lavine
- Magle
- Poledice

Sve ove pojave u ovom periodu osciliraju od „normalnih“, a prelaze nekada u elementarne nepogode kada uslovi na održavanju postaju nenormalni i nemogući. Dve trećine naše teritorije nalazi se na nadmorskim visinama većim od 500 metara i dostiže do 2.017 metara (Pančićev vrh). Zato su u ovim brdsko-planinskim predelima navedene pojave više izražene nego u ravničarskim terenima.

Putevi koje održavaju preduzeća za puteve u Novom Pazaru i Ivanjici su jedni od najtežih u Srbiji.

Na Karti 1. prikazana je putna mreža sa oznakama zavejavanja na putnim pravcima na kojima se najčešće javljaju. Takođe su prikazane planine na ovoj teritoriji, a ima ih dosta i to su: Goč (1.216 metara nadmorske visine), Čemerno (1.526 metara), Željina (1.785), Kopaonik (2.017 metara), Golija (1.796 metara), Rogozna (1.526 metara), Mojstir (2.338 metara), Giljeva (1.617 metara) i Zlatar (1.625 metara).

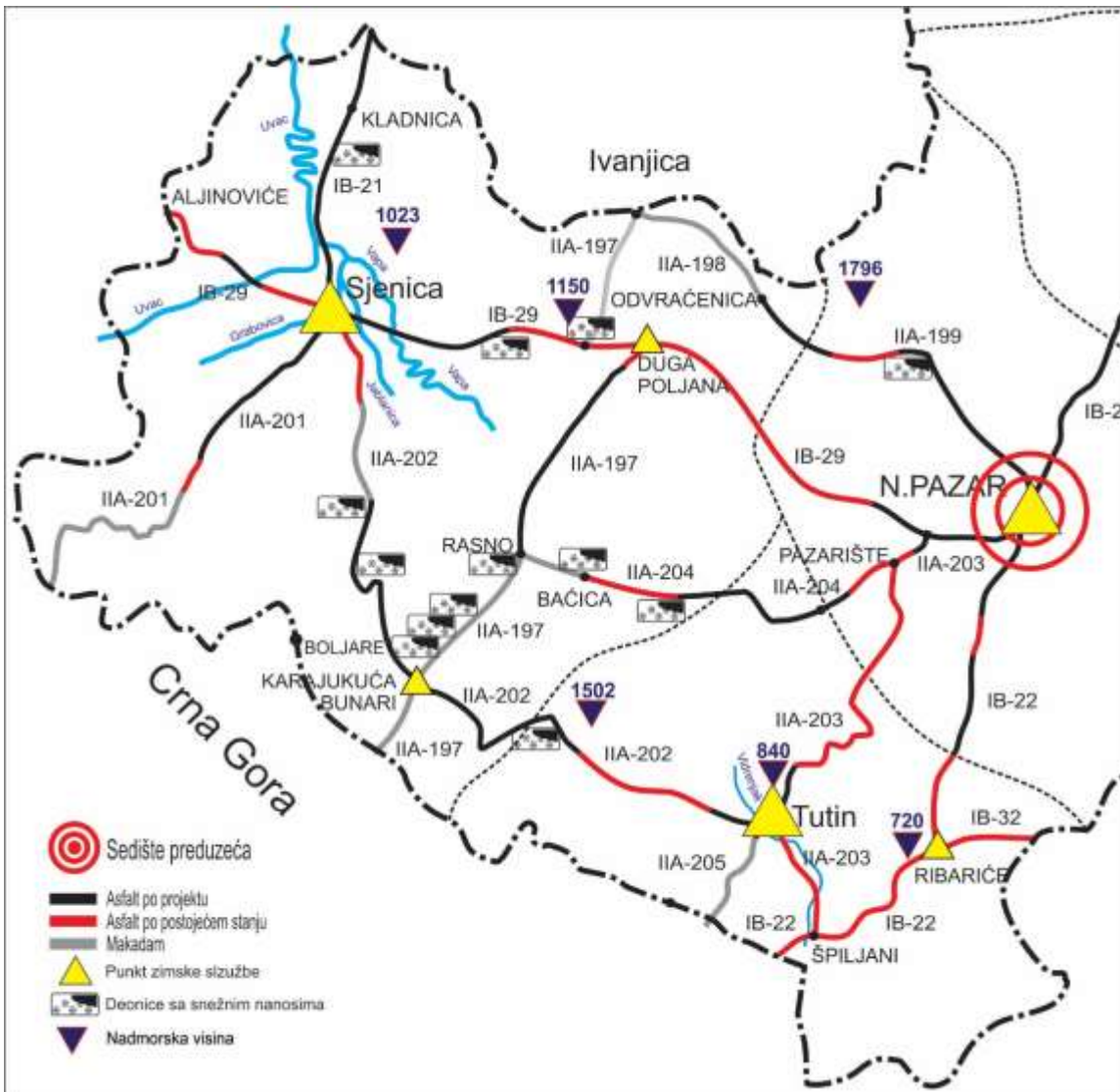
U ovom dugom vremenskom periodu od postojanja preduzeća (od 1962. godine) poboljšavanjem stanja putne mreže razvija se firma i usavršava se tehnologija zimskog održavanja puteva koju smo podelili u tri kategorije:

- I) Manuelno održavanje (od 1962. do 1972. godine)
- II) Modernizacija tucaničkih kolovoza i osavremenjavanje mehanizacije za zimsko održavanje (od 1972. do 1992. godine)
- III) Savremeno zimsko održavanje (od 1992. do danas)

Bez obzira o kojem periodu se radilo nama je bio zadatak da omogućimo bezbedno kretanje stanovništva. U prvom vremenskom razdoblju nismo imali materijalnih, tehničko-tehnološki, kao ni kadrovskih uslova da odgovorimo na taj zadatak. Zato je stanovništvo tada bilo prinuđeno da se snalazi da bi preživeli teške zime kada bi putevi bili zavejani i po nekoliko meseci. Time su naše obaveze i odgovornosti postajali sve veći, pa smo maksimalno nastojali da omogućimo prohodnost puteva i stvorimo uslove za normalan život i u zimskom periodu znajući da su na većem delu teritorije putevi jedino sredstvo komunikacije sa svetom.

Konstantno smo napredovali. Kako tehnološki, tako i kadrovski i u mehanoopremljenosti. Osim što smo se trudili da izvršimo svoju primarnu misiju, da puteve održavamo čistim, pratili smo sve i neophodne parametre na ključnim mestima (punktovima) koji su nam služili da usavršavamo organizaciju rada zimske službe, a time prohodnost i bezbednost na putevima.





**Karta 1.** Karta pešterske visoravni sa putnim deonicama gde su izraženi snežni nanosi

Na Karti 1. se vidi gde se u zimskom periodu najviše javljaju snežni nanosi koji su uzrokovani duvanjem jakih vetrova i koji predstavljaju najveći problem za zimsko održavanje.

U periodu od 1962. do 1992. godine način zimskog održavanja puteva zavisio je od stepena izgrađenosti putne mreže. U početku putevi su bili tucanički i čistili su se ručno lopatama u organizovanim akcijama, a onda vozama (Slika 1). Kasnije se vrši osavremenjivanje kolovoznih zastora površinskom obradom, pa se održavanje vrši buldozerima i FAP-ovima (Slike 2 i 3). U tom periodu se vrši polaganje asflatnog zastora uz jednom sloju na tucaničkim kolovozima. Istovremeno se putevi počinju izvoditi po projektima. Iz tih razloga dolazi i do usavršavanja čišćenja puteva sa novim vozilima sa hidrauličnom noževima.

Preporod u čišćenju puteva nastaje izvođenjem istih po projektima, kada se ukazuje potreba za nabavku i primenu snegočistača i freza (Slike 4 i 5), kao i nabavka savremenih Volvo (Slika 6) vozila sa svim potrebnim priključcima. Ovime načinom čišćenjem puteva stvaraju uslovi za njihovu svakodnevnu dobru prohodnost.

Pri kraju ovog perioda nameće se nužnost za kvalitetan smeštaj radne snage, smeštaj mehanizacije i njenu popravku, kao i abrazivno posipnog materijala, te gradimo savremene punktove za ove potrebe. Između ostalih izgradili smo vrlo savremen punkt na Kopaoniku (Slika 7), a kasnije i u Sjenici (Slika 8) gde su stvoreni vrlo dobri uslovi da se odmah interveniše na putevima.



**Slika 1.** Volujska zaprega sa vozom

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 2.** Buldozeri na probijanju smetova

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 3.** FAP 13 SK

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 4.** ZIL

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 5.** STEYR

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 6.** Vozilo Volvo sa posipačem

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 7. Punkt „Kopaonik“**

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



**Slika 8. Punkt „Sjenica“**

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“

### Savremeno zimsko održavanje (od 1992. do danas)

Putevi se izvode i rekonstruišu po projektima poštujući sve tehničke normative, a putna mreža se znatno poboljšava projektima. Zimsko održavanje se vrši primenom potrebnih savremenih tehničkih sredstava i zbog toga ovaj period nazivamo periodom savremenog zimskog održavanja.

U ovom vremenskom razdoblju rast broja motornih vozila dosta je brz zbog čega su se morali putevi modernizovati i rekonstruisati i izvoditi po projektu.

**Tabela 1. Razvoj motornih vozila u Srbiji od 1960 – 2012god.**

Godina	Putnička vozila	% *	Autobusi	%	Teretna vozila	%	Ukupno	%
1960	18.054	-	1.935	-	12.511	-	32.500	-
1970	189.269	1.048	4.320	223	33.007	264	226.596	697
1990	911.733	5.061	8.421	406	64.694	428	984.848	3.030
2011	1.232.990	6.829	7.031	363	121.649	972	1.361.670	4.190
2015	1.833.219	10.154	9.492	490	198.966	1.590	2.041.677	6.282

\* Procenat povećanja u odnosu na 1960. godinu

Izvor: Republički Zavod za statistiku

Visina snežnih padavina i temperature se često menjaju, a na Kopaoniku i Pešterskoj visoravni za 24 časa bude i do 1 metar snežnih padavina, a temperature se znaju spustiti do – 40°C u Karajukića Bunarima.

Takođe dolazi do stvaranja ekstremno jakih vetrova čija brzina prelazi 40km/h, a zabeležena je orkanska oluja 26. decembra 1995. godine sa 117 km/č u Sjenici. U tom periodu su magle izrazito velike, a vidljivost gotovo nikakva. Tada je odvijanje saobraćaja nemoguće, a da bi se izbegle ljudske žrtve, neminovno je organizovano obustaviti saobraćaj, bez obzira na potrebu da prohodnost puteva bude svih 24 sata. Zato smo na svih 9 puntova stvorili uslove da udovoljimo svim potrebama za održavanje kako u sredstvima rada, tako i u ljudstvu i deponovanju posipno-abrazivnih materijala. A 2014. godine izgradili smo savremeni punkt u Sjenici.

U periodu dužem od 40. godina svakodnevno pratimo i analiziramo sve potrebne parametre koji su bitni za primenu pravilne organizacije zimске službe i to: dnevne snežne padavine, dnevne temperature, potrošnja materijala, dnevne intervencije, kao i evedentiranje saobraćajnih nesreća i uzroka zbog koji su nastale.

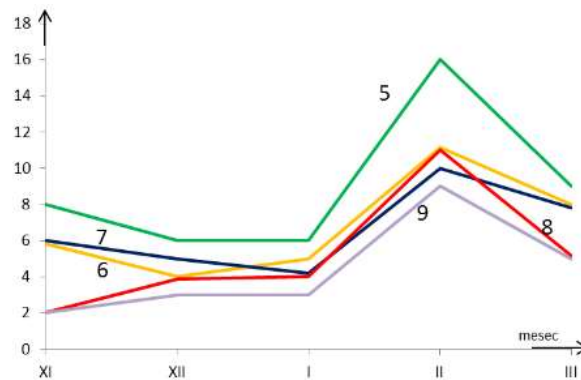
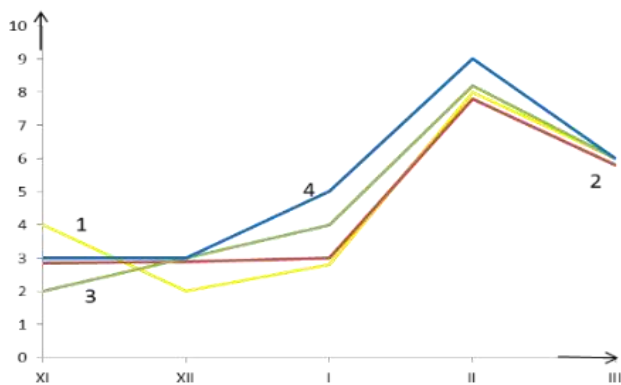
Sve ove podatke prikupljamo sa terena (punktova), dva puta dnevno, preko centralnog dežurstva koje radi 24h. Na osnovu ovih podataka u mogućnosti samo da pravilno i blagovremeno reagujemo sa intervencijama. Ove parametre pratimo tabelarno i dijagramski, a koji se vide u Tabeli 2 i Dijagrami 1 i 2.

Tabela 2.

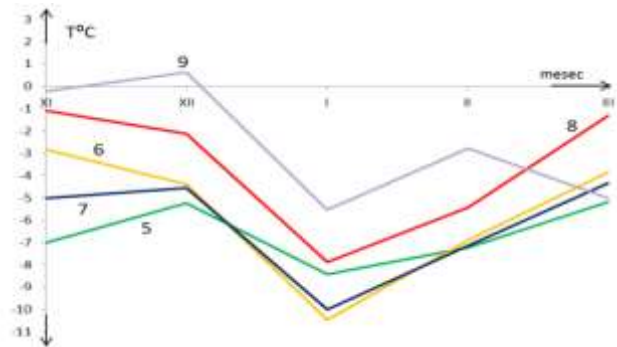
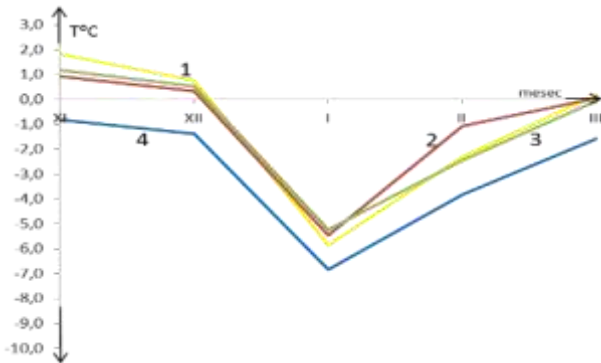
r.b.	PUNKT	KM	Površina kolovoza m <sup>2</sup>	Br. dana sa temp. Ispod 0	%	Br.dana sa snegom	%	Broj snežnih padaina cm	Br. dana sa posipanjem	%	t-SO	SO kg/m <sup>2</sup>	t-AG	AG kg/m <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	KRALJEVO	133	887.300	81	59	23	17	144	71	52	655	0,7382	1393	1,5699
2	UŠĆE	60	307.250	80	58	23	17	124	61	45	298	0,9699	522	1,6989
3	RAŠKA	89	521.000	81	59	23	17	125	65	47	327	0,6276	572	1,0979
4	KOPAONIK	65	421.400	<b>125</b>	<b>91</b>	<b>45</b>	<b>33</b>	<b>606</b>	87	64	156	0,3702	372	0,8828
5	NOVI PAZAR	194	828.500	98	72	26	19	198	109	80	601	0,7254	1918	2,315
6	SJENICA	138	390.500	109	80	34	25	339	103	75	431	1,1037	1059	2,7119
7	DUGA POLJANA	77	288.000	117	85	33	24	306	<b>114</b>	83	277	0,9618	667	2,316
8	TUTIN	76	360.000	109	80	26	19	278	98	72	388	1,0778	710	1,9722
9	RIBARIĆE	34	224.000	84	61	22	16	221	109	80	341	1,5223	544	2,4286
	Ukupno	866	4.227.950	884		255		2341	817		3474	8,1	7757	16,99
	Prosek	96,2	469.772	98	72	28	21	260	91	66	386	0,9	862	1,89

Dijagram 1: Snežne padavine 2005/2006.god.

Izvor: AD „Novi Pazar – Put“



Dijagram 2: Ostvarenja prosečnih mesečnih temperatura 2005/2006.god



Na osnovu podataka iz dijagrama radimo karte teritorije sa snežnim padavinama, jutarnjim temperaturama i sa brojem intervencija u toku zimske službe. Karti 2, 3 i 4 i Tabele 3.

Karta 1: Karta sa snežnim padavinama iz 2005/2006 i putnom mrežom iz 1962. god

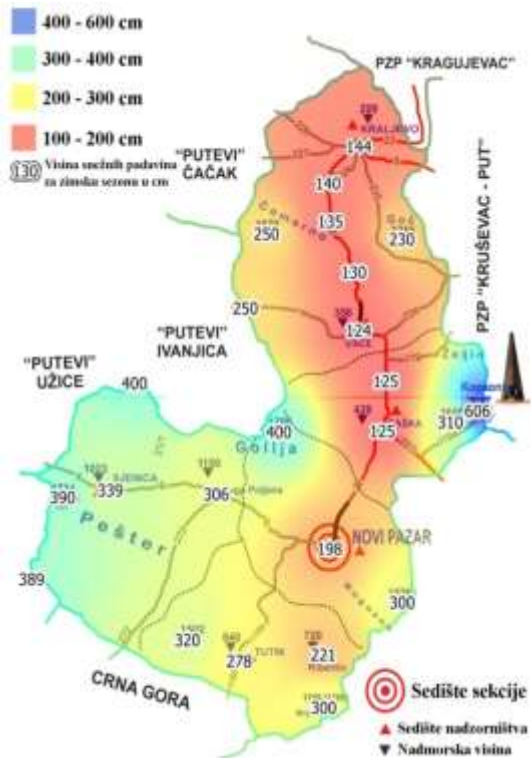


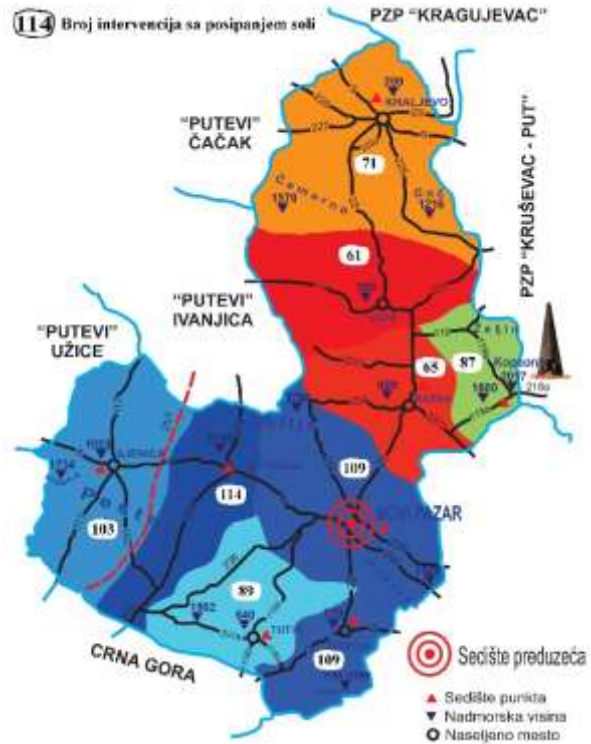
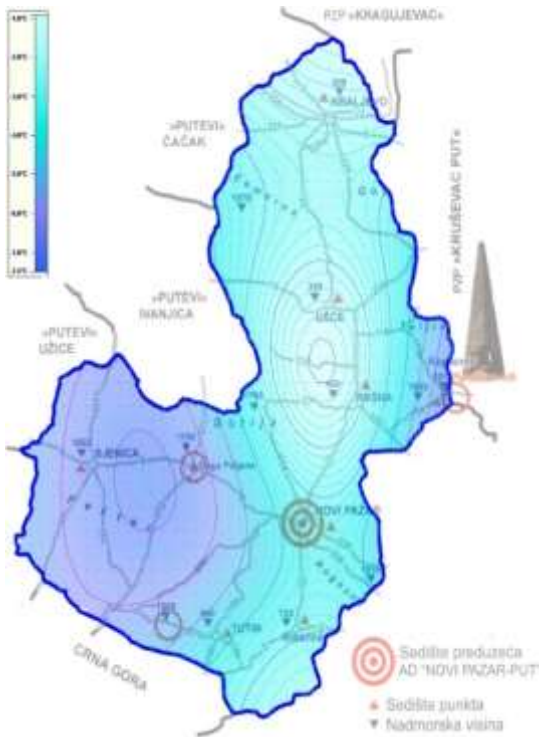
Tabela 5: Prosečne temperature zima 2005/2006

PROSEČNE TEMPERATURE ZIMA 2005/2006							
Punkt	XI 2005	XII 2005	I 2006	II 2006	III 2006	Prosek	Najniža temp. 2005/2006
Kraljevo	1,83	0,65	-5,65	-2,32	0,19	-1,06	-23
Ušće	0,92	0,32	-5,45	-1,07	0,04	-1,05	-19
Raška	1,17	0,42	-5,42	-2,46	-0,07	-1,27	-18
Kopaonik	-7,00	-5,87	-8,42	-7,21	-5,17	-6,74	-20
N.Pazar	-0,82	-1,39	-6,84	-3,82	-1,59	-2,89	-21
Sjerica	-2,83	-4,39	-10,48	-6,89	-3,85	-5,69	-32
D.Poljana	-5,00	-4,55	-10,00	-7,14	-4,33	-6,20	-29
Tutin	-1,08	-2,13	-7,87	-5,43	-1,30	-3,56	-30
Rbariće	-0,22	0,61	-5,52	-2,79	-5,00	-2,58	-22



**Karta 3:** Karta teritorije sa prosečnim jutarnjim temperaturama za zimski period 2005/2006

**Karta 4:** Broj intervencija sa posipanjem soli iz 2005/2006 god. I putnom mrežom iz 2012.god.



Izvor: AD „Novi Pazar – Put“

Na  
karta  
ma

se slikovito vidi gde su i kolike padavine, temperature, kao i broj intervencija. Ovi argumentovani podaci služiće kao osnova da se izvrši potrebno i pravilno planiranje.

Takođe, iz podataka meteorološke stanice u Sjenici može se videti da se u zimskom periodu jake vremenske nepravilike (mećave) javljaju do 4 dana.

Odgovornim višegodišnjim radom stvoreno je veliko iskustvo za primenu savremenih tehničkih sredstava i tehnologija, kao i svakodnevnim praćenje nabrojanih parametara stvorili smo uslove da napravimo dobru organizaciju za zimsko održavanje i da putevi u tom periodu budu prohodni.

Zbog potrebe i značaja autoputa predmetne deonice za ovaj kraj 12.03.2017. godine napisan je članak u Politici „**Autoput bi vratio život na Pešterskoj visoravni**“ koji izazvao dosta polemike i komentara, pa je napisano još 4 članka na istu temu. Najveće su primedbe i komentari dati da će zbog oštih zima put biti neprohodan i da ima malo stanovništva na ovom prostoru.

U uslovima elementarnih nepogoda danas u čitavom svetu dolazi do prekida saobraćaja na svim vidooovima saobraćaja: putevima, autoputevima, železničkim prugama, rekama i jezerima, kao i u vazdušnom saobraćaju. Navešćemo nekoliko primera:



**Slika 9.** Čišćenje snega na Šavniku 29.04.2013.

Izvor: [www.skijanje.rs](http://www.skijanje.rs)



**Slika 10.** Zastoj saobraćaja na autoputa u USA (Atalanta) januara 2014. godine.

Izvor: [www.ajc.com](http://www.ajc.com)



**Slika 11.** Zastoj saobraćaja na železnici April 2010. godine u Škotskoj.

Izvor: [www.dailymail.co.uk](http://www.dailymail.co.uk)



**Slika 12.** Ledolomci na Dunavu 2017. godine.

Izvor [www.blic.rs](http://www.blic.rs)



**Slika 13.** Zastoj avio saobraćaja januara 2018. godine u USA.

Izvor: [www.cnn.com](http://www.cnn.com)

Čim nastanu vremenske neprilike koje prouzrokuju bilo kakve nepogode u svim vrstama saobraćaja svakodnevno se preduzimaju određene radnje kako da se nastale posledice prevaziđu.

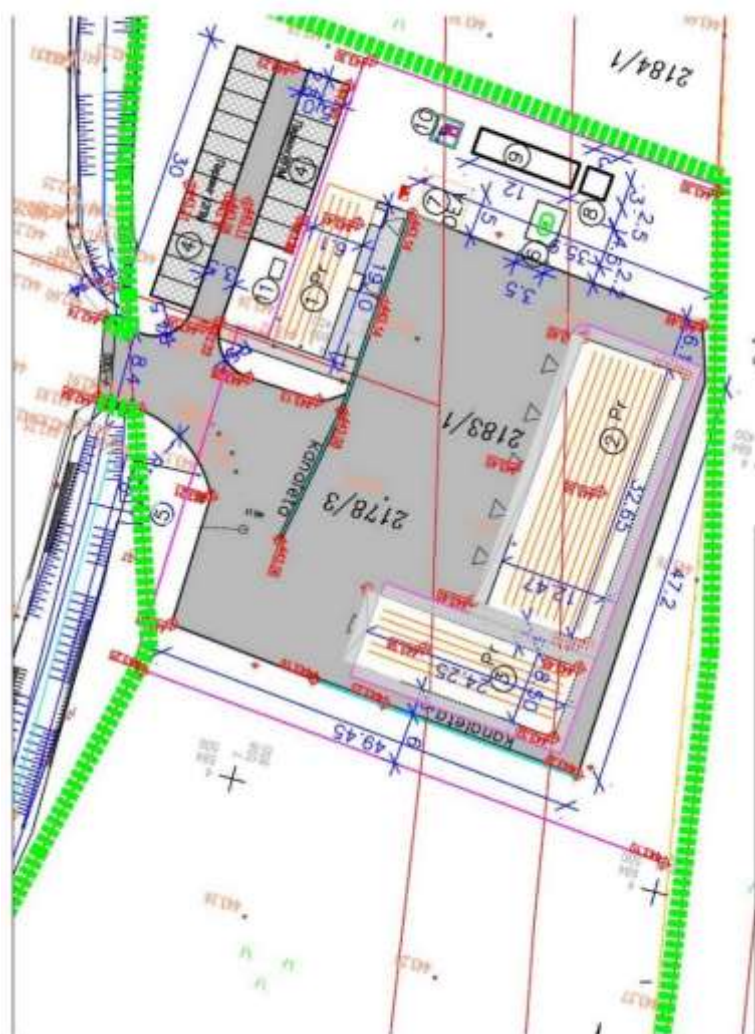
Normalno je da se ove neprilike dešavaju i u našoj zemlji na putevima, kako u brdsko-planinskim, tako i u ravničarskim predelima i one se ne mogu izbexi. Prevozilaženje ovih poteškoća je nužno i neodložno na

svim kategorijama puteva gotovo istovremeno kako bi se život normalno odvijao. Zbog potrebe zimskog održavanja državnih puteva I i II reda izgrađeni su punkтови na čitavoj teritoriji Republike.

U referatu skraćeno je prikazan način rada i tehnološki razvoj mehanizacije potrebne za zimsko održavanje državnih puteva I i II reda koji su projektivani sa dve saobraćajne trake. U ovom dugogodišnjem radu više od 55 godina uspeli smo da održavamo puteve dobro i bezbedno kako u ravničarskim, tako i u brdsko-planinskim predelima.

Razlika održavanja autopute od državnih puteva je velika i kompleksna po svim parametrima. Ona se ogleda pre svega u značaju autoputa koji su uglavnom povezani sa međunarodnim autoputevima, kao i zbog saobraćajnog opterećenja, protoka vozila i što autoput ima projektovane 4 saobraćajne trake za svaki smer po dve. Međutim zajedničke i istovetne su i nepovoljne prirodne pojave zbog kojih se vrši zimsko održavanje i gde su u tom periodu uslovi odvijanja saobraćaja sasvim drugačiji, a zbog snežnih padavina, niskih temperatura, zavejavanja prouzrokovana vetrovima, lavina, magle i poledice.

Za naše izgrađene autoputeve posebno su urađene savremene autobaze (punkтови) slične bazama izgrađenim na autoputevima zemalja Evrope. Ove baze postavljene su na odstojanju od 30 do 40 kilometara u zavisnosti od gustine saobraćaja na autoputevima i konfiguracije terena. Izvedene baze (punkтови) su tipizirane, a situacione rešenje baze Preševa prikazano je na priloženoj skici (Slika 14) sa svim potrebnim savremenim sadržajima, a na Slici 15 se vidi izvedena baza na kraku Jug autoputa Subotica-Beograd sa potrebnim objektima i mehanizacijom.



**Slika 14.** *Situaciona osnova baze*



ЛЕГЕНДА
УПРАВНИ ОБЈЕКАТ
ОБЈЕКАТ ГАРАЖЕ
ОБЈЕКАТ СОЛАНЕ
ПАРКИНГ ПРОСТОР
СЕПАРАТОР АТМОСФЕРСКЕ ВОДЕ
НАДЗЕМНИ РЕЗЕРВОАР ТНГ -а 2м <sup>3</sup>
ДИЗЕЛ ЕЛЕКТРИЧНИ АГРЕГАТ
ЦРПНА СТАНИЦА
ПРОТИВПОЖАРНИ РЕЗЕРВОАР
БУНАР
БИОЈАМА

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Na skici su prikazani izvedeni sledeći objekti:

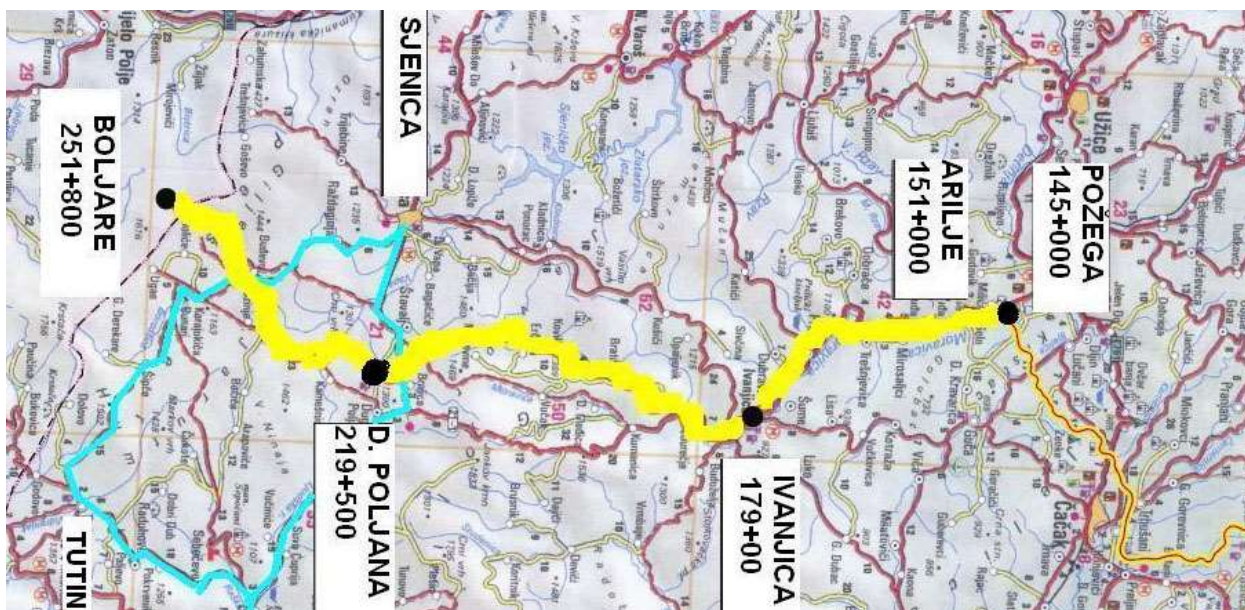
- 1) Upravna zgrada dimenzija 19,10X6,10 metara sa svim potrebnim sadržajima (kancelarijama, prostorijama za dnevni boravak i odmor, i sanitarnim čvorom i tušem)
- 2) Auto garaža dimenzija 32,65X12,47 metara sa 6 garažnih mesta za savremena tehnička sredstva opremljena sa priključnom opremom (noževi i posipači)
- 3) Solana dimenzija 24,25X8,5 metara za smeštaj soli
- 4) U legendi su od 4 do 11 prikazani i drugi prateći objekti i uređaji

Rad na ovim bazama organizovan je od 0 do 24 časa u zavisnosti od stepena angažovanosti koji je uslovljen vremenskim prilikama.



**Slika 15.** Baza na kraku Jug autoputa Subotica-Beograd

## Baze na budućem autoputu Požega-Pešterska Visoravan-Boljari L=107km



Karta 5. Projektovana trasa autoputa Požega-Boljari

Poštujući ista pravila, uslove lociranja i način izgradnje izvedenih baza na postojećim autoputevima za ovu deonicu biće potrebno izgraditi 4 baze. Baze će biti sa sličnim ili istim objektima, potrebnom radnom snagom i savremenim potrebnim tehničkim sredstvima. Savremena vozila biće opremljena sa nosećim posipačima i hidrauličnim noževima, po potrebi i dva na vozilu.

Najpovoljnije lokacije baza su mesta ukrštanja (denivelacije) autoputa sa državnim putevima. Ove lokacije su najpovoljnije zbog potrebe brze intervencije koje su moguće da se izvrše u bilo kojem smeru autoputa.

### ZAKLJUČAK

Bez obzira što se deonica autoputa nalazi na većem delu brdsko-planinskog prostora i čuvene Pešterske visoravni prohodnost u zimskom periodu će biti zagarantovana uz obezbeđenje sledećih uslova:

- 1) Izgradnja savremenih baza sa potrebnom kvalifikovanom radnom snagom, posipnim materijalima i savremeno opremljeno mehanizacijom
- 2) Korišćenje višedecenijskog iskustva radne snage sa ovih prostora
- 3) Svakodnevno praćenje i evidentiranje ranije navedenih potrebnih parametara

**Poštujući i primenjujući sve navedeno omogućiti će se svakodnevno odvijanje saobraćaja, svih 24 sata u periodu zimskog održavanja puteva.**

### LITERATURA:

1. Putevima Srbije, Naučni Savez Srbije, 1975. Naučna knjiga
2. Savetovanje – Stanje putne mreže u Jugoslaviji – Referat Stanje putne mreže na teritoriji Preduzeća za puteve “Novi Pazar” sa uticajem na turizam i privredu – Izet Ljajić, 1998.god. Kopaonik
3. Okrugli sto – Putna mreža Pešterske visoravni i planine Golija – Rad Putna mreža Pešterske visoravni i planine Golije - Izet Ljajić, 2009.god. Sjenica
4. Monografija 45 godina postojanja AD “Novi Pazar – put” 2007.god.



## 6.ZBIRNI ZAKLJUČCI

1. Tematika o kojoj se govori u prethodnim referatima kompleksna je i složena. Cilj je bio da se u kraćem obliku prikaže postojeće stanje privredne razvijenosti ovog nerazvijenog prostora. Zbog toga će početak izgradnje usvojene trase ove deonice auto puta biti preporod za ovaj kraj, jer bez kvalitetnih i dobrih puteva nema mogućnosti za bilo kakvu privrednu aktivnost.
2. Potvrda tome ide u prilog Novog Pazara kada su u srednjem veku preko ovih prostora prolazili karavanski putevi: dubrovački, bosanski i beogradski i kada je ovaj kraj doživeo ekspanziju razvoja u to vreme. Istorijski događaji u XIX i početkom XX veka doveli su do napuštanja karavanskih puteva i tada nastaje stagnacija razvoja ovog prostora.
3. Auto put Beograd-južni Jadran preko Pešterske visoravni je najkraća veza sa Jadranskim morem u dužini od 413 km, a to je i najkraća veza sa severnom i srednjom Evropom.
4. Lokacioni položaj Pešterske visoravni i planine Golije vrlo je povoljan u odnosu na veće industrijske centre Republike: Beograd, Kragujevac i Niš, kao i međudržavne industrijske centre Podgorica, Sarajevo i Skoplje, jer je udaljenost do njih privližno ista, što stvara mogućnost brže komunikacije za transport proizvoda sa ovih prostora i brz prevoz putika do tih centara i obrnuto.
5. Opštine Sjenica i Tutin spadaju u pet najnerazvijenijih opština u Republici. Razlog nerazvijenosti je zbog slabih privrednih potencijala.
6. Da bi auto put ove deonice bio u funkciji ovih prostora, neminovna je i neophodna rekonstrukcija svih državnih putnih pravaca datih u referatu, koje treba povezati sa auto putem. Takođe je potrebna i rekonstrukcija svih lokalnih puteva.
7. Prostori Golije, najlepše planine u Srbiji, poznatoj po flori i fauni, visokim vrhovima na kojima se sneg zadržava i po pet meseci, kao i nezagađena pešterska visoravan čija je površina veća od 1000 km<sup>2</sup> imaju velike i kvalitetne potencijale za razvoj poljoprivrede i turizma širih razmera.
  - a. Na kvalitetnim pašnjcima kroz koje prolaze bistre i čiste reke se može višestruko uvećati: stočarstvo, voćarstvo, ribarstvo, pčelarstvo i gajenje najkvalitetnijeg lekovitog bilja koje se koristi i u medicini. Evidentirano je više od 1000 vrsta ovog lekovitog bilja.
  - b. Potencijal za razvoj svih grana zimskog turizma je takođe izuzetno veliki jer se više od 80% teritorije nalazi na nadmorskoj visini iznad 900 m, što ima za mogućnost razvoj zimskog sporta svih vrsta.
  - c. Poznate planine: Golija, Zlatar, Jadovnik, Ninaja i Rogozna i netaknuti i neispitani Mojstir raspoložu gotovo sa svim vrstama krupne i sitne divljači za razvoj lova.
  - d. Takođe biste i čiste reke Ibar, Vapa, Grabovica, Uvac, Strudenica, Moravica su poznate po kvalitetnim ribama svih vrsta. Na ovom prostoru ima puno planinskih i brdskih rečica u kojima ima brdske pastrmke.
  - e. Postoje veliki potencijali za razvoj seoskog turizma koji je započet na teritoriji opštine Ivanjice. Razvoj ovog turizma bi angažovao lokalno seosko stanovništvo koristeći sopstvene zdrave i kvalitetne proizvode.
8. Korišćenje ovih potencijala navedenih u tački 7. se ne može zamisliti bez kvalitetne putne mreže, kao i bez podrške Vlade Republike Srbije. To znači da bi lokalne zajednice sa Vladom RS trebale da urade program razvoja ovog prostora koji bi definisao način i dinamiku njegove realizacije.

## EVALUACIJA STANJA RAVNOSTI VOZNE POVRŠINE, NA DEONICE KORIDORA VIII U REPUBLICI MAKEDONIJI

**Goran Mijoski<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ - Skopje, Gradezen Fakultet, mijoski@gf.ukim.edu.mk*

**Rezime:** Od površinskih karakteristika vozne površine, ravnost vozne površine nameće se kao jedan od glavnih pokazatelja upotrebljivosti voznih površina, sa aspekta brzog, bezbednog i komfornog transporta.

U okviru eksperimentalnog dela razgledavani su i analizirani način i uzroci stvaranja, uticaj, kriterijumi i metode za merenja uzdužne ravnosti voznih površina kod autoputskih deonica, kao i evaluacija stanja voznih površina.

Rezultati analize i evaluacije vozne površine, potvrdila su dosadašnja saznanja da ravnost voznih površina predstavlja jedan od najvažnijih parametara za njeno stanje.

Iskustva u svetu govore da je utvrđivanje kriterijuma ravnosti - indeks IRI, doprinelo boljim projektantskim rešenjima i tehnološkom unapređenju u izgradnji puteva, što je rezultiralo sa postizanjem veće ravnosti voznih površina.

**Ključne reči:** *podužna ravnost, neravnost, Međunarodni indeks ravnosti - IRI.*

## EVALUATION OF ROUGHNESS OF PAVEMENT SURFACE ON SECTION ON CORRIDOR VIII IN REPUBLIC OF MACEDONIA

**Goran Mijoski<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *S's Cyril and Methodius University – Skopje, Faculty of Civil Engineering*

**Abstract:** The surface characteristics of the driving surface, impose the level of the driving as one of the main indicators for usability of the driving surfaces, from the aspect of fast, safe and refined transport.

Within the experimental part, we analyzed the manner and causes of creation, the influence, criteria and methods for measuring the longitudinal roughness of the driving area in the highway sections, as well as the evaluation of the condition of the driving surface.

The results of the analysis and the evaluation of the driving surfaces so far confirmed that the level of the driving surface is one of the most important parameter for its condition.

Experience in the world suggests that the setting of roughness criteria - the IRI index, contributed for better design solutions and technological advancement in road construction, resulting in a higher level of evenness on the driving surfaces.

**Keywords:** longitudinal evenness, unevenness, International Roughness Index - IRI.

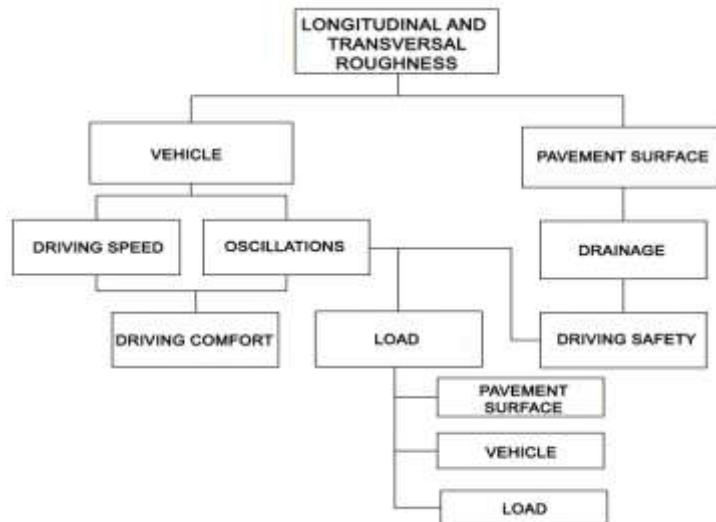
### 1. INTRODUCTION

For the participants in the road traffic, an evenness (the vertical difference between the level of the projected and derived condition of the driving surface) is of particular interest and presents one of the first features of the road that they notice. Depending on the speed and characteristics of the vehicle, an evenness (longitudinal and transverse), significantly increases the oscillations of the vehicle, which cause additional increased dynamic load on the road surface and the vehicles, resulting in an impact on the economy of the transport. At the same time, there is reduced convenience and driving comfort, as well as the most significant - traffic safety. The geometric irregularity of the driving surface is also transferred both to the vehicle and to the driver, in the form of vertical shifts, which the driver feels at the level of its seat.

---

<sup>1</sup> Goran Mijoski: mijoski@gf.ukim.edu.mk

The roughness of the driving surface has a great impact, and at the same time changes the conditions of contact between the wheels of the vehicle and the pavement surface, to such an extent that greater irregularities can cause altered wheel suspension conditions. This can lead to a significant reduction in the utilization of the existing abrasion abilities of the pavement, which, even in the dry pavement, may result in certain consequences. According to this it can be concluded that the roughness of the driving surface is imposed as one of the main indicators for usability of the driving surfaces. The influence of longitudinal and transverse unevenness on the vehicle and the driving surface, is shown in Fig. 1 [1].



**Figure 1.** The influence on the evenness effects, significance and dependence  
 Source: (Mijoski, G. 2010. Integral approach to the evaluation of attributes and indicators of pavement surface)

The unevenness of the pavement surface after traffic load can appear as two different types of deformations: longitudinal and transverse type [2].



**Figure 2.** Types of unevenness of pavement surface  
 Source: (Sayers, M.W.; Karamihas, S.M., 1998. The Little Book of Profiling)

The deformations of the pavement surface are most often caused by the heavy traffic load, heavy vehicles, the inadequately selected and dimensioned structure of the pavement structure, the quality of the materials it was built from, as well as the quality of the performed construction work.

## 2. CRITERIA FOR EVALUATION OF ROUGHNESS

### 2.1. General criteria

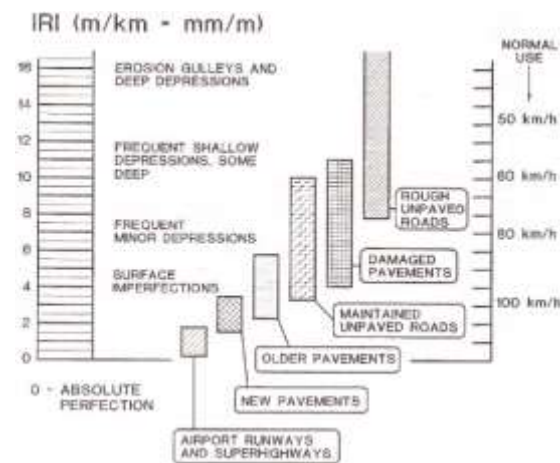
According to the technical regulations for measuring of the level of roughness in the Republic of Macedonia, it is measured with a measuring lath with a length of 4 m, and a criterion or permitted deviation, or the permitted deviation (deviation) is:

- 4 mm for roads with heavy and very heavy traffic and
- 6 mm for roads with light traffic [3].

It is particularly important to point out that this standard does not make a distinction between the newly constructed roads and roads in exploitation.

Based on experiments for roughness conducted on the driving area in Brazil [4,5,6] the International **Roughness Index** - IRI [m / km] set by The World Bank [7], was defined as the main parameter for evaluation of the pavement surface (Figure 3), and then other surveys were conducted in Europe, the United States and Japan [8].

The IRI parameter is used in most countries of the European Union and the United States. The measurement of the IRI level index, is one of the most important parameters used in the computer programs for managing the pavements (for example, HDM-4, The World Bank). The index is monitoring the condition of the road surface from the aspect of road management and planning the maintenance of the pavement construction. It is particularly important to point out that with this standard, there is no distinction between newly constructed roads and roads in exploitation [9].



**Figure 3.** The IRI Roughness Scale

Source: (Shahin, M.Y. 2005. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots.*)

## 2.2. Criteria for evaluation of pavement surface

The criteria used for an evaluation of the condition of the driving pavement and its longitudinal evenness in the area of the corridor sections of Corridor VIII, are according to the class - range of roads expressed with annual average daily traffic (AADT) for roads in exploitation. The criteria for evaluation are in relation to the international IRI index [m/km] according to the regulations of the Republic of Slovenia (Table 1).

**Table 1.** Criteria for evaluation of the pavement roughness

Source: (Technical specifications for public roads – TSC 06.610 - R. Slovenia)

Separation by size of traffic	Evaluation of the situation				
	Very good	Good	Average	Bad	Very bad
	Size of the index of roughness IRI <sub>100</sub>				
<b>Medium or high density of traffic</b> (AADT > 2.000 vehicles/day) <b>and medium or heavy traffic</b> (> 80 NOO 82 KN/day)	< 1,2	1,2 - 1,5	1,5 - 2,2	2,2 - 3,1	> 3,1
<b>Low density of traffic</b> (AADT ≤ 2.000 vehicles/day) <b>and light traffic</b> (≤ 80 NOO 82 KN/day)	< 2,6	2,6 - 3,5	3,5 - 4,3	4,3 - 4,9	> 4,9

We already said that the existing criteria for evaluation of the pavement roughness in the Republic of Macedonia are outdated and not applicable [10]. As a criteria for evaluation, medium or high density of traffic (AADT>2.000 vehicle/day) and medium or heavy traffic (> 80 NOO 82 KN/day), had been used (Table 1).

### 3. MATERIALS AND METHODS

Measuring the roughness of the road surface was carried out by PE for State Roads, with a measuring device such as high speed inertial profile, Dynatest Road Surface Profilometer [11]. According to a survey conducted in the United States by the Texas Department of Transportation (TX DOT), for the accuracy and quality of the damped Roughness, several measuring instruments have been analysed, and it has been found that high-speed inertial Profilometer are the best measuring devices [12].



**Figure 4.** High speed inertial profiler The Dynatest Road Surface Profilometer 5051 Mark II  
Source: (Own Figure)

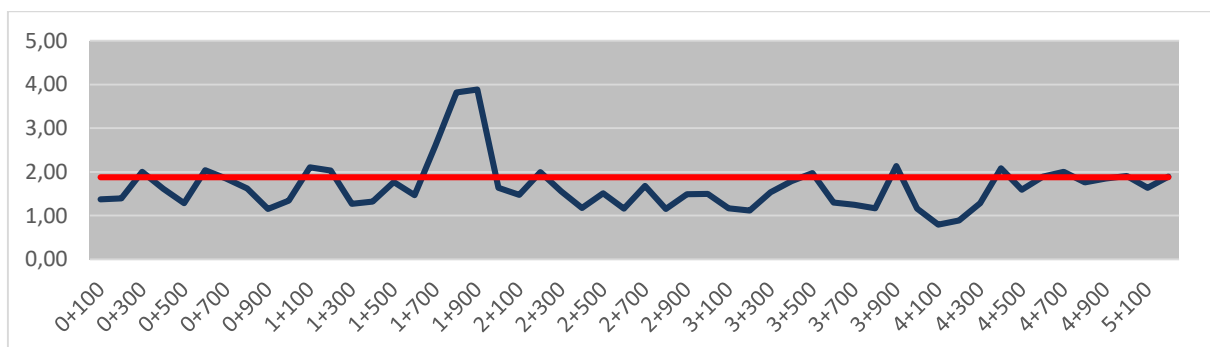
When performing the measurements for the roughness of the pavement surface on certain sections, we calculated the following statistical sizes:

- Minimum value of the index of roughness  $IRI_{100}$  (Min)
- Maximum value of the index of roughness  $IRI_{100}$  (Max)
- The average value of the index of roughness  $IRI_{100}$  (Med)
- 80% appearance of the index of roughness  $IRI_{100}$  (0,80)
- 95% appearance of the index of roughness  $IRI_{100}$  (0,95).

### 4. RESULTS

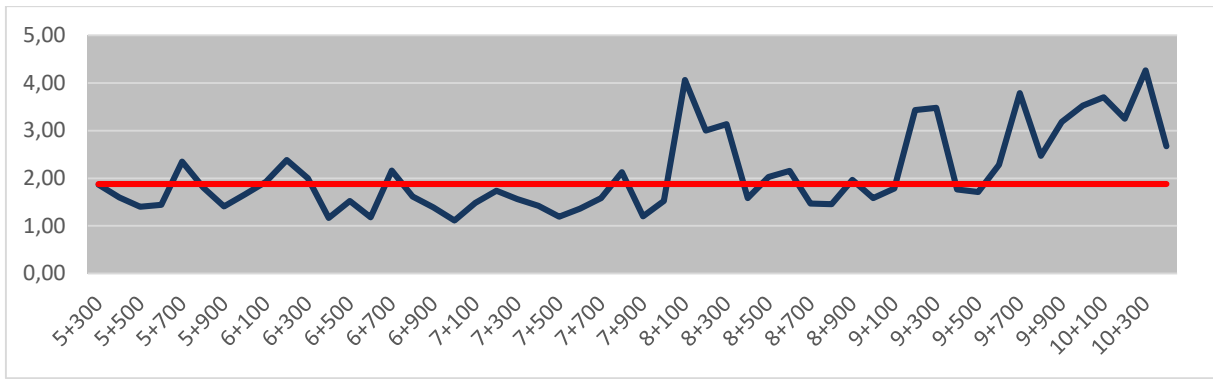
#### 4.1. Measuring of the roughness on the Motorway A2 section: Hipodrom - Miladinovci

The analyzed section of the A2 motorway is long 10,4 km and extends between the two interchanges. The results from the measurement are shown in Fig. 5 and 6, and the evaluation of the roughness is shown on the circular diagram on Figure 7.

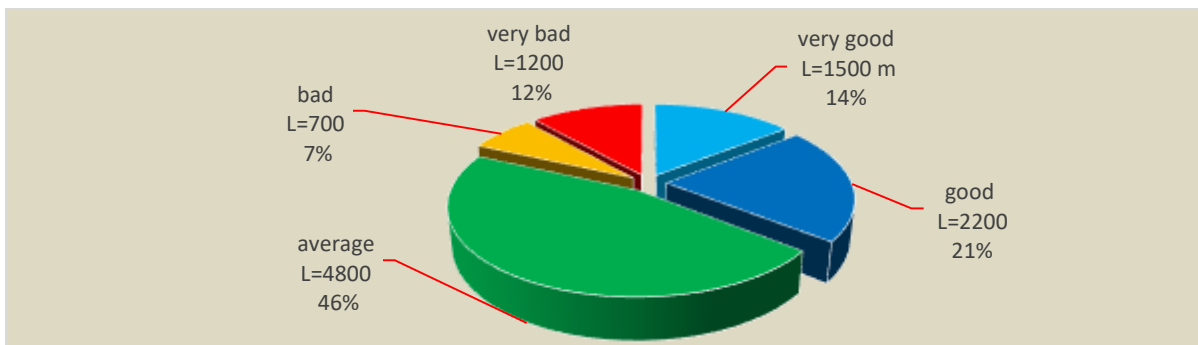


**Figure 5.** Results on section L1=5, 2 Km





**Figure 6.** Results on section L2=5, 2 Km



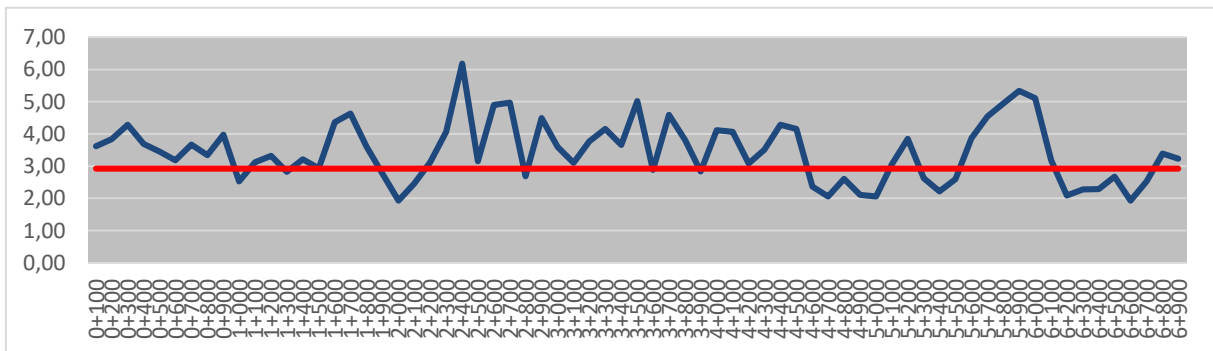
**Figure 7.** Evaluation of the roughness of the Motorway A2 with length L = 10, 4 km

**Table 2.** Statistic value of the measured section

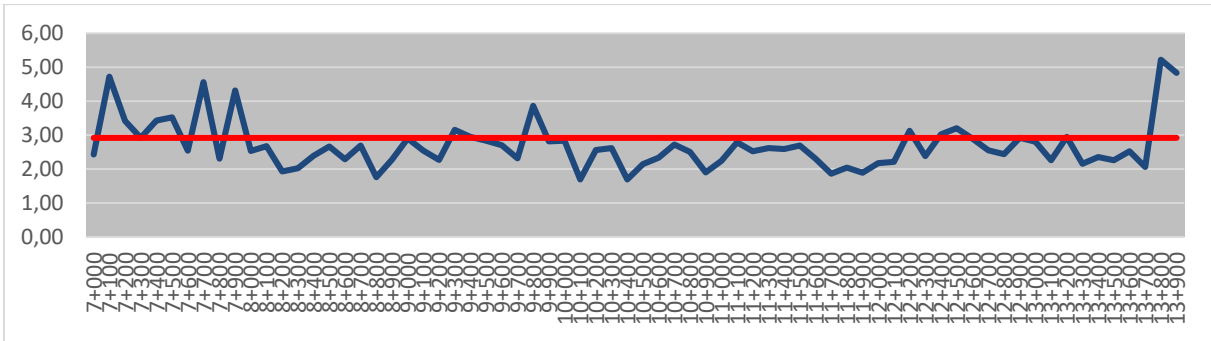
	Min.	Avg.	Max.	St. Dev.	80%	95%	Number of data
<b>IRI<sub>100</sub></b>	0,80	1,88	4,27	0,75	2,14	3,67	104

**4.2. Measuring of the roughness on the State road A2 section: Kumanovo - border crossing Deve Bair**

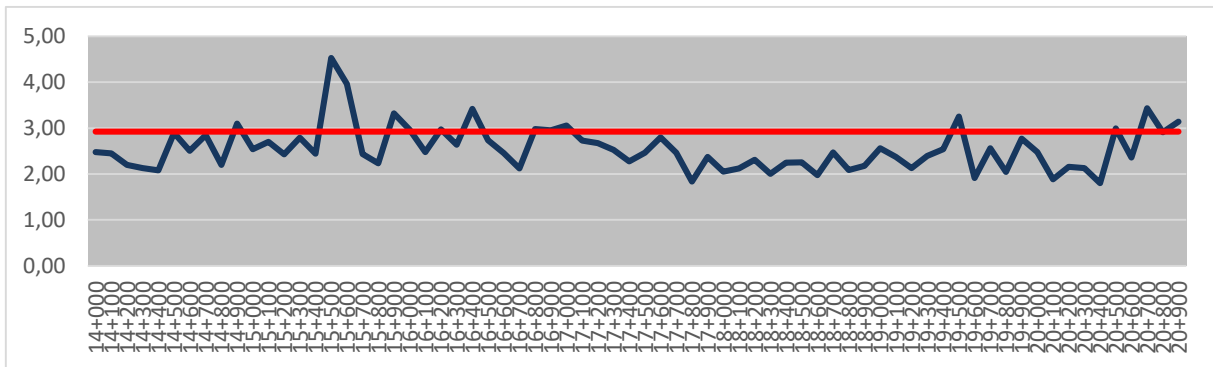
The analyzed section of the state road A2 with the length L = 73,5 km is at the level of the national road. The results from the measurement are shown in Figures 8-17, and the evaluation of the roughness is present on the circular diagram of Fig. 18.



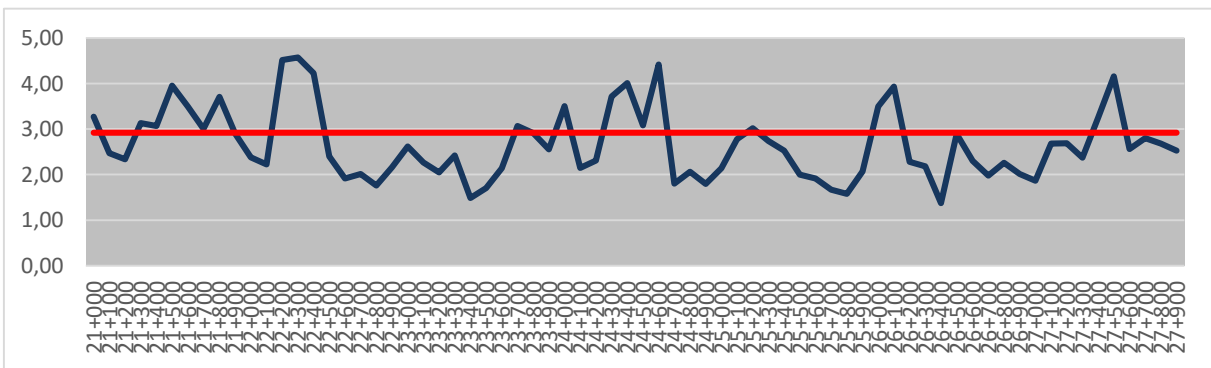
**Figure 8.** Roughness at km 0,0 to km 7,0 km with L<sub>1</sub>=7,0 km



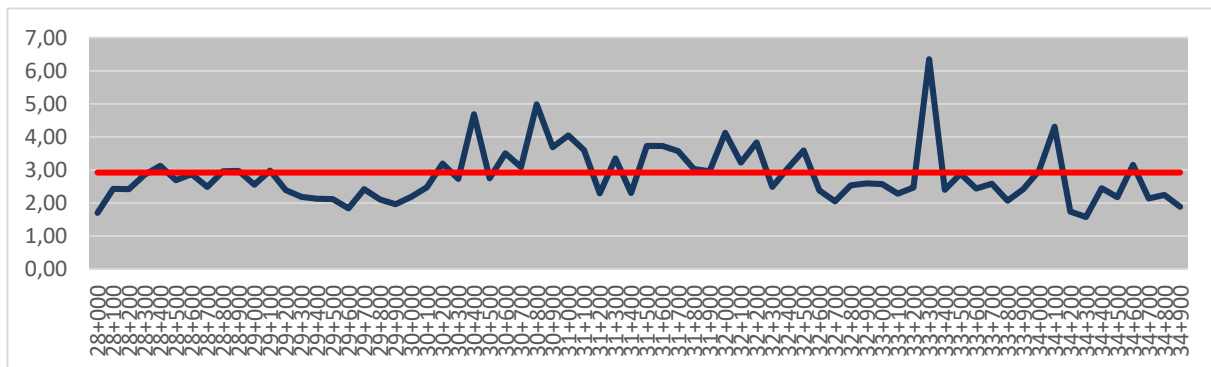
**Figure 9.** Roughness at km 7,0 to km 14,0 km with  $L_2=7,0$  km



**Figure 10.** Roughness at km 14,0 to km 21,0 km with  $L_3=7,0$  Km



**Figure 11.** Roughness at km 21,0 to km 28,0 km with  $L_4=7,0$  Km



**Figure 12.** Roughness at km 28,0 to km 35,0 km with  $L_5=7,0$  km

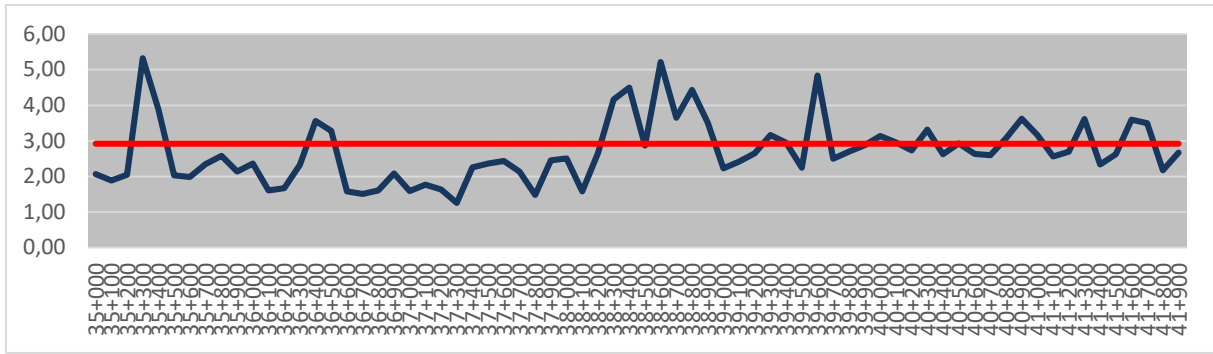


Figure 13. Roughness at km 35,0 to km 42,0 km with  $L_6=7,0$  km

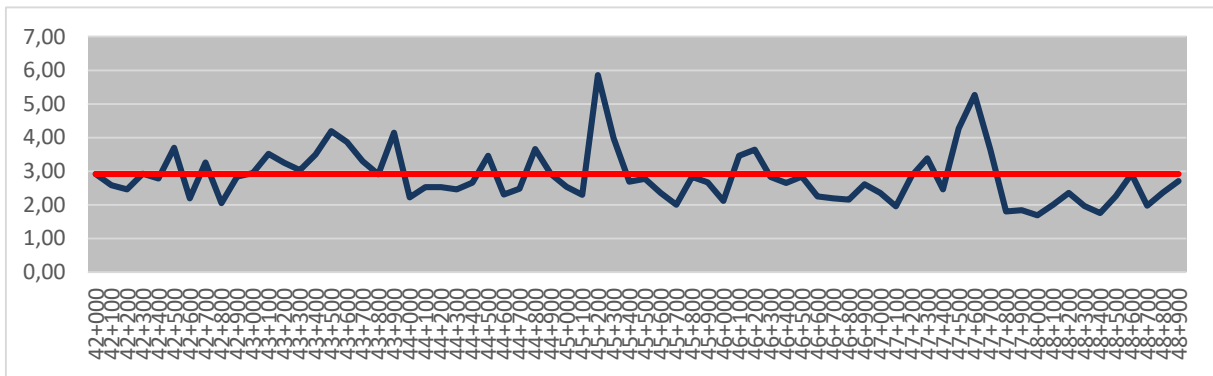


Figure 14. Roughness at km 42,0 to km 49,0 km with  $L_7=7,0$  km

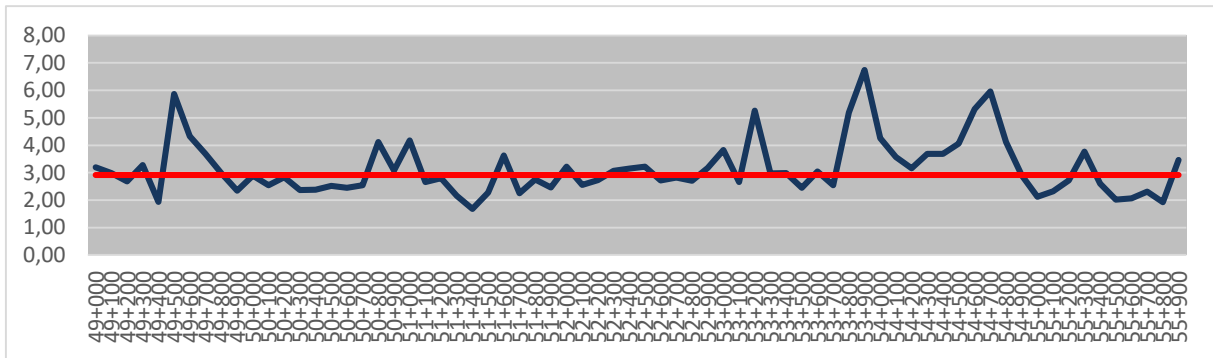


Figure 15. Roughness at km 49,0 to km 56,0 km with  $L_8=7,0$  km

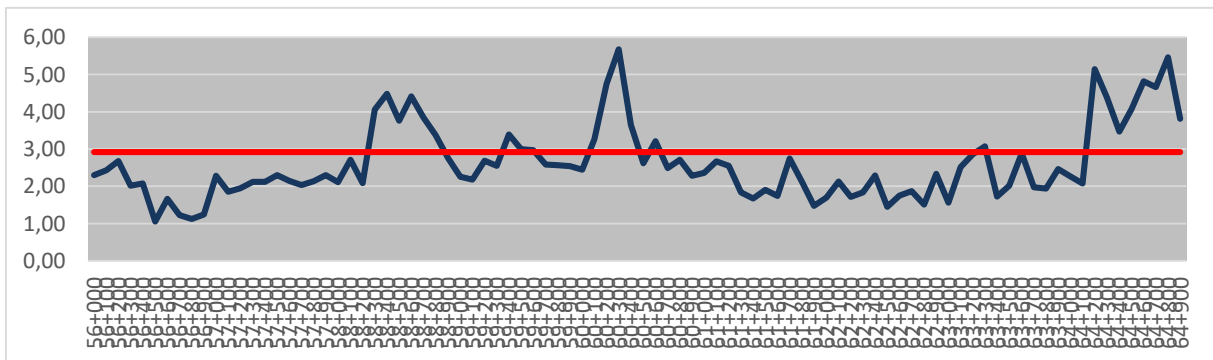


Figure 16. Roughness at km 56,0 to km 65,0 km with  $L_9=9,0$  km

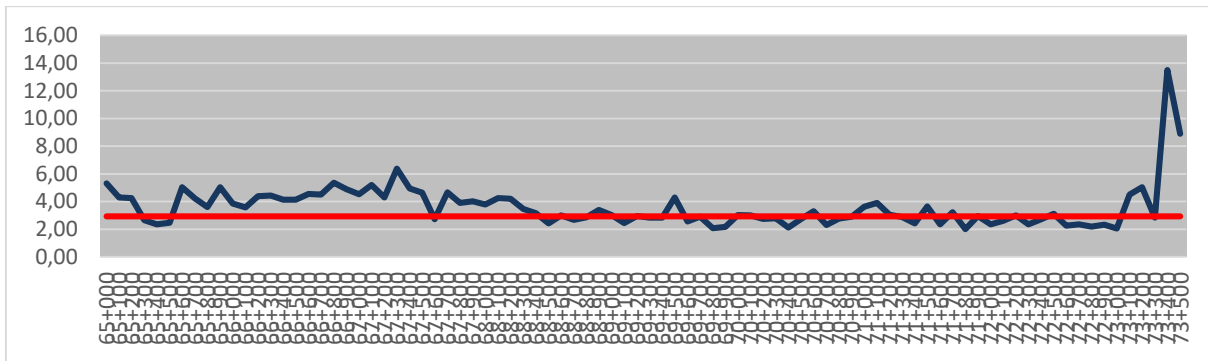


Figure 17. Roughness at km 65,0 to km 73,5 km with  $L_{10}=8,5$  km

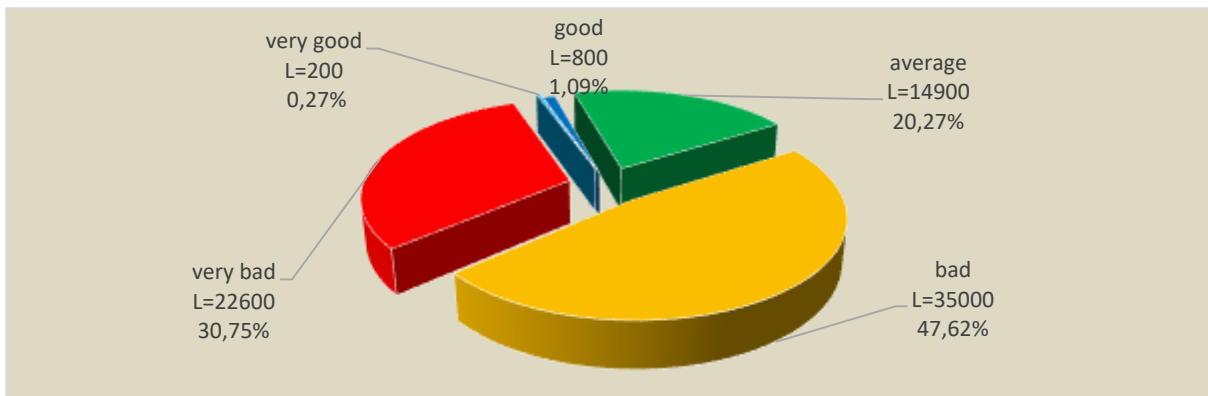


Figure 18. Evaluation of roughness on State road A2 with length  $L=73,5$  km

Table 3. Statistic value of the measured section

	Min.	Avg.	Max.	St. Dev.	80%	95%	Number of data
<b>IRI<sub>100</sub></b>	1,05	2,92	13,51	1,02	3,60	4,77	735

## 5. CONCLUSION

The adoption of effective decisions in managing road networks requires competent authorities for roads in the country, as well as their managers, to have enough knowledge of surface and structural condition of the roads at all times. Information on the level of service, constructive capacity, surface conditions and road safety should be assessed and properly used within the relevant model for pavement management system (PMS), as well as economic analyzes. It is not possible to do quality control only with possession of the proper monitoring equipment. Carrying out a quality assessment of the condition of the road requires accurate and reasonable criteria, as well as professionals - civil engineers specialized for roads. They will lead the process of monitoring and assessing the situation, and afterwards carry out the expertise and deliver quality decisions in the road management system.

It can be concluded that with the new technical regulations for public roads roughness, it is necessary to define: the basic measurement procedures; measuring equipment; the methods of measurement and criteria for assessment of the situation.

As a general evaluation tool for assessing driving comfort, in EU countries it is recommended to measure 100 meters sectors, and with its acceptance it would be compatible with European standards. The criteria should be in accordance with the road class and the level of traffic for newly built road sections, and criteria for road sections in exploitation and road sections should be prepared after the end of the warranty period. So far, for the assessment of the roughness of the driving surfaces it can be suggested:

- Measurement of 20 meter road sections (IRI<sub>20</sub>) in newly built roads;
- Measurement of 20 meter road sections (IRI<sub>20</sub>) in newly built roads after the end of the warranty period;
- Measurement of 100 meter road sections (IRI<sub>100</sub>) on roads in exploitation.

## References

- [1] Mijoski, G. 2010. *Integral approach to the evaluation of attributes and indicators of pavement surface*. Faculty of Civil Engineering, University St's „Cyril and Methodius“, Skopje.
- [2] Sayers, M.W.; Karamihas, S.M. 1998. *The Little Book of Profiling*. Basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan – USA. 100 p.
- [3] MKS U.E4.014.1990 *Izработка na abeckii sloevi od asphalt betony po zeska postapka*. 43 p.
- [4] Sayers, M.W.; Gillespie, T.D. and Querioz, C.A.V. 1986. *International Experiment to Establish Correlations and Standard Calibration Methods for Road Roughness Measurements*. The World Bank Technical Study Number 45 - Washington D.C. – USA.
- [5] Sayers, M.W.; Gillespie, T.D. and Paterson, W.D.O. 1986. *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. The World Bank, Technical Study Number 46 – Washington D.C. – USA.
- [6] Karamihas S.M. and Gillespie, T.D. et al.1999. *Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Measurement*. TRB-NCHRP Report 434, Washington D.C. – USA.
- [7] Sayers, M.W. 1995. *On the calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile*. Transportation Research Record 1501, Transportation Research Board, pp. 1-12 – Washington D.C. – USA.
- [8] Schmidt, B.; Wambold, J.; Kawamura, A. and Descornet, G. PIARC World Road Association.1999. *International Experiment to Harmonize Longitudinal and Transverse Profile Measuring and Reporting Procedures*. Draft Report, Danish Road Institute, Report 93.
- [9] Shahin, M.Y. 2005. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. Second edition – United States of America.
- [10] Republic of Slovenia – Ministry of transport. *Technical specifications for public roads – TSC 06.610: 2003 Characteristics of the pavement surface – Roughness* (Head office for roads - Ljubljana, 2003)
- [11] PE for State Roads. 2017. *Data from measuring the roughness on national and regional roads in Republic of Macedonia* (Corridor VIII)
- [12] Simun, M., Srsen, M. 2007. *Ravnost kolnickih zastora na gradjevinama cestovne infrastrukture*. Gradjevinar, p. 395-405



# PRIMERI TROŠKOVA SANACIJE KLIZIŠTA NA PUTEVIMA

Zoran Radić<sup>1</sup>, Uroš Đurić<sup>1</sup>, Zorana Radić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, Beograd, [zoradic@grf.bg.ac.rs](mailto:zoradic@grf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima, Nemanjina 11, Beograd, [zorana.radic@obnova.gov.rs](mailto:zorana.radic@obnova.gov.rs)

**Rezime:** Pri sanaciji klizišta, pojave koja je veoma česta na putevima Srbije, brojne su nepoznanice kod procene troškova radova predviđenih za njihovu stabilizaciju. Veoma su važni uticajni činioci većeg broja promenljivih (kojima se opisuju svojstva terena i dimenzije kliznog tela) na cenu konstrukcije pri saniranju klizišta. Takođe, građevinski zahvati koji se izvode u cilju poboljšanja stabilnosti padina su dosta raznovrsni, što uz različite uzroke pojave klizišta i njihove elemente, ima za posledicu široke raspone utrošenih sredstava po sanaciji. Kako je apsolutno neophodno stabilizovati ugrožene saobraćajnice ili druge objekte na nestabilnim terenima, veoma je važno, svakako i za našu državu, racionalno korišćenje sredstava koja se opravdano izdvajaju u tu svrhu.

**Ključne reči:** klizišta, putevi, sanacije, troškovi

## EXAMPLES OF LANDSLIDE STABILIZATION COSTS ON THE ROAD INFRASTRUCTURE

Zoran Radić<sup>1</sup>, Uroš Đurić<sup>1</sup>, Zorana Radić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, [zoradic@grf.bg.ac.rs](mailto:zoradic@grf.bg.ac.rs); [udjuric@grf.bg.ac.rs](mailto:udjuric@grf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Public Investment Management Office, Belgrade, Nemanjina 11, [zorana.radic@obnova.gov.rs](mailto:zorana.radic@obnova.gov.rs)

**Abstract:** Landslides are frequent natural hazard occurrence on the road network in Serbia. During their stabilization, there are usually uncertainties regarding stabilization work price evaluation. Conditioning factors of numerous variables (that are describing the terrain properties and landslides dimensions) which are affecting the final price of stabilization are of great importance. Also, construction works that are usually performed for the purpose of slope stabilization are various, and when they are combined with different landslide triggering factors and their elements - as a consequence we have a significant discrepancy of funds that are spent for stabilization. Since absolute stabilization of landslides that are occurring across infrastructure and other objects on unstable slopes is necessary, it is very important for each country and Serbia as well to rationalize the use of budget funds that are allocated for that purpose.

**Keywords:** landslides, road infrastructure, rehabilitation, costs

### 1. UVOD

Svedoci smo ozbiljnih klimatskih promena koje su zahvatile našu planetu poslednjih decenija. Te promene su izražene, (Jovanović R. 2018) kroz: globalno zagrevanje (od 2001. godine na ovamo, zabeleženo je 17 od 18 najtoplijih godina ikada), pojave tropskih ciklona (u 2016.godini je zabeleženo 93 ciklona, dok ih je u periodu od 1980 do 2010.g. registrovano ukupno 82), snežne padavine u Sahari (krajem 2016. i početkom 2018.g, a pre toga još samo 1980.), topljenje glečera, snažne monsune (tokom avgusta 2017 u Indiji, Bangladešu i Nepal u odneli oko 1200 ljudskih života, a 40 miliona ljudi u tom regionu napustilo je domove zbog poplava), sve učestalije vetrove orkanske jačine u zemljama zapadne Evrope. Poslednje procene, prema podacima NASA Earth Observatory iz 2018, su da će se samo na osnovu verovatnih scenarija emisije različitih gasova, prosečna temperatura na površini Zemlje povećati u rasponu 2 do 6 stepena Celzijusa do 2100. godine.

Područje Balkanskog poluostrva, pa i našu zemlju, najviše pogađaju, osim naglih i velikih temperaturnih promena u kratkom vremenskom razdoblju, sve češće i obilnije padavine. Višednevne kiše, koje nastaju uglavnom prodorom ciklona sa severozapada, uzrokuju poplave i brojne i ozbiljne probleme na infrastrukturnim objektima kroz pojavu različitih oblika nestabilnosti na prirodnim padinama, ali i na zasecima, usecima i višljim i visokim nasipima.

Brojna klizišta u Srbiji su se aktivirala još u proleće 2006.g., a naročito posle majskih poplava 2014.g. Isto se ponovilo u nešto manjem obimu marta 2016. i maja 2017.g., kada je došlo do pojave novih nestabilnosti na

---

<sup>1</sup> Zoran Radić [zoradic@grf.bg.ac.rs](mailto:zoradic@grf.bg.ac.rs)

brojnim padinama u Srbiji. Naročito su bile negativne posledice pojava novih i reaktiviranja velikog broja starijih klizišta na padinskim trasama saobraćajnica u Srbiji. Zbog toga se pre četiri godine javila potreba da se pri rešavanju tog problema, državne institucije opredele za sistematski pristup. To je omogućilo, uz obezbeđenje novčanih sredstava iz Fonda solidarnosti Evropske unije i iz budžeta Republike Srbije, a posle urađenih projektnih podloga, da se otpočne izvođenje raznovrsnih sanacionih radova na klizištima širom Srbije. Prioritet su imala pretežno više urbanizovana područja, zatim ona u kojima je najviše ugrožena saobraćajna infrastruktura i one lokalne samouprave koje su pokazale interesovanje za dobijanje namenskih sredstava i ozbiljno se angažovale na obezbeđenju neophodne projektne dokumentacije i davanju svih potrebnih saglasnosti.

## 2. UZROCI POJAVA NESTABILNOSTI

Veliki je broj promenljivih, odnosno veoma su važni uticajni činioci velikog broja promenljivih na cenu građevinskih zahvata pri saniranju klizišta. Tu najčešće spadaju geološka građa terena, morfologija padine, količina padavina u funkciji dužine vremenskog perioda njihovog trajanja, stanje površinskih i podzemnih voda u terenu, stepen raspadnutosti i ispućalosti stene, debljina kliznog tela, procene budućih promena na saniranoj padini, primenjeni tip hidrotehničke ili geotehničke konstrukcije ili obim zemljanih radova, spremnost prihvatanja rizika od eventualnih manjih šteta ukoliko klizište ne može trajno da se umiri i dr.

Činioci koji sve mogu da utiču na pojavu i razvoj procesa klizanja veoma su brojni i podeljeni su (Popescu, 2002) u 4 glavne grupe: 1.uslovi u terenu (geološka građa padina - prisustvo mekih, kolapsibilnih, raspadnutih, degradiranih, isprskalih i ispućalih stena, naročito nepovoljno orijentisanih međuslojnih pukotina, ravni škriljavosti ili klivaža u odnosu na ravan padine, nepovoljno orijentisane druge geološke planare kao što su rasedi, fleksure, granice sedimenata, zaleganje tvrdih i kompaktnih stena preko mekih plastičnih glina), 2. geomorfološki procesi (tektonski pokreti, fluvijalna erozija i dejstvo abrazije u nožici padine, podzemna erozija - rastvaranje, karbonitizacija, prekomerna težina naslaga na padinama ili pri vrhu padine, ogoljavanje terena - vegetacije na padinama prirodnim procesima - erozijom, šumskim požarom ili kao posledica suše), 3. fizički procesi i promene (Intenzivni a relativno kratki periodi padavina, velika visina – težina snežnog pokrivača i njegovo otapanje, dugotrajne padavine, efekti izazvani naglim punjenjem prirodnih ili veštačkih akumulacionih jezera ili nekontrolisanim gubljenjem vode iz akumulacija, zamrzavanje i odmrzavanje vode u diskontinuitetima, zemljotresi i podrhtavanje tla, i 4. procesi koje uzrokuje čovek svojim delovanjem (iskopavanje na padinama ili u njihovim nožičnim delovima, opterećenjem padina ili njihovih vršnih delova, naglim ispućtanjem vode iz veštačkih akumulacija, nekontrolisano navodnjavanje, nepravilno održavanje sistema odvodnjavanja, ispućtanje ili gubljenje vode iz vodovodne i kanalizacione mreže i drugih drenažnih sistema, podzemni iskopi zbog vađenja ruda ili kamena - otvorene jame ili podzemne galerije, stvaranje raznorodnih deponija slabo vezanog materijala, vibracije tla izazvane saobraćajem, pobijanjem šipova, radom teških mašina).

Da bi se saniralo neko klizište, moraju se otkloniti svi uzroci zbog kojeg je ono aktivirano, tako da su sanacione mere, zbog velikog broja uzročnika nestabilnosti takođe veoma raznovrsne i mogu značajno varirati u pogledu utrošenih novčanih sredstava.

## 3. CENE SANACIJA – PRIMERI IZ DRUGIH ZEMALJA

Pri sanaciji klizišta, u proceni troškova radova predviđenih za njegovu stabilizaciju, nisu uvek merodavne pojedinačne promenljive koje prezentuju svojstva terena ili pojedini elementi kliznog tela. Koliko su nekada troškovi potpune stabilizacije neke padine veliki problem i u inženjerskom i u finansijskom smislu može da ilustruje sledeći primer (Smith i dr., 1970, Schweizer and Wright, 1974). Troškovi izgradnje privremene putne obilaznice, da ne bi došlo do potpunog prekida saobraćaja, na autoputu ka San Francisku u blizini mesta Pinole u Kaliforniji 1969.g., zbog aktiviranja klizišta u dužini od 120 m, iznosili su oko 350.000 US \$. Da su građevinski radovi na rehabilitaciji bili složeni i skupi, čak i za ono vreme, pokazala je kompletna sanacija padine koja je završena u nekoliko narednih meseci u cilju trajne stabilizacije terena. Koštala je preko 1.250.000 US \$.

Potencijalna nestabilnost nekog terena može značajno da poskupi izgradnju nekog objekta na njemu, a svakako višestruko poskupljuje njegovo fundiranje. Tako je pri izgradnji stambenih objekata na uslovno stabilnim terenima, na 4 lokacije u Velikoj Britaniji pokazano (Barclay and Heath, 2015) da su troškovi fundiranja objekata na takvim padinama bili respektivno veći za 220%, 180%, 75% do čak 385% u odnosu na temeljenje istih objekata da su građeni na stabilnom terenu.

U južnoj Indiji je, na jednoj značajnoj saobraćajnici dugačkoj samo 20 km, aktiviralo se više klizišta čije su sanacije iznosile između 90.840 US \$ i 779.500 US \$ (Jaiswal et al. 2010) sa velikim indirektnim gubicima

prouzrokovanim otežanim saobraćajem ili zbog povremenog potpunog prekida saobraćaja prilikom izvođenja građevinskih radova. Istraživanja na temu cene sanacija velikih klizišta, površina preko 10.000 m<sup>2</sup>, i dubine između 10 i 15 m, radila je grupa autora (Hammond C., i dr. 2002) iz Portlanda, USA. Na primerima sanacije velikih klizišta primenom različitih metoda, pokazali su da obezbeđivanje veoma dobre ili zadovoljavajuće stabilnosti padina sa klizištima površine 1 do 10 ha može da košta između 0.3 miliona do, za neshvatljivih, 4.0 miliona US \$.

Zahvaljujući novim informacionim tehnologijama - razvoju baza podataka o pojavama klizišta i njihovim sanacijama, kao i širenjem društvenih mreža, omogućeno je generalno sagledavanje i računanje šteta zbog pojava nestabilnosti u onim zemljama sveta gde se ti podaci redovno prikupljaju, ažuriraju i slobodno objavljuju (Salbego at al., 2015). Tako je za Švajcarsku utvrđeno da su, od 1972. do 2007. godine, klizišta i odroni tu zemlju koštali 520 miliona € (Hilker et al., 2009). Najviše direktne štete i najviše sredstava za saniranje ugroženih terena troši Japan za koji postoji podatak da su ti troškovi na godišnjem nivou oko 4 milijarde US \$ (Schuster, 1996).

U prošloj deceniji, posle izbijanja svetske ekonomske krize 2008.g., budžeti za izvođenje radova na saniranju aktivnih klizišta i poboljšanju svojstava uslovno stabilnih terena su u mnogim zemljama u konstantnom smanjenju (Popescu M., Sasahara K., 2009). Ovakav trend se opravdava jedino ekonomskim ograničenjima (razlozima). Međutim, apsolutno je neizbežno stabilizovati najugroženije saobraćajnice ili druge objekte na nestabilnim terenima i zato je važno, svakako i za našu državu, veoma racionalno korišćenje sredstava koja se opravdano izdvajaju u tu svrhu.

#### 4. CENE SANACIJA KLIZIŠTA – PRIMERI IZ SRBIJE

Kod nas ne postoje egzaktni podaci o štetama prouzrokovanim pojavama nestabilnosti terena u Srbiji, koje su bile naročito izražene posle obilnih padavina i poplava od 2006.g., s proleća i jeseni 2014.g. i s proleća 2016.g. Takođe nema sumarnih podataka o troškovima izvođenja radova na sanacijama klizišta, izuzev podataka (Radić i dr.2016. i 2017.) od 2016.g. i nadalje, koji su prezentovani široj javnosti zahvaljujući Kancelariji za upravljanje javnim ulaganjima. Neke procene o materijalnoj šteti na putnoj mreži u Srbiji od posledica poplava iz 2014.g. objavili su Jotić i dr. (2017) ne navodeći precizno izvore tih podataka.

**Tabela 1.** Pregled troškova sanacije klizišta koja se realizuju preko Vladine Kancelarije 2016.-2018.godine

God.		Podaci o troškovima sanacije klizišta				
		Jedinična vrednost	Ukupna projektantska cena radova na svim klizištima (1)	Ukupna ugovorena cena radova na svim klizištima (2)	Razlika u ceni (1) – (2)	Razlika u ceni
jedinična vrednost		(x1000 €)	(x1000 €)	(x1000 €)	(%)	(x1000 €)
Godina	<b>2016.g.</b>	3.388,54	2.958,67 (32 klizišta)	429,87	12.7	92,46
	<b>2017.g.</b>	409,40	297,66 (5 klizišta)	111,74	27.2	49,61
	<b>2018.g.</b>	1.911,39	faza ugovaranja 12 klizišta	-	-	159.28

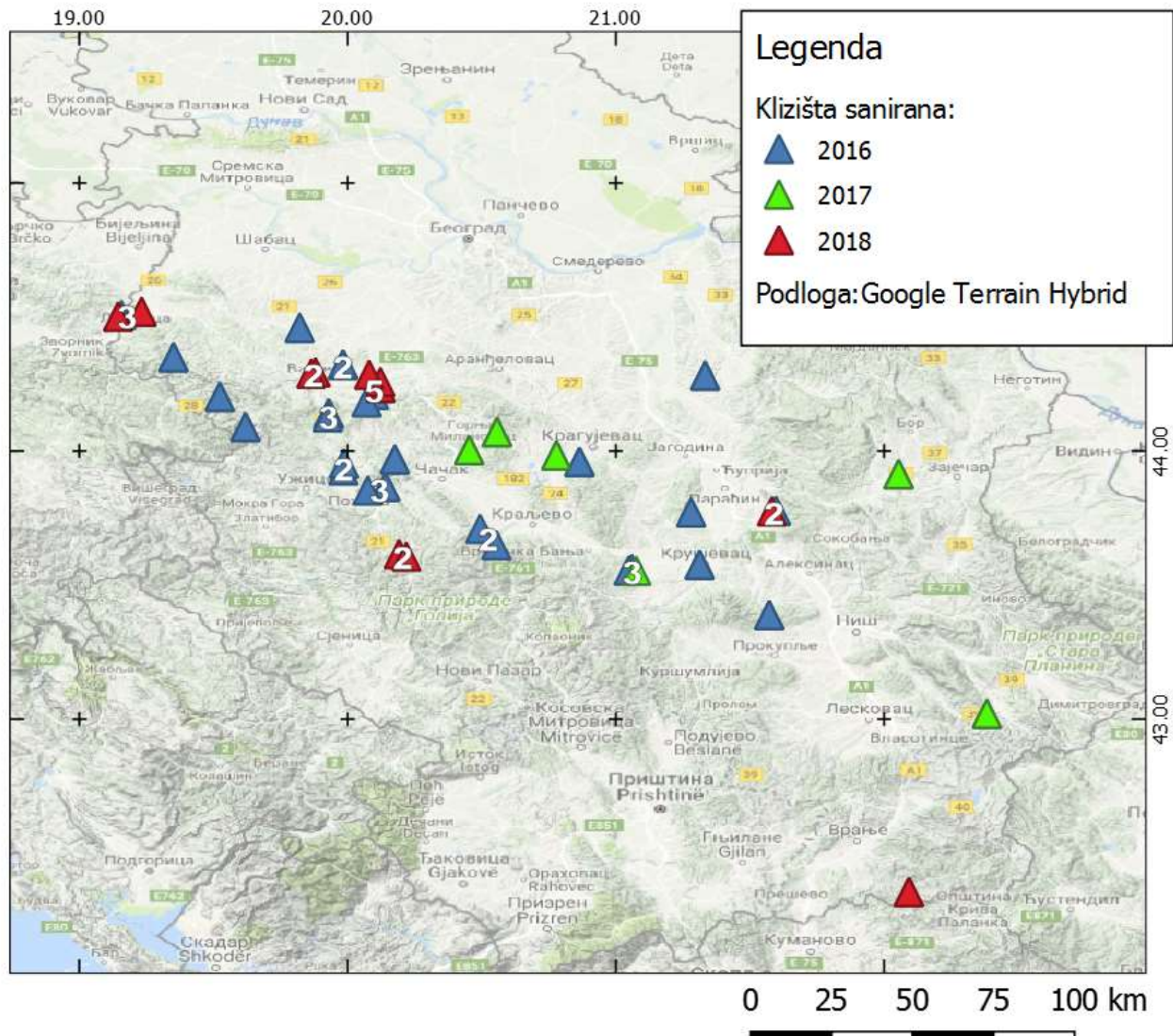
Izvor: Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima

Tokom 2016. i 2017.g., tabela 1., preko pomenute Kancelarije, sredstvima iz Fonda solidarnosti EU i budžeta Republike Srbije, izvedeni su radovi na stabilizaciji terena na ukupno 38 klizišta, Slika 1, širom centralne Srbije i posebno u njenim zapadnim delovima. Trouglaste oznake na karti, koje u sebi sadrže brojeve, znače više od jednog klizišta na istom putnom pravcu. Od zainteresovanosti i spremnosti lokalnih samouprava (za izradu projektne dokumentacije) je dosta zavisilo koliko će klizišta i puteva biti sanirano na teritoriji njihove opštine. Naručioци projektne dokumentacije su dakle bile jedinice lokalne samouprave (za 22 klizišta u 2016. i 5 klizišta u 2017.) ali i JP "Putevi Srbije" (za 11 klizišta), dok su za 2018.g. projektnu dokumentaciju za sva klizišta obezbedile nadležne službe u sedam lokalnih samouprava, od kojih su neke, kao Trgovište, sa krajnjeg jugoistoka.Srbije, Slika 1.

Nestabilnosti na putevima I i II reda i opštinskim putevima su se razvijale manje na zasečenim padinama, a više u trupu nasipa saobraćajnica niz padinu. Bilo je i takvih klizišta koja su potpuno prekidala saobraćajnice

na dužinama od nekoliko desetina metara. Veoma su različite veličine i dimenzije klizišta koja su bila predmet istraživanja i na kojima su izvedeni sanacioni radovi.

Metode sanacije nestabilnih terena, koje se primenjuju kod nas i u svetu, dosta su raznovrsne. Postoje četiri glavne grupe metoda: promena nagiba padine, primena drenažnih konstrukcija, izrada potpornih konstrukcija i grupa mera kojima se interno poboljšavaju svojstva stenskih masa u telu klizišta, njegovoj podlozi i zaleđu. Detaljnije o merama sanacije, ima ih ukupno preko 30, kojima se može poboljšati stabilnost terena ugroženih klizištima pisali su Popescu 2002. i Popescu i Sasahara 2009.

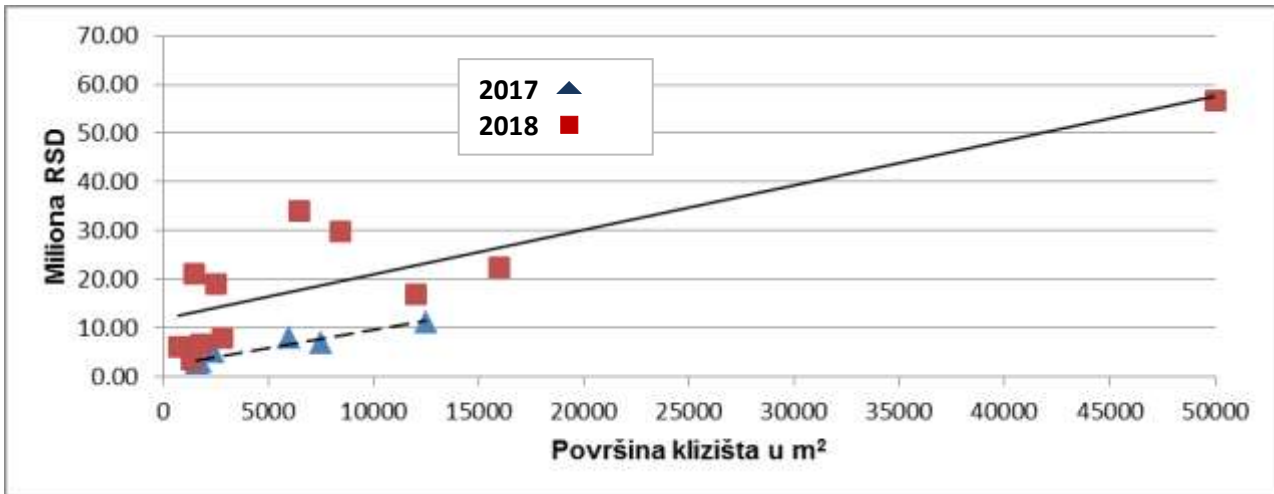


**Slika 1.** Dispozicija klizišta u Srbiji od 2016 do 2018, saniranih preko Kancelarije za upravljanje javnim ulaganjima Republike Srbije

Logika svakog investitora, pa naravno i države, je da sa što manje sredstava ostvari što veći krajnji učinak. Tako se pri raspisivanju tendera za izbor najpovoljnijeg izvođača sanacionih radova, nastojalo da se što više potencijalnih izvođača obavesti i da učestvuje na tenderima koji su sprovedeni za svaku sanaciju. Na taj način ugovarane cene tokom 2016.g. (32 klizišta) su bile niže od projektantskih u rasponu od 5% pa čak i do 40% po pojedinačnim ugovorima.

Tokom 2017.g. sanirano je samo 5 klizišta od 6 planiranih, sa prosečno ugovorenom cenom za 27.2% nižom od projektantskih cena (Tabela 1), uz činjenicu da su u pitanju sanacije manjih i plićih klizišta. Zavisnost cene radova po saniranom klizištu u odnosu na površinu kliznog tela (sanacije 32 klizišta iz 2016.g.) je data u radu Radić i dr.2017. Na Slici 2. prikazan je taj odnos za rehabilitacije klizišta izvedenih u 2017.g. i ona koje će se sanirati tokom 2018. uz napomenu da su cene za radove u tekućoj godini usvojene kao projektantske, jer je proces odabira najpovoljnijih izvođača još u toku, ali se svakako očekuju ugovorene cene za oko 10% do 30%

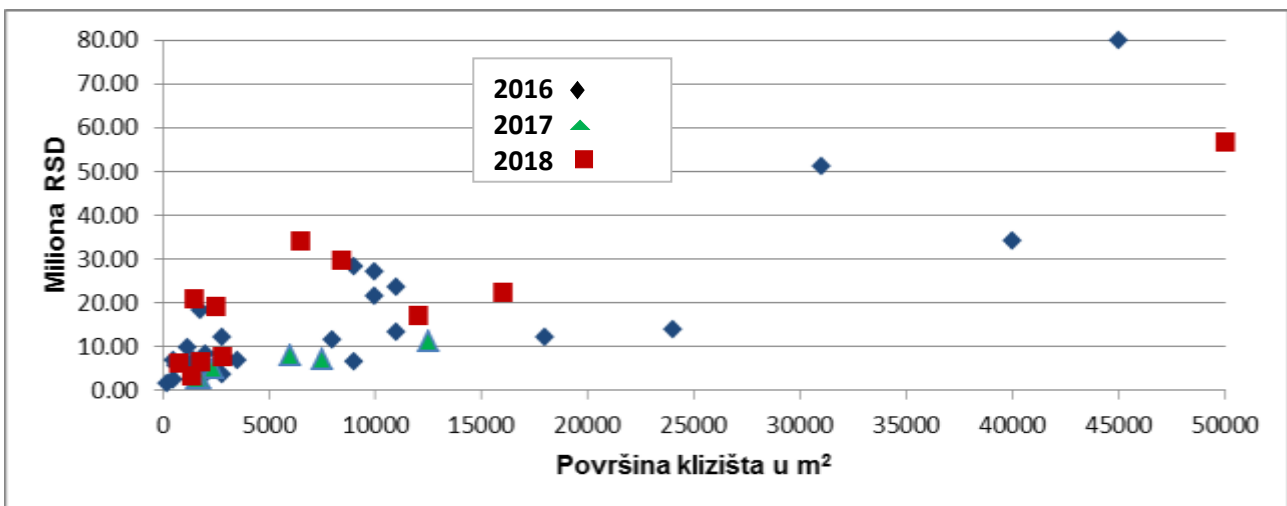
niže od predračunskih. U dijagramu se nalazi trend kretanja cena u linearnoj funkciji, za radove izvedene posebno za svaku godinu.



**Slika 2.** Odnos cene radova po saniranom klizištu i njegove površine (period 2017-18), sa trendom troškova  
Izvor: Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima

Za 2018. godinu, do sredine marta, urađena je projektna dokumentacija za 12 klizišta sa ukupnim projektantskim predračnom cene radova od 226.5 miliona dinara, Tabela 1. gde su ujedno prikazana i sredstva utrošena, preko Kancelarije, za stabilizaciju terena i rekonstrukciju oštećenih kolovoza na putevima tokom 2016. i 2017.g. Detaljniji podaci o klizištima koja će biti sanirana do kraja ove godine, biće prezentovani nakon okončanja svih tendera i odabira najpovoljnijeg izvođača radova. Ono što je izvesno je da su u pitanju klizišta različitih veličina - od manjih i plićih, srednjih, do velikih i dubokih, pa su i rasponi troškova veliki. Ipak očekuje se da će prosečna cena sanacije po klizištu biti između 120 i 140 hiljada €, odnosno biće veća od prosečnih vrednosti za prethodne dve godine.

Zavisnost cene radova po saniranom klizištu u odnosu na površinu kliznog tela, za sve tri godine, od 2016. do 2018., vidi se na slici 3.



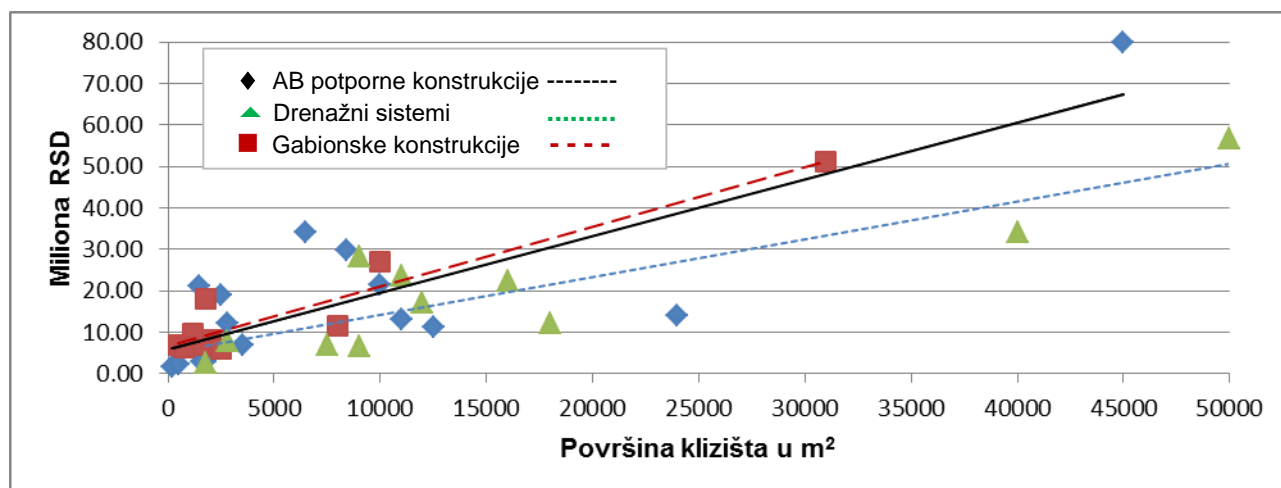
**Slika 3.** Zavisnost cene radova po saniranom klizištu u odnosu na površinu kliznog tela, 2016-18  
Izvor: Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima

Kao projektantska rešenja naših stručnjaka, za stabilizovanje nestabilnih terena najviše su predlagane i realizovane hidrotehničke mere kao krucijalne - sistemi podzemne i površinske drenaže: rovovi, drenažna rebra, kanali, rešetke i šahtovi, sa ispunom od lomljenog kamena ili šljunka, u najvećoj meri sa upotrebom geotekstila, zatim propusti, kao i različiti oblici površinskih drenaža: kanalete, sabirno-odvodni kanali, rigole, drenažni nasipi. Kao potporne konstrukcije najčešće su primenjivane gabionske konstrukcije i armirano-betonski potporni zidovi različitih visina koji su uglavnom temeljeni plitko, ali je bilo i onih temeljenih na AB šipovima.



Generalno su uvek primenjivane kombinacije nekoliko sanacionih mera. Više detalja o primenjenim sanacionim rešenjima (vrsta geotehničke potporne konstrukcije, tip hidrotehničke konstrukcije, obim preraspodele zemljanih masa u sklopu nivelacije terena, vrste biotehničkih mera) i da li je pored sanacije trupa nasipa ili padine iznad puta izvršena i rekonstrukcija dela saobraćajnice, ili samo zamena habajućeg sloja, može da se nađe u radu Radić i Radić (2017).

Iako se projektanti po pravilu opredeljuju za više združenih mera u sklopu sanacije jednog klizišta, napravljena je analiza troškova tako što su izdvojene tri glavne sanacione mere (one koje dominiraju u projektu), a to su armirano betonske potporne konstrukcije (temeljene plitko ili duboko na šipovima), različiti drenažni sistemi i hidrotehničke mere i gabionski koševi sa kamenom ispunom. Na slici br.4. dati su podaci o troškovima sanacije gde su dominantne AB potporne konstrukcije (na ukupno 17 klizišta, od toga su na 5 klizišta korišćene cene iz projekata), različite drenaže i hidrotehnički objekti (na ukupno 11 klizišta, od toga su na 4 klizišta korišćene cene iz projekata) i posebno sanacije gde su primenjivane gabionske konstrukcije (na ukupno 10 klizišta, od toga su za jedno klizište korišćene cene iz projekta).



Slika 4. Cene radova tri osnovne grupe sanacionih mera po klizištu, u odnosu na površinu kliznog tela, sa trendom troškova u linearnoj funkciji

Izvor: Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima

Primetna je razlika u troškovima kada se izvode pretežno samo zahvati u cilju dreniranja terena. Naročito su troškovi manji nego izgradnjom potpornih konstrukcija, kada se stabilizuju, po površini, veća klizišta, ali je primena ovih mera ograničena samom dubinom klizišta. Trend očekivanih troškova sanacije sa potpornim armirano-betonskim konstrukcijama i sa gabionima je veoma približan, skoro identičan, i traži dodatne primere i provere.

## 5. ZAKLJUČAK

Važni su i brojni uticajni činioci na cenu građevinskih zahvata pri saniranju klizišta. I postojeće metode sanacije nestabilnih terena su raznovrsne - mogućom primenom preko 30 mera, vrši se poboljšanje stabilnosti padina ugroženih klizištima. Sprovedenim istraživanjima projektne dokumentacije i izvedenih radova na stabilizacijama terena na putevima u Srbiji preko Vlade Kancelarije za upravljanje javnim ulaganjima u poslednje 3 godine, može se dati samo orijentaciona procena troškova sanacije klizišta na osnovu jedne bitne dimenzije klizišta - njegove površine. Svakako da je rehabilitacija i stabilizacija velikih (preko 1 ha) i dubokih klizišta najteži zadatak i predstavlja veliki izazov za projektante, a ozbiljan problem za investitora. Cene sanacija velikih klizišta kod nas uglavnom su u proseku preko 20 i više miliona dinara i dobro se uklapaju sa sličnim zahvatima na većim klizištima u svetu.

Za dublju analizu cene sanacionih radova treba uzeti u obzir uticaj geoloških, hidroloških, morfoloških, tehnogenih i ostalih parametara koji su nabrojani u drugom poglavlju ovog rada.

Upoređivanjem cena različitih tipova sanacija: AB potpornim zidovima, gabionskim konstrukcijama i sa drenažama, upečatljiv je veoma sličan trend koštanja sanacije gabionima i AB potpornim građevinama. Objašnjenje treba tražiti u tome da uz gabionske konstrukcije dosta se izvode i drugi zahvati vezani za preraspodelu zemljanih masa i površinsko dreniranje terena, ili u pretpostavci da su cene gabionskih mreža i kamenog materijala kod nas iznad realnih, pogotovo uzimajući u obzir da te mere nisu uvek trajnog karaktera.

## Zahvale

Zahvaljujem se inženjerima i upravi Kancelarije za upravljanje javnim ulaganjima Vlade Republike Srbije, kao i projektantima sanacionih radova, bez čijeg razumevanja i saradnje ne bi bilo moguće završiti istraživanje, pošto su podaci korišćeni u ovom radu dobijeni pregledom i analizom velikog broja različitih projekata sanacija klizišta širom Srbije u trogodišnjem razdoblju.

## Literatura

- [1] Hammond C., Meyer M., Vessely A., Machan G., Black B., (2002) How much can it cost to remediate a large landslide, Presentation on Theme Session No.10 at GSA Cordilleran Section Meeting, May 2002
- [2] Barclay K., Heath A., 2015. The costs of housing developments on sites with elevated landslide risk in the UK, International Symposium on Geohazards and Geomechanics (ISGG2015), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 26, doi:10.1088/1755-1315/26/1/012037.
- [3] Jaiswal P., Van Westen C., Jetten V., 2010. Quantitative assessment of direct and indirect landslide risk along transportation lines in southern India, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, pp.1253–1267, doi:10.5194/nhess-10-1253-2010
- [4] Jotić, M., Vujanić, V., Zlatković M., Božić-Tomić K. (2017). Uticaj ekstremnih padavina i majskih bujičnih poplava 2014.g. na formiranje klizišta na državnim putevima Srbije, Zbornik radova V naučno-stručnog skupa "Put i životna sredina", Vršac, 28.-29.sept.2017., str 501-512 (u elektronskom izdanju)
- [5] Jovanović R. Klimatske promene u 21. veku - šta nam se to dešava?, Centar za međunarodnu javnu politiku CMJP Beograd, jan 2018. (on-line), dostupno na <http://cmjp.rs/category/autorski-tekstovi/>
- [6] Popescu M., 2002. Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options, Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures, Singapore, pp. 61-81
- [7] Popescu M., Sasahara K., 2009. Engineering Measures for Landslide Disaster Mitigation, Landslides - Disaster Risk Reduction, pp 609-631, Springer-Verlag
- [8] Radić, Z. Radić, Z-a. Đurić U., (2017). Sanacija klizišta na putevima Srbije sredstvima iz Fonda solidarnosti EU i budžeta Republike Srbije., Zbornik radova V naučno-stručnog skupa "Put i životna sredina", Vršac, 28.-29.sept.2017., str 483-490 (u elektronskom izdanju) ISBN 978-86-88541-08-4
- [9] Radić Z., Radić Z-a., (2017). Karakteristični tipovi sanacija klizišta na putevima u Srbiji izvedenih tokom 2016. Zbornik radova 7-og naučno-stručnog međunarodnog savetovanja Geotehnički aspekti građevinarstva, Šabac, 14.-17.nov.2017., str 345-352.
- [10] Salbego G., Floris M., Busnardo E., Toaldo M., Genevois R., 2015. Detailed and large-scale cost/benefit analyses of landslide prevention vs. post-event actions, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 2461–2472.
- [11] Schuster, R.L., 1996. Socioeconomic Significance of Landslides, Chapter 2 in Landslides - Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Turner, A.K. and Schuster, R.L., Editors, National Academy Press, Washington, D.C.
- [12] Schweizer R., and Wright S., 1974, A Survey and Evaluation of Remedial Measures for Earth Slope Stabilization, Research Report Number 161-2F, Stability of Earth Slopes, Research Project 3-8-71-161, The Texas Highway Department, pp.3-26.
- [13] Tehnička dokumentacija - različite projektantske kuće i autori (2008-2018.) Projekti sanacije sa geotehničkim elaboratima za 48 klizišta na putevima u Srbiji - u arhivi Kancelarije za upravljanje javnim ulaganjima Republike Srbije, Beograd.
- [14] <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/page5.php>

# UPOREDNA ANALIZA MAKROTEKSTURE KOLOVOZA I SAOBRAĆAJNIH NEZGODA NA MREŽI MAGISTRALNIH PUTEVA REPUBLIKE SRBIJE

**Miloš Lukić, mast. inž. građ.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, englukic.milos@gmail.com

**Vuk Andrejević, mast. inž. građ.**

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, vuk.andrejevicsd@gmail.com

**Filip Trpčevski, mast. inž. građ.**

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, ftrpcevski@grf.bg.ac.rs

**Stefan Trifunović, dipl. građ. inž.**

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, trifunovic94@outlook.com

**Rezime:** Saobraćajne nezgode predstavljaju vodeći uzrok smrtnosti među svetskom populacijom starosti od 15 do 25 godina. Osim gubitka ljudskih života, u saobraćajnim nezgodama nastaju velike materijale štete i povrede, što sve zajedno stvara velike socijalne posledice. Kako sam put jeste jedan od faktora koji utiču na nastak saobraćajnih nezgoda, proteklih godina značajno se nastoji da se unapredi faktor puta, kako sa aspekta geometrije i okoline puta, tako i sa aspekta karakteristika kolovoza. Jedna od osnovnih funkcija kolovozne konstrukcije jeste bezbedno odvijanje saobraćaja, dok mikrotekstura i makrotekstura svakako imaju bitnu ulogu u tome. U radu je izvršena uporedna analiza baze podataka JP "Putevi Srbije" sa rezultatima merenja makroteksture, koja su izvršena 2008. godine na mreži magistralnih puteva Republike Srbije, sa bazom podataka o saobraćajnim nezgodama tokom iste godine. Prikazani rezultati analize ukazuju na porast broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta sa padom vrednosti dubine makroteksture.

**Ključne reči:** makrotekstura, kolovoz, saobraćajne nezgode.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PAVEMENT MACROTEXTURE AND NUMBER OF TRAFFIC ACCIDENTS ON MOTORWAY NETWORK OF REPUBLIC OF SERBIA

**Miloš Lukić, M.Sc. (CE)**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, englukic.milos@gmail.com

**Vuk Andrejević, M.Sc. (CE)**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, vuk.andrejevicsd@gmail.com

**Filip Trpčevski, M.Sc. (CE)**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, ftrpcevski@grf.bg.ac.rs

**Stefan Trifunović, B.Sc. (CE)**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, trifunovic94@outlook.com

**Abstract:** Traffic accidents represent the leading cause of mortality among the world's population aged 15 to 25 years. Apart from the loss of human lives in traffic accidents, also property damage and injuries are present, which together create great social consequences. As the road is one of the factors that influence the occurrence of traffic accidents, in the past years there has been a lot of effort invested into trying to improve the road factor, both from the aspect of geometry and the environment of the road, as well as from the aspect of the pavement characteristics. One of the basic functions of the pavement structure is the safe operation of traffic, while microtexture and macrotexture certainly play an important role in this. A comparative analysis of pavement macrotexture measurements carried out in 2008 and number of traffic accidents on motorway network of Republic of Serbia was performed in this paper. The presented results of the analysis indicate an increase in the number of traffic accidents per kilometer of the road with a decrease in the depth of the macrotexture.

**Keywords:** macrotexture, pavement, traffic accidents.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: englukic.milos@gmail.com

## 1. UVOD

Svetski trendovi u podizanju nivoa bezbednosti saobraćaja na javnim putevima usloveli su da se pitanjima bezbednosti na državnim putevima Republike Srbije posveti posebna pažnja. U ovom radu akcenat je stavljen na saobraćajne nezgode u zavisnosti od makroteksture.

Zakonom o javnim putevima iz 2006. godine izvršena je nova kategorizacija državnih puteva u Srbiji na državne puteve I reda, državne puteve II reda, opštinske puteve i ulice. Uredbom iz 2012. godine prvi put precizno je definisano koji putevi su raspoređeni u koju grupu. Tom odlukom je oko 6000km puteva, koje je pripadalo magistralnim i regionalnim putevima, prekategorišano u opštinske puteve. Međutim, uredbom iz novembra 2013. godine dolazi do nove prekategorišacije puteva kojom se oko 6000km opštinskih puteva vraća u kategoriju državnih puteva II reda. Na tu odluku je bilo određenih prigovora, pa je 2015. godine donesena uredba kojom je definisano koji putevi pripadaju kojoj grupi, tako da je precizno definisana kategorizacija puteva u državnoj mreži. S obzirom na to da je snimanje stanja putne mreže Republike Srbije poslednji put urađeno 2008. godine, za ovu analizu korišćena je podela državnih puteva na magistralne i regionalne, sa izdvojenim autoputevima kao posebnom kategorijom. U ovom radu akcenat je stavljen na magistralne puteve i na saobraćajne nezgode koje su se desile na mokrom, cistom ili blatom, muljem i sl. zaprljanom kolovozu.

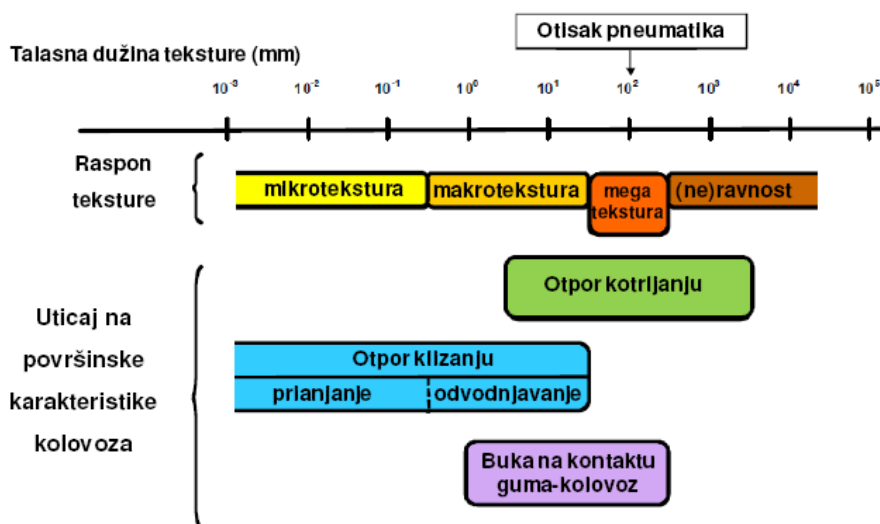
U radu će biti predstavljena zavisnost broja saobraćajnih nezgoda od dubine makroteksture na magistralnim putevima u Republici Srbiji.

## 2. MIKROTEKSTURA I MAKROTEKSTURA

Termin "Otpor na klizanje" ili "Otpornost na klizanje" karakteriše doprinos površine kolovoza, ili makroteksture i mikroteksture, ukupnoj raspoloživoj vrednosti trenja između pneumatika i kolovoza.

Podela površine kolovoza u zavisnosti od teksture:

- hrapavost/neravnost:  $>$  megateksture
- megatekstura:  $500 > \lambda > 50$  mm,  $0.1 > A > 50$  mm
- makrotekstura:  $50 > \lambda > 0.5$  mm,  $0.1 > A > 20$  mm
- mikrotekstura:  $\lambda < 0.5$  mm,  $0.1 > A > 500$   $\mu$ m



Slika 1. Uticaj talasne dužine na „hvatajivost“ između pneumatika i kolovoza [1]

## 2.1. Opšti podaci

Otpornost na klizanje je izmereni parametar koji definiše prijanjanje pneumatika i kolovoza, pri manevrima ubrzanja, kočenja i skretanja. Prijanjanje se smanjuje kada je kolovoz mokar, zaleđen ili ima nanose blata i nekog rastresitog materijala.

Ako je raspoloživi nivo trenja na bilo kom mestu na površini puta nedovoljan za manevar koji vozač pokušava da izvede, vozač ima smanjenu kontrolu upravljanja nad vozilom što može izazvati saobraćajnu nezgodu.

Na vlažnom kolovozu dolazi do smanjenja trenja, koje pre svega zavisi od debljine vodenog sloja (filma) između pneumatika i kolovoza. Smanjenje trenja zavisi od: prostornog oblikovanja kolovozne površine (elemenata situacionog plana, podužnog profila i načina vitoperenja kolovoza), intenziteta padavina, ravnosti kolovoza, temperature, zaprljanosti. U većini evropskih zemalja ova vrednost se ograničava na 1 do 2 mm.

Sa povećanjem brzine vožnje i povećanjem debljine vodenog sloja, koeficijent trenja se smanjuje, odnosno pneumatik lebdi na vodenom sloju pod dejstvom hidrodinamičkog potiska. Ovaj fenomen je poznat kao akvaplaning efekat. Jasno je da je u ovoj situaciji sigurnost vožnje ozbiljno ugrožena i da nije moguće kontrolisano upravljanje vozilom.

## 2.2. Mikrotekstura

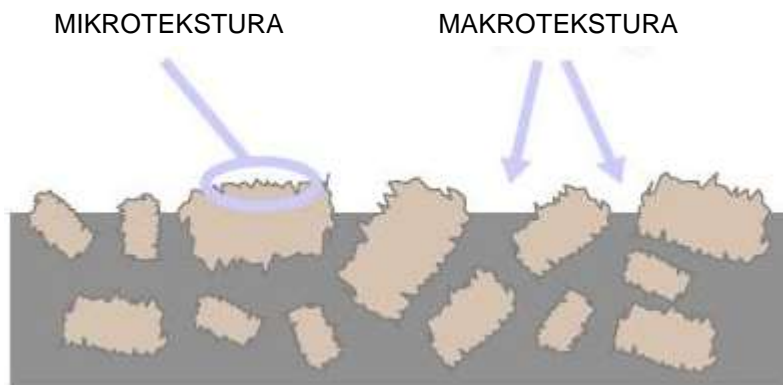
Mikrotekstura se definiše kao odstupanje od idealno ravne površine kolovoza, u talasnim dužinama  $< 0.5\text{mm}$ . Podrazumevaju se kristalne čestice agregata u gornjim nosećim slojevima i fine čestice, kao što je pesak, u asfalt – betonskim i čvrstim kolovozima [2].

Uticao se oseća i na suvom i na mokrom kolovozu, a najveći je pri malim brzinama. Visoke vrednosti mogu dovesti do oštećenja, odnosno habanja pneumatika. Kada je put vlažan, vodeni film na površini kolovoza smanjuje vrednosti "hvatljivosti" između pneumatika i kolovoza, što dalje dovodi do smanjenja trenja (zavisi od toga u kojoj meri je mikrotekstura spremna da primi vodeni film). Vodeni film se lakše formira na kolovozima sa glatkim agregatom, čime se naglašava značaj mikroteksture.

Agregati se vremenom poliraju (uglašavaju) pod dejstvom vozila, odnosno dejstvom manevra ubrzanja, kočenja i skretanja.

## 2.3. Makrotekstura

Makrotekstura predstavlja odstupanje od idealno ravne površine kolovoza, u talasnim dužinama od 0.5mm do 50mm. Na njenu veličinu utiče oblik, razmak čestica agregata, prisustvo šara i žlebova namerno proizvedenih u betonskim površinama i unutrašnje pore u materijalima [2]. Makrotekstura utiče na uklanjanje vode sa kolovoza, odnosno drenažni kapacitet. U opštem slučaju veća makrotekstura, znači veću potrošnju goriva, veću emisiju CO<sub>2</sub>, veću buku, manje prskanje vode.



Slika 2. Šematski prikaz mikroteksture i makroteksture [3]



### 3. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Kvalitet površine kolovoznog zastora je vrlo značajan uticajni faktor za bezbedno odvijanje saobraćaja na putevima. U tom cilju je, za potrebe prikazivanja pokazatelja stanja kolovozne površine, neophodno imati kvalitetno izvršena merenja.

ARAN (Automated Road Analyzer) i ROMDAS (Road Measurement Data Acquisition System) su sistemi mernih uređaja i opreme, instaliranih u vozilu, koji se koriste za merenje i prikupljanje podataka o stanju puteva, saobraćajno-tehničkim elementima i opremi na putu, i o saobraćaju [4]. Sistem se može koristiti na nivou mreže ili dela mreže, sa ciljem opštih analiza, planiranja i programiranja aktivnosti, kao i na nivou deonice, za detaljno prikupljanje podataka na nivou projektne dokumentacije.

Princip koji koristi ARAN sistem za merenje je zasnovan na pravilnim bezkontaktnim skeniranjima uzoraka podužnog profila, na osnovu kojih sistem izračunava prosečnu dubinu makroteksture, MPD. Poprečni profili se ponovo skeniraju laserskom kamerom koju je proizveo SELCOM iz Švedske.

Sistem je postavljen na nosač vozila iznad desne ili leve putanje točka gde su vrednosti kritične, mereći potvrđenim laserima velike brzine prosečnu dubinu MPD profila makroteksture i mikroteksture periodičnih uzoraka površine kolovoza dužine 20 cm.

Veliki broj sveobuhvatnih studija i testova potvrdili su korelaciju MPD parametra sa standardnim ASTM testom sa peskom od 98 %, što je bio razlog da se ovaj parametar uključi u internacionalne koeficijente IFI i EFI. Modul za merenje teksture obuhvata jednu ili dve 62,5kHz laserske kamere sa nišanima, koje rade sa tačnošću od  $\pm 0,1$ mm.

Za potrebe snimanja i analize putne mreže Srbije korišćena su ova dva uređaja. Za snimanje magistralnih puteva korišćeno je merno vozilo ARAN. Merenje dubine makroteksture je vršeno na svakih 100 m.

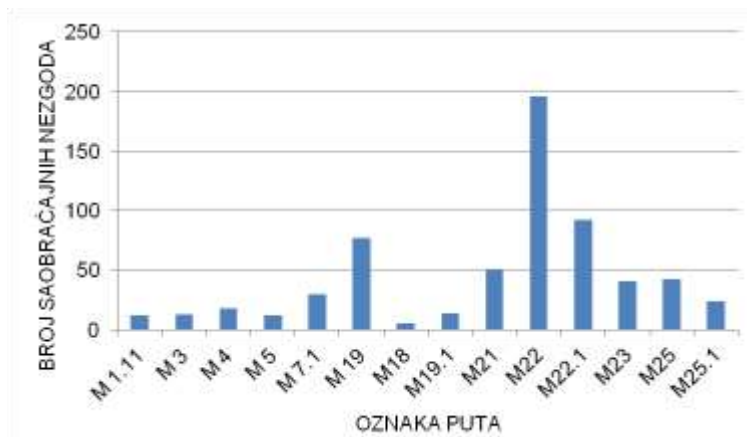
Da bi se ispunili ciljevi ovog rada potrebne vrednosti dubine makroteksture su preuzete iz baze podatka preduzeća "Putevi Srbije" koja je kreirana nakon završenih terenskih merenja 2008. godine. Pored vrednosti dubine makroteksture korišćeni su i podaci o saobraćajnim nezgodama MUP-a Srbije za istu godinu.

Odluka o izradi analize samo na mreži magistralnih puteva donesena je zbog uticaja koji makrotekstura ima na koeficijent trenja kolovoza. Naime, poznato je da sa smanjenjem dubine makroteksture opada i vrednost koeficijenta trenja. Taj pad vrednosti je izraženiji prilikom većih brzina kretanja vozila. Zbog ovih razloga neophodno je posmatrati puteve na kojima je veća brzina odvijanja saobraćaja. Kako je već spomenuto makrotekstura ima veliki uticaj na odvodnjavanje površine kolovoza. Iz tog razloga posmatrane su samo saobraćajne nezgode u vlažnim uslovima.

Prilikom obrade podataka o broju saobraćajnih nezgoda u vlažnim uslovima na mreži magistralnih puteva ustanovljeno je da je od 34 magistralna puta ukupne dužine 3437 km broj saobraćanih nezgoda u vlažnim uslovima veći od 5 zabeležen na 14 puteva ukupne dužine 2910 km. U okviru ovog rada urađena je analiza samo na ovih 14 magistralnih puteva.

### 4. ANALIZA I REZULTATI

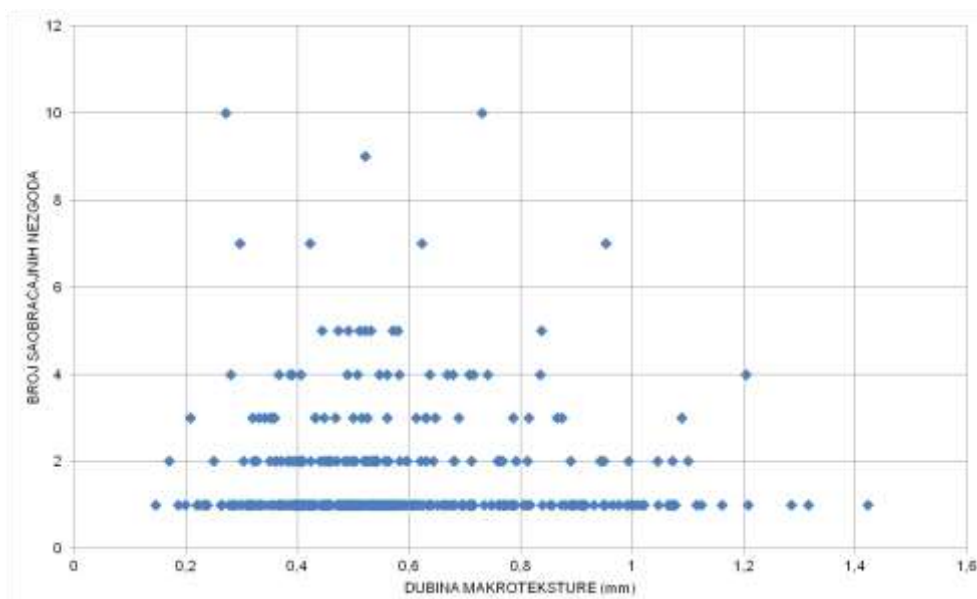
Na obrađenih 14 magistralnih puteva zabeleženo je ukupno 626 saobraćajnih nezgoda koje su korišćene u analizi. Broj saobraćajnih nezgoda za svaki pojedinačni put prikazan je na Slici 3. Uočava se da se najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio na putu M22, koji povezuje Beograd i Požegu, a najmanji na putu M18, koji povezuje Bački Breg i Sremsku Raču.



Slika 3. Broj saobraćajnih nezgoda za svaki obrađeni putni pravac

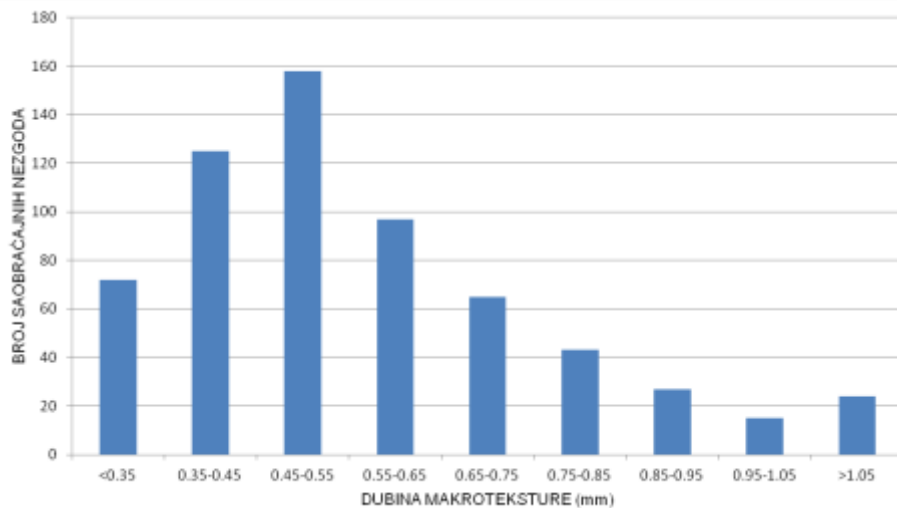
Iako u okviru baze podataka MUP-a Srbije nije bilo naznačeno šta je glavni uzrok nezgode, izvršena je analiza uticaja dubine makroteksture i broja saobraćajnih nezgoda uz pretpostavku da je uzrok nezgoda smanjeni koeficijent trenja što uslovljava povećanje zaustavnog puta vozila i smanjenje upravljivosti istog.

Za svaku saobraćajnu nezgodu je definisana vrednost dubine makroteksture. S obzirom da je preciznost beleženja lokacije saobraćajnih nezgoda varirala u zavisnosti od ažurnosti policijskih službenika koji su vršili uviđaj broj saobraćajnih nezgoda je definisan po kilometru puta. Na osnovu merenja dubine makroteksture na svakih 100 m puta izvršen je proračun prosečne vrednosti ovog parametra po kilometru puta. Analiza je ukazivala na porast broja saobraćajnih nezgoda sa smanjenjem dubine makroteksture. Zavisnost između broja saobraćajnih nezgoda i vrednosti dubine makroteksture prikazana je na Slici 4.



Slika 4. Zavisnost broja saobraćajnih nezgoda od dubine makroteksture

Posmatrajući Sliku 4. uočena je veća gustina broja saobraćajnih nezgoda u zoni niskih vrednosti dubine makroteksture. Radi daljeg istraživanja ove opservacije generisan je grafik broja saobraćajnih nezgoda koje imaju vrednost dubine makroteksture u okviru jednog od devet definisanih opsega. Granične vrednosti opsega su definisane od strane autora usled nedostatka odgovarajućeg standarda u propisima Republike Srbije. Prikaz ovog grafika nalazi se na Slici 5.



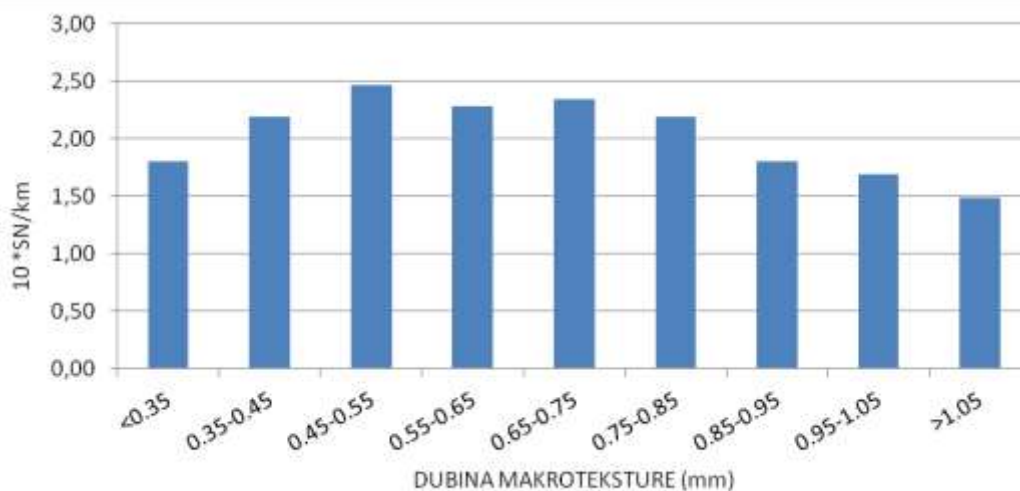
Slika 5. Zavisnost broja saobraćajnih nezgoda i dubine makrotekture po opsezima

Na osnovu Slike 5. uočava se da broj saobraćajnih nezgoda opada sa porastom vrednosti dubine makrotekture. Izvršena je analiza koliko je kilometara puta sa vrednošću dubine makrotekture u prethodno definisanim opsezima. Broj saobraćajnih nezgoda i dužina puta sa odgovarajućim opsegom vrednosti makrotekture su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1. Broj saobraćajnih nezgoda (SN) i dužine puta (DP)

Opseg	Broj SN	DP (km)	10*SN/DP (1/km)
< 0.35	72	400	1.80
0.35 - 0.45	125	571	2.19
0.45 - 0.55	158	641	2.46
0.55 - 0.65	97	425	2.28
0.65 - 0.75	65	277	2.35
0.75 - 0.85	43	196	2.19
0.85 - 0.95	27	150	1.80
0.95 - 1.05	15	89	1.69
>1.05	24	161	1.49

U okviru Tabele 1. prikazan je broj saobraćajnih nezgoda po kilometru puta i na Slici 6. su grafički predstavljene dobijene vrednosti.



Slika 6. Zavisnost broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta i dubine makrotekture po opsezima

Na Slici 6. prikazan je trend pada broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta sa povećanjem dubine makroteksture. Uočen je pad vrednosti broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta kada je vrednost dubine makroteksture manja od 0.5. Tokom ove analize nije ustanovljen razlog koji može objasniti ovakvu raspodelu.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedene analize i dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

1. Broj saobraćajnih nezgoda po kilometru puta opada sa porastom vrednosti dubine makroteksture. Uočena je granična vrednost od 0.5 mm nakon koje se pad broja saobraćajnih nezgoda i dešava.
2. Uočeno je da 1612 km od analiziranih 2910 km ima vrednost dubine makroteksture manju od 0.55 mm, što ukazuje na nezadovoljavajuće stanje magistralne mreže puteva sa aspekta makroteksture.
3. Ispod granične vrednosti dubine makroteksture od 0.5 mm javlja se pad broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta što se kosi sa pretpostavkom da što je niža vrednost dubine makroteksture to je veći broj nezgoda po kilometru. Razlozi za to nisu pronađeni tokom analize sprovedene u ovom radu, ali su polazna tačka za detaljnije ispitivanje uticaja niskih vrednosti dubine makroteksture na saobraćajne nezgode.
4. Prilikom izrade baze podataka o saobraćajnim nezgodama neophodno je uključiti koordinate lokacije gde se nezgoda odigrala.
5. U standardima Republike Srbije nije tačno definisana klasifikacija koja govori o dubini makroteksture.

## Literatura

- [1] Mladenović, G. 2011. Kolovozne konstrukcije (pisana predavanja - interni materijali), Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu - Beograd, Srbija
- [2] Neaylon, K. 2011. Guidance for the Development of Policz to Manage Skid Resistance, Austroroads research report, Australia
- [3] Technical Services Group. 2016. Road Surface Friction (Skid Resistance & Pavement Texture) Recommended Investigatory Levels Tech Note 24, Government of South Australia, Australia
- [4] -, 2008. ARAN system za snimanje - material za obuku, CPV - Centar za puteve Vojvodine, Novi Sad, Srbija
- [5] Kudrna, J.; Vojtešek, A.; Mališ, L.; Nekula, L. Road skid resistance influence on the number of crash accidents, Czech Republic
- [6] Al-Mansour, A. 2005. Effects of Pavement Skid Resistance on Traffic Accidents, The Journal of Engineering Research Vol 3.(1): 75-78
- [7] Kuttesch, J. 2004. Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, USA

# FIBER OPTIC SENSOR APPLICATIONS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING

**Milena Matić**, VMS doo Belgrade, milena@vms.rs

**Daniele Inaudi**, Smartec SA – Switzerland,

**Branko Milosavljević**, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, brankom@imk.grf.bg.ac.rs

**Radomir Radičević**, Mostprojekt doo Belgrade, r.radicevic@mostprojekt.rs

**Nikola Matić**, VMS doo Belgrade, nma@vms.rs

**Abstract:** *The monitoring of civil and geotechnical structures requires a variety of different measurement tasks that require different types of sensing systems. Fiber optic sensors can be used in a variety of applications and many sensor types exist. When measuring strain and deformations, among the most important structural performance indicators, different approaches are possible: point, long-gauge and distributed. This contribution discusses the types of applications that benefit more from each type of sensor and provides application examples from real-life projects.*

*This paper has presented and explained what are the benefits of Structural Health Monitoring of aged infrastructure. Implementation of sensors for Structural Health Monitoring in 2 relevant projects on Bridge infrastructures was explained and measurement results were presented.*

*The necessity of proper asset management strategy in Serbia was elaborated, together with benefits and arguments for Asset management Strategy.*

**Keywords:** *Structural Health Monitoring (SHM), Fiber Optic Sensors, Bridges*

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Structural Health Monitoring

Structural Health Monitoring (SHM) is a process aimed at providing accurate and in-time information concerning structural condition and performance. It consists of periodical or continuous measurement & monitoring of infrastructure (ie. bridges, tunnels, roads, high buildings, dams, land sliding, plants, etc.), over short or long terms. The information obtained from monitoring is generally used to plan and implement more efficient and cost saving maintenance activities (including predictive and preventive maintenance), increase the safety, extend designed lifetime, reduce uncertainty and to widen the knowledge concerning the structure being monitored.

### 1.2 SHM Benefits

Structural Health Monitoring benefits are manifold<sup>[1]</sup> and some of them are listed below:

- Safety: unusual structural behaviors detected at an early stage minimizes the risk of sudden collapse - human lives, nature and goods are preserved.
- Maintenance cost reduction: Early detection of a structural malfunction allows for an in-time refurbishment intervention that can significantly reduce maintenance costs and postpone planned restructuring and expand infrastructure life-time.
- Monitoring helps building maintenance program and enhance durability of structures (well-maintained structures are more durable); an increase in durability decreases the direct economic losses (repair, maintenance, reconstruction).
- Sustainable structures call for new materials, new construction technologies and new structural systems; monitoring helps to increase knowledge about their on-site performance, to control the design, to verify performance, and to create and calibrate numerical models.
- Hidden (unknown) structural reserves can be discovered by monitoring and, consequently, better exploitation of traditional materials and better exploitation of existing structures can be made; the same structure can accept a higher load and more performance is obtained without additional investment in reconstruction in order to increase structure designed lifetime.
- Finally, monitoring helps prevent the social, economical, ecological and aesthetical impact that may



occur in the case of structural deficiency.

## 2. INTRODUCTION TO FIBER OPTIC SENSORS

There are many different types of optical sensors<sup>[2]</sup> for structural health monitoring and we will present those that have reached an industrial level and have been used in a large number of field applications.

Figure 1 illustrates the four main types of fiber optic sensors:

- Point sensors have a single measurement point at the end of the fiber optic connection cable, similarly to most electrical sensors. Fabry-Perot sensors are typical examples.
- Multiplexed sensors allow the measurement at multiple points along a single fiber line. Fiber Bragg Gratings are the best known example of multiplexed sensors.
- Long-base sensors integrate the measurement over a long measurement base. They are also known as long-gage sensors. SOFO sensors<sup>[3]</sup> are the main representatives of this category.
- Distributed sensors<sup>[6]</sup> are able to sense at any point along a single fiber line, typically every meter over many kilometers of length. They are mostly based on Brillouin and Raman scattering technologies.

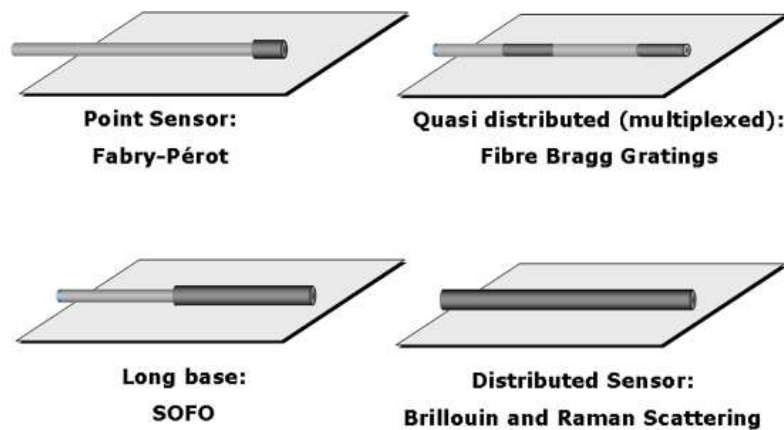


Figure 1. Fiber Optic Sensor Types

We will explain in 2 examples implementation of some of the most widely used fiber optic sensing technologies for civil structural health monitoring.

Point sensors provide strain or deformation (e.g. crack opening) at one specific location of a structure. They are therefore adapted when the location to be monitored can be easily be identified, such as an existing crack, or when the strain distribution is expected to be uniform in large areas of the structure and can be sampled anywhere. For example, a point strain sensor can measure strain in a steel beam and compare it to the design value.

Long-gauge sensors measure the deformation or average strain over a measurement basis that is comparable to the size of a structural element. They therefore provide values that are representative of the performance of a structural element as a whole, e.g. the axial load in a column or the bending moment in a beam section. Local defects such as concrete cracks or material inhomogeneity are taken into account in this averaging, but are not addressed or identified individually. For example, a long-gauge sensor can be used to calculate the load distribution among several columns in a building.

Distributed optical fiber sensing technology has opened new possibilities in structural monitoring. Distributed deformation sensors (sensing cables) are sensitive at each point of their length to strain and temperature changes. Such a sensor is therefore able to record one-dimensional strain fields and can be installed over the entire length of a large structure (levee, landslide, sinkhole area, tunnel, etc.), and therefore provides assurance for integrity monitoring and direct detection and localization of defects such as cracks, abnormal deformations or settlements. These sensors are therefore not only able to measure strain (answering the “how

much” question) but also how to localize damage areas (answering the “where” question). This makes them ideal for monitoring structures where the location of possible defects is a-priori unknown. For example a distributed sensor can detect and localize a seepage zone in a levee, the onset of a sinkhole or the formation of a crack in a tunnel liner.

### 3. SELECTED PROJECTS

This section will introduce a few projects showing an effective use of fiber optic technology for the structural health monitoring of different types of bridges, with different aims and during different phases of the structure’s lifetime.

#### 3.1 Point and Long-gauge sensing: I35W Bridge, Minneapolis

This application example is a good example of a truly integrated structural health monitoring system, combining different sensing technologies to achieve the desired level of monitoring.



**Figure 2:** *New I35W Bridge in Minneapolis*

The collapse of the old I35W Bridge in Minneapolis in 2007 shook the confidence of the public in the safety of the infrastructure that we use every day. As a result, the construction of the replacement bridge (see Figure 2) had to rebuild this confidence, by demonstrating that a high level of safety can not only be attained during construction, but also maintained throughout the projected 100-year life-span of the bridge.

One of the central factors contributing to this is the design and installation of a comprehensive structural health monitoring system, which incorporates many different types of sensors measuring parameters related to the bridge performance and ageing behavior. This system continuously gathers data and allows, through appropriate analysis, to obtain actionable data on the bridge performance and health evolution<sup>[4]</sup>. The data provided is be used for operational functions, as well as for the management of ongoing bridge maintenance, complementing and targeting the information gathered with routine inspections.



*Long-gauge SOFO fiber optic sensor*



*Vibrating Wire Strain Gauge*



*SOFO Fiber Optic Sensor Datalogger*



*Accelerometer*



*Vibrating wire and temperature sensors datalogger*

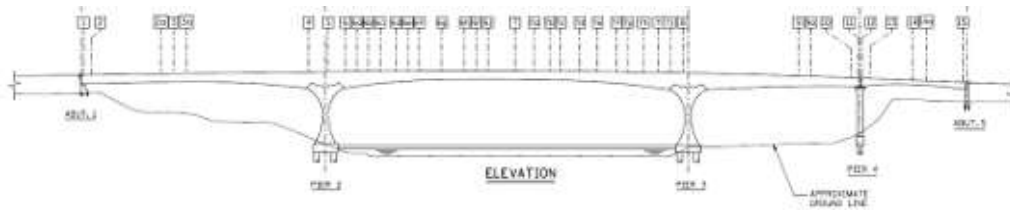
**Figure 3:** *Sensing components*

The monitoring system was designed and implemented through a close cooperation between the designer, the owner, the instrumentation supplier and University of Minnesota. The main objectives of the system were to support the construction process, record the structural behavior of the bridge, and contribute to the intelligent transportation system as well as to the bridge security. The design of the system was an integral part of the overall bridge design process allowing the SHM system to both receive and provide useful information about the bridge performance, behavior and expected lifetime evolution.

Monitoring instruments on the new St Anthony Falls Bridge measure dynamic and static parameter points to enable close behavioral monitoring during the bridge's life span. Hence, this bridge can be considered to be one of the first 'smart' bridges of this scale to be built in the United States. Strain gauges measure local static strain, local curvature and concrete creep and shrinkage; thermistors measure temperature, temperature gradient and thermal strain, while linear potentiometers measure joint movements. At the mid-spans, accelerometers are incorporated to measure traffic-induced vibrations and modal frequencies (Eigen frequencies). Corrosion sensors are installed to measure the concrete resistivity and corrosion current.

Meanwhile there are long-gauge SOFO fiber optic sensors which measure a wide range of parameters, such as average strains, strain distribution along the main span, average curvature, deformed shape, dynamic strains, dynamic deformed shape, vertical mode shapes and dynamic damping – they also detect crack formation. Some of the installed sensors are shown in Figure 3.

The sensors are located throughout the two bridges, the northbound and southbound lanes, and are in all spans. However, a denser instrumentation is installed in the southbound main span over the Mississippi river, as depicted in Figure 4. This span will therefore serve as sample to observe behaviors that are considered as similar in the other girders and spans.

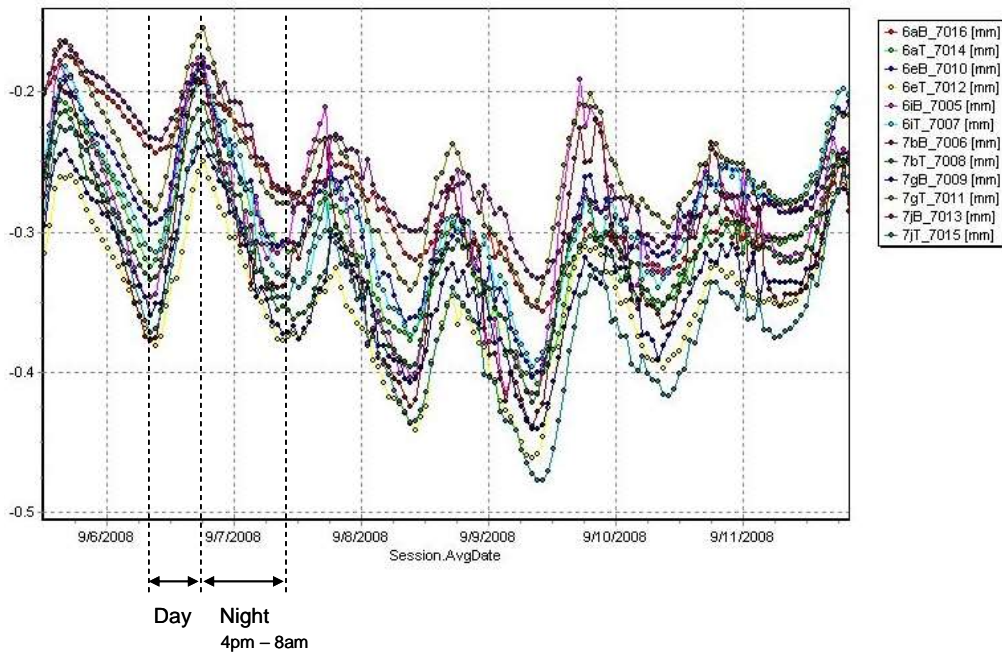


**Figure 4:** *Sensor locations*

This project is one of the first to combine very diverse technologies, including vibrating wire sensors, fiber optic sensors, corrosion sensors and concrete humidity sensors into a seamless system using a single database and user interface.

Figure 5 shows the measurements from the fiber optic sensors over a period of one week. The daily cycles due to the bridge expansion and contraction due to temperature changes are clearly visible.

A load test was performed on the bridge prior to its opening on September 18, 2008 (see figure 6). Figure 7 shows an example of the deformations recorded by the fiber optic sensors during one of the tests.



**Figure 5:** *Example of fiber optic sensor data acquired over a period of 7 days.*



Figure 6: Load Test

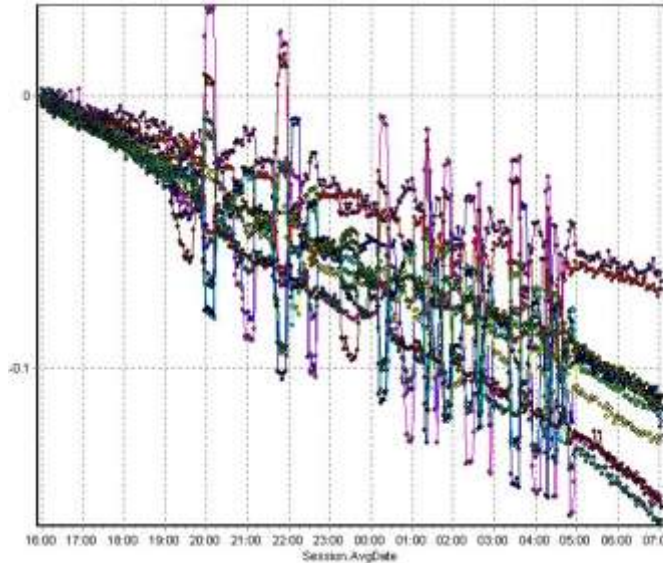


Figure 7: Data acquired on the SOFO strain sensors during the test.

### 3.2 Distributed Sensing: Bridge crack detection

Götaälvbron, the bridge over Göta River (Figure 10), was built in thirties and is now more than seventy years old. The steel girders were cracked and two issues are in cause of steel cracking: fatigue and mediocre quality of the steel. The bridge authorities repaired the bridge and decided to keep it in service for the next fifteen years, but in order to increase the safety and reduce uncertainties related to the bridge performance and integrity monitoring system has been mandatory.



Figure 10: View to nearly one kilometer long Götaälvbron Bridge.

The main issue related to selection of the monitoring system has been the total length of the girders which is for all the nine girders more than 9 km. It was therefore decided to monitor the most loaded five girders (total length of 5 km approximately) and logically a fiber optic distributed sensing system have been selected. For the first time a truly distributed fiber optic sensing system, based on Brillouin scattering effect is employed on such large scale to monitor new crack occurrence and unusual strain development<sup>[5]</sup>.

In order for system to be able to detect the cracks in every point, it was decided to glue the SMARTape to the steel girder. The crack should not damage the sensor, but create its delaminating from the bridge (otherwise



the sensor would be damaged and should be repaired). The gluing procedure was therefore established and rigorously tested in laboratory and on-site. The full performance was also tested in laboratory and on-site. In this way, it is possible to see how a secondary strain peak appears at the location of a crack. This allows the identification, localization and approximate sizing of the crack.

The installation of SMARTape sensors was challenge itself. Good treatment of surfaces was necessary and number of transversal girders had to be crossed. Limited access and working space in form of lift basket, often combined with cold and windy environment and sometimes with the night work, made the installation particularly difficult. The measurements of SMARTape are compensated for temperature using the temperature sensing cable that has also the function of bringing back the optical signal to the DiTeSt reading unit.

#### 4. SHM IN SERBIA

Implementation of proper monitoring of the large infrastructures in Serbia is very important, since there are plenty of structures that have been in exploitation for more than 40 years, having insufficient maintenance. Those structures should be first in line for the structure monitoring and control, since the accurate assessment of the safe exploitation lifetime is urgently needed.

The real traffic load monitoring was not almost at all implemented in Serbia and this is why the SHM could, in first phase, also include monitoring of real traffic, as well as other load on the structure, and then monitoring and accurate assessment of the structure elements that need urgent reparation.

Structural Health Monitoring implementation will enable significate cost saving since inevitable structure reparation can be planned and scheduled by priority and available budget, so that it is cost efficient and safe.

It is important to create **Asset Management Strategy** with Serbian Road and Construction, Authorities and Authorities relevant for flooding that will analyze and set a Strategy regarding:

- What is the priority when existing infrastructures are in question - based on assessment of status, expected lifetime, importance and potential overloading due to change of load overtime (more transport, different climate conditions, etc) and to set priority list of facilities that should be equipment for SHM monitoring in next 2-5 years
- To make a Resolution that new large and vital infrastructure Projects, that are planned for Design & Construction in next 1-5 years, should be equipped for SHM (prepare guidance or make it mandatory for vital infrastructures). Installation of SHM system on new Infrastructure Projects is more cost effective and easier to implement since there is no need to organize traffic restrictions or roads/rails closing and the installation supporting equipment is already in place (ie bridge staging used during construction).

One of the results of this Strategy should be to have clear guidance when to use SHM for existing infrastructure: ie. when repair estimates exceed 300,000 EUR or when replacement estimates exceed 2 million EUR.

#### 5. CONCLUSIONS

SHM should be used for proper asset management and timely condition assessment since it can bring following results:

– Less expensive project options:

- Rehabilitation vs. replacement
- Safe deferral of replacement
- Removal of unnecessary load restrictions

As for any engineering problem, obtaining reliable data is always the first and fundamental step towards finding a solution. Monitoring structures is our way to get quantitative data about our bridges and help us in taking informed decisions about their health and destiny. This paper has presented the choices and decisions that must be addressed to implement a fiber optic sensor-based structural health monitoring system, guiding the reader in the process of selecting the most appropriate sensing technology for the task.

## **References**

- [1] Glisic B, 2017., Presentation on SHM at Belgrade Faculty of Civil engineering, Internet of Things
- [2] Glisic B. and Inaudi D., 2007. *"Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring"*, John Wiley & Sons, Ltd,
- [3] Inaudi D., Elemari A., Vurpillot S., "Low-coherence interferometry for the monitoring of civil engineering structures", SPIE, Second European Conference on Smart Structures and Materials, Glasgow, UK, Vol. 2361, p 216-219, 1994.
- [4] Inaudi D., Bolster M., Deblois R., French C., Phipps A., Sebasky J., Western K., "Structural Health Monitoring System for the new I-35W St Anthony Falls Bridge", 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure (SHMII-4) 2009, 22-24 July 2009, Zurich, Switzerland, 2009.
- [5] Glisic B., Posenato D., Inaudi D., "Integrity monitoring of old steel bridge using fiber optic distributed sensors based on Brillouin scattering", 14th SPIE Annual Symposium on Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, San Diego (CA), USA, 6531-25, 2007.
- [6] Inaudi D., Glisic B., "Distributed Fiber Optic Sensors: Novel Tools for the Monitoring of Large Structures", Geotechnical News, Volume 25, Number 3, Pages 8-12, 2007.

# VISIBLE LIGHT COMMUNICATION AS A CANDIDATE TECHNOLOGY FOR UPCOMING INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

**Suzana Miladić-Tešić<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering*

**Marko Subotić<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> *University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering*

**Danislav Drašković<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> *The Republica Srpska Inspectorate*

**Abstract:** *The growing use of mobile devices have demanded wireless communication alternatives such as optical wireless communication, complementary to radio frequency. Development of light emitting diodes (LED) enabled visible light communications (VLC) to become an attractive solution to be integrated with intelligent transport systems. Light emitting diode as a signal transmitter is the base of VLC communications and comparing to conventional light sources has better performances in terms of energy efficiency, reliability and life-time. In this paper we present the possibilities of VLC to provide a significant contribution to the communication demands in the ITS scenario for cooperation between vehicles and road infrastructure.*

**Keywords:** *Visible light communication, LED lighting, intelligent transport systems*

## 1. INTRODUCTION

As our environment become more connected in general, intelligent transport systems (ITS) and transportation will play an ever-more important and central role in our cities, towns, suburbs, and rural communities, between regions and across borders. The transportation system as a whole can best serve vital needs when it is using technology to its fullest potential and enabling transportation system managers to effectively connect the dots of information from various factors that affect transportation operations [1]. The emergence of ITS has paved the way to new innovative prospects for improving the safety, operation, and environmental impact of transportation networks. The integration of advanced communication technologies, wireless or wired, both to the road infrastructure and to vehicles, is one of the ITS principles [2]. Therefore, the intelligent car use the equipment with modern information and communication technologies (ICT) to increase road safety, the flow of traffic, or to reduce the environmental impact of road transport. The communication systems employed need not necessarily operate in real time, but meet the needs of synchronicity and temporality correspond to each moment of interaction with a specific type of user, be it a traveler, a passenger or a driver.

Researchers from various countries have developed applications and protocols that enable communication V2V, V2I and I2V (Vehicle-to-Vehicle, Vehicle-to-Infrastructure and Infrastructure-to-Vehicle, respectively). According to the ISO 14813 standard - Intelligent Transport Systems, in its Part 1, there are 11 ITS service domains [3]. This paper is related to the information to the traveler domain. Such applications are aimed at improving the safety and comfort of the traveler (passenger and driver), by sharing information between vehicles or between vehicles and the road infrastructure, forming in a such a way a collaborative network.

An emerging technology that has gained much attention from academic, research, and standardization perspectives from the set of optical wireless communications (OWC) is a VLC technology which may be used to complement current RF systems. OWC technologies also include infrared (IR) and ultra violet (UV) communications but VLC is particularly of interest because the same visible light used for lighting is also used for communication. It is a wireless communication technology using light emitting diodes for data transmission via visible light as a transmission medium. Communication occurs by modulating the intensity of the LED light in such a way that it is undetectable to the human eyes, having no negative effect on the illumination functionality. Applications, architecture, standardization and research challenges for VLC technology are presented in [4].

The aim of this paper is to introduce the visible light communication technology for inexpensive V2V or I2V messaging and integration with ITS. The paper is organized as follows. The main properties and principles of VLC communication are presented in section 2. Section 3 introduces the possibilities of VLC integration in the intelligent transport systems scenario. Challenges of VLC commercialization are given in section 4 while section 5 concludes the paper.

---

<sup>1</sup> Suzana Miladić-Tešić, email: miladics@hotmail.com

## 2. VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

Visible light communication refers to shortrange optical wireless communication system which employs visible light for communication that occupy the spectrum from 380-750 nm corresponding to a frequency spectrum of 430-790 THz as shown in Fig. 1.

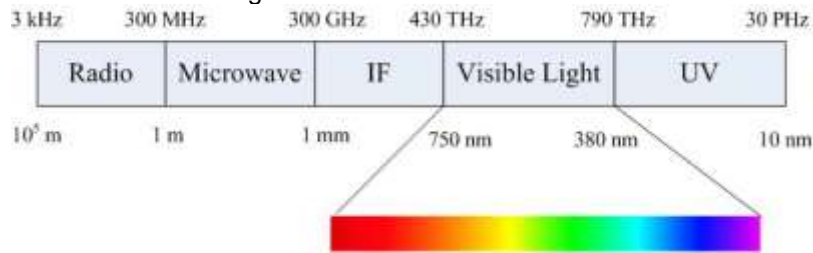


Figure 1. VLC frequency spectrum

### 2.1. VLC properties over RF

Within the electromagnetic (EM) spectrum, the radio frequency (RF) band (from 3 kHz to 300 GHz) has been the most widely used band for wireless communications purposes. The increase in the number of devices accessing mobile networks is the primary reason for the exponential growth in mobile data traffic. Along with this, the development of online social services, such as Facebook and Twitter, has further increased the mobile data traffic. The problem of congestion of radio spectrum utilized by Wi-Fi and cellular radio systems will not be overcome by conventional methods for capacity improvement [5]. Therefore, a new communication mediums and an alternative technologies are required to increase the capacity.

Compared to the radio communication system, VLC has many advantages such as: extremely broad frequency spectrum free from regulation or licensing and without restrictions on bandwidth allocation, the communication occurs point to point by means of transmitters and receivers, the components employed are easily found in the market at very competitive prices, significantly less interference and power consuming. It uses the non-regulated visible light frequency band [2]. LEDs are sustainable due to several characteristics: high power efficiency (up to 200 lm/W), long time life around 40 000 hours and low voltage. Shorter response time of LEDs plays vital role in ITS communications where delay can cost lives. LED rise time to 90 % of full output in just 60 nanoseconds as compared to 140 milliseconds of incandescent bulbs [6].

VLC has been standardized with IEEE 802.15.7 and therefore considered for V2V communications, smart lighting as well as for navigation in urban areas where GPS (Global Positioning System) signal is weak or does not exist due to the proximity of very tall buildings or tunnels. IEEE 802.15.7 supports high-data-rate visible light communication up to 96 Mb/s by fast modulation of optical light sources. Visible light source can be used both for illumination and communication, therefore saving the extra power necessary in RF communication. Also, the advantage of VLC is the possibility to be used in a variety of applications or end user segments, exploiting already existing lighting infrastructures and thus making VLC a cheap communication system, simultaneously keeping lighting while transmitting data. The system can establish unidirectional and bidirectional communication links between vehicles. VLC properties over RF are shown in Table 1.

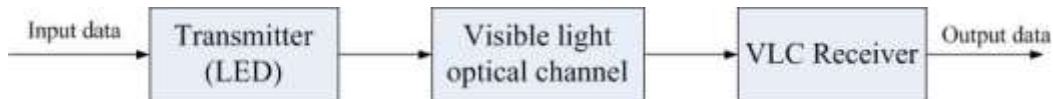
Table 1. Comparison of VLC over RF

Property	VLC	RF
Bandwidth	Unlimited	Regulated and limited
Electromagnetic interference	None	Possible
Line of sight	Required	None
Distance	Short	Short to long
Security	Good	Poor
Noise sources	Natural and artificial light	All electronic appliances, users
Power consumption	Low	Medium
Mobility	Limited	Good
Coverage	Narrow and wide	Wide

### 2.2. VLC system structure and configuration

Typical structure of VLC system (block diagram of VLC system is shown in Fig. 2) includes LED lights as a transmitter, photo-diodes (PIN or APD) or image sensors as a receiver and standard circuits for data

processing. The role of optical transmitters is to convert an electrical input signal into the corresponding optical signal. LED based VLC systems are implemented using an intensity modulation and direct detection (IM/DD) scheme with a LOS (line of sight) configuration due to its illumination purpose. The binary data are transmitted using visible light optical channel. Optical receivers are used to detect light and convert it into electrical signal. Beside PIN and APD diodes where a single signal is received, the image sensor used in a cell phone camera or digital camera can also be used as an optical receiver. The image sensor is actually an array of photodiodes where camera (receiver) continuously takes images (multiple signals) of a scene with LED light and a receiver detects the optical intensity at a pixel where the LED light is focused on. If an image sensor is used, the direction of a VLC transmitter can be detected accurately. Even if multiple visible light sources send data simultaneously, an image sensor is able to receive and demodulate all the data simultaneously without any interference between them. Types of transmitter and receiver devices in practise used for VLC are shown in Fig. 3.



**Figure 2.** Simplified VLC structure



**Figure 3.** Transmitter and receiver devices for VLC

There are three configurations of VLC links: direct line of sight (LOS) link, non directed line of sight and diffuse link. The first one (point to point) experiences lower path loss, higher data rate, longer distance but a lower mobility for the receivers. It requires a strict alignment for LOS. The second one experiences a broader coverage area (point to multipoint communication), an average data rate due to multiple signal reflections from the objects and therefore shorter distances. The diffuse link is without LOS and completely depending on reflections, therefore having the lowest data rate but a great level of mobility for the receivers. The received signal is affected with interference because a large number of reflections is received at a receiver.

### 3. VLC IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM SCENARIO

The advancement of LED enabled its application for traffic lights, street lighting as well as for the vehicle lighting system. LED lights installed in the head and rear of the cars can be used as the transmitters for establishing V2V communication such as collision warning, pedestrian detection, positioning, emergency warning by break light and a loss of control of the vehicle. Some of VLC applications in ITS scenario are given in the following.

#### 3.1. LED traffic lights as a part of VLC system

The work concerning I2V communication using VLC is mostly focused on the communication between traffic lights and vehicles (Fig. 4). In the design of traffic lights electric bulbs are replaced with LED lighting due to already mentioned advantages. Devices in this kind of lighting system can be used as transmitters where the signals are transmitted from lightening infrastructure part and the receivers are built in vehicles (I2V). LED traffic lights present RSU (Road Side Units) units and broadcast information to vehicles related to traffic conditions (without additional energy consumption), regulating traffic flows and therefore decreasing traffic crashes. The information obtained from traffic lights can be exchanged between adjacent vehicles (V2V). The information is sent by leading vehicle using stop lights.



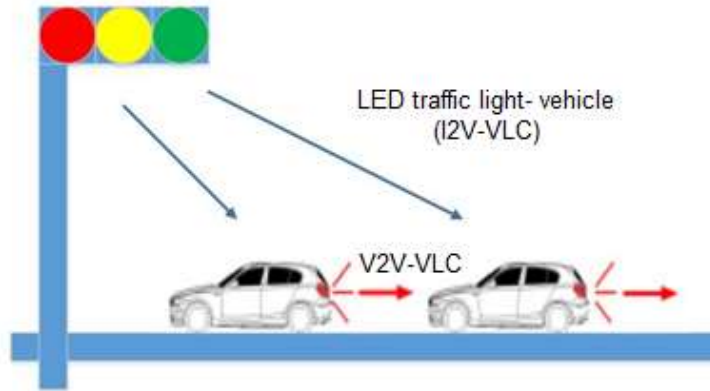


Figure 4. I2V and V2V communication with VLC

### 3.2. VLC in collision warning and crash avoidance

Combining the communication and positioning capabilities of smart automotive lighting and integrating them into the vehicle safety system, CWAS (Collision Warning and Avoidance System) is developed. For the implementation of such a system, all vehicles should be equipped with VLC transmitters and receivers. Analyzing the data obtained from all surrounding vehicles that has a direct path to it (VLC transmission is not blocked) vehicle can build a map that has the relative positions, direction of movement, as well as the speed, acceleration, brake status, heading, and so. The system might be also used for early detection of stopped and overtaking vehicles. If the probability that the projected trajectory of the observed and the vehicle detected at some point are going to be crossed, a warning to the driver is automatically sent to adapt its management to avoid an unwanted situation. The maximum required range for this system should be 150 m, the delay of packets less than 100 ms and the payload size of 53 bytes [7].

Similar system where VLC communication might be used is Lane Change Assistance/Warning including also the informations obtained from vehicles in adjacent lanes. The driver receives the warning if the lane changing is not safe in the particular moment. Warning when changing the lanes requires high accuracy of the GPS system to identify the lane in which each surrounding vehicle is traveling. That is not always possible so VLC communication is an alternative in such conditions. The requirements for this system are the maximum range of 150 m, the delay of packets less than 150 ms and the payload size of 36 bytes [7].

### 3.3. Road surface detection using VLC

The focus of VLC technology here is the detection of wet surface. The system is presented in [8] (Fig. 5) where a fog LED lamp is used to beam the road surface and the reflection is received from a photodetector placed inside headlight compartment.

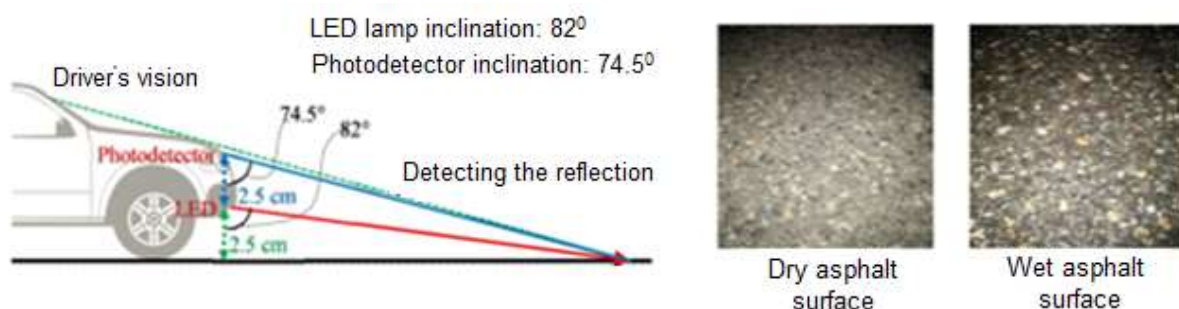


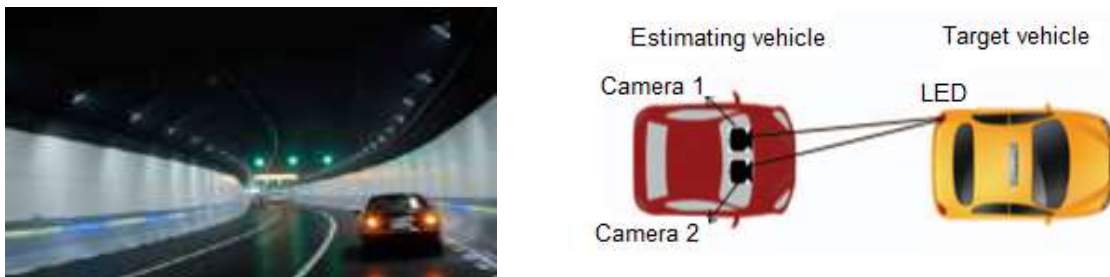
Figure 5. VLC based road surface detection [8]

The diffused reflection is affected by the water on the road surface in two phenomena: first water filled rough surface makes the road smoother, thus acting like a specular surface. This would minimize the diffused reflection. The second phenomenon is total internal reflection within the water puddle if the water level is sufficiently deep [8]. The deeper the water is, the less the diffused reflection will be. Therefore, every change in the water level of the surface can be measured.

### 3.4. Visible light positioning

The vehicle positioning using GPS has its limitation because it cannot provide the required accuracy for many safety applications and support any service in areas where a GPS signal is not available (where radio waves cannot pass) such as some urban areas, underground roads and tunnels. Since GPS system utilizes radio waves, its signal is measured with some inherent problems, such as multipath and radio interference errors [9]. This results the positioning errors with several meters; hence, it is difficult to be used in intelligent transport system for controlling and estimating the traffic flow. VLC technology is therefore used as an alternative solution because LED lighting infrastructure in the tunnel and LED tail lamp in a car have the absolute coordinates and transmits its location data using the V2V and V2I visible light communication system via an optical LED signal (Fig. 6) [9], [10].

Combining the results obtained from multiple lights, the receiver can use geometrical calculation to accurately estimate its own position with an error of tens of centimeters. The result is that positioning errors can be reduced compared to the GPS technology. This method requires the use of expensive cameras and complex image processing procedures which is still the main limitation for application of this technology. This method of position estimation has been presented in [9]. The simulation results showed that using at least three LED light sources detected by the camera sensor on the tunnel infrastructure and car tail lamps based on the image sensor with the sufficient number of pixels makes it possible to provide accurate positioning information of approximately 1 m error.



**Figure 6.** Positioning with VLC technology [9], [10]

## 4. LIMITATIONS AND CHALLENGES OF VLC COMMERCIALIZATION

Due to several limitations and challenges that need to be addressed in the future, VLC is still not expected to replace RF, but rather complement it in the context of heterogeneous networks where the best of both in ITS scenario should be used. Some technical limitations are given in the following:

- Low bandwidth for modulation limits the data rate as well as having clear LOS.
- Artificial and natural light sources create noise because of the same wavelength band. Also, VLC depends on weather conditions, so it can come to great weakness in the case of rain, snow, and especially fog.
- When the illumination level is changed, the information transmission is affected. For example, when it is necessary to adjust brightness of LEDs as time changes or during dark environments, it is also necessary to keep the transmission within acceptable performance.
- Mobility of the transmitter or receiver causes the link to be lost.

To overcome the above listed limitations, the future work on VLC should include the development of new LED materials and devices with better properties; transmitter design should be improved to find a trade off between illumination and communication and current lighting infrastructure should be upgraded to support communication. Since, VLC technology depends on lighting and communication industries, it is required a coordinated work from different manufacturers and regulatory bodies in order to bring attractive products to the market. The standardization issue which considers the integration of VLC with the existing communication standards to ensure compatibility also needs to be addressed. Some work on VLC standardization has already been done, including the IEEE 802.15.7 standard. In Japan, the standardization of VLC is done by the visible light communication consortium (VLCC) which provides a collaborative platform for researchers, universities, and industries (Panasonic, Toshiba, Samsung, Casio etc.) In Europe, the wireless world research forum (WWRF) also works on VLC technology.

#### 4. CONCLUSION

This paper introduces the possible VLC applications in ITS scenario. Integration of VLC technology with intelligent transport systems can significantly improve many spheres of traffic and transportation. Due to the presence of the vehicle lights and the existing traffic light infrastructure, this technology may be used for vehicular communication. Wider installation of LED lighting, both in infrastructure and vehicles, provides the basis for energy efficient transmission of data with low cost. The bandwidth frequency spectrum offered by visible light is larger than radio frequency, which enables achieving higher transfer rates, thereby, ensuring the accommodation of more users. With increasing mobile data traffic, there will be an increase in adoption of VLC, because of the spectrum deficiency issues in RF wireless communication.

VLC technology is still in its initial phase and significant improvements are required before its wider application in ITS. Since, the technology is still emerging, prototypes are being developed. Further advancements in optoelectronic devices/materials are expected to open up new opportunities for the application of this technology. Compared to existing RF technologies, VLC has its pros and cons. It is not expected to replace RF, but rather to consider some hybrid solutions where best of both technologies should be used. At the end, it is a great challenge to find where the place is for VLC and how to make the best use of it.

#### References

- [1] Barbaresso, J. et al. (2014). *Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS Strategic Plan 2015-2019*. U.S. Department of Transportation, Washington DC, 83 p.
- [2] Mare, R. M. et al. (2016). Intelligent transport systems and visible light communication applications: an overview. 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2101-2016.
- [3] International Standards Organization. (2007). *Intelligent transport systems- Reference model architecture(s) for the ITS sector - Part 1: ITS service domains, service groups and services*". ISO.
- [4] Khan, L. U. (2017). Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*. 3: 78-88.
- [5] Medina, K. Et al. (2015). LED based visible light communication: technology, applications and challenges- a survey. *International Journal of Advances in Engineering&Technology*. 8: 482-495.
- [6] Siddiki, K. et al. (2016). Visible light communication for V2V intelligent transport system. International Conference on Broadband Communications for Next Generation Networks and Multimedia Applications, 1-4.
- [7] Yu, S. H. et al. (2013). Smart automotive lighting for vehicle safety. *IEEE Communications Magazine*. 51: 50-59.
- [8] Cahyadi, W. et al. (2015). Efficient road surface detection using visible light communication. 7th International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 61-63.
- [9] Buyung, W.K., Sung-Yoon, J. (2016). Vehicle positioning scheme using V2V and V2I visible light communications. *IEEE 83rd Vehicular Technology Conference*, 1-5.
- [10] Tram, V. T. B., Yoo, M. (2017). Vehicle to vehicle distance estimation using camera based visible light communications. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence*, 517-519.

# INTELLIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI NA AUTOPUTEVIMA

Nikola Čelar<sup>1</sup>, Stamenka Stanković<sup>2</sup>, Jelena Kajalić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, n.celar@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Nagli porast svetske populacije, posledična urbanizacija i povećanje mobilnosti dovodi do negativnih posledica saobraćaja kroz pojavu zagušenja, povećanje vremena putovanja i broja saobraćajnih nezgoda, kao i negativnih uticaja na životnu sredinu. Savremeni pristup rešavanju ovih problema stavlja akcenat na upravljanje saobraćajnim tokovima, koji najveće efekte ostvaruje na mreži najvišeg ranga na kojoj se realizuje najveći obim saobraćaja. Razvojem tehnologije, Inteligentni Transportni Sistemi (ITS) su postali osnov i najvažniji element upravljanja saobraćajem na autoputevima. Ovaj rad daje smernice za razvoj ITS-a na autoputskoj mreži u Republici Srbiji. U radu je prikazana generalna arhitektura ITS-a na autoputevima, kao i hijerarhijska struktura i funkcije elemenata sistema. Takođe, dat je pregled standardnih aplikacija ITS-a za upravljanje na deonicama, raskrsnicama i specifičnim elementima mreže.

**Ključne reči:** Inteligentni transportni sistemi (ITS), upravljanje saobraćajem, autoput

# INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS ON HIGHWAY NETWORK

Nikola Čelar<sup>1</sup>, Stamenka Stanković<sup>2</sup>, Jelena Kajalić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, n.celar@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** The rapid increase in the global population, the resulting urbanization and the increase in mobility lead to negative consequences of traffic through the occurrence of congestion, increased travel time and the number of traffic accidents, as well as the negative impacts on the environment. Modern approach to solving these problems focuses on the traffic flow management, which greatest effects achieves on the highest rank network due to highest traffic volume. With the development of new technologies, Intelligent Transportation Systems (ITS) have become basis and the most important element of the traffic management system on highway network. This paper provides basic guidelines for development of ITS on highway network of the Republic of Serbia. The paper presents the general architecture of ITS on the highways, as well as the hierarchical structure and functions of the system elements. Also, paper provides an overview of standard ITS applications for traffic flow management on highway sections, intersections and specific network elements.

**Key words:** Intelligent Transportation Systems (ITS), traffic management, highway

## 1. UVOD

Ciljna funkcija saobraćajne infrastrukture može biti definisana kao garancija određenog kvaliteta opsluživanja korisnika saobraćajnog sistema. Ostvarivanje ovog cilja prevashodno se postiže adekvatnim planiranjem i projektovanjem saobraćajne infrastrukture na osnovu prognoziranih vrednosti saobraćajnog zahteva i željene vrednosti nivoa usluge. Međutim, nedostatak prostora i visoki troškovi izgradnje saobraćajne infrastrukture stavljaju sve veći akcenat na proces upravljanja saobraćajem, odnosno na bolje iskorišćenje kapaciteta postojeće mreže. Upravljanje saobraćajem, kao bazna disciplina saobraćajnog inženjerstva, ima za cilj prostorno i vremensko usklađivanje raspoloživog kapaciteta mreže sa merodavnim saobraćajnim zahtevom, uz zadovoljavajući nivo usluge. Najveći efekti primene upravljačkih mera, u smislu smanjenja negativnih posledica saobraćaja i ostvarivanja određenih ekonomskih ušteda i društvenih koristi, ostvaruju se na elementima mreže sa najvećim obimom saobraćaja.

---

<sup>1</sup> Nikola Čelar: n.celar@sf.bg.ac.rs

Upravljanjem saobraćajem sa jedne strane utiče se na ponudu sistema, odnosno kapacitet mreže, a sa druge strane na transportne zahteve, odnosno na obim, prostornu, vremensku i vidovnu raspodelu kretanja. Sa aspekta informacija koje se koriste u procesu upravljanja, razlikuju se dva tipa upravljanja: statičko, bazirano na istorijskim podacima i dinamičko upravljanje, zasnovano na podacima u realnom vremenu. Razvojem tehnologije i integracijom drugih naučnih disciplina u domen saobraćaja (elektronika, računarstvo, informatika, komunikacije) Inteligentni Transportni Sistemi (ITS) su postali osnova dinamičkog upravljanja saobraćajem.

Inteligentni transportni sistemi, u generalnom smislu, predstavljaju primenu savremenih tehnologija u cilju efikasnijeg, bezbednijeg i racionalnijeg kretanja ljudi i dobara svim vidovima transporta. Inteligentni transportni sistemi u upravljanju saobraćajnim tokovima zasnivaju se na primeni savremenih tehnologija i informacija u realnom vremenu, sa osnovnom funkcijom obezbeđenja operativnog upravljanja i kontrole funkcionisanja saobraćajnog sistema [12].

Autoputaska mreža, koja po svojoj funkciji, karakteru tokova i saobraćajnom opterećenju predstavlja hijerarhijski najviši nivo mreže državnih puteva, zahteva obezbeđivanje najvišeg nivoa efikasnosti i bezbednosti. Iz tog razloga primena ITS-a na autoputevima predstavlja standardno rešenje za upravljanje saobraćajnim tokovima. U tom smislu, potencijalne koristi ITS-a na mreži autoputeva su sledeće:

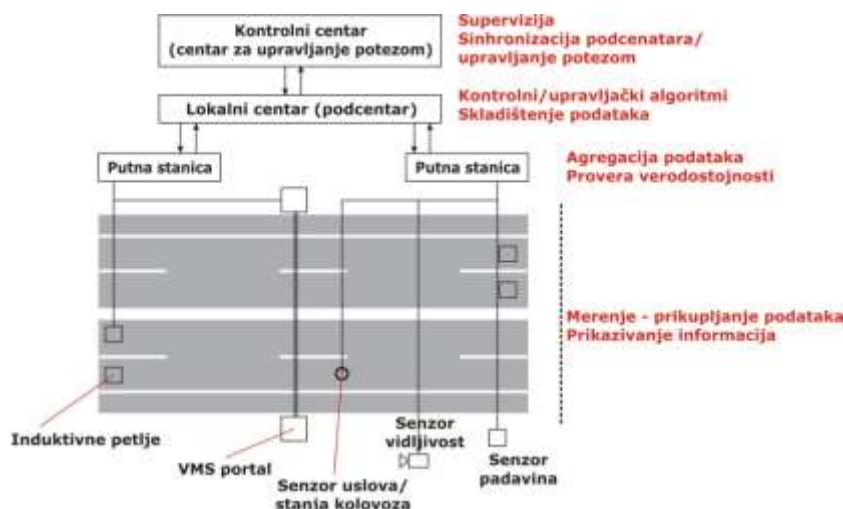
- bolje iskorišćenje postojeće saobraćajne infrastrukture;
- poboljšanje uslova u saobraćajnom toku;
- unapređenje bezbednosti saobraćaja;
- smanjenje troškova transporta;
- smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu.

## 2. GENERALNA ARHITEKTURA ITS-A NA AUTOPUTU

Jedan od osnovnih preduslova primene ITS-a u upravljanju saobraćajem je jasno definisanje arhitekture sistema. Generalno, arhitektura ITS-a se suštinski sastoji iz tri, jednako značajne komponente: funkcionalne, fizičke i organizacione [6]. Funkcionalna komponenta definiše logiku rada sistema, veze između pojedinačnih funkcija i neophodne baze podataka za njihovu operabilnost. Fizička komponenta predstavlja sve fizičke entitete i komunikacione veze koje su neophodne za realizaciju funkcija sistema. Organizaciona ili institucionalna komponenta ITS arhitekture definiše mesto, ulogu i nadležnost svih aktera, u smislu strateškog i operativnog upravljanja sistemom, održavanja, finansiranja itd.

Fizička struktura sistema upravljanja saobraćajem na autoputu je striktno hijerarhijski definisana i sastoji se od narednih elemenata (Slika 1):

- putne stanice,
- lokalni centri (podcentri),
- kontrolni centri i
- opciono, glavni upravljački centar.



Slika 1. Hijerarhijska struktura fizičke komponente ITS arhitekture na autoputevima



Putne stanice, kao hijerarhijski najniži elemenat fizičke komponente ITS arhitekture, služe za prikupljanje podataka sa senzora i detektora na lokalnom nivou (preseku), odnosno za aktivaciju izvršnih elemenata za prenošenje informacija korisnicima (izmenjiva signalizacija) [1]. Putne stanice ostvaruju dvosmernu komunikaciju, ka podcentrima, odnosno ka izvršnim elementima. U okviru ovih stanica vrši se agregacija prikupljenih podataka i bazna provera njihove verodostojnosti.

Osnovna uloga lokalnih centara je obrada i skladištenje informacija dobijenih od putnih stanica i sprovođenje upravljačkih akcija (funkcija sistema). Ovi centri imaju lokalnu jurisdikciju za upravljanje na deonici i/ili autoputskoj raskrsnici. Podcentri na osnovu definisanih upravljačkih algoritama generišu upravljačke akcije i šalju izvršne komande prema putnim stanicama. Takođe, ovi centri agregirane podatke prosleđuju kontrolnom centru.

Kontrolni centar prikuplja i obrađuje informacije dobijene od više podcentara, sinhronizuje i ukoliko je potrebno koriguje njihove upravljačke akcije. Generalna funkcija kontrolnog centra je upravljanje potezom ili putnim pravcem sa manjim brojem deonica. Takođe, u posebnim slučajevima može obavljati funkcije upravljanja na celokupnoj autoputskoj mreži.

Glavni upravljački centar predstavlja opcioni elemenat u hijerarhijskoj strukturi sistema koji ima funkciju koordinacije rada svih kontrolnih centara, odnosno upravljanja celokupnom putnom mrežom. Na narednoj slici prikazani su standardni elementi u okviru fizičke komponente sistema za upravljanje saobraćajem na autoputu sa međusobnim vezama.



Slika 2. Elementi arhitekture ITS-a na autoputevima

Upravljačke informacije se prenose korisnicima putem jasno definisanog seta izmenjive saobraćajne signalizacije. Saobraćajni znaci izmenjive saobraćajne signalizacije se dele na [2]:

- saobraćajne znake koji se odnose na saobraćajnu traku;
- saobraćajne znake koji se odnose na sve saobraćajne trake u određenom smeru kretanja;
- dopunske table.



Slika 3. Standardna izmenjiva saobraćajna signalizacija  
Izvor: RWVZ 1997 [3]

### 3. APLIKACIJE ITS-A NA AUTOPUTU

Prema prostornoj obuhvatnosti jedinstveno upravljanoj mreži, aplikacije ITS-a na autoputu se mogu svrstati u neki od četiri navedena sistema:

1. Sisteme za upravljanje na deonicama;
2. Sisteme za upravljanje na raskrscima;
3. Sisteme za upravljanje na mrežnom nivou;
4. Sisteme za upravljanje specifičnim elementima mreže (tunelima).

#### 3.1. Sistemi za upravljanje na deonici

Sistemi za upravljanje na deonici, generalno se primenjuju na deonicama sa visokim vrednostima stepena zasićenja, deonicama kritičnim sa aspekta bezbednosti saobraćaja kao i na deonicama osetljivim na vremenske uslove, odnosno na svim deonicama na kojima postoji velika (verovatnoća) frekvencija nastanka incidentnih situacija. Incidentna situacija predstavlja svaki događaj koji dovodi do nagle promene uslova u saobraćajnom toku [5]. Ona je definisana uzrokom nastanka, prostornim i vremenskim karakteristikama i efektima uticaja, odnosno posledicama na saobraćajni tok. Osnovni uzroci nastanka incidentne situacije mogu biti promena geometrijskih elemenata deonice (zatvaranje traka, uzdužni nagib, radovi na putu), naglo povećanje saobraćajnog zahteva (npr. zone petlji), heterogena struktura saobraćajnog toka, nepovoljni vremenski uslovi i nastanak saobraćajne nezgode. Svaka incidentna situacija opisana je:

- Lokacija incidentne situacije se određuje u odnosu na merno mesto (nije moguća precizna lokacija). Stoga, na verovatnoću i kvalitet detekcije incidentne situacije utiče broj mernih mesta. Drugim rečima sistem za detekciju incidentnih situacija zahteva sukcesivno postavljanje mernih mesta duž deonice (na nekom međusobnom rastojanju).
- Ozbiljnost incidentne situacije definiše se stepenom promene prosečne brzine saobraćajnog toka u određenom vremenskom intervalu i služi za klasifikovanje stepena ozbiljnosti situacije.
- Prostorni uticaj incidentne situacije predstavlja njenu osnovnu karakteristiku i definiše se brzinom širenja šok talasa na deonici.

Osnovni cilj upravljanja na deonici je sprečavanje pojave zagušenja, koja se postiže pravovremenom detekcijom incidenta. U slučaju pojave zagušenja sistem upravljanja na deonici ima za cilj smanjenje negativnih uticaja u smislu redukcije vremena trajanja i brzine širenja zagušenja.

Upravljačke funkcije u okviru ovog sistema se definišu u zavisnosti od uslova u saobraćajnom toku i vremenskih uslova, a upravljačke mere i akcije se odnose na:

- Upravljanje brzinama - harmonizacija saobraćajnog toka, sprečavanje nastanka sekundarnih incidenata, redukcija brzine širenja incidenta, maksimiziranje kapaciteta u uslovima bliskim zagušenju, redukcija brzina kretanja u nepovoljnim vremenskim uslovima
- Upravljanje režimom preticanja - sprečavanje formiranja plotuna vozila u uslovima nepovoljne strukture toka ili nepovoljnih vremenskih uslova.
- Upravljanje saobraćajnim trakama
- Upozoravanje i obaveštavanje korisnika o karakteru incidentne situacije

Algoritmi za detekciju **incidentnih situacija koje su posledica promene uslova u saobraćajnom toku**, najčešće se baziraju na osnovnim parametrima saobraćajnog toka, brzini, gustini (okupiranosti, stepenu zauzetosti detektora) i protoku [4].

U narednom delu prikazan je Kalifornija algoritam [10, 11] koji predstavlja osnovnu logiku na čijoj adaptaciji je zasnovana većina algoritama koja se danas primenjuje. Suština logike pomenutog algoritma je u poređenju stepena okupiranosti susednih detektora. U algoritmu se za detekciju incidentne situacije koriste vrednosti tri uspostavljena parametra, čijim se poređenjem sa predloženim graničnim vrednostima donosi odluka o aktivaciji i/ili deaktivaciji upravljačkih mera. U modelu figurišu naredna tri parametra:

- Apsolutna razlika zauzetosti susednih detektora - razlika između izmerene vrednosti zauzetosti sa detektora na nižoj vrednosti stacionaže ( $i$ ) u trenutku  $k$   $OCC(i,k)$  i zauzetosti na narednom detektoru ( $i+1$ ) u istom trenutku vremena  $k$   $OCC(i+1,k)$ . Dobijena razlika se poredi sa uspostavljenom graničnom vrednosti razlike  $T1$  koja ima preporučeni rang vrednosti od 0.05-0.20.

$$OCC_{aps\_diff} = OCC(i,k) - OCC(i+1,k) \quad (1)$$

- Relativna razlika zauzetosti susjednih detektora – koja predstavlja stepen razlike zauzetosti u odnosu na zauzetost na narednom detektoru. Dobijena razlika se poredi sa graničnom vrednošću  $T_2$  koja ima preporučeni rang u granicama 0.6-0.8.

$$OCC_{rel\_diff} = \frac{OCC(i,k) - OCC(i+1,k)}{OCC(i,k)} \quad (2)$$








- Promena relativne zauzetosti narednog detektora – koja je predstavljena stepenom razlike zauzetosti narednog detektora u dva vremenska preseka ( $k-m$ ) i ( $k$ ) u odnosu na njegovu zauzetost u prethodnom vremenskom preseku ( $k-m$ ). Ova vrednost se poredi sa graničnom vrednosti  $T_3$ , pri čemu su preporučene vrednosti od 0.2-0.5.

$$OCC_{diff} = \frac{OCC(i+1,k-m) - OCC(i+1,k)}{OCC(i+1,k-m)} \quad (3)$$

Prema formiranom algoritmu incidentna situacije nastaje kada su vrednosti svih parametra veće od definisane granične vrednosti. S druge strane, prestanak incidentne situacije podrazumeva situaciju u kojoj se parametar relativne razlike zauzetosti susjednih detektora ( $OCC_{rel\_diff}$ ) vraća ispod svoje granične vrednosti  $T_2$ .










Algoritmi za detekciju incidentnih situacija čiji je uzrok nastanka posledica **nepovoljnih vremenskih uslova**, koriste podatke sa meteo-stanica za donošenje različitih upravljačkih mera. Ovi algoritmi najčešće koriste granične vrednosti dva parametra, količine padavina i vidljivosti, za definisanje stepena uticaja nepovoljnih vremenskih uslova na saobraćajni tok. U narednim tabelama (Tabela 1 i 2.) date su preporučene granične vrednosti ova dva parametra za aktivaciju i deaktivaciju odgovarajućih upravljačkih mera u zavisnosti od njihovog stepena uticaja.

**Tabela 1. Granične vrednosti količine padavina**

Stepen uticaja količine padavina	Granična vrednost količine padavina za aktivaciju	Granična vrednost količine padavina za deaktivaciju	Upravljačke mere
0	0.0 mm/h	-	-
1	≥ 0.3 mm/h	< 0.2 mm/h	
2	≥ 1.2 mm/h	< 1.0 mm/h	 
3	≥ 5.0 mm/h	< 4.0 mm/h	 
4	≥ 12.0 mm/h	< 10.0 mm/h	 

Izvor: FGSV, 2002 [8]

**Tabela 2. Granične vrednosti vidljivosti**

Stepen uticaja vidljivosti	Granična vrednost vidljivosti za aktivaciju	Granična vrednost vidljivosti za deaktivaciju	Upravljačke mere
0	> 400 m	-	-
1	≤ 400 m	> 500 m	
2	≤ 250 m	> 300 m	  <b>MAGLA</b>
3	≤ 120 m	> 150 m	  <b>MAGLA</b>
4	≤ 80 m	> 100 m	  <b>7,5 t</b>
5	≤ 50 m	> 60 m	  <b>7,5 t</b>

Izvor: FGSV, 2002 [8]

Algoritmi za **detekciju zagušenja** su generalno hijerarhijski strukturirani u zavisnosti od lokacije, odnosno dela mreže na kome se detektuje zagušenje. Na taj način zagušenje može biti detektovano samo u jednoj traci, na preseku ili na deonici. U narednom delu prikazana je generalna struktura MARZ algoritma za automatsku detekciju zagušenja koja se sastoji od tri kriterijuma [7]:

- Kriterijum stepena okupiranosti – za detekciju zagušenja na nivou saobraćajne trake
- Kriterijum prognozirane brzine – za detekciju zagušenja na nivou preseka
- Kriterijum zagušenja - za detekciju zagušenja na deonici

Prema formiranom algoritmu detekcija zagušenja i aktivacija upravljačkih mera nastaje kada je ispunjen uslov makar jednog od tri navedena kriterijuma, dok je za prestanak zagušenja i deaktivaciju upravljačkih mera neophodna ispunjenost uslova za deaktivaciju po sva tri kriterijuma.

Kriterijum stepena okupiranosti pojedinačnog detektora podrazumava da se upravljačke mere aktiviraju kada stepen okupiranosti  $OCC$  na makar jednom detektoru (jednoj saobraćajnoj traci)  $i$  u trenutku  $j$ , pređe graničnu vrednost  $OCC_{congestion,ON}$ :

$$OCC(i, j) > OCC_{congestion,ON} \quad (4)$$

$$OCC_{congestion,ON} = 50\%$$

Za deaktivaciju upravljačkih mera po ovom kriterijumu neophodno je da se stepen okupiranosti  $OCC$  na svim detektorima (svim saobraćajnim trakama) preseka spusti ispod određene granične vrednosti  $OCC_{congestion,OFF}$ :

$$OCC(i, j) < OCC_{congestion,OFF} \quad (5)$$

$$OCC_{congestion,OFF} = 35\%$$

Kriterijum prognozirane brzine toka za nastanak zagušenja definisan je pravilom istovremenog postizanja granične vrednosti prosečne brzine toka i granične vrednosti protoka na preseku:

Tabela 4.

$$V(i) \leq V_{congestion,ON} \quad \text{AND} \quad Q(i) \geq Q_{congestion,ON}$$

$$V_{congestion,ON} = 35 \text{ km/h} \quad (6)$$

$$Q_{congestion,ON} = 1800 \text{ voz/h}$$

Za detekciju prestanka zagušenja i deaktivaciju upravljačkih mera koristi se samo granična vrednost prosečne brzine na preseku.

$$V(i) \geq V_{congestion,OFF} \quad (7)$$

$$V_{congestion,OFF} = 50 \text{ km/h}$$

Kriterijum zagušenja na deonici definisan je kroz poređenje uslova u saobraćajnom toku na susednim mernim mestima (presecima) na deonici. Zagušenje nastaje kada razlika u vrednostima dva parametra dostigne granične vrednosti ovih parametara, odnosno razlika u vrednostima prosečne brzine pri datoj gustini i razlika u vrednosti protoka na susednim presecima:

$$Vk_{diff} \geq Vk_{diff\_crit,ON} \quad \text{AND} \quad Q_{diff} \geq Q_{diff\_crit,ON} \quad (8)$$

Gde je parametar razlike prosečnih brzina pri trenutnoj gustini na uzastopnim presecima  $Vk_{diff}$ ,  $n$  i  $n+1$  dat narednom jednačinom:

$$Vk_{diff} = \sqrt{\left(\frac{v_{free}(n) - v(n)}{v_{free}(n)}\right)^2 + \left(\frac{D(n)}{D_{max}(n)}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{v_{free}(n+1) - v(n+1)}{v_{free}(n+1)}\right)^2 + \left(\frac{D(n+1)}{D_{max}(n+1)}\right)^2} \quad (9)$$

$v$  – brzina na preseku,

$v_{free}$  – brzina slobodnog toka,

$D$  – gustina saobraćajnog toka,

$D_{max}$  – gustina pri maksimalnom protoku.

Granične vrednosti parametra  $Q_{diff}$  i  $Vk_{diff}$  u zavisnosti su od broja saobraćajnih traka,  $i$  u slučaju da postoje dve trake one iznose 600 voz/h i 0.30 respektivno, odnosno u slučaju da postoje tri saobraćajne trake 800 voz/h i 0.40.

Preduslov za punu funkcionalnost navedenih ITS aplikacija u procesu operativnog upravljanja, podrazumeva da deonica bude adekvatno opremljena putnim stanicama, odnosno izmenjivom signalizacijom VMS (Variable Message Sign) i senzorima. Generalne preporuke su da se oprema postavlja maksimalno na 3 do 5 km u zavisnosti od dužine deonice, odnosno rastojanja između autoputskih raskrsnica.

### 3.2. Sistemi za upravljanje na autoputskim raskrsnicama

Sistemi za upravljanje na raskrsnicama uglavnom podrazumevaju primenu dve ITS aplikacije:

- upravljanje saobraćajnim trakama, i
- kontrola pristupa na autoput (Ramp Metering).

Upravljanje namenom saobraćajnih traka po pravilu se primenjuje na složenim ukrštanjima dva ili više autoputskih pravaca. Osnovni ciljevi primene ovog sistema su minimiziranje stepena konfliktnosti u zonama preplitanja i raspodela kapaciteta u odnosu na aktuelni saobraćajni zahtev. Algoritmi za upravljanje saobraćajnim trakama ne mogu se generalizovati, već zavise konkretne situacije, odnosno od geometrije ukrštanja, hijerarhije putnih pravaca i primenjene strategije upravljanja [13].



Slika 4. Sistemi za upravljanje na raskrsnicama a) upravljanje saobraćajnim trakama, b) ramp metering

Ramp Metering predstavlja sistem kontrole pristupa sa ulivnih rampi na autoput primenom svetlosnih signala. Osnovni cilj ovog sistema je održanje zahtevanog nivoa usluge na osnovnoj deonici autoputa i sprečavanje nastanka zagušenja u zoni autoputskih raskrsnica u uslovima visokog intenziteta saobraćajnih zahteva. Način sprovođenja kontrole pristupa može biti zasnovan na istorijskim podacima ili na podacima u realnom vremenu. Jedan od široko primenjivanih algoritama za kontrolu pristupa je ALINEA [9]. Suština procesa upravljanja koja je definisana ovim algoritmom svodi se na određivanje maksimalnog protoka sa ulivne rampe uz uslov očuvanja zadovoljavajućeg nivoa usluge na osnovnoj deonici autoputa.

$$Q(t) = Q(t-1) + K_R \cdot [OCC_{opt} - OCC_{out}(t)] \quad (10)$$

gde je:

$Q(t)$  – maksimalno dopustiva vrednost protoka sa ulivne rampe u trenutku  $t$  (voz/h)

$Q(t-1)$  – vrednost protoka na ulivnoj rampi u trenutku  $t-1$  (voz/h)

$K_R$  – konstantno, jedinično povećanje protoka,  $K_R = 70$  voz/h

$OCC_{opt}$  – optimalna vrednost okupiranosti detektora na osnovnoj deonici autoputa nakon ulivne rampe, preporučena vrednost 23%

$OCC_{out}$  – vrednost okupiranosti detektora na osnovnoj deonici autoputa nakon ulivne rampe u trenutku  $t$ .

### 3.3. Sistemi za upravljanje na mrežnom nivou

Upravljanje na mrežnom nivou zasniva se na dinamičkom vođenju saobraćajnih tokova na mreži primenom izmenjive putokazne signalizacije. Cilj primene ovog sistema je optimalna raspodela saobraćajnih tokova na mreži, čime se smanjuje vreme putovanja na mrežnom nivou i mogućnost nastanka zagušenja. Preduslov za primenu sistema je:

- postojanje alternativnih ruta na putnoj mreži;
- postojanje rezerve u kapacitetu na alternativnoj ruti;
- postojanje saobraćajnog zahteva koji može biti rerutiran.



Automatski sistemi za dinamičko rutiranje mogu biti zasnovani na pravilima (algoritmima) ili na modelima. U zavisnosti od konkretne arhitekture sistema, odluka o rerutiranju vozila može da se donese na osnovu narednih kriterijuma:

- kriterijum empirijski utvrđene granične vrednosti saobraćajnog opterećenja,
- kriterijum razlike vremena putovanja na osnovnoj i alternativnoj ruti, pri čemu se vreme putovanja može utvrditi na osnovu izmerenih vrednosti ili na osnovu saobraćajnog modela,
- kriterijum razlike vrednosti ciljne funkcije na osnovnoj i alternativnoj ruti. Ciljna funkcija može uključiti veći broj parametara a najčešće se koriste prognozirano vreme putovanja i potrošnja goriva.

#### 4. MOGUĆNOSTI PRIMENE ITS-A NA AUTOPUTEVIMA U SRBIJI

Potreba za uvođenjem, potencijalni efekti i ekonomska isplativost primene ITS-a na autoputevima generalno zavise od vrednosti saobraćajnog opterećenja. Funkcionisanje ITS aplikacija zasniva se na algoritmima koji koriste aktuelne vrednosti parametara saobraćajnog toka snimljenih u malim vremenskim serijama. Iz tog razloga PGDS kao makroskopska veličina, ne predstavlja pogodan parametar za definisanje potencijalnih lokacija za primenu ITS-a, već je pogodnije koristiti vrednosti maksimalnih časovnih protoka po smerovima kretanja. U cilju ispitivanja potrebe za primenom ITS-a na autoputevima u Republici Srbiji, izvršena je analiza dostignutih vrednosti maksimalnog časovnog opterećenja po smerovima na deonicama državnih puteva IA reda na osnovu dostupnih podataka sa automatskih brojača saobraćaja.

**Tabela 3. Dostignute vrednosti maksimalnog časovnog opterećenja po smerovima**

R. br.	SAOBRAĆAJNA DEONICA	Dužina deonice (km)	Smer	Maksimalan časovni protok							
				1-vi	30-ti	50-ti	100-ti	200-ti	500-ti	1 000-ti	2 000-ti
Broj puta: 1											
1	petlja Horgoš - petlja Subotica sever	12.6	Smer 1	666	543	515	462	402	304	256	211
			Smer 2	387	347	340	325	306	271	234	190
2	petlja Subotica jug - petlja Žednik	11.1	Smer 1	637	574	549	503	450	357	288	237
			Smer 2	793	680	648	588	521	432	378	322
3	petlja Bačka Topola - petlja Mali Idoš*	10.3	Smer 1	1 036	808	771	699	598	474	409	349
			Smer 2	854	613	595	564	514	428	358	307
4	petlja Nova Pazova* - petlja Novi Banovci	4.4	Smer 1	1 357	1 158	1 119	1 068	1 014	922	845	760
			Smer 2	1 348	1 153	1 113	1 058	984	892	821	744
5	petlja Batajnica - petlja Beograd	8.3	Smer 1	1 348	1 121	1 072	1 024	973	884	808	721
			Smer 2	1 269	1 041	1 012	966	917	844	775	684
6	petlja Surčin - petlja Ostružnica	9.9	Smer 1	762	679	665	630	574	489	438	381
			Smer 2	1 186	902	855	805	732	613	510	402
7	petlja Bujanj Potok* - petlja Tranšped	2.4	Smer 1	2 615	1 889	1 812	1 696	1 565	1 379	1 232	1 084
			Smer 2	2 566	2 119	1 997	1 809	1 632	1 410	1 253	1 085
8	petlja Vodanj - petlja Kolari	6.3	Smer 1	1 609	1 337	1 284	1 192	1 076	864	720	604
			Smer 2	1 455	1 324	1 257	1 170	1 057	873	729	624
9	petlja Batočina - petlja Jagodina	21.9	Smer 1	1 574	1 296	1 239	1 137	976	750	615	512
			Smer 2	1 760	1 366	1 312	1 185	1 037	785	624	501
10	petlja Pojate - petlja Ražanj	12.7	Smer 1	1 517	1 208	1 133	1 028	884	662	508	411
			Smer 2	1 512	1 267	1 151	1 045	906	678	519	407
11	petlja Aleksinac - petlja Trupale	21.1	Smer 1	1 424	1 179	1 123	1 048	908	705	568	475
			Smer 2	1 650	1 309	1 224	1 101	962	725	576	468
12	petlja Preševo - granica SRB/BJRM	6.1	Smer 1	644	473	438	397	361	294	230	178
			Smer 2	931	639	607	524	453	335	239	173
<i>Dodatak trasi puta A1 do izgradnje obilaznice Beograda u punom profilu</i>											
13	p. Beograd - petlja Bujanj Potok (Leštane)	29.5	Smer 1	2 551	2 229	2 164	2 068	1 958	1 792	1 655	1 453
			Smer 2	2 411	2 019	1 968	1 899	1 808	1 644	1 496	1 306
Broj puta: 3											
14	petlja Batrovci* - petlja Adaševci	6.6	Smer 1	726	501	485	447	398	315	250	194
			Smer 2	618	539	520	482	421	292	242	194
15	petlja Pećinci - petlja Šimanovci	14.8	Smer 1	1 072	942	888	820	747	640	563	490
			Smer 2	1 153	941	913	859	769	634	554	482
Broj puta: 4											
16	petlja Trupale - petlja Niš sever	2.5	Smer 1	983	738	696	647	599	536	481	419
			Smer 2	989	800	762	697	606	528	481	431

Izvor: JP Putevi Srbije 2016.

Na osnovu analize maksimalnih vrednosti saobraćajnog opterećenja po deonicama može se zaključiti da ne postoji potreba za sistemskim pokrivanjem celokupne autoputske mreže ITS-om. Međutim, u postupku planiranja i uvođenja ITS-a svakako je racionalnije primeniti fazni pristup, pri čemu prognozirana vrednost saobraćajnog opterećenja predstavljati jedan od osnovnih kriterijuma u postupku analize. U tom smislu, na deonicama sa najvećim saobraćajnim opterećenjem postoji najveća verovatnoća da se u nekom prognoznom periodu dostignu granične vrednosti opterećenja za primenu ITS-a. Takođe, na deonicama sa višim vrednostima saobraćajnog opterećenja veća je i verovatnoća nastanka incidentnih situacija koje posledično mogu dovesti do stvaranja zagušenja. Tabela 4. predstavlja predloženu listu prioriteta za uvođenje odgovarajućih aplikacija ITS-a za upravljanje na deonicama po kriterijumu maksimalnog časovnog opterećenja.

**Tabela 4. Lista prioriteta za uvođenje ITS-a na deonicama**

Rang deonice 30-ti sat	SAOBRAĆAJNA DEONICA
1	p. Beograd - petlja Bubanji Potok
2	petlja Bubanji Potok* - petlja Tranšped
3	petlja Batočina - petlja Jagodina
4	petlja Vodanj - petlja Kolarci
5	petlja Aleksinac - petlja Trupale
6	petlja Pojate - petlja Ražanj
7	petlja Nova Pazova* - petlja Novi Banovci
8	petlja Batajnica - petlja Beograd
9	petlja Pećinci - petlja Šimanovci
10	petlja Surčin - petlja Ostružnica
11	petlja Bačka Topola - petlja Mali Idoš*
12	petlja Trupale - petlja Niš sever
13	petlja Subotica jug - petlja Žednik
14	petlja Preševo - granica SRB/BJRM
15	petlja Horgoš - petlja Subotica sever
16	petlja Batrovci* - petlja Adaševci

Analiza potrebe za uvođenjem ITS-a na autoputskim deonicama bi trebalo da, pored primarnog kriterijuma - saobraćajnog opterećenja, uključi u razmatranje i druge faktore poput verovatnoće periodične pojave nepovoljnih vremenskih uslova na čitavoj deonici ili njenim segmentima, mogućnosti pojave zagušenja na mikrolokacijskim nivou, indikatore bezbednosti saobraćaja, itd.

Upravljanje raskrscima i upravljanje na mrežnom nivou ima smisla primeniti u složenoj strukturi autoputske mreže (velika gustina čvorova, postojanje alternativnih ruta) u uslovima visokih vrednosti saobraćajnog opterećenja, što je karakteristično za zone velikih gradova. Sa aspekta razvijenosti autoputske mreže Republike Srbije i dostignutih vrednosti PGDS-a navedeni sistemi upravljanja mogli bi se primeniti na deonici autoputa kroz Beograd i obilaznici oko Beograda i u perspektivi na ukrštanjima autoputskih pravaca.

## 5. ZAKLJUČAK

Inteligentni transportni sistemi predstavljaju savremeni pristup upravljanju saobraćajnim tokovima u cilju efikasnijeg, bezbednijeg, jeftinijeg i ekološki prihvatljivog transporta. Trend konstantnog povećanja obima daljinskog saobraćaja sve više stavlja akcenat na efikasnosti saobraćajnog procesa na mreži najvišeg ranga. U tom smislu, ITS je postao standardni elemenat sistema upravljanja na autoputevima. Sa druge strane, uspostavljanje, funkcionisanje i održavanje ITS-a zahteva velika materijalna ulaganja. Stoga, uvođenje sistema ima opravdanost na elementima mreže na kojima postoji rekurentna realizacija visokih vrednost stepena iskorišćenja kapaciteta, kada postoje izmerivi efekti funkcionisanja istog.

Analizom vrednosti saobraćajnog opterećenja na državnim putevima IA reda u Republici Srbiji konstatovano je da ne postoji potreba za sistemskim uvođenjem ITS-a na celokupnoj autoputskoj mreži. U radu autori daju smernice za sprovođenje faznog pristupa uvođenju ITS-a, u prvim koracima orijentisanog ka upravljanju

mikrolokacijama, poput tunela, delova deonica sa lošim mikroklimatskim uslovima i zona potencijalnog nastanka zagušenja.

Nerazvijenost ITS-a u Republici Srbiji, u datim okolnostima, predstavlja i vid prednosti, jer ostavlja mogućnost uspostavljanja sistema od samog početka. U tom smislu, osnovni zadatak predstavlja definisanje realno sagledive strategije razvoja ITS-a, formirane na osnovu objektivne procene stanja i perspektiva razvoja saobraćajnog sistema, sa utvrđenim prioritetima i fazama realizacije. Na osnovu strategije potrebno je formirati arhitekturu sistema na nacionalnom nivou, koristeći smernice i preporuke na nivou Evropske Unije, kako bi se obezbedila interoperabilnost sistema. Edukacija u oblasti ITS-a, u tehnološkom i u funkcionalnom smislu, predstavlja bazu za proces donošenja odluka, imajući u vidu brz napredak tehnologije i razvoj aplikacija ITS-a.

## Literatura

- [1] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen Ausgabe 2012 (TLS 2012). 2012. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Deutschland. 515 p.
- [2] Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen (RWVA). 1997. Bundesministerium für Verkehr, Verkehrsblatt-Verlag. Deutschland. 32 p.
- [3] Richtlinien für Wechselverkehrszeichen an Bundesfernstraßen (RWVZ).1997. Bundesministerium für Verkehr, Verkehrsblatt-Verlag. Deutschland. 44 p.
- [4] Busch, F.; Fellendorf, M. 1990. Automatic Incident Detection on Motorways, Traffic Engineering and Control 4(31): 221-227
- [5] Ikeda, H.; Matsuo, T.; Kaneko, Y.; Tsuji, K.; Abnormal incident detection system employing image processing technology, In Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Transportation Systems (ITS'99), Oct. 1999, pp.748–752.
- [6] Keller, H. 2004. ITS Architekturen - expose für ein Arbeitsprogramm für den FGSV AK 3.17.5
- [7] Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV-Verlag,1999
- [8] Merkblatt für die Nässeerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV-Verlag, 2002
- [9] Papageorgiou, M.; Haj-Salem, H.; Middleham, F. 1997. ALINEA local ramp metering: summary of field results. Transportation Research Record 1603, 90–98.
- [10] Payne, H.J. (1976). Development and testing of incident detection algorithms, Volume 1: summary of results. Report No. FHWA-RD-76-19, FHWA, Washington D.C.
- [11] Payne, H.J.; Helfenbein, E.D.; Knobel, H.C. (1976). Development and testing of incident detection algorithms, Volume 2: research methodology and detailed results. Report No. FHWA-RD-76-20, FHWA, Washington D.C., April 1976.
- [12] Taylor, M. (2001) Intelligent Transport System-Handbook of Transport System and Traffic Control, Pergamon Press
- [13] Traffic Management Services – Dynamic Lane Management, Deployment Guideline, TMS-DG01, Version 02-00-00, European Commission, December 2012

# METHODOLOGY FOR THE DEFINITION OF AN ITS COMMON STRATEGIC FRAMEWORK IN SOUTH EAST EUROPE

**Dusan Mladenovic<sup>1</sup>, Nedim Begovic<sup>2</sup>, Marios Domoxoudis<sup>1</sup>, Marios Miltiadou<sup>1</sup>, Ales Pavsek<sup>1</sup>, Miroslav Petrovic<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Mott MacDonald consortium "ConnecTA"

<sup>2</sup> South East Europe Transport Observatory

**Abstract:** *In the Western Balkans' region, the integration of the Comprehensive and Core Network to the Trans-European Networks is the target of a regional cooperation coordinated since 2004 by the South-East Europe Transport Observatory and the European Commission. Deployment of Intelligent Transport Systems, as per the European Union's relevant framework, is one of the soft measures identified in the framework of the "Connectivity Agenda", which is being implemented jointly by the Regional Participants and the European Commission, in the framework of the Berlin Process and the consequent Summits that followed its establishment. For this purpose, the European Commission finances the Technical Assistance for Connectivity and one of its projects is dedicated to the elaboration of a strategic framework for Intelligent Transport Systems deployment in the region, which would set the basis for further concrete actions. This paper aims to present the context and content of this project, the methodological approach, the tools used for the users' needs assessment and the impacts assessment for ITS deployment and general problems met in the region. A crucial step for the ITS deployment is for Regional Participants to establish their own frameworks, making the necessary legal reforms and adjusting to the European standards and specifications.*

**Keywords:** *Intelligent Transport Systems; South East Europe; Western Balkans; Strategic Framework*

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Project's context

The extension of the European Transport Policy and especially of the Trans-European Transport Networks (**TEN-T**) to the neighbouring countries and regions of the European Union, has always been an issue of action of the responsible Directorate Generals of the European Commission (**EC**). More intensively, after the signing of the Stabilization and Association Agreement and in view of the biggest enlargement of year 2004, the focus in the transport sector in the Western Balkans (**WB**) region towards their EU accession perspective was targeted to the extension of the TEN-T in the region and the harmonization of the legal framework with the Acquis in the transport sector, as part of the relevant negotiation chapters for accession. Currently, all WB Regional Participants (**RPs**) have the status of "candidate" or "potential candidate".

Specifically, for the development of the TEN-T extensions in the region, formerly the effort was coordinated by the Pan-European Corridors and Areas Coordination Group and respective bodies (Steering Committees and Technical Secretariats) for the development of the Pan-European Transport Corridors that had been defined at the European Conferences of Helsinki and Crete in 1994 and 1997, respectively. The South East Europe Strategic Network of 2001 constituted the precursor of the Core Network defined in 2004, and for its development a Memorandum of Understanding (**MoU**) was signed by EC and the RPs (Albania, Bosnia and Herzegovina, the former Yugoslav Republic of Macedonia, Montenegro, Serbia, Kosovo<sup>1</sup>), establishing – as for Pan-European Corridors – a Steering Committee (political body) and the South East Europe Transport Observatory (**SEETO** – technical body in support of the Steering Committee).

Gradually, following the Western Balkans Investment Framework and the Infrastructure Project Facility mechanism launching in 2009, and the Berlin Process initiated in 2014, this convergence procedure has been intensified and – apart from the large infrastructure projects preparation for financing and implementation through the Instrument for Pre-Accession, International Financial Institutions and donors – the Connectivity Agenda agreed in Vienna Summit in 2015 for the Energy and Transport Sectors is being implemented through a respective Technical Assistance financed by the EU.

---

<sup>1</sup> This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Hence, it's been a while that the cooperation is not only focused on transport infrastructure development, but additionally on "soft measures", aiming to streamlining traffic within and through the region. To this end, mobility, safety, sustainability, clean transport, Information and Communication Technologies (ICT), etc., are terms not forbidden to think of or use, as in the past.

Technical Assistance for Connectivity (**ConnectA**) is for providing support to RPs for achieving the goals set by the Vienna Summit through different sub-projects, which – for the Transport component – are supported, monitored and supervised by SEETO. Three priority transport reform measures have been agreed in Vienna and confirmed in Paris Summit, and ConnectA aims to contribute to:

- Opening of the Transport market (rail reform implementation);
- Increasing the effectiveness of border-crossing procedures; and
- Establishment of competitive, reliable and safe transport system (road safety, trade and transport facilitation, functional maintenance system and Intelligent Transport Systems (ITS) deployment on the Core Network.

For the later, and specifically for the exploitation of ICT in Transport and the deployment of technologies applicable to the different modes of transport (namely, European Railway Traffic Management System for Railways, River Information Services for Inland Waterways and Vessel Traffic Monitoring Information System for Maritime Transport) and, to promote co-modality, to their interfaces, a specific ConnectA sub-project is currently on-going, which is the subject of this paper, with specific reference to Roads.

## 1.2. Project's scope and objectives

In 2016, SEETO and the World Bank prepared a study on the status of ITS deployment in the WB. One of its most important findings was that implementation in the region is uncoordinated on regional, and in most cases on RP's level. When ITS are developed they are planned and implemented separately per mode and usually without sufficient coordination mechanism. The scope of the presented project is to confront this issue by proposing the framework for ITS and ICT applications deployment for all transport modes and their interfaces on a regional level, based on the relevant guidelines of the EU legislative framework, international standards and best practices, data exchange initiatives and in line with WB6 process.

The project is structured in a way that allows step by step implementation and monitoring. It consists of discrete objectives – activities, which involve from the very beginning the main beneficiaries, i.e. the RPs and their stakeholders. These activities are listed below:

- Identify user needs and specific objectives at RP level for all transport modes;
- Assess all the ITS components for the various transport modes (ERTMS, RIS, VTMS, e-freight etc.) and IT (tracking and tracing, interfaces modes, border authorities etc.) system needs, requirements and priority ITS services in WB region (especially the connection between the needs and requirements set by the TEN –T Guidelines, more specifically Core Network standards, as stipulated by EU Regulation 1315/2013);
- Legal approximation of regional ITS legislative acts and further recommendation for what still needs to be achieved to be in line with the EU acquis, and specifically with the ITS Directive 2010/40/EU);
- Assess the EU standards and specifications and propose equal standards and technical specifications relevant for ITS implementation in WB;
- Carry out impact assessment of the introduction of ITS and cost and benefit calculation of the introduction of ITS and ICT systems in WB, which includes rough cost and benefit estimates for infrastructure, operational and institutional establishment;
- Develop regional ITS vision and key strategic directions to ensure harmonized regional ITS development;
- Develop the regional strategic framework together with road maps and deployment plans for each RP per each transport mode;
- Guide and assist RPs in activities related to ITS (e.g. provision of capacity building).

## 2. APPROACH

In order to effectively address all aforementioned project objectives, an Inception Report was prepared at the very early stages of the project, to communicate to all stakeholders the scope and methodology of the assignment. At the same time, SEETO in collaboration with the RPs appointed Focal Contact Persons and the team structured a detailed plan of missions for discussion with stakeholders and for acquiring a series of data,



information and documents (hereinafter called for simplicity “data”). Specifically, data collection was planned through a series of templates developed and used as Questionnaires – Points of discussion, as follows:

- ITS Directive and Key-Performance Indicators for Roads and other modes of transport;
- Economics (parameters related to Transport costs and benefits, unit values)
- General ICT (communication, border crossing procedures, etc.)

Additionally, for the scope of users’ needs assessment an on-line surveying tool has been developed, aiming to expanding the outreach of the survey, i.e. to cover as wide as possible range of targeted groups of stakeholders (business, industry, academia, operators, users’ associations, etc.). The on-line questionnaire (see Chapter 3.2) was posted on the internet and on the websites of the Ministries of the RPs responsible for Transport and Infrastructure, in English and in all languages used in the region.

All questionnaires – points of discussion were disseminated to the RPs and then a series of missions followed. The scope of the missions, exactly aligned with the scope of data collection, was to discuss about the project with the stakeholders, for the users’ needs assessment and scoping, but also to serve the project’s needs at later stage by collecting information, data and documents regarding:

- Existing situation at RP level (Transport Plan provisions, Sectoral ITS strategy, etc.)
- Status of transposition of EU relevant legal framework in respective legislation (implemented – planned activities) – Awareness/ familiarity with legal requirements and gaps identification
- Status of ITS deployment (implemented – planned activities/ projects) – Awareness/ familiarity with technical standards and specifications – identification of gaps between EU and used standards
- Existing services and provisions for future services - Vision and users’ needs (stakeholders’ views – expectations, experienced and anticipated impacts, concerns, potential obstacles and expected problems)
- Bilateral-international cooperation and dependence from other RPs and other neighbouring countries (interoperability, border-crossings issues, maximization of benefits – return of investment)
- Costs and benefits (investment – maintenance and operational costs, financing potentials, environmental/ regional impacts, socioeconomic impacts (incl. employment and on workers in the sector), benefits for the market and business/ industry, benefits for the infrastructure owner/ operator and the RP at Ministerial level)

The stakeholders anticipated to discuss the above issues with during the missions included:

- the Ministries responsible for transport infrastructures and policy and Ministries responsible for border-crossings (Customs, Police, Border Guards, etc.) and communication;
- the Organisations responsible for standardisation and telecommunications;
- the Road authorities/ enterprises (infrastructure managers and operators)
- Transport and terminal operators;
- Forwarders, logistic companies, business community, end-users.

### **3. METHODOLOGY AND PRELIMINARY RESULTS**

#### **3.1. Analysis of the current situation**

##### **3.1.1 ITS deployment**

Deployment of ITS along the Corridors and Routes in the region is scarce and limited to specific newly built motorways sections and tunnels. Specifically, ITS have been introduced along the network of some RPs, mainly on sections of Corridor V and Corridor X. Local and regional traffic control centres are in operation and tunnel control centres as well. Toll payment systems and related infrastructure have been or are being upgraded, modernized for e-toll, contactless payments and fast lanes operation, whilst Variable Message Signs, Weigh-in-Motion, Meteorological Stations and automatic traffic counters have been deployed or it is planned to be.

##### **3.1.2 Relevant legislation, specification and standards**

The analysis of the existing Transport and ITS strategies and legal acts concludes that none of the RPs has an ITS strategy officially adopted. Some RPs have recently developed new Transport Strategies with dedicated chapters to ITS, but only one has adopted it. Review of the official information and documents obtained from the RPs leads to the conclusion that the WB do not have existing action plans for ITS, but some of them have useful related documents. Two RPs have drafted new Laws on public roads, where a solid base for

implementation of EU ITS Directive is present. Some elements of ITS deployment are implemented through legislative concerning Road Traffic Safety, whilst one RP has completely introduced framework for Variable Message Signalization.

Interoperability is the imperative of ITS EU-wide system. Application of CEN/CENELEC related standards is crucial for its effectiveness and efficiency. For implementation of standards as obligatory, article 8 of the 2010/40/EU Directive highlights that interoperability should be strongly supported by the provision of standards by the relevant standardisation bodies. Standards are needed, in order to address interoperability at different layers in the ITS architecture and issues of data compatibility across ITS applications and services. Application of standards ensures a coherent national ITS system and enables integration of its components into European and international systems. The relevant to ITS – CEN/TC278 – standards have been and are being adopted by the corresponding RPs’ standardization bodies, however, what is common practice in WB is that following the standards is on voluntary basis, and hence stakeholders responsible for the ITS adoption and implementation are not aware about the existence of those standards. These should be mandatory to follow and people in key positions (i.e. Ministries, Public Enterprises for Roads) should be trained/ educated on those. The previously described lack of deployment of ITS up today, provides an opportunity to quickly bridge the gap by adopting the latest standards and technological advancements in the field of ITS, since there is no friction (financial or institutional) of legacy systems.

After “screening” of the road transport strategies, action plans, and basic legal acts regarding ITS, it can be concluded that the RPs are at a low level when it comes to the existence and/ or functioning of strategic and legal framework for the implementation of Directive 2010/40/EU. All RPs have mostly or fully implemented Regulation (EC) No 561/2006 on the harmonization of certain social legislation relating to road transport, as well as Directive 2002/15/EC on the organization of the working time of persons performing road transport activities. The current situation in terms of transposing major EU ITS legal framework and an overview of current RPs’ legal acts and activities related to ITS, are summarised in the tables below.

**Table 1. Harmonisation with EU legislative framework and standards in the WB6**

<b>EU legislative framework and standards/ specifications</b>	<b>Transposition status by RPs</b>
Directive 2010/40/EU	None of the RPs has fully transposed the Directive
Regulation (EU) No 305/2013 e-Call	None of the RPs has fully transposed the Regulation
Regulation (EU) No 886/2013 on minimum safety information	None of the RPs has fully transposed the Regulation; only one RP, partially
Regulation (EU) No 885/2013 safe and secure parking	None of the RPs has fully transposed the Regulation
Regulation (EU) No 962/2015 real-time traffic information services	None of the RPs has fully transposed the Regulation
Regulation (EU) 2017/1926 multimodal information services	None of the RPs has fully transposed the Regulation
Directive 2004/52/EC on e-tolls	None of the RPs has fully transposed the Directive; only three RPs, partially
Directive 2004/54/EC tunnels safety	None of the RPs has fully transposed the Directive; only five RPs, partially
DATEX II (CEN/TS) and CEN/TC 278 Standards	Adopted, but application not made mandatory

**Table 2. Status of ITS placement in legal framework in the WB6**

<b>Policy/ Strategy documents and legal acts on RP level</b>	<b>Status on Regional level</b>
ITS Strategy	None of the RPs have one
ITS Action plan	None of the RPs have one
Law creating the ITS deployment basis	Drafted for four RPs
Transport strategy creating the ITS deployment basis	Official only for one RP – Drafted for two RPs
Traffic safety legislative framework creating the ITS deployment basis	Only exists for one RP – Partially for four RPs – not for one RP
Implemented ITS operational systems at certain segment of road infrastructure	Yes, on sections of three RPs - Under implementation on sections the other three RPs
Other legislative acts mentioning ITS components or ITS related	In all RPs

Having in mind all mentioned above and facts, the general recommendation for all RPs is to:

1. Transpose the ITS Directive
2. Adopt all CEN/TC 278 standards
3. Make the above two obligatory to follow through adopting ITS Strategy and Action plans as well as through implementation of provisions of related EU directives (supplementing 2010/40/EU).

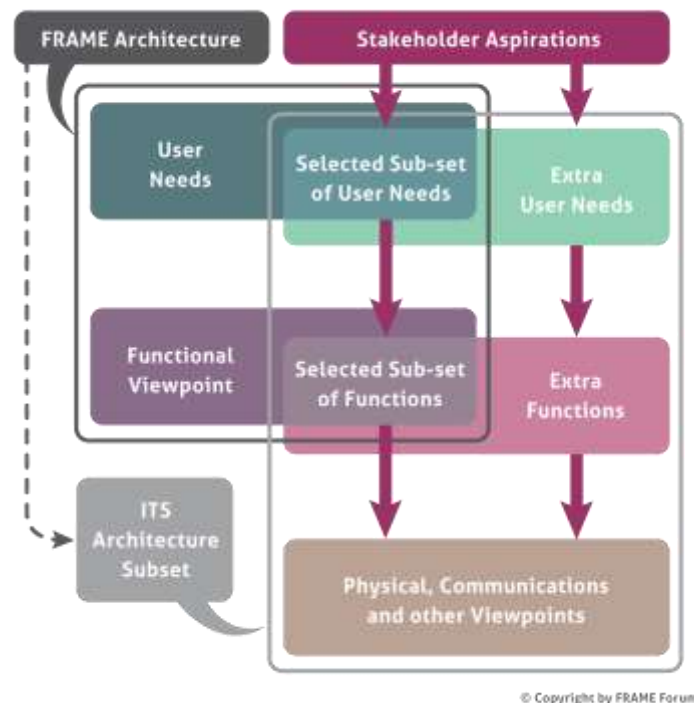
### 3.2. Towards identification of users' needs and the definition of a common vision and strategic framework

The aim of the project is to provide a strategic framework for the ITS (ERTMS, ITS, RIS, VTMS, e-freight) and IT system (e-documents, interfaces etc.) deployment in the SEE through targeted action plans for each mode and their interfaces. More precisely, it should provide a portfolio for enhancement of transport flows in the SEE region and integration of all transport modes together with the other public systems (customs, border police, etc.).

As emerged from previous analysis, most of the existing telematics applications in the region have been developed and implemented according to national norms and standards. This hampers the continuity of information services across borders, a key factor for ensuring the quality of international transport services, notably in the fast-growing segment of international freight services.

Following the recommendation of the High-Level Group on Telematics, and a resolution of the Transport Council, the European ITS Framework Architecture, colloquially known as "The FRAME Architecture", was produced by the EC funded project KAREN (1998-2000). It has been maintained and enhanced continuously since then – with cooperative systems being added by the project E-FRAME (2008-11). Clearly this architecture is a candidate for use by those who are implementing the ITS Action Plan.

Per this framework architecture, logically consistent sub-sets can be created, which then could be used on their own. The methodology is supported by computer-based tools, and begins with the wishes, or aspirations, of the various stakeholders for ITS applications and services. These are identified within the FRAME Architecture and a sub-set is selected. The sub-set is then customized to fit in the region, in which they are oriented to be deployed.



**Figure 1.** Frame Architecture and Stakeholders Aspirations  
Source: (Frame Forum)

Stakeholders' aspirations are extracted via structured dialogue using industry proven tools, to help them establish their own ITS plans, considering the current trends, EU legislation and vision to the matter.

### 3.2.1. ITS needs and vision

Mobility is a key social need and is a prerequisite for economic and social development. As mobility needs grow dynamically, it is now necessary to manage the - continually growing - transport volume in a sustainable and environmentally and socially equitable way.

Improving road safety levels, with a particular view to reducing accidents is both a strategic objective and a key regional priority.

Traffic management systems, speed control and enforcement, the use of cooperative systems, e-Call and the provision of information to drivers about potential obstacles, hazards and weather conditions, can help prevent road accidents drastically. ITS set the basis for greater advantages in the future, by reducing administrative costs, increasing productivity and competitiveness, strengthening the national economy and social cohesion, and improving quality of life. For these reasons, ITS should become a key component of the future transport policy of the region as well as on RP level.

After indicative identification of a subset of users' needs from FRAME Architecture, as a starting point of discussion with the regional stakeholders, the final list of "User Needs" has been anticipated to be determined after the "Stakeholder Aspirations" are incorporated.

### 3.2.2 Tools used for users need assessment

An electronic questionnaire has been developed, structured according to European ITS Framework (FRAME) and EU's ITS priority areas. Thus, high level ITS user needs as defined in the European ITS Framework were presented and addressed to the identified stakeholders in 8 distinct groups:

- Traffic Management and Operation Services
- Emergency Services
- Road Transport Personal Safety and Security
- Intelligent Vehicle Services
- Freight and Logistics
- Transport related Electronic Payment services
- Public Transport ITS services
- Information Services

Additionally, the respondents were given also the ability to add their own input regarding their needs under the above grouping, as well to add their own free text input regarding their perception of ITS deployment in the region they are active (based or operate) in. Moreover, in the end of the same questionnaire, they were asked to define the perceived barriers in ITS implementation.

In total, 71 responses have been received within the online questionnaire survey, representing stakeholders that are based or operate in WB6 region. 28% of them were from individuals and 72% on behalf of an organisation/ company. The analysis of their views at regional level is presented in Table 3, where under the different ITS functional areas, the most important needs and potential ITS services have been identified.

**Table 3.** *Potential ITS services per functional area according to the identified needs in WB6*

Functional Area	User Needs	Potential ITS services
Traffic Management and Operation Services	Traffic Management & Control	24/7 Traffic Control Centers ( <b>TCCs</b> ): all data gathered and information is disseminated to users.
	Incident Management	Traffic Control Centre(s) to receive incident notification and manage appropriate response to mitigate traffic problems
	Transport Infrastructure Maintenance Management	Maintain transport infrastructure assets effectively, reducing maintenance cost and mitigating impact to traffic and travel time
Emergency Services	Emergency Notification and Personal Security	Ecall Hazardous goods management
	Hazardous Materials and Incident Management	TCCs to know the location of hazardous materials
	Emergency Vehicle Management	TCCs to be able to know the location of emergency vehicles and dispatch them

**Table 3. (cont.)** *Potential ITS services per functional area according to the identified needs in WB6*

Road Transport Personal Safety and Security	Emergency Notification (accidents, eCall)	TCCs to receive information regarding an accident
	Road condition and weather notification	TCCs to have real time info regarding traffic and weather conditions
	Ghost Driver Management	TCCs to get an automated alarm when a ghost driver enters the motorway
Intelligent Vehicle Services	Advance Driver Assistance Systems	TCCs to communicate to driver vehicle traffic information
	Automated Vehicle Operation	TCCs to get information about route and operation parameters of autonomous vehicles and also post TCC's commands
	Cooperative Systems (V2V, V2I)	Vehicles to communicate to TCCs and with each other
Freight and Logistics	Positioning and Freight Tracking Services	Freight monitoring and tracking, fleet management
	Cross Border Services	Border authorities to exchange information regarding freight and support uniform paperless clearance
	Dangerous/Abnormal Freight Management	Clearance and monitoring of dangerous goods transport
Transport-related Electronic Payment Services	Electronic Road Tolling	Electronic Road Tolling Payment System
	Integration of Payment Systems	Seamless electronic toll payments regardless of the road operating authority
	Public Transport Electronic Payment	Public Transport Electronic Payment System
Public Transport ITS Services	Public Transport Management	Public Transport info dissemination
	Demand Responsive Public Transport	Demand Responsive mini buses
Information Services	Road Safety related information / incident warning	Accident and maintenance works information dissemination
	Real time traffic information services	Traffic information dissemination services
	Pre-trip travel information	Trip scheduler/planner

### 3.3 IMPACT ASSESSMENT, COSTS AND BENEFITS

It is widely accepted that ITS can significantly contribute to a cleaner, safer and more efficient transport system. They can make transport more sustainable by applying various information and communication technologies to all modes of passenger and freight transport. Moreover, the integration of existing technologies can create new services. ITS systems are key to support jobs and growth in the transport sector. In order to be effective, the roll-out of ITS needs to be coherent and properly coordinated across the sector, covering the different modes and all the RPs of the region. The cumulative impact of low utilisation rates of available infrastructure and low conversion efficiency and sub-optimal resources registered in the region has resulted in uncompetitive transport costs (in many cases cross-subsidised by inadequate environmental protection) and transport interconnections that are insufficient to support the free flow of goods and people.

Advanced ICT can greatly contribute towards co-modality by improving infrastructure, traffic and fleet management, facilitating a better tracking and tracing of goods across the transport networks and better connections between businesses and administrations. However, a number of obstacles to a more wide-spread and seamless use of ICT in freight logistics need to be overcome, including the insufficient standardisation of the respective information exchanges and market actors' disparate capabilities to use ICT. Legal requirements may also hamper the use of ICT. In addition, data security and privacy issues must be taken into account.

In the current SEE economic environment, industrial operation depends on the availability of transport, new innovative solutions and improved utilisation rates of the transport infrastructure. There is thus a need for the improvement in the quality of the available information for the transport stakeholders (ITS, tracking and tracing systems, e-documents, etc.), which would highly improve the capacity of the existing infrastructure and increase reliability and punctuality of transport. Nevertheless, beyond these anticipated wider positive impacts, the project elaborates costs and benefits estimation for the deployment of ITS in WB. The followed approach is presented in the following paragraphs.

#### 3.3.1. The transport network

The network under study is the SEETO Comprehensive Network, comprising of Corridors, Routes and nodal points (Sea- and Inland- Ports, border-crossing points), as defined by the MoU signed for the Core Network



Development in 2004 and then amended (Figure 2). The same Network coincides with the indicative extensions of the TEN-T dual layer (Core and Comprehensive) in the region.



**Figure 2.** Indicative extension of the TEN-T Road Comprehensive/ Core Network to the Western Balkans  
 Source: (Source: SEETO Multi Annual Development Plan, 2018)

Considering that it would be more interesting and have higher added-value for the stakeholders and the RPs, it is envisaged to present the results of the costs-benefits estimations per Corridor and Route. This requires the use of the segmentation of the networks as defined per RP and reported to SEETO, in order to shape-up the Corridors and Routes, but also to be able to use available datasets (lengths, traffic, terrain type, etc.) and to present disaggregated results on RP level.

### 3.3.2. Base-year data and forecasts

Regarding infrastructure data for the base year, the existing condition of the network, as well as the on-going projects (under construction or underway with secure financing) are considered. Basic characteristics of future links of the network will be used if needed, based on existing studies, as well as the future conditions as considered by REBIS Update study.

Concerning traffic data (for the estimation of the benefits), the most recent datasets have been acquired. Also, as far as traffic forecasts are concerned (where and if needed), the REBIS Update estimations for year 2030 shall be used, and not individual estimations made within project’s feasibility studies and Cost-Benefit Analyses, in order to ensure the network approach used by the REBIS modelling and forecast exercise.

### 3.3.3. Costs and Benefits estimation

Due to the strategic character of the project, and considering the scarcity of data, costs-benefits estimation is performed at a more macroscopic way, but separately per mode of transport and separately per SEETO Corridor/ Route and RP. This analysis would be based on unit costs per measure/ ITS applications and on benefits quantified in available literature and according to relevant experiences and best practices of ITS deployment in wider Europe. Regarding the costs estimation, it should be noted that it heavily depends on the

set of ITS applications to be introduced, and therefore a high variation could be expected. Therefore, the estimation should be based on a selection of a set of applications for implementation, to meet the users aspirations as presented in Table 3, for which at least sound estimations exist from similar projects implemented in Europe, including the European ITS Platform EIP+ Evaluation Group's Cost CBA Guidance, the C-ITS platform final report and the CBAs on specific ITS applications introduction in several countries in the wider South East Europe.

Elements of cost (implementation, operation, institutional) will be estimated as average unit costs in form of a range (from/ to) indicating also important factors that may influence actual costs. For instance, the existence or not of telecommunication infrastructure along Corridors/ Routes or at important nodes is a cost determining factor. This will allow beneficiaries and decision makers to get a, somehow, reasonable estimate of associated costs. Estimation of Investment/ Implementation and Operation/ Maintenance Costs for selected bundles of ITS services, based on unit costs (per km) from similar projects on segments with similar characteristics

Regarding benefits, the aim is to present a wide range of potential benefits that would emerge from a well-orchestrated strategy and plan. The following benefits have been considered for quantification:

- Operating Costs savings for cars and HGVs, based on average speeds and traffic forecasts;
- Savings in time for different trip purposes (work, commuting, other) for cars and HGVs, based on average speeds and traffic data and, if possible, assumptions for savings from smooth passage at toll stations and common crossing stations;
- Savings from travel time reduction for freight (incl. delays in delivery), based on average speeds, traffic data and average load and, if possible, assumptions for savings from smooth passage at toll stations and common crossing stations;
- Accidents reduction for different types of severity, based on anticipated road safety improvement from similar projects abroad and on actual accidents statistics;
- Avoided capital for capacity increase, based on estimation of cost of the (postponed) upgrading project;
- Environmental impacts reduction, improvement of transport management and efficiency, based on available formulas and relevant projects/ research.

From the SEETO database and additional data provided by the RPs the following data are used: Average Annual Daily Traffic (AADT), Passenger cars, HGVs, Number of passengers, Tonnage, Road safety data – number of accidents. Based on these data, the savings for which quantification is possible are due to:

- travel time savings – reduction of travel times due to better traffic management and higher speed on the corridor/route. Calculated benefit per vehicle will be multiplied by number of vehicles and unit cost per hour.
- emission savings. Main emissions used in the calculation are the CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM<sub>2,10</sub>. Emissions for passenger cars and HGVs per kilometre will be taken for EURO5 class and multiplied by vehicle kilometres, for both passenger cars and HGVs. Emissions in tonnes will be multiplied by values taken from the Handbook on estimation of external costs in the transport sector. The values will be adapted using the Purchase Power Parity Index, if needed.
- accidents reduction. Since ITS implementation affects the reduction of accidents (fatality, heavy injuries, light injuries), there will be also accidents savings caused by implementing the ITS. The calculation will be based on anticipated road safety improvement from similar projects abroad (decrease in percent) and on available accidents statistics. Decrease of fatality, heavy injuries, light injuries will be multiplied by values of accidents, taken from the REBIS Update.

#### **4. CONCLUSIONS – DISCUSSION**

ITS deployment in the region is in its infancy. This can be considered as an advantage, because RPs can avoid friction of legacy systems and easily build a state of the art ITS Architectures, based on a regional one. Prerequisite for the above is the dissemination of the ITS benefits to stakeholders and the general public. This was identified as one of the regional barriers of ITS implementation. The three most significant identified barriers are availability of financing, lack of relevant legislation and unclear anticipated benefits. Thus, the most crucial step is to overcome those barriers. The two main challenges that the WB have to face towards a regional ITS implementation are changes in institutional level in order to abolish different and contradicting legislation, by adopting EU's ITS guidelines and standards and the promotion of best practices is to overcome those barriers.

Understanding the needs, as well as the existing (or perceived) barriers, is the first step towards the definition of a common vision and strategy for the region. Common problems produce common needs. This is obvious from the stakeholders' feedback, where there is mostly homogeneity in the ITS needs per RP. EU provides all the necessary tools to achieve a WB common regional ITS Architecture and goals.

EU has already developed a European ITS Framework Architecture (FRAME). FRAME provides a reference for the terminology, a decomposition of an ITS system and a methodology to build new ITS architectures. These aspects are used to allow harmonization with national ITS architectures. FRAME does not define technology, thus enabling the freedom to apply it in order to implement different ITS systems that use different technological solutions. Its distinctive characteristic is that it contains more than one way of performing a service, thus it enables the user to select the most appropriate set of functionalities.

Building a common regional ITS Strategy will help the RPs to build their one harmonized ITS Architecture. Having an ITS Architecture on RP level provides specifications that enable:

- Compatibility of information delivered to end users through different media;
- Compatibility of equipment with infrastructures, thus enabling seamless travel across Europe;
- A basis for national and/or regional authorities to produce master plans and recommendations to facilitate ITS deployment;
- An open market for services and equipment where compatible subsystems are offered (no more ad-hoc solutions);
- A known marketplace into which producers can supply products with reduced financial risk.

It is essential for all RPs to establish the communication and cooperation between different ministries with expertise in different fields of ITS deployment (Ministries competent for Infrastructure, Transport, Communications, Environment, Regional Affairs, Interior Affairs, Innovation, Economy, Economic Development and Research). This communication and cooperation should be more than declarative and to be obligatory. Regarding that end-users of ITS are participants in traffic, road maintenance companies, traffic safety competent authorities and transport operators, the lead should be given to ministry competent for transport. In order to reach effectiveness and boost ITS deployment it is recommended to use positive political will and establish sound frameworks on regional and RP level; in this regard, through signing, ratifying and fulfilling the commitments to the Transport Community Treaty (referring to Annex I.3 Rules Applicable to Road Transport – Regulatory Area: Intelligent Transport Systems).

Moreover, establishing of ITS bodies per RP through relevant legislation, which will gather and enforce the mentioned inter-disciplinary cooperation, coordinate legislative acts, projects and other ITS-related activities of competent authorities and other stakeholders, is recommended. Therefore, improvement of knowledge on ITS is also needed. Capacity building is one important precondition for ITS deployment, not only for competent authorities, but for wider society and industry, showing the benefits of ITS and aiming to establish regionally interoperable ITS and services applicable within the entire WB region.

The major milestones and goals in process of creating the framework for ITS deployment are to:

- to fully transpose EU ITS Directive: all RPs have to fully transpose it;
- to include special ITS provisions in RPs Transport Development Strategies;
- to develop and adopt ITS Strategies and Action Plans;
- to adopt – publish CEN/TC278 standards and make their use mandatory;
- to include provisions for ITS in the Laws related to Public Roads and Traffic Safety.

Overall:

Implementation of the ITS in this region is not coordinated on a regional level and in most cases not even on a RP level. Currently, in every RP, ITS and IT systems are developed for every mode separately, usually with insufficient coordination. The project addresses this issue and would propose the framework for ITS and IT system deployment for all transport modes and their interfaces on a regional level as well as the introduction of e-documents, based on the guidelines of the European Union's Directives dealing with ITS, EU legislation and standards, latest electronic data exchange initiatives and the WB6 process. Furthermore, after the impacts assessment and costs-benefits estimation, the project would deliver a common vision and strategic framework, providing a regional roadmap and roadmaps per RP for future implementation of the ITS and relevant IT systems in the region, according to the EU rules and taking into account the particularities and different starting point of the RPs, the existing legal framework and necessary reforms, as well as the already implemented systems.

## Acknowledgements – Disclaimer

Connectivity Technical Assistance is financed by European Commission Directorate General Neighbourhood and Enlargement Negotiations. The views expressed in the paper are those of the authors and do not reflect the official views of the European Commission neither of any other institution, any Regional Participant or any other party involved in the project's financing, implementation or monitoring.

## References

- [1] Begovic N., Domoxoudis M., Liberopoulos E., Marjanovic U., Miltiadou M., Mladenovic D., Ostojic Z., Pavsek A., Petrovic M. and Rados B., "Intelligent Transport Systems in South East Europe: Towards a Common Strategic Framework for implementation", (full paper submitted – under review), 5<sup>th</sup> International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2018, Zadar 17-19 May 2018.
- [2] Bělinová Z., Bureš P. and Jesty P., "Intelligent Transport System Architecture Different Approaches and Future Trends", Data and Mobility. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 81. pp. 115-125, 2010.
- [3] C-ITS Platform, Final Report, 2016.
- [4] Datex II standard, <http://www.datex.eu>.
- [5] Easyway TEN-T ITS Deployment Guideline, <https://dg.its-platform.eu>.
- [6] EIP+ Evaluation Group, "Cost Benefit Analysis Guidance", 2015.
- [7] EU Funded Project ERTICO – ITS EUROPE, <http://erticonetwork.com>.
- [8] European Commission, COM (2008) 886; Action Plan for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe.
- [9] European Commission, COM (2011) 144: WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system.
- [10] Ricardo Energy and Environment – Trasporti e Territorio srl, "Study on the Deployment of C-ITS in Europe", Evaluation Studies in the Field of Transport MOVE/A3/119-2013-Lot № 5 "Horizontal", 2016.
- [11] European Community, Directive 2004/52/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the interoperability of electronic road toll systems in the Community.
- [12] European Union, Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport.
- [13] European Union, Regulation (EU) No 1315/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network and repealing Decision No 661/2010/EU.
- [14] European Union: Treaty establishing the Transport Community, OJ L 278/3 27.10.2017.
- [15] FRAME Forum, European ITS Framework Architecture, <http://frame-online.eu>.
- [16] International Bank for Reconstruction and Development, "The Regional Balkans Infrastructure Study (REBIS) Update – Enhancing Regional Connectivity – Identifying Impediments and Priority Remedies", 2015.
- [17] ITS standards, <http://www.itsstandards.eu> - CEN TC 278 Standards.
- [18] Sadek A.W., Chamberlin R. and Keating P.R., "Use of the National Architecture to develop an intelligent transportation system strategic plan", Transportation Research Record, vol. 1774, pp 71-79, 2001.
- [19] South East Europe Transport Observatory and World Bank, "Assessment of ITS deployment on Indicative Extension to the TEN-T Core Network in the Western Balkans", 2016.
- [20] South East Europe Transport Observatory, "Multi Annual Development Plan – Common Problems, Shared Solutions", 2018.
- [21] U.S. Department of Transportation, "Intelligent transportation systems benefits, costs, deployment, and lessons learned Desk Reference: 2011 update", Research and Innovative Technology Administration, Final Rep. FHWA-JPO-11-140, 2011.
- [22] Vahidi H. and Sayed T., "Using the Canadian ITS architecture for evaluating the safety benefits of intelligent transportation systems", Canadian J. Civil Eng., vol. 50, no. 66, pp 970-980, 2005.

# СТРАТЕГИЈА РАЗВОЈА НАПЛАТЕ ПУТАРИНЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

**Проф. др Драженко Главич, дипл. инж. саобр.**

*Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, drazen@sf.bg.ac.rs*

**Резиме:** Питање технологије путарине, система путарине, нивоа цена, динамичког, статичког, еколошког тарифирања су веома актуална у Европи као и код нас. Важност путарине као теме се огледа у томе што се о њој расправља у Европском парламенту и доносе одлуке на нивоу целе Европе. У Србији се уназад пар година такође интензивно воде стручне али и нестручне расправе по овоме питању. Водећи рачуна о озбиљности и важности теме, као и водећи рачуна да се ради о одлукама које имају далекосежне финансијске и друштвене последице на управљача пута, као и на кориснике аутопутне мреже, рад ће дати правце развоја путарине у Србији. У раду ће бити обрађено питање путарине у циљу проналажења оптималног система за наплату путарине у наредном периоду.

**Кључне речи:** *Стратегија развоја, путарина, технологија, тарифирање, ниво услуге корисника*

## STRATEGY FOR TOLLING DEVELOPMENT IN THE REPUBLIC OF SERBIA

**Draženko Glavić, Ph.D. TE**

*Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade drazen@sf.bg.ac.rs*

**Summary:** The issue of tolling technology, tolling system, price level, dynamic, static, ecological tariffs is actual in Europe and in our country. The importance of tolling is that this issue is being discussed in the European Parliament and decision will be applied on the whole of Europe. In Serbia, this discussion is continuous for several years among professionals. Considering the significance and importance of the topic, as well as taking into account the decisions that have far reaching financial and social consequences, this paper will present directions for tolling development in Serbia. The paper will analyze tolling systems in order to find an optimal toll collecting system for the following period.

**Key words:** Development strategy, toll, technology, pricing, level of service.

### 1. УВОД

Наплата путарине је процес чије је почетке тешко утврдити јер је он стар више од неколико миленијума. Из историјских анала је познато да су још Етрурци и стари Грци имали наплату путарине и мостарине неколико стотина година пре нове ере, а да су Римљани развили, институционализовали и релативно ефикасно операционализовали наплату путарине и мостарине у својој империји. Стари Римљани су имали прописане тарифе за сваку провинцију као и веома прецизно дефинисану расподелу прихода од путарине између централних власти у Риму и власти у провинцијама. Из овог периода познате су и злоупотребе везане за наплату путарине, нарочито из периода Јулија Цезара када је римски сенат неколико пута о овом проблему расправљао. Савремена наплата путарине датира из прошлог века и везана је за изградњу и експлоатацију аутопутева. Почела је да се примењује прво у САД, а веома брзо потом и у Европи.

Наплата путарине је економска нужност одрживости аутопутске мреже. Буџети влада више нису у стању да издрже напор финансирања изградње и експлоатације великих инфраструктурних објеката какви су аутопутеви. Због тога је у последњих двадесетак година прокламована политика дерегулације инфраструктурних система, што је довело до приватизације аутопутева у великом броју земаља и масовног увођења наплате путарине и на оним аутопутевима на којима она до тада није постојала.

Изграђени аутопутеви представљају велико национално богатство. Њихова вредност у економском смислу далеко превазилази инвестициона улагања, јер су аутопутеви свуда у свету били један од моторних фактора економског развоја региона кроз који су пролазили. Она је један од услова за сигуран повраћај уложених средстава, који захтевају инвеститори, финансијери изградње аутопутева.



Истовремено, владама тих земаља ово је најједноставнији начин за обезбеђење средстава за повраћај кредита, нарочито међународним финансијским институцијама, без потребе увођења додатних фискалних оптерећења грађана.

Наплата путарине у последњих десетак година постала је технолошки интензивна област. Брз продор нових информационих технологија обезбедио је технолошку савременост наплатних система, нарочито наплатних система без заустављања. Тако је наплата путарине у многим европским земљама постала један од важних моторних фактора развоја информационих технологија у саобраћају, обезбеђујући нову област привредне активности, светску конкурентност и значајну иновативност у овој области.

Наплата путарине је комплексан подухват. Поред несумљивог значаја који има технолошки фактор, организациони аспекти наплате путарине су од веома великог значаја. Поред наведена два основна услова за добро обављање наплате путарине неопходан је и одговарајући маркетиншки напор како би се што више возача привукло да користе аутопутеве под наплатом. У том циљу сви велики европски управљачи путева и концесионари имају веома развијену маркетиншку службу и читав низ акција које перманентно спроводе у циљу повећања атрактивности аутопутева. Пратећи сервиси у значајној мери утичу на атрактивност аутопута.

Наплата надокнаде за коришћење путева у свету, организована је на један од следећа четири начина:

**Директно** - наплатом посебне надокнаде од непосредног корисника аутопута, моста или тунела,

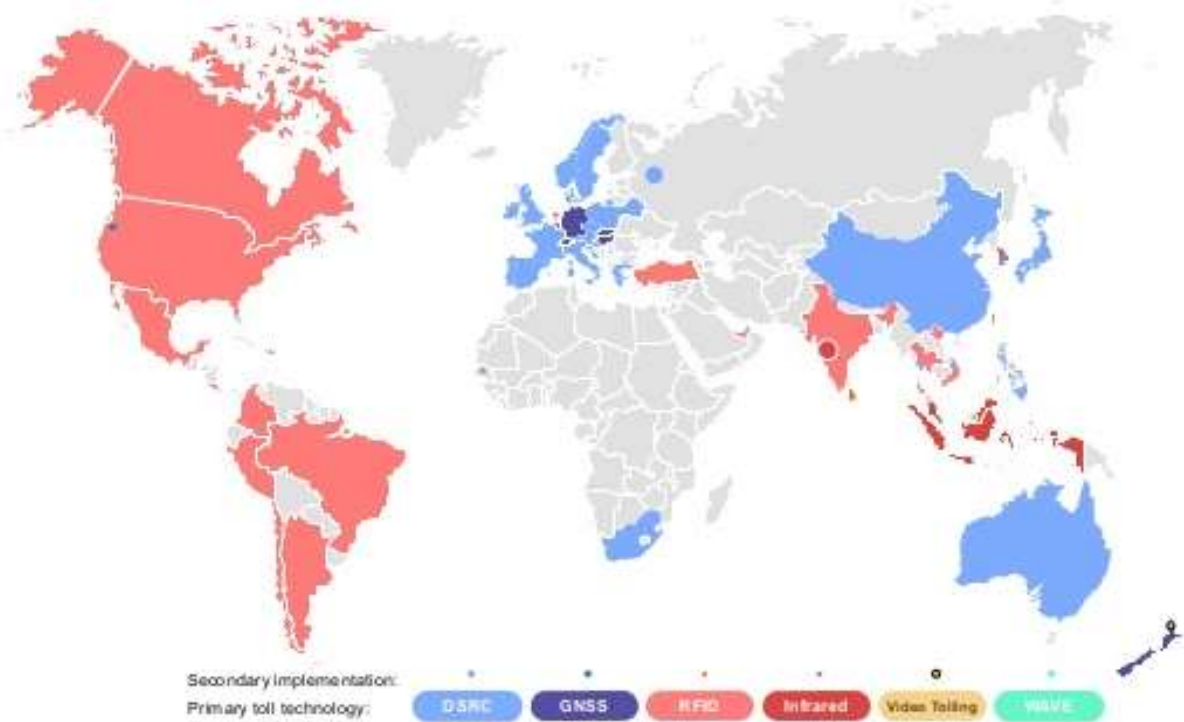
**Индиректно** - наплатом приликом уласка страних возила у земљу на самом граничном прелазу,

**Посредно** - додатним опорезивањем моторног горива, или

**Паушално** - наплатом такси приликом регистрације возила.

## 2. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋИХ ТЕХНОЛОГИЈА НАПЛАТЕ ПУТАРИНЕ

У оквиру овог поглавља дат је детаљан приказ система за наплату путарине који се данас користе у свету. Наведени системи укључују следеће: мануелни систем, аутоматски уређај на новчанице (ACM), вињете, наменску кратког домета комуникацију са баријерама (DSRC with barriers), наменску кратког домета комуникацију са вишетрачним слободним протоком (DSRC MLFF), систем заснован на баркоду (Barcode based), систем заснован на идентификацији путем радио фреквенције са баријерама (RFID with barriers), систем заснован на идентификацији путем радио фреквенције са слободним вишетрачним протоком (RFID ORT), глобални навигациони сателитски систем/мобилна мрежа или систем за позиционирање возила (GNSS/CN или VPS), систем заснован на аутоматском препознавању регистарске ознаке возила (ANPR), систем заснован на инфрацрвеној технологији (Infrared), систем заснован на тахографу (Tachograph based), систем заснован на паметним картицама (Smart card) и систем заснован на паметним телефонима (Smartphones).



Слика 1. Технологије наплате путарине у свету (Извор: Ptolemus ETC global study)

Свака од технологија проузрокује одређени ниво услуге који корисници искусе коришћењем исте, затим свака технологија има различит утицај на околину, укључујући и чињеницу да све технологије имају различити ниво безбедности. Имајући претходно у виду све технологије можемо сврстати у три групе и то:

1. Технологије које захтевају заустављање.
2. Технологије које подразумевају промену брзине.
3. Технологије које не захтевају промену брзине

Свака од технологија има различите еколошке, саобраћајне, безбедносне и економске параметре. Аспекти са којих је могуће анализирати система за наплату путарине су:

1. Анализа са еколошког аспекта
2. Анализа са аспекта безбедности саобраћаја
3. Анализа са аспекта нивоа услуге
4. Анализа са друштвено економског аспекта

Наведене анализе за потребе обог рада су обједињене кроз SWOT анализу технологија путарине, које је да та у наредној табели.

Табела 1. SWOT анализа за Мануелни систем наплате путарине

Систем наплате путарине	Предности	Недостаци	Могућности	Ризици
<b>Мануелни систем наплате путарине</b>	Помоћни систем за кориснике који немају ТАГ; Корисници немају додатне трошкове	Низак ниво услуге; Дуги редови; Високи оперативни трошкови; Повећана емисија; Ризик по здравље и безбедност службе за наплату путарине	-	Могућност злоупотребе
<b>Аутомати за плаћање путарине</b>	Додатна опција на наплатним кућицама	Заустављање, мале вредности новчића	-	Не постоји тачан износ кованица
<b>Вињете</b>	Стимулисање свакодневних корисника да користе аутопут; Смањење буке; Смањење загађења ваздуха; Уштеде у инфраструктурним трошковима	Могућност примене; Није фер наплата за стране и повремене кориснике; Бројне налепнице на ветробранском стаклу визуелно нарушавају возила; Високи трошкови контроле; Проблеми у контролисању свих возила	Привремена наплата; Додатан систем за наплату путарине за одређене категорије возила	Прихватљивост од стране шире популације возача; Честа контрола возача; Значајно скупљи систем за повремене кориснике; Није интероперабилан
<b>DSRC са баријерама</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања; Смањење VOC; Смањење TTC; Смањена деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Велики број DSRC OBU тренутно у функцији	Неефикасан за повремене кориснике без OBU; Високи капитални трошкови и трошкови одржавања инфраструктуре за наплату путарине; Тешко је модификовати мрежу са наплатом која је једном имплементирана	Једноставан прелазак са постојећег мануелног система на ETC; Могућност пружања/подршке другим додатним услугама преко OBU; Интероперабилност	Низак % корисника са OBU
<b>DSRC-MLFF</b>	Плаћање без смањења брзине; Без временских губитака; Без повећања VOC и TTC; Повећан ниво безбедности саобраћаја; Минимална деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Велика поузданост и мале сметње у сигналу; Велики број DSRC OBU који се тренутно користе; Једноставан за коришћење	Неефикасан за повремене кориснике без OBU уређаја; Високи трошкови контроле; Тешкоће у контроли возила без OBU; Неодносно инсталирања инфраструктуре дуж пута (портала); Високи капитални трошкови и трошкови одржавања инфраструктуре наплате путарине; Тешко је модификовати мрежу са наплатом која је једном имплементирана	Технологија која се све чешће користи; Ефикасна за возаче и службу за наплату путарине; Пружа могућност коришћења у друге сврхе путем OBU; Интероперабилност	Избегавање плаћања путарине; Мање профитабилан на путевима са малим интензитетом саобраћаја
<b>БАР-код и QP код</b>	Технологија која не захтева сложен систем; Плаћање у складу са пређеним километрима	Непоуздан; Мање поуздан током лоших временских прилика; Недостатак флексибилности; Низак степен читавања података; Низак комфор путника	-	Крађа бар-код налепнице
<b>RFID са баријерама</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања; Смањење VOC; Смањење TTC; Мање нарушавање животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висока стопа читавања података	Проблем мешања са фреквенцијама других уређаја; Неефикасан за повремене кориснике без OBU	Технологија која се све чешће користи; Ефикасна за возаче и службу за наплату путарине; Ниска цена RFID sticker/OBU	Угао уградње и компатибилности игра значајну улогу у поузданости и тачности ових система

<b>RFID ORT</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања; Смањење VOC; Смањење TTC; Мање нарушавање животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висок степен читавања података	Високи оперативни и капитални трошкови; Проблем мешања са фреквенцијама других уређаја; Неефикасан за повремени кориснике без OBU	Технологија која се све чешће користи; Ефикасна за возаче и службу за наплату путарине; Ниска цена RFID стикера/OBU	Угао уградње и компатибилности игра значајну улогу у поузданости и тачности ових система
<b>GNSS/CN</b>	Плаћање без заустављања; Плаћање без смањења брзине; Без временских губитака и чекања у реду; Без повећања VOC и TTC; Минимално нарушавање животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Повећање безбедности саобраћаја; Флексибилност у смислу дефинисања и модификовања шта ће се и на који начин наплаћивати; Када се једном инсталира, трошкови одржавања су мањи; Лако се може проширити на друге путеве и регионе	Приватност кретања корисника; Високи оперативни и капитални трошкови; Неефикасан за повремени кориснике без OBU; Високи трошкови контроле; Мање коришћена и зрела технологија у односу на остале технологије; Грешке тачности на одређеним деоницама мреже под наплатом путарине као што су паралелни путеви са слободним режимом коришћења и раскрснице; Неопходно је инсталирати додатну опрему у околини пута	Навођење руте; Повећана свеукупна сигурност и безбедност учесника у саобраћају; Способност пружања/подршке другим услугама путем OBU уређеја; Подаци о саобраћају, контрола брзине	Потреба за потпуном покривеношћу целокупне територије под наплатом путарине мрежом мобилне телефоније која омогућава пренос података. Интероперабилност; Стицање (Придобиање) подршке јавности у погледу политике приватности кретања
<b>ANPR</b>	Плаћање без заустављања; Нема чекања у реду; Смањење VOC; Смањење TTC; Мање нарушавање животне средине; Без OBU; Може да пружи уштеде у трошковима за аутоматску обраду података; Најуспешнија када се комбинује са другим технологијама; Без ограничења у погледу брзина возила	Захтева добар квалитет регистарских ознака; (Подложна) Под утицајем лошег осветљења и временских прилика; Неопходан је приступ подацима о возилима из базе података о страним возилима; Трошкови мануелне провере могу повећати оперативне трошкове; Погодна као подршка релативно једноставних политика наплате	Континуирано побољшање у квалитету видео камера; Увек је потребна за контролу; Повећава свеукупну сигурност	Кређе (малверзације) и избегавање плаћања путарине; Недостатак стандардизације регистарских ознака; Ручна верификација потребна за потпуну ефикасност
<b>Infrared</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања у реду; Смањење VOC; Смањење TTC; Мање нарушавање животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висока стопа читавања података; Висока поузданост; Тачан при свим временским условима	Проблем мешања са другим сигналимa; Високи оперативни и капитални трошкови	Једноставна промена од постојеће мануелне до infrared система	Проблем мешања сигнала са фреквенцијама других уређаја; Недостатак интероперабилности
<b>Тахограф</b>	Одсуство приватности и проблеми заштите података; Инвестирање у инфраструктуру за наплату путарине је релативно независно од мреже под наплатом у оквиру одређеног подручја; Ниски трошкови наплате путарине; Одржавање инфраструктуре за наплату путарине је ограничено на прекограничне контролне станице	Ограниченост у дефинисању и модификацији онога што ће се и на који начин наплаћивати у оквиру подручја под наплатом; Мала тачност технологије наплате путарине ( $\pm 4\%$ ); Сложен и скуп OBU; Без интероперабилности; Високи почетни трошкови прекограничних контролних станица; Ретко коришћена технологија	-	Додатне услуге локације се не могу пружити преко OBU-а; Без могућности интероперабилности
<b>Smart card</b>	Смањено време чекања у реду; Мало смањење VOC; и TTC	Плаћање са заустављањем; Поузданост	Смањен број радника у оквиру службе за наплату путарине	Недовољан број Smart card корисника; Застарела технологија
<b>Smartphones</b>	Мала улагања у физичку инфраструктуру Није потребан уређај у возилу или скупа инфраструктура за контролу; Једноставан за коришћење; Интероперабилан са другим технологијама за наплату путарине; Мали трошкови одржавања	Трајање батерије уређаја; Покривеност сигналом; Нема доказаних података о тачности, Тренутно нема стандарда	Постоји могућност да се интегрише плаћање путарине са другим корисничким услугама; Интероперабилност	Проблеми заштите података у вези са мобилном мрежом која се користи за праћење локације корисника

### 3. АНАЛИЗА НАПЛАТЕ ПУТАРИНЕ У ЕВРОПИ

У Европи тренутно је у употреби велики број система односно технологија за наплату коришћења саобраћајне инфраструктуре. Додатна компликација за увид у постојеће стање представља чињеница да је у већини земаља присутан одвојен систем за наплату путарине за комерцијална возила, односно податак да је у појединим земљама у употреби неколико система наплате. Уочава се све већа дигитализација система наплате, односно увођење модерних електронских система, макар и кроз прелазак са класичног система вињета (путем налепница) на електронске вињете, што има позитивне утицаје на кориснике система.

У већини земаља ЕУ у употреби су системи базирани на наплати по пређеном километру (тзв. *Distance-based charging scheme*), мада је у одређеном броју земаља и даље у употреби временски оријентисане наплата (*Time-based charging scheme*). Што се тиче технологија наплате, издвајају се мануелни системи са баријерама, вињете (електронске и класичне, путем налепница), системи базирани на DSRC и GNSS технологији.

**Табела 2.** Преглед актуелних система наплате путарине у земљама ЕУ за возила масе мање од 3,5т

Шема наплате путарине	Систем наплате путарине	Технологија	Државе
Возила са масом < 3,5 т			
Време коришћења (тзв. <i>Time-based</i> )	Вињета	Вињета (налепница)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Аустрија*</li> <li>• Бугарска,</li> <li>• Чешка,</li> <li>• Словенија.</li> <li>• Швајцарска.</li> </ul>
* У Аустрији се од 2018. године паралелно уводи и електронска вињета			
Време коришћења (тзв. <i>Time-based</i> )	Вињета	Електронска вињета	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мађарска,</li> <li>• Румунија,</li> <li>• Словачка.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Наплатна станица са баријерама – без заустављања	DSRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Велика Британија,</li> <li>• Грчка,</li> <li>• Ирска,</li> <li>• Италија,</li> <li>• Пољска,</li> <li>• Португалија,</li> <li>• Француска,</li> <li>• Хрватска,</li> <li>• Шпанија,</li> <li>• Данска,</li> <li>• БиХ,</li> <li>• Србија,</li> <li>• Норвешка.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	DSRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Португалија</li> <li>• Белорусија,</li> <li>• Турска.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	RFID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Турска</li> </ul>



**Табела 3.** Преглед актуелних система наплате путарине у земљама ЕУ за комерцијална возила масе веће од 3,5 т

Шема наплате путарине	Систем наплате путарине	Технологија	Државе
Возила са масом $\geq 3,5$ т (у појединим случајевима граница је већа: $\geq 7,5$ т итд.)			
Време коришћења (тзв. <i>Time-based</i> )	Вињета	Вињета (налепница)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Бугарска,</li> <li>• Летонија,</li> <li>• Литванија.</li> </ul>
Време коришћења (тзв. <i>Time-based</i> )	Вињета	Електронска вињета	<ul style="list-style-type: none"> <li>• УК,</li> <li>• Румунија.</li> </ul>
Време коришћења (тзв. <i>Time-based</i> )	Вињета	е-Еуровигнетте	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Данска,</li> <li>• Луксембург,</li> <li>• Холандија,</li> <li>• Шведска.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Наплатна станица са баријерама – без заустављања	DSRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Хрватска,</li> <li>• Француска,</li> <li>• Грчка,</li> <li>• Ирска,</li> <li>• Италија,</li> <li>• Пољска,</li> <li>• Португалија,</li> <li>• Шпанија,</li> <li>• Велика Британија,</li> <li>• БиХ,</li> <li>• Србија,</li> <li>• Норвешка.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	DSRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Аустрија,</li> <li>• Чешка,</li> <li>• Пољска,</li> <li>• Португалија,</li> <li>• Велика Британија,</li> <li>• Белорусија,</li> <li>• Турска.</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	GNSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Немачка,</li> <li>• Словачка,</li> <li>• Мађарска,</li> <li>• Белгија,</li> <li>• Русија*</li> </ul>
*У Русији је од 2015. године уведен систем за возила масе $\geq 12$ т			
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	RFID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Турска</li> </ul>
Пређена километража (тзв. <i>Distance-based</i> )	Free flow	Тахограф	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Швајцарска</li> </ul>

#### 4. ЗАКОНСКИ И ИНСТИЦИУНАЛНИ ОКВИРИ ЕЛЕКТРОНСКИХ СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ

Опорезивање употребе возила и накнаде за коришћење саобраћајне инфраструктуре су неопходни за одржавање и развој Транс-Европске инфраструктурне мреже. Опорезивање се може вршити кроз порез на употребу возила, порез за коришћење путне мреже (кроз таксе које се плаћају приликом регистрације возила), акцизе на гориво итд. ЕУ је створила оквир којим се подстичу државе чланице да користе накнаде кроз порезе и акцизе, као и наплату путарине на ефектан и праведан начин како би промовисала своје основне принципе развоја ове области: “корисник плаћа (*user pays*)” и “загађивач плаћа (*polluter pays*)”. Ови принципи су саставни део многих директива и основних начела ЕУ, дефинисаних у Белој књизи 1997. године.

Систем наплате путарине вињетама, која је у употреби у великом броју земаља чланица, не узима у обзир стварну употребу инфраструктуре те самим тим није фер према корисницима, пропуштајући тиме поштовање два кључна поменута принципа: “корисник плаћа (*user pays*)” и “загађивач плаћа (*polluter pays*)”. Због тога је јасна тежња ЕУ ка форсирању система наплате стварног коришћења инфраструктуре, односно по пређеном километру (*distance based*).

#### ЕЕТС студије

Креирање стратегије унификације система наплате путарине, односно успостављање техничке и правно-регулативне интероперабилности на нивоу ЕУ, подразумевало је извођење бројних студија и пројеката које су имале за циљ да покажу њихову изводљивост и оправданост. Европска комисија и остале надлежни органи и агенције ЕУ, на основу одлука Европског парламента, финансирани су или кофинансирани неколико студија и пројеката које су, између осталог, заслужне за креирање постојећих правних и планских оквира. Неке од најважнијих студија су:

- CESARE студија,
- Студија економских и социјалних утицаја примене директиве 2004/52/ЕЦ
- Студија имплементације ENCC (European Network of Certification Centres) за потребе ЕЕТС сервиса
- REETS студија

#### CESARE студија

CESARE (***Common Electronic Fee Collection System for a Road Tolling European Service***) студија је пројекат који је развила организација ASECAP (*the European Association of Toll Motorways Operators*) у сарадњи са Stocholm групом, коју чине Јавне управе за путеве Финске, Француске, Немачке, Холандије, Шведске, Швајцарске и Уједињеног Краљевства, док је у суфинансирању учествовала Европска Комисија. Намера је била да се испланира, развије, промовише и примени заједнички интероперабилни систем Електронске наплате путарине на Европским путевима који подлежу наплати.<sup>1</sup>

#### REETS студија

REETS (*Regional European Electronic Toll Service*) студија имала је за циљ подршку постојеће легислативе ЕУ које се тичу интероперабилности електронских система наплате путарине (директиве 2004/52/ЕЦ и одлуке 2009/750/ЕЦ). Сврха пројекта била је у развоју ЕЕТС услуга у прекограничном, регионалном подручју, укључујући седам држава чланица: Аустрију, Данску, Француску, Немачку, Италију, Пољску и Шпанију, као и Швајцарску. Студија је била кофинансирана од стране Европске Комисије, осим у случају Швајцарске, која није члан ЕУ.<sup>2</sup>

## 5. ОПИС ПОСТОЈЕЋЕГ СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ НА МРЕЖИ АУТОПУТЕВА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

У Србији је примењена технологија ЕНП (DSRC са баријерама) и МНП у затвореном и отвореном систему наплате путарине. Детаљнији подаци су дати у наредним сликама и табелама.

<sup>1</sup> <http://www.asecap.com/projects/9-en/73-cesare.html>

<sup>2</sup> [http://www.reets.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28&Itemid=199](http://www.reets.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=199)



**Слика 2.** Шематски приказ локација наплатних станица на аутопутевима Србије  
Извор: ЈП „Путеви Србије”

Подаци о укупном саобраћају, као и финансијски подаци од наплате путарине у последњих 11 година (од када је уведен систем за Електронску Наплату Путарине) су приказани у Табели 4.

**Табела 4.** Финансијски подаци о наплати путарине у последњих 11 година

ПРОМЕТ/ПРИХОД	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Промет возила (мил. возила)	32,1	32,6	32,8	33,5	34,1	34,5	36,1	37,0	39,3	43,0	49,6
Укупан приход (милијард. дин)	14,8	16,6	13,7	14,0	14,4	14,7	15,6	16,09	16,8	16,89	20,7
Промет возила ЕНП (мил. возила)	0,03	0,078	0,072	0,24	0,62	1,2	2,1	3,62	5,55	8,73	13,08
Укупан приход ЕНП (милијард. дин)	0,008	0,027	0,021	0,15	0,54	1,16	2,05	3,35	4,40	5,63	8,39
Учешће ЕНП у укупном промету	0,09%	0,24%	0,22%	0,70%	1,82%	3,55%	5,81%	9,79%	14,11%	20,30%	26,38%
Учешће ЕНП у укупном приходу	0,05%	0,16%	0,15%	1,06%	3,73%	7,91%	13,15%	20,79%	26,16%	33,33%	40,59%

Извор: ЈП „Путеви Србије”

Из Табеле 4 се види да је промет возила на путевима под наплатом и приход од наплате путарине у константном порасту. Промет возила у последњих 11 година повећан је за 54,58%, а приход за 39,61%. Поредећи пораст прихода у две сукцесивне године види се да је он у сталном порасту. Изузетак је 2009. година због пада прихода што је последица последица изједначавања цена за домаћа и инострана возила, смањивањем цена за инострана возила за 40%.

Индикативан је и пораст електронске наплате у последњих 6 година (2012-2017) који износи 968,23% , што је резултат појачане кампање око продаје ТАГ уређаја. Учешће електронске наплате у укупном приходу за 2017. годину са 40,59%, говори да је безготовинска наплата у сталном порасту и да ће за неку годину постати доминантни вид плаћања путарине у Републици Србији.

## 6. СТРАТЕГИЈА РАЗВОЈА НАПЛАТЕ ПУТАРИНЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Стратегија развоја наплате путарине у Републици Србији обухвата период од 2018 до 2027 године. У овом периоду се предвиђа да ће сви путеви који ће бити под наплатом бити изграђени или реконструисани, тј да ће квалитет путне мреже одговарати уобичајеним стандардима за ову категорију путева у ЕУ. То се пре свега односи на аутопутеве и евентуално на путеве I реда који буду испуњавали критеријуме брзих путева или „express road“, али се не искључује могућност наплате путарине и на појединим деловима путне мреже, које не спадају у ову категорију, а превасходно се односе на деонице са тунелима и мостовима.

Стратегија развоја наплате путарине у Републици Србији разматра неколико варијанти техничког решења система за наплату путарине водећи рачуна о савремености тих решења, њиховом технолошком и експлоатационом веку, економичности техничког решења са становишта неопходних инвестиција и експлоатационих трошкова, њиховој усклађености са директивама ЕУ које се односе на интероперабилност наплатних система ( пре свега о интероперабилности тзв. електронских наплатних система), али исто тако и о утицају развоја и експлоатације наплатних система на привредни и индустријски развој Републике Србије, обезбеђење одрживе запослености, односно креирања нових радних места, као и о утицају наплатног система на очување животне средине и повећање безбедности саобраћаја. Такође у овој стратегији разматрају се и организациони аспекти будућег убирања наплате путарине.

Сви ови аспекти захтевају вишекритеријумски приступ у оцењивању варијанти техничког решења система за наплату путарине и одабиру оптималне варијанте, при чему су критеријуми по којима су оцењиване разматране алтернативе и квантитативни и квалитативни. При томе није занемарено ни постојеће стање система за наплату путарине, нити навике и менталитет корисника путне мреже и особља које ће експлоатисати наплатни систем.

### 6.1. Усаглашеност наплате путарине у Србији са директивама ЕУ

Како систем за наплату путарине у Републици Србији треба да обезбеди интероперабилност ЕТС наплате са наплатним системима у земљама у окружењу, а потом са наплатним системима у осталим земљама ЕУ, односно свим земљама које прихватају стандард и директиве ЕУ, када је у питању електронска наплата путарине, то се сматра да испуњење услова из директива ЕУ за интероперабилност представља безусловни захтев од ЕТС система у Републици Србији. Ово значи да ће се у будућем развоју наплатних система поштовати следећа документа ЕУ:

- Директива 2004/52/ЕС
- Директива 2007/64/ЕУ донесена од стране Европског парламента
- Одлука 2009/750/ЕС

Директива 2004/52/ЕС дефинише да се као равноправна решења за ЕТС наплатне системе може користити једна од следеће три технологије:

- GPS технологија
- GSM-GPRS мобилна комуникација
- 5,8 GHz микроталасна технологија ( DSRC)

## 6.2. Посебне напомене које се односе на увођење наплате путарине на путевима I-B реда

Увођење наплате на путева I реда нарочито је олакшано у последњих десет година развојем технологије ETC наплате, која је омогућила релативно једноставан процес наплате путарине на овим путевима без потребе заустављања комерцијалних возила, евиденцију прекршилаца и касније њихово процесуирање .

Међутим у великом броју земаља ЕУ појавили су се политички, социјални, па и економски проблеми везани за увођење овог вида наплате, нарочито ако се она примењује за комерцијална возила чија је носивост изнад 3,5 т. Наиме путеве првог реда користе у највећој мери становници и привредници који живе непосредно уз ове магистралне путеве за обављање свакодневних привредних активности. То се нарочито односи на пољопривреднике и власнике погона за производњу разних прерађивачких производа у свим гранама индустрије. Непопуларност ове мере је толика да и саме назнаке да ће се она увести, доводи до блокаде ових путева, што у крајњем има веће привредне штете за националну економију, него добит која би се остварила увођењем наплате путарине на магистралним путевима. Због тога је одлука о увођењу путарине на путевима првог реда прешла у домен политичког одлучивања.

Да би се утврдили сви аспекти увођења система потребно је урадити студију изводљивости која би донела одлуку о друштвеној, економској, финансијској, саобраћајној, политичкој, еколошкој, безбедносној оправданости реализације наплате путарина на путевима I реда у Републици Србији. Студија изводљивости треба да покаже да ли је оправдано увођење путарине на путеве I реда у Републици Србији. Ако јесте оправдано увођење путарине, студија треба да дефинише листу деоница према приоритету и оптималну динамику реализације путарине на путеве I реда у Републици Србији.

## 6.3. Анализа техничких решења система за наплату путарине

Имајући у виду стање система за наплату путарине у Републици Србији, у земљама у окружењу, пре свега у југоисточној Европи, постојећа техничка решења наплатних система у ЕУ и трендове развоја ових система, као и директиве ЕУ које се односе на наплатне и ИТС системе, даљом анализом обухваћена су следећа потенцијална теоријски могућа техничка решења наплатног система:

- SMARTPHONE
- GSNN-CN
- DSRC-MLFF
- RFID ORT
- Infrared
- DSRC -BARIERS
- RFID-BARIERS
- VIGNETTE
- ANPR
- TACHOGRAPH
- SMARTCARD
- ETC-Barcode
- ACM

Пре него што се пређе на детаљнију анализу могућих техничких решења за систем за наплату путарине у Републици Србији, направити се селекција оних решења, из скупа напред наведених, која су изводљива у Републици Србији.



С обзиром на ЕУ директиве и интероперабилност са осталим системима у региону. Издвајају се следеће основне технологије које ће представљати основну технологију и то:

- DSRC са баријерама
- DSRC MLFF
- GSNN-CN

Наведене технологије могу се применити у хибридном системима за наплату путарине што је чест случај у Европи. Могуће комбинације укључују неку од претходне три примарне технологије у комбинацији са неком од секундарних технологија:

- SMARTPHONE
- ANPR
- ETC-Barcode
- MNP
- ACM

#### **6.4. Предлог оптималног техничког система за наплату путарине у Републици Србији**

Оптимално техничко решење наплатног система на путевима у Републици Србији треба изабрати на основу студије одабира оптималног система наплате, за дефинисане варијанте наплатног система, које су у анализи изабране као изводљиви будући наплатни систем.

Да би се дошло до жељеног одговора прво ће се дефинисати критеријуми по којима ће се извршити оцењивање и рангирање техничких варијанти наплатног система, потом ће се извршити оцењивање сваке варијанте по сваком критеријуму, да би се, на крају, примењујући метод вишекритеријумског рангирања утврдила оптимална технологија и систем наплате путарине .

У процесу рангирања варијанти техничког решења наплатног система користиће се потенцијална листа следећих критеријума:

- Интероперабилност,
- Ефикасност,
- Поузданост,
- Животни век наплатног система,
- Избегавање плаћања путарине.
- Ниво услуге,
- Безбедност саобраћаја,
- Број заустављања,
- Повећање, времена путовања.
- Просечан трошак за корисника,
- Однос приходи/трошкови,
- Сарех,
- Орех,
- Трошкови замене ситема путарине
- Визуелни утицај наруживања амбијенталне средине,
- Загађење ваздуха,
- Бука.
- Фер плаћање,
- Једноставност коришћења,
- Естетско наруживање возила.
- Могућност интеграције наплатног система у ИТС,
- Очекивани проценат нереализованих наплата

## 6.5. Организација убирања наплате путарине

Европски тренд је да се наплата путарине организује као концесини аранжман, при чему концесионар преузима обавезу непрекидне модернизације техничког система, његово одржавање и експлоатацију, контролу корисника путева под наплатом, а држава, која је власник путне мреже под наплатом, врши контролу рада концесионара. Овај тренд је нарочито присутан у ЕУ, док је у земљама у окружењу Републике Србије, нарочито у земљама бивше СФРЈ још увек задржано решење где се наплатом путарине баве предузећа која су задужена за изградњу аутопутева и њихово одржавање. Предности и недостатци сваког од разматраних организационих решења дате су у наредној табели.

**Табела 5.** Организовање наплате путарине – предности и недостатци

Модел	Предности	Недостаци
Концесионо организовање наплате путарине	<p>Инвестиције у нову опрему за наплату путарине на терет концесионара</p> <p>У тренду са политиком ЕУ према оператериманаплате путарине</p> <p>Мала могућност уплива текуће политике на запошљавање извршилаца</p> <p>Мали уплив политичких субјеката у пословање концесионара</p>	<p>Подела добити између државе и концесионара</p> <p>Потенцијална могућност стварања технолошке зависности у дужем периоду</p> <p>Потреба строге и прецизне контроле рада концесионара</p> <p>Додатни трошкови за пренос “know – how“</p> <p>Кашњење у опремању системом за наплату путарине на деоницама које ће бити изграђене током 2017. и делом 2018. године</p> <p>Недовољна мотивисаност за технолошко унапређење једном инсталираног система</p>
Домашње јавно предузеће	<p>Јавно предузеће за обављање ове активности већ постоји</p> <p>Ефикасна организација постојећег предузећа задуженог и за наплату путарине</p> <p>Нема кашњења у опремању наплатним системом нових деоница аутопута</p> <p>Контрола технолошке платформе система за наплату путарине</p> <p>Једноставна контрола рада јавног предузећа</p> <p>Целокупна добит од наплаћене путарине припада буџету Републике Србије</p>	<p>Могућност преливања средстава од убрзане путарине на градњу и одржавање магистралних путева</p> <p>Могућност политичког уплива на запошљавање радника у наплати путарине</p> <p>Могуће непостизање оптималне запослености у процесу наплате путарине</p> <p>Могућност политичког утицаја на пословање предузећа</p>

## 7. АКЦИОНИ ПЛАН РЕАЛИЗАЦИЈЕ СТРАТЕГИЈЕ РАЗВОЈА НАПЛАТЕ ПУТАРИНЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Динамика реализације стратегије развоја наплате путарине у Републици Србији подељена је у две фазе:

- I фаза: период 2018 -2020
- II фаза: период 2021-2027

За прву фазу реализације постоје релативно прецизни планови изградње нових аутопутева и наплатних станица. Друга фаза развоја и делимично прва, су изведени из плана реализације Мастерплана путне мреже Републике Србије и плана пројекта Министарства за грађевинарство, саобраћаја и инфраструктуру из децембра 2015, при чему су се , свуда где је то било могуће, користили идејни пројекти путних праваца, односно расположива планска документација .

### 7.1. Прва фаза 2018-2020

У овој фази планирана је реализација следећих аутопутева и објеката:

- Деоница аутопута Е-75 на коридору X – јужна грана Ниш – Граница са Републиком Македонијом,
- Деоница аутопута Е-80 на коридору X - источна грана Ниш – Граница са Републиком Бугарском
- Деоница аутопута Е-763 на коридору XI Београд – Пожега,
- Деоница Ниш-Плочник на аутопуту Ниш- Мердаре (граница са Косовом),
- Деоница Нови Сад - Рума на реконструисаном путу Нови Сад – Лозница,
- Реконструкција пута Београд – Зрењанин,
- Реконструкција пута Баточина – Крагујевац

За деонице везане за Коридор X и XI постоји уредна документација, Према Мастерплану на њима ће се примењивати затворени систем за наплату путарине, тако да се могу одредити и финансијска средства потребна за ову реализацију. Међутим, за остале деонице и путеве потребно је студијским пројектовањем утврдити оптимални систем путарине, те исти димензионисати и испројектовати у складу са саобраћајним оптерећењем, захтевима корисника, ЕУ директивама и интересима управљача аутопутних праваца. Стога за ове објекте није ни могуће утврдити потребна средства за њихову реализацију.

### 6.6. Друга фаза: 2021 – 2027

У другој фази изградње путне мреже аутопутева и брзих путева планирано је да се до 2027 године заврше следеће деонице:

- Деоница аутопута Е-763 на коридору XI Пожега – Бољаре (граница са Републиком Црном Гором),
- Реконструкција пута Нови Сад-Рума-Лозница,
- Аутопут Е-70 деоница Београд - Вршац (граница са Републиком Румунијом),
- Аутопут Е-761 деонице Параћин – Зајечар (граница са Републиком Бугарском), Појате – Прелјина, Прелјина – Ужице, Котроман (граница са БИХ)
- Северни крак прстена аутопутева око Београда,

Са становишта наплате путарине, потребно је урадити студију избора оптималног система наплате путарине која ће обухватити:

- Испитивање и анкетање корисника аутопута.
- Дефинисање изводљивих алтернатива наплате путарине.
- Анализу инвестиционих, оперативних и периодичних трошкова за све алтернативе система путарине (тзв. Сарех, Орех, Ререх).
- Cost benefit анализу са друштвено економског аспекта за све алтернативе система путарине.
- Cost benefit анализу са финансијско тржишног аспекта за све алтернативе система путарине.
- Анализу алтернатива система путарине са институционалног аспекта и правно регулативног оквира.
- Одабир оптималног система путарине применом метода вишекритеријумског вредновања.

## 8. ЗАКЉУЧАК

Стратегија развоја система за наплату путарине има за циљ да прикаже стање система путарине у свету, стање постојећег система за наплату путарине у Републици Србији, планове развоја путне мреже у Републици Србији који ће бити под наплатом, да на бази могућих варијанте техничког система за наплату путарине у периоду до 2027. године, изврши избор најбоље техничке варијанте, размотри организационе аспекте и коначно да динамику реализације изабране варијанте техничког система, по етапама до 2027. године.

За основу разматрања развоја путне мреже под наплатом до 2027.године коришћена су документа Министарства за инфраструктуру, грађевинарство и саобраћај и планови ЈП "Путеви Србије". У избору потенцијалних варијанти техничког система за наплату путарине узети су у обзир само системи треће генерације, тј. системи који су данас у употреби у развијеним земљама на технолошким основама које се сматрају савременим и које су као такве усвојене од стране ЕУ као технологије на којима ће се развијати наплатни системи у наредном периоду.

Приликом разматрања варијанти техничког система и организације убирања путарине узети су у обзир сви позитивни и негативни аспекти постојећег стања, као наслеђа о коме се мора водити рачуна са техничке, организационе, комерцијалне, инвестиционе, кадровске стране.

Имајући у виду веома амбициозан план изградње путне мреже која ће бити под наплатом путарине ( аутопутеви и у перспективи потенцијално савремени путеви I реда) до 2027. године, тренд технолошког развоја система за наплату путарину у наредном периоду, директиве ЕУ које се односе на интероперабилност ЕТС наплатних система, ставове и захтеве корисника аутопутне мреже, утицај изабраног техничког решења на развој домаће привреде, очекује се да ће на основу анализа бити примењена једна од технологија DSRC MLFF, DSRC са рампама или GSNN-CN у комбинацији са секундарним технологијама. Треба напоменути да су ове три основне технологије међусобно интероперабилне на нивоу Европе. Посебно треба водити рачуна да изабрано техничко решење омогућава једноставно успостављање међународне интероперабилности наплатних система, што ове технологије омогућавају.

Посебно треба константно унапређивати наплату путарине водећи рачуна о следећем:

- Испитивати непрекидно ставове корисника аутопутева Републике Србије. (испитивање у овој стратегији је показало да корисници желе путарину ефикасну, безбедну и са високом нивоом услуге и путарину које ће се тарифирати по километру. Такође систем мора бити пријатељски оријентисан ка кориснику омогућавајући му различите начине плаћања путем интернета и смарт телефон апликације за преглед или допуну рачуна. Корисници такође желе удобну и безбедну возњу односно да се средства од путарина користи сврхосходно за квалитетно одржавање и проширење аутопутне мреже.
- Створити техничке, правне и организационе предуслове за примену EETS и REETS. У првом кораку кроз REETS створити интероперабилност са окружењем, а следећем кораку и на нивоу Европе кроз EETS
- Усклађивати тарифну политику према категоријама возила у циљу повећања прихода и смањења коришћења неадекватне путне мреже нижег ранга.
- Реинжењингом константно побољшавати постојећа решења наплате путарине (анализа унапређења рада наплатних станица у информационом, организационом, саобраћајном и техничком смислу)
- За планиране новоизграђене или проширење наплате на постојеће путеве I-Б реда урадити студију изводљивости увођења наплате путарине на путеве I-Б реда, као и студију приоритизације деоница и одабира оптималног система путарине. анализирати уз услов интероперабилности са постојећим системима наплате путарине на мрежи I-A реда.
- Маркетингом промовисати ефикасну електронску технологију и тако повећати информисаност и број корисника ЕНП система, а истовремено смањити оперативне трошкове и повећати ефикасност система.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Booze&Co. (2010). Final Report, Assessment of Vignette Systems for Private Vehicle applied in Member States, Prepared for: European Commission Directorate-General for Mobility and Transport, London.
- [2] 4iCOM steer davies gleave, (2015). Report: Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling", MOVE/D3/2014-259, Prepared for: European Commission Directorate-General for Mobility and Transport
- [3] Transport&Environment, (2017). Road charging for cars, What the European Commission should do.
- [4] European Commission. White Paper "Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system", COM(2011)144; 2011.
- [5] European Parliament. Directive 2007/64/EC of the European Parliament and of the Council of 13 November 2007 on payment services in the internal market amending Directives 97/7/EC, 2002/65/EC, 2005/60/EC and 2006/48/EC and repealing Directive 97/5/EC. Official Journal of the European Union. 5.12.2007
- [6] European Parliament. Directive 2004/52/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the interoperability of electronic road toll systems in the Community, Official Journal of the European Union, L200/50-57 European Commission (2009), Decision 2009/750/EC, Official Journal of the European Union, L268/11-29; 2004.
- [7] European Commission. White Paper "European transport policy for 2010: time to decide", COM(2001)370; 2001.
- [8] European Commission. Assessment of Vignette Systems for Private Vehicles applied in Member States, Report No. R01049, London; 2010.
- [9] Glavić, D. (2013). SWOT analysis of toll collection systems in Europe. Put i saobraćaj. 59 (4): 21-30.
- [10] Glavić, D. (2016). Komercijalna eksploatacija autoputeva – Tehnologije naplate putarine. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet.
- [11] Glavić, D., Milenković, M., Mladenović, M., Trpković, A., & Vidas, M. (2017a). Assessing sustainability of road tolling technologies. International Congress on Transport Infrastructure AND Systems – TIS Roma 2017. Roma. Italy: 803-810.
- [12] Glavić, D., Mladenović, M., Luttinen, T., Čičević, S., & Trifunović, A. (2017b). Road to Price: Implications for Road Pricing in Transition Country. Transportation Research Part A, 105 C: 79-94.
- [13] Glavić, D., Milenković, M., & Pavlović, R. (2017). Transport demand management through new congestion pricing - mobility credits, Proceeding of the VI International conference "Towards a Humane City", Novi Sad, Serbia, Department of Traffic Engineering, Faculty of Technical Sciences University of Novi Sad, 379-384.
- [14] Главић, Д., & Миленковић, М. (2016). Comparative analysis of road tolling technologies. Други српски конгрес о путевима, Београд, Србија, Српско друштво за путеве "VIA-VITA", 562-568.
- [15] Главић, Д., Миленковић, М., & Петковић Милош. (2017). Анализа утицаја технологија наплате путарине на емисију штетних гасова. Пут и саобраћај, Српско друштво за путеве "VIA-VITA", 63 (2), 5-11.
- [16] Главић, Д., Миленковић, М., Петковић, М., Коцић, А. (2017). Анализа утицаја система наплате путарине на околину, Пут и животна средина, Вршац, Србија, Српско друштво за путеве "VIA-VITA", 167-176.
- [17] Главић, Д. (2017). Стратегија развоја система за наплату путарине на аутопутевима Републике Србије, Институт Михајло Пупин, Саобраћајни факултет - Институт Саобраћајног факултета, Београд.
- [18] Систем за наплату путарине: Наплата путарине без заустављања. Институт „Михаило Пупин“.



## ANALIZA STAVOVA KORISNIKA O NIVOU USLUGE NAPLATE PUTARINE NA AUTOPUTEVIMA REPUBLIKE SRBIJE

**Marina Milenković<sup>1</sup>, Draženko Glavić**

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija  
marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs, drazen@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Naplata putarine predstavlja direktnu naknadu za korišćenje putne infrastrukture. Na autoputevima, cilj naplate putarine se odnosi na mehanizam za finansiranje izgradnje putne infrastrukture, njenu eksploataciju i održavanje. Imajući to u vidu, cilj ovog rada je da se izvrši analiza stavova korisnika o tome koliko su informisani o postojećim sistemima naplate putarine i u kojoj meri su zadovoljni trenutnim nivoom usluge na mreži autoputeva Srbije. U tu svrhu je definisana anketa koja je sadržala kako pitanja o socio-ekonomskim karakteristikama korisnika, tako i pitanja o naplati putarine. Anketa je sprovedena elektronskim putem i uzorak je činilo 680 ispitanika. Za obradu podataka korišćene su neke od metoda deskriptivne statistike. Dobijeni rezultati bi trebalo da pomognu donosiocima odluke prilikom definisanja strategije naplate putarine, koja bi doprinela unapređenju postojećeg sistema naplate putarine u Srbiji.

**Ključne reči:** sistemi za naplatu putarine, strategija naplate putarine, anketa

## ANALYSIS OF USERS' ATTITUDES TOWARDS TOLL CHARGING LEVEL OF SERVICE ON THE REPUBLIC OF SERBIA MOTORWAYS

**Marina Milenković, Draženko Glavić**

Univeristy of Belgrade, The Faculty of Transport and traffic engineering, V. Stepe 305, Belgrade, Serbia  
marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs, drazen@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** Toll charge is a direct fee for road infrastructure using. On motorways, toll collection goal refers to the mechanism for financing the construction of road infrastructure, its operation and maintenance. Bearing this in mind, the aim of this paper is to analyze the users' attitudes on how much they are informed about the existing toll collection systems and to what extent they are satisfied with the current level of service on the motorway network of Serbia. For this purpose, a survey was defined containing both questions about the users' socio-economic characteristics, as well as the questions of toll collection. The survey was conducted electronically and the sample consists of 680 respondents. Some of the descriptive statistics methods were used for data processing. The obtained results will help the decision makers in defining the toll collection strategy that would contribute to the improvement of the existing toll collection system in Serbia.

**Keywords:** toll collection systems, toll collection strategy, survey

### 1. UVOD

Naplata putarine na autoputevima predstavlja direktnu naknadu za korišćenje autoputa kao putne infrastrukture. Cilj ove naknade je da se obezbede sredstva za finansiranje izgradnje putne infrastrukture, njenu eksploataciju i održavanje. Naplata putarine može biti zasnovana na vremenskoj naknadi ili na naknadi zasnovanoj na pređenim kilometrima. Pojedine zemlje su uvele vremensku naknadu, odnosno naknadu na osnovu pređenih kilometara, samo za određene kategorije vozila. Takođe, danas se u svetu koristi veliki broj tehnologija i sistema za naplatu putarine. Sistemi naplate koji se danas koriste u svetu mogu se podeliti u tri osnovne grupe: sistemi koji zahtevaju zaustavljanje, sistemi koji zahtevaju smanjenje brzine i oni koji ne zahtevaju nikakvu promenu brzine.

U Srbiji se naplata putarine obavlja na mreži autoputeva, ukupne dužine oko 645km. Prema podacima iz 2017. god. sistem putarine se sastoji od 47 naplatnih stanica i naplata putarine se sprovodi na sledećim putnim pravcima:

- Beograd–Niš;
- Beograd–Šid;
- Niš–Leskovac–Preševo;
- Niš–Dimitrovgrad;
- Beograd–Subotica; i
- Beograd–Požega.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Naplata putarine je zasnovana na pređenim kilometrima i visina naknade zavisi od naplatne kategorije vozila. Naplata se odvija u uslovima zatvorenog sistema, osim kod putnih pravaca kod kojih nije izvršena izgradnja pojedinih deonica. Nakon kompletne izgradnje određenih putnih pravaca, zatvoren sistem za naplatu putarine će na celokupnoj mreži autoputeva Srbije zameniti otvoreni sistem za naplatu putarine. Od sistema za naplatu putarine u Srbiji su zastupljeni manuelni sistem, koji zahteva zaustavljanje vozila, i tzv. elektronski sistem (namenska komunikacija kratkog dometa sa barijerama) koji zahteva promenu brzine vozila.

Cilj rada je da se izvrši analiza stavova korisnika o postojećem stanju sistema za naplatu putarine u Srbiji. Poseban akcenat biće stavljen na analizu informisanosti korisnika i njihovih stavova o trenutnom nivou usluge koji im je obezbeđen na mreži autoputeva Srbije. Dobijeni rezultati će pružiti detaljan uvid u postojeće stanje i na određen način predstavljajuće smernice koje bi eksperti trebalo uzeti u obzir prilikom unapređenja sistema za naplatu putarine u Srbiji.

## 2. PREGLED LITERATURE

Pregledom inostrane literature utvrđeno je da je prihvatljivost naplate putarine veća u sledećim slučajevima: (1) kada su svrha i korist primene sistema naplate jasno definisani i razumljivi korisnicima; (2) kada su ciljevi implementacije naplate u skladu sa postojećim problemima i (3) ako su prihodi od naknade iskorišćeni u transportnom sektoru (Odeck & Bråthen 2002; Gaunt et al. 2007). Kada je reč o spremnosti korisnika da plate korišćenje autoputa ili odustanu od putovanja autoputem, kao ključni faktori koji utiču na stavove korisnika u literaturi se navode: tip puta, svrha putovanja, ukupno vreme putovanja, učestalost korišćenja autoputa, procenjen rizik od saobraćajnih nezgoda, itd.

Gomez et al. (2016) su u Španiji sprovedli istraživanje stavova korisnika prema naplati putarine, sa ciljem da utvrde da li razlike u regionima utiču na stavove korisnika. Tom prilikom su prikupili podatke za 2.769 korisnika i na osnovu dobijenih rezultata došli do zaključka da se percepcija korisnika prema naplati putarine može u velikoj meri razlikovati od regiona do regiona unutar iste države. Drugim rečima stavovi korisnika prema putnim troškovima u velikoj meri zavise od samog geografskog položaja, odnosno regiona gde se planira uvođenje naplate putarine.

Glavić et al. (2017) sprovedli su istraživanje koje je imalo za cilj da ispita stavove korisnika po pitanju voljnosti da plate korišćenje autoputa i spremnosti da odustanu od putovanja. Istraživanje je sprovedeno na teritoriji Bosne i Hercegovine, a tom prilikom je anketirano 15.321 korisnika. Rezultati do kojih su došli ukazuju na nekoliko važnih zaključaka. Pre svega, pokazuju da većina ispitanika prihvata cenu putarine do 5 €, a da je manje od 4% onih koji su spremni da plate više od navedene vrednosti.

Zmud & Arce (2008) sprovedli su analizu percepcije korisnika sa aspekta prihvatljivosti naplate putarine. Analiza je zasnovana na kompilaciji 110 anketa i dubinskih analiza o naplati putarine. Rezultati ove kvantitativne analize ukazuju da u ukupnom broju ispitanika postoji većinska podrška za naplatu putarine. Drugim rečima, na osnovu svih analiza i rezultata pojedinačnih anketa, 56% ispitanika podržava koncept naplate za korišćenje putne mreže. 31% ispitanika ima suprotne stavove, dok 13% njih nema jasno definisane stavove po tom pitanju.

Ciommo et al. (2013) navode da se politika određivanja cene putarine za mrežu evropskih puteva suočava sa značajnim problemima u pogledu prihvatljivosti od strane korisnika. Rezultati njihove studije ukazuju da se prihvatljivost povećava kada je uspostavljena fer naplata. Iz tog razloga upravljači puta, odnosno donosioci odluka treba da teže promovisanju ovakvih sistema sa ciljem povećanja prihvatljivosti od strane korisnika u pogledu naplate putarine.

## 3. METODOLOGIJA

Za prikupljanje podataka korišćen je metod ankete. Anketa je sadržala opšta pitanja o socio-ekonomskim karakteristikama ispitanika i pitanja o stavovima korisnika o postojećem stanju sistema za naplatu putarine i nivou usluge koja im je pružena na mreži puteva sa naplatom – autoputevima. Za ocenu stavova korisnika korišćena je petostepena Likertova skala.

Anketa je sprovedena elektronskim putem i uzorak je činilo 680 ispitanika. Akcenat je bio na ciljnoj grupi korisnika puteva, od vozača privatnih automobila do vozača u špediterskim firmama. Istraživanjem su obuhvaćeni korisnici na celokupnoj mreži autoputeva u Srbiji. Anketiranje je sprovedeno u periodu od 10 dana, od 10. do 20. oktobra 2017. godine. Za analizu podataka korišćene su standardne metode deskriptivne statistike.

#### 4. REZULTATI

U istraživanju je učestvovalo 62% ispitanika muškog pola i 38% ispitanika ženskog pola. Među anketiranim korisnicima najviše je onih uzrasta od 18-25 godina (36%), zatim slede korisnici starosne dobi od 35 do 44 godina (23%), korisnici starosne dobi od 26-34 godina (19%), korisnici starosne dobi 45-54 godina (11%), korisnici od 55 do 65 godina (9%) i korisnici starosne dobi +65 (2%).

Među anketiranim korisnicima najviše je onih koji koriste autoput 1-3 puta mesečno (34%). 20% ispitanika je izjavilo da svakodnevno koristi autoput, dok 23% ispitanika koristi autoput 1-3 puta sedmično. Procenat onih koji autoput koriste retko (1-3 puta godišnje) takođe iznosi 23%. Najveći broj ispitanika koristi putnički automobil (91%). Teretno vozilo koristi 6% ispitanika, autobus 2% ispitanika i kombi vozilo svega 1% ispitanika. Polovina ispitanika koristi autoput za putovanja preko 90km. 33% ispitanika koristi autoput za udaljenosti do 60km, dok 17% ispitanika koristi autoput za udaljenosti od 60km do 90km.

Rezultati istraživanju su pokazali da čak 28% ispitanika izbegava korišćenje autoputa i koristi alternativni put, dok 72 % anketiranih ne izbegava korišćenje autoputa i plaćanje putarine. Na Grafikonu 1 prikazani su glavni razlozi izbegavanja korišćenja autoputa. Sa Grafikona 1 može se videti da je glavni razlog izbegavanja korišćenja autoputa cena putarine (76%). 18% ispitanika je kao glavni razlog izbegavanja korišćenja autoputa navelo velike vremenske gubitke na naplatnim stanicama, a 6% ispitanika izbegava korišćenje autoputa zbog velikih brzina vozila koja se kreću ovom kategorijom puta.



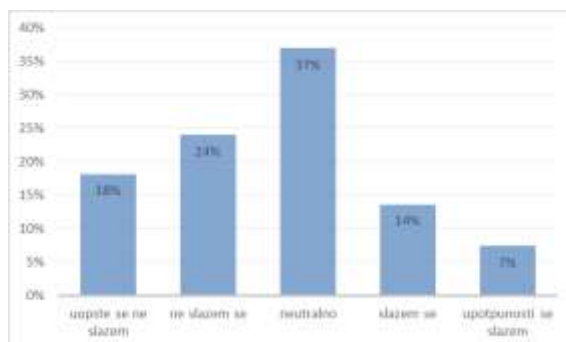
**Grafikon 1. Razlozi izbegavanja korišćenja autoputa**

Među anketiranim korisnicima 88% je izjavilo da bi se kretalo češće autoputem ako bi tarifiranje putarine bilo povoljnije. Najveći procenat ispitanika (75%) smatra da je za svakodnevne korisnike godišnja preplata putarine povoljnija u odnosu na putarinu u skladu sa pređenim kilometrima, dok 25% korisnika smatra suprotno, odnosno da je povoljnije plaćanje po pređenom kilometru. Na pitanje koji sistem naplate je povoljniji za one koji koriste autoput 1-3 puta godišnje, 83% ispitanika je odgovorilo da je najpovoljniji način plaćanja po pređenom kilometru, dok 17% smatra da je pogodno platiti korišćenje autoputa na sedmičnom nivou.

Određena pitanja ankete odnosila su se na informisanost korisnika o postojećim sistemima za naplatu putarine. Rezultati ove analize su pokazali da je čak 81% anketiranih korisnika izjavilo da poseduje znanje o vrstama sistema za naplatu putarine, dok 19% anketiranih nije upoznato sa vrstama sistema za naplatu putarine. Na pitanje koji sistem naplate putarine koristi TAG uređaj, 95% ispitanika je dalo tačan odgovor. Mogućnost plaćanja putarine na više načina bi želelo 82% ispitanika. Takođe, čak 84% korisnika ima pozitivan stav prema aplikaciji koja bi pružila pouzdano i tačno informisanje o naplati putarine. Sve veće interesovanje korisnika, kako kod nas tako i u svetu, raste za naplatom putarine bez zaustavljanja i promene brzine. Čak 87% korisnika su za uvođenje sistema za naplatu putarine bez zaustavljanja i smanjenja brzine vozila. 13% korisnika nije zainteresovano za ovaj sistem naplate putarine, gde jedan od razloga za to može biti neinformisanost korisnika o prednostima ovog sistema.

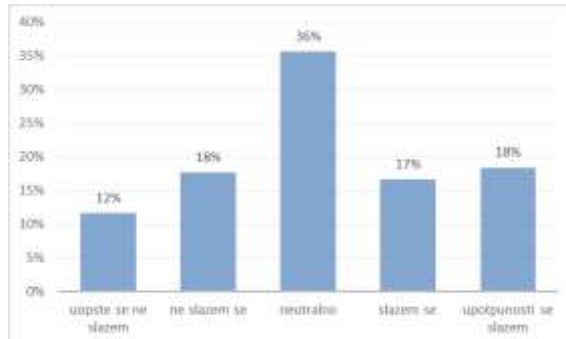
## ANALIZA STAVOVA KORISNIKA O NIVOU USLUGE NAPLATE PUTARINE NA AUTOPUTEVIMA REPUBLIKE SRBIJE

Najveći procenat ispitanika (čak 90%) smatra da je nivo usluge viši kod elektronske naplate putarine jer nema vremenskih zadržavanja prilikom naplate kao kod manualnog sistema za naplatu putarine. Takođe, 83% ispitanika smatra da je sa aspekta bezbednosti korisnika na naplatnim stanicama elektronska naplata putarine pogodniji način naplate putarine u odnosu na manualnu. Sa aspekta vremena putovanja i potrošnje goriva, čak 97% ispitanika smatra da je elektronska naplata putarine pogodniji način naplate u odnosu na manualni sistem. Za 57% anketiranih korisnika dozvoljena brzina na autoputu, od 120km/h, ne predstavlja podobno ograničenje brzine. Korisnici su imali mogućnost da izraze i mišljenje da li je kontrola prosečnih brzina na deonici važna za njihovu bezbednost. 51% anketiranih se složilo sa navedenom činjenicom, dok 49% smatra da kontrola brzine smanjuje njihovu koncentraciju i čini ih nervoznim. Sa Grafikona 2 može se videti da 42% anketiranih korisnika smatra da su cene putarine nepristupačne korisnicima, dok 21% anketiranih korisnika smatra suprotno. Neutralan odgovor dalo je 37% anketiranih korisnika.



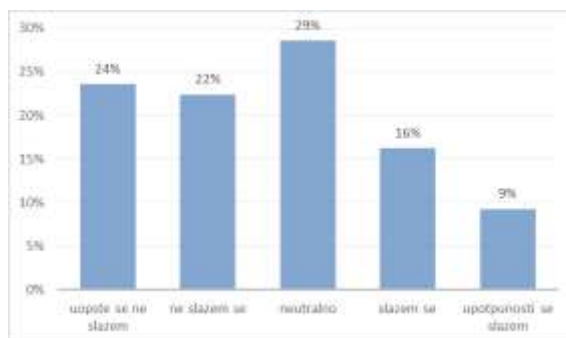
**Grafikon 2.** Stav korisnika o pristupačnosti cena putarine u Srbiji

Stav korisnika o tome da li su cene putarina veće u Srbiji nego u Evropi nije imalo 36% ispitanika. Ovakav rezultat se može tumačiti i kao neinformisanost korisnika o cenama naplate putarine na nivou Evrope. 30% korisnika smatra da su cene putarine veće u odnosu na Evropu, a 35% korisnika (koji su dali tačan odgovor) se ne slaže sa tom izjavom (Grafikon 3).



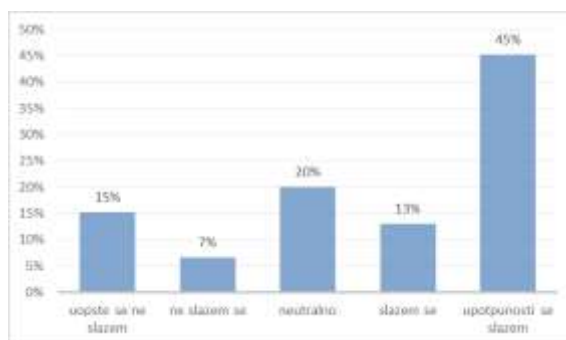
**Grafikon 3.** Stav korisnika o tome da li su cene putarina veće u Srbiji u odnosu na Evropu

Najveći procena ispitanika (46%) smatra da cene putarine u Srbiji nisu odgovarajuće za bezbednost, brzinu putovanja i udobnost vožnje koju im pruža autoput, 25% misli da su cene odgovarajuće za uslove autoputeva, dok je 29% korisnika neutralno po ovom pitanju (Grafikon 4).



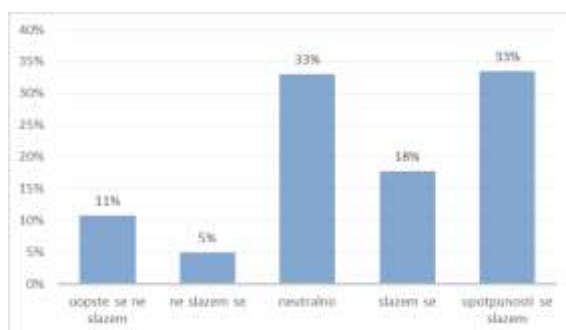
**Grafikon 4.** Stav korisnika o tome da li su cene putarine odgovarajuće za bezbednost, brzinu putovanja i udobnost vožnje koju pruža autoput

Na pitanje da li su za uvođenje naplate putarine u vidu vremenske naknade, 45% anketiranih korisnika se slaže sa uvođenjem ove vrste naknade, dok 22% korisnika smatra da vremenska naplata nije potrebna (Grafikon 5).



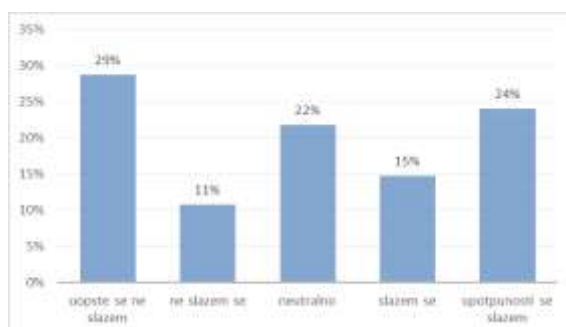
**Grafikon 5.** Stav korisnika o uvođenju vremenske naknade

Na pitanje da li bi odustali od vremenske naplate, ako je nepovoljna u odnosu na naknadu po pređenim kilometrima, 51% anketiranih korisnika se izjasnilo da bi odustali od vremenske naplate, 33% je neutralno, dok bi samo 16% korisnika bilo za vremensku naplatu putarine (Grafikon 6).



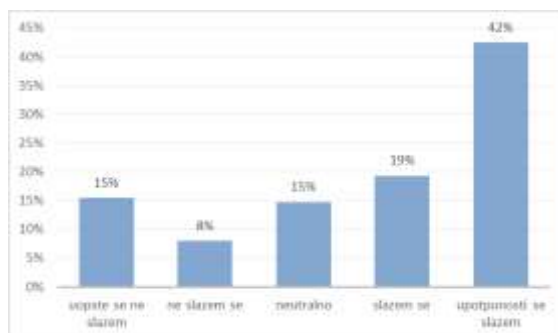
**Grafikon 6.** Da li bi korisnici odustali od vremenske naplate, ako je nepovoljna u odnosu na naknadu zasnovanu na pređenim kilometrima

Grafikon 7 prikazuje stavove korisnika po pitanju povećanja cene putarine za vozila koja proizvode veću buku na autoputu. Sa Grafikona 7 može se videti da je stav većine korisnika (40%) da se ne slažu sa povećanjem cene putarine za vozila koja proizvode veću buku na autoputu. Ovaj rezultat je očekivan imajući u vidu činjenicu da je vozni park u Srbiji veoma star, pa bi povećanje cene obuhvatilo veliki broj korisnika.



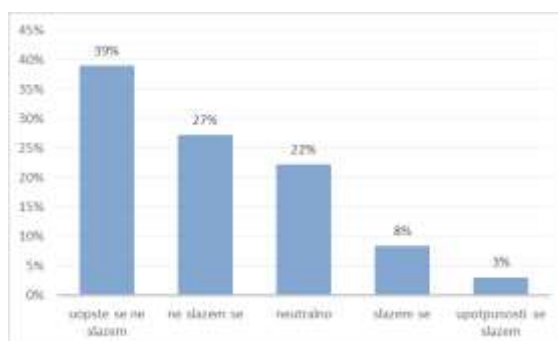
**Grafikon 7.** Stav korisnika o povećanju cene putarine za vozila koja proizvode veću buku na autoputu

Zbog povećane svesti korisnika o emisiji zagađenja i šteti po život ljudi, 61% korisnika je za povećanje cene putarine, kako bi se uticalo na promenu voznog parka ili neki drugi alternativni vid prevoza korisnika. 23% korisnika se ne slaže sa povećanjem cene za vozila koja proizvode veću emisiju zagađenja vazduha (Grafikon 8).

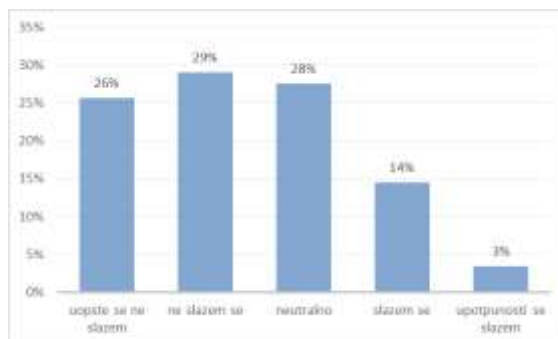


**Grafikon 8.** Stav korisnika o povećanju cene putarine za vozila koja proizvode veću emisiju polutanata

39% ispitanika je mišljenja da stanje kolovoza u potpunosti nije u skladu sa cenom putarine, a samo 3% ispitanika se u potpunosti slaže da je cena u skladu sa nivoom održavanja autoputa (Grafikon 9). Stav korisnika po pitanju zimskog održavanja kolovoza je sledeći: 55% korisnika se ne slaže sa tim da je zimsko održavanje na zadovoljavajućem nivou, u odnosu na plaćenu cenu putarine, dok je 17% ispitanika mišljenja da je zimsko održavanje autoputeva na odgovarajućem nivou, u skladu sa plaćenom cenom putarine (Grafikon 10).

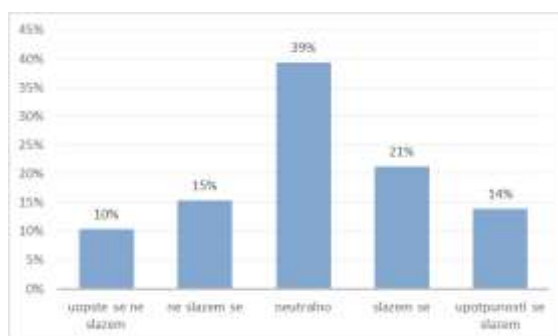


**Grafikon 9.** Stav korisnika o nivou održavanja kolovoza autoputeva u odnosu na plaćenu cenu



**Grafikon 10.** Stav korisnika o nivou zimskog održavanja autoputeva u odnosu na plaćenu cenu putarine

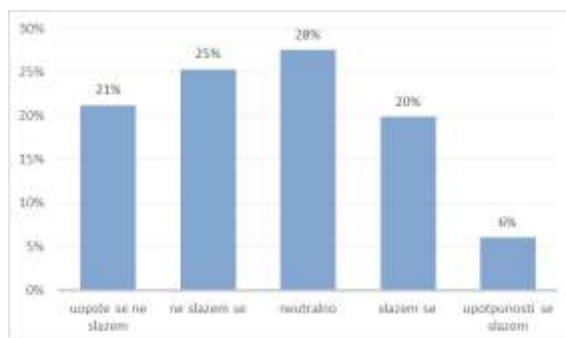
Na pitanje da li barijere za zaštitu od buke na zadovoljavajućem nivou smanjuju buku koja nastaje kao posledica saobraćaja na autoputevima, 35% korisnika smatra da barijere značajno smanjuju buku koja nastaje kao posledica saobraćaja, dok 26% smatra suprotno. Neutralno je bilo 39% ispitanika (Grafikon 11).



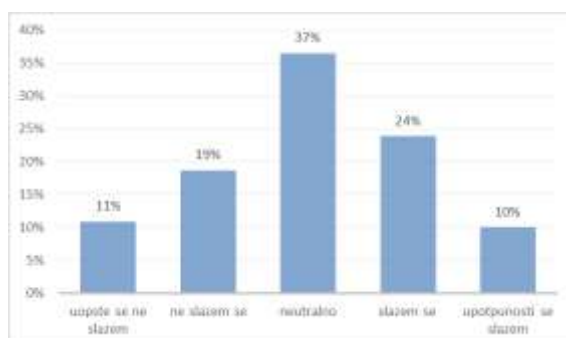
**Grafikon 11.** Stav korisnika o efektu barijera za zaštitu od buke



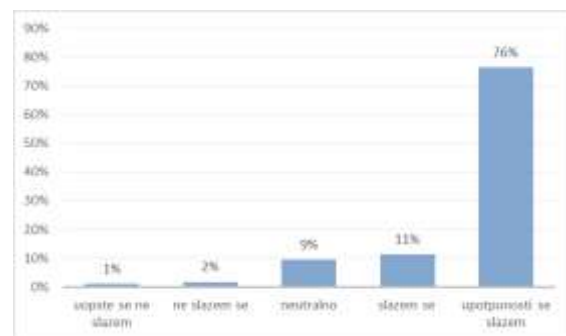
Većina ispitanika (46%) smatra da zemljišni pojas autoputa nije dovoljno dobro uređen (Grafikon 12). Među ispitanicima 30% njih smatra da prateći sadržaji autoputa nisu adekvatni za korisnike autoputa. 34% anketiranih korisnika se slaže da su prateći sadržaji autoputa adekvatni za korisnike, dok je 37% ispitanika bilo neutralno (Grafikon 13). Dobijeni rezultati su takođe pokazali da je 87% anketiranih korisnika mišljenja da loše stanje kolovoza ugrožava bezbednost učesnika u saobraćaju (Grafikon 14). Većina ispitanika se slaže sa činjenicom da stanje kolovoza utiče na potrošnju goriva (77%). Određeni broj ispitanika je neutralan (17%), dok svega 6% ispitanika smatra da stanje kolovoza ne utiče na potrošnju goriva (Grafikon 15).



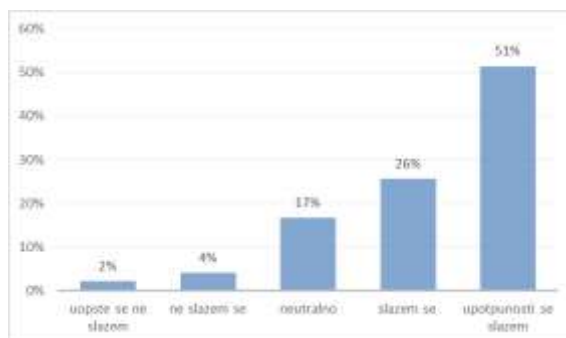
**Grafikon 12.** Stav korisnika o tome da li je zemljišni pojas autoputa na zadovoljavajućem nivou uređen u odnosu na plaćenu cenu putarine



**Grafikon 13.** Stav korisnika o tome da li su prateći sadržaji autoputa adekvatni za korisnike



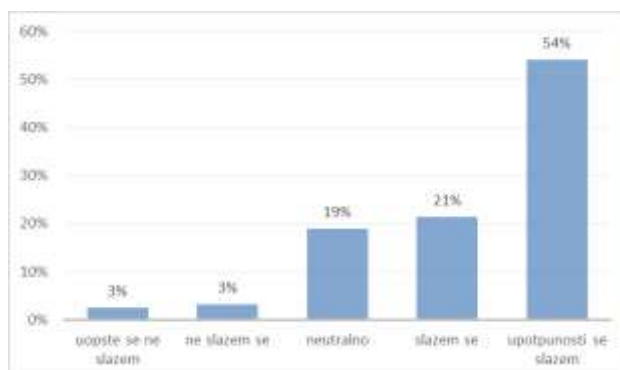
**Grafikon 14.** Mišljenje korisnika o tome da li stanje kolovoza utiče na bezbednost saobraćaja



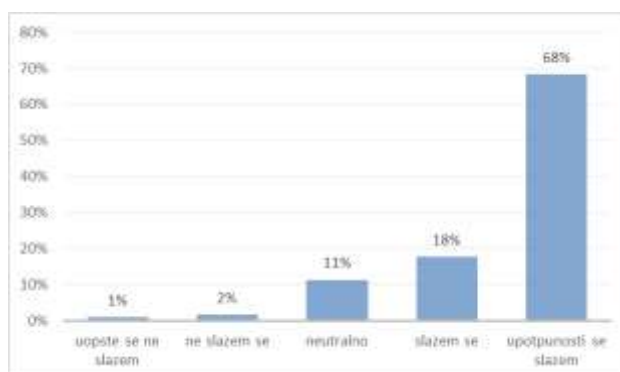
**Grafikon 15.** Mišljenje korisnika o tome da li stanje kolovoza utiče na potrošnju goriva

## ANALIZA STAVOVA KORISNIKA O NIVOU USLUGE NAPLATE PUTARINE NA AUTOPUTEVIMA REPUBLIKE SRBIJE

Dobijeni rezultati pokazuju da se većina ispitanika (75%) slaže da elektronska naplata putarine doprinosi efikasnosti i tačnosti naplate putarine u odnosu na manuelnu naplatu putarine (Grafikon 16). Na Grafikonu 17 prikazani su stavovi korisnika po pitanju ulaganja ostvarenog prihoda od naplate putarine. Sa Grafikona 17 može se videti da čak 86% korisnika smatra da je prihod od naplate putarine potrebno uložiti u poboljšanje nivoa usluge na autoputu (Grafikon 17).

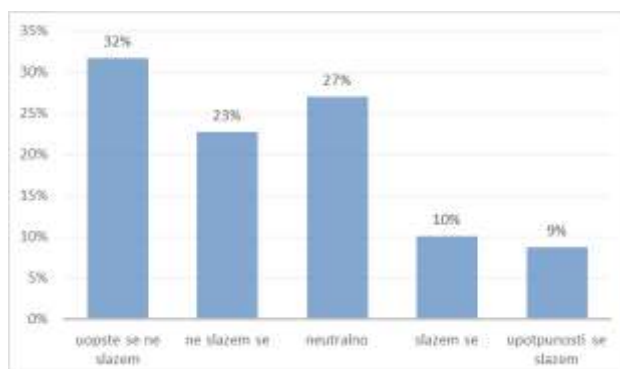


**Grafikon 16.** Mišljenje korisnika o tome da li elektronska naplata putarine doprinosi efikasnijoj i pouzdanijoj naplati putarine



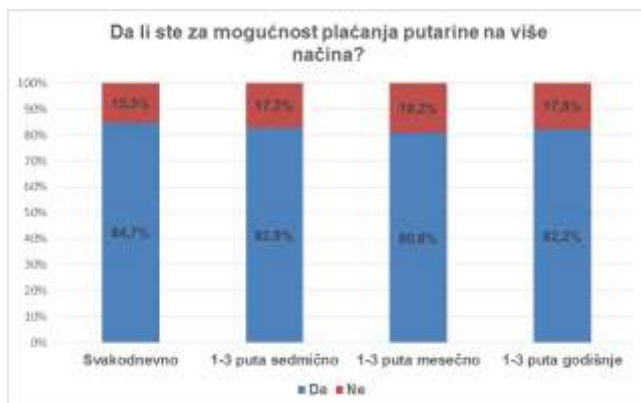
**Grafikon 17.** Stav korisnika o načinu iskorišćenja prihoda ostvarenog od naplate putarine – ulaganje u viši nivo usluge na autoputu

Sa stavom da novac od naplate putarine ne treba ulagati u okolne puteve slaže se 55% anketiranih korisnika. 19% anketiranih korisnika smatra da novac od naplate putarine treba ulagati i u dvotračne puteve (Grafikon 18).



**Grafikon 18.** Stav korisnika o načinu iskorišćenja prihoda ostvarenog od naplate putarine – ulaganje u ostale kategorije puteva

Na Grafikonu 19 prikazan je stav korisnika o tome da li bi želeli da imaju mogućnost plaćanja putarine na više načina u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa. Sa Grafikona 19 može se videti da je svakodnevnim korisnicima autoputa u izvesnoj meri značajnija mogućnost plaćanja putarine na više načina u odnosu na korisnike koji ređe koriste autoput. Ovaj rezultat je bio očekivan, imajući u vidu činjenicu da svakodnevnim korisnicima korišćenje različitih načina plaćanja putarine u značajnoj meri olakšava proces naplate.



**Grafikon 19.** Stav korisnika o mogućnostima plaćanja putarine na više načina u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa

Grafikon 20 prikazuje stav korisnika o uvođenju sistema naplate bez zaustavljanja i/ili smanjenja brzine, u odnosu na učestalost korišćenja autoputa. Sa Grafikona 20 može se videti da je svim grupama korisnika, a posebno onim koji koriste autoput svakodnevno veoma važno da imaju sistem naplate putarine bez zaustavljanja i/ili smanjenja brzine.



**Grafikon 20.** Stav korisnika o uvođenju sistema naplate bez zaustavljanja i/ili smanjenja brzine, u odnosu na učestalost korišćenja autoputa

Rezultati ove analize su pokazali da sve grupe korisnika autoputeva u izvesnoj meri poznaju sisteme naplate putarine koji se koriste u Srbiji. Sa postojećim sistemima za naplatu putarine u Srbiji najmanje su upoznati ispitanici koji koriste autoput retko, odnosno 1-3 puta godišnje (Grafikon 21). Ovaj rezultat je takođe bio očekivan, s obzirom da povremeni korisnici ređe koriste autoput pa su samim tim manje upoznati sa postojećim sistemima za naplatu putarine.



**Grafikon 21.** Poznavanje sistema za naplatu putarine u Srbiji u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa



**Grafikon 22.** Podobnost ograničenja brzine na autoputu od 120 km/h sa aspekta korisnika različite učestalosti korišćenja autoputa

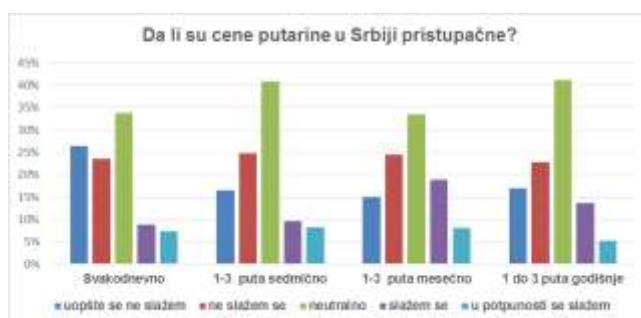
Značajno je manji broj ispitanika koji svega nekoliko puta godišnje koriste autoput, a koji smatraju da ograničenje brzine na autoputu od 120 km/h nije podobno za kretanje vozila ovom kategorijom puta, u odnosu na korisnike koji češće koriste autoput (Grafikon 22). Ovaj rezultat ukazuje na jasnu potrebu da se u daljem radu ispita podobnost postojećeg ograničenja brzine na autoputu, kako sa aspekta efikasnosti tako i sa aspekta bezbednosti i ekološkog aspekta.

Pored analize podobnosti ograničenja brzine od 120 km/h, u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa, sprovedena je i analiza podobnosti navedenog ograničenja u odnosu na pređena rastojanja autoputem od strane korisnika. Da ograničenje brzine od 120 km/h nije adekvatno za kretanje vozila autoputem, u najvećoj meri smatraju ispitanici koji koriste autoput za rastojanja preko 90 km (Grafikon 23).

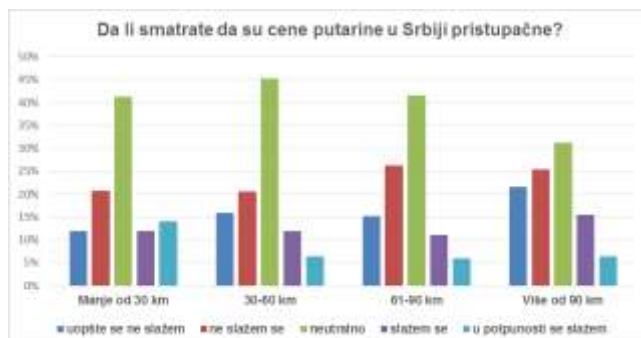


**Grafikon 23.** Podobnost ograničenja brzine na autoputu od 120 km/h sa aspekta korisnika koji na autoputu prelaze različita rastojanja

Na Grafikonu 24 prikazani su stavovi korisnika o pristupačnosti cena putarine u Srbiji u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa. Sa Grafikona 24 može se videti da je među svim grupama korisnika najviše onih koji su neutralni po ovom pitanju. Takođe, među svakodnevnim korisnicima više je onih koji se uopšte ne slažu da su cene putarine pristupačne u Srbiji, u odnosu na ostale grupe korisnika.



**Grafikon 24.** Stav korisnika o pristupačnosti cena putarine u Srbiji u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa



**Grafikon 25.** Stav korisnika o pristupačnosti cena putarine u Srbiji u zavisnosti od prosečnih pređenih rastojanja na mreži autoputeva

Korisnici koje prelaze veća rastojanja na autoputevima u većoj meri smatraju da su cene putarine nepristupačne u odnosu na one koji prelaze kraća rastojanja (Grafikon 25). Ovaj rezultat je u određenoj meri očekivan imajući u vidu činjenicu da korisnici koji prelaze veća rastojanja moraju da plate više u odnosu na korisnike kraćih rastojanja, što za posledicu ima negativan stav prema trenutnim cenama putarine u Srbiji.

Među svakodnevnim korisnicima autoputa najviše je onih koji smatraju da su cene putarine u Srbiji pristupačnije u odnosu na cene putarine na nivou Evrope, a najmanje onih koji se uopšte ne slažu sa tim. Kada se uporede stavovi korisnika različite učestalosti korišćenja autoputa može se videti da oni koji češće koriste autoput u većoj meri smatraju da su cene putarine u Srbiji pristupačnije u odnosu na cene putarine u Evropi (Grafikon 26).



**Grafikon 26.** Stav korisnika o pristupačnosti cena putarine u Srbiji u odnosu na cene na nivou Evrope u zavisnosti od učestalosti korišćenja autoputa

## 5. ZAKLJUČAK

Razumevanje stavova korisnika puteva je preduslov za uspešnu implementaciju i unapređenje sistema za naplatu putarine. Imajući to u vidu, cilj ovog rada je da se utvrde stavovi korisnika autoputeva u Srbiji prema putarinama. Sprovedena anketa je dala odgovore na pitanje da li korisnici puteva razumeju i podržavaju naplatu jer su koristi korišćenja autoputa za vozače višestuko veći od troškova putarine, kao i odgovore na zahteve korisnika po pitanju nivoa usluge na autoputevima.

Dobijeni rezultati su pokazali da trećina ispitanika izbegava korišćenje autoputa i naplatu putarine, odnosno koristi alternativne puteve. Kao glavni razlog za to ispitanici navode cenu putarine (76%). Među anketiranim korisnicima 88% je izjavilo da bi se češće kretali autoputom, ako bi tarifiranje putarine bilo povoljnije. 30% korisnika smatra da su cene putarine veće u Srbiji u odnosu na Evropu, a 35% korisnika (koji su dali tačan odgovor) se ne slaže sa tom izjavom. Najveći procenat ispitanika (75 %) smatra da je za svakodnevne korisnike godišnja preplata putarine povoljnija u odnosu na putarinu u skladu sa pređenim kilometrima, dok je za korisnike koji retko koriste autoput (1-3 puta godinje) povoljnija naknada u vidu pređenih kilometara (83%). Većina ispitanika je za uvođenje vremenske naknade.

## ANALIZA STAVOVA KORISNIKA O NIVOU USLUGE NAPLATE PUTARINE NA AUTOPUTEVIMA REPUBLIKE SRBIJE

Rezultati ankete, koji se odnose na informisanost korisnika, pokazali su da većina ispitanika poseduje određena znanja o sistemima za naplatu putarine i da su za uvođenje naprednih sistema koji ne zahtevaju čekanje u redu niti smanjenje brzine vozila na naplatnim stanicama. Većina ispitanika (preko 80%) ima pozitivan stav prema mogućnostima plaćanja putarine na više načina i aplikaciji koja obezbeđuje pouzdano i tačno informisanje o naplati putarine. Takođe, veoma je važno istaći činjenicu da su ispitanici jasno prepoznali prednosti elektronske naplate putarine sa aspekta nivoa usluge, nivoa bezbednosti i troškova eksploatacije vozila. Za 57% korisnika dozvoljena brzina na autoputu, od 120km/h, ne predstavlja podobnu brzinu.

Najveći procenat ispitanika (46%) smatra da cene putarine u Srbiji nisu odgovarajuće za bezbednost, brzinu putovanja i udobnost vožnje koju im pruža autoput. 39% ispitanika je mišljenja da stanje kolovoza u potpunosti nije u skladu sa cenom putarine, a samo 3% ispitanika se u potpunosti slaže da je cena u skladu sa nivoom održavanja kolovoza autoputa. Samo 17% anketiranih korisnika je mišljenja da je zimsko održavanje autoputeva na odgovarajućem nivou, u skladu sa plaćenom cenom putarine. Većina ispitanika (46%) smatra da zemljišni pojas autoputa nije dovoljno dobro uređen i 30% njih smatra da prateći sadržaji autoputa nisu adekvatni za korisnike autoputa. Sa stavom da novac od naplate putarine ne treba ulagati u okolne puteve slaže se 55% anketiranih korisnika. 19% anketiranih korisnika smatra da novac od naplate putarine treba ulagati i u dvotračne puteve.

Dobijeni rezultati su ukazali na ključne probleme u postojećem stanju sistema naplate putarine u Srbiji i predstavljaju smernice za unapređenje sistema za naplatu putarine u Srbiji.

## LITERATURA

- [1] Di Ciommo, F., Monzón, A., & Fernandez-Heredia, A. (2013). Improving the analysis of road pricing acceptability surveys by using hybrid models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 302-316.
- [2] Gaunt, M., Rye, T., & Allen, S. (2007). Public acceptability of road user charging: the case of Edinburgh and the 2005 referendum. *Transport Reviews*, 27(1), 85-102.
- [3] Glavić, D., Milos, M., Luttinen, T., Cicevic, S., & Trifunovic, A. (2017). Road to price: User perspectives on road pricing in transition country. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105, 79-94.
- [4] Gomez, J., Papanikolaou, A., & Vassallo, J. M. (2016). Measuring regional differences in users' perceptions towards interurban toll roads. *Journal of Transport Geography*, 54, 22-33.
- [5] Odeck, J., & Bråthen, S. (2002). Toll financing in Norway: The success, the failures and perspectives for the future. *Transport Policy*, 9(3), 253-260.
- [6] Zmud, J., & Arce, C. (2008). Compilation of public opinion data on tolls and road pricing (Vol. 377). *Transportation Research Board*.



# ИНДИКАТОРИ БЕЗБЈЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА ЗА ПУТНУ МРЕЖУ- ПРИМЈЕР МЈЕРЕЊА ПОЈЕДИНИХ ИНДИКАТОРА

Мирослав Ђерић<sup>1</sup>, Зоран Андрић<sup>2</sup>

**Резиме:** Путна мрежа, односно путеви представљају значајне ресурсе и најважније јавне инвестиције једне земље. Свака саобраћајна дионица има двоструки задатак, да обезбједи ефикасно саобраћајно повезивање и у исто вријеме омогући приступачност до локација у непосредном окружењу пута. Ови задаци су контрадикторни, те је потребно рационално уравнотежење истих. Наиме, достизање захтијеване ефикасности и очување безбједности у саобраћајном току има за последицу већу контролу приступа, а супротно повећан број приступа по километру пута негативно утиче на безбједност учесника и смањење самог капацитета пута. Густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута је један од индикатора безбједности саобраћаја који мјери квалитет ванградске путне мреже са аспекта безбједности саобраћаја. У складу са наведеним дат је примјер мјерења индикатора безбједности саобраћаја „густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута“, на саобраћајним дионицама на два магистрална правца у Републици Српској, и то: на дионици „Хан Дервента-Мокро“ на магистралном путу М19 и на дионици „Добој-Шешлије“ на магистралном путу М17. Резултати мјерења овог индикатора треба да дају реалну слику постојећег стања безбједности путне мреже на саобраћајним дионицама које су биле предмет мјерења и колико исте омогућавају безбједно кретање учесника у саобраћају. Циљ рада јесте промовисање и приказ мјерења једног од индикатора путне мреже „густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута“, која представља незаобилазан фактор безбједности саобраћаја.

**Кључне речи:** индикатори безбједности саобраћаја, путна мрежа, контрола приступа.

## ROAD SAFETY PERFORMANCE INDICATORS (SPI'S) FOR ROAD NETWORK-EXAMPLE OF MEASUREMENT SOME OF THE INDICATORS

**Abstract:** Road network constitute valuable resource and the most important public investment of a country. Each traffic section has a double task, to provide efficient traffic connections and to ensure accessibility to the locations at the immediate vicinity of the road. These tasks are contradictory and a rational balancing between them is necessary. Reaching desired efficiency and maintaining safety in the traffic flow results in a greater control of access and opposite to it, the increased access negatively affects safety of participants and leads to reduction in the road capacity itself. Density of the access for the rural road network or number of access per kilometer of road is one of the road safety indicators that measures the quality of rural road network from the aspect of road safety. This paper gives the example of measuring the road safety indicator „density of the access for the rural road network or number of access per kilometer of road“ for two sections on two magistral roads in the Republic of Srpska, namely: the section „Han Derventa-Mokro“ on the magistral road M19 and the section „Doboj-Šešlije“ on the magistral road M17. The indicator's measuring results should provide the real insight into the current state of road network safety on the traffic sections concerned and the extent to which those sections ensure safe movement of the traffic participants. The objective of paper is to promote and to present the process of measuring one of the road network indicators „density of the access for the rural road network or number of access per kilometer of road „which represents the indispensable factor in contributing to traffic safety.

**Keywords:** traffic safety indicators, road network, access control.

<sup>1</sup> Министарство комуникација и транспорта БиХ, Трг БиХ 1, 71000 Сарајево, е-mail: miroslav.djeric@mkt.gov.ba

<sup>2</sup> Министарство комуникација и транспорта БиХ, Трг БиХ 1, 71000 Сарајево, е-mail: zoran.andric@mkt.gov.ba

## 1. УВОД

Резолуцијом Уједињених нација (A/PEC/64/255, од 10.05.2010.године), о унапређењу безбједности саобраћаја, промовисана је важност глобалне и националне координације у свијету, а све у циљу смањења броја погинулих и трошкова саобраћајних незгода широм свијета. Категоризацијом активности свих водећих тијела за безбједност саобраћаја (у даљем тексту:БС), утврђене су приоритетне активности, како на глобалном тако и на националном, односно локалном нивоу. У складу са истим, на првом мјесту приоритета се налазе начини и препоруке за оснивање водећих националних тијела за управљање БС. Одмах затим, наведене су активности које су усмјерене на безбједнију путну мрежу. Тако се превазилази досадашње схватање по коме до саобраћајних незгода доводе само грешке возача, односно људски фактор. Примарни циљ употребе индикатора безбједности саобраћаја (у даљем тексту:ИБС), јесте утврђивање постојећег стања система БС, односно мјерење перформанси (индикатора) система. Са друге стране, секундарни циљ примјене ИБС јесте могућност поређења субјеката система БС на свим нивоима.

Мјерењем ИБС који се односе на квалитет путне мреже, могу се добити резултати који показују неискоришћеност путне мреже у односу на њену пројектовану функцију. У вези са претходним, у овом раду је дат примјер мјерења ИБС „густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута“, на саобраћајним дионицама на два магистрална правца у Републици Српској, и то: на дионици „Хан Дервента-Мокро“ на магистралном путу М19 и на дионици “Добој-Шешлије“ на магистралном путу М17. Резултати мјерења овог индикатора треба да дају реалну слику постојећег стања безбједности путне мреже на саобраћајним дионицама које су биле предмет мјерења, са аспекта броја приступа по километру пута.

## 2. ПОЈАМ И ЗНАЧАЈ ИНДИКАТОРА БЕЗБЈЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Постојећи метод праћења и оцјењивања стања БС се заснива искључиво на подацима о саобраћајним незгодама и посљедицама саобраћајних незгода. Обзиром на наведено, сматра се да овај метод није хуман (стање се оцијењује тек када су настале посљедице), научно оправдан (често због малог броја незгода није могуће примјенити статистички метод), не пружа релевантне и поуздане информације о томе шта су проблеми БС, нити указује на оптималне контрамјере. Стога се данас у свијету чине напори да се успостави савремени начин праћења и оцјењивања стања БС који ће отклонити недостатке традиционалног приступа (Липовац и др., 2012).

Предност приликом дефинисања ИБС који се односе на квалитет путне мреже се крије у томе, што нам је у сваком тренутку познат „узорак“ који посматрамо. Наиме, карактеристике постојеће путне мреже је могуће добити од управљача пута. Међутим, када су у питању индикатори који су везани за учеснике у саобраћају, то је много комплексније, јер је потребно обезбиједити репрезентативност узорка и спровести истраживање над испитаницима.

Al Najj, Г. (2007), је оквирно дефинисао индикаторе који мјере квалитет путне мреже. Његовим путем су наставили Nakkert, A.S. et al. (2007), који су категорију ИБС који мјере квалитет путне мреже подијелили у два сегмента: путна мрежа и карактеристике пута. У првом сегменту су анализирани: типови раскрсница, категорије путева и њихова функција, док су у другом сегменту између осталог, посматрани: заступљеност опраштајућих путева и других саобраћајних објеката, заступљеност путних елемената намијењених за рањиве учеснике у саобраћају, као и оцјена дионице пута помоћу EuroRAP метода.

Такође, Vis, M.A. и Van Gent, A.L. (2007), су представили двије категорије ИБС, дијелећи индикаторе на оне који су везани за путну мрежу и оне који су везани за карактеристике пута. Пратећи њих, извршили су упоредну анализу међу седам земаља. Предмет анализе су били елементи који одређују путну мрежу (број становника, типови раскрсница и густина раскрсница), и елементи који одређују пут (заштитна ограда, ширина коловозне траке, слободне зоне без ограничења и сл). Надаље, Weijermars, W.A.M. et al. (2008), су представили пилот пројекте реализоване у четири земље (Холандија, Грчка, Израел и Португал), а тичу се праћења ИБС везаних за пут и путну мрежу. Акцент је дат на дефинисање типова урбаних центара и типова раскрсница. Даље, приликом израде пројеката рехабилитације саобраћајних објеката треба узимати више у обзир потребе рањивих учесника у саобраћају. То подразумијева сљедеће: постављање додатних заштитних ограда, тротоара, зауставних

трака, изградња проширења за одмор и паркинг, постављање неопходне хоризонталне и вертикалне саобраћајне сигнализације и сл.

### 3. ПУТНА МРЕЖА КАО ИНДИКАТОР БЕЗБЈЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Један од ИБС који има утицај на БС је квалитет путне мреже. Приликом дефинисања индикатора квалитета путне мреже на националном нивоу, треба водити рачуна о карактеристикама путне мреже и у складу са тим, прилагодити их. Сличан концепт је потребно примјенити и на локалном нивоу. Претходно произилази из индивидуалности и специфичности сваке путне мреже (градска, ванградска), која опет зависи од потреба корисника пута. Густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута је један од индикатора безбједности саобраћаја који мјери квалитет ванградске путне мреже са аспекта безбједности саобраћаја.

### 4. ПРИМЈЕР МЈЕРЕЊА ГУСТИНЕ ПРИСТУПА ЗА ВАНГРАДСКУ ПУТНУ МРЕЖУ (БРОЈ ПРИСТУПА ПО КИЛОМЕТРУ ПУТА)

Као примјер мјерења густине приступа за ванградску путну мрежу односно броја приступа по километру пута узете су двије саобраћајне дионице на два различита магистрална путна правца у Републици Српској, и то: на дионици „Хан Дервента-Мокро“ на магистралном путу М19, укупне дужине 6.700 м и на дионици „Добој-Шешлије“ на магистралном путу М17, укупне дужине 17.500 м.

Користећи податке преузете са службене интернет странице управљача путева, ЈП „Путеви Републике Српске“, у табели 1. је дат приказ просјечног годишњег дневног саобраћаја на посматране двије дионице, у периоду од 2007. до 2014. године.

Табела 1. ПГДС (воз/дан)

Пут	Дионица	Дужина дионице	Начин бројања	ПГДС** (воз/дан)							
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
М17	Добој-Шешлије	17.500	РБ*	13414	13497	13392	13211	13251	12763	12999	13371
М19	Хан Дервента-Мокро	6.700	РБ*	5485	5424	5417	5301	5224	4953	5070	5240

\*РБ-ручно бројање.

\*\*ПГДС-просјечан годишњи дневни саобраћај.

За мјерење густине приступа за ванградску путну мрежу односно броја приступа по километру пута на посматране двије дионице, као помоћно средство, служио је посебно у ову сврху израђен радни лист, који је садржавао рубрике које је требало попунити са сљедећим подацима:

- Назив дионице,
- Укупна дужина дионице,
- ПГДС на посматраној дионици за период 2009-2014. година.,
- Број прикључених локалних путева, гдје се под појмом „локални пут“ подразумијевао јавни пут који саобраћајно повезује територију јединице локалне самоуправе и територију јединице локалне самоуправе са мрежом других јавних путева,
- Број прикључених некатегорисаних путева, гдје се под појмом „некатегорисани пут“, подразумијевала површина која се користи за саобраћај и која је доступна већем броју различитих корисника (сеоски, пољски, шумски и индустријски путеви; путеви на насипима за одбрану од поплава; прилази на пут, бицикличке и пјешачке стазе и слично),

- Број прикључених улица, гдје се под појмом „улица“ подразумијевао дио јавног пута у насељу, са тротоаром и ивичњаком, поред којег се најмање с једне стране налазе редови кућа или група зграда.

Ограничење у раду се односи на податаке о ПГДС, јер су подаци доступни закључно са 2014. годином. Узимајући у обзир наведени недостатак, за просјечни годишњи дневни саобраћај на посматраним дионицама су узети доступни подаци, односно подаци за период од 2007. до 2014.године.

Резултати истраживања који се односе на густину приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута на посматраним дионицама су приказани у табели 2.

Табела 2. Број приступа по километру пута на посматраним дионицама

Пут	Дионица	Дужина дионице	Број прикључених локалних путева	Број прикључених некатегорисаних путева	Број прикључених улица	Број приступа по км
М17	Добој-Шешлије	17.500	25	256	1	16,1
М19	Хан Дервента-Мокро	6.700	4	90	0	14

Да би се могла анализирати густина приступа за ванградску путну мрежу односно добијени број приступа по километру пута на посматраним дионицама, са аспекта утицаја истих на безбједност саобраћаја, потребно је на основу ранијих истраживања имати податак о утицају броја приступних путева (приступа), по јединици дужине односно километру пута на број саобраћајних незгода.

У том контексту, резултати истраживања која су вршена у САД, указују да повећање од 6 на 13 приступа по километру пута повећава стопу саобраћајних незгода за 30% (Тубић et al, 2014). Међутим, ова повезаност варира са разликом у карактеристикама пута, пројектних брзина, и величине саобраћајних захтјева на приступима и раскрсницама. Слична истраживања о повезаности броја приступа и саобраћајних незгода су вршена и у Шпанији, гдје резултати указују на примјетан прогресиван раст саобраћајних незгода за број приступа већи од 1,5 приступа по км (Pardillo et al, 2003).

Поред ових истраживања, резултати истраживања, реализовани у држави Колорадо, гдје су испитиване саобраћајне незгоде које су изазване маневрима возила на приступима ванградских путева, су показали да је њихово учешће у укупном броју незгода чак 50-60% (www.lcountry.com).

Даље, са повећањем броја приступа по км пута расте број нежељених могућих конфликта односно конфликтних тачака, већа је густина саобраћајног тока, успорен је саобраћај, повећава се број саобраћајних незгода, а просјечна брзина кретања је испод 50 км/х. Са друге стране са ограниченим бројем приступа, смањује се број могућих нежељених конфликтних тачака, повећава се проток возила, мања су кашњења, мањи број саобраћајних незгода, а просјечна брзина кретања је већа и креће се од 60 км/х и више. Уопштено имамо боље функционисање саобраћајног процеса, побољшану безбједност учесника у саобраћају, користи власника имовине која се налази уз пут, еколошку корист и др.

У складу са наведеним изведен је општи закључак да, за смањење стопе саобраћајних незгода на ванградској путној мрежи, број приступа по километру пута мора бити ограничен, а њихова појава, односно изградња строго контролисана.

Узимајући у обзир наведено, као и добијене резултате нашег мјерења са аспекта броја приступа по километру пута на посматраним дионицама, може се донекле дати оцијена стања на терену. Наиме, у нашем случају, резултати истраживања су у складу са истраживањима која су обављена у САД и Шпанији, и и иста показују да се ради о великом броју приступа по километру пута, и то од 14, на дионици Хан Дервента-Мокро, до 16.1, на дионици Добој-Шешлије.

У прилог наведеном говоре и резултати истраживања (Марић и др., 2014), који су за посматрани период од 2011-2013.године, показали да двије општине, Пале и Добој, на чијем подручју се налазе посматране дионице, које су биле предмет истраживања овог рада, са аспекта јавног и саобраћајног ризика спадају у групу изузетно небезбједних општина. Овдје свакако треба додати и непостојање подзаконског прописа „Правилник о начину прикључивања на јавни пут“ којим би се уредили услови и начин прикључивања на правац магистралних, регионалних и локалних путева, као и не постојање базе података о тренутном стању на путевима у Републици Српској, од стране управљача путева,

посматрано са аспекта густине приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута.

Са друге стране, да би употпуности могли да оцијенимо утицај броја приступа по километру пута на број саобраћајних незгода, било је потребно да имамо податке о броју саобраћајних незгода на посматраним дионицама у одређеном временском периоду, од 2009-2014.године. Нажалост, недостатак овог рада односно истраживања се и огледа у немогућности добијања података о саобраћајним незгодама, које су се у периоду од 2009-2014.година, догодиле на посматраним дионицама. Наиме, подаци о саобраћајним незгодама које објављује надлежни орган унутрашњих послова и који су јавни, не садрже податке о саобраћајним незгодама по категорији пута. Такође, поставља се и питање да ли постојеће базе података о саобраћајним незгодама, које воде органи унутрашњих послова, садрже податке о броју приступа по километру пута на дионицама.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У време свјетске економске кризе све више се напора и активности улаже у савремене процедуре и принципе „штедње“ државних буџета. Из тог разлога, развија се савремени приступ унапређења БС који тежи „предуприједити“ саобраћајне незгоде, чиме би се директно утицало на смањење укупних друштвених трошкова, изражених кроз број погинулих и тешко поврјеђених људи, материјалну штету, његу после саобраћајне незгоде и сл.

У овом раду је приказан значај мјерења ИБС „густина приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута“, на саобраћајним дионицама на два магистрална правца у Републици Српској, и то: на дионици „Хан Дервента-Мокро“ на магистралном путу М19, те на дионици „Добој-Шешлије“ на магистралном путу М17. Узимајући у обзир резултате ранијих истраживања о утицају број приступа на степен саобраћајних незгода и њиховој повезаности, добијени резултати, који се односе на густину приступа за ванградску путну мрежу односно број приступа по километру пута, у конкретном случају за двије посматране дионице, указују да стање безбједности саобраћаја није задовољавајуће. Наиме, резултати указују да се ради о изузетно великом броју приступа по километру пута, и то од 14, на дионици Хан Дервента-Мокро, до 16.1, на дионици Добој-Шешлије.

Стога би би у наредном периоду, у конкретном случају, требало предузети активности у циљу смањивања броја приступа на ванградској путној мрежи односно броју приступа по километру пута, а све како би се смањио могући негативан утицај истих на безбједност саобраћаја.

Као прва активност коју треба реализовати јесте доношење подзаконског прописа, односно Правилника о начину прикључивања на јавни пут, којим ће се уредити услови и начин прикључивања на правац магистралних, регионалних и локалних путева. У оквиру предметног подзаконског прописа, прописати начин контроле приступа, зависно од категорије пута, а све у циљу спречавања насумичног прикључивања. Упоредо са истом активношћу потребно је методолошки осмислити и реализовати истраживања на терену, како би се на основу формиране базе података постојећих приступа (прикључака), могла урадити њихова систематизација и класификација. Ова активност се може релизовати од стране надлежних органа локалне заједнице, у сарадњи са осталим субјектима БС на нивоу локалне заједнице, као што су управљачи путева. Такође, у сарадњи са органима унутрашњих послова, формирати базу података која ће садржавати податке о броју саобраћајних незгода на дионицама које се налазе на територији једне локалне заједнице, а која ће служити као основа за анализу утицаја односно могуће повезаности броја приступа по километру пута на посматраној дионици са бројем саобраћајних незгода.

Даље, у циљу побољшања безбједности саобраћаја са аспекта броја приступа по километру пута, потребно је саобраћај са локалних и некатегорисаних путева, уколико је могуће, свести у један сабирни пут, који се прикључује на путеве вишег ранга. Ова активност се такође може реализовати од стране надлежних органа локалне заједнице, опет у сарадњи са управљачем пута. На крају, као незаобилазна мјера остаје коришћење саобраћајне сигнализације, која ће обезбиједити право првенства односно приоритета возилима која саобраћају на путевима вишег ранга.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Al-Haji, G. (2007). Road Safety Development Index (RSDI)-Theory, Philosophy and Practice (Dissertation No:1100). Norrköping, Sweden: Linköping University.
- [2] Access Management and Congestion Prevention Regulations in Icking Country Colorado, USA, 2004., www.lcountry.com.
- [3] Eksler, V. (2010). Measuring and understanding road safety performance at local territorial level. *SafetyScience*, 48 (2), 1197- 1202.
- [4] Hakkert, S., Gitelman, V. (2007) Road Safety Performance Indicators Manual. SafetyNET. Deliverable D3.8. of the EU FP6 project.
- [5] Hollo, P., Eksler, V., and Zukowska, J. (2010). Road safety performance indicators and their explanatory value: A critical view based on the experience of Central European countries. *SafetyScience*, 48 (3), 1142-115.
- [6] Липовац, К., Вујанић, М., Тешић, М. (2012). Приједлог индикатора безбједности саобраћаја у локалној заједници са начином примјене. VII Међународна конференција, Безбједност саобраћаја у локалној заједници, Лепенски Вир, стр. 117-123.
- [7] Марић, Б., Тешић, М. и Ђерић, М. (2014). Мапирање ризика на подручју Републике Српске (2011-2013). IX Међународна конференција, Безбједност саобраћаја у локалној заједници, Зајечар, стр.233-238.
- [8] Pardoillo, J., Llamas, R., Relevant Variables for Crash Rate Prediction in Spain's Two Lane Rural Roads, Paper #03-2796, Madrid, Spain, 2003., www.ltrc.lsu.edu.
- [9] Тубић, В., Видас, М. (2014). Утицај контроле приступа на безбедност саобраћаја и ниво услуге путовања. IX Међународна конференција, Безбедност саобраћаја у локалној заједници, Зајечар, стр.243-248.
- [10] Vis, M.A. and Van Gent, A.L. (Eds.) (2007) Road Safety Performance Indicators: Country Comparisons. Deliverable D3.7a of the EU FP6 project SafetyNet.
- [11] Wegman, F. and Oppe, S. (2010). Benchmarking road safety performances of countries. *SafetyScience*, 48 (2), 1203-1211.
- [12] Weijermars, W.A.M. (ed.) Safety Performance indicators for Roads: Pilots in the Netherlands, Greece, Israel and Portugal. Deliverable D3.10c of the EU FP6 project SafetyN.



## PRIMENA KOMUNIKACIJE U DOMENU VIDLJIVE SVETLOSTI U OKVIRU INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SISTEMA

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević<sup>1</sup>, Branka Mikavica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, a.kostic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, b.mikavica@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Razvojem Light Emitting Diodes - LED, komunikacija u domenu vidljive svetlost, Visible Light Communication – VLC, postaje alternativa postojećim bežičnim tehnologijama. Integracija sistema koji rade u domenu vidljive svetlosti sa Inteligentnim Transportnim Sistemima može značajno unaprediti mnoge sfere saobraćaja i transporta, naročito u domenu bezbednosti. Upotreba nelicenciranog opsega i šira implementacija VLC LED rasvete, kako u infrastrukturu, tako i u vozila, predstavljaju osnove za obezbeđivanje energetski efikasnog prenosa podataka dovoljno velikih protoka uz niske troškove. Iako postoji veliki broj prednosti VLC tehnologije u poređenju sa ostalim tehnologijama, primena sistema zasnovanih na komunikaciji putem vidljive svetlosti još uvek je u početnoj fazi razvoja. Aplikacije koje omogućavaju prenos podataka između vozila (V2V) i između vozila i infrastrukture (V2I) imaju zahteve za koje se očekuje da ih VLC adekvatno obezbediti u skorijoj budućnosti.

**Ključne reči:** VLC, LED, ITS

## APPLICATION OF VISIBLE LIGHT COMMUNICATIONS IN THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević<sup>1</sup>, Branka Mikavica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, a.kostic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, b.mikavica@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** With the advancement of Light Emitting Diodes - LED, Visible Light Communication - VLC, becomes an alternative to other existing wireless technologies. Integration of the Intelligent Transportation Systems and Visible Light Communication systems can significantly improve many aspects of transport and traffic, especially their safety. Unlicensed band and wider implementation of VLC LEDs in infrastructure and vehicles are the basis for energy efficient high rate data transmission with low costs. Although VLC shows great advantages over the existing technologies, it is still in the early development phase. However, it is expected that VLC will satisfy requirements of the applications enabling data transmission between vehicles (V2V) and between vehicle and infrastructure (V2I) in the near future.

**Keywords:** VLC, LED, ITS

### 1. UVOD

Komunikacija u domenu vidljive svetlosti je bežična komunikaciona tehnologija u razvoju, koja koristi bele ili obojene *Light Emitting Diodes* (LED) u cilju omogućavanja prenosa podataka putem vidljive svetlosti. *Visible Light Communication* (VLC) sistemi za prenos podataka koriste vidljivi deo spektra talasne dužine od 375 nm do 750 nm. Imajući u vidu da je radio spektar ograničen resurs, VLC postaje nova tehnologija za prenos koji predstavlja dopunu RF spektru [1].

Za razliku od optičkih bežičnih komunikacionih sistema, VLC sistemi mogu se koristiti i kao komunikacioni sistem i kao sistem za osvetljavanje. Velika prednost VLC sistema je upravo ta što omogućava nadogradnju i upotrebu postojeće infrastrukture zbog moguće upotrebe uređaja za istovremeni prenos podataka i osvetljavanje. Na taj način, ovi sistemi mogu se realizovati uz minimalne investicione troškove. VLC sistemi koriste nelicencirani deo spektra širine 400 THz. Za razliku od radio talasa koji se, u poslednje vreme, smatraju potencijalno opasnim po zdravlje ljudi, i infracrvene svetlosti koja može oštetiti ljudski vid, vidljiva svetlost je potpuno bezbedna što predstavlja ogromnu prednost. Takođe, VLC sistemi su otporni na elektromagnetne smetnje, što omogućava primenu u slučajevima kada se nije pogodna upotreba sistema koji koriste radio talase, kao što su bolnice. Oprema koja se koristi u VLC sistemima zadovoljava ograničenja koja se tiču bezbednosti ljudskog oka, a takođe može i da obezbedi prenos podataka u situacijama kada je izvor svetlosti slab ili isključen.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: a.kostic@sf.bg.ac.rs

Najznačajniji izazov pri uspostavljanju optičkog linka između predajnika i prijemnika je uspostavljanje linije optičke vidljivosti, naročito u slučaju mobilnosti uređaja ili prepreka koje se mogu javiti između predajnika i prijemnika koje mogu dovesti do prekida prenosa podataka. Takođe, to je od velikog značaja u situacijama kada prirodno ili veštačko svetlo dodaje šum i interferenciju u kanalu. Osim linije vidljivosti, na primenu VLC u *outdoor* okruženju utiču i vremenski uslovi kao što su kiša, sneg, magla, itd. S druge strane, zahtevi za ostvarivanje linije optičke vidljivosti mogu biti značajni za primene koje zahtevaju visok nivo sigurnosti prenosa podataka, zato što ne postoji mogućnost prenosa kroz zidove, kao što je slučaj sa radio talasima. U slučaju VLC, jedan optički link može se usmeriti od, na primer, sijalice na plafonu do poda, tako da samo nekoliko korisnika deli link. Na taj način, moguće je postojanje velikog broja VLC uređaja bez interferencije. Izvori svetlosti, kao što su razne LED lampe postavljene u *indoor* i/ili *outdoor* okruženju, komercijalni displeji, semafori i drugi slični uređaji, omogućavaju da VLC tehnologija ima jako široku primenu.

Pametno osvetljavanje putem VLC obezbeđuje infrastrukturu za osvetljavanje i komunikacije, ali i smanjuje potrošnju energije. Značajne novine u pogledu prenosa informacija o saobraćajnim tokovima u Inteligentnim Transportnim Sistemima (ITS) nastaju uvođenjem komunikacije u domenu vidljive svetlosti. Za unapređenje performansi transportnih sistema, razvijeni su različiti modeli komunikacije između vozila i infrastrukture, kao i između samih vozila: *vehicle-to-infrastructure* (V2I), *vehicle-to-vehicle* (V2V) i *infrastructure-to-vehicle* (I2V) [1]. VLC takođe može da omogućava navigaciju u gradskim sredinama gde je *Global Positioning System* (GPS) signal slab ili ga nema usled blizine vrlo visokih zgrada ili u tunelima. Takođe može imati značajnu ulogu u obezbeđivanju *Internet of Things* i *Machine-to-Machine* komunikacija. Imajući u vidu da radio frekvencije potencijalno mogu ugroziti bezbednost vazduhoplova, a za osvetljenje u avionima se već koristi LED rasveta, svaki od uređaja u rasveti mogu poslužiti kao VLC predajnik čime bi putnicima istovremeno obezbeđivali osvetljavanje i neke komunikacione servise. Takođe, ovim se mogu smanjiti troškovi konstrukcije aviona, kao i njegova težina [2]. Pored prethodno navedenih, područja koja mogu imati brojne prednosti od implementacije VLC su i muzeji, bolnice, a primenu može naći i u podvodnim komunikacijama [3].

Ovaj rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvoda, u drugom delu rada predstavljene su neke osnovne karakteristike VLC tehnologije, arhitektura sistema i načini realizacije VLC linka. Mogućnosti primene VLC tehnologije u ITS-u analizirane su u trećem delu rada. Četvrti deo rada prikazuje izazove u pogledu buduće primene VLC sistema. Zaključna razmatranja data su na kraju rada.

## 2. Osnovne karakteristike i arhitektura VLC sistema

S obzirom da VLC koristi nelicencirani vidljivi deo spektra za prenos podataka, omogućen je oko hiljadu puta veći propusni opseg u poređenju sa drugim bežičnim tehnologijama uz značajno niže troškove. Propusni opseg koji VLC sistemi trenutno obezbeđuju su do nekoliko desetina Gb/s, sa potencijalom za dalji rast primenom *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) tehnika. Ove karakteristike omogućavaju da VLC sistemi budu deo budućih 5G tehnologija. Ujedno, VLC sistemi su potpuno kompatibilni sa ostalim RF komunikacionim sistemima koji imaju veliku primenu u Inteligentnim transportnim sistemima. Jedan od osnovnih ciljeva ITS je unapređenje bezbednosti u saobraćaju. *Dedicated Short Range Communication* (DSRC) se do sada smatralo tehnologijom pogodnom za te primene [20]. Ipak, u poređenju sa DSRC, VLC pokazuje brojne prednosti. Osnovne karakteristike obe tehnologije prikazane su u Tabeli 1.

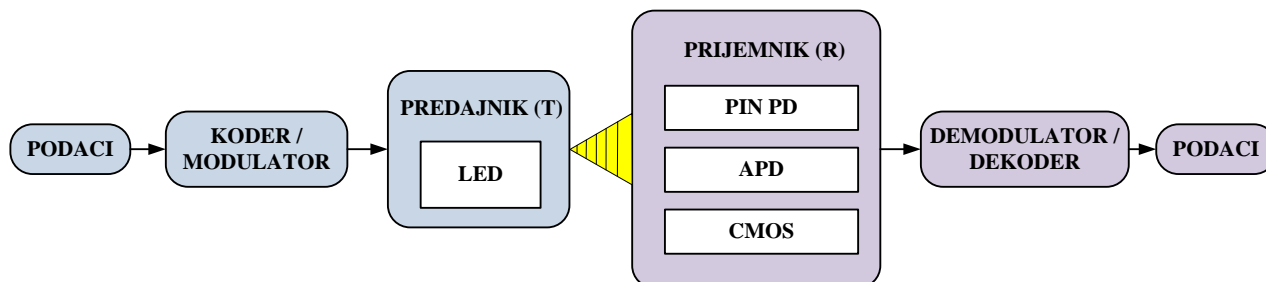
**Tabela 1. Poređenje osnovnih karakteristika VLC i RF (DSRC)**

Karakteristika	VLC	RF (DSRC)
Scenario komunikacije	Tipično LOS	LOS i NLOS
Domet	Mali domet i vrlo usmeren	Dalji domet i najčešće omnidirektivan
Frekvencijski opseg	400 - 790 THz	5.8 - 5.9 GHz
Licenciranje	Besplatno	Neophodno
Troškovi	Niski	Visoki
Mobilnost	Srednja	Visoka
Osetljivost na vremenske uslove	Osetljivi	Robusni
Osetljivost na ambijentalne šumove	Osetljivi	Neosetljivi

Zbog manjeg efekta prostiranja višestrukim putanjama, dizajn VLC predajnika je značajno jednostavniji u odnosu na RF predajnik. Takođe, LED svetla su već integrisana u vozila, dok RF sistemi iziskuju dodatne troškove za ugradnju opreme. RF sistemi imaju manju skalabilnost, naročito u slučaju većeg broja vozila u neposrednom okruženju. S druge strane, u slučaju VLC sistema samo vozila koja se nalaze u liniji optičke vidljivosti su podložna interferenciji. Za razliku od RF sistema, VLC sistemi za pozicioniranje mogu obezbediti tačnost na nivou metra zahvaljujući velikoj direktivnosti svetlosti. Pored toga, VLC sistemi garantuju veću bezbednost prenosa podataka, imajući u vidu da potencijalni *napadač* mora biti u liniji optičke vidljivosti potencijalne *žrtve*, verovatnoća otkrivanja *napadača* se povećava.

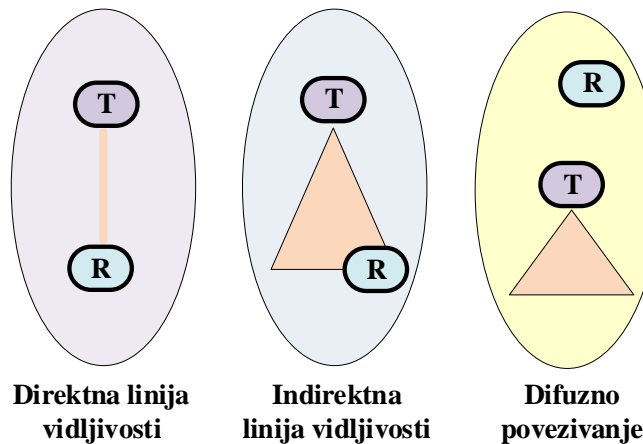
Primenom VLC sistema, moguće je takođe uspostaviti razmenu informacija između susednih vozila (V2V komunikacije) koristeći prednja, zadnja i stop svetla. U slučaju V2V, vozilo koje se nalazi ispred semafora prima informacije i prosleđuje ih vozilima koja se nalaze iza preko stop svetala. Posmatrano iz ugla *Vehicle Ad-Hoc Network* (VANET), VLC može predstavljati mrežu za pristup. Oblasti primene V2V su iste kao i za RF, uključujući unapređenje bezbednosti u saobraćaju, efikasnosti tokova, lokalne servise i pristup Internetu. Jasno je da su ograničenja u pogledu kašnjenja i dometa pri prenosu informacija veća u situacijama koje su kritične sa aspekta bezbednosti u odnosu na neke druge tehnologije. Novija istraživanja pokazuju da se to može eliminisati upotrebom dodatne opreme.

Tipična VLC arhitektura se sastoji se od predajnog entiteta (T) i prijemnog entiteta (R), koji su povezani modulisanim vidljivim svetlom, kao što je prikazano na Slici 1. Ovi entiteti mogu biti uređaji kao što su mobilni personalni uređaji, vozila i/ili uređaji javne rasvete. VLC predajnik je elektrooptički konvertor koji prenosi podatke putem vidljive svetlosti kao medijuma za prenos. Najveću primenu imaju LED, koje emituju svetlost koja se može modulirati na tako visokim učestanostima da na ljudsko oko ne utiče bilo kakva razlika u osvetljenju u odnosu na situaciju bez modulacije. Kao rezultat, VLC predajnici mogu se istovremeno koristiti i za osvetljavanje i za prenos podataka. VLC prijemnik može se sastojati od PIN diode, lavinske fotodiode (APD) ili *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) senzora koji prima podatke. Signal koji je prethodno modulisan u vidljivom spektru se tada (u prijemnom delu VLC linka) konvertuje u električne signale koji se mogu obraditi u demodulatoru/dekoderu [1].



Slika 1. Arhitektura VLC sistema

Postoje tri osnovna načina realizacije VLC linka u zavisnosti od načina ostavriavanja veze između predajnika i prijemnika i to: sa direktnom linijom vidljivosti, sa indirektnom linijom vidljivosti i difuzno, kao što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Moguće realizacije VLC linkova

VLC sistemi kod kojih je ostvarena direktna linija vidljivosti imaju omogućen prijem signala najvećeg protoka na najdužim rastojanjima. Ove performanse se postižu na osnovu vrlo strogih zahteva u pogledu preciznog poravnanja. U slučaju indirektna linije vidljivosti, prijemnik ima šire "vidno polje", poravnanje je jednostavnije, ali nivo signala je na srednjem nivou. Osnovni nedostatak ovakve realizacije VLC linka je ostvarivanje kraćih rastojanja sa visokim ili srednjim vrednostima protoka. Difuzno povezivanje predajnika i prijemnika obezbeđuje najniže vrednosti protoka koji nema problema sa poravnanjem, ali je pogodan samo za upotrebu samo u *indoor* okruženju.

VLC je obećavajuća tehnologija u razvoju za čiju širu primenu je potrebno rešiti određene izazove kao što su: integracija VLC-a sa postojećim komunikacionim standardima, rešavanje interferencije usled postojanja ambijentalnog šuma, pitanja *handover*-a i interferencije između različitih VLC uređaja čiji broj sve više raste [4]. Standardizacija VLC sistema ima presudan značaj za prevazilaženje ovih izazova. VLC standardizacijom su se bavili Konzorcijum za komunikaciju putem vidljive svetlosti, *Visible Light Communication Consortium* (VLCC), u Japanu i *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). *Japan Electronics and Information Technology Industries Association* (JEITA) CP-1221, JEITA CP-1222 i JEITA CP-1223 standardi su objavljeni od strane VLCC [5]. Standard 802.15.7 je izdat od strane IEEE za fizički i MAC sloj. Cilj standarda je, između ostalog, obezbeđivanje pristupa opsegu širine nekoliko stotina THz, neosetljivost na elektromagnetne smetnje, obezbeđivanje dodatnih servisa na osnovu postojeće infrastrukture za osvetljavanje, specifikacija *Forward Error Correction* (FEC) šema, obezbeđivanje mehanizama pristupa kanalu kao što su *Contention Access Period* (CAP) i *Contention-Free Period* (CFP) i specifikacija fizičkog sloja.

Modulacija signala u VLC razlikuje se od modulacija u RF komunikacionim sistemima usled amplitudskih i faznih karakteristika svetlosnog signala [6], pa se usled toga amplitudska i faza modulacija ne mogu koristiti. U slučaju VLC sistema modulacija signala postiže se zahvaljujući varijacijama u intenzitetu svetlosti u zavisnosti od poruke. U slučaju primene OOK [7-9], LED se isključuju i uključuju u skladu sa vrednošću bita koji se prenose. Na primer, 1 predstavlja stanje kada ima svetlosti, dok 0 predstavlja stanje sa smanjenim intenzitetom svetlosti. Osnovna prednost primene OOK je jednostavna implementacija, dok je osnovni nedostatak obezbeđivanje niskih protoka. U Tabeli 2 prikazano je poređenje sledećih impulsnih modulacija koje se koriste u VLC sistemima: *Multi-pulse Pulse Width Modulation* (MPPM), *Expurgated Pulse Width Modulation* (EPPM) i *Multilevel Expurgated Pulse Width Modulation* (MEPPM).

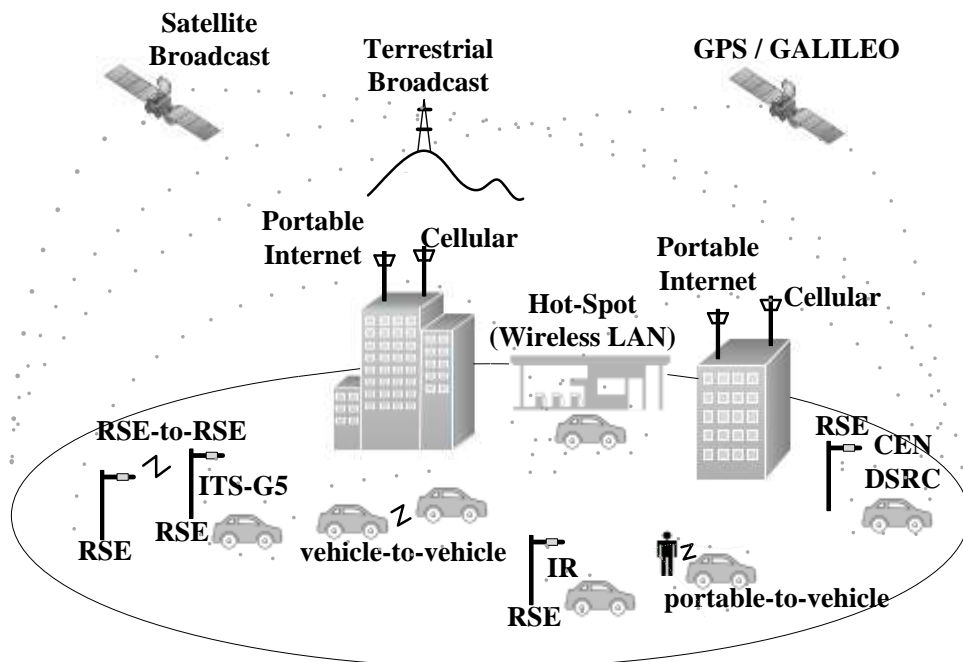
**Tabela 2.** Poređenje impulsnih modulacija

Modulacija	Podrška efektu zatamnjenja	Spektralna efikasnost	Treperenje	Osetljivost na LED nelinearnosti
MPPM	DA	<1	Malo	Malo
EPPM	DA	<1	Malo	Malo
MEPPM	DA	2-3	Vrlo malo	Malo

*Color Shift Keying* (CSK) modulaciona tehnika predložena je u IEEE 802.15.7 kako bi se povećao protok [10]. Modulacija se vrši na osnovu intenziteta tri boje u RGB LED izvoru, pri čemu se sve boje koje ljudsko oko može da razlikuje mapiraju u dva hromatografska parametra.

### 3. Primena VLC u V2I segmentima ITS

Prema *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), Inteligentni transportni sistemi su sistemi koji pružaju podršku transportu robe i putnika na osnovu informacionih i komunikacionih tehnologija u cilju efikasne i bezbedne upotrebe transportne infrastrukture i transportnih sredstava [11]. Osnovni cilj je poboljšanje bezbednosti i efikasnosti transportnog sistema, ali i smanjenje emisije štetnih gasova Termin ITS komunikacije, *ITS communications* (ITSC), označava komunikacione protokole, sisteme za upravljanje i dodatne funkcionalnosti. ITS komunikacije predstavljaju novu vrstu komunikacionih sistema koji su namenjeni transportnim scenarijima, kao što je prikazano na Slici 3. Arhitektura ITSC je zamišljena kao otvoren sistem [11].



Slika 3. Ilustracija ITSC [12]

Osnovni cilj ITS sistema je zadovoljenje potreba učesnika u saobraćaju, korisnika javnog prevoza i operatora u saobraćajnom sistemu uz minimiziranje iskorišćenih resursa. Na osnovu agregiranih podataka segment infrastrukture u ITS-u, kao i vozila, predviđaju buduće stanje u saobraćaju i donose odluke na lokalnom ili na globalnom nivou [13]. U budućim integrisanim ITS sistemima vozila će biti opremljena senzorskim, kognitivnim, komunikacionim funkcionalnostima, koje će između ostalog pružati podršku u odlučivanju [14]. Takva "pametna" vozila biće u mogućnosti da procenjuju stanje u saobraćaju u neposrednom okruženju, da prikupljaju podatke od javnog značaja (kao što je, na primer, zagađenje vazduha), ili da dobijaju podatke značajne za autonomno upravljanje datim vozilom u realnom vremenu. Današnja vozila su opremljena velikim brojem senzora - preko 100, u zavisnosti od proizvođača i modela. Primeri senzora koji se koriste su: senzori za kokičinu kiseonika, senzor za položaj osovine, senzor za određivanje temperature itd. Svi ovi senzori šalju podatke ka *Engine Control Units* (ECUs), koji predstavljaju urađene sisteme koji kontrolišu jedan ili više električnih (pod)sistema u vozilu.

ITS aplikacije najčešće koriste bežične komunikacione sisteme između ITS stanica (vozila) i između mobilnih ITS stanica i fiksnih ITS stanica (infrastruktura kraj puta), sa jednim ili više hopova između izvorišnih i odredišnih ITS stanica. Takođe omogućavaju pristup javnim i privatnim (lokalnim) mrežama uključujući i pristup Internetu. ITSC se zasniva na dva domena: "ITS domenu" i "generičkom domenu". "ITS domen" odnosi se na sve elemente ITSC koji su specifični za ITS/ITSC standarde. "Generički domen" predstavlja druge elemente koji se koriste za ITS/ITSC. Podaci dostupni iz vozila i *Road Side Units* (RSU) mogu se slati lokalno u okviru geografski ograničene mreže ili do servera za centralnu obradu. Ovi podaci mogu se koristiti za detekciju događaja kao što su saobraćajne nezgode, radovi na putu, zagušenja u saobraćaju, približavanje vozila hitnih službi, itd. Takvi podaci se obrađuju u cilju pružanja podrške u vožnji konkretnom vozilu ili grupi vozila [12].

V2I sistemi omogućavaju komunikaciju između vozila i infrastrukture kraj puta. Najpre, poruke o uslovima u saobraćaju se u realnom vremenu bežično prikupljaju od strane infrastrukture. Nakon obrade podataka, obaveštenja o uslovima u saobraćaju u realnom vremenu prosleđuju se vozilima [15]. Ove komunikacione tehnologije imaju za cilj unapređenje bezbednosti u saobraćaju. Takođe, imaju veliki značaj u primenama koje se tiču mobilnosti vozila, u uslovima povećanja brzine vozila i unapređenja upravljanja saobraćajnim tokovima. Poznato je da su bežične komunikacije prepoznate kao najvažnija tehnologija koja pruža podršku ITS. Razvojem LED, VLC postaje alternativa postojećim bežičnim tehnologijama u ITS [16]. VLC sistemi zasnovani na LED mogu se primeniti u ITS-u koristeći postojeću saobraćajnu infrastrukturu, kao što su semafori sa LED svetlima. VLC sistemi omogućavaju *broadcast* informacija vezanih na bezbednost u saobraćaju, čime se pruža podrška smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i regulisanje saobraćajnih tokova. Iz tog razloga, VLC predstavlja troškovno efikasno rešenje sa širokim područjem primene [17]. Ipak, treba

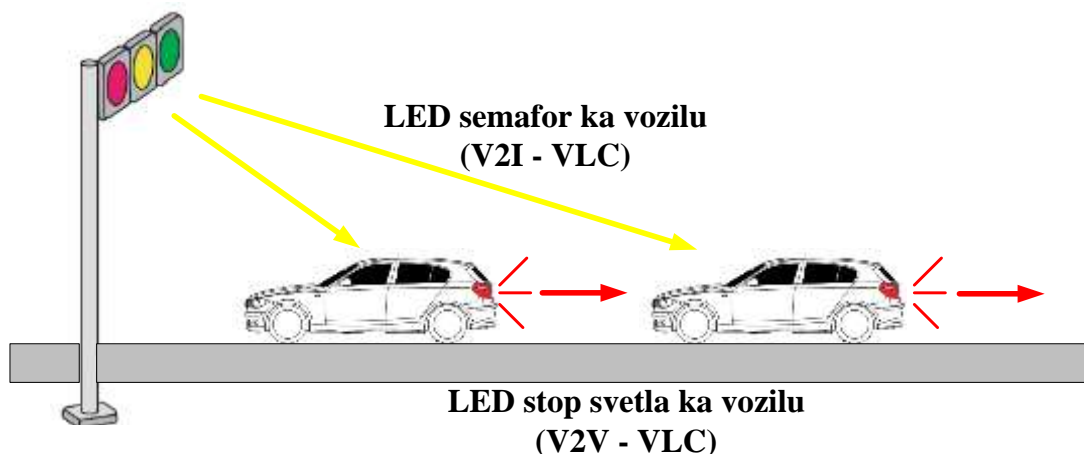
napomenuti da u poređenju sa razvijenim RF tehnologijama, VLC je još uvek u početnoj fazi i potrebna su značajna unapređenja pre njegove šire primene u ITS [1].

Postoje dve vrste VLC baziranih V2I komunikacionih modela [18]. U prvom, ulična rasveta čiji primarni cilj jeste osvetljavanje, može biti upotrebljena za komunikaciju sa vozilima ili pešacima. Takav VLC model u opštem slučaju obezbeđuje pokrivenost od 50 - 100 m. Drugi model podrazumeva da se za komunikaciju koriste LED čija primarna funkcija nije osvetljavanje i koje su uvek u aktivnom stanju (čak i na dnevnoj svetlosti). Iz tog razloga, ovaj model je pogodan za unapređivanje bezbednosti u saobraćaju. S druge strane LED koje se koriste za osvetljavanje su dostupne na ulicama i putevima čak i kada nema semafora, usled čega su pogodne za obezbeđivanje pristupa Internetu sa visokim protocima.

U VLC komunikacijama između vozila i infrastrukture koriste se dve vrste prijemnika, i fotodiode i senzori slike. Prijemnici zasnovani na fotodiodama su osetljivi na ambijentalne šumove. Na dnevnom svetlu, iluminacija Sunčeve svetlosti može dostići stotine hiljada luksa, što je značajno više od tipične LED koja se koristi u VLC primenama (1000 luksa). U poređenju sa fotodiodama, u slučaju postojanja različitih izvora svetlosti pri čemu je svaki signal različito modulisan, senzor slike ih može sve istovremeno prepoznati i ostvariti paralelni prenos podataka. Još jedna prednost senzora slike je da je otporniji na interferencije. Ipak, prijemnici zasnovani na fotodiodama omogućavaju više protoke sa nižim troškovima.

### 3.1. Semafori kao deo VLC sistema

Semafori zasnovani na LED i VLC sistemi u vozilima mogu biti sastavni deo ITS i imati značajnu ulogu u unapređivanju bezbednosti na putevima tako što će omogućiti vozilima koji imaju ugrađene VLC prijemnike blagovremen prenos informacija o uslovima u saobraćaju, kao što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Primer I2V i V2V komunikacija primenom VLC

U izradi semafora postepeno se prelazi sa električnih sijalica ka LED osvetljenju zbog brojnih prednosti, energetske efikasnosti, dugotrajnosti, niskih troškova održavanja, bolje vidljivosti i manjeg zagrevanja. Uređaji u ovakvom sistemu rasvete mogu ujedno biti i predajnici, gde se signali prenose od rasvete koja je deo infrastrukture, dok su prijemnici ugrađeni u vozila (I2V komunikacije). RSU, kao što su semafori sa LED osvetljenjem pogodni su za *broadcast* informacija u I2V komunikacionim sistemima. Informacije o uslovima u saobraćaju mogu se kontinualno prenositi bez dodatne potrošnje energije, uz regulisanje saobraćajnih tokova, kao i smanjivanje broja saobraćajnih nezgoda. Pošto se svetlost prostire pravolinijski, moguće je uspostaviti vrlo usmerene komunikacije. Ovo je posebno pogodno u situacijama koje zahtevaju slanje informacija o uslovima u saobraćaju za svaku traku na putu.

### 3.2. Pozicioniranje putem vidljive svetlosti

Poznato je da GPS ne pokazuje dobre performanse u zatvorenim prostorijama ili u urbanim sredinama, kada dolazi do interferencije prouzrokovane višestrukim putanjama i prekida linka zbog neposredne blizine velikog broja visokih zgrada. U tom slučaju, pomoću sistema pozicioniranja putem vidljive svetlosti mogu se obezbediti informacije o poziciji u realnom vremenu, gde se kao izvori svetlosti mogu koristiti semafori ili ulična rasveta [19]. Sistem pozicioniranja na otvorenom putem vidljive svetlosti podrazumeva implementaciju LED semafora kao predajnika i primenu metoda procesiranja slike kako bi se odredila pozicija vozila. Ove



metode zahtevaju korišćenje skupih kamera i kompleksnih procedura procesiranja slika, što je još uvek najveće ograničenje za široku primenu ove tehnologije. U slučaju pozicioniranja na osnovu pozicionih svetala, moguća je procena samo relativne lokacije vozila, što za veliki broj aplikacija ne pruža dovoljno precizne informacije. Sistem koji koristi dve fotodiode na strani prijema umesto *high-speed* kamera ima veću cenovnu efikasnost. Ovakav sistem sastoji se od semafora i dve fotodiode. Svetlost koju emituju svetla semafora sadrži informacije o poziciji. Dve fotodiode koje su postavljene na prednjoj strani vozila detektuju tu svetlost putem VLC linka. Pozicija vozila se određuje na osnovu primljenih informacija o poziciji semafora i razlike u vremenu prispeća signala do fotodioda. Ovaj sistem može imati i dva semafora, kada jedan može biti namenjen, na primer, vozačima, a drugi pešacima. Istraživanja pokazuju da se smanjenjem rastojanja značajno smanjuje preciznost sistema za pozicioniranje putem vidljive svetlosti kada se koristi samo jedan semafor. Degradacija performansi ovog sistema se naročito javlja na rastojanjima manjim od 20 m. Pored toga, povećanje brzine vozila povećava i grešku pri pozicioniranju, čak i kada je vozilo udaljeno od semafora oko 50 m. U slučaju primene dva semafora u sistemu za pozicioniranje, uočljiv je sličan trend degradacije performansi. S obzirom da se smatra da je vozilo jednako udaljeno od oba semafora, prilikom smanjenja rastojanja između jednog semafora i vozila drastično se povećava greška pri pozicioniranju. Ovi rezultati su dobijeni u uslovima idealnog prenosa, uz dobru sinhronizaciju i odsustvo šuma na prijemu [19].

### 3.3 Ostale primene VLC u ITS

Nedavno je predložen sistem koji automatski podešava brzinu vozila na osnovu informacija o okruženju koje dobija od senzora na vozilu pod nazivom *Adaptive Cruise Control* (ACC) [20]. Jedna od najznačajnijih primena ovog sistema jeste povećanje kapaciteta saobraćajnica na osnovu smanjivanja rastojanja između vozila pod uslovom da se ne narušava bezbednost u saobraćaju. Međutim, pokazalo se da ovaj sistem ima ozbiljne nedostatke u vidu nepreciznosti, velikog kašnjenja i visoke cene. Kao rešenje za prevazilaženje ovih nedostataka, predložen je sistem *Cooperative Adaptive Cruise Control* (CACC), koji pored senzora koristi i V2V komunikacione linkove za prenos preciznih informacija od vozila koje prethodi datom vozilu [21]. Istraživanja pokazuju da CACC sistem opremljen VLC tehnologijom zadovoljava zahteve u pogledu brzine prenosa podataka i kašnjenja i omogućava precizno određivanje rastojanja između vozila čime se eliminiše potreba za naknadnom implementacijom skupih senzora u vozilo.

#### 3.3.1 VLC sistemi za upozoravanje učesnika u saobraćaju i prevenciju nezgoda

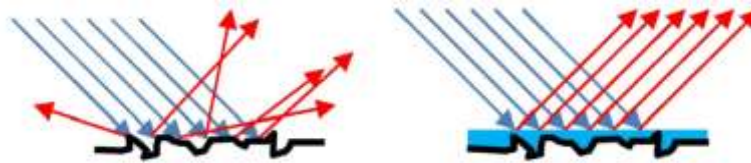
Jedan od sistema koji su razvijeni za potrebe upozoravanja i izbegavanja nezgoda je *Collision Warning and Avoidance System* (CWAS) [20]. Za implementaciju ovog sistema neophodno je da sva vozila koja učestvuju u saobraćaju budu opremljena VLC predajnicima i prijemnicima. Analizirajući podatke koje dobija od vozila iz svog okruženja, vozilo formira mapu koja sadrži relativne pozicije, pravce kretanja, trenutne brzine i ubrzanja svih vozila sa kojima ima uspostavljen direktan link. Ovaj sistem može se koristiti i za ranu detekciju sporih ili zaustavljenih vozila na putu ispred datog vozila. Nakon detekcije, sistem predviđa trajektorije detektovanih vozila u narednih nekoliko sekundi. Ukoliko se utvrdi velika verovatnoća da će se trajektorije posmatranog i detektovanog vozila u nekom trenutku ukrstiti, automatski se izdaje upozorenje vozaču da prilagodi upravljanje svojim vozilom kako bi se izbegla neželjena situacija. Za funkcionisanje ovog sistema neophodno je ispuniti sledeće zahteve: maksimalni domet mora biti 150 m, maksimalno kašnjenje paketa je 100 ms a veličina paketa je 53 bajta [20].

Sistem koji funkcioniše na sličan način je *Lane Change Assistance/Warning* [20]. Ovaj sistem takođe formira mapu sa podacima o okolnim vozilima, uključujući i vozila u susednim trakama. Ukoliko u datom trenutku nije bezbedno izvršiti promenu trake, sistem obaveštava vozača o tome. Asistencija i upozoravanje prilikom promene traka zahteva izuzetno veliku preciznost koju GPS nije u mogućnosti da obezbedi, tako da je VLC tehnologija odlična alternativa za ovakvu vrstu sistema. Zahtevi ovog sistema su maksimalni domet mora biti 150 m, maksimalno kašnjenje paketa je 150 ms a veličina paketa je 36 bajta [20].

#### 3.3.2 Sistem za detekciju površine kolovoza

Pored integracije LED u formi prednjih svetala, pozicionih i stop svetla, LED nalazi primenu i kod svetla za maglu koja su najčešće postavljena u neposrednoj blizini kolovoza tako da vozači mogu jasno da uoče stanje kolovoza i graničnike. VLC tehnologija može se koristiti za detekciju površine kolovoza putem svetla za maglu, čime se vozač obaveštava o tome da li je kolovoz vlažan ili suv [22]. LED lampe osvetljavaju površinu kolovoza a fotodetektor primaju signal usled difuzne refleksije. Posebna pažnja mora se obratiti kada je kolovoz vlažan, s obzirom da je to jedan od najopasnijih stanja na kolovozu, najčešće kao posledica kiše. Kada svetlost obasja površinu, javlja se refleksija, prenos i absorpcija. Difuzna refleksija predstavlja

refleksiju svetla od neravne površine, pa se upadni svetlosni zrak reflektuje iz mnogo uglova, za razliku od refleksije od ogledala. Najčešće se dešava kada upadno svetlo dolazi na neravnu površinu. Neki zraci se usled difuzne refleksije mogu vratiti nazad oko ugla upadnog zraka, kao što je prikazano na Slici 5.



Slika 5. Refleksija svetlosti u slučaju suvog i vlažnog kolovoza [8]

Kada je kolovoz mokar, voda popunjava sitne neravnine na putu, čineći kolovoz glatkim što omogućava refleksiju nalik refleksiji od ogledala. Ovim se minimizira difuzna refleksija. Pored toga, ako je nivo vode dovoljno dubok, dolazi do potpune unutrašnje refleksije unutar bare. Ukupna unutrašnja refleksija javlja se između dva različita medijuma fluida, kao što su vazduh i voda, usled različitih indeksa prelamanja. Kada dolazeći zrak svetlosti pređe površinu vode, dolazi do prelamanja zraka usled difuzne refleksije. Tada, za uglove koji su veći ili jednaki kritičnom uglu, difuzna refleksija će takođe reflektovati nazad u vodu usled ukupne unutrašnje refleksije. Rezultat toga je smanjenje uticaja zraka koji se ponovo reflektuju nazad do fotodetektora. Na taj način, sa povećanjem dubine vode na kolovozu, smanjuje se difuzna refleksija. To zapravo znači da se svaka promena nivoa vode može izmeriti. U sistemu predloženom u [22], svetla za maglu obasjavaju površinu kolovoza, dok se integracijom fotodetektora u okviru prednjih svetala postiže detekcija reflektovane svetlosti. Eksperimentalno je utvrđeno da se za različite vlažnosti kolovoza, od suvog kolovoza do nivoa od 15 mm vode na kolovozu, primećuje svetlost različitih intenziteta. Najveći intenzitet svetlosti je izmeren kod suvog kolovoza, dok je najmanji u slučaju kada je nivo vode na kolovozu 15 mm. Takođe, sa smanjenjem dubine vode na kolovozu, smanjuje se i trajanje impulsa, dok u slučaju previsokog nivoa vode ne dolazi do difuzne refleksije. Pored toga, utvrđeno je da se slanjem podataka na niskim frekvencijama povećava tačnost detekcije površine kolovoza pri naglim promenama kretanja vozila ili iznenadnim promenama nivoa vlažnosti kolovoza [22].

#### 4. Izazovi u budućoj primeni VLC sistema

Prenos putem vidljive svetlosti dosta zavisi od vremenskih uslova, pa može doći do velikih slabljenja u slučaju kiše, snega, a naročito magle. Pri pojavi magle, dolazi do smanjene vidljivosti, što čini VLC komunikaciju nepraktičnom, u nekim situacijama i nemogućom. Ovo je posledica same prirode magle, koja se sastoji od vodenih kapljica veoma male veličine. Iako je prečnik vodenih kapljica reda veličine nekoliko stotina mikrona, imaju veliki uticaj na putanju svetlosti posredstvom apsorpcije, rasejanja i refleksije. U slučaju pojave magle na putu, vozač najčešće pali prednja svetla, svetla za maglu, ili oba. U istraživanju [23] analiziran je prenos podataka putem pozicionog svetla, kao i koeficijenti slabljenja za različite boje LED lampi. Pokazalo se da je najmanje slabljenje pri korišćenju crvenih LED lampi u slučaju pojave magle, u poređenju sa zelenim i plavim. Ovo odgovara i boji pozicionog svetla koje je uglavnom crvene boje. Najveće slabljenje je prisutno kod plavih LED lampi. Sistem koji je predložen u [23] sastoji se od predajnika koji emituje svetlost crvene boje posredstvom pozicionog svetla i LED sočiva, kao i prijemnika koji se sastoji od Frenelovog sočiva i tri fotodiode. LED sočiva na strani predaje prilagođavaju oblast vidljivosti LED svetla. Na strani prijema, svetlost se koncentriše ka fotodiodama pomoću Frenelovih sočiva. Veliki izazov predstavlja obezbeđivanje komunikacije između vozila u pokretu, pri uslovima magle na putu kada ne postoji direktna linija vidljivosti. Sistem predložen u [23] vrši detekciju u okviru prijemnika merenjem najveće vrednosti primljenog signala između tri fotodiode. Pretpostavlja se da su fotodiode pozicionirane u središnjem delu prednje strane vozila. Na ovaj način, Frenelovo sočivo fokusira svetlost na jednu od tri fotodiode, iako dolazi do premeštanja fokusa. Rezultati pokazuju da primena Frenelovih sočiva na prijemu u značajnoj meri utiče na održavanje odnosa signal-šum. Takođe, sa povećanjem gustine magle smanjuje se odnos signal-šum, ali u prihvatljivim vrednostima čak i kad je velika gustina magle.

VLC sistemi suočavaju se sa određenim tehničkim izazovima: relativna mobilnost u komunikaciji između vozila ili između vozila i infrastrukture može ometati liniju optičke vidljivosti; na VLC ogroman uticaj ima prirodno i veštačko svetlo, a pre svega Sunčeva svetlost koja povećava šum i interferenciju. Prvi izazov može se rešiti optimizacijom fiksnih i mobilnih svetala (na vozilima), dok se interferencija može minimizirati primenom optičkih filtera. Međutim, ovi izazovi značajno ograničavaju domete. Neki eksperimentalni rezultati pokazuju da je pouzdana komunikacija moguća kada se VLC predajnik i VLC prijemnik nalaze na udaljenosti manjoj od 40 - 50 m [24]. Pored ograničenja u pogledu propusnog opsega, aspekti kao što su modulacija signala, napajanje primopredajnika i višestruki pristup stvaraju poteškoće za širu implementaciju VLC. Ipak,

prevazilaženje prethodno pomenutih izazova, komercijalizacija i standardizacija VLC sistema očekuje se u skoroj budućnosti.

## 5. Zaključak

Ovaj rad predstavlja prikaz nekih mogućih primena komunikacije u domenu vidljive svetlosti za unapređenje performansi Inteligentnih transportnih sistema. Savremeni transportni sistemi zahtevaju kontinuirano unapređivanje bezbednosti i efikasnosti. Pored pojedinačnih bezbednosnih mehanizama u samom vozilu, neophodno je razvijati složene sisteme koji doprinose unapređenju bezbednosti celog transportnog sistema. Unapređenjem LED, čije su najznačajnije karakteristike energetska efikasnost, pouzdanost i dug životni vek, komunikacija u domenu vidljive svetlosti pronalazi sve šire područje primene u ITS. Imajući u vidu da se LED sve više koriste u izradi semafora, ulične rasvete i saobraćajne signalizacije, VLC sistemi mogu se implementirati u Inteligentnim transportnim sistemima koristeći postojeću infrastrukturu. Na taj način ova tehnologija predstavlja obećavajuće, troškovno efikasno rešenje sa mogućnošću široke primene.

## Zahvalnica

Ovaj rad je deo istraživanja u okviru projekta TR32025 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## Literatura

- [1]. Falcitelli, M.; Pagano, P. 2016. Visible Light Communication for Cooperative ITS, *Intelligent Transportation Systems* 52: 19-47.
- [2]. Cailean, A.; Cagneau, B.; Chassagne, L.; Topsu, S.; Alayli, Y.; Dimian, M. (2013). A Robust System for Visible Light Communication, *Proceedings of the 5th International Symposium on Wireless Vehicular Communications WiVeC*. 1-5.
- [3]. Burchardt, H.; Serafimovski, N.; Tsonev, D.; Videv, S.; Haas, H. 2014. VLC: Beyond Point-to-Point Communication, *IEEE Communication Magazine* 52: 98-105.
- [4]. Khan, L. U. 2017. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges, *Digital Communications and Networks* 3(2017): 78-88.
- [5]. Hranilovic, S.; Lampe, L.; Hosur, S. 2013. Visible light communications: the road to standardization and commercialization (Part 1)[Guest Editorial], *IEEE Communications Magazine* 51(12): 24–25.
- [6]. Tsonev, D.; Videv, S.; Haas, H. (2014). Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking. *SPIE* 9007, 90070.
- [7]. Zhao, Y.; Vongkulbhisal, J. 2013. Design of visible light communication receiver for on-off keying modulation by adaptive minimum-voltage cancelation, *Engineering Journal* 17 (4): 125–130.
- [8]. Suban, A.; Prabu, P.; Manikandan, R.; Pradeep, M. 2013. Performance enhancement of data communication through visible light communication using on off keying, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering and Technology* 2(2): 559–563.
- [9]. Shinwasusin, E. a.; Charoenlarnpparut, C.; Suksompong P.; Taparugssanagorn, A. (2015). Modulation performance for visible light communications. *6th International Conference of Information and Communication Technology for Embedded Systems (IC-ICTES)*, 1–4.
- [10]. IEEE. P802.15.7 – Standard for Short-Range Wireless Optical Communication. 2011.
- [11]. Intelligent Transport Systems (ITS). Communications Architecture- ETSI EN 302 655 v.1.1.1. 2010.
- [12]. Kostic-Ljubisavljevic, A.; Radonjic Djogatovic, V.; Mikavica, B. (2017). Visible Light Communication as a Segment of the Intelligent Transportation System. *Proceedings of the 6th International Conference Transport and Logistics*, 211-214.
- [13]. Sladkowski, A.; Pamula, W. 2016. *Intelligent Transportation Systems - Problems and Perspectives*, Springer Science+Business Media, 307 p.
- [14]. Picone, M.; Brusaneli, S.; Amoretti, M., Zanichelli, F., Ferrari, G. 2015. *Advanced Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Springer Science+Business Media, 252 p.
- [15]. Wang, W.; Bengler, K.; Jiang, X. 2018. Green Intelligent Transportation Systems. *Proceedings of the 7th International Conference on Green Intelligent Transportation System and Safety*. Springer Science+Business Media, 1037 p.
- [16]. Kostić-Ljubisavljević, A.; Mikavica, B. (2017). Komunikacija u domenu vidljive svetlosti kao deo Inteligentnih transportnih sistema. *PosTel* 2017: 161-170.
- [17]. Cailean, A.; Cagneau, B.; Chassagne, L.; Topsu, S.; Alayli, Y.; Dimian, M. (2013). Visible Light Communications Cooperative Architecture for the Intelligent Transportation System. *Proceedings of the*

20th International IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux SCVT, 1-5.

- [18]. Pathak, P. H.; Feng, X.; Hu, P.; Mohapatra, P. 2015. Visible Light Communication, Networking and Sensing: A Survey, Potential and Challenges, IEEE Communications and Surveys and Tutorials 17(4): 2047-2077.
- [19]. Arnon, S. 2015. *Visible Light Communication*. Cambridge University Press. 224 p.
- [20]. Yu, S. H.; Shih, O.; Tsai, H.-M.; Wisitpongphan, N.; Roberts, R. 2013. Smart automotive lighting for vehicle safety, IEEE Communications Magazine 51(12). 50–59.
- [21]. Sjöberg, K.; Andres, P.; Buburuzan, T.; Brakemeier, A. 2017. Cooperative Intelligent Transport Systems in Europe Current Deployment Status and Outlook, IEEE Vehicular Technology Magazine 12(2): 89-97.
- [22]. Cahyadi, W.; Kim, Y.; Chung, Y.; Ghassemlooy, Z. (2015). Efficient Road Surface Detection Using Visible Light, Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 61-63.
- [23]. Kim, Y.; Cahyadi, W.; Chung, Y. 2015. Experimental Demonstration of VLC-Based Vehicle-to-Vehicle Communications Under Fog Conditions, IEEE Photonics Journal 7(6): 7905309.
- [24]. Kumar, N.; Lourenco, N.; Terra, D.; Alves, L. N.; Aguiar, R. L. (2012). Visible Light Communications in Intelligent Transportation Systems, Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium, 748-753.

## МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ТЕРМОВИЗИЈСКИХ КАМЕРА У ИТС АПЛИКАЦИЈАМА

Илија Неден Димитриу, Јована Петровић

Јавно предузеће „Путеви Србије“, одељење за ИТС, [ilija.nedendimitriu@putevi-srbije.rs](mailto:ilija.nedendimitriu@putevi-srbije.rs),  
Јавно предузеће „Путеви Србије“, одељење за ИТС, [jovana.petrovic@putevi-srbije.rs](mailto:jovana.petrovic@putevi-srbije.rs),

**Резиме:** ИТС апликације за прикупљање података користе разне врсте сензора. Појавом компактних термовизијских камера за употребу у саобраћају, 2014. године осмишљен је пилот пројекат чији је циљ испитивање могућности коришћења термовизијске камере у апликацијама ИТС-а. У овом раду се прате резултати добијени са два типа термовизијских камера које су инсталиране на ДП А4 и на ДП А1 крајем 2017. и почетком 2018. године.

**Кључне речи:** ИТС, термовизијска камера, сензор

### 1. УВОД

Апликације које се користе у управљању и регулисању саобраћајних токова за прикупљање података који карактеришу саобраћајни ток користе разне врсте сензора. Један он најчешће коришћених, можемо рећи традиционалних сензора је индуктивна петља. Међутим, развој технологија доводи и до коришћења различитих типова сензора у сврху прикупљања података који описују саобраћајни ток. У литератури [1] дат је приказ детектора који наравно садрже и сензоре а који се користе у прикупљању података о саобраћајном току. Треба приметити да се у друштвима која су достигла значајан технолошки развој смело користе различите технологије за прикупљање података о саобраћајном току, док се у друштвима попут нашег и даље користе конзервативне технологије у ову сврху. Коришћење камера за снимање (ССТV) саобраћајног тока, а касније и за поступке које називамо „видео аналитика“ је технологија која је дуго присутна чак и у нашим просторима [2]. У овом раду приказане су могућности примене сензора термовизијских камера у управљању и регулисању саобраћајних токова.



Слика 1. Термовизијска камера за пешачки прелаз са припадном електронском плочом (Извор: презентација на штанду произвођача, IntertrafficAmsterdam 2014, приватна колекција аутора)

## 2. ТЕОРЕТСКЕ ОСНОВЕ РАДА ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ

Camera obscura (тамна соба) је термин који је означава природни оптички феномен приказивања инверзне слике кроз мали отвор на прегради. Од средине 19. века, инверзна слика се пројектује на фотоосетљиви материјал и након одговарајуће хемијске реакције настају прве фотографије модерног доба. Пар деценија касније 1905., браћа Јанаки и Милтон Манаки (Γρεβενα, Διτική Μακεδονία) снимају прве кадрове покретних слика на Балкану. У Београду, Светозар Боротић 1908. године отвара први биоскоп, а 1911. се снима први српски филм, данас познат под именом Карађорђе. Занимљиво је да се први правилник о саобраћајним знаковима у Србији појављује после 1926. године [3]. Дакле, технологија снимања слика била је у Србији присутна **пре** масовне појаве друмског саобраћаја. Штавише, пре 100 година друштво које је постојало на нашим просторима било је спремније на техничке иновације и лакше их је прихватало. Невероватан је парадокс да данас у 21. веку већину сензора које користимо у области друмског саобраћаја представљају тзв. конзервативне технологије.

Значајан помак у развоју видео технологије у Србији представља употреба термовизијских камера у тунелима. Године 2014. се дошло на идеју да се спроведе пилот пројекат са циљем испитивања могућности употребе ових камера, као подршка постојећим системима и апликацијама ИТС-а на путевима Републике Србије. Подстицај за спровођење пилот пројекта су искуства других земаља, у којима се ова технологија увелико примењује. Значај употребе термовизијских камера огледа се кроз основне функције: детекција недозвољеног приступа људи или животиња у тунелу, могућност детектовања промене температуре транспортног простора теретних возила, коловозног застора и комплетне инсталације и објеката који се налазе у оквиру видног поља камере.

Давне 1800. године је откривено инфрацрвено зрачење, што представља зачетак савремене технологије снимања. Наиме, термовизијске камере су уређаји који формирају слику помоћу инфрацрвеног зрачења и функционишу на таласним дужинама до 14 $\mu$ m [4]. Од средине 20. века, када је било потребно око сат времена да се произведе слика детектована инфрацрвеним зрацима, уложено је много напора да би се побољшале перформансе, да би се данас дошло до једне од најквалитетнијих метода за снимање саобраћаја.



Слика 2. Приказ слике са термовизијске камере [5]

Скала „од црне до беле“ је дефинисана тако да свака боја представља детектовану температуру возила. Црном бојом је дефинисана најнижа температура, а са порастом температуре боја постаје светлија. На слици се јасно уочавају разлике у температурама појединих делова возила. На пример, уочава се да је предњи део возила (моторни простор) приказан светлијом нијансом боје, у односу на остатак возила – јер је температура већа.



Анализирајући ограничења приказа са IP камера, која се огледају кроз недовољно јасне снимке услед сунчевог одсјаја, сенки, влажног коловоза, снега или магле, може се рећи да су термовизијске камере адекватна подршка детекцији догађаја путем видео надзора. Другим речима, уколико камера генерише нејасан снимак, апликација која обрађује слике са камере не даје одговарајуће резултате детекције догађаја. Овакве проблеме је могуће избећи употребом термовизијских камера, јер раде по принципу „термичког контраста“. Термовизијске камере детектују електромагнетно зрачење у инфрацрвеном делу спектра, које се емитује температуром сваког објекта.

Дакле, термовизијске камере су показале значајне могућности рада у контроли рада светлосних сигнала, откривању инцидената – догађаја који су везани за промену температуре возила или товарног сандука возила, мерењу температуре коловоза, детекцији пешака на коловозу, итд. Како је напоменуто, на функционалност термовизијске камере не утичу сунчев одсјај, смањена видљивост, снег, магла, појава сенки ни рефлексија на влажном коловозу.

### 3. ПРЕГЛЕД СВЕТСКИХ ИСКУСТАВА У ПРИМЕНИ ТЕРМОВИЗИЈСКИХ КАМЕРА

Велики број страних истраживања управо је усмерен на употребу термовизијских камера у друмском саобраћају. Ariwat Sangnoree, Kosin Chamnongthai су у свом раду [6] приказали методу категоризације возила на аутопуту у ноћним условима, употребом термовизијских камера. Да би се препознале категорије возила, користе се односи између термовизијске карактеристика мотора, ветробранског стакла и шасије. Резултати експеримента спроведеног на узорку од 2937 возила (путничких аутомобила, комбија и камиона) су показали значајне резултате. Коначно, тачност идентификације категорија возила применом термовизијских камера је редом 96,99%, 95,31% и 91,99%, за путничке аутомобиле, комбије и камионе.

Друго истраживање [7] се односило на детекцију присуства пешака на коловозу помоћу термовизијских камера. Анализа узорка од 6504 фотографија са термовизијске камере, којима су детектовани пешаци у различитим положајима тела, закључено је да су ове камере у великој мери подршка другим системима видео надзора, јер се правремено идентификују пешаци у динамичком окружењу.

Iwasaki Y., Kawata S., Nakamiya T. су спровели експеримент [8] који се састојао из детектовања возила помоћу термовизијских камера у различитим условима (попут слабе видљивости услед снега и густе магле). У овом експерименту „мета“ детекције је било ветробранско стакло возила. Анализом резултата је утврђено да овакав метод није довољан за тачну оцену поузданости рада камера, јер је температура ветробранског стакла у зимским условима била приближна спољашњој. Током летњих месеци, спроведено је исто истраживање, које је показало тачност детекције од 96,2%. Коначно, аутори су показали да је у случају мерења температуре ветробранског стакла, мање поуздана примена термовизијских камера у суровим зимских условима, него током остатка године.

У наредном истраживању [9], исти аутори су као „мету“ детекције одабрали пнеуматике возила. Оправданост примене ове методе снимања је оцењена на узорку од 1527 возила. Резултати су показали поузданост резултата од 92,8%. На крају, аутори сматрају да би се обезбедио висок ниво поузданости у различитим спољашњим условима, најбоље решење је – примена обе методе.

Balsys et al су у свом раду [10] показали да се применом термовизијских камера могу елиминисати проблеми који се односе на разлике у снимању у дневним и ноћним условима. Тако, елиминисан је проблем везан за одсјај фарова (ноћу) и сенкама (дању).

MacCarley et al [11] су истраживали могућности рада термовизијских камера, упоређујући их са осталим типовима камера и закључили да су ове камере „практично имуне на светлост“, односно да се највећи ниво поузданости рада остварује управо у ноћним условима и/или магли.

Krotosky и Trivedi [12] су упоредо анализирали могућности термовизијских и других камера. Уочавајући да стандардне (осетљиве на дневну светлост) и термовизијске камере пружају „различите,

али специфичне и допуњујуће податке“, закључили су да је за управљање и регулисање саобраћајних токова најмеродавнија употреба и једних и других.

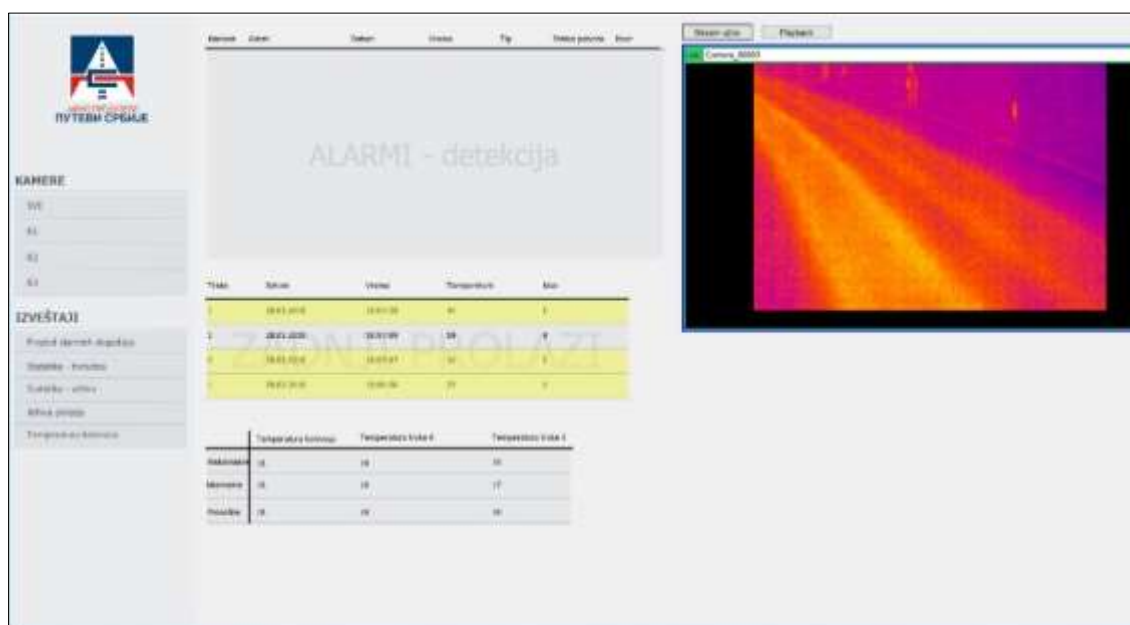
#### 4. ПИЛОТ ПРОЈЕКАТ – ТУНЕЛ СТРАЖЕВИЦА

Са циљем осавремењивања технологија ИТС-а у Србији, 2014. године је осмишљен пилот пројекат примене термовизијских камера у тунелу Стражевица (ДП А1). У складу са могућностима, дефинисане су микролокације које су најпогодније и сврсисходне. Планирано је постављање камера на улазу и излазу, и унутар тунела. С обзиром да је овај тунел намењен двосмерном саобраћају, термовизијске камере унутар тунела би биле инсталисане на оба бочна зида, да би се избегао ризик маркирања видног поља камере од стране возила из супротног смера. Почетком 2018. године постављена је термовизијска камера на улазу у тунел, а приказ рада ове камере је дат у наставку рада. Такође, крајем 2017. године унутар тунела Прогон (на ДП А4) је постављена термовизијска камера.

Термовизијске камере имају могућност поделе на више зона детекције и параметрирања температурног опсега по зонама. Када температура у задатој зони одступи од унапред задатих параметара, камера шаље предефинисане информације. Приликом детекције температуре, аларм се јавља уколико температура:

- иде изнад или испод одређене границе
- расте пребрзо.

Инсталисана камера има могућност детектовања температуре објекта у распону  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$ .

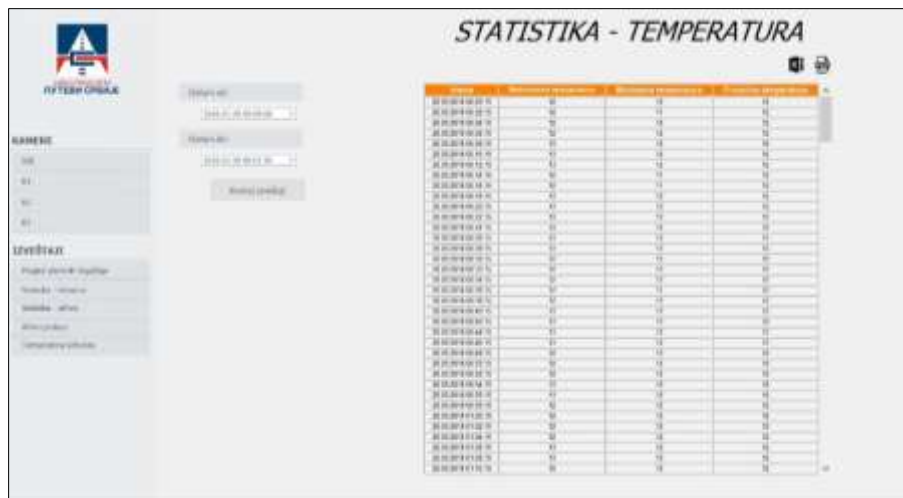


Слика 3. Приказ података са термовизијске камере

На слици је приказ екрана за праћење података са термовизијске камере. За свако возило, појединачно по тракама, приказана је измерена температура и ниво опасности. Ниво опасности се дефинише на основу измерене температуре. Даље, на основу пролазака возила и измерених температура, приказана је максимална, минимална и просечна температура коловоза и по тракама. Подаци се ажурурају након сваког проласка возила. У горњем десном углу је праћење stream-а уживо са термовизијске камере.



Слика 4. Снимак уживо са термовизијске камере



Слика 5. Извештај о промени температуре коловоза

Извештај о промени температуре коловоза током времена пружа информације о максималној, минималној и просечној температури коловоза. Да би се креирао извештај, неопходно је дефинисати временски период за који треба да прикажемо податке. На слици је приказан извештај за одабрани период, где су приказане детектоване температуре коловоза.

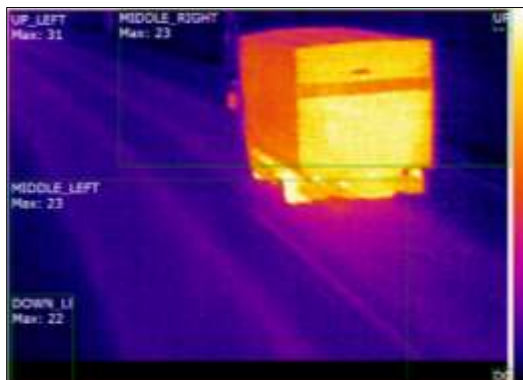


Слика 6. Детекција пешака у тунелу

За надзор и управљање саобраћајем у тунелу, веома је битно елиминисати могућност појаве непожељних објеката (људи или животиња). Уколико дође до таквих појава, термовизијска камера детектује присуство објеката (нпр. детекција пешака у тунелу Стражевица, слика 6) и апликација

приказује аларм. Аларм за сваки непожељан догађај уочен камером упозорава оператера у командно-оперативном центру.

На слици 7 је приказано теретно возило у тунелу Стражевица, а температура детектована термовизијском камером је приказана бојом, према скали (на слици – десно). Највиша температура је приказана најсветлијом нијансом, а смањењем температуре објекти на слици постају тамнији.



Слика 7. Приказ зона детекције термовизијске камере

### 5. РЕЗУЛТАТИ

За анализу резултата добијених са термовизијских камера, одабран је период од 12 сати непрекидног мерења температура коловоза. Током наведеног периода, добијено је 350 мерења, што је приказано на наредном графику. Израчунате су средње вредности температура и добијено је за:

- максималну температуру 10,21°C
- минималну температуру 9,47°C
- просечну температуру 9,87°C

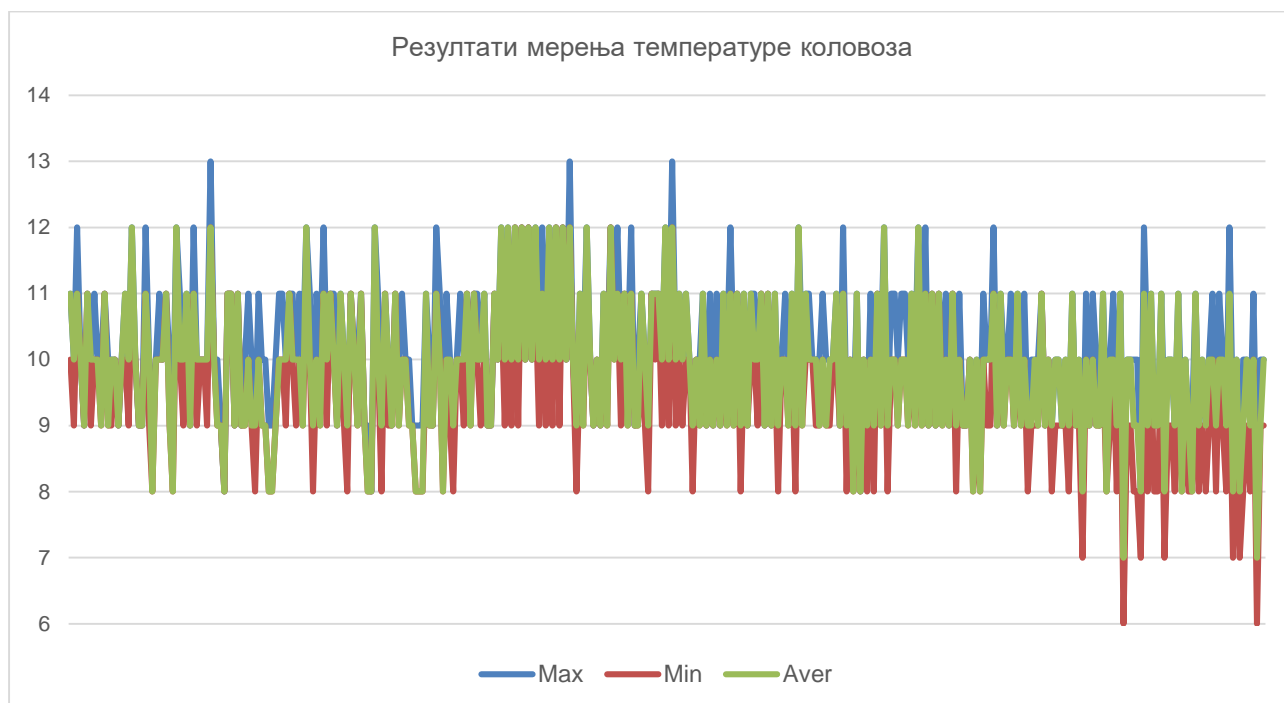


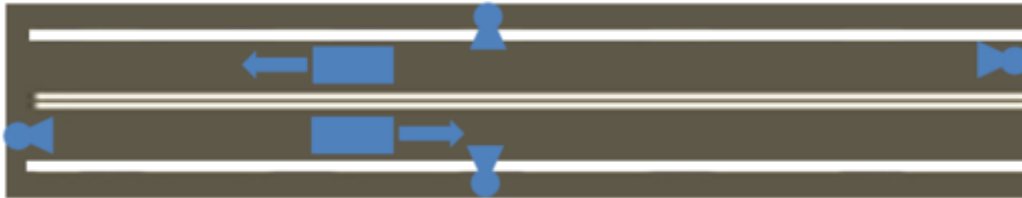
График 1. Приказ детектованих температура коловоза у периоду од 12 сати

## 6. ПОЗИЦИОНИРАЊЕ ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ

Да би се добили најбољи резултати снимања термовизијским камерама у тунелу, неопходно је позиционирати камеру:

- под углом од  $90^\circ$  у односу на ток саобраћаја и
- појединачно за сваку траку.

На слици су приказани наведени положаји камера.



Слика 8. Позиционирање термовизијских камера унутар тунела

Даље, дефинисати зоне у којима ће се посебно детектовати промена температуре:

- кабине возача
- товарног сандука и
- пнеуматика.

На слици су приказане зоне детекције у случају теретног возила.



Слика 9. Зоне детекције у случају теретног возила

Поред детектовања температуре делова возила, значајно је дефинисање независне зоне, у којој се мери температура коловоза.

## 7. ЗАКЉУЧАК

Анализом примене термовизијских камера, кроз преглед страних искустава и резултате пилот пројекта у Србији, може се рећи да су могућности термовизијских камера значајне. Како је представљено у раду, термовизијске камере су погодне за рад у екстремнијим условима у односу на ИР камере.

Осим могућности детекције непожељних објеката у тунелу, значајан аспект се односи на мерења температура (коловоза и возила). Температуре се детектују по зонама, у односу на предмет снимања. У раду је представљен пример снимања теретног возила по зонама. Детекције помоћу термовизијских камера се врше непрекидно, што значи да у сваком тренутку оператер у командно-оперативном центру има увид у стање, да би се могло правовремено реаговати уколико дође до инцидентне ситуације.

С обзиром на физички феномен детекције, неопходно је да се допуњује рад сензора. Да би се добили квалитетни и тачни резултати снимања термовизијским камерама, треба водити рачуна о усмеравању камера унутар тунела. У раду је дат пример адекватног постављања термовизијских камера унутар тунела. Коначно, битна је подршка стручне јавности у наредним истраживањима, са циљем учачавања додатних могућности примене термовизијских камера у саобраћају.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Traffic Detector Handbook Publication Number: FHWA-IP-90-002 Date: July 1990
- [2] Неден Димитриу, И., Петровић, Ј. Неки ефекти примене техничких средстава за успоравање саобраћаја, Зборник радова Безбједност саобраћаја у локалној самоуправи, Бања Лука, 2017
- [3] Библиотека Града Београда
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic\\_camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera)
- [5] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3715224/bin/sensors-13-07756f3.jpg>
- [6] Sangnooree, A., Chamnongthai, K. 2017. Thermal-image processing and statistical analysis for vehicle category in nighttime traffic, Journal of Visual Communication and Image Representation, 48, pg. 88-109
- [7] Qi B. et al. 2016. Pedestrian detection from thermal images: A sparse representation based approach, Infrared Physics & Technology. 76. pg. 157-167
- [8] Iwasaki Y., Kawata S., Nakamiya T. 2011. Robust vehicle detection even in poor visibility conditions using infrared thermal images and its application to road traffic flow monitoring. Measurement Science and Technology. 22(8). 085501
- [9] Iwasaki Y., Kawata S., Nakamiya T. 2013. Robust Vehicle Detection under Various Environmental Conditions Using an Infrared Thermal Camera and Its Application to Road Traffic Flow Monitoring, Sensors. 13(6): 7756-7773.
- [10] Balsys, K., Valinevicius, A., Eidukas, D. 2009. Urban traffic control using IR video detection technology. Electronics and Electrical Engineering. no. 8, pp. 43-46
- [11] MacCarley, C. A., Hemme, B. M., Klein L. 2000. Evaluation of infrared and millimeter-wave imaging technologies applied to traffic management. Society of Automotive Engineers 2000-01-1303
- [12] Krotosky, S. J., Trivedi, M. M. 2007. On color-, infrared-, and multimodal-stereo approaches to pedestrian detection, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. vol. 8, no. 4, pp. 619-629



## NAPAJANJE TUNELA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM BEZ VISOKONAPONSKIH KABLOVA I DIZEL-ELEKTRIČNIH AGREGATA

**Srećko Babić,dis**

**JP Putevi Srbije**

srecko.babic@putevi-srbije.rs

**Rezime:** NanoFlowcell® su protočne baterije u nano tehnologiji. Nano tehnologija je višestruko povećala površinu membrane kroz koje prolaze elektroni (nano čestice su veličine do 100 nanometara,  $100 \times 10^{-9} \text{m}$  ili  $0,1 \mu\text{m}$ ) pa je na taj način povećana gustina energije. Gorivo za ove baterije su dva elektrolita, jedan sa pozitivnim jonima drugi sa negativnim. Elektroliti su smešteni u posebnim rezervoarima, jedan rezervoar za elektrolit sa pozitivnim jonima, drugi za elektrolit sa negativnim jonima. Pumpama se ubrizgavaju elektroliti kroz polupropustljivu membranu nanoFlowcell® pri čemu se stvara hemijska reakcija oksido-redukcija. Ovom hemijskom reakcijom u nanoFlowcell® stvara se električna energija gustine od  $600 \text{Wh/li}$  i ona je 4-5 puta veća od gustine energije koju stvaraju litijum-jonske baterije. Prosečna potrošnja el.energije na tunelu sa jednom cevi dužine 700 metara je oko 1,5 MWh/dan te je potreban rezervoar od 75 kubnih metara za bi-jonske elektrolite podeljen na dva upola manja rezervoara. Oba elektrolita (i pozitivni i negativni razlikuju se bojom) električno su neutralni, nezapaljivi, neeksplozivni, netoksični, nekancerogeni, ne mogu da se samoisprazne kao baterije, mogu da se proizvode bilo gde uz pomoć obnovljivih izvora energije.

**Ključne reči:** Bi-jonski elektroliti, NanoFlowcell®

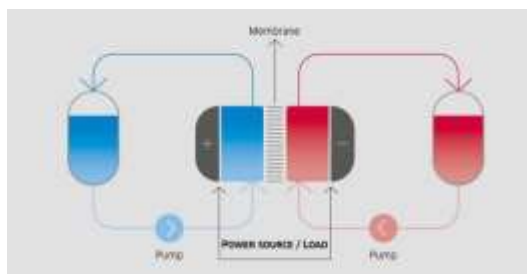
**Abstract:** NanoFlowcell® are flow batteries in nano technology. Nano technology has multiplied the surface of the membrane in which electrons passing through (the nanoparticles are sized up to 100 nanometers,  $100 \times 10^{-9} \text{m}$  or  $0.1 \mu\text{m}$ ), thus increasing the energy density of nanoFlowcell®. The fuel for nanoFlowcell® is two electrolytes, one with positive ions and the other with a negative one. Electrolytes are located in separate tanks, one tank for electrolyte with positive ions, the other tank for electrolyte with negative ions. Electrolytes are injected by pumps through a semi-permeable membrane of nanoFlowcell®, creating the oxide-reduction chemical reaction. This chemical reaction in NanoFlowcell® generates an energy density  $>600 \text{Wh/lit}$  and this is 4-5 times more than energy density produced by lithium-ion batteries. The energy consumption for single tube tunnel in length of 700 meters is about 1.5 MWh/day, and a volume tank of  $75 \text{ m}^3$  will be enough for bi-ionic electrolytes which one is divided into two half small tanks. Both electrolytes (positive and negative are colored differently) are electrically neutral, non-flammable, non-explosive, non-toxic, non-carcinogenic, does not be self-discharged as batteries, can be produced anywhere by of renewable energy sources.

**Keywords:** Bi-ionic electrolytes, nanoFlowcell®

## 1. Uvod

Ovaj rad je zasnovan na razmatranju tehnologije koja može smanjiti investicije u neke putne objekte, kao što su na primer tuneli. Kako nije došlo do potpune komercijalizacije ove tehnologije vlasnik ovog rešenja zadržava tehnološku tajnu, te s toga u ovom radu će biti prezentirana samo tehnološka praktičnost ovog rešenja.

Prvi put je tehnologija protočnih baterija (flowcells ili redox baterija) primenjena u NASA programu za napajanje strujom uređaja u kosmičkim letelicama krajem prošlog veka. Ali zemaljsku premijeru je imala na Ženevskom sajmu automobila 2017. gde su izložena dva sportska automobila na električni pogon. Interesantno je da napon pod kojim rade ovi električni motori max.48V, što nijedno električno vozilo danas nema. Kao gorivo koriste se dva jonizovana elektrolita. Jedan elektrolit je pozitivno naelektrisan i nalazi se u jednom rezervoaru, a drugi elektrolit je negativno naelektrisan i nalazi se u drugom rezervoaru. Rezervoari su potpuno odvojeni. Pumpama se ubrizgavaju elektroliti iz svakog rezervoara u protočnu bateriju sa nano-membranom proizvođača nanoFlowcell® u kojoj se odvija oksido-redukциони proces i stvara se električna energija od 600Wh/lit. Na slici 1 je prikazan šematski rad protočnih baterija. U ovom tehnološkom rešenju napravljena su tri značajna tehnološka iskoraka. Jedan je da se kao gorivo za pokretanje elektromotora koriste jonizovani elektroliti, drugi je što je napravljena protočna baterija sa nano membranom proizvođača nanoFlowcell® kojim se postigla gustina energije 4 puta veća od postojećih litijumsko-jonskih baterija, a treći je da je napravljen elektromotor sa radnim naponom do 48V. Sa ovakvim radnim naponom elektromotora bezbednost vozila i putnika je značajno povećana, jer sva električna vozila koja su proizvedena ili se proizvode rade na naponu 350V-500V. Pored toga, visoko naponski elektromotori zahtevaju posebno obučene stručnjake kako u proizvodnji tako i u održavanju, kablovi za povezivanje kod niskonaponskih motora su dimenzionisani sa manjim prečnicima za razliku od elektromotora sa visokim naponom i procedure za homologaciju ovakvih vozila su značajno jeftinija.



**Slika 1.** Šematski prikaz stvaranja električne energije u redox baterijama, izvor [1]

## 2. Bi-jonski elektroliti

Elektroliti (pozitivni i negativni razlikuju se bojom, (Slika 2) su električno neutralni, nezapaljivi, neeksplozivni, netoksični, nekancerogeni, ne mogu da se samoisprazne kao baterije, mogu da se proizvode bilo gde uz pomoć obnovljivih izvora energije (sunca, vetra) i njihova proizvodnja ne zavisi od bilo kakve političke ili geografske ekskluzivnosti što je primer sa naftom, litijumom ili ugljem. Dvojonske ili bi-jonske elektrolite može svaka zemlja da proizvodi lokalno i da se isporučuje na pumpama kao što se isporučuje benzin, dizel, gas. Još više su upotrebljivi za stacionarnu upotrebu za proizvodnju električne energije za zgrade, kuće, putne objekte i sl. Za proizvodnju elektrolita od 2 miliona litara na dan, troškovi sa materijalom bili bi oko 0,10 €/lit.



Slika 2. Bi-jonski elektroliti, pozitivni i negativni, izvor [2]



Slika 3. Bi-jonski elektroliti, transport i točenje, izvor [2]

Potrošnja energije za proizvodnju 1 kWh je prikazana na tabeli 1. Na primer, za proizvodnju 1kg vodonika elektrolizom vode potrebno je 55 kWh električne energije i 9 litara vode.

energent	1KWh*
bi-jonski elektroliti	1
litijum-jonske baterije	1,20-1,27
vodonik	3,44-5

\*u proračun uzeta energetska moć pri potrošnji

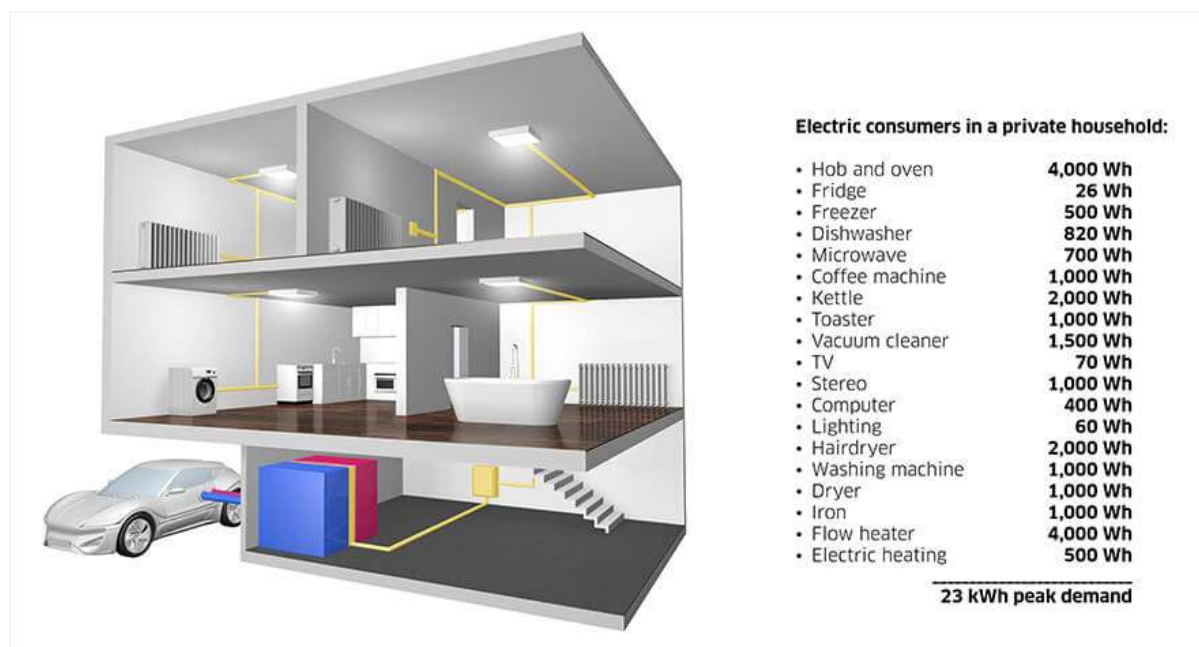
Tabela 1. Koliko je potrebno uložiti kWh za proizvodnju energenata, izvor [3]

### 3. NanoFlowcell®

Nano tehnologija membrane u protočnim baterijama proizvođača nanoFlowcell® je višestruko povećala površinu kroz koje prolaze elektroliti, odnosno njihovi elektroni pa je na taj način povećana gustina energije. Sa

nanoFlowcell® skladištenje energije ne zavisi od veličine ćelije kao kod baterija, već zavisi od koncentracije elektrolita i zapremine rezervoara za dvojonske elektrolite. Zahvaljujući svojoj neograničenoj skalabilnosti, nanoFlowcell® se stoga može prilagoditi širokom spektru aplikacija. Za razliku od baterija ili običnih protočnih baterija kod kojih postoji ponovno punjenje ili osobina reverzibilnosti, kod nanoFlowcell® bi-jonski elektroliti se jednostavno dopune, a kao proizvod stvaranja električne energije pojavljuje se vodena para koja odlazi u atmosferu. Koeficijent korisnog dejstva nanoFlowcell® je preko 0,90 i osim pumpi za ubrizgavanje elektrolita nema pokretnih delova. Radna temperatura nanoFlowcell® je 90°C-130°C

Na slici 4 je prikazano da tehnologija bi-jonskih elektrolita i nanoFlowcell® ima kapacitete da zadovolji potrebe za električnom energijom u domaćinstvu.



**Slika 4.** Energetska jedinica nanoFlowcell® ima kapacitet dovoljan da zadovolji zahteve električne energije u domaćinstvu i to bez prekida napajanja, izvor [5]

#### 4. Predlog za tunelske objekte

Na osnovu svega iznetog primenom bi-jonskih elektrolita, nanoFlowcell® i elektromotora omogućilo bi da se svi potrošači na tunelima mogu napajati bez dovođenja kablova visokog napona i bez investicija u besprekidno napajanje za dizel agregate. Tako na primer, za autoputski tunel sa dve cevi i dužine 700m bilo bi dovoljno 4 motora snage po 140KW, jedan nanoFlowcell® sa 4/6 ćelija i rezervoar za dvojonske elektrolite ukupne zapremine oko 150m<sup>3</sup> sa 2 odvojena rezervoara zapremine po 75m<sup>3</sup> (na pr. 5m x 5m x 3m), jedan za pozitivan elektrolit, drugi za negativan. Ova količina elektrolita bila bi dovoljna za napajanje obe cevi tunela za 30 dana čime bi se trošilo 3 MWh/dan električne energije, odnosno 5000lit/dan ili 5t/dan elektrolita. Svi uređaji na tunelu bi radili na naponu od max.48V kao što su ventilatori, LED rasveta, senzori, telekomunikacije, PLC uređaji i znaci sa promenljivim sadržajem (VMS).

## 5. Zaključak

Ovaj tehnološki iskorak i rešenje za napajanje svih uređaja u tunelima donosi mnoge koristi. Nema dovođenja visokonaponskih kablova, nema dizel agregata kao rešenja za besprekidno napajanje. Investicije bi značajno bile niže, ne bi bilo potrebno graditi pogonski objekat u kome se nalaze ormani sa transformatorima. Rezervoari bi-jonskih elektrolita, nanoFlowcell® i elektromotori mogli bi bili ugrađeni u zemlju. Ne bi bilo krađe trafoa iz tih objekata (zbog bakra). Ne bi bila potrebna angažovanost žive sile za čuvanje tih objekata u vremenu 24/7. U zavisnosti od dužine tunela rezervoari bi-jonskih elektrolita, nanoFlowcell® i elektromotori bi mogli da se postave na oba kraja tunela. Troškovi eksploatacije za bi-jonske elektrolite su fiksni (0,1 €/lit) i ne bi zavisili od bilo kakve političke ili geografske ekskluzivnosti kao što je primer sa naftom, litijumom ili ugljem. Proizvodnja bi-jonskih elektrolita moguća je iz obnovljivih izvora energije i za proizvodnju ovih elektrolita koji daju 1 KWh energije potrebno je uložiti isto toliko energije. Za proizvodnju 1 KWh alternativnih nosilaca energije potrebno je uložiti više od jednog KWh. Sadašnja cena električne energije nije ekonomska i pod uticajem je države.

Još jednom da napomenem da je ovaj pregledni rad zasnovan na razmatranju tehnološke praktičnosti rešenja, a da je sama tehnologija još pod tajnom vlasnika, jer nije još došlo do potpune komercijalizacije.

**Literatura:**

- [1] <http://emagazine.nanoflowcell.com/technology/the-redox-principle/> Februar-Mart 2016
- [2] <http://emagazine.nanoflowcell.com/en/technology/bi-ion-energy-of-the-future/> Maj 2017
- [3] <https://cleanenergypartnership.de/en/fag/hydrogen-production-and-storage/>
- [4] <http://www.nanoflowcell.com/>
- [5] <http://emagazine.nanoflowcell.com/en/technology/energy-independency-with-nanoflowcellR-power/>, 13.07.2017.



## ПРОЦЕНАТ ДУЖИНЕ АДЕКВАТНИХ САОБРАЋАЈНИЦА У ОКВИРУ ПУТНЕ МРЕЖЕ У СРБИЈИ

Далибор Пешић<sup>1</sup>, Крсто Липовац<sup>1</sup>, Борис Антић<sup>1</sup>, Емир Смаиловић<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, Србија

**Резиме:** Карактеристике пута и опрема пута имају задатак да омогуће свакодневне активности, односно да омогуће одрживи транспорт и да се те активности спроводе на безбедан начин. Фактор пут у безбедности саобраћаја представља резултат комбинације функционалности путне мреже, хомогености путне мреже и могућности предвиђања путног окружења и величине саобраћаја. По правилу, путна мрежа неког подручја састоји се од различитих категорија саобраћајница, почев од путева са физички раздвојеним коловозима, па све до путева у насељима. Сматра се да су путеви са физички раздвојеним коловозима безбеднији, јер се за разлику од двотрачних путева, на путевима са физички раздвојеним коловозним тракама, ређе догађају саобраћајне незгоде. Већина истраживача путеве ван насеља препознаје као најризичније, у прилог чему говори податак да је највећи ризик смртног страдања на путевима ван насеља (Elvik and Vaa, 2004). Препоруке Европске Комисије у погледу категорија саобраћајница која треба да повезују насеља са одговарајућим бројем становника, представљају значајне индикатора безбедности пута, и уједно представљају степен развоја инфраструктуре одређеног подручја. У овом истраживању, на примеру града Београда и одабраних насеља у Србији извршена је упоредна анализа постојеће категорије саобраћајнице у односу на потребне карактеристике пута са аспекта безбедности саобраћаја. На одабраном делу државних путева представљен проценат дуже адекватних саобраћајница у оквиру путне мреже.

**Кључне речи:** карактеристике пута, адекватне саобраћајнице, путна мрежа, безбедност пута, чвор

## ASSESSMENT OF DESIRED CONNECTIONS IN THE ROAD NETWORKS IN SERBIA

Dalibor Pešić<sup>1</sup>, Krsto Lipovac<sup>1</sup>, Boris Antić<sup>1</sup>, Emir Smailovic<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Serbia

**Abstract:** Desired connections and road equipment ensure safe traffic flow at daily activities, ie. transport. The road safety factor is the result of a combination of the road network functionality, the homogeneity of the road network, and the possibilities of predicting the road environment and the traffic requirements. The road network of an area consists of different categories of roads, such as dual carriageway roads or rural access roads. Dual carriageway are thought to be safer because, unlike to single carriageway, on dual carriageway it is rare for accidents to occur. Most researchers rural road identified as unsafe, suggest to the fact that the greatest risk of fatal accident on the rural roads (Elvik and Vaa, 2004). The recommendations of the European Commission regarding the functional road classifications are important indicators of road safety and at the same time represent the degree of development of the infrastructure of a particular area. In this study, on the example of the search area for the city of Belgrade, was realize a comparative analysis of the current and theoretical road category from the aspect of road safety. The research area presents the percentage of desired connections in the road networks.

**Keywords:** road characteristics, desired connections, road network, road safety, crossroads

### 1. УВОД

Праћење ефикасности мера за унапређење безбедности саобраћаја и напретка у области безбедности саобраћаја, најчешће укључују број саобраћајних незгода, број погинулих и број повређених лица у саобраћају. Међутим, ове величине често нису довољне да би се описао ниво безбедности саобраћаја, јер описују „најлошији случај“ (Yannis *et al.*, 2013). Анализа саобраћајних незгода и настрадалих лица углавном не објашњава процесе које су довели до њиховог настанка. Због тога се, у науци безбедности саобраћаја у последњој деценији, користе додатни показатељи стања безбедности саобраћаја и показатељи праћења тренда.

\* Е. Смаиловић: e.smailovic@sf.bg.ac.rs

Индикатори безбедности саобраћаја представљају меру која описује перформансе и учинак система безбедности саобраћаја и по правилу имају веома јаку везу са коначним излазима из система безбедности саобраћаја, односно са бројем и последицама саобраћајних незгода (Pešić, 2012). Према Европском савету за безбедност саобраћаја, индикатори безбедности саобраћаја представљају било коју меру која је узрочно везана за саобраћајне незгоде и последице саобраћајних незгода (ETSC, 2001).

Индикатори безбедности саобраћаја представљају величине које описују перформансе система безбедности саобраћаја (Hakkert, 2007). Сврха индикатора безбедности саобраћаја је да опишу тренутни ниво безбедности саобраћајног система; да измере утицај одређених мера на безбедност саобраћаја и да омогуће поређења стања безбедности саобраћаја (на пример, држава, регија итд.). Индикатори безбедности саобраћаја врло често представљају околност односно кључни разлог настанка саобраћајне незгоде. Индикатори безбедности саобраћаја могу бити повезани са одређеном групом учесника у саобраћају (на пример: децу, возаче почетнике или професионалце) или на саобраћајне прописе (на пример: употреба сигурносног појаса, заштитних кацага и др.) или могу обухватати специфичне области путне мреже (European Commission, 2003).

У последњих десетак година индикатори безбедности саобраћаја представљају предмет бројних истраживања. Шта више, у току је процес развоја композитних индекса безбедности саобраћаја, који обједињују већи број индивидуалних показатеља стања безбедности саобраћаја, односно појединачних индикатора (Tešić et al., 2018; Rosić et al., 2017; Yannis et al., 2013).

У оквиру Европског пројекта "SafetyNet" развијени су индикатори безбедности саобраћаја за седам области које значајно утичу на безбедност саобраћаја, и то: возња под утицајем алкохола и дрога; брзине; заштитни системи; дневна светла; возила; путеви и здравствено збрињавање (Hakkert, 2007). У оквиру наведеног пројекта "SafetyNet" дефинисани су индикатори безбедности саобраћаја који су односе на квалитет путне мреже и пројектних елемената путне инфраструктуре.

Опште је познато и раније доказано да на безбедност друмског саобраћаја значајно утичу бројне карактеристике путне мреже. Примена индикатора безбедности саобраћаја подразумева превенцију настанка саобраћајних незгода сагледавањем карактеристика пута и пре него што се догоде саобраћајне незгоде. Стога анализа индикатора безбедности саобраћаја повезаних са путем има за циљ оцену претњи по безбедност саобраћаја, са аспекта недостатака путне мреже. Циљ овог истраживања је представљање индикатора безбедности саобраћаја повезаних са путном мрежом који су дефинисани пројектом "SafetyNet", као и пилот истраживање индикатора безбедности саобраћаја у Србији према методологији пројекта "SafetyNet".

## **2. РАЗВОЈ ИНДИКАТОРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА ПУТНЕ МРЕЖЕ**

Wegman, Aarts and Van (2008) наводе пет принципа на којима би требала да се заснива безбедна путна мрежа. Први принцип подразумева да путеви морају бити монофункционални, што значи да су део путне мреже која има хијерархијску структуру (принцип функционалности). Друго, при кретању великим брзинама различитих категорија возила у супротним смеровима кретања, коловози требају да буду физички раздвојени (принцип хомогености). Трећи принцип подразумева да пут буде предвидив за учеснике у саобраћају, што се постиже одговарајућим пројектним елементима пута (принцип предвидивости). Четврто, окружење пута треба да буде "праштајуће", што значи да када дође до настанка саобраћајне незгоде, последице незгоде буду мање (принцип "праштања").

По правилу, путна мрежа неког подручја састоји се од различитих категорија саобраћајница, почев од аутопутева, па све до путева у насељима. Сматра се да су аутопутеви најбезбеднија категорија саобраћајница, јер се за разлику од осталих категорија саобраћајница, на аутопутевима ретко догађају саобраћајне незгоде, ако се посматра изложеност, односно пређени пут. Разлоге у оваквим чињеницама треба тражити у томе што су стандарди пројектовања аутопутева значајно већи и строжи због већих брзина, у томе што постоји потпуна контрола приступа, у томе што су специфични начини укрштања (денivelисани) који смањују број могућих конфликта, итд. За разлику од аутопутева, путеви у насељима, а посебно путеви ван насеља представљају ризичније категорије саобраћајница. Наиме, Elvik and Vaa (2004) наводе да је заступљеност страдања на аутопутевима у односу на остале категорије саобраћајница веома мала и да је највећи ризик смртог страдања на путевима ван насеља (4 до 6 пута већи у односу на аутопутеве). Додатно, лоше стање површине коловоза, као и пропусти у пројектовању и одржавању путева значајно умањују стање безбедности саобраћаја.

Искуства показују да неочекиване промене путног окружења и стања пута имају највећи утицај на ризик страдања у саобраћајним незгодама (нпр. ударне рупе, изненадна појава леда на коловозу).

Европска Комисија у својим истраживањима из 2004. и 2016. године констатује да путеви са једним коловозом имају мању оцену безбедности у односу на путеве са физички одвојеним коловозима (ЕС, 2004; ЕС, 2016).

У досадашњој светској и домаћој пракси развијено је неколико метода за дефинисање безбедности пута (нпр. RAP – Road Assessment Programme и мапирање ризика). Ове методе имају задатак да оцене стање безбедности пута и да у зависности од те оцене пута омогуће схватање степена ризика страдања, односно у којој мери путеви штите учеснике у саобраћају од тежег повређивања у случају настанка незгода.

Са друге стране, у пројекту "SafetyNet" дефинисана су два нивоа индикатора безбедности саобраћаја, који су повезани са путем:

- Путна мрежа: одговарајући пут треба да се налази на одговарајуће место са функционалне тачке гледишта, тј. категорија пута треба да одговара његовој функцији у путној мрежи; и
- Пројектни елементи: путеви треба да буду пројектовани на безбедан начин.

У оквиру пројекта "SafetyNet" развијени су индикатори безбедности саобраћаја за оба нивоа. У овом истраживању разматрани су индикатори безбедности саобраћаја повезани са путном мрежом.

## 2.1. Индикатори безбедности саобраћаја путне мреже

Индикатори безбедности саобраћаја везани за путну мрежу се заснивају на квантитативној оцени елемената путне мреже и пројектних елемената пута са аспеката безбедности саобраћаја. Ова метода је развијена у Холандији, у оквиру студије *Како пројектни елементи пута и функција пута утичу на безбедност саобраћаја* (Dijkstra, 2011).

Идеја креатора индикатора безбедности саобраћаја везаних за путну мрежу је био да се дефинишу минимални теоријски услови, потребни са аспекта функције пута, коју треба да испуњавају постојећи путеви. Постојећа путна мрежа се пореди са теоријски потребним путевима, који се дефинишу као путеви који испуњавају извесне минималне услове у погледу безбедности саобраћаја, тако да се добија оцена постојеће путне мреже.

Метода оцене путне мреже, развијена у Холандији води порекло од квалитативне методе која се примењује у немачким смерницама за категоризацију путева (FGSV, 1988). Ове смернице на квалитативан начин дефинишу категоризацију путева и врсте градских центара, као и потребну вези између наведених центара. Метода FGSV је у холандској студији прилагођена квантитативној методи за оцену инфраструктуре.

Циљ индикатора безбедности путне мреже је да оцени да ли одговарајућа категорија пута повезује одређене чворове, односно центре. Може се дефинисати као проценат дужине одговарајуће категорије путева, у односу на постојећу категорију путева. Математички се може изразити као:

$$SPI(T_i) = \frac{\sum_n (L_{t_i}^T | t_i \geq T_i)}{\sum_n L_{t_i}^T}$$

где:

$T_i$  представља теоријски потребну категорију пута  $i$  (дефинисано шест категорија, од AAA до C);

$t_i$  је постојећа категорија пута  $i$ : (такође истих шест категорија);

$n$  је број посматраних путева;

$SPI(T_i)$  је вредност индикатора перформанси безбедности саобраћаја за категорију пута  $T_i$ ;

$L_{t_i}^T$  је дужина постојећег пута који би према теоријским захтевима требало да припада категорији  $T_i$ , а заправо припада категорији  $t_i$ .

Основна идеја развоја индикатора "процент дужине одговарајуће пута у односу на постојећу путну мрежу" састоји се у потреби да саобраћајни захтев дефинише потребну категорију пута. Наведени индикатор дакле оцењује у којој мери су постојећи путеви одговарајући с обзиром на потребне захтеве.

Да би се израчунао проценат дужине одговарајућих путева у оквиру путне мреже, потребно је најпре дефинисати теоријски потребне категорије пута у зависности од величине чвора. У том смислу потребно је одредити полазне основе, односно почетне хипотезе. Посматрана два центра која су спојена одређеном категоријом пута, генеришу саобраћај од једног ка другом центру, при чему сва возила која путују између центара користе исти пут. Величина центара одређује саобраћајни захтев између њих, тако да саобраћајни захтев одређује потребну категорију пута уважавајући премису да већи обим саобраћаја захтева вишу категорију пута.

Да би наведени модел могао применити, потребно је квантификовати везу између величине чвора и саобраћајног захтева. За наведени однос потребно је усвојити одређене дефиниције. Тако се чвор може дефинисати као географско подручје које генерише кретања у оба смера. Величина центра је директно повезана са обимом саобраћаја који се генерише, тако да се саобраћајни захтев дефинише као број моторних возила која путују између посматрана два центара (слика 1).

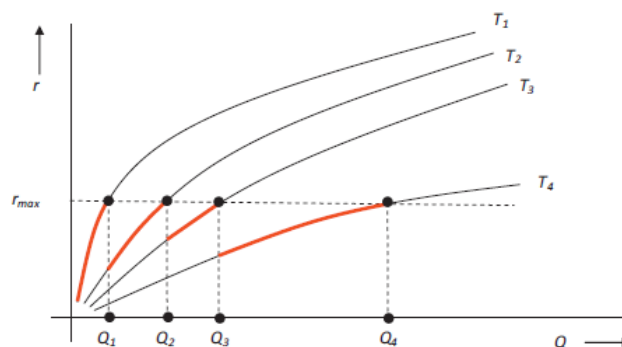


Слика 1. Саобраћајни захтев  $D_{12}$  између центара C1 и C2.

Иако постоје многи фактори који утичу на саобраћајни захтев између два чвора (нпр. број становника, број радних места, обим индустрије, туризам, култура, административно уређење и др.), индикатори који разматрају путну мрежу укључују само величину чвора (број становника), што на неки начин представља променљиву која обједињује највећи број фактора, а поједностављује процес прорачуна индикатора.

Индикатори путне мреже подразумевају да већи саобраћајни захтев захтева пут више категорије. Више категорије путева у општем случају обезбеђују веће саобраћајне протоке, што заправо највећи ефекат има на мобилност. На први поглед наведени индикатор би се могао тумачити као индикатор мобилност, односно расположивости путне мреже, не и као индикатор безбедности саобраћаја. Међутим, раније је већ истакнуто да већа категорија путева означава и већу безбедност саобраћаја, насталу као последица већег стандарда при пројектовању, смањења броја конфликта, негативних ефеката контроле приступа и слично.

Да би се објаснила идеја наведеног индикатора, може се дефинисати ниво небезбедности категорије пута, која се изражава густином саобраћајних незгода ( $r$ ), а представља просечан годишњи број саобраћајних незгода са повређеним лицима по километру пута (Yannis *et al.*, 2013). Познато је да, за дату категорију пута ( $T_i$ ), густина саобраћајних незгода ( $r$ ) представља функцију саобраћајног протока (Слика 2).



Слика 2. Веза између густине саобраћајних незгода ( $r$ ) и саобраћајног протока ( $Q$ ), за различите категорије путева ( $T_i$ ) (Yannis *et al.*, 2013).

Једна од полазних теза дефинисања индикатора безбедности путне мреже, уз уважавање повезаности густине саобраћајних незгода и саобраћајног протока, је потреба дефинисања максималног нивоа небезбедности одређене категорије пута. Тако је Слика 2 представљено да за дату категорију пута  $T_i$ , већи саобраћајни проток подразумева пад нивоа безбедности саобраћаја (тј. густина саобраћајних незгода расте:  $r_T(Q)$  је позитивна линеарна функција). Наведена повезаност густине саобраћајних незгода и категорије пута, не мора да важи и за ризик од настанка саобраћајне незгоде. Ризик од настанка саобраћајне незгоде не мора бити линеарна функција.

Ниво небезбедности одређеног пута, представљен на Слици 2, може се дефинисати као густина саобраћајних незгода на путу одређене категорије  $r_T$  (Yannis *et al.*, 2013), тако да:

- $r_{\max}$  означава максимални ниво небезбедности који је прихватљив на одређеној категорији пута;
- $M$  означава број могућих категорија пута;
- $T_i$  означава  $i$ -ту категорију пута, где је  $i = 1, \dots, M$ .

Зависност густине саобраћајних незгода и протока приказана на Слици 2, може се тумачити на начин да је одговарајућа категорија пута  $T_1$  уколико је проток на том путу од  $Q$  до  $Q_1$ ; односно да је одговарајућа категорија пута  $T_2$  уколико је проток на том путу од  $Q_1$  до  $Q_2$ . Сличан принцип важи и за остале две приказане категорије. У складу са одређеним максималним нивоом небезбедности ( $r_{\max}$ ), интервали вредности саобраћајних протока (обележени црвеном бојом на Слици 2) су у вези са минимално потребном категоријом пута.

Функција  $r_T(Q)$  може имати различите облике, у зависности од категорије пута. У студији дефинисања индикатора безбедности путне мреже претпостављено је да постоји заједничка функција ризика (Arsénio *et al.*, 2008). Због тога је потребна калибрација функција густине саобраћајне незгоде, по пређеном путу, у зависности од категорије пута. Могуће је и користити различите критеријуме за дефинисање максималног нивоа небезбедности, уважавајући и различите категорије путева, терена и слично. Значајно је истаћи на наведени критеријуми не умањују значај и могућности индикатора везаних за путне мреже. Наиме, вредности индикатора су коефицијенти који се могу поредити између различитих земаља.

## 2.2. Метода прорачуна индикатора безбедности саобраћаја путне мреже

Да би се наведени индикатор применио потребно је одабрати чворове које се налазе у сфери међусобног утицаја, истражити протоке између наведених чворова, дефинисати максимални ниво небезбедности  $r_{\max}$ . Коначно, потребно је у складу максималним нивоом небезбедности дефинисати потребан ниво категорије пута, и извршити упоредну анализу са постојећим путем.

Значајно је истаћи да би се одредио максимални ниво небезбедности, потребно је дефинисати функцију густине саобраћајних незгода за различите категорије путева. У идеалном случају, сфере утицаја, проток и функција густине саобраћајних незгода су познате из емпиријских студија, а максимални ниво небезбедности дефинишу креатори политике.

У реалним условима, протоци између сфера зависе од различитих фактора и тешко је утврдити све варијабле укључене у такву функцију, а посебно је комплексно утврдити појединачни утицај сваког од фактора. Да би се у практичном смислу квантификовали вредности индикатора, број становника сваког чвора се посматра као кључна и једна варијабла за дефинисање потребне категорије пута.

На тај начин, омогућена је примена наведених индикатора на практичан начин. За примену наведеног индикатора потребно је сагледати сфере међусобног утицаја чворова на мрежи. Тако на нпр. међусобна сфера утицаја углавном обухвата најближа насеља и у зависности од величине и значаја подручја, може подразумевати и удаљена подручја. Нпр. сфера утицаја Београда може представљати практично свако насеље у Србији, због економског, друштвеног и политичног значаја Београда у Србији.

Да би се добиле вредности индикатора путне мреже који ће бити поређени са постојећим категоријама путева, у пројекту "SafetyNet" је предложено да се користи међународно-усаглашена категоризација путева. У Табели 1 су приказани минимални услови за различите категорије путева, које су предложене у оквиру пројекта "SafetyNet", класификујући путеве у шест категорија, од ААА до С. Наведена класификација се односи само на ванградске путеве, односно на мотопутеве.

**Табела 1. Минимални услови за различите категорије путева (Yannis et al., 2013).**

SafetyNet категорије путева $T_i$	Ванградске области (ван изграђених области)					
	AAA:	AA:	A:	BB:	B:	C:
	Аутопут	Пут I реда 1	Пут I реда 2	Ванградски дистрибутивни пут 1	Ванградски дистрибутивни пут 2	Ванградски приступни пут
Функционална категорија пута	Транзитни пут (пут са проточном функцијом)			Дистрибутивни пут		Приступни пут
Коловози за супротне смерове	Физички одвојени коловози	Физички одвојени коловози	Један коловоз, пожељно са раздвојеним саобраћајним тракама	Физички одвојени коловози	Један коловоз, пожељно са раздвојеним саобраћајним тракама	Један коловоз
Конфигурација саобраћајних трака	2 × 2 или више	2 × 1, 2 × 2	1 × 2, 1 × 3, (1 × 4)	2 × 1, 2 × 2	1 × 2, 1 × 3, (1 × 4)	1 × 2, 1 × 1
Зона око путу без препрека	Врло широка или заштитна ограда	Широка или заштитна ограда	Широка или заштитна ограда	Средња	Средња	Мала
Раскрснице	Денивелисане	Пожељно денивелисане	Пожељно денивелисане	Пожељно кружне	Пожељно кружне	

Категорије путева су, у зависности од броја становника, додељене везама између различитих чворова (насеља). У Табели 2 је приказано за које чворове је потребна одговарајућа категорија пута. Подаци приказани у Табели 2 нису засновани на емпиријским доказима, већ на експертској процени (Yannis et al., 2013). Класификација чворова (насеља) коришћена у пројекту "SafetyNet" је преузета из смерница коришћених у Холандији (Dijkstra, 2011). На основу коришћене класификације у пројекту SafetyNet, разликује се пет врста центара, у зависности од броја становника.

**Табела 2. Минимално потребне категорије пута  $T_i$  који повезују два центра дате величине.**

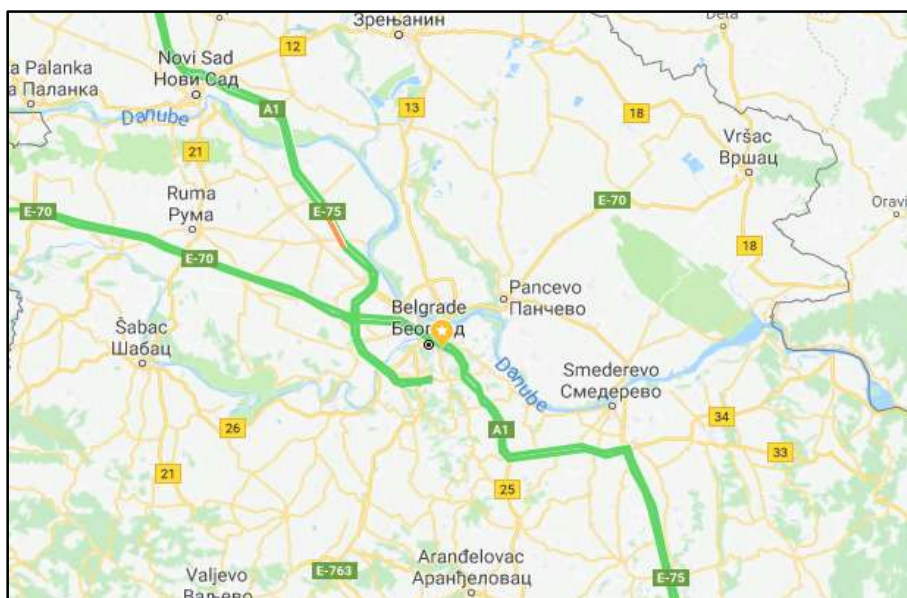
Врста градског центра (бр. становника)	Врста 1	Врста 2	Врста 3	Врста 4	Врста 5
Врста 1 ( $P_1 > 200.000$ )	AAA	AAA	AA	Индиректно	Индиректно
Врста 2 ( $P_2 : 100.000 - 200.000$ )		AA	AA	BB	Индиректно
Врста 3 ( $P_3 : 30.000 - 100.000$ )			BB	BB	B
Врста 4 ( $P_4 : 10.000 - 30.000$ )				B	B
Врста 5 ( $P_5 < 10.000$ )					C



Да би се утврдило који чворови треба да буду одговарајућим везама повезани, у простору истраживања, примењују се метода такозване "кружне области претраживања". Наведена метода подразумева да се за сваки испитивани градски или сеоски чвор конструише кружна област претраживања. Кружна област претраживања се одређује на основу удаљености најближег центра исте врсте: центар кружне области претраживања је локација посматраног градског центра, а радијус круга је описан најкраћим растојањем до најближег центра исте врсте. Поље унутар сваког круга може се сматрати облашћу утицаја тог града или села. У оквиру такве области, разматрају се везе са другим центрима.

### 3. ПРОСТОР ИСТРАЖИВАЊА

За простор истраживања ове пилот студије, одабран је регион Београда. С обзиром на представљену методологију "SafetyNet" пројекта, простор истраживања је ограничен другим већим чвором исте или више врсте градског центра. Како је то у случају региона Београда, град Нови Сад, простор истраживања је практично ограничен растојањем од 100 km у односу на центар Београда. Тако, простор истраживања ове студије су насеља са више од 30.000 становника, као што су Нови Сад, Шабац, Сремска Митровица, Зрењанин, Вршац, Панчево, Смедерево, Ваљево и др., који се налазе на удаљености око 100 km од Београда. Приградске београдске општине су, такође посматране као центри чворова, тако да су у овој студији посматране општине Гроцка, Младеновац, Лазаревац и Обреновац, као засебни чворови (Слика 1). Утврђиван је однос потребних и постојећих категорија пута између Београда и наведених чворова (градова или приградских општина).



Слика 1. Простор истраживања

У складу са доступним подацима о путевима у Србији, извршена је анализа постојећих категорија пута у простору истраживања. Према методологији "SafetyNet" пројекта, и у складу са подацима Републичког завода за статистику, дефинисана је потребна категорија пута између два наведена чвора. За број становника по чворовима, односно насељима коришћени су резултати пописа становништва у 2011. години.

На основу тако дефинисане две варијабле, израчунат је % дужине одговарајуће путне мреже. Наведени индикатор се може поредити са земљама у Европи, с обзиром да су критеријуми и начин одабира простора истраживања дефинисани у складу са методологијом која се користи у Европи.

### 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

С обзиром на обимност података, насеља која имају мање од 30.000 становника, односно насеља која припадају врстама 4 и 5, према методологији "SafetyNet" пројекта, нису разматрана. С обзиром на простор истраживања, издвојена су два чвора (Београд и Нови Сад), са више од 200.000 становника. Четири насеља припадају "врсти 2", односно имају више од 100.000 становника, а мање од 200.000.

Осам чворова односно насеља, у простору истраживања имају више од 30.000 становника, а мање од 100.000 (Табела 3).

**Табела 3.** Истраживана насеља према врсти

Врста насеља				
Врста 1	Врста 2	Врста 3	Врста 4	Врста 5
Београд	Зрењанин	Вршац	Није обухваћено истраживањем	
Нови Сад	Панчево	Сремска Митровица		
	Шабац	Ваљево		
	Смедерево	Аранђеловац		
		Обреновац		
		Лазаревац		
		Младеновац		
		Гроцка		

Према смерницама које се користе у Европској Унији, а које су предложене пројектом "SafetyNet", категорија пута "AAA" повезује насеља врсте 1, односно насеља врсте 2, као и међусобно насеље врсте 1 и врсте 2.

Насеље врсте 3 (од 30.000 до 100.000 становника) се са насељем које припада врсти 1 повезује категоријом пута "AA", тј. путем са физички раздвојеним коловозним тракама. Директно повезивање насеља врсте 4 и 5 са насељем врстом 1 није предвиђено према коришћеној функционалној класификацији. Наведене, као и остале категорије пута, које се према смерницама користе за повезивање насеља приказане су у Табели 3.

**Табела 4.** Вредности индикатора % дужине одговарајућих саобраћајница на истраживаном простору

		Тип повезаности		Дужина (km)	Постојећи/потребни
		Постојећи	Потребни		
Почетни чвор	Београд				
	Нови Сад	AAA	AAA	82	Испуњава
Врста 2 насеља	Зрењанин	A	AAA	78	Неиспуњава
	Панчево	BB	AAA	20	Неиспуњава
	Шабац	AAA (B)	AAA	54 (34)	Делимично испуњава
	Смедерево	AAA (B)	AAA	45 (17)	Делимично испуњава
Врста 3 насеља	Вршац	A	AA	65*	Неиспуњава
	Сремска Митровица	AAA (A)	AA	14* (11)	Делимично испуњава
	Ваљево	B	AA	33*	Неиспуњава
	Аранђеловац	AAA (B)	AA	* (42)	Делимично испуњава
	Обреновац	AA (B)	AA	6 (26)	Делимично испуњава
	Лазаревац	B	AA	60	Неиспуњава
	Младеновац	AAA (B)	AA	* (20)	Делимично испуњава
	Гроцка	AAA (C)	AA	* (14)	Делимично испуњава
<b>Укупно</b>				<b>621 (164) 100%</b>	
<b>Учешће путева који неиспуњавају захтевану категорију (%)</b>				<b>420</b>	<b>68%</b>
<b>Учешће путева који испуњавају захтевану категорију</b>				<b>201</b>	<b>32%</b>
<i>* растојање чвора је рачунато као удаљеност од најближег претходно анализираниог чвора</i>					

Укупна дужина анализиране путне мреже у овом истраживању износи 621 km, од чега 201 km испуњава или превазилази захтеве у погледу категорије пута, која је потребна да повезује два насеља, што представља мање од трећине од укупне дужне посматране путне мреже (32%).

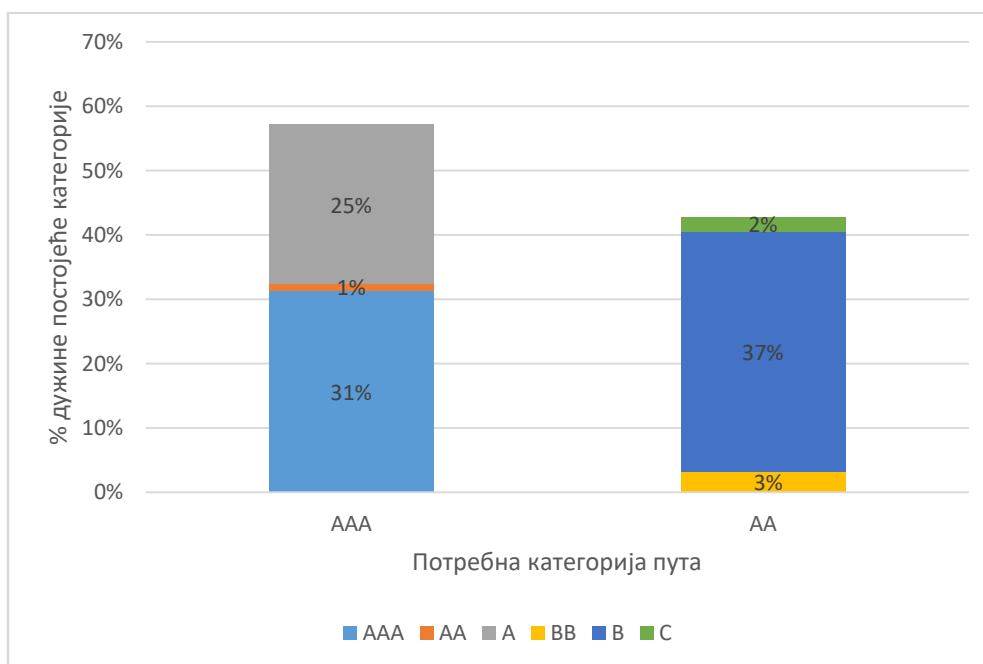
Резултати спроведеног истраживања путне мреже у окружењу Београда, показују да више од две трећине путне мреже, односно чак 68% не задовољава услове са аспекта безбедности саобраћаја, у погледу категорије пута која је потребна да повезује насеља одређеног броја становника.

"AAA" категорија путне мреже чини 31% истраживаног дела путне мреже; "AA" чини 1% истраживаног дела путне мреже; 25% чини путна мрежа категорије "A"; 3% чини путна мрежа категорије "BB"; највише, 37% чини путна мрежа категорије "B"; и 2% категорија путне мреже "C".

Због одабраног узрока у погледу анализирања само насеља са више од 30.000 становника, према захтевима пројекта "SafetyNet", категорије саобраћајница "A", "BB", "B", "C" нису захтеване, тако да је на Слици 2 приказано учешће постојећих путева у захтеваним профилима путне мреже. Од укупног броја путева за које је неопходно да буду "AAA" категорије, 31% припада захтеваној категорији, 1% припада категорији "AA", а 25% припада категорији "A".

Друга захтевана категорија путева, према смерницама које се користе у Европској Унији, а која је потребна у анализираном подручју, не постоји нити један километар, који одговара захтевима. Тако, од укупне дужине посматране путне мреже, за коју је неопходно да буде категорије "AA", 3% припада категорији "BB", 37% припада категорији "B" и 2% припада категорији "C".

На основу наведеног, може се закључити, да је мање од трећине потребних саобраћајница "AAA" припадају одговарајућој категорији, док остали део анализираних путне мреже припада класи нижој од минимално захтеваног критеријума коришћених последњих година у Европској Унији.



Слика 2. Индикатори безбедности путне мреже према категорији пута

## 5. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

У овом истраживању упоређиване су постојеће и потребне категорије путева у окружењу Београда. Анализирана су насеља на удаљености до приближно 100 km од Београда, са више од 30.000 становника. Циљ ове анализе је био да се утврди вредност индикатора % дужине адекватних саобраћајница на истраживаном подручју, у складу са препорукама из пројекта "SafetyNet". Пројекат "SafetyNet" је дао смернице за дефинисање индикатора безбедности саобраћаја. У оквиру индикатора безбедности саобраћаја, индикатори везани за пут су препознати као значајан елемент небезбедности саобраћаја. Због тога је дефинисан индикатор који се односе на постојећу путну мрежу и представља однос постојећих и потребних путева са аспекта безбедности саобраћаја.

Београд представља економски и административни центар Републике Србије, са значајно већим степеном развоја инфраструктуре у односу на остале делове Србије.

Резултати ове студије показују да више од две трећине путне инфраструктуре у окружењу Београда не одговара захтевима. Другим речима, више од две трећине (68%) постојећих путева су категорије мање од потребних са аспекта безбедности саобраћаја. С обзиром да Београд представља економски најразвијенији део земље, може се уопштено закључити да је у осталом делу Србије, проценат адекватних категорија путева, мањи од трећине. Другим речима, две трећине путева у Србији је потребно изградити у већу категорију, како би се задовољили минимални захтеви са аспекта безбедности саобраћаја.

Резултати студије, која је разматрала проблематику безбедности путне мреже у Холандији, показују да око 82% путне мреже у Јужној Холандији задовољава или премашује критеријуме пројекта SafetyNet. Сличан проценат је и у Израелу, где се наводи да више од 81% путне мреже Израела задовољава критеријуме пројекта "SafetyNet". Нешто већи проценат у односу на наведене земље има Португал, где 93,7% путне мреже има исту или већу категорију у односу на захтевану пројектом "SafetyNet" (Arsénio *et al.*, 2008). У окружењу Београда, проценат путева који задовољавају или премашују критеријуме пројекта "SafetyNet" износи 32%.

Категорија пута "BB" (пут са раздвојеним коловозним тракама и укрштањем у нивоу) највише недостаје у Јужној Холандији. Наиме, 22% путева за које је потребно да буду категорије BB су нижа категорија. Ако се посматра категорија пута AAA (аутопут са минимум 2 саобраћајне траке по смеру), резултати спроведеног истраживања у Холандији показују да су 12,5% категорије ниже од AAA, а према потребно је да буду категорије AAA.

Путеви са раздвојеним коловозима највише недостају и у Грчкој. Наиме, свега 10% путева "AA" у Грчкој и припада тој категорији пута, док са друге стране само 52% путева који су категорије "BB", заиста и припада тој категорији.

На истраживаном простору око Београда, такође највише недостају путеви са физички раздвојеним тракама за супротне смерове, који се са аспекта безбедности саобраћаја сматрају безбеднијим, у односу на путеве где траке за супротне смерове нису физички раздвојене. Од укупне дужине анализираних путне мреже у окружењу Београда, само 31% путева има физички раздвојене траке за супротне смерове кретања. Ако се посматра по категоријама, 57% захтеваних путева категорије "AAA", има физички раздвојене траке за супротне смерове и припада одговарајућој категорији. Међутим, код категорије путева "AA", која подразумева такође да траке за супротне смерове буду физички раздвојене, нема путева који задовољавају наведени критеријум.

Спроведена студија на ограниченом подручју у окружењу Београда указује да путна инфраструктура није довољно развијена са аспекта безбедности саобраћаја. Потребна је значајна изградња постојећих путних праваца, како би са аспекта безбедности саобраћаја задовољили минималне захтеве. У том смислу, за унапређење постојеће путне мреже у Србији, намеће се потреба изградње путева са физички раздвојеним тракама за супротне смерове кретања.

При реализацији овог истраживања постојала су значајна ограничења у погледу простора истраживања и расположивости података. Препорука је да се истраживање индикатора безбедности путне мреже спроведе за целу територију државних путева у Републици Србији, како би се утврдило који путеви не задовољавају минималне захтеве са аспекта безбедности саобраћаја. Ово истраживање може допринети бољем сагледавању постојећих недостатака путне мреже у Србији, и указати на потребу изградње безбедне путне мреже, према критеријумима који се последњих година користе у Европској Унији.

## Литература

1. Arsénio, E. *et al.* (2008) 'Safety Performance indicators for Roads: Pilots in the Netherlands, Greece, Israel and Portugal', *Energy*.
2. Dijkstra, A. (2011) 'En route to safer roads', p. 247. SWOV
3. ETSC (2001) *Transport Safety Performance Indicators*. Available at: [http://etsc.eu/wp-content/uploads/2003\\_transport\\_safety\\_stats\\_eu\\_overview.pdf](http://etsc.eu/wp-content/uploads/2003_transport_safety_stats_eu_overview.pdf).
4. European Commission (2004) 'Communication from the Commission-European Road Safety Action Programme. Halving the Number of Road Accident Victims in the EU by 2010', p. 40. doi: COM/2003/0311.

5. European Commission (2004) 'Road network safety ratings', [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/safetyratings/safety\\_ratings\\_in\\_use/road\\_network\\_safety\\_ratings\\_hr](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/safetyratings/safety_ratings_in_use/road_network_safety_ratings_hr)
6. European Commission (2016) 'Safety Ratings', [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/ersosynthesis2016-summary-safetyratings5\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/ersosynthesis2016-summary-safetyratings5_en.pdf)
7. Hakkert, a. . and V. G. (Eds. . (2007) 'Road Safety Performance Indicators Manual', *Deliverable D3.8 of the EU FP6 project SafetyNet*.
8. Pešić, D. (2012) 'Developing and improving the method for measuring the level of traffic safety at the territory', *Doctoral thesis*. Available at: <http://doiserbia.nb.rs/phd/fulltext/BG20121128PESIC.pdf>.
9. Rosić, M. *et al.* (2017) 'Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method', *Accident Analysis and Prevention*, 98, pp. 277–286. doi: 10.1016/j.aap.2016.10.007.
10. Tešić, M. *et al.* (2018) 'Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index', *Accident Analysis and Prevention*, 113(February), pp. 263–278. doi: 10.1016/j.aap.2018.02.003.
11. Wegman, F., Aarts, L. and Bax, C. (2008) *Advancing sustainable safety*, *Safety Science*. doi: 10.1016/j.ssci.2007.06.013.
12. Yannis, G. *et al.* (2013) 'Road safety performance indicators for the interurban road network', *Accident Analysis and Prevention*. Elsevier Ltd, 60, pp. 384–395. doi: 10.1016/j.aap.2012.11.012.
13. Elvik, R., Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier
14. <http://www.stat.gov.rs/> (20.03.2018)

# SREDNJA BRZINA SAOBRAĆAJNOG TOKA NA PADU DVOTRAČNIH PUTEVA

Marko SUBOTIĆ<sup>1</sup>, Vladan TUBIĆ<sup>2</sup>, Milan TEŠIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saobraćajni fakultet Doboj, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, msubota@gmail.com

<sup>2</sup>Saobraćajni fakultet Beograd, Univerzitet u Beogradu, vladan@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup>Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srpske, m.tesic@absrs.org

**Rezime:** Brzina toka, kao stohastička veličina predstavlja osnovni indikator Nivoa Usluge pri saobraćajnom zahtevu, a koristi se u svim fazama kreiranja projektnih rešenja. Brzina toka je glavni pokazatelj pri dimenzionisanju i vrednovanju projektnih rešenja, ali i eksploataciji i upravljanju putevima. Obzirom da se pojam brzine vezuje za srednju vremensku i srednju prostornu brzinu, analizom srednje vremenske brzine u lokalnim uslovima, dobijeni su pokazatelji srednjih brzina na padu, koji su poređeni sa graničnim brzinama. Empirijsko istraživanje rađeno je na deonici dvotračnog puta M-17 Maglaj-Ozimica, na tri preseka na padu. Sprovedeno istraživanje pokazuje da prosečna vrednost srednje brzine različitih klasa vozila znatno odstupa od granične brzine date deonice dvotračnog puta. Analizom rezultata empirijskog istraživanja, uočeno je da ni jedna kategorija vozila na datoj deonici ne poštuje ograničenje brzine. Utvrđeno je da postojeći elementi puta obezbeđuju vozačima veći kredibilitet (podobnost) ograničenja brzine, nego što je granična vrednost te brzine.

**Ključne reči:** brzina na padu, granična brzina, kredibilitet ograničenja brzine

## AVERAGE TRAFFIC FLOW VELOCITY ON TWO-LANE ROADS DOWNHILL

**Abstract:** Stochastically, traffic flow velocity represents a basic indicator of the traffic request Level of Service and is used in all phases of creating project solutions. Flow velocity is the main indicator when road dimensioning and evaluation of project solutions are being done, but also the exploitation and management of roads. Since the concept of velocity is related to average time and spatial velocity, indicators of average downhill velocity compared with limit velocity have been reached. Empirical research was done on a section of two-lane road M-17, Maglaj-Ozimica, on three cross-sections downhill. The research has shown that the average speed of different classes of vehicles significantly deviates from the speed limit of the two-lane road. The analysis of the empirical research has pointed out that none vehicle category on the section respects speed limit. It has been determined that existing road elements provide drivers with higher credibility of speed limits than the speed limit value.

**Keywords:** downhill velocity, speed limit, speed limit credibility

### 1. UVOD

Opšte je poznato, da disperzija brzina u toku uslovljava pojave ubrzanja i usporenja, što često dovodi do pojave saobraćajne nezgode. Kredibilitet ograničenja brzine, kao ustaljen termin, podrazumeva ograničenje brzine koje odgovara realnim putnim i saobraćajnim uslovima. Na osnovu istraživanja pokazatelja kredibiliteta Schagen i drugih [1], jako je bitno shvatiti da kredibilitet nije apsolutna mera, već je varijabilna vrednost koja se kreće od „verodostojne“ do „neverovatne“ vrednosti. Ako granica nije verodostojna, vozači će biti skloniji da sami određuju brzinu vožnje. U realnoj praksi postoje dva systemska rešenja za varijaciju brzine vožnje, a zasnivaju se na Inteligentnoj pomoći pri brzini (*Intelligent Speed Assistance* - ISA) i na kredibilitetu ograničenja brzine (*speed limit credibility*). Osnovni pristup za smanjenje (a nekada i za povećanje) brzine podrazumeva pre svega prilagođavanje okruženja radi poboljšanja kredibiliteta ograničenja brzine. Sprovedena istraživanja [2] pokazuju da su vozači koji nisu koristili ISA sistem podložniji kredibilitetu ograničenja brzine od onih koji su koristili ISA. U realnoj praksi upotrebljavaju se i aktivni i pasivni ISA sistemi. Zbog toga je jako značajan i sistem ISA (*Intelligent Speed Adaptation*) koji predstavlja sistem ugrađen na vozilima. Ipak, aktivni sistem se odnosi na inteligentno prilagođavanje brzine sa ograničenjem. Empirijska istraživanja i simulacije kredibiliteta brzine pokazuju pozitivne efekte na varijaciji brzine i daju značajne bezbednosne efekte. [3] Istraživanjem zasnovanim na kredibilitetu ograničenja brzina [4] postavljen je osnovni cilj koji se odnosi na smanjenje broja nezgoda za puteve gde je ograničenjem brzine profilisano smanjenje sa 30 milja/h na 20 milja/h. Ovim istraživanjem se postavlja pitanje da li je uvek opravdano uvoditi to smanjenje ili je ono zavisno od uslova puta i prilagođavanja putnim uslovima. To značajno utiče na RTC (*Road Traffic Credibility*) u datom slučaju. Lee i drugi (2017) [5] su na osnovu svojih rezultata istraživanja došli do pokazatelja da postavljene vrednosti ograničenja brzine deluju na vozače da promene odluku o datom ograničenju brzine u datim ambijentalnim i putnim uslovima, pri čemu će se kretati modifikovanim brzinom u odnosu na postavljena ograničenja. Evidentno je da vozači u prethodno



navedenim istraživanjima modifikuju svoju brzinu u odnosu na putne i ambijentalne uslove. Takođe, studija Goldenbelg-a i drugih [6] je rađena na ograničenju od 80 km/h, na osnovu subjektivnih stavova vozača, koji su vizuelnim putem vršili procene na 27 deonica puteva. Istraživanje je pokazalo velika odstupanja u brojnim karakteristikama puta i putnog okruženja (prisustvo krivina, vidljivost, jasnost situacije i sl.), što je uticalo na nepoštovanje ograničenja brzine.

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA BRZINE TOKA

U okviru ovog rada, analizirana je deonica magistralnog puta M-17 Maglaj-Ozimica, koja se nalazi u BiH. Na datoj deonici dvotračnog puta, uočena su tri preseka, na kojima su merene vrednosti brzina toka na padu. Uzorak je obuhvatio merenje od 600 brzina (po 200 na svakom preseku), prema različitim klasama vozila, a merenje brzine rađeno je pomoću ručnog radara. Dobijene vrednosti su klasirane u bazu pomoću Microsoft Office Excel v.2016, a analiza i sinteza podataka dovela je do rezultata koji su prikazani u diskusiji istraživanja. Sinteza podataka rađena je metodom deskriptivne i analitičke statistike.

Empirijska istraživanja rađena su na tri preseka date deonice pod padom, koji iznosi -1,35 %, -2,76 % i -1,7 % respektivno. Posmatrana deonica puta Maglaj-Ozimica nalazi se na području opština Maglaj i Žepče, a duga je 10,52 km i predstavlja deo magistralnog puta M-17. Empirijskim istraživanjem utvrđene su vrednosti ograničenja brzina na izabranim presecima, kao i vrednosti maksimalnih brzina saobraćajnog toka. Na datim presecima uočena su tri ograničenja brzine za detektovane padove (-1,35% →  $V_{og}=70$  km/h, -2,76% →  $V_{og}=70$  km/h i -1,7% →  $V_{og}=80$  km/h). Merenje brzine, rađeno je u okviru jednog dana u julu 2017.godine.



Slika 1. Lokacija deonica M-17 Maglaj-Ozimica sa tri preseka

Takođe, na datoj deonici je potrebno uočiti i procenat vozača, prema klasama vozila, koja (ne) poštuju ograničenje brzine i uspostaviti vezu između varijabli prekoračenja brzine i procentualnog učešća vozila. U datoj analizi daje se hipotetička pretpostavka da sa povećanjem razlike između slobodne brzine i granične brzine na padu, dolazi do povećanja procentualnog učešća vozača koji ne poštuju ograničenja brzine. Ovakvim pristupom moguće je uspostaviti detaljnu analizu za ostale deonice puteva, što bi imalo reprezentativni pokazatelj u daljoj analizi kredibiliteta brzina.

U daljem radu sprovedena je i detaljna analiza prekoračenja brzina na datim presecima, a zatim su rezultati dobijeni na presecima, poređeni sa istraživanjima dobijenim u Evropi.

## 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA BRZINE TOKA DVOTRAČNIH PUTEVA NA PADU

Na osnovu izmerenih vrednosti na tri preseka, dobijeni su rezultati istraživanja klasirani prema kategoriji vozila za sva tri preseka. U narednoj tabeli, prikazane su vrednosti razlike između slobodnih brzina utvrđenih lokalnim merenjem i ograničenih brzina sa procentualnim učešćem vozača koja ne poštuju postavljena

ograničenja brzine, a za svaki od posmatranih preseka date deonice puta. Dobijeni podaci govore da se veći procenat vozača ne pridržava ograničenja brzine na padu pri čemu je tada veća razlika između slobodne i ograničene brzine.

**Tabela 1. Analiza brzina na poprečnim preseccima na padu M-17 puta Maglaj-Ozimica**

Saobraćajna deonica Maglaj-Ozimica (M-17)	UN (%)	Vsl (km/h)	Vog (km/h)	$\Delta$ (Vsl-Vog) (km/h)	Prosečna brzina vozila koja poštuju Vog	Ne poštuje ograničenje V (%)
Presek 1	-1,35%	77	70	7	63	42%
Presek 2	-2,76%	77	70	7	61	35%
Presek 3	-1,76%	90	80	10	75	49%

### 3.1. Rezultati istraživanja prema klasama vozila

Sintezom dobijenih podataka, izvršeno je klasiranje podataka na četiri klase vozila<sup>1</sup> (PA, BUS, TV i AV), prilikom čega su analizirane brzine po klasama na datim preseccima.

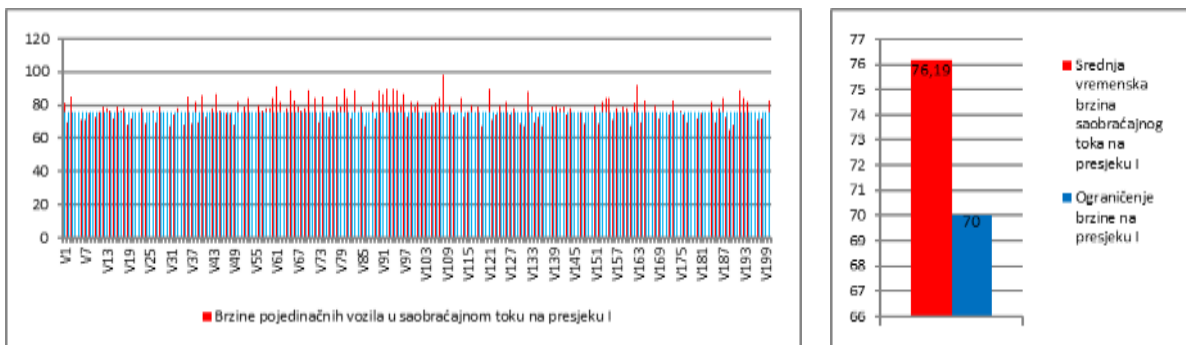
Na preseku 1, pad iznosi -1,35%, a ograničenje brzine 70 km/h. U narednim tabelama dobijeni su i klasirani podaci. Klasiranje podataka rađeno je prema graničnoj brzini (do vrednosti granične brzine), a ostale klase prekoračenja ograničene brzine su definisane u rasponu od po 5 km/h. Dobijeni podaci na preseku 1 govore da najveće nepoštovanje ograničenja brzine je kod autovoza i iznosi 58%. Specifičnost preseka 1 je da ni jedno vozilo nije prešlo brzinu od 90 km/h.

**Tabela 2. Prikaz odstupanja od ograničenja brzina na padu preseka 1 prema klasama vozila**

PA	Klase	Broj uzorka	%	BUS	Klase	Broj uzorka	%	TV	Klase	broj uzorka	%	AV	Klase	broj uzorka	%
	≤70	72	64%		≤70	10	48%		≤70	22	54%		≤70	11	42%
	71-75	16	14%		71-75	6	29%		71-75	9	22%		71-75	7	27%
	76-80	18	16%		76-80	4	19%		76-80	8	20%		76-80	5	19%
	81-85	4	4%		81-85	1	5%		81-85	2	5%		81-85	3	12%
	85-90	2	2%		85-90	0	0%		85-90	0	0%		85-90	0	0%
Ukupno		112		Ukupno		21		Ukupno		41		Ukupno		26	

Takođe, analizom svih klasa vozila na preseku 1, dobijena srednja vrednost brzine vozila koja poštuju ograničenje iznosi  $V_1=63,12$  km/h. Srednja vrednost brzina vozila prema klasama iznosi  $V_{PA1}=61,83$  km/h,  $V_{BUS1}=66,5$  km/h,  $V_{TV1}=67,32$  km/h i  $V_{AV1}=67,36$  km/h. Takođe, sintezom podataka, dobijen je pokazatelj da 42% vozila ne poštuje ograničenje brzine.

Na preseku 1 izračunata je i srednja vrednost brzine saobraćajnog toka koja iznosi  $V_{t1} = 76,19$  km/h. Sintezom podataka izmerenih brzina na narednom dijagramu se vidi odstupanje srednje vrednosti brzine od granične brzine.



**Slika 2. Odnos brzina pojedinačnih vozila i granične brzine na preseku 1**

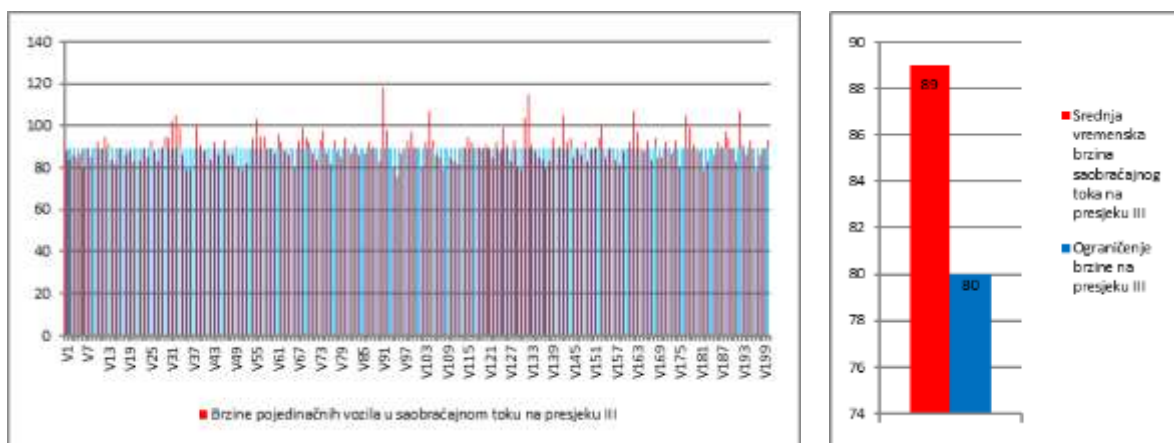
Ujedno, utvrđena vrednost srednje brzine putničkih automobila na preseku 1 iznosi  $V_{IPA1} = 76,90$  km/h, autobusa  $V_{IBUS1}=76,05$  km/h, teretnih vozila  $V_{ITV1}=74,49$  km/h i autovoza  $V_{IAV1}=75,96$  km/h. Na osnovu ovih vrednosti može se zaključiti da prosečno odstupanje od granične brzine za sve 4 klase vozila je ravnomerno i doseže vrednost do 7 km/h.

<sup>1</sup> PA-putnički automobil; BUS-autobus; TV-teretno vozilo; AV-autovoz



ograničenje na preseku 3, vidi se da nema puno variranja srednjih vrednosti brzina vozila za pojedine klase vozila.

Na preseku 3 potvrđena je i srednja vrednost brzine saobraćajnog toka koja iznosi  $V_{t3} = 89,00$  km/h (slika 4). Sintezom podataka izmerenih brzina na narednom dijagramu prikazano je odstupanje srednje vrednosti brzine od brzine ograničenja. Na narednom dijagramu dobijena je varijacija brzina toka koja u proseku iznosi 9 km/h u odnosu na graničnu vrednost brzine.



Slika 4. Odnos brzina pojedinačnih vozila i granične brzine na preseku 3

Na preseku 3 utvrđena je vrednost srednje brzine putničkih automobila koja iznosi  $V_{tPA3} = 91,26$  km/h, zatim autobusa  $V_{tBUS3} = 85,55$  km/h, teretnih vozila  $V_{tTV3} = 86,24$  km/h i autovoza  $V_{tAV3} = 87,25$  km/h. Prosečno odstupanje od granične brzine dobijene ovim vrednostima za sve 4 klase vozila nije ravnomerno i doseže vrednost od preko 10 km/h kod putničkih automobila, što je značajna varijacija brzina.

Pokazatelji dobijeni merenjem na sva tri preseka su pokazali da je na datoj deonici puta potrebno posebnu pažnju posvetiti preispitivanju postavljenih ograničenja brzine, posebno na mestima gde za pojedine klase vozila ta ograničenja u proseku prelaze i preko 10 km/h.

#### 4. DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Empirijskim istraživanjem dobijeni su rezultati izmerenih 600 brzina (200 vozila na svakom od preseka), na osnovu kojih su izračunate srednje brzine saobraćajnog toka na posmatranim presecima. Rezultati dobijeni na presecima date deonice dvotračnog puta M-17 Maglaj-Ozimica na padu pokazuju da veći procenat vozača ne poštuje postavljeno ograničenje brzine. Obzirom da veliki procenat vozača prekoračuje brzinu, uvek se postavlja pitanje adekvatnosti postavljenih ograničenja brzine na ovoj deonici.

U prethodnom poglavlju prikazani su odnosi brzina pojedinačnih klasa vozila i srednje brzine saobraćajnog toka na svakom od tri preseka, kao i odnosi srednje brzine saobraćajnog toka i ograničenja brzine na posmatranim presecima. Rezultati analize pokazuju da je na sva tri preseka srednja brzina saobraćajnog toka veća od ograničenja brzine na istom preseku (Tabela 5).

Tabela 5. Uporedni prikaz prosečnih brzina i granične brzine na mernim presecima

Brzina (km/h)	Presek 1	Presek 2	Presek 3
$V_{og}$	70,00	70,00	80,00
$V_t$	76,19	79,66	89,00
$V_{tPA}$	76,90	80,35	91,26
$V_{tBUS}$	76,05	80,47	85,55
$V_{tTV}$	74,49	77,75	86,24
$V_{tAV}$	75,96	75,80	87,25

Navedene vrednosti pokazuju da između srednjih brzina svake kategorije vozila i srednje brzine saobraćajnog toka na istom preseku ne postoje velike i značajne razlike. Jedino je srednja brzina putničkih automobila na datoj deonici veća od srednje brzine saobraćajnog toka na datoj deonici, dok su srednja brzina autobusa, autovoza i teretnih vozila u saobraćajnom toku manje od srednje brzine saobraćajnog

toka na sva tri preseka. Jedino je izuzetak na preseku 2, gde je srednja brzina autobusa veća od prosečne srednje brzine saobraćajnog toka datog preseka. Presek 1 i 2 su locirani na delu deonice koja je znatno opterećenija od pododseka gde se nalazi presek 3. Zbog toga je moguće da je za klasu autobusa brzina veća na ovako "teškom" pododseku, jer je postojeći pododsek sa aspekta geometrijskih karakteristika kompleksniji. Poređenjem srednjih brzina svake kategorije vozila dolazi se do zaključka da se na svakom preseku puta najvećom brzinom kreću putnički automobili.

Budući da su na presecima merene brzine putničkih automobila, autobusa, teretnih vozila i autovozova, prikazane su tabelarno procentualna učešća brzina ovih klasa vozila u uzorku prekoračenja brzina (Tabela 6). Analizom srednje brzine svake klase vozila u saobraćajnom toku čije su brzine izmerene na tri preseka, utvrđeno je kako iste utiču na ukupno procentualno učešće vozila koja prekoračuju brzinu. Time su dobijeni procentualne vrednosti po presecima 1, 2 i 3 respektivno od 42%, 35% i 49% vozila koja ne poštuju ograničenja brzina.

**Tabela 6. Procentualni prikaz prema klasama vozila koja ne poštuju ograničenje brzine**

Klasa vozila	Presek 1	Presek 2	Presek 3
PA	36%	39%	63%
BUS	52%	20%	34%
TV	46%	24%	34%
AV	58%	60%	30%
Ukupan saobraćajni tok	42%	35%	49%

Uoprednom analizom rezultata dobijenih na preseku 3, moguće je sa evropskim zemljama napraviti poređenje procentualnih odstupanja od granične brzine. U narednoj tabeli je prikazan procentualni učinak prekoračenja brzina, gde se vidi da je analizirani presek puta u visokom procentualnom učešću prekoračenja u odnosu na ostale zemlje. Poseban izuzetak je prekoračenje brzina u Danskoj (61%), gde se navodi da i pri graničnoj brzini u naselju (od 50 km/h), procentualno učešće nepoštovanja ograničenja iznosi 60%. Ipak, prikazani procenat prekoračenja brzine u navedenim zemljama u tabeli 7, odnosi se na celu putnu mrežu gde je granična brzina 80 km/h, dok je dati procenat prekoračenja samo definisan za presek 3 Maglaj-Ozimica deonice u BiH. Analizom svetskih istraživanja može se uočiti da što je manja granična brzina, veći je procenat nepoštovanja brzine. [7]

**Tabela 7. Uopredna analiza rezultata dobijenih na preseku 3 sa stranim istraživanjima [7]**

Ograničenje brzine	Država	% prekoračenja
80 km/h	Presek 3 analizirane deonice (BIH)	49%
	SRBIJA	34%
	DANSKA	61%
	HOLANDIJA	45%
	ŠVAJCARSKA	24%

Na preseku 3 ograničenje brzine od 80 km/h veće je nego ograničenje brzine od 70 km/h koje je određeno na presecima 1 i 2, a samim tim ova činjenica je jedan od razloga zbog kojeg su dobijene vrednosti na ovom preseku veće od onih na prethodnim presecima.

Poređenjem svih srednjih brzina pojedinih klasa vozila u saobraćajnom toku na svim presecima i ograničenja brzine na istim jasno je da nijedna kategorija vozila ne poštuje ograničenje brzine na posmatranim presecima date deonice puta.

## 5. ZAKLJUČAK

Budući da je pojam brzine jako širok i ima različita značenja, on zaslužuje svoje mesto u skoro svim oblastima teorijskih i empirijskih istraživanja zasnovanih na kapacitetu i nivou usluge saobraćajnica.

Svi pokazatelji saobraćajnog toka važni su za definisanje istog, a u ovom radu pažnja je posvećena brzini saobraćajnog toka, kao osnovnom pokazatelju. Sama činjenica da su u teoriji saobraćajnog toka uspostavljena dva pojma za definisanje brzine saobraćajnog toka, kao odgovarajuće srednje vrednosti brzina svih vozila koja čine saobraćajni tok, može se reći da obzirom na uslove kretanja i stepen interakcijskog uticaja vozila ti pojmovi dobijaju specifične nazive. To mnogo govori o značaju ovog pokazatelja kako za teoriju, tako i za različita praktična postupanja i istraživanja.



Na osnovu dobijenih rezultata, može se izvesti zaključak, da sa povećanjem disperzije brzine, a kod većeg ograničenja brzine na padu, raste i procenat vozača koji ne poštuju brzinu. Ovaj zaključak se ipak odnosi samo na deonicu magistralnog puta Maglaj-Ozmica, dok bi se globalno istraživanje moralo sprovesti na većem broju deonica, da bi se dobijeni zaključak uzeo kao reprezentativan za lokalne uslove. Takođe, analizom procenta vozača koji ne poštuju ograničenja brzine, istraživana deonica spada u srednji rang nepoštovalaca brzine u odnosu na deonice evropskih zemalja (Tabela 7).

Poređenjem srednjih brzina različitih klasa vozila na sva tri preseka, dokazano je da su srednje brzine svih klasa vozila veće od granične brzine date deonice. Na osnovu ovog zaključka, postavlja se pitanje adekvatnosti ograničenja brzine na datim presecima deonice na padu.

Takođe, na osnovu rezultata dobijenih ovim radom, dokazano je da sa povećanjem razlike između srednje i granične brzine, raste i procenat vozača koji se ne pridržavaju ograničenja brzine. Jednom rečju, ukoliko je disperzija brzina veća, veća je i mogućnost za nepoštovanjem brzine. Ovim je dokazana hipotetička pretpostavka postavljena u metodologiji rada.

Ovo istraživanje potvrđuje da analiza srednjih vrednosti brzine podrazumeva složenu problematiku u projektantskim i planerskim analizama, a da se posebna pažnja posvećuje kredibilitetu brzina. Ujedno, svaka detaljna analiza otvara mogućnost za dalje istraživanje brzina na deonicama dvotračnih puteva, što bi predstavljalo realnu osnovu za izradu priručnika za kredibilitet brzina predviđenog za lokalne uslove.

## Literatura

- [1] Schagen, I.N.L.G. van, Wegman, F.C.M. & Roszbach, R. (2004) Veilige en geloofwaardige limieten; Een strategische verkenning. R-2004-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- [2] Nes N.V., Houtenbos M., Schagen I.V., (2008) Improving speed behaviour: the potential of in - car speed assistance and speed limit credibility, IET Intelligent Transport Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 323–330, doi: 10.1049/iet-its:20080036
- [3] Speed and Speed Management (2015) European Road Safety Observatory.
- [4] Kibbin, D., M., (2014) Speed limit compliance and enforcement. *Providing research and information services to the Northern Ireland Assembly*, NIAR 169-14.
- [5] Lee, Y.M., Chong, S.Y, Goonting, K. & Sheppard, E., (2017). The effect of speed limit credibility on drivers' speed choice, *Transportation Research Part F: traffic psychology and behaviour*, 45, 43–53.
- [6] Goldenbelg, C., van Schagen, I, (2007) The credibility of speed limits on 80 km/h rural roads: The effects of road and person (ality) characteristics, *Accident Analysis & Prevention*, Elsevier, 39(6): pp.1121-1130, doi: 10.1016/j.aap.2007.02.012
- [7] Tubić, V., Čelar, N., (2017) Analiza brzina na putnoj i uličnoj mreži u Republici Srbiji, *Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici*, Banja Luka, str.21-30.



# USING ANALYTICAL MODELS TO CALIBRATE A DUAL-ROUNDBOUT INTERSECTION IN MICROSIMULATION

Nikola Mitrovic<sup>1</sup>, Igor Dakic<sup>2</sup>, Aleksandar Stevanovic<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida, USA

<sup>2</sup> Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland

**Abstract:** *The calibration of roundabout microsimulation models is a challenging task that often relies on various field-related data that might not be always available. The calibration process of dual roundabouts might be even more demanding due to their rare presence in the field and literature. This paper proposes a straightforward but novel approach toward the calibration of dual roundabouts. The proposed method heavily relies on suggestions provided in the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) report 572 and easily-available information from the field (such as geometry and volume data). NCHRP is utilized to assess the key calibration parameters and corresponding capacity of a dual-roundabout model. The model validation is based on matching the capacity produced by the simulation model with the estimated capacity as it is proposed in NCHRP report. The numerical results of a single lane dual roundabout case study reveal the close match between capacities obtained from microsimulation tool (VISSIM) and NCHRP report. Moreover, the proposed approach can benefit traffic practitioners and planners dealing with the microsimulation models of roundabouts and limited data sets.*

**Keywords:** *roundabout, roundabout capacity, VISSIM calibration, NCHRP.*

## 1. INTRODUCTION

A widely present tendency of converting traditional intersections into roundabouts is often motivated by an increase in safety, comfort and efficient movements of vehicular traffic. This trend can be expected to continue in the future, especially at those sites that are restricted to motorized road users.

The evaluation of operational performance of traditional and roundabout intersections is required to assess the potential benefits and drawbacks of these two competitive intersection designs. Such an assessment, in order to properly cover aspects of efficiency and safety, often requires an accurately built (micro) simulation model. This common practice relies on the presence of various types of field data that can be used for model calibration and validation purposes. For instance, studies [1] and [2] use extensive data sets collected from the field to perform a comprehensive calibration of the VISSIM models. However, this approach might not be possible for still un-built and rarely present types of roundabouts (e.g., dual roundabout), due to insufficient field information necessary for the calibration tasks.

Moreover, the traditional field-based calibration method might not always be feasible for existing roundabouts that are not properly covered with detectors. In such cases, the literature provides recommendations in the form of the Highway Capacity Manual (HCM) and National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) reports, which can help practitioners to assess the key microsimulation parameters for known/given volumes and roadside information. Some of the NCHRP reports cover the most comprehensive roundabout dataset in the United States, which makes them suitable for calibration of many diverse roundabout types and sites [3]. In addition, HCM and NCHRP reports provide estimates of the roundabout capacities, which is valuable information for validating the microsimulation models [3]. An approach where simulation models are calibrated and validated based on relevant NCHRP and HCM reports can be beneficial when building, calibrating and validating microsimulation roundabouts models. In addition, the existing literature shows a lack of studies which consider calibration and validation of non-traditional types of roundabouts (such as dual roundabouts). This study aims to fill the gaps in the existing body of knowledge by proposing a novel approach for calibrating a microsimulation model in the absence of the field data. In contrast to the traditional techniques [2], [4], which use various types of field data to calibrate a simulation model, this study follows the guidelines provided in the NCHRP report to calibrate the dual roundabout model by considering it as the two nearby traditional roundabouts.

A case study was conducted on a VISSIM microsimulation model of the proposed single-lane dual roundabout with a 30-foot inscribed circle diameter in Palm Beach Gardens, Florida. This roundabout could potentially replace two existing close intersections in the future. The capacity-related results from VISSIM were compared against the recommended outputs of the NCHRP report that was explicitly used to calibrate the model. The calibrated model is further used to evaluate the mobility and safety-related performance of dual-roundabout for existing and projected AM peak volumes.

The rest of this paper is organized as follows. First, a brief overview of the relevant research is presented. Then, the authors explain how the VISSIM model is calibrated using the NCHRP report, and discuss the two most common applications of the calibrated roundabout model. In the subsequent section, the calibration and evaluations results are presented. The final section concludes the research paper and provides relevant ideas for future work.

## 2. LITERATURE REVIEW

There is an extensive literature on calibration of microsimulation models for roundabouts. Most of these studies rely on the VISSIM simulation platform [5] while the rest use other available tools (such as Sidra [6] and cellular automata models [1]). The VISSIM-related studies mostly focus on three key parameters, including: 1) Priority Rules or Conflict Areas that define the operational logic within roundabout and control the critical gap acceptance behavior; 2) Reduced Speed Areas, that provide speed control for circulating and inbound traffic; 3) Wiedeman 74 and Wiedeman 99 car following models that emulate driver and car following behaviors [2], [4].

Studies [2] and [4] present the most comprehensive work regarding the VISSIM model calibration. Wei et al. assessed the impact of various VISSIM parameters on the simulated roundabout capacity [4]. The authors proposed three calibration strategies to match the simulation capacity with HCM 2010. In another study, Li et al. used a large data set to perform a quantitative sensitivity analysis of the key parameters that can facilitate the modeling of roundabouts [2]. The authors deliver valuable calibration guidelines, and infer that the entire roundabout approach can be approximately divided into four speed zones. More importantly, the authors revealed that the use of priority rules often leads to a more consistent gap acceptance behavior than in the case of Conflict Areas (CA). Although the studies [2] and [4] provide valuable guidelines to practitioners, they heavily rely on diverse field datasets that is not always available.

There are only a few studies that explicitly use NCHRP reports in conjunction with the VISSIM microsimulation tool. Valdez et al. investigated control delay and level of service (LOS) for unbalanced approach volumes using a two-lane roundabout from NCHRP Report [7]. Moreover, Cicu et al. tried to find proper parameter estimates including critical gap and speed for a two-lane roundabout [8]. The authors also compared the modeled capacity with the capacity curve recommended by NCHRP Report 572. The results from this study show that simulated capacity closely matches the corresponding estimates of NCHRP report, except in cases when the percentage of circulating traffic is extremely low or extremely high.

The calibrated roundabouts models are frequently utilized to explore the efficiency and safety aspects of different kinds of roundabout models. The efficiency is often studied in terms of vehicular delay and number of stops, while the safety aspect is usually investigated in terms of the number and types of potential conflicts. Most of the safety-related studies rely on the Surrogate Safety Assessment Model (SSAM), which uses the trajectories of vehicles to assess the safety surrogate measures [9], [10]. SSAM is a tool developed by Federal Highway Administration to estimate the number and type of conflict points based on vehicular trajectories [11]. SSAM defines the type of conflicts in one of the following categories: rear-end, crossing, and lane-changing conflicts based on the angle of movement of two conflicting vehicles when they are closest to each other. Finally, SSAM is capable of accurately assessing the surrogate safety measures, such as Time-to-Collision (TTC) [11].

In summary, the estimates of roundabout simulation parameters are often based on considerable field-collected data, while only a few studies marginally incorporated the information from NCHRP. NCHRP provides an easy-to-apply reference guide for determining whether a roundabout can handle current and/or future demand in terms of capacity. Therefore, it would be crucial to explore how such a straightforward approach aligns with the frequently used simulation tool in the contexts of roundabout operations.

## 3. METHODOLOGY

This paper presents a novel but still relatively straightforward approach for calibrating a dual roundabout VISSIM model in cases when only limited data (e.g., traffic counts) are available. The proposed method relies on the recommendations provided by NCHRP reports in two contexts: (1) assessing the model calibration parameters; and (2) obtaining the reference points for model validation. The properly validated model is further used to assess the approach of delay-based Level of Service (LOS) and safety surrogate measures of the proposed intersection design. The LOS and commonly used measures of effectiveness (MOEs) are computed

in a traditional way. The number and type of potential vehicular conflicts are assessed using Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) [11].

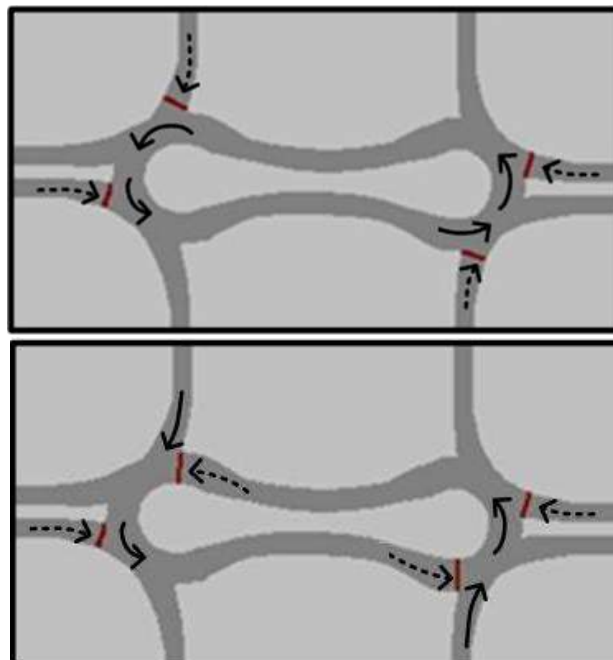
### 3.1. Case Study

The scope of the proposed study encompasses two closely spaced intersections at Central Blvd and University Blvd in Palm Beach gardens (Figure 1). These two unsignalized intersections can potentially be replaced by a single-lane dual roundabout if traffic flow continues to increase. The VISSIM roundabout model is built to assess the performance of mobility- and safety-related operations. The model is fed with the existing (2013) volumes during the AM peak and calibrated according to the recommendations provided in NCHRP report. Once calibrated, the model with the inflated volumes resembling projected traffic conditions (2035) is evaluated for mobility and safety applications. In addition, two operational strategies are investigated for the existing and projected volumes.



**Figure 1.** The geometry (left) and volumes (right) for the existing (top) and proposed (bottom) VISSIM model development

In the first strategy, which is referred to as ‘traditional strategy,’ the right of way is given to the vehicles circling the roundabout (Figure 2 top). In the second strategy, referred here as ‘North-South (N-S)’ operational strategy, the right of way is given to vehicles from Northbound and Southbound approaches (Figure 2 bottom).



**Figure 2.** Evaluated operational strategies. The right way (see solid arrows) is given to the either circulating vehicles (top) or vehicles which are entering the roundabout from either north or south approach (bottom)

### 3.2. Estimation of the VISSIM Parameters

Since there is no explicit guidance for a dual roundabout in the NCHRP report, the study observes the site of interest as the two single, independent traditional roundabouts. Based on the geometry illustrated in Figure 1 (bottom left), the design speeds within the roundabout are determined using the recommendations from NCHRP report [3]:

$$V = 3.4415 \cdot R^{0.3861}, \text{ for } e = +0.02 \quad (1)$$

$$V = 3.4614 \cdot R^{0.3673}, \text{ for } e = -0.02 \quad (2)$$

where  $R$  is a radius (ft) and  $e$  is a superelevation (ft/ft). Eq. 1 is used to compute entry and exit speeds, while circulating speed is determined according to Eq. 2. The speeds defined in Eqs. 1 and 2 are further used to define the desired speed at approaches and within roundabout, respectively. Finally, the critical headway ( $t_c$ ) and follow-up headway ( $t_f$ ) are estimated using the following Eq. 3:

$$t_c = 2.67 + \frac{3.95}{1 + e^{b \cdot (d - d_0)}} \quad (3)$$

$$b = 0.0001 \cdot D + 0.0162 \cdot l_p + 0.0028 \cdot l_{vc} \quad (4)$$

$$d_0 = 45.5 - 497.3 \cdot b \quad (5)$$

$$t_f = 3.218 - 0.0001 \cdot v_c \quad (6)$$

$$temp = -1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8 \cdot x}{c \cdot T}} \quad (7)$$

$$d = \frac{3600}{c} + 900 \cdot T \cdot temp + \min\{x, 1\} \quad (8)$$

where  $d$  is the waiting time and  $D$  is inscribed diameter (m) of the roundabout. Indication variables  $l_{vc}$  and  $l_p$  refer to hourly pedestrian and circulating vehicular volumes, respectively. The variable  $d_0$  is the waiting time at the deflection point of the logistic curve,  $x = \frac{v}{c}$ , where  $v$  is the entry approach volume and  $T$  is the period of analysis (h).

### 3.3. Model validation

The roundabout model is validated through a comparison of modeled and HCM capacity values. HCM methodology for single-lane roundabout estimates the capacity using the formula provided in NCHRP 572 [3]:

$$c = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\left(t_c - \frac{t_f}{2}\right) \cdot \frac{v_c}{3600}} \quad (9)$$

where  $v_c$  is the circulating volume in the roundabout and  $c$  is estimated capacity. The gap times in the simulation model (approximated as the critical headway in Eq. 3) were slightly adjusted to provide a satisfactory matching (within 10%) between the simulated and estimated capacities, which are proposed in the NCHRP report. This fine-tuning process is performed manually by adjusting gap times within priority rule (PR) settings. The Special Evaluation File in VISSIM is used to produce the discharge rates (and equivalent capacities) for all approaches. In order to acquire a discharge rate, mock 'signal heads' are placed at the positions where vehicles need to give the right of way, along with the data collection points (Figure 2). One should note that these 'signal heads' always display green light and had no impact on vehicular operations. Instead, they are only used to assess discharge rates of the relevant traffic flows. This approach is in alignment with the methodology of other studies that also use gap time as the calibration parameter to match the capacity obtained from simulation with the field-observed capacity [12].

### 3.4. Applications of the roundabout model

The roundabout microsimulation models are often used for mobility- and safety-related assessments. In this context, the scope of the study is restricted to the estimation of the key MOEs and the evaluation of the potential conflicts within the proposed, single-lane dual roundabout. Both performance aspects are investigated for the existing (2013) and projected (2035) AM peak volumes and both operational strategies.

#### 3.4.1. Level of Service (LOS) and Measure of Effectiveness (MOE)

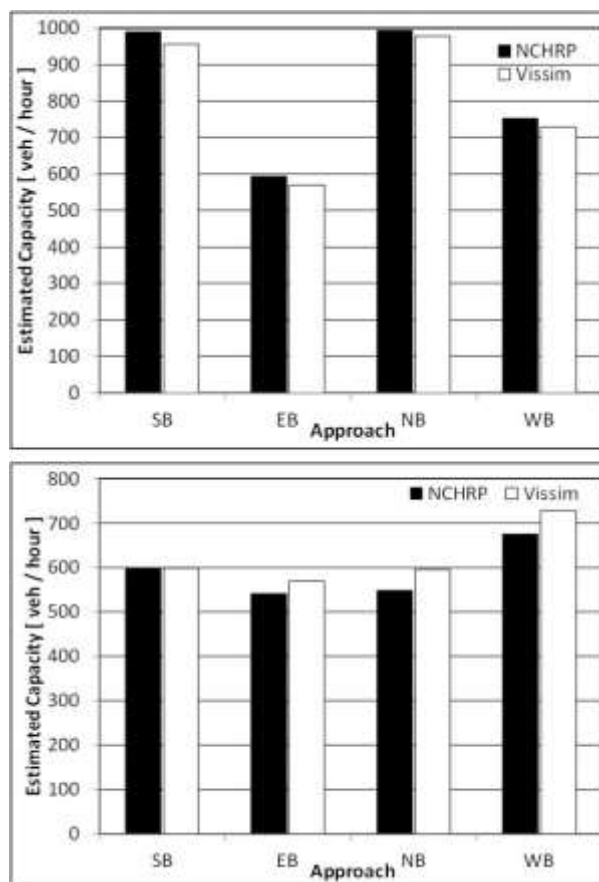
The LOS is computed for each roundabout approach according to HCM recommendations, where the LOS for roundabouts is estimated by using the same methodology is used for stop-controlled intersections. In other words, the LOS of a roundabout approach is determined by comparing computed (or measured) control delay with the proposed LOS thresholds (3). Since VISSIM does not generate the control delay as a direct output, authors used average total delay and average stopped delay to assess LOS. Average stopped delay and average total delay are used as lower and upper bound, respectively, in an estimation of control delay and LOS.

#### 3.4.2. Evaluation of Vehicular Conflicts

As mentioned previously, one of the unique contributions of this research is the safety evaluation analysis of the dual roundabouts in the field-like microsimulation environment. Second-by-second vehicular trajectories of all vehicles are recorded using special evaluation type in VISSIM, and later post-processed in SSAM.

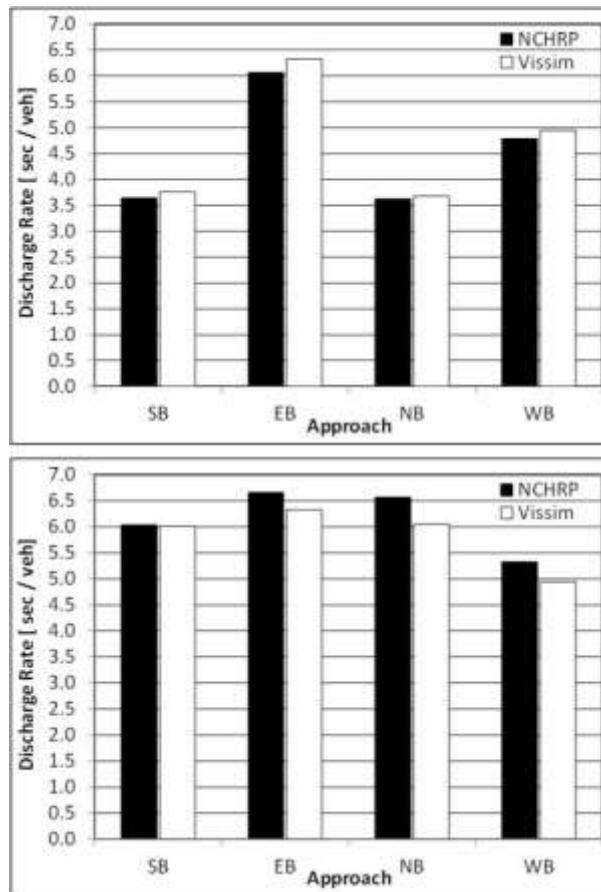
### 3.5. Model Calibration

The input model parameters including desired speed, and critical and follow-up headways are defined using the recommendations given in NCHRP reports. Only the traffic demand is obtained (and further projected), while the other parameters in VISSIM roundabout model are approximated by their numerical default values. The critical headway is slightly tuned to resemble the expected capacity, as determined in NCHRP.



**Figure 3.** Estimated capacity of each roundabout approach according to traditional (top) and North-South operational strategy (bottom)

Figures 3 and 4 show the numerical values of estimated and modeled capacities, and the corresponding discharge rates, respectively, for each approach and operational strategy. The results from Figure 3 indicate close matches (values are within  $\pm 10\%$ ) between estimated and modeled capacities for both operational strategies. Intuitively, the effects of identical performance can be seen through discharge rates, considering that they are inversely proportional to the corresponding capacity (see Figure 4). More importantly, Table 1 shows there is close match between approximated and tuned critical headways. One can infer that NCHRP provides an effective approximation of the critical headway (see Table 1), which can be used as the initial value for model calibration purposes.



**Figure 4.** Estimated discharge rate of each roundabout approach according to traditional (top) and N-S operational strategy (bottom)

**Table 1.** Proposed (NCHRP) and tuned (VISSIM) critical headways (in seconds)

Operational Strategy	Traditional		North-South	
	Analytical (NCHRP)	Simulation (Vissim)	Analytical (NCHRP)	Simulation (Vissim)
Southbound	5.08	5.00	5.21	5.40
Eastbound	5.28	5.40	5.28	5.00
Northbound	5.09	5.00	5.22	5.10
Westbound	5.26	5.40	5.26	5.00

#### 4. RESULTS

Ten VISSIM simulation runs were executed with random seeds for both traditional and N-S operational strategies using existing (2013) and projected (2035) AM peak volumes. Each simulation lasted for 75 minutes, or 1 hour of evaluation time and 15 minutes to warm-up.



#### 4.1. Level of Service

The properly calibrated VISSIM model is used to assess the performance of two operational strategies considered in the study. Table 2 shows the average stopped and total delay during AM periods for the existing and projected traffic. The stopped delay is explicitly recorded by VISSIM. On the other hand, the total delay is defined as the time difference between experienced and minimum (ideal) travel time through the intersection. Ideal travel time is calculated as a sum of link-wise travel times of these segments that lie along the considered route. Link-wise travel time is assessed using the (fixed) length of the particular link and corresponding desired speed (e.g., speed limit).

**Table 2.** *Estimated average stopped delay (top) and total delay (bottom), both in seconds of the existing (2013) and projected (2035) traffic*

MOE	Average Stopped Delay			
Demand	Current		Future	
Operational Strategy	Trad.	N-S	Trad.	N-S
Southbound	0.42	0.00	1.52	*
Eastbound	13.52	13.92	33.95	*
Northbound	0.32	0.00	0.90	*
Westbound	4.36	2.99	12.72	*
MOE	Total Delay			
Demand	Current		Future	
Operational Strategy	Trad.	N-S	Trad.	N-S
Southbound	1.53	0.00	6.25	*
Eastbound	17.89	18.38	41.79	*
Northbound	0.42	0.00	1.02	*
Westbound	8.01	6.11	20.08	*

From Table 2, it can be observed that certain approaches show very poor performance. LOSs with asterisks denote cases when VISSIM was not capable of producing the output performance due to very high demand (such as the 2035 scenarios) and simulated priority strategy (N-S operational strategy). In that case, a gridlock situation was created which did not allow VISSIM to accurately estimate delays. Table 3 shows the corresponding LOS for each evaluated scenario, which is derived from computed approach delays. To summarize, the results show that both operational strategies would work with equal efficiency in current traffic conditions. However, once the traffic demand reaches 2035 levels, only the traditional strategy, which gives priority to the vehicles within roundabout, can produce an efficiently sustainable solution.

**Table 3.** *Estimated Level of Service (LOS) for the existing (2013) and projected (2035) traffic conditions*

Demand	Current		Future	
Operational Strategy	Trad.	N-S	Trad.	N-S
Southbound	A	A	A	F*
Eastbound	C (B)	C (B)	E (D)	F*
Northbound	A	A	A	F*
Westbound	A	A	C (B)	F*

#### 4.2. Vehicular Conflicts

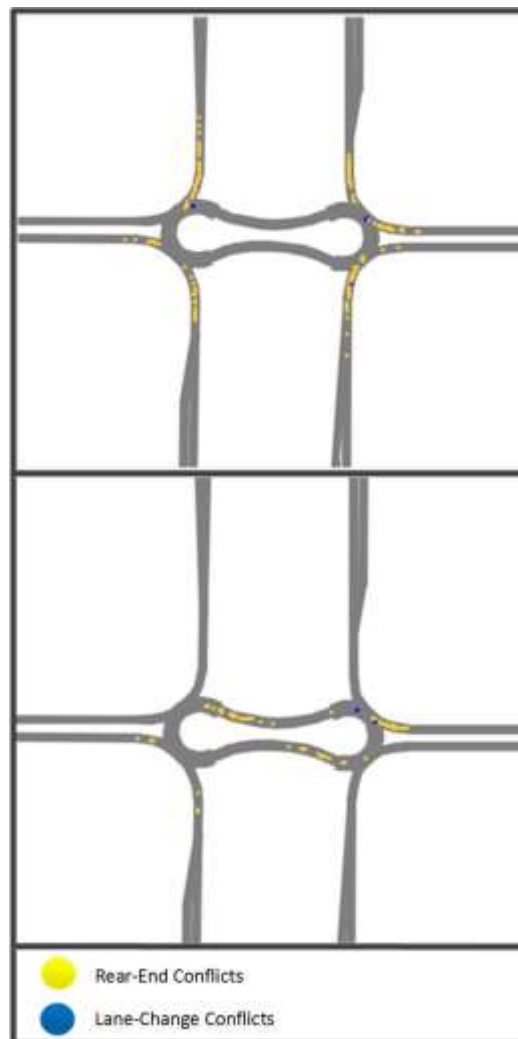
The safety evaluation analysis of two proposed operational strategies is performed for existing and projected demand during the AM peak period. The SSAM tool uses second-by-second vehicular trajectories collected by VISSIM to assess the number and types of potential conflict points. Table 4 summarizes the number of conflicts occurring on the case-study network. Two conflict types are detected: rear-end and lane-change conflicts. Please note that lane changing conflicts in the context of single-lane dual roundabout might only

appear at entering and exiting points of the roundabout. In addition, the results of SSAM analysis show that the SSAM does not recognize any crossing conflicts, which is a logical outcome given that the roundabouts eliminate crossing conflicts.

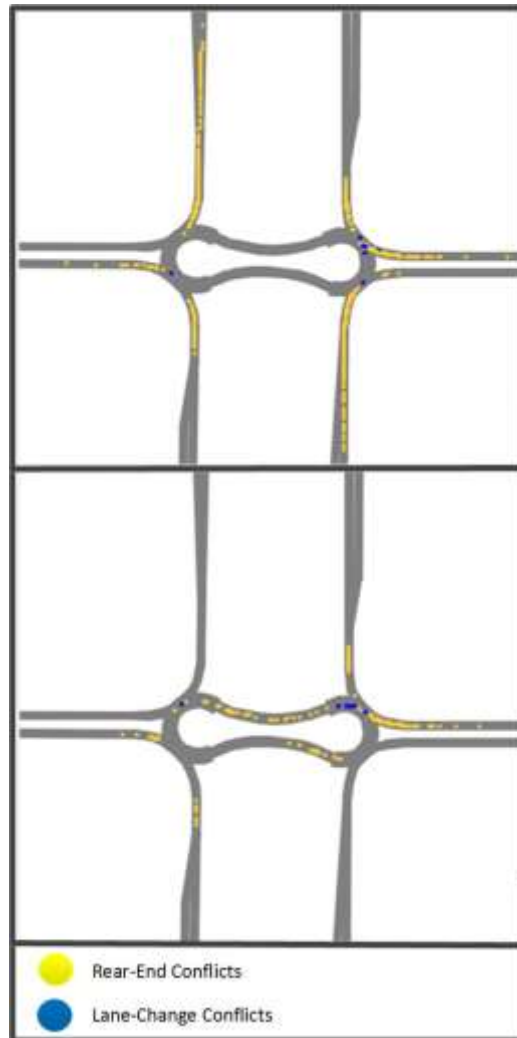
Table 4 shows that the N-S operational strategy generates significantly lowers the number of conflicts than the traditional strategy. Moreover, only a minimal number of lane-change conflicts was detected. As it can be observed from Table 4, the most numerous conflicts are rear-end at more than 95% of all estimated conflicts points. One should also note that the total number of conflicts does not necessarily transfer into an equivalent number of potential crashes, as some researchers question the usefulness of conflict analysis in estimating the impact of various operational scenarios on the safety of certain intersection designs. Finally, Table 4 clearly shows that the total number of conflicts increases with an increase in traffic demand, while Figures 5 and 6 illustrates the specific spatial distribution of different conflict types for the different traffic demand and operational strategies.

**Table 4.** *Estimated number and type of conflicts for the existing (2013) and projected (2035) traffic*

Demand		Current		Future	
Operational Strategy		Trad.	N-S	Trad.	N-S
Conflict Type	Rear-End	73.0	25.1	310.8	*
	Lane-Change	1.0	0.4	1.7	*
	Total	74.0	25.5	312.5	*



**Figure 5.** *Spatial location of the possible vehicular conflict for the existing traffic in the case of traditional (top) and North-South (bottom) operational strategies*



**Figure 6.** Spatial location of the possible vehicular conflict for the projected traffic in the case of traditional (top) and North-South (bottom) operational strategies

Interestingly, under the current traffic demand, the N-S operational strategy generates much fewer conflicts than the traditional strategy. However, in 2035 traffic it is estimated that the N-S strategy would create a gridlock which makes the estimation of traffic conflicts irrelevant, as non-moving vehicles may not create conflicts, but the trips are not being executed.

## 5. CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS

This study investigated a possibility to calibrate and validate the VISSIM model of dual roundabout concept by following the procedure given in NCHRP Report 572. In contrast to the traditional approach that uses various field-related data, the proposed method only relies on easily available geometric and volume information. The results reveal that NCHRP Report 572 and VISSIM produced similar output results (within 10%) for the identical input parameters. The calibrated VISSIM model is further used to assess efficiency and safety of the dual roundabout intersection. Two different strategies are evaluated and compared for both the existing and projected traffic. The traditional strategy has been proven to be better in terms of the efficiency than the N-S operational strategy. In terms of the estimated conflicts it seems that N-S strategy generates fewer conflicts in current situation but it causes a severe gridlock for future traffic demand and therefore it deems inappropriate for the given location.

In general, it can be concluded that the NCHRP Report 572 is a useful source for development of planning-related and other models when only a limited field data are available. Recommendations provided in this report allow researchers to perform mobility- and safety-related applications, even in the case of insufficient traffic information. Finally, future research should investigate similar procedures and apply them to other types of

roundabouts. In addition, it still remains uninvestigated whether similar results can be obtained for different combination of entering and circulating traffic in the context of dual roundabouts.

## References

- [1] Belz, N. P., Hall L. A., Montague J. (2016). Influence of priority taking and abstaining at single-lane roundabouts using cellular automata. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol 69, pp. 134-149.
- [2] Li, Z., DeAmico M., Chitturi M. V., Bill A. R., Noyce D. A. (2013). Calibration of VISSIM Roundabout Model: A Critical Gap and Follow-up Headway. *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*.
- [3] Rodegerdts, L.(2007). Roundabouts in the United States. Vol. 572. *Transportation Research Board*.
- [4] Wei, T., Shah H. R., Ambadipudi R.(2012). VISSIM Calibration for Modeling Single-Lane Roundabouts: Capacity-Based Strategies. *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*.
- [5] Arroju, R., Gaddam H. K., Vanumu L. D., Rao K. R. (2015). Comparative evaluation of roundabout capacities under heterogeneous traffic conditions. *Journal of Modern Transportation*, pp. 310-324.
- [6] Muley, D., Al-Mandhar H. S. (2014). Performance Evaluation of Al Jame'Roundabout Using SIDRA. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, pp. 1291-1296.
- [7] Valdez, M., Cheu R. L., Duran, A. C. (2011). Operations of modern roundabout with unbalanced approach volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2265, pp. 234-243.
- [8] Cicu, F., Illotta P. F., Bared J., Isebrands H.(2011) VISSIM Calibration of Roundabout Traffic Performance. *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*.
- [9] Al-Ghandour, M. N., Schroeder B. J., Williams B. M., Rasdorf W. J. (2011). Conflict models for single-lane roundabout slip lanes from microsimulation: Development and validation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2236, pp. 92-101.
- [10] Vasconcelos, L., Neto L., Seco Á. M., Silva A. B. (2014) Validation of the Surrogate Safety Assessment Model for Assessment of Intersection Safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2432, pp. 1-9.
- [11] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. G. (2008). Surrogate safety assessment model and validation: Final report (No. FHWA-HRT-08-051).
- [12] Zheng, D., Chittur M. V., Bill A. R., Noyce D. A (2012). Critical Gaps and Follow-up Headways at Congested Roundabouts. *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*.

# UTICAJ KLIMATSKIH ELEMENATA NA BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA NA PRIMERU AUTOPUTA BEOGRAD-NOVI SAD

Ivana Sentić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Departman za voćarstvo, vinogradarstvo, hortikulturu i pejzažnu arhitekturu, email: ivanab@polj.uns.ac.rs

Jasmina Đorđević

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, email: jasminadjordjevic@live.com

Tijana Đorđević

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, email: dordevictijana@gmail.com

**Rezime:** Predmet istraživanja je deonica autoputa I reda u Srbiji - Beograd-Novi Sad. Deo je evropske mreže puteva A klase, rute E75, a kako tangira i rutu E70 predstavlja važnu vezu puteva u Evropi. Rad ima za cilj da ukaže na ugrožavanje bezbednosti odvijanja saobraćaja na pomenutoj deonici puta, usled različitih uticaja klimatskih elemenata tokom godine. Takođe, rad pokazuje da adekvatno uređenje predela autoputa može da kontroliše klimatske uticaje (posebno vetar). CARPATCLIM baza podataka je korišćena kao osnova metodološkog procesa, a podaci su dalje obrađivani manualno u Excel-u. Za analizu veze predela i autoputa u različitim vremenskim prilikama rađene su ček liste. Rezultati su pokazali da je sa gradnjom autoputa, izostalo njegovo pejzažno uređenje, a čijim planiranjem bi se povećala bezbednost odvijanja saobraćaja; ujedno, smanjili i troškovi održavanja prohodnosti puta (usled snega, jakih vetrova). Prema Strategiji bezbednosti na putevima, Srbija spada u evropske zemlje koje prihvataju ideju o mogućnostima smanjivanja saobraćajnih nesreća, ali nisu izgradile snažan zaštitni sistem. Istraživanje ovog rada može da bude korak ka ostvarivanju istog.

**Ključne reči:** autoput, bezbednost, uređenje predela autoputa, klimatski elementi

## THE IMPACT OF CLIMATE ELEMENTS ON THE ROAD SAFETY: EXAMPLE OF THE HIGHWAY ROUTE BELGRADE-NOVI SAD

**Summary:** The subject of this research is the section of highway route of the first categorie in Serbia - Belgrade-Novi Sad. It is part of the European network of A-class roads - E75 routes, and as it tangles the route E70 it is an important link of roads in Europe. The aim of this paper is to point out the endangerment of traffic safety in the mentioned section of the road, due to the different influences of climate elements during the year. Also, the paper shows that adequate landscape arrangement of the highway section can control climatic influences (especially the wind). The CARPATCLIM database was used as the basis of the methodological process, and the data was further processed manually in Excel. For the purposes of analyzing the connection between landscape and the highway in a different weather conditions, the check lists were used. The results showed that with the construction of the highway, landscaping of the surround area was lacking, but whit its planning the safety of the traffic flow would be in increasing. At the same time, the cost of the highway maintaining will be reduced (especially due to snow and strong winds). According to the Road Safety Strategy, Serbia belongs to European countries that accept the idea of reducing road accidents, but have not built a strong protection system. Results of this work can be a step towards achieving it.

**Keywords:** highway, safety, arrangement of the highway section, climatic elements

### 1. UVOD

Putevi su oduvek bili okosnica tj. osovina razvoja nekog prostora. S razvojem i unapređenjem izgradnje saobraćajnica, povećava se brzina i intenzitet kretanja automobila, kao i drugih motornih vozila na putevima. Shodno tome, dolazi do sve većeg značaja i sama bezbednost odvijanja saobraćaja na putevima, a posebno na putevima I reda u državi, odnosno na autoputevima. U ovom radu prvenstveno smo želeli da ukažemo na uticaj fizičko - geografskih faktora, posebno klimatskih elemenata, na sigurnost odvijanja saobraćaja i

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: ivanab@polj.uns.ac.rs

mogućnosti ublažavanja istih sa aspekta pejzažnog uređenja leve i desne strane kolovoza autoputa I reda u Srbiji (deonica Beograd-Novu Sad), radi podizanja bezbednosti odvijanja saobraćaja na veći nivo.

Fizička geografija proučava prostorne faktore i daje analizu međusobnih odnosa prostornih fenomena na ljudske aktivnosti. Obim fizičke geografije, mnogo je širi od jednostavnog prostornog proučavanja prirode. To uključuje analizu i sinteznu ocenu o tome kako i ljudi utiču na prirodu (Gabler, 2015). Fizičko - geografski faktori značajno utiču na prostorni izgled nekog područja. Njihov uticaj se prostornim planiranjem može u određenoj meri izmeniti i prilagoditi potrebama čoveka, ali se nikada ne može u potpunosti otkloniti. Zbog toga je neophodno u planovima planiranja saobraćajnica na određenom području, analizirati i proučiti najvažnije fizičko - geografske faktore, kao što su: geologija, reljef, klima, hidrologija, zemljište, biljni i životinjski svet. Delovanje navedenih prirodnih faktora gotovo uvek je međusobno povezano i uslovljeno (Кицошев, 2007).

Iako je saobraćajno planiranje pretežno inženjerska disciplina, fizičko-geografske studije, radi validnosti projekta moraju biti urađene, a treba da sadrže sledeće (Doornkamp 1985):

1. Preliminarnu fazu - izbor putnog koridora
  - geomorfološke analize terena, radi preliminarnog utvrđivanja trase s obzirom na izražene prirodne prepreke,
  - provera izabranog koridora u saradnji sa inženjerskim geologom i saobraćajnim inženjerom,
  - preliminarni troškovi terenskih istraživanja, projektovanja i izgradnje.
  -
2. Terenska istraživanja
  - geotehnička i geomorfološka istraživanja zemljišta, stena i nagiba terena,
  - hidrološka istraživanja,
  - klimatološka istraživanja,
  - topografska kontrola centralne osovine saobraćajnice.

Prema Đorđeviću (Ђорђевић, 2004), saobraćajno planiranje se najčešće pogrešno shvata kao grubo determinisanje i izgradnja, putnog ili železničkog koridora, između mesta A i mesta B. Međutim, izgradnja puteva traži pravovremena i relevantna fizičko - geografska istraživanja, koja se moraju obaviti na terenima, kako put ne bi bio izložen klizištu, bio plavljen i slično. Sa druge strane, promena klimatskih prilika u nekom mestu može imati veliki uticaj na saobraćajno planiranje. Naime, ako je zbog tmurnog vremena - magle, vejavice ili jakog pljuska, vidljivost veoma ograničena, vozaču bi dobro došlo sve što doprinosi jasnijem sagledavanju pružanja kolovoza na najbližem odseku. U oblastima u kojima se međusobno smenjuju zimi mraz i jugovina, pri čemu pada čas sneg, a čas kiša, na kolovozu se stvara poledica ili snežna klizavica. To je opasno za saobraćaj. Prisojne (sunčane) padine su povoljnije od senovitih ili osojnih. Sneg se na njima brže topi, a kolovoz brže zagreva (Lorenc, 1980). Saznanje o svemu ovome može uštedeti dosta vremena i novca u saobraćajnom planiranju. Kada su fizičko - geografska istraživanja nedovoljna, štete mogu biti velike, čak i uz gubitak ljudskih života.

Veći broj razvijenih zemalja zapadne Evrope, SAD i Kanada su još pre dvadeset godina uložili velika sredstva u istraživanja nove nauke - putne meteorologije. Ova nauka imala je za cilj formiranje informacionog sistema o vremenskim uslovima na značajnijim putnim pravcima (Road Weather Information System), posebno u onim oblastima gde klimatološke i vremenske prilike često ugrožavaju ili prekidaju normalno odvijanje saobraćaja. Od posebnog značaja je pri tome pokušaj da se predvidi mogućnost pojave leda na putevima, pomoću izrade lokalnih klimatoloških modela koji na osnovu kretanja temperatura vazduha i kolovoza, u odnosu na druge relevantne parametre, mogu pomoći tehničkoj i drugoj prevenciji hazarda. Instaliranje ovog sistema započeto je u skandinavskim zemljama, ali je razvoj nastavljen i drugde, posebno u Velikoj Britaniji (Thornes 1989).

Da bi sistem funkcionisao, potrebna je relativno skupa oprema, koja uključuje različite vrste senzora montiranih na vozila ili onih stacionarnog tipa, na posebno odabranim kontrolnim punktovima. U nastojanju da se konstituiše sistem upozoravanja i obaveštavanja, u metodskom smislu bilo je potrebno predvideti varijacije temperature duž puteva. Na osnovu različitih studija ustanovljeno je da su za problem varijacije temperature posebno važni analiza i međusobni odnosi sledećih lokalnih faktora (Bogren, Gustavsson 1989):

- doline
- objekti koji stvaraju senku
- varijacije u nadmorskoj visini

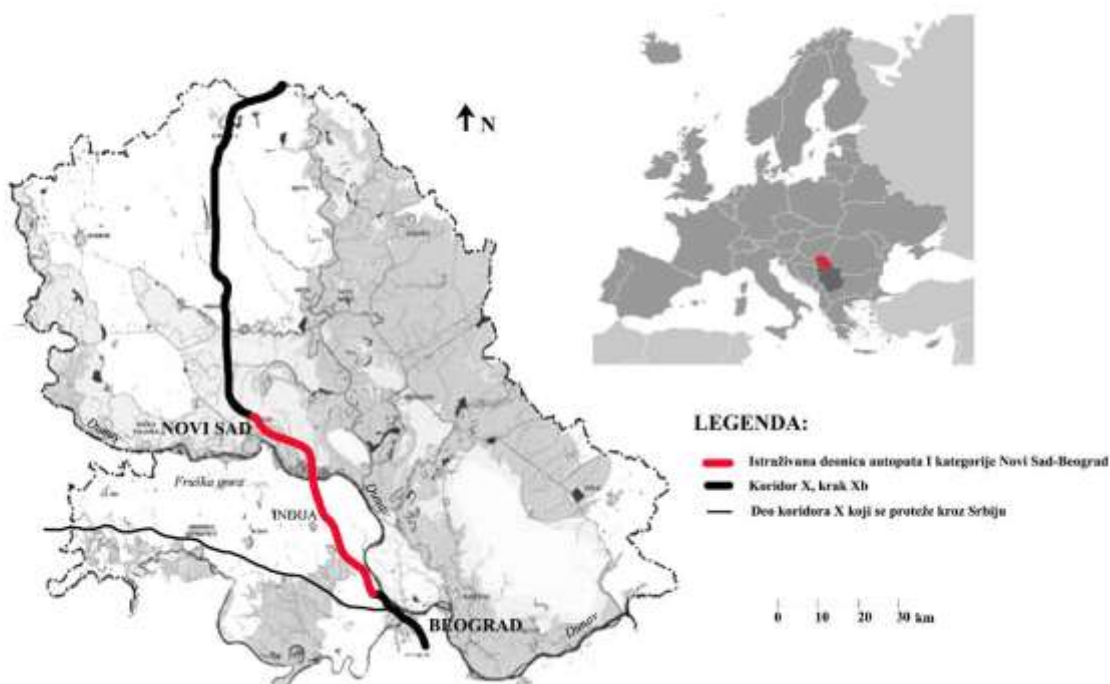


- mostovi
- konstrukcija puta
- gustina saobraćaja
- regionalni klimat.

Bezbednost je glavna briga na autoputu. Prirodne pojave se ne mogu zaustaviti ni sprečiti, ali se svakako njihovo dejstvo može ublažiti i na taj način smanjiti pojave hazardnih situacija na kolovozu puta. Ukoliko je na adekvatan način odabrana i lokacijski dobro posađena u predelu, vegetacija može da igra veliku ulogu u kontroli bezbednosti saobraćaja. Pravilan odabir biljaka je jako važan, pogotovu kada se radi o njihovoj specifičnoj ulozi u predelu (erozija, vetar, snežni nanosi i slično). Međutim, jako je važno na koji način, na kojoj razdaljini i u kakvoj grupaciji će se saditi takve biljke, kako se ne bi urušila bezbednost vozača na putu, a fizičko - geografski faktori ispoštovali (Crowe, 1960; Bruneau et al., 1998). Bezbednost na autoputu se ne može uvek rešiti pomoću prirodnih elemenata, odnosno putem vegetacije. Potrebno je osvrnuti se i na tehničke konstruktivne mogućnosti, poput veštački podignutih vetrozaštitnih zidova, snegobrana, ivičnih ograda, erozionih zidova i slično.

Da pejzažnom uređenju predela, kroz koji put prolazi, treba posvetiti naročitu pažnju, mišljenja su mnogi autori, koji su se bavili ovom tematikom i na području nekadašnje Jugoslavije (Antić i sar., 1969; Marković, 1977; Marušić, 1977; Mijušković, 1977; Šurbanović, 1977), u vreme postojanja autoputa „Bratstvo - jedinstvo”. Dok u drugim razvijenim evropskim zemljama, ali i šire, borba za životnu sredinu predstavlja pitanje opstanka, u Srbiji se na to još uvek gleda kao na neki pomodni hir ili se smatra da ta pitanja treba da rešava neko treći, bar kada su u pitanju saobraćajni koridori. Ukoliko se takve akcije prepuste stihiji, rezultat je svakako uništena okolina u kojoj će buka, zagađenje vazduha, vode, zemljišta, prevelika osunčanost, vetrovitost ili izražena magla, pogoršati uslove korišćenja prostora, odnosno saobraćajnog infrastrukturnog koridora.

Predeo AP Vojvodine po pitanju vegetacije se poprilično promenio od sredine 20.veka do danas. Pa tako, od nekadašnjih vegetacijskih koridora i masiva duž meliorativnih kanala i saobraćajnica, nije danas mnogo toga ostalo. Naime, nekada su u Vojvodini svi putevi zbog konfiguracije terena bili izdignuti i njih su pratili drvoredi. Razlog nije bio pravljenje senke vozilima koja su se kretala putem, već zaštita od vetra i snega. U vremenu kada je radio svoju doktorsku disertaciju, autor Vlatković (1981) navodi da je u AP Vojvodini zelenilo uz saobraćajnice zauzimalo površinu od 1 421 ha, što je činilo 15,5% tadašnje ukupne površine pod vanšumskim zelenilom. Najintenzivnije podizanje zaštitnih pojaseva duž saobraćajnica ostvareno je 60-tih godina prošlog veka. Ta slika linijskih koridora uz puteve je danas gotovo u potpunosti izgubljena.



**Slika 1.** Prikaz istraživane deonice autoputa I kategorije u Srbiji  
Source: (Izvor, [28], dopunila Ivana Sentić)

Za potrebe ovog istraživanja akcenat je stavljen na deonicu autoputa I kategorije - Beograd - Novi Sad (Slika 1). Deonica Beograd - Inđija je u plitkom nasipu na ravničarskom terenu, tako da oblikovanost trase omogućava ostvarenje velikih brzina uz zadovoljavajući nivo saobraćajnih usluga i nivoa bezbednosti saobraćaja. Nadalje do prelaska Dunava (most kod Beške) zastupljen je brežuljkasti teren podložan kliženju i posle reke Dunav deonica ima karakteristike ravničarske trase sve do isključenja za Novi Sad. („Службени гласник РС” бр. 69/03, 36/10, „Сл. гласник РС” бр. 102/10, „Сл. гласник РС” бр. 143/14). Istraživana saobraćajna ruta poklapa se i sa evropskim putem E-75, a na deonici kroz Vojvodinu predstavlja i deo sistema Panevropskog saobraćajnog Koridora X, odnosno kraka Xb (MULTILATERAL, 1983; „Службени гласник РС”, бр. 55/05, 71/05-исправка и 101/07).

Istraživano područje se odlikuje jednim veoma monotonim pejzažem, uz dosta izazova u njegovom prostornom uređenju. Ne postoje planovi predeonog uređenja, niti su postojali prilikom njegove izgradnje. Stoga je i ovaj rad jedan veliki izazov da se predeo prilagodi saobraćajnici, ali pre svega da se bezbednost puta podigne na veći nivo, poštujući fizičko - geografske faktore.

## 2. MATERIJAL I METODOLOGIJA

U ovom istraživanju primenjeno je nekoliko metodologija. Podaci o klimatskim parametrima (vetar, padavine, sneg, magla, temperatura) na ispitivanoj deonici autoputa preuzeti su iz "CARPATCLIM: Climate of Carpathian region" baze. Baza predstavlja klimatske podatke karpatskog regiona. Pokriva klimatološku mrežu između geografskih širina 44°N i 50°N i geografskih dužina 17°E i 27°E. Prostorna dimenzija jednog polja je 0.1° x 0.1° (10kmx10km). Podaci su dati na dnevnom nivou, a za potrebe ovog istraživanja uzet je u razmatranje vremenski period od 1990-2010. godine. Na taj način omogućeni su klimatski podaci za bilo koju lokaciju u okviru geografskih širina i dužina istraživanog područja. Podaci su dalje obrađivani manuelno kroz Excel program kako bi se dobile srednje vrednosti i kreirala celokupna klimatološka slika područja u rasponu od 20 godina. Na taj način izdvojile su se problematične deonice autoputa (gde je bezbednost ugrožena klimatskim elementima), te i za njih dalje formiran model unapređenja.

Dobijeni rezultati prethodnog koraka upoređivani su sa aktuelnim stanjem na terenu, kroz sprovođenje ček-listi, koje su rađene u različitim vremenskim prilikama (vedro, kišovito, vetrovito i snežno vreme). Sprovedena su dva tipa ček-listi za oba smera istraživanog putnog pravca (Beograd-Novi Sad i Novi Sad-Beograd). Cilj je bio da se ispituju parametri koji bi uticali da povećanje odnosno smanjivanje bezbednosti odvijanja saobraćaja. U prvom tipu ček listi istraživani je uticaj klimatskih elemenata na kolovoz puta i prisustvo tehničkih elemenata koji bi mogli da kontrolišu uticaj ekstrema. U okviru druge ček liste istraživano je prisustvo vegetacije koja bi mogla da kontroliše hazardno dejstvo klimatskih elemenata na kolovozu autoputa. Obe ček liste ocenjuvane su kvalitativno na osnovu izdvojenih parametara: intenzivno, umereno, blago i negativno (za prvu ček listu); i prisutno/nije prisutno u estetskom, ekološkom i tehničkom pogledu (za drugu ček listu). Ovim parametrima valorizovano je stanje na zaustavnim lokacijama na autoputu na skoro svaka 2-5km.

Rezultati istraživanja izdvojili su najkritičnije tačke, odnosno najnebezbednije deonice autoputa istraživane deonice, koje su odabrane kao model uređivanja predela autoputa.

## 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

S obzirom da je u istraživanju primenjeno nekoliko metodologija, preglednosti radi, dobijeni rezultati grupisani su u okviru podpoglavlja po odabranim metodologijama.

### 3.1. CARPATCLIM baza

Na osnovu svih analiziranih klimatskih parametara ustanovljeno je da je vetar najdominantniji i najopasniji kada se ukršta sa nekim od ostalih spomenutih klimatskih elemenata. Dominantnost vetra se oseća u periodu od oktobra do marta (košava i severac). Najjači udari vetra i najveći broj dana sa intenzivnim vetrovima zabeležen je u severnom delu istraživane deonice autoputa oko Novog Sada. Kod Kovilja je nešto mirnija deonica autoputa, što je i razumljivo, jer je u zavetrini obronaka Fruške gore. Na mostu kod Beške usled otvorenog prostora veoma su izraženi jaki udari vetra. Potom od Beške, pa sve do Stare Pazove, kako je predeo otvoren, bez zaštitne vegetacije, dominantnost vetra je vrlo izražena. Na kraju, izdvaja se kritična tačka po pitanju udara vetra kod Batajnice.

Najveća količina padavina beleži se u periodu od februara do juna meseca, kada su vetrovi pretežno mirniji, te se tada i ne očekuje neko veće nanošenje padavina na kolovoz puta. Međutim, rezultati beleže i nešto jače padavine u periodu od oktobra do decembra kada se usled dominacije košave ističu sledeće tačke ukrštanja vetra i padavina: kod Novog Sada, most kod Beške, deonica od Indije do Stare Pazove i Batajnica.

Prema analiziranim klimatskim parametrima za odabranu deonicu autoputa, pojava snega je najdominantnija u periodu decembra i januara meseca. Najveće zadržavanje snega, uslovljeno još i dejstvom vetra je na sledećim deonicama autoputa: kod Novog Sada, most kod Beške i Beška, deonica autoputa od Stare Pazove do Batajnice. Kako su u ovom periodu i vetrovi jačih intenziteta, postoji mogućnost i većeg navejavanja snega na kolovoz autoputa, jer zaštitne vegetacije, niti bilo kojih drugih zaštitnih, tehničkih elemenata nema.





Po pitanju izučavanja temperatura, postoji dominantan optimalni režim temperatura, te se može planirati uzgoj i rast širokog dijapazona biljaka. U zimskim mesecima (ističe se decembar mesec), kada su pojave jačih vetrova uočljivije, ali i pojave niskih padavina, može doći do stvaranja leda na kolovozu i samim tim ugrožavanja bezbednosti saobraćaja. Najveća količina povećane vlažnosti vazduha javlja se u decembru mesecu, čime se stvaraju uslovi za pojavu magle, a deonice autoputa koje se ističu su: segment kod Novog Sada, deonica od Beške do Nove Pazove i deonica kod Dobanovačke petlje.

Još treba naglasiti da vetar u određenim periodima godine, ukoliko se dogodi da se jave vetrovi intenzivnijih jačina (>9m/s), može na kolovoz autoputa da nanese zemlju sa okolnih oranica. Naime, ova deonica autoputa prolazi ravničarskim oraničnim predelom, te u cilju kvalitetnije obrade zemljišta, prisutni su plodoredi tokom godine. Stoga se u pojedinim deonicama autoputa, dobrim procentom, mogu naći parcele koje nisu pokrivene vegetacijom (usled odmaranja zemljišta). Kako nema zaštitne vegetacije, otvara se mogućnost nanošenja zemlje na kolovoz i smanjivanja bezbednosti tokom vožnje.

### **3.2. Ček liste**

Ček liste (Tabela 1, Tabela 2) su pokazale da i pri nešto izmenjenim klimatskim parametrima od uobičajenih vrednosti, odnosno pri nešto intenzivnijim vrednostima (vetra, padavina, snega itd.), uočavaju se ometanja u saobraćaju (navejavanja čestica prašine, šljunka, biljnih otpadaka, snega, vode i slično), koja mogu da ugroze bezbednost vozača. Ček liste su potvrdile kritične deonice autoputa, izdvojene na osnovu obrade podataka CARPATCLIM baze, te se jaki vetrovi i navejavanja osećaju kod Batajnice, na deonici između Beške i Stare Pazove, kao i kod Novog Sada. Na osnovu uvida u postojeće stanje zabeležena je vrlo oskudna vegetacija koja ne može imati nikakav tehnički uticaj na ubalažavanje hazardnih pojava klimatskih elemenata. Od vegetacije najčešće se mogu primetiti oranice, žbunaste vrste i invazivne drvenaste vrste.

**Tabela 1. Ispitivanje stanja na izdvojenim lokacijama po pitanju bezbednosti**

Datum: 26.11.2017.								
PRAVAC: BG-NS (početna tačka Dobanovačka petlja, završna tačka Kačka petlja na ulazu u Novi Sad)								
Osvrt na meteorološke parametre na dan izlaska na teren: (KIŠOVITO VREME SA UMERENIM DO JAKIM UDARIMA VETRA) Oblačno, pre podne u severnim, zapadnim i centralnim, posle podne i u ostalim krajevima mestimično sa kišom uz pad temperature. Vetar slab i umeren, u košavskom području povremeno i jak, južni i jugoistočni, tokom dana u skretanju na severozapadni i u pojačanju. Najviša dnevna temperatura 6 °C, na severozapadu, do 14 °C na jugoistoku zemlje (prema Hidrometeorološkom zavodu Srbije na dan odlaska na teren).								
N°	Udaljenost od polazne tačke	Lokacija	Jačina vetra	Da li postoji neki vid navejavanja na kolovoz?	Prisutnost tehničkih elemenata po pitanju bezbednosti	Vegetacija u svrhu bezbednosti	Bankina	Generalna napomena za ispitivanje bezbednosti
1.	10,7km	Batajnica!	● ●	●	○	○!	○	Vrlo opasna tačka. Oštećen kolovoz. Intenzivno navejavanje u vidu šljunka i smeća od deponije. Nema ivične ograde, nedefinisana bankina.
								
2.	12,9km	Novi Banovci	●	●	○	○!	○	Navejavanje u vidu šljunka intenzivno. Delimično postojanje ivične ograde. Bankina nije definisana. Kanal u blažem useku. Kolovoz ispucao. U razdelnoj traci visoko žbunje.
								
3.	40km	Beška	● ●	○	○	○!	○	Navejavanje u vidu šljunka i otpadaka. Čitava deonica u useku, koji je vegetacijski nezaštićen. U intervalima prisutna ivična ograda i signalizacioni stubići. U razdelnoj traci niske žbunaste vrste. Trava dobro održavana u nastavku oranice.
								
4.	52,8km	Kovilj	●	○!	○ ○	○!	○!	Navejavanja skoro i da nema. U intervalu se smenjuju ivična ograda i signalizacioni stubići. Kanal u useku, jedna strana kanala je u primetnom spiranju i njenu ivicu prati zemljani bedem. Smeće u kanalu. Nema bankine.
								
Legenda: ● - intenzivno    ○ - umereno    ○ - blago    ○! - negativno    ! vrlo opasna tačka								

Izvor: Ivana Sentić

**Tabela 2.** Ček-lista br.2 – Ispitivanje postojeće vegetacije na izdvojenim lokacijama

N°	Lokacija	oranice	žbunaste vrste	odrasle drvenaste individue	šume	prisustvo korova	kanal uz autoput	vegetacija na tačkama uključivanja na autoput	nadvožnjak
1.	Batajnica !		○	○	○	○	Niska trava i korov	-	u deponiji
2.	Novi Banovci	○	○ ● ○ ○	○ ○	○	○	Osrednje visine trava i pojačan korov	-	-
3.	Beška	○ ○	○	○	○	○ ○	-	-	-
4.	Kovilj	○	○ ○ ●	○	○	○	Niska trava, korov	-	-

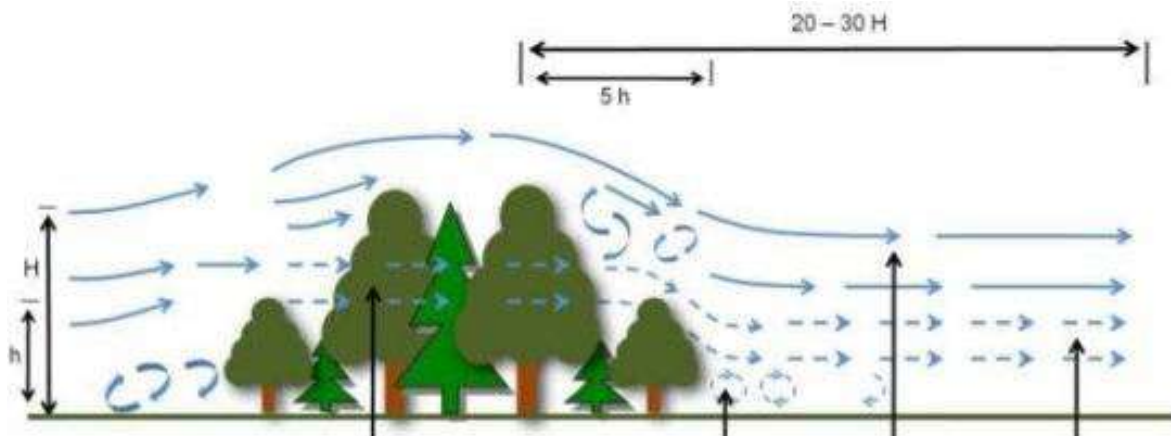
Legenda:

- - postoji potencijal za isticanje u estetskom pogledu
- (s plavom tačkom) - prisutno, može da pokaže dobre rezultate u tehničkom pogledu
- (s zelenom tačkom) - prisutno, može da pokaže dobre rezultate u ekološkom pogledu
- - prisutno
- - nije prisutno
- ! - opasnost, izuzetno neophodno unapređenje vegetacije

Izvor: Ivana Sentić

### 3.3. Pejzažno uređenje u svrhu povećavanja bezbednosti

Postavljanje zaštitne vegetacije, odnosno vetrozaštitnih pojaseva jedan je od primarnih načina povećavanja bezbednosti odvijanja saobraćaja na autoputu, odnosno smanjivanja hazardnih uticaja klimatskih faktora. Već je objašnjeno da je vetar usko povezan i sa ostalim klimatskim elementima, tako da će postavljanje vetrozaštitnih pojaseva imati ulogu i u zadržavanju snega, nanosa prašine, grumena zemlje i slično. Vetrozaštitni pojasevi treba da budu slojeviti i po nekoliko desetina metara široki, kao i postavljeni na određenoj distanci od kolovoza autoputa kako bi neometano mogli da vrše funkciju zbog koje su postavljeni. Ispred šume, već na rastojanju od oko 50m, vetar gubi na snazi. U šumi, vetar postaje i slabiji ili ukoliko se radi o gustom šumskom sklopu, on se i ne oseća. Pravilno formiran vetrozaštitni pojas pruža zaštitu području na distanci od 20 puta visine najvišeg drveta u sklopu u području zaštite (zavetrinska strana), kao i 5-10 puta visine najvišeg drveta na navetrinskoj strani (Slika 2).

**Slika 2.** Prikaz vetrozaštitnog pojasa sastavljenog od različitog tipa vegetacije

Source: (Izvor, Alemu, 2016: 11)

Ponekad predeo nije dovoljno prostran, te nema mesta za vetrozaštitni pojas sastavljen od vegetacije. Stoga treba pribеći i nekim veštačkim konstrukcijama. Od veštačkih konstrukcija koje se koriste u borbi protiv vetra, u predelu autoputa mogu se postaviti vetrozaštitne ograde. Ograde ovakvog tipa mogu biti od različitog materijala (aluminijски paneli, reflektirajući paneli, drveni paneli), te u zavisnosti od ambijenta mogu se odabrati materijali koji ne bi narušavali sliku predela. Ujedno, one se mogu koristiti i kao ograde za zaštitu od

saobraćajne buke. Takođe, ove ograde mogu da obrastu i vegetacijom, te i da mikroklimatski osnaže lokalitet, kako u ekološkom, tako i u estetskom pogledu.

Vegetacija može da posluži i kao reper vidljivosti na putu, prilikom slabije vidljivosti i spuštanja magle. Međutim i pogrešno zasađena vegetacija u vremenskim uslovima slabe vidljivosti može da bude i vrlo hazardna. Primera radi zasađeno drvo uz ivicu puta, koje se odlično vidi u vedrim vremenskim prilikama; u uslovima slabe vidljivosti (mrak, magla ili sneg), dolazi do „iskrivljene“ slike optičkog navođenja na putu. Ovo može biti uzrok brojnih saobraćajnih nesreća.

Sneg može da bude izuzetno opasna prirodna pojava na putevima, bilo da se radi o snegu koji veje ili o onom koji je nataložen i akumuliran na putu ili pored njega. Okolna vegetacija i putne strukture imaju veliku ulogu u rešavanju ovog problema. Vegetacija treba da bude dovoljno udaljena od kolovoza da zona snežnog nanosa leži između vegetacije i kolovoza, ali da ne doseže do njega. Stoga autor Lorenc (1980) smatra da kao širinu zone zaštite od snega treba usvojiti 8 do 15 puta vrednosti visine rastinja, mada se mora voditi računa da je rastinje u prvo vreme nisko, a potom postaje sve veće. Žive ograde poređane po 2 ili 3 reda jedna iza druge mogu biti vrlo efikasne.

U borbi protiv snegonanosa mogu se koristiti i privremene prepreke, tzv. snegobrani. Njih treba postavljati u toku jeseni, a u proleće uklanjati. Visina snegobrana mora se prilagoditi količini snega, koju prenosi vetar. Postavljanje snegobrana zavisi od pravca vetra koji nosi sneg. Najbolji učinak ima snegobran koji je postavljen upravno na pravac vetra.

Uvek treba iskoristiti prednost svetlosti u kontroli leda i obezbediti čiste zone kraj puta. Posebno treba izbegavati sadnju visoke vegetacije uz kolovoz puta, zbog senke koju ona stvara. Na taj način redukuje se stepen topljenja snega i stvara led na kolovozu, što opet dovodi u pitanje bezbednost na putu.

#### 4. ZAKLJUČCI I DISKUSIJA

Važno je znati u kojoj meri, na kojim lokacijama, vremenske prilike utiču na odvijanje saobraćaja i na koji način sprečiti ili ublažiti štetna i razorna dejstva. Sa druge strane, da bi se dale što relevantnije smernice podizanja bezbedne saobraćajne infrastrukturne mreže, neophodno je i poznavanje podataka na dnevnom nivou za sve geografske koordinate prostora koje plan pokriva.

U ovom radu duž istraživane deonice autoputa, izučavane su klimatske karakteristike za sve geografske koordinate kroz koju trasa autoputa prolazi. Na taj način, dobijeni rezultati pokazuju verodostojnost, a tiču se uticaja klimatskih elemenata na bezbednost odvijanja saobraćaja na autoputu. Dobija se jasna slika realnog stanja i kritičnih tačaka, odnosno deonice autoputa, na kojima treba primeniti određene mere unapređenja predela kroz koji autoput prolazi kako bi se i bezbednost saobraćaja podigla na viši nivo.

Naime autori (Musk, 2003; Koetse and Rietveld, 2009) su ukazivali na važnost izučavanja klimatskih elemenata u procesu odvijanja saobraćaja, jer ponekad dejstvo jednog elementa ne zadaje toliko nevolja, ali vrlo često oni se udružuju i mogu izazvati velike poteškoće vozačima. Rezultati ovog istraživanja potvrđuju doslednost zaključaka istaknutih autora, jer se na istraživanoj deonici vetar pokazao kao najdominantniji klimatski element, a primetno je njegovo dejstvo i sa drugim klimatskim elementima (padavine, sneg). Iako je u mnogim studijama višestruko prepozanta opasnost koju vetar može imati na odvijanje saobraćaja, on je nekako bio malo predmet izučavanja. Upravo u ovom istraživanju vetar je preuzeo dominaciju nad ostalim klimatskim elementima i njegov uticaj se oseća gotovo na čitavoj istraživanoj deonici autoputa, sa izrazitim segmentima kod Novog Sada, na potezu od Beške do Stare Pazove i kod Batajnice. Na ovim deonicama autoputa u istraživanom dvadesetogodišnjem periodu (period razmatranja klimatskih elemenata), u januaru mesecu su zabeležene pojave kada vetar dostiže udare i do 15m/s. Ovo potvrđuje i razmatranja autora (Baker and Reynolds, 1992; Perry and Symons, 1994; Hermans et al, 2006) koji govore da je vetar kratkotrajan i ponekad i pri dejstvu jačeg intenziteta na samo nekoliko sati može da oteža kretanje vozila. Ovakvi podaci svakako treba da budu evidentirani, kako bi ukazali na alarmantnost situacije koju klimatski elementi mogu da prouzrokuju. Edwards (1996) zato i podvlači da je od krucijalne važnosti navođenje klimatskih parametra u izveštaju o saobraćajnoj nezgodi u trenutku sprovođenja uviđaja, što se u Velikoj Britaniji sprovodi od 1969. godine. U Srbiji ovakva aktivnost nije poznata.

Lorenc (1980) dalje ukazuje na važnost postojanja vegetacije u predelu autoputa, jer je njena uloga u povećavanju bezbednosti odvijanja saobraćaja, u trenutcima njihovog intenzivnog dejstva, neprocenjiva. Na žalost, na istraživanoj deonici autoputa veći masivi šumskog zasada nisu poznati (osim plantaža topolnih



šuma kod Kovilja). Uočavaju se određene žbunaste forme duž čitavog poteza istraživane deonice (uz žičanu ogradu koja prati autoput), ali pretpostavlja se da je njihova funkcija pretežno usmerena ka sprečavanju izlaska životinja na autoput. Predeo autoputa Beograd-Novi Sad je najvećim delom oraničnog, poljoprivrednog karaktera, te su i česta navejavanja čestica zemlje, šljunka, snega, što može da oteža kretanje vozila i put učini manje bezbednim. Stoga je vegetacija, u svrhu podizanja i bezbednost odvijanja saobraćaja na veći nivo, preko je potrebna predelu ove delu autoputa.

Svaka deonica autoputa je vrlo specifična po pitanju razmatranja uticaja klimatskih elemenata, te se autoput i ne sme posmatrati kao uniformna i jedinstvena celina predela, već se svaki njen deo mora razmatrati pojedinačno i u skladu sa tim treba dati i adekvatne mere podizanja bezbednosti po pitanju uređivanja okolnog predela. Ovo se svakako misli na vegetacijski sklop, pažljiv odabir biljaka, njihove udaljenosti od autoputa. U određenim slučajevima nije dovoljno osloniti se samo na vegetaciju, već je potrebno uvesti i neke od tehničkih elemenata (u slučaju magle, snega i slično). Kako ni ove putne strukture tehničke prirode nisu приметne na istraživanoj deonici autoputa (osim zvučnog zida/vetrozaštitnog zida kod Batajnice), a imajući u vidu dobijene rezultate o uticaju klimatskih elemenata na odvijanje saobraćaja na kolovozu autoputa, zaključuje se da je deonica autoputa Beograd-Novi Sad ipak ugrožena i da bezbednost vozača nije zagarantovana.

Predeli autoputa jesu ranjivi i njihova osetljivost je utoliko veća ukoliko se zanemaruje uticaj klimatskih elemenata i ono što prirodu čini nepromenljivom. Stoga se pri planiranju izgradnje autoputeva svakako treba osvrnuti i na ovaj prirodni aspekt, a ukoliko je već došlo do izgradnje, onda se mere ublažavanja hazardnog dejstva klimatskih elemenata na proces odvijanja saobraćaja svakako treba adekvatno i na vreme primeniti, kako bi i posledice po ljude bile što minimalnije.

## Literatura

- [1] Alemu, M.M. 2016. Ecological Benefits of Trees as Windbreaks and Shelterbelts, *International Journal of Ecosystem* 6(1): 10-13.
- [2] Antić, D.; Vrtačnik, O.; Dickov, O.; Dobričanin, V.; Đukić, Ž.; Živković, V.; Ivković, S.; Jauković, R.; Jovanović, P.; Jokšić, Z.; Kovačević, M.; Macura, D.; Ostojić, K.; Petrović, A.; Petrović, V.; Rakić, D.; Savić, Ž.; Simić, J.; Simić, J.; Šiljak, M.; Škara, G. 1969. *Autoput „Bratstvo-jedinstvo“, Beograd - Đevđelija*. Društvo za puteve SR Srbije, Beograd. 1-3, 10-13, 91-92, 98-100 p.
- [3] Baker, J. C.; Reynolds, S. 1992. Wind-induced accidents of road vehicles, *Accident Analysis&Prevention* 24(6): 559-575.
- [4] Bogren, J.; Gustavsson, T. 1989. Modelling of Local Climate for Prediction of Road Slipperiness, *Physical Geography*, 10(2): 147-164.
- [5] Bruneau, J.F.; Pouliot, M.; Morin, D.R.; Thomas, I. 1998. Road safety and highway lighting, *Routes/Roads* 297: 25-36.
- [6] Crowe, S., 1960. *The landscape of roads*. Architecture press, London. 15-133 p.
- [7] Doornkamp, J.C. 1985. *The Earth Sciences and Planning in the Third World*. Liverpool University Press, UK. 160 p.
- [8] Ђорђевић, J. 2004. Типологија физичко - географских фактора у просторном планирању. Географски институт "Јован Цвијић" САНУ, Београд. 161 p.
- [9] Edwards, J. 1996. Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis, *Journal of Transport Geography* 4(3): 201-212.
- [10] Gabler, S.P., 2015. *Fundamentals of Physical Geography*. Cengage Learning, Boston. 544 p.
- [11] Hermans, E.; Brijs, T.; Stiers, T.; Offermans, C. 2006. The impact of weather conditions on road safety investigated on an hourly basis. In: *Transportation Research Board Annual Meeting*, CD-ROM Paper 06-1120.
- [12] Кицошев, С. 2007. Географске основе просторног планирања. Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду. 50-64 p.
- [13] Koetse, J.M.; Rietveld, P. 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings, *Transportation Research Part D* 14: 205-221.
- [14] Lorenc, H., 1980. *Projektovanje i trasiranje puteva i autoputeva*. IRO Građevinska knjiga, Beograd. 15-413 p.
- [15] Marković, M. (1977). Uklapanje puta u prostor i usklađivanje sa urbanističkim rešenjima. Savetovanje o izgradnji auto - puta „Bratstvo-Jedinstvo“ posvećeno jubilejima druga Tita, 7 - 8.oktobar, Požarevac (ured. Jovan Šutić), Via-Vita, Savez društva za puteve Jugoslavije. Beograd: Grafičko preduzeće „Slobodan Jović“, 171-172.

- [16] Marušić, I. (1977). Problemi prostornog vrednovanja auto-puteva u svetlu očuvanja okoline. Savetovanje o izgradnji auto - puta „Bratstvo-Jedinstvo” posvećeno jubilejima druga Tita, 7 - 8.oktobar, Požarevac (ured. Jovan Šutić), Via-Vita, Savez društva za puteve Jugoslavije. Beograd: Grafičko preduzeće „Slobodan Jović”, 179-186.
- [17] Mijušković, V. (1977). Uklapanje puta u životnu sredinu. Savetovanje o izgradnji auto - puta „Bratstvo-Jedinstvo” posvećeno jubilejima druga Tita, 7 - 8.oktobar, Požarevac (ured. Jovan Šutić), Via-Vita, Savez društva za puteve Jugoslavije. Beograd: Grafičko preduzeće „Slobodan Jović”, 173-176.
- [18] Mok, J.; Landphair, C.H.; Naderi, R.J. 2006. Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas, *Landscape and Urban Planning* 78: 263–274.
- [19] Musk, F. L., 2003. *Climate as a factor in the planning and design of new roads and motorways*. In: Highway meteorology. Allen Perry and Leslie Symons (eds.). London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: E&FN SPON. An Imprint of Chapman & Hall. Taylor & Francis Books, Inc. p.18-38.
- [20] Perry, A.; Symons, L. 1994. The wind hazard in the British Isles and its effects on transportation, *Journal of Transport Geography* 2(2): 122-130.
- [21] Staricco, L. (2011). The Difficult Relationship between Land Use Planning and Transport Planning: Evidences from the City of Turin, Italy. *Recent Researches in Mechanics*. USA: WSEAS Press, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Corfu/CUTAFLUP/CUTAFLUP-52.pdf>.
- [22] Šurbanović, B. (1977). Prilog za grupu C - izrada idejnih i glavnih projekata. Savetovanje o izgradnji auto - puta „Bratstvo-Jedinstvo” posvećeno jubilejima druga Tita, 7 - 8.oktobar, Požarevac (ured. Jovan Šutić), Via-Vita, Savez društva za puteve Jugoslavije. Beograd: Grafičko preduzeće „Slobodan Jović”, 112-113.
- [23] Thornes J. E. 1989. A Preliminary Performance and Benefit Analysis of the UK National Road Ice Prediction System, *Meteorological Magazine* 118: 93-99.
- [24] Vlatković, S. 1981. Određivanje optimalne šumovitosti SAP Vojvodine u cilju zaštite i unapređivanja životne sredine, doktorska disertacija. Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu, kucan materijal.

Planska dokumenta:

- [25] MULTILATERAL, 1983. European agreement on main international traffic arteries (AGR) (with annexes and list of roads). Concluded at Geneva on 15 November 1975, Vol.1302, I-21618.
- [26] Prostorni plan područja infrastrukturnog koridora autoputa E-75, deonica Subotica-Beograd (Batajnica) („Službeni glasnik RS“ br. 69/03, 36/10, Sl. glasnik RS br. 102/10, Sl. glasnik RS br. 143/14).
- [27] Strategija razvoja železničkog, drumskog, vodnog, vazdušnog i intermodalnog transporta u Republici Srbiji 2008 - 2015. godine („Službeni glasnik RS”, br. 55/05, 71/05-ispavka i 101/07).

Internet izvori:

Internet izvori:

- [28] Nova srpska politička misao (2012). O Vojvodini. Infoday (on line) available at: <http://www.nspm.rs/politicki-zivot/o-vojvodini.html?alphabet=l> (07.03.2018).

## ANALIZA NAPLATNIH STANICA SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA – SVETSKA ISKUSTVA

**Sreten Jevremović<sup>1</sup> dipl. inž. saobr.,**

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija, jevremovic.sreten@gmail.com

**Prof. dr Draženko Glavić dipl. inž. saobr.,**

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija, tstkds@sf.bg.ac.rs

**Marina Milenković dipl. inž. saobr.,**

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Naplatne stanice predstavljaju važna čvorišta na saobraćajnoj mreži, bilo da se radi o gradskim ili vangradskim saobraćajnicama. Sama struktura ovih objekata čini ih veoma složenim najpre zbog karakterističnog načina vođenja saobraćaja, a onda i zbog niza pratećih objekata i njihove funkcionalne organizacije. Kompleksnost naplatnih stanica u kombinaciji sa faktorom čovek često rezultuje pojavu većeg broja negativnih efekata, od kojih su najizraženiji saobraćajne nezgode. Ako se u obzir uzme činjenica da se na naplatnim stanicama i u njihovom uticajnom području kumuliraju između 30 i 50% svih saobraćajnih nezgoda koje se dogode na mreži brzih puteva, jasno je da su ovo lokacije koje zahtevaju poseban tretman i znatno viši nivo upravljanja. Sa tim u vezi je i cilj ovog rada koji se bazira na pregledu svetskih iskustava u načinu upravljanja, organizacije tehnologija naplate i vođenja saobraćaja kroz naplatne stanice sa ciljem unapređenja nivoa bezbednosti saobraćaja. Na kraju rada će biti date smernice, koje reprezentuju primere najbolje prakse, radi održavanja i dostizanja željenog nivoa bezbednosti saobraćaja na naplatnim stanicama.

**Ključne reči:** Naplatne stanice, bezbednost saobraćaja, saobraćajne nezgode

## TRAFFIC SAFETY ANALYSIS ON TOLL STATIONS – WORLD EXPERIENCES

**Abstract:** Toll stations represent important hubs on the transport network, whether it's urban or suburban roads. The very structure of these facilities makes them complex first because of the traffic management, and then because of a number of accompanying facilities and their functional organization. The complexity of toll stations in combination with a human factor often results in the appearance of great amount of negative effects, of which the most expressive are traffic accidents. Considering the fact that between 30 and 50% of all traffic accidents occurring on the network of highways are accumulated at toll stations and in their influential area, it is clear that these are locations that require special treatment and a significantly higher level of management. With this in mind, the goal of this work is based on review of world practices in the way of control, tolling organization and traffic management through toll stations in order to improve the level of traffic safety. At the end of the work will be given guidelines, which represent examples of best practices, in order to maintain and reach the desired level of traffic safety on toll stations.

**Key words:** Toll stations, traffic safety, traffic accidents

### 1. UVOD

Naplatne stanice predstavljaju veoma važna i kompleksna čvorišta na putnoj mreži jedne države. Njihov značaj se ogleda kroz nekoliko karakteristika koje se mogu objasniti kroz tri elementa:

1. Element kontrole,
2. Element složenosti i
3. Element vođenja saobraćaja.

Sva tri elementa su međusobno povezana i utiču jedan na drugi. Odnosno svaki od njih definiše način na koji će se sprovoditi i organizovati ostala dva.

---

<sup>1</sup> Sreten Jevremović: jevremovic.sreten@gmail.com

Naplatne stanice su veoma često ulazno/izlazne tačke u određena područja, zone, naselja itd. Primer su centralne zone Londona, Milana, Stokholma gde se ulaz u uže gradsko područje naplaćuje iz nekoliko razloga. Prvi je svakako rasterećenje urbanog gradskog područja od prevelike koncentracije vozila. Smanjenjem broja putničkih automobila posledično se očekuju manje negativne posledice koje vozila donose: smanjenje emisije štetnih gasova, buke i zagušenja čime se akcenat stavlja na ekološku održivost. Uslovno se rešava problem parkiranja kako za posetioce tako i za stanovnike centralnih gradskih zona. Smanjenjem broja putničkih automobila daje se prednost alternativnim vidovima kretanja: biciklističkom saobraćaju, javnom prevozu i pešačenju čime se promoviše održiva i čista multimobilnost. Sve ove grupe faktora svrstavaju se u element kontrole, koji se jednostavno definiše kao kontrolisan ulazak vozila na željena područja. Tu kontrolu obavljaju naplatne stanice.

Drugi važan deo elementa kontrole je stvarna fizička kontrola naplate putarine. Primer su autoputevi čije se korišćenje naplaćuje po unapred definisanoj tarifi. Kontrola plaćanja za korišćenje autoputeva takođe se obavlja na naplatnim stanicama putem savremenih tehnologija koje povezuju podatke o svakom vozilu sa centralnim sistemom. Proverom tih podataka definiše se ispunjenost uslova za korišćenje autoputa.

Element složenosti, o kome će u ovom radu biti dosta reči, tiče se funkcionalnog objedinjenja naplatne stanice sa svim pratećim objektima. Pored standardnih elemenata naplatne stanice: rampe, naplatne kabine itd. složene naplatne stanice karakteristične su po velikom broju pratećih objekata. U prateće objekte često spadaju: administrativne prostorije, parkiralište ili parking garaža, uslužno-ugostiteljski objekti, skladišta, neretko se u blizini naplatnih stanica lociraju i objekti službi za održavanje puteva itd. Ceo ovaj skup pratećih elemenata potrebno je održavati tako da ne postoji poremećaj i negativan uticaj na kretanje vozila.

Važna stavka ovog elementa je još i složenost naplatne stanice koja se obično manifestuje kroz broj saobraćajnih traka i broj različitih tehnologija naplate putarine.

Složenost same naplatne stanice je u direktnoj vezi sa elementom vođenja saobraćaja. Ovaj element je ujedno i najkompleksniji deo celog procesa upravljanja saobraćajem i jedan od glavnih razloga izrade ovog rada. Vođenje saobraćaja se usložnjava sa povećanjem broja saobraćajnih traka na prilazu kao i postojanjem manuelne tehnologije naplate putarine u kombinaciji sa elektronskom naplatnom (ETC)<sup>2</sup>. Više različitih mogućnosti za naplatu dovodi vozače u situaciju da se više koncentrišu na izbor saobraćajne trake, nego na upravljanje vozilom. Takođe veći zahtevi, mogu izazvati zagušenja na naplatnoj stanici što je još jedan od razloga za povećan broj promena saobraćajnih traka u samoj zoni naplatne stanice (Mckinnon, 2013). Iz tih razloga se često pristupa kanalisanom vođenju saobraćaja kroz naplatne stanice, a sve sa ciljem sprečavanja i smanjenja negativnih posledica.

Glavni problem koji se javlja, a pokazatelj je uređenja i održavanja naplatnih stanica, je nivo bezbednosti saobraćaja na istim, koji se često kvantifikuje kroz broj saobraćajnih nezgoda.

Ceo uvod ovog rada pisan je sa jednim ciljem, a to je da se pokaže značaj i kompleksnost naplatnih stanica. Ako se u obzir uzme da se u uticajnom području naplatnih stanica dogodi između 30 i 50% svih saobraćajnih nezgoda u odnosu na ceo posmatran put (Abuzwidah, 2014), jasno je zbog čega ovakvi objekti zahtevaju poseban režim upravljanja i vođenja saobraćaja.

Predmet ovog rada je da se kroz analizu iskustava starih zemalja ukaže na najbolju praksu u izgradnji, održavanju, organizaciji i vođenju saobraćaja kroz naplatne stanice, sa ciljem održanja i unapređenja postojećeg nivoa bezbednosti saobraćaja. Na kraju će biti date smernice koje mogu biti od koristi za implementaciju mera najbolje prakse u domaćim uslovima.

## 2. PROBLEMI NA NAPLATNIM STANICAMA

Dosadašnje analize bezbednosti saobraćaja na području bazirale su se na ispitivanju međuzavisnosti uticajnih faktora i njihovog udela u nastanku saobraćajnih nezgoda. Ti faktori su podeljeni u četiri grupe:

<sup>2</sup> Electronic toll collection

faktor čovek, faktor put, faktor vozilo i faktor okruženje (Lipovac, 2016). Svaki od ova četiri faktora manje ili više, u zavisnosti od situacije, doprinosi nastanku nezgoda. Generalni cilj svake analize bezbednosti saobraćaja je smanjiti ili otkloniti negativne uticaje navedenih faktora čime bi se smanjio i broj saobraćajnih nezgoda. Osnovna greška koja se često pravi je pripisivanje nastanka saobraćajnih nezgoda samo jednom faktoru, najčešće faktoru put. Iako ovaj faktor neretko jeste glavni uzročnik nezgoda, nije i jedini. Obično se nezgode dešavaju kao posledica zajedničkog delovanja više faktora. Naplatne stanice su lokacije koje veoma jednostavno potvrđuju navedenu stavku. U nastavku rada će biti analizirano nekoliko najznačajnijih problema koji se javljaju na naplatnim stanicama kao i predlozi mera za njihovo rešavanje.

## 2.1. Problem lokacije naplatnih stanica

Opšteprihvaćeno je pravilo da se za lokaciju čeonih naplatnih stanica bira područje bez izraženih podužnih i poprečnih nagiba kolovoza, izraženih radijusa horizontalnih krivina, bez predmeta u okruženju koji bi ometali preglednost vozača itd, odnosno bira se mesto koje pruža najviši nivo bezbednosti po pitanju putnih karakteristika i karakteristika okruženja. Teorijsko ispitivanje uticajnih faktora geometrijskih karakteristika puta koje doprinose nastanku saobraćajnih nezgoda na naplatnim stanicama, obavljeno u Hong Kongu od strane (Chan, Wong and Sze, 2008) pokazalo je da negativna vrednost podužnog nagiba kolovoza ima jaku korelativnu vezu sa nastankom saobraćajnih nezgoda. Dosta više nego pozitivna vrednost nagiba. Ovakav rezultat autori su protumačili kao prirodno povećanje brzine pri kretanju vozila niz nagib i otežanu kontrolu vozilom prilikom usporenja usled gravitacione sile. Nasuprot tome, potpuno drugačija situacija se javlja kada se vozila kreću uz nagib. Ista grupa autora pokazala je da i radijus horizontalnih krivina ima značajan uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda. Odnosno ovaj element je u jakoj negativnoj korelativnoj vezi sa saobraćajnim nezgodama, što znači da se sa smanjenjem radijusa povećava broj nezgoda. Ova činjenica je posebno važna za mesta isključenja sa autoputeva i naplatne rampe na tim mestima. Vozačima je u takvim situacijama veoma teško da odrede radijus krivine i da se sa dotadašnje brzine kretanja od oko 100 km/h prilagode brzini potrebnoj da se bezbedno prođe krivina. Takve lokacije su često definisane kao opasna mesta zbog velikog broja nezgoda koje se tu kumuliraju.

## 2.2. Problem brzine kretanja

Jedan od glavnih nedostataka naplatnih stanica na brzim putevima, sa korisničkog aspekta, je što one prekidaju kontinualnost u kretanju. Odnosno tradicionalne naplatne stanice, sa manuelnom naplatom, zahtevaju zaustavljanje vozila radi plaćanja putarine. Kada je reč o autoputevima ovo je jedan od važnih nedostataka koji značajno utiče na smanjenje efikasnosti, posebno ako se u obzir uzme činjenica da su autoputevi građeni sa ciljem obezbeđivanja efikasnosti.

Ovaj problem je ubrzo rešen primenom savremenih tehnologija naplate putarine koje ne zahtevaju zaustavljanje, odnosno tehnologije bezkontaktnog načina plaćanja. To su pre svega: RFID<sup>3</sup>, DSRC-MLFF<sup>4</sup>, ANPR<sup>5</sup>, smartphones itd, koje omogućuju plaćanje pri brzinama većim od 100km/h. Sve ove tehnologije dale su određen nivo fleksibilnosti u plaćanju, omogućile su željeni nivo efikasnosti ali su na određen način ugrožavale bezbednost saobraćaja.

U razvijenijim zemljama u kojima primena ovih tehnologija već uveliko traje manuelan način naplate i dalje postoji i to iz opravdanih razloga. Najviše zbog stranih ili povremenih korisnika koji u svom vozilu nemaju zahtevane uređaje (OBU)<sup>6</sup> koji su potrebni da bi se koristile navedene tehnologije. Upravo ta kombinacija savremenih sa tradicionalnim tehnologijama naplate pravi velike probleme na naplatnim stanicama. Dok manuelan način naplate, i njemu slični, zahtevaju postepeno smanjenje brzine i na kraju zaustavljanje radi plaćanja, savremene tehnologije dopuštaju korisnicima da se kreću velikim brzinama kroz naplatnu stanicu. Velike disperzije u brzini koje tada nastaju glavni su uzročnik nastanka saobraćajnih nezgoda (Yang *et al.*, 2014). To je jedan od važnih razloga zbog koga se teži harmonizaciji brzina u saobraćajnom toku.

<sup>3</sup> Radio Frequency Identification

<sup>4</sup> Dedicated short-range communication - Multi-lane free flow

<sup>5</sup> Automatic number plate recognition

<sup>6</sup> On-board unit

(Chung and Yoon, 2017) su u svom istraživanju, na 6 naplatnih stanica u Koreji, utvrdili zavisnost promene brzine od stope saobraćajnih nezgoda, prikazanoj u tabeli 1.

Tabela 1. Zavisnost stope saobraćajnih nezgoda od promene brzine

Promena brzine (km/h)	± 4	± 12	± 20
Stopa SN	1.2	1.6	2.8

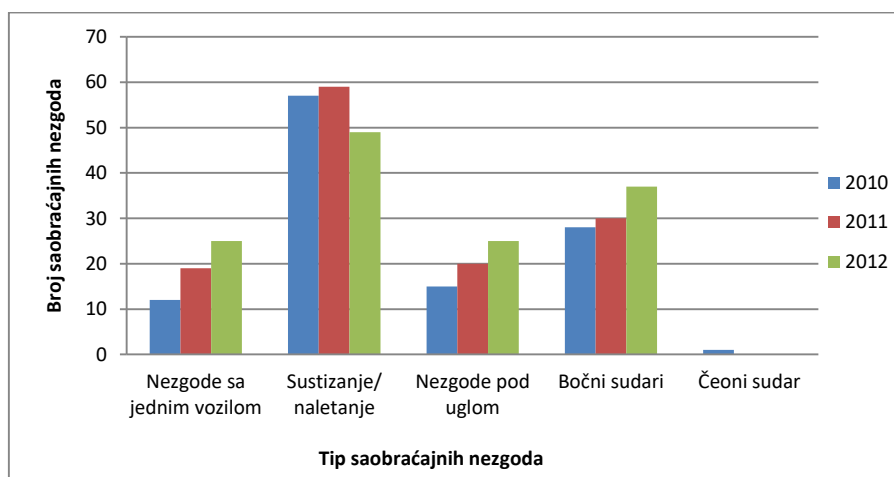
Izvor: "Safe Operation Guidelines for Electronic Toll Collection Systems: A Case Study in Korea"

Ova zavisnost jasno ukazuje na nivo rizika koji se značajno povećava sa promenom brzine. U skladu sa tim je i najveći broj saobraćajnih nezgoda, koje se događaju na naplatnim stanicama, tipa: najmanje dva vozila koja se kreću u istom smeru: sustizanje ili sudar pri uporedoj vožnji<sup>7</sup>. Zbog toga je preporuka da se saobraćajne trake sa savremenim tehnologijama naplate fizički odvajaju od traka namenjenim za manuelno plaćanje, kako bi se razdvojili brzi od sporih korisnika, o čemu će nešto više reći biti dalje u radu.

### 2.3. Problem vrste i raspodele tehnologija naplate

Više različitih tehnologija naplate implementiranih na jednoj naplatnoj stanici takođe može negativno uticati na vozače. Iako se veća raznovrsnost tehnologija primenjuje sa ciljem obezbeđivanja većeg komfora za korisnike, ovakvo rešenje često daje suprotne efekte od željenih. (Yang *et al.*, 2014) su u svom istraživanju pokazali da što je veći broj različitih tehnologija naplate na naplatnoj stanici, veći je broj promena saobraćajnih traka koje vozači prave. Ovu činjenicu autori objašnjavaju povećanjem neodlučnosti kod vozača kada ispred sebe imaju veći izbor. Dodatno, zagušenja koja se javljaju na naplatnim stanicama takođe navode vozače da izbegavaju trake sa većim brojem vozila u njima, pa je to još jedan uzrok zbog koga se pojavljuje veliki broj promena saobraćajnih traka. Posledično sa tim događaju se saobraćajne nezgode tipa: nezgode sa najmanje dva vozila koja se kreću istim putem u istom smeru uz skretanje – skretanje udesno/ulevo ispred drugog vozila. Najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda na naplatnim stanicama su: nezgode u sustizanju, nezgode po uglom (misli se na nezgode koje su se dogodile pod uglom manjim od 90°) i bočni sudari (podrazumevaju se nezgode koje su se dogodile pod uglom od 90°) (Abdelwahab and Abdel-aty, 2002; Ding, Ye and Lu, 2007; Yang, Ozbay and Bartin, 2012).

U istraživanju koje je sproveo (Mckinnon, 2013) u Springfildu, izvršena je raspodela broja saobraćajnih nezgoda po tipu za tri godine. Rezultati su prikazani na dijagramu 1.



Dijagram 1. Raspodela saobraćajnih nezgoda po godinama prema tipu

Izvor: "Operational and Safety-Based Analyses of Varied Toll Lane Configurations"

Tipovi saobraćajnih nezgoda prikazanih na dijagramu 1 se u potpunosti slažu sa tipovima nezgoda koje su dobili prethodno pomenuti autori. Jedina razlika su nezgode sa jednim vozilom, kojih je ovde nešto više. Ove nezgode obično podrazumevaju nezgode: udar u nepokretan objekat (neki deo naplatne stanice) ili udar u rampu.

<sup>7</sup> Metodologija Agencije za bezbednost saobraćaja od 2016. godine

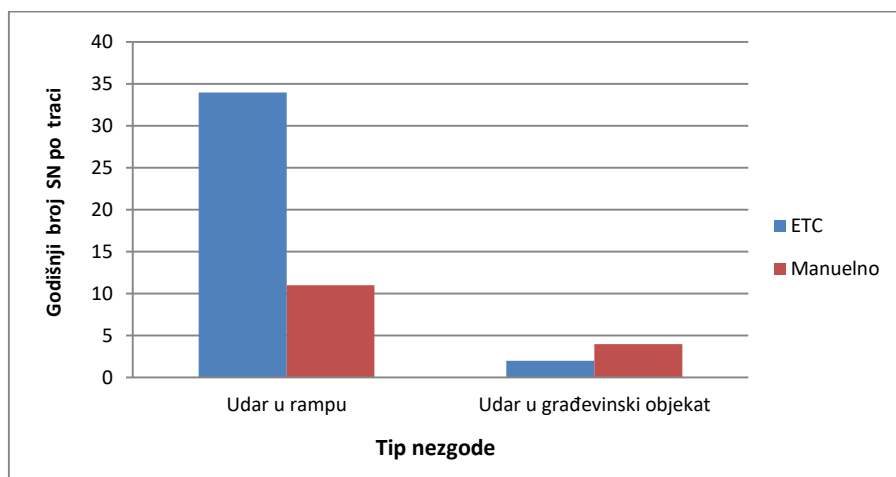


Nezgode u sustizanju/naletanju na zaustavljeno vozilo su posebno karakteristične i česte na naplatnim stanicama, a direktna su posledica razlike u brzinama, odnosno veće disperzije. Ovaj tip nezgoda se najčešće događa iz nekoliko razloga, prvi je nepažnja vozača, odnosno činjenica da se više vremena posvećuje samom izboru saobraćajne trake nego uslovima u saobraćaju, kada dolazi do navedenih nezgoda i drugi dosta čest slučaj je nepoznavanje korisnika sa tehnologijom. Događa se da vozači "zalutaju" u saobraćajne trake namenjene elektronskoj naplati i ne znajući kako da izvrše plaćanje oni se zaustave uzrokujući, najčešće, saobraćajne nezgode sa teškim telesnim povredama.

Nezgode pod uglom, a delom i bočni sudari su posledica preplitanja (ukrštanja) putanja kretanja vozila na prilazu naplatnim stanicama. Uzrok preplitanja je što vozači u kratkom vremenskom periodu moraju da odluče u koju saobraćajnu traku da se prestroje. Sa uvođenjem savremenih tehnologija naplate vozačima se daje veća mogućnost izbora. To posledično stvara komplikovanije manevre prilikom kretanja, povećava broj konflikata a samim tim povećava i rizik od nastanka nezgoda (Ding, Ye and Lu, 2007).

Na dijagramu 2 detaljnije su analizirane nezgode sa učešćem jednog vozila koje su se dogodile u Kini na određenom broju naplatnih stanica. Dijagram daje poređenje elektronske naplate sa barijerama (ETC)<sup>8</sup> i manuelne naplate. Zanimljivo je da je elektronska naplata prouzrokovala više saobraćajnih nezgoda tipa: udar u rampu, nego manuelna naplata. Rezultati su jednim delom očekivani s obzirom da se veliki broj korisnika ne kreće preporučenom brzinom kroz naplatnu stanicu (koja je u opsegu između 30 i 60km/h), pa rampa nema vremena da se podigne, što za posledicu ima nezgode pomenutog tipa. Sa druge strane manuelna naplata zahteva zaustavljanje vozila radi ručnog plaćanja pa je očekivano da se dogodi manji broj saobraćajnih nezgoda tipa: udar u rampu. Razlog povećanog broja nezgoda tog tipa u trakama za manuelnu naplatu može se tražiti u lošem funkcionisanju rampe ili ukoliko su vozači hteli bez plaćanja da prođu naplatnu stanicu i sl.

Posmatrajući samo ovaj aspekt elektronska naplata se pokazala kao manje bezbedna u odnosu na manuelnu.



Dijagram 2. Raspodela saobraćajnih nezgoda prema tipu i tehnologiji naplate  
Izvor: "Impact of ETC on Traffic Safety at Toll Plaza"

#### 2.4. Problem karakteristika saobraćajnog toka

U ovom delu će se napraviti kratak osvrt samo na jednu karakteristiku saobraćajnog toka za koju je utvrđeno da ima jaku pozitivnu korelativnu vezu sa nastankom saobraćajnih nezgoda, to je PGDS<sup>9</sup>. Povećanje broja vozila na mreži, do one mere kada postojeći kapacitet ne može da odgovori zahtevu, prouzrokuje stvaranje zagušenja. Pored različitih negativnih posledica koje zagušenje može da ima na okruženje, najvažnije su svakako saobraćajne nezgode. Veći broj vozila na mreži, u konkretnom slučaju u zoni prilaza naplatnoj

<sup>8</sup> Tehnologija koja se koristi i kod nas. Daje mogućnost kontinualnog kretanja prilikom plaćanja putarine sa zahtevanim smanjenjem brzine na oko 30 km/h, da bi vozila mogla biti registrovana.

<sup>9</sup> Prosečan godišnji dnevni saobraćaj

stanici, stvara uslove “zategnutosti” u saobraćajnom toku, odnosno situaciju u kojoj svakog trenutka može da nastane saobraćajna nezgoda. Jednim delom je to zbog napetosti vozača, a jednim zbog uslozljavanja stepena manevarisanja koje je tada potrebno obaviti (Chan, Wong and Sze, 2008; Yang, Ozbay and Bartin, 2012). U prilog tome ide i istraživanje koje je obavio (Mckinnon, 2013) u kome je došao do zaključka da se najveći broj saobraćajnih nezgoda na naplatnim stanicama događa u vršnim periodima (jutarnjem i popodnevnom), odnosno u periodima kada se javlja najveći zahtev. U skladu sa tim je oformljen i najveći broj modela predikcije saobraćajnih nezgoda na naplatnim stanicama, gde se kao osnovni parametar uticaja uzima PGDS.

### 3. ELEKTRONSKA ILI MANUELNA NAPLATA

Mana dosadašnjih istraživanja je što se veoma mali broj njih bazira na pojedinačnoj analizi svake od elektronskih tehnologija naplate (ANPR, RFID, DSRC-MLFF...), već se njihov uticaj tretira kao zajednički i definiše se u grupu elektronskih tehnologija. Nekoliko autora je analiziralo uticaj konverzije tradicionalnih naplatnih stanica u hibridne ili ORT<sup>10</sup>, na bezbednost saobraćaja i dobili su značajne rezultate koji govore u prilog implementaciji savremenih tehnologija. Najveći broj tih istraživanja obavljen je u Americi, odnosno u nekoj od njenih saveznih država.

Istraživanje koje su sproveli (Yang *et al.*, 2014) u New Jersey-u na devet naplatnih stanica, pokazalo je da uklanjanje barijera na naplatnim stanicama značajno utiče na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda i to: ukupan broj saobraćajnih nezgoda je smanjen za 42,1%, broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim za 38,8% i broj saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom je smanjen za 43,2%.

U Floridi je konverzija tradicionalnih naplatnih stanica (koje obuhvataju najčešće manuelnu naplatu i njoj slične sisteme) u hibridne, koje predstavljaju kombinaciju tradicionalnih tehnologija naplate sa savremenim elektronskim sistemima, smanjila ukupan broj saobraćajnih nezgoda za 48%, broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim za 45,2% i broj saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom za 55%. Sam dizajn hibridne naplatne stanice je smanjio ukupan broj saobraćajnih nezgoda u sustizanju i sa naletanjem za 65,3%, a nezgode uzrokovane promenom saobraćajnih traka za 57,4% (Abuzwidah, Abdel-Aty and Ahmed, 2014).

Veliki broj promena saobraćajnih traka može se jednostavno izbeći adekvatnom preraspodelom tehnologija na naplatnoj stanici. U istraživanju koje je sproveo (Hajiseyedjavadi, 2017), na naplatnoj stanici u Springfildu, analiza bezbednosti saobraćaja vršena je u odnosu na različite scenarije. Analiza je sprovedena primenom savremenih softverskih paketa (mikrosimulacijom), istraživanjem na terenu i simulacijom vožnje, sa određenim brojem ispitanika u veštački definisanim uslovima. Jedno od ispitivanja u obzir je uzimalo i analizu minimalnog broja konflikata za pet prihvaćenih scenarija. Scenariji predstavljaju različite kombinacije u rasporedu tehnologija naplate. Konflikti koji su uzeti u razmatranje su: ukrštanje putanja, naletanje/sustizanje i broj promena saobraćajnih traka. Rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Sumarni rezultati prema analiziranim scenarijima za 600 sekundi simulacije

Konflikti	C-E-E-C	E-E-E-E	E-C-E-C	E-E-C-C	EC-E-E-EC <sup>11</sup>
	Prosečno	Prosečno	Prosečno	Prosečno	Prosečno
<b>Ukrštanje</b>	0	0,4	0,2	1,2	0
<b>Naletanje/sustizanje</b>	9,4	2,4	7,2	10,0	5
<b>Promena trake</b>	5,6	4,2	4,6	13,4	2,2

Izvor: “Investigation of Safety At Toll Plazas Through Microsimulation”

Prema prikazanom broju konflikata autor zaključuje da je najbezbedniji scenario E-E-E-E. Dobijeni rezultati podržavaju navedenu hipotezu: da implementacija samo elektronske naplate daje viši nivo bezbednosti jer nema izrazitih disperzija u brzinama, niti velike neodlučnosti oko izbora saobraćajne trake, dok sa druge strane povećava nivo efikasnosti u odnosu na manuelne sisteme.

<sup>10</sup> Open road tolling – podrazumeva bezkontaktnu naplatu putarine, bez barijera pri velikim brzinama

<sup>11</sup> Oznaka C je za naplatne rampe gde se plaća samo novcem (manuelno), oznaka E je za naplatne rampe gde se plaća samo elektronski i oznaka EC su naplatne rampe koje omogućavaju kombinovan način naplate

(Abuzwidah and Abdel-aty, 2017) su pokušali da utvrde zavisnost tehnologije naplate i saobraćajnih nezgoda, u istraživanju sprovedenom u Floridi na 42 naplatne stanice. Oni su utvrdili da pored broja naplatnih rampi i PGDS-a jaku pozitivnu korelativnu vezu sa saobraćajnim nezgodama ima broj saobraćajnih traka na kojima se plaćanje obavlja manuelno. Odnosno sa porastom broja traka sa manuelnom naplatom raste i broj saobraćajnih nezgoda.

Uopšteno govoreći, na osnovu iznetih činjenica, elektronska naplata ima više prednosti u odnosu na manuelnu. Posедуje viši nivo fleksibilnosti u plaćanju, podiže nivo efikasnosti, daje određen komfor korisnicima prilikom plaćanja i u određenoj meri pokazuje viši nivo bezbednosti u odnosu na manuelne sisteme naplate. Odnosno manji je rizik učešća u saobraćajnim nezgodama kada se koriste savremene tehnologije ali su veće posledice nakon što se nezgoda dogodi (Abdelwahab and Abdel-aty, 2002).

#### **4. GENERALNE SMERNICE ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA NAPLATNIM STANICAMA**

Kada je reč o Srbiji, ozbiljnije analize bezbednosti saobraćaja na naplatnim stanicama su dosta retke. Postoje analize bezbednosti saobraćaja na području i metodologija po kojoj se takve analize sprovode ali iz do sada prikazanog, jasno je da su naplatne stanice karakteristične lokacije, koje zbog svoje složenosti zahtevaju posebnu metodologiju i posebne analize. Sa tim u vezi se daje prva preporuka koja se zasniva na definisanju posebne metodologije za analiziranje bezbednosti saobraćaja na naplatnim stanicama.

Još jedan važan aspekt kada je bezbednost saobraćaja u pitanju su saobraćajne nezgode, njihov broj i tačna lokacija. Naplatne stanice predstavljaju veoma dobre lokacije za definisanje, izradu i testiranje modela predikcije saobraćajnih nezgoda. Zbog uniformnosti projektovanja, izgradnje i tačno ograničenog i definisanog prostora na kome se prostiru naplatne stanice dosta jednostavnije bi se dobili uticajni parametri nastanka saobraćajnih nezgoda, koji bi figurisali u modelu. S obzirom da Srbija ne poseduje sopstvene modele predikcije, naplatne stanice bi se mogle iskoristiti kao lokacije za izradu osnovnih modela.

Generalno govoreći glavni problemi koji se javljaju na naplatnim stanicama su preplitanje putanja vozila odnosno promene saobraćajnih traka, velike disperzije brzina i nepoznavanje vozača sa tehnologijom naplate. Sa tim u vezi će biti predložen najveći broj mera za unapređenje bezbednosti saobraćaja.

Pre svega sama lokacija naplatnih stanica treba da bude takva da vozačima daje dovoljnu preglednost i vreme za manevrisanje. Odnosno čeonu naplatne stanice treba postavljati u pravcu na ravnim površinama. Izbegavaju se putevi sa većim podužnim i poprečnim nagibom ili horizontalnom zakrivljenošću. Takođe je važno da bliže uticajno područje i okruženje naplatnih stanica bude bez sadržaja koji bi ometali vozače prilikom vožnje (Ayman, Abdel-Aty and Klodzinski, 2001). Blizina raskrsnica, tunela ili mostova takođe nije preporučljiva za lokaciju naplatne stanice, s obzirom da su to već tereni koji po svojim specifičnostima zahtevaju visok nivo vođenja i upravljanja saobraćajem. Osvetljenje naplatne stanice treba da bude takvo da vozačima u svakom trenutku (dan ili noć) obezbeđuje potrebnu vidljivost saobraćajnih traka, znakova, oznaka na kolovozu itd. (Sung and Chai, 2011).

Kada se govori o samoj strukturi naplatne stanice akcenat je na sledećem: Ako se teži smanjenju preplitanja, odnosno minimiziranju promena saobraćajnih traka preporuka je da se:

1. ETC trake postave na oba kraja naplatne stanice u smeru. Tako bi se zadovoljili zahtevi brzih korisnika (koji koriste krajnju levu traku) i teretnih vozila kojima obično nije dozvoljeno da koriste krajnju levu traku. Treba imati u vidu da ova preporuka nije primenljiva kada u neposrednoj blizini naplatne stanice postoji izlazna rampa. U toj situaciji je poželjno izbegavati ETC trake postavljene levo u odnosu na naplatnu stanicu u smeru, jer bi se u suprotnom čak i povećao broj preplitanja i promena saobraćajnih traka. Naravno ovu meru je potrebno prethodno verifikovati ispitivanjem strukture saobraćajnog toka. Odnosno treba utvrditi da li uopšte postoje teška teretna vozila i kakva je procentualna raspodela korisnika po tehnologijama naplate (Pratelli, Diotalvi and Schoen, 2003; Rephlo *et al.*, 2008).

2. Izvršiti fizičko razdvajanje vozila u brzim saobraćajnim trakama, od vozila u manuelnim trakama pre i posle naplatne stanice. Razdvajanje može biti i oznakama na kolovozu ili fizičko razdvajanje u zavisnosti od protoka i od disperzije brzina, imajući u vidu graničnu vrednost od 17 km/h. Odnosno ukoliko je disperzija brzina veća od 17km/h potrebno je izvršiti fizičko razdvajanje ETC traka od manuelnih, dok se u suprotnom to može raditi oznakama na kolovozu (Chung and Yoon, 2017).

Ako se teži harmonizovanju brzina u saobraćajnom toku potrebno je:

1. Postaviti kamere koje bi beležile podatke vozila u prekršaju, bilo da se radi o brzini ili nekom drugom faktoru,
2. Koristiti pomoć službenih lica (policije) kako bi se vršilo upravljanje brzinama,
3. U svakoj saobraćajnoj traci bojilima prikazati važeće ograničenje brzine tako da ga svi vozači mogu uočiti. Moguće je i preporuka je da se koristiti VMS<sup>12</sup> radi veće efikasnosti.
4. Povećati kazne za prekoračenje brzine na naplatnim stanicama,
5. Ugraditi automatske ili poluautomatske rampe u saobraćajnim trakama, nevezano od vrste tehnologije. ETC sa barijerama je upravo vrsta sistema koji koristi automatske rampe, dok manuelan sistem koristi poluautomatske. U oba slučaja su vozači primorani da bar smanje brzinu dok se rampe ne podignu,
6. Ukoliko je potrebno, moguće je fizički-grebanjem kolovoza sprečiti vozače da voze iznad ograničenja,
7. Postavljena ograničenja treba da budu kredibilna i u skladu sa tehničko-eksploatacionim karakteristikama puta,
8. Iscrpati poprečne dijagonalne žute linije sa sve manjim međusobnim rastojanjem na kolovozu. Na taj način bi vozači imali osećaj da ubrzavaju iako bi se kretali konstantnom brzinom,
9. Promovisati ograničenje brzine kroz kampanje, podjednako podsećajući korisnike na posledice koje se mogu dogoditi na naplatnim stanicama ukoliko se postupa suprotno (Rephlo *et al.*, 2008).

Kada je potrebno da se utiče na neodlučnost i zbunjenost vozača ili da se korisnici upoznaju sa primenjenom tehnologijom naplate, predlažu se sledeće mere:

1. Jasno obeležiti koja vrsta tehnologije je na kojoj naplatnoj rampi. Definisati sve tehnologije ukoliko je na nekoj naplatnoj rampi kombinovan način naplate. Ukoliko je potrebno moguće je i na kolovozu bojilima naznačiti koja je traka za koju tehnologiju naplate. Jasno obeležiti koja saobraćajna traka i naplatna rampa nisu u funkciji,
2. Koristiti VMS na užem uticajnom području naplatne stanice i saobraćajnu signalizaciju na prilazu naplatne stanice o nameni saobraćajnih traka i tehnologijama u upotrebi,
3. Na kraju dugih redova (zagušenja) postaviti vozila sa pokretnom saobraćajnom signalizacijom koja označava da tu postoji kolona vozila u čekanju,
4. Posebno razdvojiti mesta na kojima se "dodiruju" saobraćajne trake za suprotne smerove, ukoliko ne postoji razdelno ostrvo,
5. Zabraniti mogućnost postavljanja reklamnog materijala ili bilborda u blizini naplatnih stanica,
6. Koristiti adekvatnu saobraćajnu signalizaciju radi obaveštavanja korisnika o radovima na naplatnoj stanici,
7. Koristiti adekvatnu saobraćajnu signalizaciju za obeležavanje objekata i ostalih elemenata u slučaju smanjene vidljivosti ili vremenskih nepogoda,
8. Postaviti znakove „Ne napuštati vozilo“ na naplatnim rampama,
9. Koristiti barijere ili visoke zidove kako bi se sprečilo zaustavljanje u trakama za brzi saobraćaj ili kontakt sa osobljem naplatne rampe,
10. Instalirati obaveštajne panoe na naplatnim rampama,
11. Edukovati vozače o pravilnoj upotrebi i postavljanju OBU uređaja u vozilu (Rephlo *et al.*, 2010).

---

<sup>12</sup> Variable message sign

Posebno se ističu zaključci autora oko raznovrsnosti primenjenih tehnologija naplate. Preporuka je da se ne koristi veliki broj različitih tehnologija jer one mogu zbuniti vozače. Zapravo sa povećanjem broja tehnologija povećava se i vreme za koje vozač treba da odluči u koju će saobraćajnu traku da ide. S obzirom da se to vreme povećava, raste i verovatnoća za nastanak saobraćajne nezgode jer je vozač skoncentrisaniji na izbor saobraćajne trake nego na vožnju (Mckinnon, 2013; Valdés *et al.*, 2017). Ukoliko se traži najbolje rešenje za različite rasporede tehnologija, preporuka je da se postave naplatne rampe sa kombinovanim načinom plaćanja (Mckinnon, 2013; Hajjseyedjavadi, 2017).

## 5. ZAKLJUČAK

Naplatne stanice predstavljaju važna čvorišta u mreži koja zbog svoje konstrukcije i tehničko-eksploatacionih karakteristika zahtevaju poseban režim i upravljanje saobraćajem. Česte su situacije da se na njima događa veliki broj saobraćajnih nezgoda, tj. procentualno više nego na ostalom delu mreže. Iz tog razloga vršena su različita istraživanja i uticaji na bezbednost saobraćaja na naplatnim stanicama sa ciljem unapređenja nivoa bezbednosti saobraćaja.

Najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda su nezgode u sustizanju/naletanje, bočni sudari i udari u objekat. Različiti autori su došli do sličnog zaključka koji ukazuje da su najveći problemi na naplatnim stanicama veliki broj promena saobraćajnih traka, odnosno preplitanja putanja korisnika, velike disperzije brzina i nepoznavanje korisnika sa samom naplatnom stanicom, raspodelom tehnologija odnosno saobraćajnih traka.

Na samom početku se predlaže definisanje i sprovođenje posebne metodologije za analiziranje bezbednosti saobraćaja na naplatnim stanicama za Srbiju. Takođe se predlaže i izrada inicijalnih modela predikcije saobraćajnih nezgoda na naplatnim stanicama kao efikasnih proaktivnih alata.

Mere koje se odnose na smanjenje broja promena saobraćajnih traka, harmonizaciju brzina u toku i upoznavanje korisnika sa tehnologijama, se mogu realizovati kroz fizičko razdvajanje brzih i sporih vozila, primenu i održavanje saobraćajne signalizacije, primenu mera za "smirivanje saobraćaja", represivne mere (kažnjavanje), postavljanje informacionih tabli, edukovanje korisnika itd.

Takođe se predlaže da naplatne stanice budu sa manjim brojem različitih tehnologija, kako bi se smanjilo vreme odlučivanja vozača. Prilikom izgradnje naplatnih stanica izbegavaju se lokacije sa velikim stepenom zakrivljenosti kolovoza, velikim procentom podužnog ili poprečnog nagiba, blizine tunela, mostova raskrsnica itd. jer su to mesta sa već složenim načinom upravljanja i vođenja saobraćaja.

Uopšteno govoreći aktivno upravljanje brzinama, pravilno vođenje vozača kroz naplatnu stanicu, njihovo edukovanje o primenjenim tehnologijama i, ukoliko je potrebno, obezbeđivanje odvojenog kretanja brzih i sporih korisnika, sigurne su mere ka unapređenju i održavanju postojećeg nivoa bezbednosti saobraćaja.

## 6. LITERATURA

- [1] Abdelwahab, H. T. and Abdel-aty, M. A. (2002) 'Artificial Neural Networks and Logit Models for Traffic Safety Analysis of Toll Plazas', *Transportation Research Record*, 1784(02–2270), pp. 115–125.
- [2] Abuzwidah, M. (2014) *Traffic Safety Assessment of Different Toll Collection Systems on Expressways Using Multiple Analytical Techniques, Doctoral Dissertation.*
- [3] Abuzwidah, M. and Abdel-aty, M. (2017) 'Modelling of traffic safety of traditional mainline toll plazas', *MATEC Web of Conferences*, 7007, pp. 1–8.
- [4] Abuzwidah, M., Abdel-Aty, M. and Ahmed, M. (2014) 'Safety Evaluation of Hybrid Main-Line Toll Plazas', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2435(September), pp. 53–60.

- [5] Ayman, M., Abdel-Aty, M. and Klodzinski, J. (2001) 'Safety Considerations in Designing Electronic Toll Plazas : Case Study', *Institute of Transportation Engineers (ITE)*, (March), pp. 20–24.
- [6] Chan, W. F., Wong, S. C. and Sze, N. N. (2008) 'Traffic crashes at toll plazas in Hong Kong', *Transport (Proceedings of the Ice)*, 161(TR2), pp. 71–76.
- [7] Chung, Y. and Yoon, Y. C. B. (2017) 'Safe Operation Guidelines for Electronic Toll Collection Systems: A Case Study in Korea', *International Journal of Civil Engineering*. Springer International Publishing, (January), pp. 56–63.
- [8] Ding, J., Ye, F. and Lu, J. (2007) 'Impact of ETC on Traffic Safety at Toll Plaza', *Plan, Build, and Manage Transportation Infrastructures in China, 2007*, pp. 695–701.
- [9] Hajiseyedjavadi, F. S. (2017) 'Investigation of Safety At Toll Plazas Through Microsimulation', *Thesis*, (January), p. 48.
- [10] Lipovac, K. (2016) *Osnove bezbednosti saobraćaja, Book*.
- [11] Mckinnon, I. A. (2013) 'Operational and Safety-Based Analyses of Varied Toll Lane Configurations', *Dissertations and Theses*, (May), p. 131.
- [12] Pratelli, A., Diotalalvi, V. and Schoen, F. (2003) 'Optimal Design Of Motorway Toll Stations', *European Transport Conference*, (September), p. 33.
- [13] Rephlo, J. *et al.* (2008) 'Strategies for Improving Safety at Toll Collection Facilities', *Report*, 2010(September), p. 64.
- [14] Rephlo, J. *et al.* (2010) 'Toll Facilities Workplace Safety Study Report to Congress', *Report*, (August), p. 122.
- [15] Sung, J. and Chai, H. (2011) 'Research on Traffic Safety Evaluation Technology of a Highway Toll Station', *International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP)*, pp. 1189–1199.
- [16] Valdés, D. *et al.* (2017) 'Comparative Analysis of Toll Plaza Safety Features in Puerto Rico and Massachusetts Using a Driving Simulator', *Transportation Research Record 2663*, (September), pp. 1–20.
- [17] Yang, H. *et al.* (2014) 'Assessing the Safety Effects of Removing Highway Mainline Barrier Toll Plazas', *Journal of Transportation Engineering*, 140(8), p. 4014038.
- [18] Yang, H., Ozbay, K. and Bartin, B. (2012) 'Effects of open road tolling on safety performance of freeway mainline toll plazas', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2324(January 2001), pp. 101–109.



# ПРИМЕНА И МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ПРОЦЕДУРЕ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У СРБИЈИ

Далибор Пешић<sup>1</sup>, Јелица Давидовић<sup>2</sup>, Ивана Станић<sup>3</sup>

**Резиме:** У свету и Европи све више земаља проблем безбедности саобраћаја покушава да реши пре него што дође до настанка саобраћајне незгоде и последица. Поред тога, развијене земље настоје да идентификују све потенцијално одговорне за настанак саобраћајне незгоде. Односно, све већи део одговорности за настанак саобраћајних незгода се приписује управљачу пута, инвеститору и министарству које је одговорно за послове саобраћаја, јер се управо ови делови система сматрају дужним да свим грађанима гарантују безбедност на путевима у дужим временским периодима. Такав приступ безбедности саобраћаја назива се савременим или проактивним. Како би се проблем безбедности саобраћаја решавао применом савременог приступа, без чекања на саобраћајне незгоде, развијене су различите мере, алати и процедуре. Мере и алати, намењени за савремен приступ управљању безбедности инфраструктуре друског саобраћаја, су осмишљене у циљу сагледавања утицаја пута на безбедност саобраћаја, односно доприноса пута на настанак саобраћајних незгода, као и у циљу спречавања изградње небезбедних путева. У оквиру овог рада ће детаљније бити разматрана примена једне од процедура Road Safety Infrastructure Management (RISM). У оквиру рада биће разматране могућности примене и примена Провера безбедности саобраћаја (RSI) у Србији. Поред тога биће дат и пример примене Провера безбедности саобраћаја (RSI) у Србији.

**Кључне речи:** Провера безбедности саобраћаја, инфраструктура, Србија, савремен приступ, безбедност друског саобраћаја

## USE AND POSSIBILITY OF USE ROAD SAFETY INSPECTION IN SERBIA

Dalibor Pešić<sup>1</sup>, Jelica Davidović<sup>2</sup>, Ivana Stanić<sup>3</sup>

**Abstract:** In the world and in Europe, more and more countries are trying to solve the traffic safety problem before occurring traffic accidents and their consequences. In addition, developed countries are trying to identify all potentially responsible entities for the occurrence of traffic accidents. An increasing share of the responsibility for the occurrence of traffic accidents is attributed to the road manager, the investor and the ministry responsible for traffic affairs, because these parts of the system are considered obliged to guarantee safety to all citizens for the long periods. That approach to traffic safety is called modern or proactive. In order to solve the problem of traffic safety using the modern approach, without waiting for occurring the traffic accidents, various measures, tools and procedures have been developed. Measures and tools designed for modern approach to road safety infrastructure management are designed to review the impact of the road on traffic safety, that is, the contribution of the road to the occurrence of traffic accidents, as well as in order to prevent the construction of unsafe roads. This paper will consider detailed implementation of one of the procedures of the Road Safety Infrastructure Management (RISM). The paper will consider the possibilities of implementation and implementing of the Road Safety Inspection (RSI) in Serbia. In addition, an example of the implementation of the RSI in Serbia will be given.

**Keywords:** Road Safety Inspection, Infrastructure, Serbia, Modern Approach, Road Traffic Safety

### 1. УВОД

Услови пута могу бити фактор који највише доприноси настанку саобраћајних незгода, и то више од прекорачења брзине, конзумирања алкохола или некоришћења сигурносног појаса (Miller и Zaloshnja, 2009, OECD/ITF, 2015). Сматра се да је утицај пута и окружења у садејству са човеком и возилом на настанак саобраћајних незгода, најчешће потцењиван и да утицај пута износи 34% (PIARC, 2003).

Истраживања спроведена у Ирској су показала да пут, односно стање пута, узрокује настанак 39% свих саобраћајних незгода на територији те земље (NRA, 2014). Пут, односно услови пута, имају утицај на 53% свих саобраћајних незгода са погинулима и 38% саобраћајних незгода са повређенима које се догоде у Сједињеним Државама (OECD/ITF, 2015).

<sup>1</sup> Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs),

<sup>2</sup> Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, [jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs](mailto:jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs). - Аутор задужен за кореспонденцију

<sup>3</sup> Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, [ivanas47@gmail.com](mailto:ivanas47@gmail.com),

Како би управљале безбедношћу пута, односно утицајем пута на настанак саобраћајних незгода, а тиме и целокупним системом безбедности саобраћаја развијене земље су осмислиле и развиле програм унапређења безбедности који је примењиван на саобраћајној инфраструктури како би се смањио велики број погинулих на појединим деоницама (Elvik, 2006.; PIARC, 2013.; OECD/ITF, 2013). Процедуре управљања безбедношћу инфраструктуре друмског саобраћаја (RISM) су ефективни и ефикасни алати који ће помоћи управљачима пута да смање број саобраћајних незгода и жртава, јер стандарди пројектовања инфраструктуре сами не могу да гарантују безбедност саобраћаја у свим условима (OECD/ITF, 2015). Ове процедуре имају за циљ унапређење безбедности саобраћаја у различитим фазама века трајања саобраћајне инфраструктуре. Неке од њих се могу применити на постојећу инфраструктуру, чиме би се омогућио више реактивни приступ; док се друге користе у раним фазама (тј. планирање и пројектовање) омогућавајући проактивнији приступ. Развијањем и применом оваквих процедура се земље приближавају савременом, односно проактивном приступу у безбедности саобраћаја који настоји да спречи настанак саобраћајних незгода.

RISM процедуре помажу у проналажењу безбедносно оријентисаних решења, пре свега на економичан начин, у свим фазама током века трајања саобраћајне инфраструктуре (Elvik, 2010). Ове процедуре уз правилну примену имају велики потенцијал у побољшању безбедности саобраћаја. Међутим, Elvik (2010) закључује да је однос између употребе RISM процедура и безбедности друмског саобраћаја нејасан и да опширнија примене процедура не мора аутоматски обезбедити врхунске перформансе безбедности друмског саобраћаја. Разлог за то је, препоруке и резултати RISM нису увек спроведени због финансијских недостатка и политичких неразумевања. Наведени проблеми могу спречити примену ових процедура, поготово у земљама које нису развијене.

Једна од најпопуларнијих RISM процедура која се примењује и спроводи у Србији је Провера безбедности саобраћаја. У Србији је Законом о безбедности саобраћаја на путевима (2009) предвиђена обавеза спровођења савремених процедура за унапређење безбедности путева. Према Закону о безбедности саобраћаја на путевима управљач је дужан да у периоду од пет година за све деонице државних путева спроведе провере безбедности саобраћаја, поред тога управљач је дужан да спроведе циљане провере безбедности саобраћаја за најугроженије деонице државних путева и осталих путева према потребама.

Имајући у виду значај приказаног алата провере безбедности саобраћаја у овом раду је приказана процедура примене овог алата, затим је дат пример контролне листе која се може користити у Србији, садржај извештаја о Провери безбедности саобраћаја са примерима. Модел који је приказан у овом раду може се користити за спровођење процедуре Провере безбедности саобраћаја на свим путевима у Србији.

## 2. ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Провера безбедности саобраћаја (RSI) представља формализовану превентивну проверу безбедности саобраћаја на постојећим путевима, а за пројекте нових путева представља RISM алат који следи након последње фазе спровођења RSA методе након отварања пута (OECD/ITF, 2015). Према PIARC-овој дефиницији (PIARC, 2012), RSI представљају систематичне прегледе одабраних путева за које нису потребни подаци о саобраћајним незгодама.

Процедура провере безбедности саобраћаја се може спроводити периодично и увек од стране независних и добро обучених експерата (или експертских тимова) и подразумева оцењивање бројних параметара, везаних за безбедност саобраћаја, током посете посматраних локација. Добра особина процедуре је што се може спроводити и током изградње пута, а не само након изградње. Такође, велика предност процедуре је што је предвиђена за целокупну градску мрежу, али и ванградску мрежу као и аутопут (PIARC, 2013; OECD/ITF, 2015).

Контролне листе су развијане од стране PIARC-а (2012) и препоруке су да се првобитно користе стандардизоване контролне листе, а затим да се кроз праксу развијају контролне листе које су специфичне за мрежу путева земље у којој се процедура спроводи. Пример структуре контролне листе за проверу безбедности саобраћаја је приказан у табели 1.

Резултат Провере безбедности саобраћаја јесте извештај о уоченим опасностима и проблемима на путевима и недостацима пута са аспекта безбедности саобраћаја, на који је наручилац (управљач пута) дужан да одговори. PIARC препоручује да се као обавеза на извештај који независан тим достави управљачу пута уведу извештаји у којима управљач одговара на уочене проблеме са тачно наведеним датумима отклањања уочених проблема (PIARC, 2012).

**Табела 1. Пример структуре контролне листе за проверу безбедности саобраћаја (PIARC, 2012)**

<b>Структура контролних листи</b>	
<b>Општи подаци о путу</b>	
<b>Дужина</b>	Око ..... км, процент у насељу и ван насеља
<b>Максимална брзина</b>	... km/h ван насеља, .... km/h у насељу
<b>Саобраћајни подаци</b>	Скорашњи и предвиђени обим саобраћаја
<b>Подаци о незгодама</b>	Ако их има
<b>Карактеристике пута у погледу активне безбедности, избегавања људских грешака и саобраћајних незгода</b>	
<b>Карактеристике геометријског пројектовања</b>	
<b>1. Функција пута</b>	Да ли је пут погодан за функцију коју обавља, да ли има комбиноване функције, да ли су ограничења брзине одговарајућа, постоји ли неки утицај на околну земљиште?
<b>2. Попречни пресек</b>	Да ли је пут довољно широк за саобраћај који се на њему одвија, какво је стање коловоза, да ли су зауставне траке одговарајуће, али не сувише широке, да ли је пут пројектован тако да се вода не задржава на површини, тј., да ли је дренажа одговарајућа, да ли је коловоз у жељеном стању?
<b>3. Пружање трасе</b>	Колико има хоризонталних кривина, почиње ли нека на врху узвишења, има ли вертикалних кривина, да ли је пројектовање кривина усаглашено, да ли су прегледне дужине одговарајуће?
<b>4. Укрштања</b> 4.1 Геометрија 4.2 Сигнализација 4.3 Железнички прелази	Да ли су ракрснице прилагођене обиму саобраћаја, постоје ли саобраћајни знакови и да ли су довољно видљиви и препознатљиви, да ли су дужине трака за скретање довољне дужине. Размотрити и локалне прилазне путеве и укрштања путева и железничких пруга.
<b>5. Услуге</b> 5.1 Одморишта 5.2 Контрола приступа, градске скупштине, болнице, цркве и гробља, супермаркети, биоскопи, итд. 5.3 Јавни превоз	Има ли довољно простора и трака за убрзавање/успоравање у услужним областима/одмориштима, како је контролисан приступ другим услугама, као што су школе, болнице, супермаркети, ресторани, итд. Да ли би требало размотрити и просторе за паркинг и утовар као и објекте јавног превоза, као што су аутобуска стајалишта, њихов положај у односу на уличну расвету. Да ли су ови простори добро заштићени, узимајући у обзир потребе путника?
<b>6. Потребе рањивих учесника у саобраћају</b>	Разматрати потребе пешака, бициклиста, возача скутера/мопеда и мотоциклиста.
<b>Опрема пута</b>	
<b>7. Саобраћајни знакови, ознаке и осветљење</b>	Да ли су саобраћајни знакови и ознаке на коловозу одговарајући и јасни, да ли је осветљење добро или да ли је потребно?
<b>8. Окружење и пасивна безбедност</b> 8.1 Опраштајући путеви 8.2 Инжењерске структуре 8.3 Растине 8.4 Остале препреке 8.5 Мере пасивне безбедности	Које су структуре, стрми нагиби и насипи, вегетација, дрвеће и друге препреке сувише близу путева, тако да могу да представљају проблем? Постоје ли пропусти у пасивном систему безбедности и/или је сам тај систем препрека?

RSI представља моћан алат који доприноси минимизирању вероватноће настанка саобраћајних незгода са тешким последицама на датом одсеку/деоници пута под условом да се након RSI имплементирају адекватне мере. Студије вредновања су указале на повољне утицаје RSI у погледу смањења броја саобраћајних незгода. Однос трошкова и користи зависи од врсте имплементираних мера (Elvik, 2006). Пожељно је да се након првих година имплементације надгледа утицај мера које су резултат RSI.

Препорука је да RSI извештај садржи сажет опис провереног пута (путева), његове локације, функције и специфичности, као и детаља о самој провери и инспекцијском тиму. Сажет извештаја је матрица недостатака који су откривени током процедуре. Матрица обично садржи следеће податке за сваки недостатак (PIARC, 2012):

- тачну локацију (на пример, А1, „смер ка северу, km 22,4 – 25,7“).
- конкретан проблем безбедности саобраћаја (на пример, „нема заштитне ограде у разделном појасу“).
- једну или неколико опција за корективне мере – могуће је да различито коштају и да имају различите хоризонте имплементације (на пример, „поставити заштитну ограду у разделном појасу или – као први корак – проширити удвојену разделну линију звучним тракама“).
- очекивано унапређење које ће донети мера (мере) (на пример, „мања вероватноћа чеоних судара“).
- препоручени временски оквир за имплементацију (краткорочни/средњорочни/ дугорочни) (на пример, „проширена удвојена разделна линија: краткорочни; заштитна ограда у разделном појасу: средњорочни“).
- графичке приказе (попут цртежа и/или слике и/или мапе).

### 3. ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У СРБИЈИ

Анализом светске литературе, као и великог броја научних и стручних радова у Србији који третирају пут као фактор безбедности саобраћаја уочено је да је Провера безбедности саобраћаја један од популарних алата. Наиме од 2005. године у Србији се почиње са развијањем алата који носи назив Провера безбедности саобраћаја (Липовац и др., 2006., Ранковић и др., 2013.).

Анализом досадашњих искустава у оквиру овог рада је дат предлог контролне листе за Србију, такође дате су смернице шта треба да садржи извештај о Провери безбедности саобраћаја у Србији као и смернице за унапређење спровођења процедуре Провера безбедности саобраћаја.

#### 3.1. Предлог структуре контролне листе за примену у Србији

Контролне листе су значајне за спровођење RSI, посебно на просторима где овај алат није често примењиван. Пример структуре контролне листе за RSI у Србији (Табела 2) је допуњен пример структуре контролне листе за RSI (PIARC, 2012), у којем су додате смернице у складу са проблемима на путевима у Србији. Контролне листе треба да садрже детаљне смернице свих елемената приказаних у структури контролне листе:

- Општи подаци о путу (дужина деонице за коју се ради RSI, ограничење брзине, подаци о саобраћајном оптерећењу, подаци о саобраћајним незгодама)
- Карактеристике пута у погледу активне безбедности, избегавања људских грешака и саобраћајних незгода:
  1. Функција пута
  2. Попречни пресек
  3. Пружање трасе
  4. Укрштања
  5. Услуге
  6. Потребне рањивих учесника у саобраћају
- Опрема пута:
  7. Саобраћајни знакови, ознаке на коловозу и улична расвета
  8. Окружење и пасивна безбедност

**Табела 2. Пример структуре контролне листе за проверу безбедности саобраћаја у Србији**

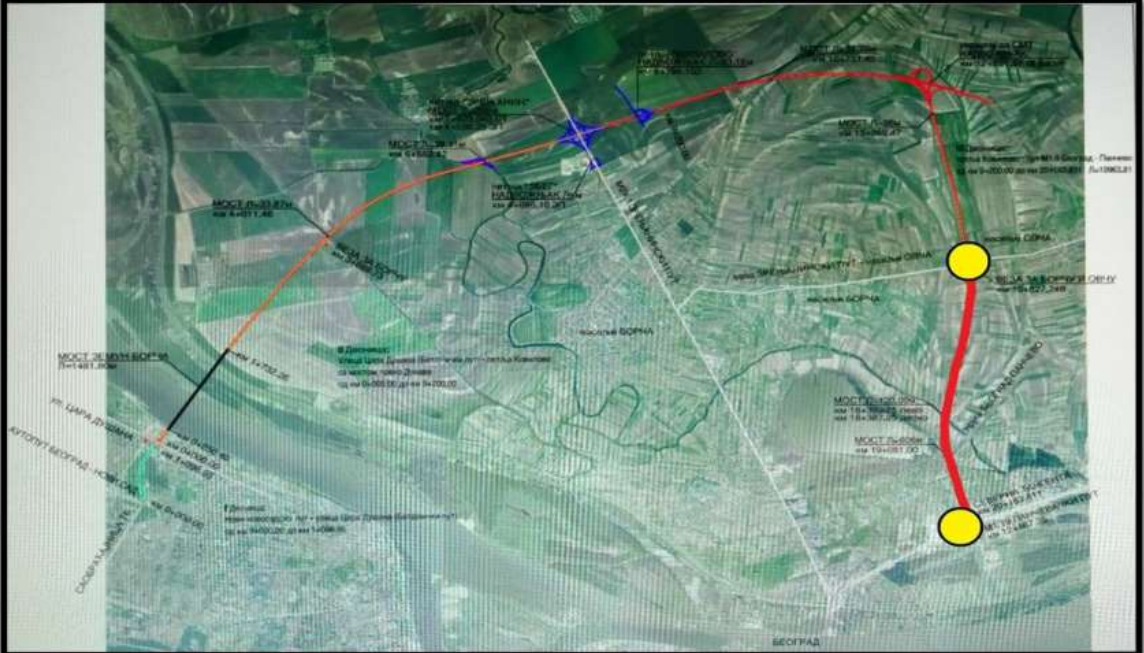
<b>Структура контролних листи</b>	
<b>Општи подаци о путу</b>	
<b>Дужина</b>	Око ..... км, процент у насељу и ван насеља
<b>Максимална брзина</b>	... км/х у насељу, .... км/х ван насеља
<b>Саобраћајни подаци</b>	Тренутни (на основу аутоматских бројача саобраћаја) и предвиђени обим саобраћаја
<b>Подаци о незгодама</b>	Да ли су се на тој деоници догодиле саобраћајне незгоде? Навести тачне координате тих незгода. Навести тежине последица, тип саобраћајне незгоде, метеоролошке услове у тренутку незгоде.
<b>Карактеристике пута у погледу активне безбедности, избегавања људских грешака и саобраћајних незгода</b>	
<b>Карактеристике геометријског пројектовања</b>	
<b>1. Функција пута</b>	Да ли је пут погодан за функцију коју обавља, да ли има комбиноване функције, да ли су ограничења брзине одговарајућа, постоји ли неки утицај на околно земљиште?
<b>2. Попречни профил</b>	Да ли је пут довољно широк за саобраћај који се на њему одвија, какво је стање коловоза, да ли су зауставне траке одговарајуће, али не сувише широке, да ли је пут пројектован тако да се вода не задржава на површини, тј., да ли је дренажа одговарајућа, да ли је коловоз у жељеном стању?
<b>3. Пружање трасе</b>	Колико има хоризонталних кривина, почиње ли нека на врху узвишења, има ли вертикалних кривина, да ли је пројектовање кривина усаглашено, да ли су прегледне дужине одговарајуће?
<b>4. Укрштања</b> 4.1 Геометрија 4.2 Сигнализација 4.3 Железнички прелази	Да ли су ракрснице прилагођене обиму саобраћаја, да ли је њихова геометрија одговарајућа. Постоје ли саобраћајни знакови и да ли су довољно видљиви и препознатљиви, да ли су у складу са важећим правилником о саобраћајој сигнализацији? Да ли постоје траке за лева скретања, да ли постоје посебне траке за десна скретања и да ли су одговарајуће дужине? Размотрити и локалне прилазне путеве и укрштања путева и железничких пруга.
<b>5. Услуге</b> 5.1 Одморишта 5.2 Контрола приступа, градске скупштине, болнице, цркве и гробља, супермаркети, биоскопи, итд. 5.3 Јавни превоз	Има ли довољно простора и трака за убрзавање/успоравање у услужним областима/одмориштима? Како је контролисан приступ другим услугама, као што су школе, болнице, супермаркети, ресторани, итд. Да ли има простора за паркинг и утовар/истовар у услужним објектима? Како су регулисана стајалишта за јавни превоз, да ли су уређена у складу са обимом саобраћаја, да ли долази до накупљања возила и стварања гужви у саобраћају. Каква је инфраструктура за путнике (места где чекају превоз, да ли постоји и у којем је стању улична расвета, да ли су ови простори добро заштићени, узимајући у обзир потребе путника?
<b>6. Потребе рањивих учесника у саобраћају</b> 6.1. Пешаци 6.2. Деца – пешаци 6.3. Старији учесници у саобраћају - пешаци 6.3. Бициклисти 6.4. Возачи двоточкаша	Да ли постоји одговарајућа инфраструктура за пешаке. Да ли постоје и у каквом стању су тротоари? Како су уређене зоне школа? Да ли су каналисани пешаци у зони школе? Да ли су пешачке инфраструктуре прилагођене деци и старим лицима? Да ли постоје бициклистичке стазе? Да ли су заштићене од моторног саобраћаја?
<b>Опрема пута</b>	
<b>7. Саобраћајни знакови, ознаке на коловозу и улична расвета</b>	Да ли су саобраћајни знакови и ознаке на коловозу одговарајући и јасни и у складу са важећим правилником о саобраћајној сигнализацији. Да ли је улична расвета довољна и да ли је постављена на свим потребним локацијама?
<b>8. Окружење и пасивна безбедност</b> 8.1 Опраштајући путеви 8.2 Инжењерске структуре 8.3 Растиње 8.4 Остале препреке 8.5 Мере пасивне безбедности	Које су структуре, стрми нагиби и насипи, вегетација, дрвеће и друге препреке сувише близу путева, тако да могу да представљају проблем? Постоје ли пропусти у пасивном систему безбедности и/или је сам тај систем препрека (нпр. Да ли су заштитне ограде постављене и да ли су одговарајуће)?

### 3.2. Основни елементи извештаја о Провери безбедности саобраћаја

Основни елементи извештаја о Провери безбедности саобраћаја на путевима према препорукама (PIARC, 2012) су:

#### 1. Увод - информације о разматраном путу или деоници пута, о саставу тима за проверу, датуму, времену и условима у току провере

Пример:

<p><b>УВОД:</b></p> <p>Деоница на којој је спроведена Провера безбедности саобраћаја је део државног пута IБ реда (према старој категоризацији пут број 13), од раскрснице са везом Зрењанински пут – насеље Овча до укрштања са Панчевачким путем (Е-70), у дужини од 4.33 km.</p> <p>Деоница је и део саобраћајнице Северна тангента, која је део прстена око Београда а чија се траса пружа од улице цара Душана у Земуну (од укрштања са саобраћајницом Т-6), прелази новим мостом (Пупинов мост) реку Дунав и правцем север - североисток долази до Зрењанинског пута са којим се укршта северно од гробља „Збег“. Од Зрењанинског пута траса коридора, границом ГП-а Београда 2021. наставља правцем према североистоку обилазећи са северне стране насеље Овчу. На удаљености од око 5,5 km од укрштања са Зрењанинским путем коридор се спушта на југ према Панчевачком путу где се повезује са трасом Спољне магистралне тангенте која прелази мостом преко Дунава на подручје града са друге стране реке. При анализи постојећег стања и евидентираних проблема на истој коришћене су стационаже тачака према Северној тангенти. Стационаже тачака које дефинишу почетак и крај деонице су 15+827.748 km и 20+163.811 km.</p> <p><b>Тим за вршење Провере безбедности саобраћаја:</b></p> <p>Чланови тима: 1. _____</p> <p>2. _____</p> <p>3. _____</p>
 <p>Макролокација на којој је вршена Провера безбедности саобраћаја</p>

Приказани пример представља уводно поглавље које садржи информације о деоници на којој је вршена RSI. Поред макролокације, пожељно је приказати и микролокацију истраживања.



## 2. Део А - Подаци о пројекту - функција пута, стање саобраћаја, стандарди на путу, окружење

### Пример:






А: ПОДАЦИ О ПУТУ	
Град:	Београд
Категорија пута:	ІБ реда
Локација:	Део саобраћајнице Северна тангента
Деоница:	Од раскрснице са везом Зрењанински пут – насеље Овча до раскрснице са Панчевачким путем (Е-70)
Дужина:	Дужина деонице износи 4,33 km
Попречни профил:	Попречни профил споредних праваца, састоји се од по једне траке по смеру ван зоне раскрснице, а у зони раскрснице на прилазима од једне траке намењене левом скретању и једне мешовите саобраћајне траке за токове право и десно, осим код укрштања са Панчевачким путем где на прилазу 2 постоје три саобраћајне траке, од којим се два воде токови право а једном мешовитом возила јавног градског саобраћаја и токови у десном скретању док на прилазу 4 постоје четири саобраћајне траке од којих се једном воде токови лево, два токови право док је једна трака мешовита и намењена је кретању возила јавног градског саобраћаја право и за десна скретања.
Ограничење брзине:	Целом дужином деонице брзина кретања је, знаковима вертикалне сигнализације, ограничена на 50 km/h
ПГДС:	7.328 ПАЈ
Подаци о саобраћајним незгодама:	Увидом у базу података о обележјима безбедности саобраћаја Агенције за безбедност саобраћаја током 2016. године евидентирано је, на деоници, 15 саобраћајних незгода, од којих 13 са повређеним лицима и 2 са материјалном штетом. Просторна расподела саобраћајних незгода за 2016. годину показује да су управо раскрснице, локације накупљања саобраћајних незгода и то са повређенима, од којих су три евидентирани на раскрсници са везом Зрењанински пут – насеље Овча, две у широј зони раскрснице са улицом Заге Маливук и четири на ужем подручју укрштања са Панчевачким путем, где је евидентирана и једна саобраћајна незгода са материјалном штетом.




У овом примеру је наведено како се могу представити подаци о путу. Уколико су расположиви детаљнији подаци о саобраћајним незгодама, потребо је и њих приказати.

## 3. Део Б - Недостаци или пропусти који су утврђени

### Пример:

<p>1. Функција пута</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основни проблем на деоници јесте нарушена функција исте, која се осим вођења транзитних, пролазних токова и теретног саобраћаја изван градског језгра истовремено користи и за локални саобраћај, при чему се веза са локалном секундарном мрежом (приступне улице) остварује преко површинских раскрсница (раскрсница у нивоу). То умногоме може смањити ефикасност ове регионално и национално важне руте (повећање времена путовања за транзитне токове услед прекидања континуитета истих на главном правцу).</li> </ul>  <p style="text-align: center;"><i>Проверавању деоницу карактерише мешовити саобраћај</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Додатни проблем се јавља јер је саобраћај на анализираној деоници мешовит - од бициклиста до тешких теретних возила.</li> <li>....</li> </ul>
-------------------------	--

<p><b>2. Попречни профил</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Попречни профил се састоји из две коловозне траке, ширине 9,5 m (две саобраћајне траке ширине 3,5 m и једна трака за принудно заустављање ширине 2,5 m) и разделног острва, ширине 2 m, који се на делу пута у насипу проширује за ширину банке од 1,5 m (слика лево)</li> <li>• Код укрштања са Панчевачким путем, на пешачком прелазу, уочавају се оштећења коловоза у виду ударних рупа које су опасне и за пешаке и за возаче (слика десно)</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;"><i>Попречни профил</i> <span style="margin-left: 200px;"><i>Оштећење коловоза</i></span></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ...</li> </ul>
<p><b>3. Пружање трасе</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Уочен је ефекат преломљене нивелете за случај мале конкаве за пут у правцу на коју се наставља прекинута визура прегледности (слика лево).</li> <li>• У пружању трасе уочено је тзв. „лепршање или лелујање“ нивелете пута за пут у правцу, посматрано у смеру пада стационаже, између стационаже тачака 19+384.00 km и 20+163.811 km, на које се настављају погрешно пројектовани елементи нивелете тј. прекид визуре прегледности због конвексне кривине малог радијуса на правцу (кратке конвексне кривине у правцу) што за последицу, у визуелном смислу резултира вертикалним ломом нивелете (слика десно).</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;"><i>Преломљене нивелете, смањена прегледност</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ...</li> </ul>
<p><b>4. Укрштања</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возачи нису на време обавештени о забрани левог скретања на раскрсници са везом Зрењанински пут – насеље Овча (слика испод)</li> <li>• У зони раскрсница пешаци нису заштићени одговарајућим мерама</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Забрањено лево скретање на раскрсници са везом Зрењанински пут – насеље Овча</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ...</li> </ul>

<p><b>5. Услуге</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Утврђене су неравнине на аутобуским стајалиштима.</li> <li>• На аутобуским стајалиштима није довољно заштићен простор за путнике</li> <li>• Нема обележен пешачки прелаз аутобуском стајалишту у зони раскрснице са Панчевачким путем</li> <li>• ...</li> </ul>	
<p><b>6. Потребе рањивих учесника у саобраћају</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Велика заступљеност бициклиста у саобраћајном току, а нема обележених бициклических стаза (слика лево). Имајући у виду да је за ову деоницу карактеристичан мешовити саобраћај потребно је изградити бициклическе стазе које су одвојене од моторног саобраћаја.</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Уочен је масовни прелаз коловоза од стране пешака ван обележеног пешачког прелаз на раскрсници са Панчевачким путем (слика десно), које је потребно онемогућити физичким препрекама.</li> <li>• ...</li> </ul>
<p><b>7. Саобраћајни знакови, ознаке на коловозу и улична расвета</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поједини саобраћајни знакови су прљави, искривљени или нису довољно уочљиви.</li> <li>• Ознаке на коловозу на многим местима нису добро уочљиве, односно избледеле су. У циљу унапређење безбедности саобраћаја потребно је обновити ознаке на коловозу, преиспитати позиције вертикалне сигнализације, очистити односно заменити дотрајалу сигнализацију.</li> </ul>	 <p><i>Оштећена, избледела и неправилно постављена саобраћајна сигнализација</i></p>

<p><b>8. Окружење и пасивна безбедност</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• У дужини од око 65 m, постоји канал који може представљати опасност по безбедност саобраћаја на овом делу пута, с обзиром да не постоји заштитна ограда (слика лево).</li> <li>• Уочен је велики број бетонских елемената поред пута (слика десно).</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Недостаје заштитна ограда</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Велики број бетонских елемената непосредно поред пута</i></p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ...</li> </ul>
--	---

У овом примеру за сваки елемент је приказан по један, евентуално два уочена недостатка. На посматраној деоници их је било много више, а неки су се и понављали на различитим стационажама. Приликом израде извештаја о RSI потребно је навести све уочене недостатке, а у додатку представити табеле са координатама и предложеним мерама за уочене недостатке.

**4. Део Ц - Предлози и могућности за противмере – краткорочне (нпр., знакови, принуда), средњорочне (нпр., смањење брзине применом мера за умиривање саобраћаја, пешачка острва, итд.) и дугорочне (често потребне веће инвестиције). Ако је могуће, требало би дати кратку оцену трошкова.**

Пример:

**Краткорочне мере:**

- знаковима вертикалне сигнализације раније информисати возаче теретних возила о режиму забране кретања ове категорије возила према Зрењанинском путу,
- поставити заштитну ограду на разделном острву дуж целе деонице (исту извести као једнострану металну (челичну) са одвојеним деловањем) са изузећем на објектима (денивелације са пругом и воденим током) и укрштањима,
- поставити заштитну металну ограду са дистанцером и то на потезима где иста не постоји (смер раста стационаже: 15+827.748 km – 16+229.748 km, 16+324.748 km – 18+097.25 km, 19+529.00 km – 20+163.811 km, супротан смер: 15+827.748 km – 18+097.25 km, 19+529.00 km – 20+163.811 km),
- ...

**Средњорочне мере:**

- поновити RSI ради провере имплементације краткорочних мера,
- измештање аутобуских стајалишта са коловоза на Панчевачком путу и лоцирање истих ван коловоза према пројектно-техничким елементима презентованим у тачки 3 (евидентирани недостаци пута),
- .....

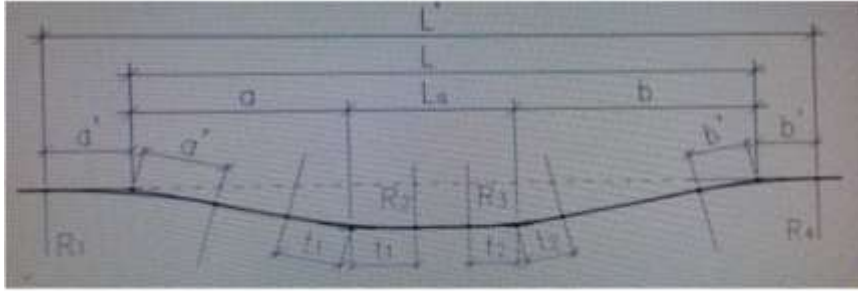
**Дугорочне мере:**

- Дугорочне мере би обухватиле веће грађевинске интервенције на укрштањима са везом Зрењанински пут – насеље Овча и са Панчевачким путем, уз одабир адекватног облика денивелационе раскрснице којима би се првенствено омогућио континуитет (непрекинутост) токова на главном правцу (деоница која је предмет анализе), смањило време путовања за ове токове, смањили трошкови.
- ...

**5. Додатак - Мапе и илустрације (у циљу објашњавања резултата могу се користити различите врсте илустрација, међу којима су фотографије и скице противмера и битних места).**

Пример:





Минимални хоризонтални технички елементи аутобуског стајалишта,  $l$  = мин ширина БУС стајалишта

### 3.3. Смернице за унапређење спровођења процедуре Провере безбедности саобраћаја

У циљу унапређења процедуре RSI потребно је, на усагласити изглед извештаја о RSI, усагласити изглед контролних листа, специјализовати тимове за RSI. Како би овај алат имао значаја потребно је применити и пратити ефекте мера предложених у извештају о RSI.

## 4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Управљачи пута су одговорни за безбедност путне инфраструктуре и, сами по себи, имају главну улогу за унапређење инжењерских аспеката безбедности саобраћаја, заједно са произвођачима аутомобила. Постоје значајне могућности, програми и алати за успостављање управљања безбедношћу инфраструктуре. Не постоји принцип „једна величина одговара свему“ за програме безбедности саобраћаја. Важно је извршити бенчмаркинг добре праксе у другим државама ради проналажења могућности за смањење и превенцију погинулих и тешко повређених у саобраћајним незгодама. Између 1980. и 2000. године, у Шведској, Холандији и Уједињеном Краљевству, инфраструктурне мере у комбинацији са мерама за управљање брзином утицале су на смањење броја погинулих међу рањивим учесницима у саобраћају за око једну трећину (FIA Foundation, 2010).

Према истраживањима OECD/ITF-а 2011. године само 16 земаља Европе је имало законом регулисане процедуре RSI, или процедуре које садрже елементе RSI. Земље у Европи које се издвајају по примени и развоју ове процедуре су Аустрија, Норвешка и Ирска (NRA, 2014; NPRA, 2014). Између ове три земље постоји јако велика сличност у вези са процедурама које користе. Поред поменутих, у Европи значајне напоре у примени алата RSI улажу Португал и Италија. Проблем са којим се сусреће Италија је делимична примена RSI, односно, на територији Италије RSI се претежно примењује на Сицилији и јужним областима ове земље.

У Србији је још 2009. године, Законом о безбедности саобраћаја на путевима предвиђена обавеза спровођења савремених процедура за унапређење безбедности путева, односно управљач је дужан да у периоду од пет година за све деонице државних путева спроведе провере безбедности саобраћаја, поред тога управљач је дужан да спроведе циљане провере безбедности саобраћаја за најугроженије деонице државних путева и осталих путева према потребама.

Међутим, још увек овај алат није у довољној мери заступљен у Србији. Схватајући тај проблем, у раду је приказан садржај Извештаја о RSI са изтакнутим примерима, као и структура контролне листе. Неопходно је радити на што широј примени елемената као што је RSI, са циљем унапређења безбедности саобраћаја на путевима. Кроз овакве процедуре и инструменте пружена је могућност свим државама да отклоне проблеме на мрежи путева пре него што дође до губитка људског живота. Такође, потребно је радити на усаглашавању прописа који се односе на примену ове процедуре широм света. Посебно када је реч о обавези спровођења процедуре на целокупној мрежи саобраћајница, али и о увођењу обавезних провера имплементираних мера. Наиме, највећи број земаља нема обавезу да имплементира предложена решења, а самим тим ни обавезу да проверава како та решења утичу на безбедност саобраћаја. Оваква законска решења у великој мери обезвређују значај употребе и примене алата попут RSI. Како би се квалитетно спроводила RSI потребно је обезбедити квалитетан, стручан кадар који је специјализован за овај посао. На крају, доносиоци одлука морају бити свесни да уколико се не имплементирају мере предложене на основу RSI овај алат губи смисао.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Elvik, R., 2010. Assessment and applicability of road safety management evaluation tools: Current practice and state-of-the-art in Europe, Institute of Transport Economics (TØI), Oslo
- [2] Elvik, R., 2006. Road safety inspections: safety effects and best practice guidelines. TOI Report, Oslo.
- [3] FIA Foundation, 2010. Safe Roads for Development: A Policy Framework for Safe Infrastructure on Major Road Transport Networks, FIA Foundation, London.
- [4] National Road Authority (NRA)., 2014. NRA HD 17 Road Safety Inspections – Road Safety Inspection Guidelines <http://www.tiiipublications.ie/library/AM-STY-06043-02.pdf>
- [5] Miller, TR. Zalosnja, E., 2009. Cost of crashes related to road conditions, United States. Ann. Adv. Automot. Med. 2009 Oct;53: 141-53.
- [6] OECD/ITF, 2015. Road Safety Annual Report 2015 (IRTAD), OECD/ITF, Paris <http://www.oecd.org/environment/itf-transport-outlook-2015-9789282107782-en.htm>
- [7] OECD/ITF, 2013. Road Safety Annual Report 2013 (IRTAD), OECD/ITF, Paris, <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/13IrtadReport.pdf>.
- [8] Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) / International Transport Forum (ITF), 2008. Towards Zero Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach, OECD Publishing, <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/08TowardsZeroE.pdf>.
- [9] PIARC (World Road Association) Technical Committee 3.1 Road Safety, 2012. Road safety inspection guideline for safety checks of existing roads, ISBN 978-2-84060-259-8, <http://www.piarc.org/en/order-library/18265-en2>.
- [10] World Road Association (PIARC), 2015. Road safety inspection guideline for safety checks of existing roads, <https://www.piarc.org/en/publications/>
- [11] World Road Association (PIARC), 2013. Road accident investigation guidelines for road engineers, Report 2013R07EN, World Road Association (PIARC), Paris, France. <https://www.piarc.org/en/order-library/19593-en> [Road%20accident%20investigation%20guidelines%20for%20road%20engineers.htm](https://www.piarc.org/en/order-library/19593-en)
- [12] World Road Association (PIARC), 2003. Technical Committee 16 Network Operations , Road Network Operations Handbook <https://www.piarc.org/en/order-library/4379-en-Road%20Network%20Operations%20Handbook.htm>
- [13] Закон о безбедности саобраћаја на путевима. 2009 Службени гласник Републике Србије број 41/09, Београд, члан 156.



## АЛАТИ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ ПУТА

Далибор Пешић<sup>1</sup>, Крсто Липовац<sup>2</sup>, Борис Антић<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, [k.lipovac@gmail.com](mailto:k.lipovac@gmail.com)

<sup>3</sup> Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, [banticc@gmail.com](mailto:banticc@gmail.com)

**Резиме:** *Данашњи приступ управљања безбедности саобраћаја се своди да се у свим фазама, почев од пројектовања до експлоатације пута, узима у обзир безбедност саобраћаја и одговарајућим алатима врши унапређење безбедности пута. Који ће од алата бити примењен зависи пре свега да ли је идеја деловати превентивно или реактивно, али зависи и од тога да ли се пут налази у фази планирања и пројектовања или пак у фази експлоатације (SEETO, 2009). У том смислу, у свету, али и код нас су развијени и у примени су бројни алати за унапређење безбедности пута, међу којима су најзначајнији: Оцена утицаја новог пута на безбедност саобраћаја, Ревизија безбедности саобраћаја, Програм оцене путева, Провера безбедности саобраћаја, Управљање црним тачкама, Независне оцене утицаја пута на настанак незгода са најтежим последицама, Дубинске анализе саобраћајних незгода, Безбедност саобраћаја путне мреже. Циљ оваквог приступа унапређења безбедности пута је да се сталним праћењем и анализама, током целог периода животног циклуса једног пута, уочавају проблеми који се јављају у саобраћају и који могу довести до инцидентних ситуација, чиме је омогућено деловање, односно предузимање одређених мера за спречавање настанка саобраћајних незгода.*

**Кључне речи:** *безбедност саобраћаја, саобраћајне незгоде, пут, алати, животно циклус пута.*

## TOOLS FOR IMPROVEMENT OF ROAD SAFETY OF ROAD

Dalibor Pešić<sup>1</sup>, Krsto Lipovac<sup>2</sup>, Boris Antić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, [k.lipovac@gmail.com](mailto:k.lipovac@gmail.com)

<sup>3</sup> University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, [banticc@gmail.com](mailto:banticc@gmail.com)

**Abstract:** *Today's approach to road safety management is to ensure that in all phases, from design to exploitation, road safety will be taken into account and improves road safety through appropriate tools. Which tool will be applied depends primarily on whether the idea is preventive or reactive, but also depends on whether the path is in the planning and design phase or at the stage of exploitation (SEETO, 2009). In this sense, in the world, but also in our country, a number of tools for improving road safety have been developed and implemented, among which the most important are: Road Safety Impact Assessment, Road Safety Audit, Road Assessment Program, Road Safety Inspection, Black Spot Management, Independent impact assessment of the road to the occurrence of accidents with the most severe consequences, In-Depth analysis of road accidents, Network Safety Management. The aim of this approach to improving the safety of the road is to continuously monitor and analyze, throughout the entire life cycle of the road, the problems that occur in traffic and which can lead to incidental situations, which enables the operation or taking certain measures to prevent the creation of road accident.*

**Keywords:** *road safety, road accidents, road, tools, road life cycle.*

### 1. УВОД

Према извештајима Светске здравствене организације, број жртава у саобраћајним незгодама се мери милионима, док саобраћајне незгоде прете да постану водећи узрок смрти у свету (WHO, 2015). У последњих десет година у Републици Србији, саобраћајне незгоде просечно на годишњем нивоу однесу у просеку око 600 живота (2017. године – 579 лица је смртно страдало), док од 10.000 људи бива тешко или лако повређено (Агенција за безбедност саобраћаја, 2017). Са друге стране, саобраћај је неминовна последица развоја и напретка сваког друштва без ког је немогуће функционисати. Због тога је потребно стално радити на препознавању проблема и проналажењу начина за смањење проблема које саобраћај неминовно носи са собом (Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2015. до 2020. године).

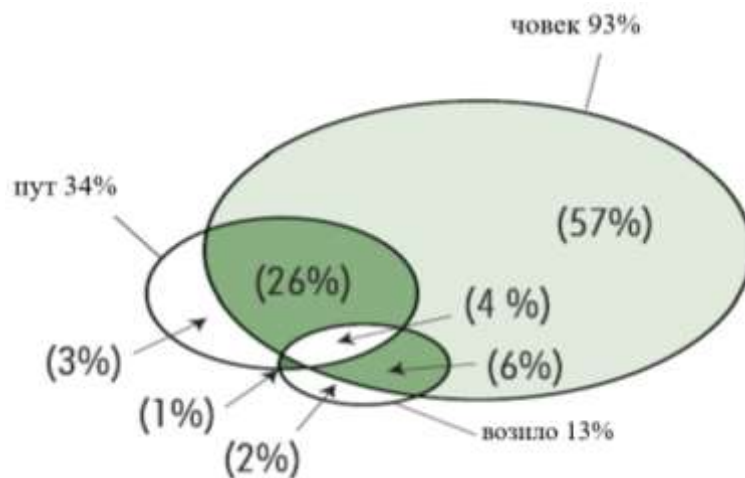
---

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

Број саобраћајних незгода и у региону SEETO (South-east Europe Transport Observatory) је неприхватљиво висок (Jovanov et al., 2017). Један од разлога за овакво стање је то што делови постојеће мреже нису на високом нивоу са аспекта безбедности саобраћаја.

Честа је ситуација да су путеви пројектовани и изграђени пре неколико деценија, за мањи обим саобраћаја и спорији возни парк. Поред тога, на обновљеним деоницама путева број саобраћајних незгода је и даље висок, јер повећање безбедности на путевима, у већини случајева, није приоритет у пројектима. Велика заблуда је да су само грешке или лоше понашање возача узрок саобраћајних незгода у скоро свим случајевима. Резултати истраживачких пројеката о узроцима саобраћајних незгода показују да у свакој трећој саобраћајној незгоди пут и окружење пута има значајан утицај (PIARC, 2008a). Пут, као један од четири фактора безбедности саобраћаја, својим карактеристикама утиче на број и последице саобраћајних незгода (PIARC, 2007).

Пут као фактор безбедности саобраћаја у значајној мери утиче на безбедност саобраћаја. Према светским искуствима (PIARC, 2003) пут је сам по себи или у садејству са другим факторима (човек, возило) узрочник приближно око трећине свих саобраћајних незгода (Слика 1).



Слика 1 – Фактори безбедности саобраћаја као узрочници саобраћајних незгода (PIARC, 2003)

Имајући ово у виду, један део напора развијених земаља при управљању безбедности саобраћаја је изналажење начина за унапређење безбедности пута. Различити алати за унапређење безбедности саобраћаја су развијени у данашње време. Овом приликом није запостављен ни традиционални приступ уочавања опасних места (тзв. црних тачака) и одговарајућим мерама отклањање истих.

Традиционални приступ безбедности саобраћаја заснива се на спровођењу мера дефинисаних на основу саобраћајних незгода које су се догодиле, начину настанка и последица истих. Овакав приступ безбедности саобраћаја је нека врста приступа „чекај и гледај“, односно заштитне мере се нису разматрале све док ситуација постане неприхватљива, са аспекта саобраћајних незгода.

## 2. ЖИВОТНИ ЦИКЛУС ПУТА

Пројектовање и примена заштитних мера се спроводи тек након идентификације високо ризичних деоница пута и анализе саобраћајних незгода (PIARC, 2008a). Са друге стране, превентивно деловање у безбедности саобраћаја је основ данашње мисли о унапређењу безбедности саобраћаја. Идеја превентивног деловања јесте да се делује пре него што настану саобраћајне незгоде и настану последице. У свету се у стратегијама безбедности саобраћаја највише пажње посвећује превентивном деловању, односно шта све може да се уради да не настане саобраћајна незгода, односно да се ублаже последице. Стручњаци из области безбедности саобраћаја свакодневно развијају и унапређују алате, односно мере којима се може значајно, превентивно деловати на безбедност саобраћаја.

Традиционални приступ решавања проблема безбедности саобраћаја уочавањем и отклањањем високо ризичних места/деоница (тзв. "црних тачака") није овом приликом запостављен, али се све више потенцира на томе да се уоче потенцијално опасна места на којима се могу догађати незгоде и отклоне опасности пре настанка незгода (Вујанић et al., 2009).

Данашњи приступ управљања безбедности саобраћаја се своди да се у свим фазама, почев од пројектовања до експлоатације пута, узима у обзир безбедност саобраћаја и одговарајућим алатима врши унапређење безбедности. Који ће од алата бити примењен зависи пре свега да ли је идеја деловати превентивно или реактивно, али зависи и од тога да ли се пут налази у фази планирања и пројектовања или пак у фази експлоатације (SEETO, 2009). Логично место примене одговарајућег алата у "животу" неког пута представљен је на Слици 2.



Слика 2 – Животни циклус пута (SEETO, 2009)

Циљ модерног приступа безбедности саобраћаја је да се сталним праћењем и анализама уочавају проблеми који се јављају у саобраћају и који могу довести до инцидентних ситуација. Уочавањем оваквих проблема омогућено је деловање, односно предузимање одређених мера за спречавање настанка саобраћајних незгода (Липовац и Трифуновић, 2016).

Данашњи приступ управљању безбедности саобраћаја се своди да се у свим фазама, почев од планирања, преко пројектовања, па све до експлоатације пута, узима у обзир безбедност саобраћаја. За сваку од фаза постоје или се још увек развијају савремени алати за унапређење безбедности пута. Иако су неки од алата, нпр. управљање црним тачкама, ревизије безбедности саобраћаја итд., почеле да се развијају још у двадесетом веку, Европски парламент је, имајући у виду огромне користи применом савремених алата, тек 2008. године донео Директиву 2008/96/ЕС (19. новембра 2008. године) о Управљању безбедношћу путне инфраструктуре.

Директива је дефинисала савремене процедуре и дала смернице примене тих алата. Прецизно је дефинисано: успостављање и имплементација процедура оцене утицаја новог пута на безбедност саобраћаја, ревизија безбедности саобраћаја, управљање безбедности саобраћаја на мрежи путева и провере безбедности саобраћаја.

Дефинисана је обавезна примена ових алата на путеве који су део ТРАНС-европске мреже путева, без обзира да ли се налазе у фази пројектовања, изградње или експлоатације. И постоје препоруке да се сет добре праксе применом ових процедура може одмах примењивати на национални ниво, без обзира што у националним законодавствима ове процедуре нису препознате.

Свака саобраћајница, сваки пут, има свој тзв. животни циклус, који подразумева живот пута од фазе планирања, па закључно са експлоатацијом. У овом делу неће бити описиван животни циклус пута, са аспекта шта подразумевају кораци у том животном циклусу пута, већ ће бити представљени савремени алати за унапређење безбедности пута, који се примењују у одговарајућем делу животног циклуса пута.

Пре дефинисања места појединих алата, неопходно је навести савремене алате за унапређење безбедности пута:

- RSIA (eng. Road Safety Impact Assessment) - Оцена утицаја новог пута на безбедност саобраћаја
- RSA (eng. Road Safety Audit) - Ревизија безбедности саобраћаја
- RAP (eng. Road Assessment Program) – Програм оцене путева
- RSI (eng. Road Safety Inspection) - Провера безбедности саобраћаја

- RM (eng. Risk Mapping) - Мапирање ризика
- IDS (eng. In-Depth Study) - Дубинска анализа
- BSM (eng. Black Spot Identification and Management) -Идентификација и управљање "црним тачкама"
- NSM (eng. Network Safety Management) - Управљање безбедношћу путне мреже.

Практично, постоје алати који се примењују у тзв. фази пројектовања путева, тј. док се "пут још увек налази на папиру" и ту спадају: Оцена утицаја новог пута на безбедност саобраћаја и Ревизија безбедности саобраћаја.

Остали алати се примењују у фази експлоатације, односно на постојећим путевима (Програми оцене путева, Провера безбедности саобраћаја, Идентификација и управљање црним тачкама, Дубинске анализе, Управљање безбедношћу саобраћаја на путној мрежи).

Са друге стране, поједини алати су тзв. про-активни (превентивни), који практично не чекају саобраћајне незгоде и последице саобраћајних незгода и ту спадају: Оцена утицаја новог пута на безбедност саобраћаја, Ревизија безбедности саобраћаја, Програми оцене путева, Провера безбедности саобраћаја.

И коначно, постоје ре-активни алати, који у обзир узимају и саобраћајне незгоде и последице тих незгода (Идентификација и управљање црним тачкама, Дубинске анализе, Управљање безбедношћу саобраћаја на путној мрежи).

### 3. НОРМАТИВНИ ОКВИР

Постојање Директиве 2008/96 ЕС није успело да у већој мери хармонизује поступке спровођења савремених алата за унапређење безбедности пута. Наиме, до данашњег дана, највећи број развијених земаља има прописане процедуре и спроводи их према Директиви 2008/96 ЕС, али сами поступци спровођења се међусобно разликују. Да би се извршила хармонизација поступака спровођења већине алата за унапређење безбедности пута развијено је неколико PIARC-ових приручника, који третирају ову област. Са тим у вези и у Републици Србији, а са обзиром да до данас још увек није усвојен Приручник за спровођење поступака при примени савремених алата за унапређење безбедности пута, препоручују се примена добре праксе и развијених PIARC и SEETO (South East Europe Transport Observatory) приручника. Претходно наведено је у складу са Директивом 2008/96 ЕС.

Закон о безбедности саобраћаја на путевима (у даљем тексту ЗоБС) предвиђа нормативну подлогу за примену савремених алата за унапређење безбедности пута. Наиме, поглавље VIII, члан 156. ЗоБС-а предвидео је примену већине савремених алата за унапређење безбедности пута:

Делови члана 156. ЗоБС-а, који се односе на савремене алате за унапређење безбедности пута гласе (цитат ЗоБС-а):

*"... Приликом одређивања за изградњу новог или реконструкцију постојећег јавног пута, управљач јавног пута мора обезбедити пројекат стратешке компаративне анализе утицаја тог пута на безбедност саобраћаја на путној мрежи.*

*Управљач јавног пута мора обезбедити да се за пројекат јавног пута сачини пројекат ревизије безбедности саобраћаја. Ревизија безбедности саобраћаја на путу представља независну и систематску проверу пројеката пута са аспекта безбедности саобраћаја, за све фазе пројектовања закључно са пуштањем у саобраћај. Управљач јавног пута мора обезбедити независне пројекте провере безбедности саобраћаја на путу и то: периодичне провере у периоду од пет година за све деонице државних путева, циљане провере за најугроженије деонице државних путева и периодичне и циљане провере за остале путеве према могућностима, односно потребама.*

...

*Управљач пута дужан је да прати стање безбедности саобраћаја на путу, обезбеди независне пројекте у циљу идентификације опасних места најмање једанпут годишње и независне пројекте мапирања ризика на деоницама и идентификација најопаснијих деоница, обавља стручне анализе високо ризичних деоница пута (црне тачке), сачини*

*појединачан пројекат за санирање ризичних деоница и опасних места и предузме мере за санирање високо ризичних деоница пута и опасних места у складу са тим пројектом.*

*У случају саобраћајне незгоде са најмање једним погинулим лицем, управљач јавног пута дужан је да на основу независне оцене, у року од месец дана, утврди узрок, односно допринос јавног пута настанку, односно последицама саобраћајне незгоде и предузме мере у циљу унапређења безбедности пута.*

...

*Ближе услове у погледу стратешке компаративне анализе утицаја новог, односно реконструисаног пута на безбедност саобраћаја на путној мрежи, ревизије безбедности саобраћаја, провере безбедности пута, редовне провере пута у експлоатацији, праћења стања безбедности саобраћаја, анализе високо ризичних деоница, анализе доприноса пута саобраћајној незгоди са погинулим лицима, обавештавања, снимања саобраћаја и других величина саобраћајног тока, услове које морају испуњавати ревизори, начин спровођења обуке и полагање испита за ревизора, услове које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута прописује министар надлежан за послове саобраћаја. ..."*

Након усвајања одговарајућих Правилника прописаних ЗоБС-ом детаљније и прецизније ће бити уређено како поступци за спровођење наведених алата, тако и услови које морају испунити правна, односно физичка лица, која ће се у наставку бавити овом пословима. Међутим, јасно је да је Директива 2008/96 ЕС прецизно дефинисала да за спровођење савремених алата за унапређење безбедности пута није неопходан нормативни оквир већ да је довољно применити добру праксу. У овом случају то би била добра пракса најразвијенијих земаља у погледу безбедности саобраћаја. Претходно наведено управо указује да Републику Србију ништа не спречава да започне процес унапређења безбедности саобраћаја применом савремених алата за унапређење безбедности пута, посебно ако се има у виду да је Република Србија земља кандидат за придруживање Европској унији (ЕУ), па самим тим мора показати намере и спремност за примену европских директива и прописа.

Поред наведених нормативних аката важни за спровођење и имплементацију савремених алата за унапређење безбедности пута на територији Републике Србије су и остали Правилници који су саставни део ЗоБС-а, затим Закон о јавним путевима, Статут управљача државних путева у Републици Србији "Јавног Предузећа Путеви Србије" (ЈППС), затим Политика безбедности ЈППС, Национална стратегија о безбедности саобраћаја за период 2016-2020 и други нормативни акти.

Анализирајући нормативни оквир како у ЕУ, тако и у Републици Србији, посебно значајно је закључити да не постоје нормативна ограничења у примени савремених алата за унапређење безбедности пута и да се неприменом ових алата утиче негативно на безбедност саобраћаја.

Практично, у Србији је ЗоБС-ом дефинисана законска обавеза реализације савремених процедура за унапређење безбедности путева. Према Закону управљач јавног пута мора обезбедити да се за пројекат јавног пута сачини пројекат ревизије безбедности саобраћаја. Ревизија безбедности саобраћаја на путу представља независну и систематску проверу пројеката пута са аспекта безбедности саобраћаја, за све фазе пројектовања закључно са пуштањем у саобраћај. Управљач јавног пута мора обезбедити независне пројекте провере безбедности саобраћаја на путу и то:

- периодичне провере у периоду од пет година за све деонице државних путева,
- циљане провере за најугроженије деонице државних путева и
- циљане провере за остале путеве према могућностима, односно потребама.

Према Закону редовну контролу јавног пута у експлоатацији са аспекта безбедности саобраћаја на путу врши орган надлежан за послове саобраћаја - инспектор за јавне путеве. Управљач јавног пута мора обезбедити да се, на основу налаза инспектора за јавне путеве, сачини пројекат којим се утврђују мере за безбедно одвијање саобраћаја на путу.

Управљач пута дужан је да прати стање безбедности саобраћаја на путу, обезбеди независне пројекте у циљу идентификације опасних места најмање једанпут годишње и независне пројекте мапирања ризика на деоницама и идентификација најопаснијих деоница, обавља стручне анализе високо ризичних деоница пута (црне тачке), сачини појединачан пројекат за санирање ризичних деоница и опасних места и предузме мере за санирање високо ризичних деоница пута и опасних места у складу са тим пројектом.

Ближе услове у погледу стратешке компаративне анализе утицаја новог, односно реконструисаног пута на безбедност саобраћаја на путној мрежи, ревизије безбедности саобраћаја, провере безбедности пута, редовне провере пута у експлоатацији, праћења стања безбедности саобраћаја, анализе високо ризичних деоница, анализе доприноса пута саобраћајној незгоди са погинулим лицима, услове које морају испуњавати ревизори, начин спровођења обуке и полагање испита за ревизора прописује министар надлежан за послове саобраћаја.

#### 4. ЗНАЧАЈ ПРИМЕНЕ САВРЕМЕНИХ АЛАТА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ ПУТА

Имајући у виду да сваки од савремених алата понаособ има одређен значај за унапређење безбедности пута у овом делу биће само укратко приказани уопштени значај примене ових алата.

Основни значај примене савремених алата за унапређење безбедности пута подразумева пружање високог нивоа безбедности саобраћаја током целог животног циклуса пута. Практично, сваки план и пројекат новог пута или реконструкција, односно рехабилитација постојећег пута, као и тренутно стање на путној мрежи треба да обухвати поступке који ће подићи ниво безбедности саобраћаја како кроз исправљање "грешака" на путу "док су још на папиру", али и када је у поступку реализације. Овом приликом приоритет се наравно даје превентивним активностима, али се не заборавља и тзв. традиционални приступ, који у обзир узима и податке о саобраћајним незгодама и последица тих незгода. У зависности од могућности и фазе у којој се налази пројекат, односно пут, могуће је применити један или више алата и тако деловати на више фронтова. На пример, ако је пут у експлоатацији, могуће је применити у истом тренутку и управљање црним тачкама и проверу безбедности саобраћаја и дубинске анализе саобраћајних незгода. Коначно, очекује се да примена савремених алата за унапређење безбедности пута у коначном постигне смањење броја саобраћајних незгода, последица тих незгода, а самим тим и смањења трошкова проузрокованих тим незгодама, чиме би се целокупна безбедност подигла на значајно виши ниво.

#### 5. ТРОШКОВИ/КОРИСТИ САВРЕМЕНИХ АЛАТА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ ПУТА

Треба имати у виду да су стварни трошкови и они за које је потребно увести промене, на основу препорука алата. Ови трошкови се разликују. На пример, монтажа деформабилних стубова доприноси смањењу повређених у саобраћајним незгодама за око 50%. Применом тзв. нискобуџетних мера ("low cost measures") за хоризонталне кривине (отклањање растиња, обезбеђивање прегледности пута, адекватна и благовремена саобраћајна сигнализација...) утиче на смањење саобраћајних незгода за око 16% (Elvik, 2006).

Према PIARC-овом Приручнику примене ПБС (PIARC, 2008a) очекују се значајне користи у смањењу саобраћајних незгода само применом нискобуџетних мера:

- исправљањем неодговарајуће сигнализације: 5% – 10 % смањење саобраћајних незгода,
- обезбеђење "чистих зона" поред пута: 10% – 40 % смањење саобраћајних незгода,
- уклањањем објеката који спречавају прегледност: 0% – 5 % смањење саобраћајних незгода.

Основна корист од примене савремених алата за унапређење безбедности пута је смањење броја саобраћајних незгода и последица саобраћајних незгода. Дугорочно гледано, ту спадају користи у виду:

- побољшања у управљању пројектовањем и изградњом,
- смањење укупних трошкова друмског саобраћаја,
- развој добре инжењерске праксе у погледу безбедности, итд.

Користи, према досадашњим светским искуствима на овом пољу су вишеструке, почев од економских побољшања, услед смањења саобраћајних незгода и њихових последица, политичко-економских побољшања.

Неколико студија показало је добити због примене ових алата. Као пример наводе се Mascuau и McInerney (2002) који су проценили да једноставна ревизија у фази идејног решења ствара однос добити и трошкова (BCR- Benefit cost ratio) између 3:1 и 242:1, коришћењем свих препорука из појединачних ревизија. Као пример, 75% препорука има BCR већи од 10%, а 90% препорука има BCR већи од 1 (PIARC, 2015).



Трошкови спровођења ових алата показали су се врло мали у поређењу са користима, али потребно је истаћи да ту спадају трошкови ангажовања ревизора, трошкови кашњења пројекта и трошкови исправки пројеката. За разлику од користи, који се огледају кроз смањење броја незгода и настрадалих, трошкове је могуће прецизно дефинисати. Трошкови и користи су утолико веће уколико се крене у спровођење ових алата још од фазе планирања (FHWA, 2006).

Коначно, трошкови, али и користи савремених алата за унапређење безбедности пута, слично као и значај примене тих алата, зависи од самог алата. Међутим, доказано је да је значајно јефтиније исправљати пројекат док се налази у процесу пројектовања, него када је већ изведен. Трошкови дакле зависе од конкретног примењеног алата, па тако на пример, ако је за корекцију неисправне сигнализације примењем RSA трошкови ових корекција ће бити значајно мањи него RSI, са обзиром да RSI захтева излазак на терен, а посебно што је неупоредиво "брисање гумицом" на папиру у односу на било какве радове на терену.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Активности на пољу унапређења безбедности саобраћаја морају бити спровођење систематизоване кроз успостављен систем безбедности саобраћаја. Сваки фактор у систему човек-возило-пут-околина у значајној мери утиче на стање безбедности саобраћаја. С тим у вези, неопходно је да се спроводе активности усмерене ка свим факторима. Пут је дуги низ година, како у свету, тако и код нас био занемариван као значајни утицајни фактор на настанак саобраћајних незгода, а самим тим и последица тих саобраћајних незгода. Међутим, најразвијенији су схватајући значај и овог фактора безбедности саобраћаја, да он има утицаја у просеку у свакој трећој саобраћајној незгоди, пре две деценије су започели процес развијања алата који имају за циљ да минимизира утицај пута на настанак саобраћајних незгода и последица. Наша земља има прилику да се придружи најразвијенијима и томе подигне ниво безбедности саобраћаја на још виши ниво применом ових алата.

Практично, сваки план и пројекат новог пута или реконструкција, односно рехабилитација постојећег пута, као и тренутно стање на путној мрежи треба да обухвати поступке који ће подићи ниво безбедности саобраћаја како кроз исправљање "грешака" на путу "док су још на папиру", али и када је у пут у експлоатацији. Приоритет се даје превентивним активностима, али се не заборавља и тзв. традиционални приступ, који у обзир узима и податке о саобраћајним незгодама и последица тих незгода. У зависности од могућности и фазе у којој се налази пројекат, односно пут, могуће је применити један или више алата и тако деловати на више фронтова. Очекује се да примена савремених алата за унапређење безбедности пута постигне смањење броја саобраћајних незгода, последица тих незгода, а самим тим и смањења трошкова проузрокованих тим незгодама, чиме би се целокупна безбедност подигла на значајно виши ниво.

## Литература

- [1] Агенција за безбедност саобраћаја Републике Србије. Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији за 2016. годину, 2017.
- [2] Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council on Road Infrastructure Safety Management. Official Journal of the European Union, 2008.
- [3] Elvik Rune. Road Safety Inspections: Safety Effects And Best Practice Guidelines. The Institute for Transport Economics, 2006.
- [4] Elvik, R. Road safety inspections: safety effects and best practice guidelines“, Oslo, 2006.
- [5] Elvik, R. The Handbook of Road Safety Measures, 2004.
- [6] ETSC – Road Safety Audit and Safety Impact Assessment, 1997.
- [7] FHWA. Department of Transportation. Highway Safety Improvement Program, 2006.
- [8] Harwood, D, Souleyrette, R, Fields, M., Green, E. Comparison of Countermeasure Selection Methods for Use in Road Safety Management, 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, USA, 2014.
- [9] Hildebrand, E. and Wilson, F. Road safety audit guidelines. UNB Transportation Group, University of New Brunswick, Canada, 1999.
- [10] Jovanov, D., Vollpracht, H.J., Beles, H., Popa, V. and Tolea, B.A. October. Most common road safety engineering deficiencies in South Eastern Europe as a part of safe system approach. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 252, No. 1, p. 012021). IOP Publishing, 2017.
- [11] Липовац, К., Трифуновић, А. Специфичности провере безбедности саобраћаја у зонама школа. Други српски конгрес о путевима, 2016.
- [12] PIARC - World Road Association. Human factors guidelines for safer road infrastructure, 20086.
- [13] PIARC - World Road Association. Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers, 2007.

- [14] PIARC - World Road Association. Road Safety Audit Guideline for safety checks of new road projects, World Road Association, 2011.
- [15] PIARC - World Road Association. Road Safety Inspection Guideline for Safety Checks of Existing Roads, Report 2012R27EN, World Road Association, Paris, France, 2012.
- [16] PIARC - World Road Association. Road Safety Inspection Guideline, 2008a.
- [17] PIARC - World Road Association. Road Safety Manual a Guide for Practitioners! Strategic Global Perspective, 2015.
- [18] PIARC - World Road Association. Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association, 2003.
- [19] Practical Guide for Road Safety Auditors and Inspectors. GRSA, SARSA, SoRASR, International Road Safety Centre, Centre for Road Safety, Automobile and Motorcycle Association of Serbia, 2016.
- [20] RAP Road Risk Mapping Manual: Technical Specification. EuroRAP, 2013.
- [21] Ревизија безбедности на путевима. ЈП „Путеви Србије“, 2009.
- [22] Ross, A., Jovanov, D., Ivchenko, M. TRACECA Regional road safety project, 2014.
- [23] Sinani F., Bombol K. Elementi predlog-modela za reviziju bezbednosti puteva u Republici Makedoniji, Palić, 2007.
- [24] Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2015. до 2020. године, радна верзија, 2015.
- [25] SEETO - Road Safety Inspection Guideline, Specific Project Result 12B, (revised final), 2009.
- [26] Вујанић, М., Липовац, К., Антић, Б., Пешић, Д., Марковић, Н., Ђорђевић, М., Пешић, Д., Божовић, М., Вујанић, М., Вујанић, Д. Приручник за провере безбедности саобраћаја на путевима, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, 2009.
- [27] Wilson, E.M. and Lipinski Martin, E. Road Safety Audits, A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 336. Transportation Research Board, Washington DC, 2004.
- [28] World Health Organization. Global status report on road safety 2015. World Health Organization, 2015.
- [29] Закон о безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије. Службени гласник Републике Србије, бр. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - одлука УС, 55/2014, 96/2015 - др. закон и 9/2016, 2016.

# DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA

## DETERMINATION OF INFLUENTIAL ROAD FACTORS IN ROAD ACCIDENTS USING IN-DEPTH ANALYSIS

Nenad Marković<sup>1</sup>, prof. dr Dalibor Pešić<sup>2</sup>, prof. dr Boris Antić<sup>3</sup>, prof. dr Krsto Lipovac<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [n.markovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.markovic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [b.antic@sf.bg.ac.rs](mailto:b.antic@sf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [k.lipovac@gmail.com](mailto:k.lipovac@gmail.com)

**Rezime:** Osnov za kvalitetno preventivno delovanje u sprečavanju nastanka saobraćajnih nezgoda je kvalitetno sagledavanje uticajnih faktora na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Kao najsveobuhvatniji metod za utvrđivanje uticajnih faktora na saobraćajne nezgode, u svetu su razvijeni različiti modeli dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda. Primenom metodologije dubinskih analiza na konkretnu saobraćajnu nezgodu detaljno se utvrđuje uticaj puta, vozila, čoveka i okruženja na tu saobraćajnu nezgodu. Ova metodologija posebno omogućava detaljno analiziranje uticaja puta na nastanak i posledice analizirane nezgode, što upravljačima puta omogućava kvalitetno prepoznavanje konkretnih nedostataka puta, na tom mestu. Praćenjem prepoznatih nedostataka puta (uticaja faktora put) na konkretnim lokacijama mogu se prepoznati potencijalno opasna mesta, sa sličnim karakteristikama, na celoj mreži što omogućava planiranje preventivnog delovanja od strane upravljača puta. U R.Srbiji, na teritoriji grada Beograda, sprovedene su dubinske analize saobraćajnih nezgoda, u period od jedne godine i prepoznati su određeni uticaji puta na nastale saobraćajne nezgode, o čemu će biti detaljnije objašnjeno u ovom radu.

**Ključne reči:** saobraćajna nezgoda, uticaj faktora put, dubinska analiza, nastanak i posledice nezgoda

**Abstract:** The base for quality preventive action in preventing the occurrence of traffic accidents is a qualitative consideration of the impact factors on the occurrence of traffic accidents and consequences. As the most comprehensive method to determine the impact factors, in the world have been developed a different models of in-depth analysis of traffic accidents. Using the methodology of in-depth analysis of a traffic accident, the impact of the road, vehicle, man and environment on the resulting traffic accident is determined in detail. This methodology, in particular, allows detailed analysis of the impact of the road on the resulting accident, as well as their consequences, which enables road managers to provide quality preventive action. In Republic Serbia, in Belgrade, they were implemented in-depth analysis of traffic accidents, in a period of one year and identified certain impacts of the road on the occurrence of a traffic accident, as will be explained in more detail in this paper.

**Keywords:** traffic accident, influential factors, in-depth analysis, consequences

### 1. UVOD

U Svetu je u poslednje vreme zabeležen trend permanentnog povećanja broja i posledica saobraćajnih nezgoda, na globalnom nivou. Prema podacima (WHO, 2013), tokom 2010. godine broj smrtnog stradanja u saobraćajnim nezgodama je dostigao 1.23 miliona. Prema raspoloživim podacima i uočenim trendovima prisutna je tendencija daljeg povećanja broja stradalih u saobraćaju. Prema tim podacima procenjuje se da bi prema datom trendu 2030. smrtno stradanje u saobraćaju postao peti uzrok smrtnosti u svetu. Među štetnim posledica u društvu, saobraćajne nezgode se izdvajaju kao najčešća nasilna smrt, a pogotovo kod mladih (starosti od 15 do 29 godina), gde su saobraćajne nezgode prvi uzrok smrtnosti (WHO, 2013). Osim smrtnog stradanja ljudi u saobraćajnim nezgodama, nastaju i velike materijalne štete i druge posledice, a što sve zajedno stvara izuzetno velike socijalne troškove. Procenjuje se da jedna saobraćajna nezgoda u zavisnosti od nastalih posledica može predstavljati trošak od najmanje 3.082,00 eura (nezgoda sa lako povređenim) do 309.753,00 eura, Antic et al. (2012.) pa do čak 2.299.016,00 eura (Ministarstvo transporta Velike Britanije, 2013.).

<sup>3</sup> Nenad Marković, dipl. inž., [n.markovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.markovic@sf.bg.ac.rs)

## **DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA**

Imajući u vidu uočene trendove stradanja u saobraćaju Generalna Skupština Ujedinjenih nacija je 10. maja 2010. godine donela Rezoluciju 64/255 "Unapređenje bezbednosti saobraćaja na putevima" sa ciljem zaustavljanja postojećeg trenda i uspostavljanja trenda smanjenja broja stradanja u saobraćaju. U ovoj rezoluciji su date smernice za preventivni rad u bezbednosti saobraćaja i proglašen je period 2011-2020 godina dekadom za bezbednost saobraćaja na putevima, čiji je osnovni cilj da se smanji broj poginulih za 50% do 2020. godine. Kao posledica preduzetih mera u mnogim zemljama je započeto uspostavljanje sistemskog preventivnog delovanja u cilju smanjenje broja saobraćajnih nezgoda. Za sistemsko delovanje neophodno je prevashodno na kvalitetan način analizirati trenutno stanje i analizirati saobraćajne nezgode u cilju prepoznavanja i definisanja faktora koji su imali uticaj na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Utvrđivanje uticajnih faktora i adekvatnog prepoznavanja njihovog uticaja nije jednostavan postupak, pa se iz tog razloga veoma često pojedini od uticajnih faktora zanemare ili previde. Nedovoljno sagledavanje uticaja pojedinih faktora može za posledicu imati preneglašavanje uticaja pojedinih prepoznatih faktora, a sa druge strane neprepoznavanje velikog broja stvarnih uticaja. Tek po kvalitetnom sagledavanju svih uticaja na nastanak i posledice saobraćajne nezgode moguće je pripremiti plan mera i aktivnosti usmerenih ka smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica.

Kvalitetno sagledavanje velikog broja potencijalnih uticaja svakog od faktora je izuzetno složeno i zahteva razvijanje složenih modela, na osnovu kojih bi se sistematizovali prikupljeni podaci o uticaju svakog pojedinačnog faktora. Ovo zahteva razvoj i formiranje baze podataka o uticajnim faktorima, saobraćajnih nezgoda, a čemu je neophodno da predstoji razvoj modela prikupljanja podataka o uticajnim faktorima. Razvijeni model za prikupljanje podataka mora na sistematičan način da sagleda i prikuplja podatke o saobraćajnoj nezgodi i detaljno analizira uticaje svakog od faktora (Čovek-Vozilo-Put-Okruženje). Ovaj proces bi, imajući u vidu da na saobraćajnu nezgodu može imati uticaja više hiljada različitih faktora, kao i da više faktora istovremeno ili u sadejstvu mogu uticati, bio izuzetno složen, pa ga je neophodno postepeno razvijati i definisati set osnovnih uticajnih faktora koji će na dovoljno kvalitetan i pouzdan način definisati stvarne uticaje na nastalu nezgodu.

### **2. DEFINISANJE UTICAJNIH FAKTORA**

Za definisanje uticajnih faktora na nastanak saobraćajnih nezgoda najčešće se u praksi koriste raspoloživi podaci koje policija prilikom vršenja uviđaja prikuplja. Ovi podaci su najčešće osnovni podaci o saobraćajnoj nezgodi i okolnostima koje su u neposrednoj vezi sa nastalom nezgodom. Obim podataka koje prikuplja policija prilikom vršenja uviđaja saobraćajne nezgode, najčešće omogućava samo sprovođenje fenomenološke analize saobraćajne nezgode. Ovakve analize saobraćajnih nezgoda mogu da definišu globalne probleme bezbednosti saobraćaja i ukažu eventualno na uočene probleme, jer u njihovoj analizi figurišu zbirni podaci o saobraćajnim nezgodama. Na ovaj način dolazi se do zaključaka gde i kada se najčešće događaju saobraćajne nezgode, koje su kategorije učesnika saobraćajnih nezgoda, kakve posledice nastaju, koji su bili propusti učesnika itd. Kao što se može videti ove analize ne daju dovoljno pouzdane podatke o uzrocima i okolnostima nastanka saobraćajnih nezgoda, a što je osnov za kvalitetno preventivno delovanje u cilju sprečavanja nastajanja budućih nezgoda.

Osim analiza na osnovu podataka prikupljenih sa mesta nezgode, u poznatoj praksi, često se za potrebe sudskog procesa, vrše saobraćajno-tehnička veštačenja, gde se na osnovu do tada prikupljenih podatak (od strane policije, svedoka, učesnika nezgode i sl.) utvrđuju uzrok i okolnosti nastanka te saobraćajne nezgode. Najčešće ove analize su ograničene količinom i kvalitetom prikupljenih podataka u sudskom procesu i neretko ne daju dovoljno dobre rezultate pri utvrđivanju svih uticajnih faktora. Naime, za sudski proces je interesantno dokazivanje uticaja pojedinih faktora, dok se ostali faktori mogu i zanemariti ili se pak ne obraća posebna pažnja na njih, u zavisnosti od optužnice. Ova vrsta analize za razliku od fenomenološke daje mnogo veći nivo detaljnosti i predstavlja jednu vrstu etioloških analiza saobraćajnih nezgoda. Etiološke analize se fokusiraju na konkretnoj nezgodi i detaljnije proučavaju svaku pojedinačnu nezgodu i omogućavaju da se utvrde stvarni uzroci i okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda, kao i potencijalni uticaji na posledice. Etiološkim analizama se prepoznaju i definišu uticajni faktori za svaku saobraćajnu nezgodu, što omogućava praćenje i analizu učestalosti pojave uticaja pojedinih faktora, a što može ukazivati na postojanje značajne zavisnosti uticaja prepoznatog faktora na saobraćajne nezgode. Kao jedan od modela izuzetno kvalitetnih etioloških analiza saobraćajnih nezgoda se izdvojio model dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, koji osim detaljnog analiziranja raspoloživih podataka (prikupljenih na mestu nezgode), omogućava i dodatne analize od strane istraživača, što na terenu (mestu nezgode), što kasnije kroz analizu stanja vozila, ili stavova učesnika nezgode.

Još davne 1980 godine Haddon je sistematizovao uticajne faktore na četiri osnovne grupe faktora i to grupu Čovek, Vozilo, Put i Okruženje. Ovakvom podelom uticajnih faktora ukazano je da se uzroci i okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda moraju tražiti u svakom od navedenih faktor, a što nije svojstveno fenomenološkim analizama, kao ni saobraćajno-tehničkim veštačenjima, jer se ona bave pojedinim uticajima.

Do sada je u praksi najčešće uticaj faktora čovek bio dominantno prepoznavan, kao uzročnih saobraćajnih nezgoda, pri čemu nije detaljno dalje analiziran i istraživan, što zbog zahtevnosti takvog istraživanja, kao i zbog zaštite podataka o ličnosti i neophodnog ličnog pristanka ispitanika. U praksi je jedan od većih problema spremnost učesnika nezgode da daju iskrene i tačne odgovore, bojeći se eventualnih sankcija. Sa daljim razvojem analiza saobraćajnih nezgoda uočeno je da ne tako često osim vozača sa njim u sadejstvu ili samostalno i vozilo, i put i okruženje imaju uticaja na nastanak nezgoda.

Prema podacima PIARC-a (2003) faktor čovek samostalno utiče sa 57% na nastanak saobraćajnih nezgoda, dok u sadejstvu sa ostalim faktorima taj uticaj doseže 93%, što svakako predstavlja dominantan uticaj ovog faktora u odnosu na ostale faktore. S druge strane i ostali faktori imaju značajan uticaj, tako da faktor put zajedno sa ostalim faktorima utiče sa 44%, a vozilo sa 13% na nastanak saobraćajnih nezgoda. Kada se analiziraju pojedinačni uticaji posebno se značajnom analizom može smatrati analiza uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Posebno je važno naglasiti da faktor put često može imati uticaj na izbegavanje ili smanjenje posledica u saobraćajnim nezgodama koje se ne mogu izbeći. Naime, kako je put pasivni učesnik saobraćajne nezgode, njegov uticaj je gotovo uvek prisutan bez obzira na ostale učesnike, kao i na činjenicu da li će se nezgoda dogoditi usled uticaja puta ili ne. S druge strane put bi kao deo saobraćajne infrastrukture morao da doprinosi povećanju bezbednosti saobraćaja, a ne da bude jedan od uzročnika nastanka saobraćajnih nezgoda, pa je i iz tog razloga neophodno kvalitetno sagledati njegov uticaj. Prema podacima PIARC-a faktor put kao samostalni uzročnik nastanka saobraćajnih nezgoda je prepoznat u 13% nezgoda, u 26% u sadejstvu sa uticajem faktora čovek, 1% u sadejstvu sa faktorom vozilo, dok je u 4% u sadejstvu sva tri faktora.

Prema dostupnim podacima u Republici Srbiji ukupan uticaj ostalih faktora izuzev faktora čovek je prepoznat u manje od 1% saobraćajnih nezgoda, dok je uticaj faktora čovek u preko 99% saobraćajnih nezgoda. Imajući to u vidu ukupan uticaj faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda u Republici Srbiji je znatno manji od 1% (0,07%), dok je u Svetu oko 44%. Ovo jasno ukazuje na činjenicu da se u Republici Srbiji ne utvrđuju dovoljno uticaji ostalih faktora, osim faktora čovek na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Imajući u vidu stanje saobraćajne infrastrukture u razvijenim zemljama Sveta i Republici Srbiji, uočena je potreba za detaljnijom analizom saobraćajnih nezgoda i realnim utvrđivanjem uticaja svakog od faktora, a posebno uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica.

U Evropi je za utvrđivanje uzroka i okolnosti saobraćajnih nezgoda razvijen i usvojen program dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda od strane European Reintegration Support Organisations (ERSO), koji je detaljno razrađen u okviru poglavlja 5 projekta SafetyNet (Bjorkman et al. 2008). U Australiji je još 2003. godine sprovedena prva Australijska nacionalna dubinska analiza saobraćajnih nezgoda u kojoj su analizirane saobraćajne nezgode iz dve države (Vikotrija i Novi južni Vels) za period 2000-2003. (Fildes et al. 2003). U Velikoj Britaniji je sprovedeno više dubinskih analiza različitih kategorija učesnika u saobraćaju, pod nazivom "On-The-Spot accident research" (Hill and Cuerden 2005.), (Mansfield and Bunting; Martens and van der Horst 2008), (Cuerden et al. 2008). Univerzitet u Adelaidi je 1975. godine započeo primenu dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, što u nastavku i dalje razvija kroz veći broj sprovedenih dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda (McLean et al. 1979; Baldock et al. 2008; Wundersitz 2012). U okviru SUPREME projekta Evropske komisije jedna od celina bila je i izveštaj dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda (Europea Commission 2007).

Zadatak dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda je prepoznavanje i utvrđivanje faktora koji su uzrokovali nastanak saobraćajne nezgode, kao i ostalih faktora od uticaja na posledice saobraćajne nezgode. U svom radu su Pesic et al. (2014) dali pregled najbolje Svetske prakse u vršenju dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, kao i prikaz nekih od metodologija vršenja dubinskih analiza. U okviru projekta SafetyNet definisan je veliki broj varijabli koje je neophodno prikupiti u vezi sa nezgodom, a po principu istraživanja poznatog kao SafetyNet Accident Causation System (SNACS) (Reed and Morris, 2008). Po broju definisanih uticajnih faktora najdalje su otišli u Nemačkoj, gde je u okviru baze podataka o dubinskim analizama GIDAS definisano više hiljada uticajnih faktora.

Dubinske analize po metodologiji bi trebalo da analiziraju sve uticajne faktore vezane za nastanak saobraćajne nezgode, i to faktore puta sa okolinom, vozila i čoveka. Imajući u vidu veliki broj definisanih i prepoznatih uticajnih faktora, sprovođenje ovakvih analiza iziskuje velike vremenske i materijalne troškove, pa se ove analize u praksi retko sprovode ili se sprovode na određenom ograničenom području (jednog grada), za ograničeni vremenski period. Kako bi se prevazišao ovaj ograničavajući faktor široj primeni dubinskih analiza u praksi pojedini autori su

## DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA

vršili dubinske analize posmatrajući samo pojedine uticajne faktora, kao na primer Penumaka et al. (2014) koji su ispitivali isključivo uticaj faktora čovek na nastanak saobraćajne nezgode.

Složenost i specifičnost uticajnih faktora na nastanak saobraćajne nezgode su dokazali i Odenheimer et al. (1994), koji su u svom radu napravili iskorak definišući indekse za uticaj puta na nastanak saobraćajne nezgode. Navedeni autori su ispitali i utvrdili pouzdanost faktora puta na nastanak saobraćajne nezgode na uzorku od 30 konkretnih studija slučajeva saobraćajnih nezgoda. U svom radu su Markovic et al. (2015), posebno ukazali na značaj vršenja dubinskih analiza za pravilno utvrđivanje i definisanje uticaja puta na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Gitelman et al. (2012) su između ostalog analizirali karakteristike lokacije saobraćajnih nezgoda sa pešacima i doveli ih u vezu sa karakteristikama učesnika nezgoda.

Yanyong et al. (2015) su analizirali uticaj horizontalne signalizacije na bezbednost pešaka i brzine kretanja vozila u blizini obeleženih pešačkih prelaza i utvrdili značajan uticaj pravilno obeležene signalizacije na povećanje bezbednosti pešaka i smanjenje brzine kretanja vozila. Uticaj različite signalizacije i kombinacije različite opreme na mestima prelaska pešaka na brzine kretanja vozila na tim mestima su kroz simulacioni model istraživali Bella and Silvestri (2015). Utvrdili su da uklanjanje objekata pored puta, zabrana parkiranja i smanjenje širine kolovoza daju najbolje efekte na povećanje bezbednosti pešaka. Dommies et al. (2015) su se bavili utvrđivanjem uticaja puta i putne okoline na odluke pešaka da pređu kolovoz kada im je uključen crveni signal semafora, kao jednog od odlučujućih faktora za nastanak nezgoda sa učešćem pešaka. Utvrdili su da postoji značajan uticaj puta i putne okoline na donošenje ovakvih odluka i kao značajne faktore prepoznali vidljivost i preglednost na raskrsnici, širinu pešačkog prelaza (put koji pešak prelazi), širinu kolovoza, postojanje pešačkih ostrva i sl.

Kao što je prikazano u svetu su korišćeni mnogi različiti modeli kako bi se dokazao uticaj pojedinih faktora na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Ali do sada nije sistematizovan uticaj svih faktora niti je izvršena procena uticaja prepoznatih faktora, kako bi se izdvojio set faktora koje je neophodno analizirati prilikom vršenja dubinskih analiza. Za ovakvu sistematizaciju je prevashodno potrebno osmisliti metodologiju kojom će biti prikupljeni svi podaci o saobraćajnim nezgodama, kako bi kasnije bilo moguće vrednovati njihov uticaj i definisati optimalan set uticajnih faktora za sprovođenje dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda.

Jedan od modela dubinskih analiza na javnim putevima je datu radu Markovic et al. (2015b). Sprovođenje ovakvog prikupljanja podataka bi zahtevalo duži vremenski period, kako bi se prikupio dovoljno veliki i reprezentativan uzorak uticajnih faktora, na osnovu koga bi bilo moguće utvrditi stvarne uticaje. Imajući to u vidu razvijena je metodologija praćenja i prikupljanja uticaja pojedinih faktora nekom trenutno primenljivom metodologijom, pa su ekspertize saobraćajnih nezgoda prepoznate kao izuzetan izvor uticajnih faktora na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Prikupljanjem uticajnih faktora na osnovu ekspertiza saobraćajnih nezgoda mogu se dobiti osnovni uticajni faktori na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda, a u skladu sa metodologijom i rezultatima ekspertiza saobraćajnih nezgoda. Ovako dobijen set osnovnih faktora se svakako može dalje unapređivati, usavršavati i korigovati sa prepoznavanjem uticajnih faktora utvrđenih sprovedenim dubinskim analizama, na koji način će biti verifikovani najuticajniji faktori u vezi saobraćajnih nezgoda. Prema rezultatima sprovođenja dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima na teritoriji grada Beograda utvrđen je uticaj puta kao uzroka nastanka saobraćajnih nezgoda sa 3,37%, dok je uticaj puta na nastanak saobraćajnih nezgoda prepoznat u 28,1% saobraćajnih nezgoda.

### 3. Determinacija faktora put na saobraćajne nezgode

Analiza uticaja faktora put je od izuzetnog značaja za preventivno delovanje u bezbednosti saobraćaja, jer je njegov uticaj uvek prisutan, pa makar i ne bio prepoznat za konkretnu nezgodu. Uticaj puta u nekim slučajevima može biti u uzročnoj vezi sa nastankom ili mogućnošću izbegavanja saobraćajne nezgode, ali u većini slučajeva uticaj faktora put je u vezi sa težinom posledica ili mogućnošću umanjenja posledica saobraćajne nezgode. Ono što je važno istaći je da faktor put, odnosno određene njegove karakteristike ne dovode uvek do nastanka saobraćajnih nezgoda, već u određenim uslovima odvijanja saobraćaja i drugim okolnostima mogu dovesti do destabilizacije vozila i nastanka nezgode. S druge strane određene karakteristike faktora put dolaze do izražaja samo u određenim saobraćajnim nezgodama jer utiču na uvećanje posledica te nezgode, zbog specifičnosti baš te konkretne nezgode. Imajući to u vidu neophodno je prepoznati te specifične uticaje faktora put na nasale saobraćajne nezgode, kako bi se uticalo na izbegavanje nastanka i smanjivanje



posledica saobraćajnih nezgoda, odnosno kako bi se preventivno delovalo u cilju smanjenja negativnih posledica saobraćaja.

Analizom baze podataka dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda na teritoriji grada Beograda u periodu od 14.01.2016. godine do 14.01.2017. godine u 3,37% saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima je prepoznat uticaj faktora put kao uzročnika nastanka saobraćajne nezgode. U analiziranom uzorku nezgoda kao osnovni uticaj faktora put na nastanak nezgode se izdvojio nedostatak u vezi sa saobraćajnom signalizacijom, i to neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija, za čime sledi uticaj privremene saobraćajne signalizacije u zoni radova. Takođe je na istom uzorku saobraćajnih nezgoda utvrđeno da je uticaj faktora put prepoznat u još 28,1% saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima, što ukupno čini 31,47% prepoznatog uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda sa smrtnim posledicama.

### **3.1. Uticaj faktora put na nastanak saobraćajne nezgode**

Kada je reč o uticaju na nastanak saobraćajne nezgode faktor put utiče najčešće kroz nekoliko vrsta uticaja. Naime, osnovni način uticaja je u pogleda stvaranja neregularne saobraćajne situacije izostankom pružanja adekvatne informacije jednom od učesnika ili svim učesnicima u saobraćaju. S druge strane postavljena saobraćajna signalizacija može pružiti različite (suprotne) informacije različitim učesnicima u saobraćaju što ih može dovesti u potencijalni konflikt. Takođe, saobraćajna signalizacija postavljena tako da ne omogućava blagovremeno prilagodjavanje načina vožnje vozača, može dovesti do stvaranja opasnih situacija u saobraćaju. Osim regulisanjem saobraćaja faktor put može i svojom geometrijom odnosno tehničko eksploatacionih svojstava da dovede do nastanka saobraćajnih nezgoda. Naime, faktor put kroz nepružanje bezbednih tehničko eksploatacionih uslova za određeni nivo saobraćajnice (stanje površine kolovoza, pružanje puta i sl.) može takođe uzrokovati nastanak nezgode.

#### **3.1.1. Neadekvatno vođenje saobraćajnih tokova**

Na osnovu izvršenih analiza uočeno je da je na određeni broj saobraćajnih nezgoda uticaj na nastanak imalo neadekvatno označavanja i vođenje saobraćajnih tokova. Naime, nepostojanje ograničenja brzine u skladu sa geometrijskim karakteristikama puta, izostanak najave oštih krivina, neobeležavanje krivina, posebno nakon dužih pravaca, često dovode vozače u situaciju da intenzivno reaguju kako bi prilagodili dotadašnji način kretanja vozila delu puta na koji nailaze, a za šta nisu blagovremeno upozoreni. Nekada, intenzivno reagovanje vozača za posledicu ima promenu načina kretanja vozila i prilagođavanje potrebnih tehničkim uslovima, ali u određenom broju situacija i tak opreduzeto reagovanje ne omogućava bezbedan prolaz predstojećim delom puta, što za posledicu ima nastanak nezgode. Kao što je već rečeno nije redak slučaj da na delu puta koji se nalazi u pravcu a kome predstoji oštra krivina nema signalizacije koja bi blagovremeno upozorila vozače da nailaze na oštru krivinu i da ne mogu bezbedno proći brzinom koja je tu ograničena. Upravljači puta se često pozivaju na činjenicu da su vozači dužni da prilagode način vožnje uslovima u saobraćaju, što svakako nije sporno, osim što vozači nemaju mogućnost da prilagode način vožnje iznenadnoj situaciju, koju nisu imali razloga da tu očekuju. Shodno tome upravljači puta su dužni da blagovremeno i na propisani način obeleže svaku promenu u uslovima odvijanja saobraćaja, a koja bi mogla da bude iznenađujuća za vozače.

U analiziranom uzorku saobraćajnih nezgoda bilo je nezgoda gde vozaču nije bilo ni na koji način signalisano da nailazi na oštru krivinu, nakon dužeg pravca, niti je krivina bila na bilo koji način obeležena, kako bi vozač imao mogućnosti da u noćnim uslovima vožnje ranije uoči da nailazi na krivinu. Na delu puta ispred mesta nezgode brzina nije bila posebno ograničena već je važilo opšte ograničenje brzine do 80 km/h, kao i u krivini. Vozilo je pri prolasku kroz krivinu, izgubilo upravljivost i došlo je do destabilizacije vozila i silaska sa koloava i udara u ogradu na unutrašnjoj strani krivine. Naime, zbog ne blagovremnog najavljanja krivine od strane upravljača puta, vozač je u krivinu ušao brzinom većom od bezbedne, što je za posledicu imalo destabilizaciju vozila, nakon čega vozač u cilju korigovanja putanje kretanja preduzima dodatno skretanje što za posledicu ima silazak vozila sa kolovoza i nastanak nezgode.

Neblagovremeno obaveštavanje učesnika u saobraćaju na predstojeće promene u saobraćajnom toku su takođe imale uticaja na nastanak analiziranih saobraćajnih nezgoda. U jednoj saobraćajnoj nezgodi, kao i u pethodnom slučaju nakod duže deonice u pravcu, nakon blage krivine se izvode radovi na kolovozu, pri čemu je jedna od saobraćajnih traka zatvorena za saobraćaj. Ipsred mesta nezgode je ograničenje brzine do 80 km/h, i nema blagovremeno najavljenih radova na putu. Nakon izlaska iz krivine, kada su se stekli uslovi vozač uočava obeležene radove na putu, ali koji ranije nisu bili signalisani, i preduzima intenzivno kočenje zbog vozila koja se nalaze u zoni radova. Drugo vozilo koje ga sledi nema tehničkih mogućnosti da blagovremeno

## **DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA**

uoči radove na putu i kada uočava da se teretno vozilo ispred njega zaustavlja preduzima takođe forsirano kočenje. Zbog ne mogućnosti ranijeg uočavanja zone radova i ranijeg preduzimanja usporavanja, dolazi do sustizanja pomenuta dva vozila nakon čega dolazi i do sudara sa vozilom iz suprotnog smera. Zbog izostanka blagovremenog najavljuvanja zone radova, oba vozača su dovedena u opasnu situaciju, gde su prinuđeni da preduzimaju forsirano kočenje u cilju izbegavanja opasnosti, a što ih je sprečilo u izbegavanju ove nezgode.

Kada je reč o vođenju saobraćajnih tokova značajan uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda sa ranjivim učesnicima u saobraćaju ima nedostaka, ili neuređenost površina namenjenih za kretanje ranjivih učesnika u saobraćaju. Naime, nedostatak trotoara na prolascima državnih puteva kroz naselja je jedan od čestih razloga kretanja pešaka po kolovozu, a što može biti iznenađujuće za vozače posebne prilikom stuapanja pešaka na kolovoz ili pri promeni pravca kretanja pešaka na kolovozu. Takođe još izraženiji problem je nedostatak staza za bicikle, posebno u delovima gde se bicikl u znatnoj meri koristi kao prevozno sredstvo, jer su vozači bicikala i ostali vozači primorani da koriste istu površinu za kretanje što ih često dovodi u konflikt.

### **3.1.2. Nedosledno regulisanje prvenstva prolaza**

Oboreni saobraćajni znak kojim se reguliše prvenstvo u prolazu na raskrsnici na kojoj se dogodila nezgoda, a koji je bio oboren duže vreme pre nastanka nezgode, i koji nije zamenjen ispravnim saobraćajnim znakom, jer za posledicu imao dovodenje u zabludu dva vozača u vezi činjenice ko je imao prvenstvo prolaza na predmetnoj raskrsnici. Naime, vozač koji je prošao pored oborenog saobraćajnog znaka, nije imao obaveštenje da nailazi na put sa prvenstvom prolaza, a drugom učesniku u saobraćaju je dolazio sa desne strane, pa je prema pravilima saobraćaja mogao imati prvenstvo u prolazu. S druge strane drugom učesniku u saobraćaju je jasno saobraćajnim znakom saopšteno da se kreće putem sa prvenstvom prolaza. Na ovaj način su oba vozača dovedena u zabludu o stvarnom prvenstvu prolaza na predmetnoj raskrsnici, što je za posledicu imalo nastanak saobraćajne nezgode sa poginulim licem.

### **3.1.3. Geometrija kolovoza**

Promena geometrije puta, koja nije signalisana, je takođe često uzrok nastanka saobraćajnih nezgoda, jer iznenađujuća promena geometrije sa sobom nosi i značajno drugačije uslove za bezbedan prolazak, što može iznenaditi učesnike u saobraćaju u vezi neophodnog načina vožnje. Posebno opasan se izdvaja pelazak geometrije puta sa boljim performansama na deo puta sa značajno lošijim performansama, što ne omogućava vozačima da prethodnim načinom vožnje bezbedno prođu kroz predstojeću deonicu. U praksi je čest slučaj da se u dugačkim i blagim krivinama vrši promena radijusa krivina unutar jedne krivine, što značajno menja uslove za bezbedan prolazak kroz takvu krivinu. Naime, vozač prilikom ulaska u krivinu sagleda karakteristike krivine i prilagodi način kretanja toj krivini, a prilikom prolaska kroz krivinu, uočava da se ti uslovi pogoršavaju i da je neophodno da kroiguje način vožnje, što u uslovima prolaska kroz krivinu može za posledicu imati destabilizaciju i nastanak saobraćajne nezgode.

Promena poprečnog nagiba kolovoza može za posledicu imati stvaranje opasnih deonica na putu, koje iz više razloga mogu iznenaditi učesnike u saobraćaju. Ove promene poprečnog nagiba su izuzetno opasne u uslovima smanjenog prijanjanja kolovoza, jer je tada dominantan značaj poprečnog zadržavanja vozila. Naime, nepravilan poprečni nagib kolovoza u krivini znatno smanjuje bezbednu brzinu za prolazak kroz predmetnu krivinu, što može iznenaditi vozače ukoliko o tome nisu blagovremeno obavešteni. S druge strane promena poprečnog nagiba značajno menja i granične vrednosti parametara za bezbedan prolazak kroz krivinu, što je od presudnog značaja za gubljenje stabilnosti i upravljivosti vozilom. Promena poprečnog nagiba kolovoza, takođe ima uticaja i na odvodnjavanje površine kolovoza. Naime, nagib površine kolovoza usmerava površinsku vodu sa kolovoza niz poprečni nagib, što pri promeni poprečnog nagiba dovodi u situaciju da se voda može naći ili zadržati na kolovozu, na delu na kome se menja poprečni nagib, posebno ako nema izraženog poprečnog nagiba. Ovakva situacija može dovesti do smanjenja prijanjanja kolovoza i do pojave efekta "akvaplaning", gde usled postojanja sloja vode na kolovozu dolazi do gubitka prijanjanja sa pneumatikom vozila, što svakako za posledicu ima gubitak upravljivosti vozila. Ovakva promena uslova prijanjanja direktno utiče na graničnu brzinu za bezbedan prolazak, što za vozača predstavlja iznenađujuću promenu na koju on instiktivno reaguje i često dodatno destabilizuje vozilo.

### **3.1.4. Ukrštanja**

Ne kanalisana prostrana ukrštanja puteva i neuređene površine pored kolovoza i u zonama raskrsnica imaju za posledicu dovodenje u zabludu vozača u vezi namene tih površina i potencijalnih konflikata u takvoj zoni. Naime, kada postoji veća površina ukrštanja tada vozači ne mogu pouzdano znati kojom će se putanjom kretati

drugi učesnik u saobraćaju, što za posledicu ima mogućnost iznenadne pojave drugog učesnika u saobraćaju. Naime, kako je u pitanju duži front ukrštanja to nije moguće prepoznati jedno mesto na kome može doći do pojave drugog učesnika, već se on može pojaviti na više mesta ili se može pojaviti više učesnika u isto vreme na više mesta, što vozač ne može uvek da isprati i blagovremeno reaguje na svaku od tih promena. Ovo može za posledicu imati neblagovremeno uočavanje učesnika u saobraćaju i kašnjenje u reagovanju a što je posledica načina uređenja i namene površina oko kolovoza.

### 3.1.5. Stanje kolovoznog zastora

U pojedinim saobraćajnim situacijama i stanje kolovoza može biti u uzročnoj vezi sa nastankom saobraćajne nezgode, ali ovaj uticaj je dominantnije zastupljen kao prateći uticaj ili uticaj na težinu posledica. Naime, u slučajevima udara vozila u udarnu rupu na kolovozu, koja ga zbog svojih karakteristika destabilizuje i zbog toga nastane saobraćajna nezgoda, možemo govoriti o uzročnoj povezanosti. Takođe, zaprljanost kolovoza različitim materijalima, vodom, ledom, u pojedinim okolnostima može biti u uzročnoj vezi sa nastankom saobraćajne nezgode, ali samo ako to opravdano iznenadila učesnike u saobraćaju, pa nisu imali tehničkih mogućnosti da se prilagode tako nastaloj situaciji. Nije za zanemariti ni ovo kao mogući uzrok saobraćajnih nezgoda, ali je značajno manje prisutan u odnosu na ostale, jer vozači najčešće imaju mogućnost da blagovremeno uoče ovakve promene ili pak iz drugih opravdanih razloga očekuju. Naravno i ovde ima izuzetaka, jer vozači nisu dužni da očekuju nebezbedne uslove vožnje, posebno ako oni nisu adekvatno signalisani, a vozači blagovremeno upozoreni na takvu opasnost.

### 3.2. Uticaj faktora put na posledice saobraćajne nezgode

Način planiranja i gradnje puta, kao i stanje kolovoza i površina pored kolovoza najčešće imaju uticaja na posledice saobraćajne nezgode. Kako je osnovni cilj saobraćaja ispunjenje potreba za prevozom stvari i lica sa jednog mesta na drugo u što je moguće kraćem vremenskom periodu, to je neophodno imati u vidu da u takvim uslovima postoji mogućnost greške učesnika u saobraćaju ili otkaza nekog od sistema. Imajući ti u vidu put kao elementarna i neizostavna jedinica saobraćajnog sistema bi trebalo da u tim situacijama ne utiče dodatno na težinu posledica takve nezgode, a što u praksi često nije slučaj. Na osnovu iskustava sa terena može se zaključiti da prilikom planiranja i gradnje puteva nije u značajnoj meri vođeno računa o ovim činjenicama. Često se u blizini saobraćajnica koje su projektovane za veće intenzitete vozila i veće eksploatacione brzine grade različiti objekti, postavljaju drugi elementi infrastrukture i sl. Ovo za posledicu ima značajno uvećanje posledica saobraćajnih nezgoda, jer vozila koja učestvuju u nezgodi najčešće udaraju u te objekte gotovo nesmanjenim brzinama, zbog njihove blizine, i trpe značajne posledice.

#### 3.2.1. Objekti pored puta

Kada je reč o uticaju puta na uvećanje posledica saobraćajnih nezgoda svakako dominantan uticaj imaju objekti u neposrednoj blizini površina kolovoza, koji najčešće učestvuju u saobraćajnim nezgodama. Kada je reč o ovim objektima, najčešće se među njima izdvajaju stabla drveća (drvoredi) pored puta, zatim stubovi javne rasvete, stubovi za prenos električne energije, odbojne ograde, propusti za vodu pored puta, pristupni putevi preko kanala i sl. Zajednička karakteristika svih ovih objekata je da za izuzetno kratko vreme, gotovo trenutno zauzastavljaju vozila, što za posledicu ima značajnu trenutnu promenu brzine, a koja uzrokuje teške povrede. Ovakva specifičnost objekata pored puta ima direktan uticaj na posledice nezgode jer da nisu takve karakteristike ovih objekata učesnici nezgode bi mogli biti postepeno usporavani na koji način ne bi trpeli teške posledice.



Slike br. 1

## DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA

Često se pored puta, posebno na pravcima, a koji se nalaze neposredno između krivina, nalaze drvoredi ili pojedinačna stabla drveća, koja najčešće nemaju uticaja na preglednost i na aktivnu bezbednost saobraćaja jer ne utiču na mogućnost nastanka saobraćajne nezgode. Na taj način gledano ovakva stabla nemaju uticaja na bezbednost saobraćaja, a s druge strane smanjuju udare vetrova, imaju uticaja na stabilnost površina pored kolovoza i omogućuju smanjene temperatura što bi se sve moglo podvesti pod prednosti postojanja ovakvih objekata pored puta. S druge strane ovi objekti su izuzetno pasivno nebezbedni jer su izuzetno čvrsti i ne omogućavaju elastične sudare što za posledicu ima nastajanje teških posledicu prilikom udara u ove objekte. Na ovaj način gledano nije poželjno postojanje ovakvih objekata pored puta. Imajući u vidu prednosti i nedostatke postojanja ovakvih objekata jasno je da oni moraju postojati ali ih je neophodno kvalitetno zaštititi i omogućiti izbegavanje udara u ovakve fikle objekte, postavljanjem drugih objekata zaštite, a koji omogućavaju da se kinetička energija vozila troši u dužem vremenskom intervalu što bi omogućilo manje posledice.

Stubovi javne rasvete su svakako neizostavni deo saobraćajnog mobilijara posebno u naseljima i mestima sa povećanim prisustvom ranjivih učesnika u saobraćaju, jer je neophodno da ta mesta budu dobro osvetljena, kako bi bilo moguće blagovremeno uočavanje svih učesnika u saobraćaju. Kao takvi su od izuzetnog značaja za aktivnu bezbednost jer omogućavaju bolju vidljivost na mestima gde su postavljeni. S druge strane ovi objekti ne mogu biti znatno udaljeni od kolovoza jer tada ne bi omogućili dobru vidljivost, što ograničava mogućnost uklanjanja i pomeranja ovih objekata dalje od kolovoza. Imajući u vidu ove činjenice neophodno je da stubovi javne rasvete i stubovi za prenos električne energije budu napravljeni kao pasivno bezbedni i da omogućavaju male trenutne promene kinetičke energije u cilju smanjenja posledica saobraćajnih nezgoda.



Slike br. 2

Na osnovu sprovedenih analiza, kao posebno nebezbedan objekat na putu, a čija je osnovna namena povećanje bezbednosti, su se izdvojile metalne odbojne ograde. Naime, osnovna uloga odbojnih ograda jeste da zadrže vozila na površini kolovoza i onemoguće sletanje vozila sa puta i nastanak većih posledica. Međutim, način izvođenja metalnih odbojnih ograda, a posebno početaka i završetaka često ima uticaja na povećanje posledica nastalih saobraćajnih nezgoda. Naime, često vozila koja izgube upravljivost udaraju u metalnu odbojnu ogradu, pa često i u delove početka odnosno završetka, a koji su u ravni ograda. Na ovaj način odbojna ogradna prodire u vozilo i povećava posledice takvih saobraćajnih nezgoda. Imajući u vidu osnovnu namenu ovih objekata neophodno je obezbediti da ovi elementi budu izvođeni kao pasivno bezbedni i da im počeci budu povijeni i spuštjeni, tako da je onemogućen direktan udar vozila u ogradu, kao i da je omogućeno usmeravanje i vraćanje vozila u zonu ograda na kolovozu.



Slike br. 3



Propusti za vodu pored puta i pristupni putevi preko kanala su takođe izuzetno pasivno nebezbedni jer kao i prethodni elementi ne omogućavaju nastavljanje kretanja vozila sa delimičnim smanjenjem kinetičke energije, već obezbeđuju gotovo trenutno zaustavljanje vozila, što značajno uvećava posledice nastalih nezgoda.



Slike br. 4

Putni objekti kao što su nadvožnjaci, propusti i slično takođe značajno mogu uticati na težinu posledica saobraćajne nezgode, jer kao i prethodno opisani objekti gotovo trenutno zadržavaju vozila učesnike nezgode.



Slika br. 5

### 3.2.2. Kosine pored puta i bankine

Kosine pored puta, odnosno nagibi kosina u zavisnosti kako su izvedeni mogu u pojedinim slučajevima gotovo trenutno zaustaviti vozilo. Kod puteva u nasipu, kanali koji se izvode sa jedne ili obe strane puta, se često zbog konfiguracije terena izvode kao izuzetno duboki, dok s druge strane zbog male širine putnog pojasa se ne izvode u većoj širini, što za posledicu ima postojanje kanala velike dubine sa strmim stranama. Ovakve strane kanala prilikom silaska vozila sa puta u kanal, ne omogućavaju dalji nastavak kretanja vozila, već ga gotovo trenutno zaustavljaju na tom mestu i na taj način povećavaju posledice saobraćajne nezgode. Zaustavljanje vozila na ovakav način značajno povećava posledice, a što bi bilo izbegnuto ukoliko bi bilo omogućeno dalje usmeravanje vozila duž kanala ili prelazak vozila preko kanala, posebno kada se iza kanala nalaze zemljane površine bez objekata. Ovo se može postići smanjivanjem dubine kanala ili proširivanjem kanala, na koji način bi se smanjili nagibi strana kanala, a što bi omogućavalo lakši prelazak vozila ili pak preusmeravanje vozila duž kanala.

## DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA



Slika br.6

Kod puteva u zaseku osim problema kanala, često se javlja i problem nagiba kosine, koja je često izuzetno strma i ne omogućava blago preusmeravanje vozila, već izaziva rotaciju vozila, prilikom udara vozila u kosinu, što za posledicu može imati vraćanje vozila na saobraćajnu površinu i sekundarne sudare. Slični problem se javljaju i kod puteva u useku, jer kosine useka osim uticaja na posledice često imaju uticaja i na nastanak sekundarnih nezgoda.

### 3.2.3. Stanje kolovozne površine

Jedan od posrednih uticaja na težinu posledica ima i stanje površine kolovoza, jer od stanja površine kolovoza zavisi i dužina zaustavnog puta, pa samim tim i eventualne posledice koje mogu nastati posle nezgode, kao sekundarni sudari, silasci sa kolovoza, udari u obejke pored puta i slično. Takođe stanje površine kolovoza može imati uticaja i na način kretanja učesnika nakon nezgode, a što sve opet može uticati na eventualno povećanje posledica nastale nezgode. Zaprljana površina kolovoza naslagama različitih materija ima uticaj na prianjanje površine kolovoza, što može dovesti do smanjenja usporenja vozila i povećanja brzine vozila kojom udara u drugu prepreku, što za posledicu ima povećanje nastale štete.

Neravnine na kolovozu i kolotrasi svakako osim na smanjenje prianjanja kolovoza imaju uticaja i na putanju kretanja vozila. Naime, vozilo koje je destabilizovano u saobraćajnoj nezgodi kada dođe u zonu neravnina i kolotruga počinje da se kreće pod uticajem tih neravnina i na taj način može biti preusmereno da sleti sa puta ili pak dođe u sudar sa drugim vozilom.

## 3. ZAKLJUČAK

Dubinske analize saobraćajnih nezgoda, kao što je i prikazano u ovom radu, mogu u velikoj meri pomoći u determinisanju uticaja pojedinih faktora, osnovnih faktora Čovek-Vozilo-Put-Okruženje na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Ni jedna od do sada primenjivanih metoda analiza saobraćajnih nezgoda, zbog svoje specifičnosti rada ili ograničenosti raspoloživih podataka, nema mogućnost da sveobuhvatno analizira svaku pojedinačnu saobraćajnu nezgodu, kao što to rade dubinske analize. Dubinske analize na specifičan način posmatraju svaki od faktora i analiziraju mogući uticaj na konkretnu saobraćajnu nezgodu. Takođe, zbog multidisciplinarnosti radnog tima koji vrši dubinske analize je moguće kvalitetnije sagledavanje potencijalnih uticaja na nastanak i posledice saobraćajne nezgode, a što omogućava adekvatno prepoznavanje stvarnih uticaja u konkretnoj nezgodi.

Uticaj faktora put, kao jedinog faktora koji je permanentno prisutan na konkretnoj lokaciji, je veoma važno analizirati dubinskim analizama jer samo se na taj način mogu stvarno sagledati njegovi uticajni na nastana i posledice saobraćajnih nezgoda. Kao što je prikazano u ovom radu, na konkretnim primerima, uticaj faktora put nije uvek jasno prepoznatljiv i svim jasan, a što zahteva sprovođenje ovakvih analiza, kako bi se u potpunosti utvrdio njegov uticaj i u skladu sa prepoznatim uticajem preduzele adekvatne mere. Vršanje dubinskih analiza sa posebnim osvrtom na analizu uticaja faktora put je značajna ne samo za utvrđivanje uticajnih faktora na nastanak saobraćajnih nezgoda na nekom području, već je značajna i za preduzimanje mera na otklanjanju uočenih nedostataka puta na konkretnom mestu.



Kao što je već prikazano i navedeno u ovom radu, značaj sprovođenja dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda je posebno značajno za upravljače puta, jer na pouzdan način mogu dobiti podatke o stvarnom uticaju puta kojim upravljaju na bezbednost saobraćaja. Na ovaj način mogu prepoznati opasne deonice ili mesta na kojima je neophodno preduzeti određene aktivnosti kako bi se povećao nivo bezbednosti saobraćaja i izbeglo stvaranje opasnih situacija i saobraćajnih nezgoda. Za upravljače puta sprovođenje dubinskih analiza može imati dvojak značaj, prvo na konkretnom mestu gde se događaju saobraćajne nezgode se analizira uticaj puta, što za posledicu ima jasne pokazatelje upravljaču šta mora preduzeti na konkretnoj lokaciji. S druge strane značaj sprovođenja dubinskih analiza za upravljača puta je taj što prikupljanjem podataka o uticajima faktora put na nastanak nezgoda imaju mogućnost da prepoznaju druga potencijalno opasna mesta, na kojima se još uvek nisu dogodile saobraćajne nezgode, a koja karakteriše postojanje prepoznatih uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda i posledica. To ima omogućava preventivno delovanje kako bi se smanjili prepoznati uticaji faktora put i preventivnim delovanjem izbeglo stvaranje potencijalno opasnih mesta i saobraćajnih nezgoda.

Prikupljanje i sistematizacija uticajnih faktora posebno ima značaja za promenu i unapređenje prakse projektovanja, planiranja i izgradnje, jer unapred ukazuje na moguće potencijalno opasne lokacije u saobraćaju, što omogućava blagovremenu izmenu i izbegavanje stvaranja opasnosti u saobraćaju.

## Literatura

- [1] World Health Organization. 2013. Global status report on road safety: time for action: 2013.
- [2] Antic, B., Vujanic, M., Lipovac, K., Pesic, D., 2012. Estimation of the traffic accidents costs in Serbia by using dominant costs model. *Transport*. 26:4, 433-440.
- [3] Department for Transport – Great Britain 2013. Valuation of road accidents and casualties in Great Britain, Annual report
- [4] PIARC- Permanent International Association of Road Congresses, 2011. Road Safety Manual
- [5] European Road Safety Observatory, Project of SafetyNet, 2008. Deliverable 5.8: In-depth accident causation database and analysis report
- [6] Bjorkman, K., Fagerlind, H., Ljung-Aust, M., Lijegren, E., 2008. In-depth accident causation databases and analysis report. Deliverable 5.8 of the EU FP6 project SafetyNet, TREN-04-FP6TR-SI2.395465/506723
- [7] Pesic, D., Vujanic, M., Lipovac, K., Antic, B., 2014. In-depth analyses of road accidents, state-of-the-art and the possibilities for the implementation in the Republic of Serbia, Road Accidents prevention 2014, XII International Symposium
- [8] Reed, S., Morris, A., 2008. Glossary of Data Variables for Fatal and Accident causation databases. Deliverable 5.5 of the EU FP6 project SafetyNet, TREN-04-FP6TRSI2.395465/506723
- [9] Penumaka, P.A., Savino, G., Baldanzini, N., Pierini, M., 2014. In-depth investigation of PTW-car accidents caused by human errors. *Safety Sci*. 68, 212-221.
- [10] Rich, J., Prato, C.G., Hels, T., Lyckegaard, A., Kristensen, N.B., 2013. Analyzing the relationship between car generation and severity of motor-vehicle crashes in Denmark. *Accid. Anal. Prev*. 54, 81-89.
- [11] Aidoo, E.N., Amoh-Gyimah, R., Ackaah, W., 2013. The effect of road and environmental characteristics on pedestrian hit-and-run accidents in Ghana. *Accid. Anal. Prev*. 52, 23-27.
- [12] Hakamies-Blomqvist, L.E., 1993. Fatal accidents of older drivers. *Accid. Anal. Prev*. 25, 19-27.
- [13] Eberhard, J.W., 1996. Safe mobility for senior citizens. *IATSS Reas*. 20, 29-37.
- [14] De Raedt, R., 2000. Cognitive/neuropsychological functioning and compensation related to car driving performance in older adult. Doctoral dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Brussel.
- [15] Odenheimer, G.L., Beaudet, M., Jette, A.M., Albert, M.S., Grande, L., Minaker, K.L., 1994. Performance-based driving evaluation of the elderly driver: safety, reliability and validity. *Jouranal of Gerontology: Medical Sciences*. 49, 153-159.
- [16] Markovic, N., Pesic, D., Selmic, M., Macura, D. 2015. Značaj vršenja dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda za pravilno utvrđivanje uticaja puta na nastanak saobraćajne nezgode, XIV Simpozijum "Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju"
- [17] Markovic, N., Pesic, D., Macura, D., Selmic, M. 2015. Независне оцене саобраћајних незгода са погинулим на јавним путевима, 10. Међународна Конференција "Безбедност саобраћаја у локалној заједници", Србија, Крагујевац, Хотел Крагујевац, 22 – 25. април 2015.
- [18] Gitelman, V., Balasha D., Carmel, R., C., Hendel L., Pesahov F., 2012. Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel, *Accident Analysis and Prevention*, 44, 63-73.

# ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA SA ASPEKTA BRZINE KRETANJA VOZILA

## Analysis of traffic accidents from the aspect of vehicle speed

**Marija Đorđević<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Javno preduzeće "Putevi Srbije", Bulevar Kralja Aleksandra 282, Beograd, marija.djordjevic@putevi-srbije.rs

**Zoran Pešović<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Javno preduzeće "Putevi Srbije", Bulevar Kralja Aleksandra 282, Beograd, zoran.pesovic@putevi-srbije.rs

**Ivana Andrijanić<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Javno preduzeće "Putevi Srbije", Bulevar Kralja Aleksandra 282, Beograd, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

**Miloš Milosavljević<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> Javno preduzeće "Putevi Srbije", Bulevar Kralja Aleksandra 282, Beograd, milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

**Rezime:** *Primenom ITS-a za upravljanje saobraćajem na putevima omogućeno je kontinualno praćenje učesnika u saobraćaju tokom cele godine, u cilju prikupljanja kvalitetnih podataka na osnovu kojih je moguće izvoditi složenije analize, kao što su određeni indikatori bezbednosti saobraćaja. Jedan od mnogih implementiranih ITS-a za prikupljanje parametara saobraćajnog toka bitnih za upravljanje saobraćajem na državnim putevima u Republici Srbiji predstavljaju automatski brojači saobraćaja (u daljem tekstu ABS). Na državnim putevima u Republici Srbiji postoji instalirano oko 350 ABS-a kojima upravlja Javno preduzeće "Putevi Srbije". U radu je predstavljen jedan od mogućih načina prikupljanja podataka o brzinama vozila i protoku saobraćaja korišćenjem ABS-a. Analizirana je zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda od protoka saobraćaja i brzine vozila dobijenih sa ABS-a. Analiza je rađena na osnovu podataka o protoku saobraćaja, brzini kretanja vozila dobijenih sa ABS-a, saobraćajnoj signalizaciji (prvenstveno ograničenju brzine), Zakonskoj regulativi Republike Srbije i saobraćajnim nezgodama u blizini postavljenih ABS-a.*

**Ključne reči:** *saobraćajni protok, saobraćajne nezgode, automatski brojači saobraćaja, brzina, bezbednost saobraćaja*

**Abstract:** *The collection of quality data on traffic throughout the year was facilitated by the use of ITS for traffic management on roads. More complex analyzes of these collected data provide traffic safety indicators. Automatic traffic counter (hereinafter ABS) is one of the devices used for data collection on the roads of the Republic of Serbia. On roads in the Republic of Serbia there are about 350 ABS installed by the Public Enterprise "Roads of Serbia". The paper presents the method of collecting data on the speeds of motor vehicles and data of traffic flow collected on ABS. The speed of the vehicle, traffic flow and the number of traffic accidents were analyzed. The analysis was based on data on the speed of vehicles and traffic flow received from ABS, traffic signalization (primarily speed limitation), the Serbian legislation and traffic accidents near the installed ABS.*

**Keywords:** *traffic flow, traffic accidents, automatic traffic counters, speed, traffic safety*

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: marija.djordjevic@putevi-srbije.rs

<sup>2</sup> Autor: zoran.pesovic@putevi-srbije.rs

<sup>3</sup> Autor: ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

<sup>4</sup> Autor: milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

## 1. UVODNO RAZMATRANJE

Danas u svetu najveći deo razvijenih zemalja teži prikupljanju što većeg broja informacija o učesnicima u saobraćaju, koji bi se koristili u svim fazama planiranja, projektovanja, izgradnje, eksploatacije i upravljanja bezbednosti saobraćaja na putevima, čime se teži uspostavljanju bezbednog i neometanog kretanja svih učesnika u saobraćaju. Povećanjem konstruktivnih brzina vozila i ograničenju brzine na putevima donele su sa sobom puno pozitivnih efekata, a jedna od najočiglednijih jeste smanjenje vremena putovanja što uslovljava i veću mobilnost ljudi. Ovim napretkom u poslednjim decenijama značajno je smanjeno vreme putovanja, što je u velikoj meri dovelo do razvoja nacionalnih ekonomija i olakšanog pristupa kretanja učesnika u saobraćaju od izvora do cilja na putnoj mreži. Ipak, pored svih navedenih prednosti koje je povećana brzina kretanja učesnika u saobraćaju omogućila, postoje i negativni efekti uticaja koji su nastali zbog povećane brzine.

Povećan broj saobraćajnih nezgoda izazvanih zbog neprilagođene i nepropisne brzine, težina posledica saobraćajnih nezgoda, broj poginulih i povređenih učesnika u saobraćaju, velika materijalna šteta usled velikih brzina samo su neki od razloga zbog kojih svaki učesnik u saobraćaju, a posebno vozač, pre nego što zauzme stav da želi povećati brzinu, kako bi stigao pre do cilja, treba se zapitati koja je to cena. Ako se još napomene da usled velikih brzina dolazi do pojačanog zagađenja životne sredine, buke, uticaja na čovekovo zdravlje, jasno je da postoji opravdana potreba da se brzine vozila ograniče. Naime, i pored ograničene brzine istraživanja i razne studije pokazuju da u velikoj meri najveći procenat vozača i dalje se kreće preko ograničene brzine. Kao proizvod tome vožnja vozila preko ograničene brzine na putevima predstavlja veliki problem javne bezbednosti i zdravlja, mada tačnu uzročnu ulogu brzine u saobraćajnim nezgodama teško je odrediti. U Republici Srbiji prema statističkim podacima Agencije za bezbednost saobraćaja Republike Srbije (u daljem tekstu ABS) u poslednjih deset godina od ukupnog broja poginulih u saobraćaju 51% do 55% učesnika pogine zbog neprilagođene i nepropisne brzine, što ovaj faktor čini jednim od glavnih faktora smrtnosti u saobraćajnim nezgodama.

Regulisanje brzine je tekuća operacija, tako da je redovno praćenje brzine od suštinske važnosti. Angažovanje stalnih radarskih patrola sačinjenih od strane pripadnika saobraćajne policije zahteva velike resurse, kako u pogledu ljudstva tako i materijalne prirode. Naime, da bi se obezbedilo kontinualno praćenje brzina kretanja vozila, neophodno je postaviti stalna merna mesta u vidu postojanja širokog spektra opreme visoke tehnologije za praćenje saobraćaja, induktivnih petlji i drugih detektorskih senzora, koji predstavljaju pouzdano i jeftinije rešenje u odnosu na stalno prisustvo saobraćajne policije. Primena visoke tehnologije u Republici Srbiji je tek u razvoju, a neophodno je odlučiti se za primenu prepoznatljivih i međunarodno prihvaćenih termina koji opisuju primenu ovih tehnologija. Automatski brojači saobraćaja pripadaju grupi inteligentnih transportnih sistema i predstavljaju kolektivne sisteme koji se zasnivaju na jednosmernoj komunikaciji sa korisnicima saobraćajnog sistema.

Inteligentni transportni sistem (u daljem tekstu ITS) predstavlja sistem mera i tehnologija primenjenih u transportnom sistemu koji objedinjuje informatičku i telekomunikacionu tehnologiju sa ciljem povećanja nivoa bezbednosti saobraćaja. Nesmetano kretanje motornih vozila u saobraćajnom toku, minimiziranje vremenskih gubitaka i broja zaustavljanja vozila a samim tim i niži nivo zagađenja životne sredine. [1]

Neposredne komponente različitih podsistema ITS-a se primenjuju na putevima, u vozilima i u širem fizičkom i informacionom okruženju. Šire informaciono okruženje u kome pojedine ITS aplikacije funkcionišu i na koje se neke od njih komunikaciono oslanjaju čine i zemaljski satelitski sistemi, GSM i GPRS mreže, radio komunikacioni prostor itd. Automatski brojači saobraćaja pored detektovanja broja vozila po klasama i saobraćajnim trakama, prosečnog vremenskog intervala sleđenja vozila i zauzetosti saobraćajne trake, takođe mogu služiti i kao sistemi za automatsku kontrolu poštovanja saobraćajnih propisa u pogledu ograničenja brzine kretanja vozila na mestu ili na deonici puta. Na taj način moguće je prikupiti informacije o brzinama učesnika u saobraćaju koji prolaze kroz poprečni presek puta gde su ovi uređaji instalirani, što sa jedne strane omogućava analiziranje brzina u odnosu na kategorije vozila, dok sa druge strane

automatskom kontrolom brzine dovodi do znatnog smanjenja brzina na uočenoj opasnoj deonici puta, a samim tim do smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i težine posledica nezgode. Danas, saobraćajna policija nema adekvatno sačinjen plan radarske kontrole saobraćaja u pogledu brzina na osnovu određenih pokazatelja, dok bi prikupljanjem i obradom ovih podataka tačno moglo uočiti gde se najveći procenat vozača kreće preko ograničenja brzine, odnosno lociranje mesta gde je prisustvo saobraćajne policije obavezno u cilju uspostavljanja kontinualnog praćenja stanja bezbednosti saobraćaja na putevima.

Pored toga predmet istraživanja ovog rada je analiza mogućih načina kontrole brzine kretanja učesnika u saobraćaju na osnovu podataka preuzetih sa automatskih brojača saobraćaja. Stoga, u ovom radu je predstavljen jedan od primera analize brzina kretanja učesnika u saobraćaju u toku godine na odabranim lokacijama, kao i mogućnost korišćenja ovih podataka kao indikatora bezbednosti saobraćaja u pogledu brzine. Lokacija automatskih brojača saobraćaja čiji su rezultati predstavljeni u radu nalaze se u naselju, van naselja, motoputu i autoputu.

Cilj ovog rada predstavlja sagledavanje mogućnosti implementacije automatskih brojača saobraćaja u pogledu prikupljanja i analize brzina kretanja vozila, kao i prednosti koje bi implementacija ovog sistema mogla da donese u pogledu smanjenja negativnih posledica uticaja faktora brzine.

## 2. LITERARNI PREGLED ODNOSNO PRETHODNA ISTRAŽIVANJA O BRZINAMA

Brzina je jedan od ključnih faktora poginulih i povređenih u saobraćajnim nezgodama širom Evrope. Prema ICF Consulting studiji u Evropi bolja primena ograničenja brzine na putevima moglo bi spasiti oko 5800 poginulih i 185000 povređenih u saobraćajnim nezgodama gde se brzina javlja kao vodeći faktor nastanka nezgode. Prva merenja brzina u javnom saobraćaju u Evropi zabeležena su još pre 150. godina, kada su građanima Hamburgu zbog prekoračenja dozvoljene brzine uručene javne opomene, da bi tek 1924. godine ustanovljena dozvoljena brzina konja od 18 km/h (Mirić et al. 1995). Svetska zdravstvena organizacija (WHO<sup>5</sup>) prepoznaje brzinu motornih vozila kao jedan od ključnih faktora vezanih za težinu povreda u saobraćajnim nezgodam i kao takva utiče na rizik nastanka saobraćajne nezgode, kao i posledice nastale u saobraćajnoj nezgodi. Prema WHO „*prekomerena brzina*“ definiše se kao vožnja vozila preko ograničene brzine na posmatranom mestu, dok „*neprimerena brzina*“ odnosi se na brzinu koja je neophodna za savlađivanje puta i saobraćajnih uslova koji se pred vozača postavljaju.[2]

Tokom 2011. godine, u Kanadi je sprovedeno istraživanje koje se bavi poboljšanjem efikasnosti ograničenja brzine u zonama škola i zonama igrališta (Lina et al, 2011) gde je brzina kretanja učesnika u saobraćaju ograničena na 30 km/h. Na osnovu posmatranja od 30 minut prikupljen je uzorak za 4580 vozila. Za statističku analizu u ovom slučaju korišćena je 85% percentil brzine. Cilj istraživanja je bio sagledavanje ukupnog procenta vozila koja prekoračuju brzinu 30 km/h i procenat vozila koja prekoračuju brzinu kretanja definisanim ograničenje za 10 km/h. Na osnovu prikupljenog uzorka dobijeni su rezultati gde je prosečna brzina na svim lokacijama iznosila 31,96 km/h, standardno odstupanje je iznosilo 6,61 km/h, dok je brzina 85-ti percentil vozila iznosila 38,81 km/h. Istraživanja su pokazala da je veoma visok i iznosi 54,43% vozila koja su se kretala brzinom preko ograničene, dok je procenat vozila koja prekoračuju brzinu do 10 km/h u odnosu na ograničenje samo 10%. [3]

Pored Kanade, u Australiji (Sliogeris et al, 1992) je 1987. godine ograničenje brzine na autoputevima i putevima van grada u oblasti Melburna povećano sa 100 km/h na 110 km/h, da bi posle samo dve godine bila vraćena na 100 km/h. U odnosu na kontrolnu oblašću u kojoj je ograničenje brzine ostalo nepromenjeno, u Melburnu je posle povećanja ograničenja za 10 km/h došlo do povećanja stope saobraćajnih nezgoda po pređenom kilometru za 24,6%, dok je posle smanjenja ograničenja stopa saobraćajnih nezgoda smanjila za 19,3%. [4]

---

<sup>5</sup>World Health Organization

Nešto slično se dogodilo i na Novom Zelandu. Tokom 1973. godine, vlada Novog Zelanda je na svim putevima van naselja sa 55 mph<sup>6</sup> smanjila ograničenu brzinu na 50 mph, što je kao rezultat dovelo do smanjenja prosečne brzine kretanja od 5 do 6 mph. U periodu kada je došlo do smanjenja ograničenja brzine kretanja značajno se smanjio procenat povreda u saobraćajnim nezgodama u odnosu na period kada je važno ograničenje brzine od 55 mph. Tako je broj poginulih smanjen za 27%, broj teško povređenih za 24%, dok je procenat vozača koji su zadobili lake telesne povrede smanjen za 22%. Smanjenja ograničenja brzine za puteve van naselja su bila u proseku od 4% do 15%.<sup>[5]</sup>

U SAD (Sjedinjenim Američkim Državama) vršena su ispitivanja efekta promene ograničenja brzine u odnosu na poginule učesnike u saobraćaju na putevima van naselja u određenom broju država. Istraživanja su pokazala da u određenom broju država koja su promenila ograničenje brzine sa 65 na 70-75 mph, broj poginulih se povećao za 38% i 35% respektivno, u odnosu na zemlje koje nisu menjale brzinu ograničenja. Naime, između 1987. i 1988. godine u 40 država SAD-a povećana je ograničena brzina sa 55 na 65 mph što je za rezultat imalo povećanje prosečne brzine za oko 3 mph, a tokom tog perioda broj poginulih na ovim putevima povećan je između 20% i 25%.<sup>[6]</sup>

Postoji i veliki broj studija u kojima se verovatnoća nastanka nezgode, uključujući i povrede je proporcionalna kvadratu brzine, a verovatnoća nastanka nezgode sa teškim povredama proporcionalna kubu brzine, dok je verovatnoća nastanka nezgode sa smrtnim ishodom je proporcionalna četvrtom stepenu brzine. Empirijski dokazi iz pojedinih studija brzine u različitim zemljama ukazuju da porast prosečne brzine za 1 km/h povećava oko 3% verovatnoću od nastanka povreda u nezgodi, odnosno povećava od 4% do 5% verovatnoću nastanka smrti u saobraćajnim nezgodama. Smanjenje brzine za 1 km/h za oko 3% smanjuje verovatnoću nastanka povreda u nezgodi, dok se verovatnoća nastanka smrti usled saobraćajne nezgode smanjuje od 4% do 5%.

Prema Taylor-u, analizirajući nezgode na različitim tipovima puteva u Velikoj Britaniji, došlo se do zaključka da svako smanjenje brzine za oko 1 mph, smanjuje broj saobraćajnih nezgoda za najviše 6%.<sup>[7]</sup>

### 3. BRZINA KAO FAKTOR NASTANKA SN

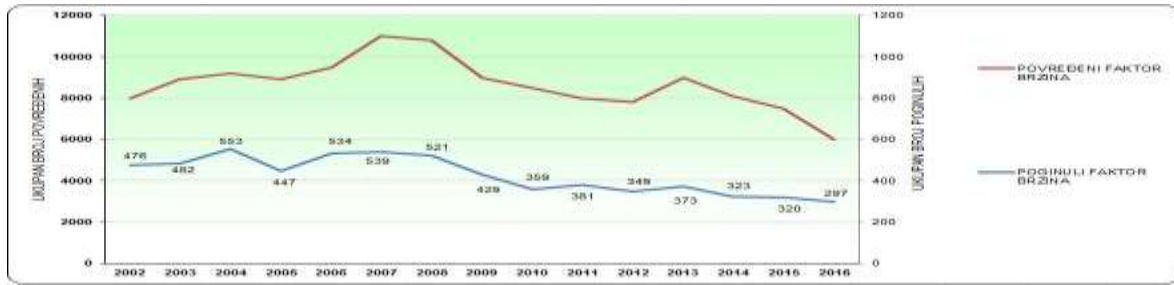
Prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima Agencije za bezbednost saobraćaja ukazuje da su učesnici u saobraćaju najugroženiji na državnim putevima I i II reda koji prolaze kroz naselja, što predstavlja oko 34% od ukupnog broja poginulih u saobraćajnim nezgodama. Vodeći i najčešće uticajni faktor koji doprinosi broju stradalih u ovim saobraćajnim nezgodama čini nepropisna i neprilagođena brzina učesnika u saobraćaju.

Podaci ukazuju da je faktor brzina opredeljena čak u više od 50% saobraćajnih nezgoda, koji kao posledicu imaju poginule učesnike u saobraćaju (ABS et al. 2014). Naravno, ove apsolutne pokazatelje ne treba uzeti sa velikom sigurnošću, s obzirom da neke saobraćajne nezgode sa poginulima policija identifikuje kao nezgode kod kojih je glavni uticajni faktor brzina i u slučaju kada nije, već je vezana za eventualni doprinos u pogledu težine posledica saobraćajne nezgode.

U mnogim razvijenim zemljama, stručnjaci za saobraćajne nezgode uz pomoć dubinske analize saobraćajne nezgode dolaze do tačnog procenta učešća brzine kao uticajnog faktora nastanka saobraćajne nezgode, pa tako policija ne daje informacije o uzroku nastanka saobraćajne nezgode. Naime, u Republici Srbiji ne postoje tačne i detaljne analize u kojima je dokazan broj poginulih i povređenih vozača gde je brzina glavni faktor doprinosi nastanka saobraćajnih nezgoda. Na slici 1 je prikazana raspodela broja poginulih i broja povređenih u nezgodama gde je faktor nastanka brzina.

---

<sup>6</sup>1 mph = 1,609 km/h



Slika 1. Brzina kao uticajni faktor po godinama

#### 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

##### 4.1. Princip rada automatskog brojača saobraćaja

Na državnoj putnoj mreži Republike Srbije instalirano je oko 350 automatskih brojača saobraćaja serije QLTC-10C, na osnovu kojih je moguće u svakom trenutku prikupljati, pratiti stanje i analizirati parametre saobraćajnog toka po unapred definisanim vremenskim intervalima tokom cele godine. Jedan od osnovnih izveštaja sastoji se u evidentiranju broja vozila, smer kretanja vozila, kategorizacije vozila koja je usklađena sa Evropskom normom EEC 1108/70 (motocikli, putnički automobil, kombinovano vozilo, lako teretno vozilo, srednje teško teretno vozilo, teško teretno vozilo, teško teretno vozilo sa prikolicom, tegljač sa poluprikolicom, autobusi, zglobni autobusi i nekategorisana vozila), minimalne i maksimalne brzine vozila u odabranom vremenskom intervalu, razvrstavanje vozila u 16 brzinskih klasa, interval sleđenja između vozila, zauzetost trake i drugih važnih parametara za praćenje toka saobraćaja na putu. Pogodnost ovog izveštaja ogleda se u tome što se na osnovu izveštaja o broju vozila evidentiranih u određenu klasu brzine (klase do 10 km/h, 10-20 km/h, 20-30 km/h, 140-150 km/h i preko 150 km/h), za period tokom cele godine, može izračunati ukupan broj vozila koja su se kretala određenom klasom brzine.

##### 4.2. Analiza saobraćajnih tokova i broja saobraćajnih nezgoda

Za potrebe ovog istraživanja korišćeni su podaci sa ABS-a od 2015. do 2017. godine na segmentima državnih puteva IB reda broj 22 od Ljiga do Mrčajevaca. Takođe, u istraživanje su ušle i saobraćajne nezgode na pomenutom segmentu u periodu od 2015. do 2017. godine. Prvenstveno je analiziran segment od Dići do Preljine koji je deo pomenutog segmenta. Ovaj segment je analiziran kako bi se utvrdile promene saobraćajnih tokova, brzina u saobraćajnim tokovima i promena broja saobraćajnih nezgoda pre i posle puštanja u saobraćaj deonice autoputa odnosno državnog puta IA reda broj 2 krajem 2016. godine. U tabeli 1 dati su segmenti koji su predmet analize.

Tabela 1. Predmet analize

Segment puta	Dužina segmenta (km)
Ljig – Dići – Preljina - Mrčajevci	68.86
Dići - Preljina	47.876

Zbog razlike u ograničenju dozvoljene brzine po smerovima na predmetnom segmentu analizirani su posebno smerovi na deonicama gde su postavljeni ABS. U tabeli 2. su prikazani smerovi na lokacijama gde su postavljeni ABS. Primenom softverskog alata ArcGis desktop vršena je analiza saobraćajnih nezgoda na predmetnim segmentima. Na slici 2. dat je položaj ABS i saobraćajnih nezgoda na predmetnim segmentima.





Slika 2. Položaj ABS i saobraćajnih nezgoda na predmetnim segmentima

Tabela 2. ABS na posmatranim segmentima puta

Segment puta Ljig - Mrčajevci		
ID brojača	smer1	smer2
1035	Beograd - Čačak	Čačak - Beograd
1036	Beograd - Čačak	Čačak - Beograd
1153	Čačak - Beograd	Beograd - Čačak
1037	Beograd - Čačak	Čačak - Beograd
1038	Čačak - Beograd	Beograd - Čačak
1154	Beograd - Čačak	Čačak - Beograd
1156	Kraljevo - Beograd	Beograd - Kraljevo

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Pre samog istraživanja izračunata je veličina saobraćajnog toka i stopa rasta na lokacijama sa ABS-om za period od 2015. do 2017. godine što se vidi u tabeli 3.

Tabela 3. Vrednosti PGDS-a sa stopama rasta na deonicama sa ABS

ID brojača	PGDS 2015	PGDS 2016	PGDS 2017	stopa rasta 2016/15	stopa rasta 2017/16
1035	8900	9886	11077	10.0%	10.8%
1036	7193	8015	9200	10.3%	12.9%
1153	6740	6524	nema podataka <sup>7</sup>	-3.3%	-
1037	9768	9238	5046	-5.7%	-83.1%
1038	9993	9560	5870	-4.5%	-62.9%
1154	13180	12796	9026	-3.0%	-41.8%
1156	11012	11366	12243	3.1%	7.2%

<sup>7</sup> ABS 1153 tokom 2017. godine nije bio u funkciji

Detektovanim brzinama na ABS-ovima proračunata je srednja brzina vozila kako na deonicama tako i po smerovima za period od 2015. do 2017. godine. Vrednosti ograničenja brzine i srednje brzine date su u tabeli 4.

**Tabela 4. Srednja brzina vozila po godinama**

a) na deonici

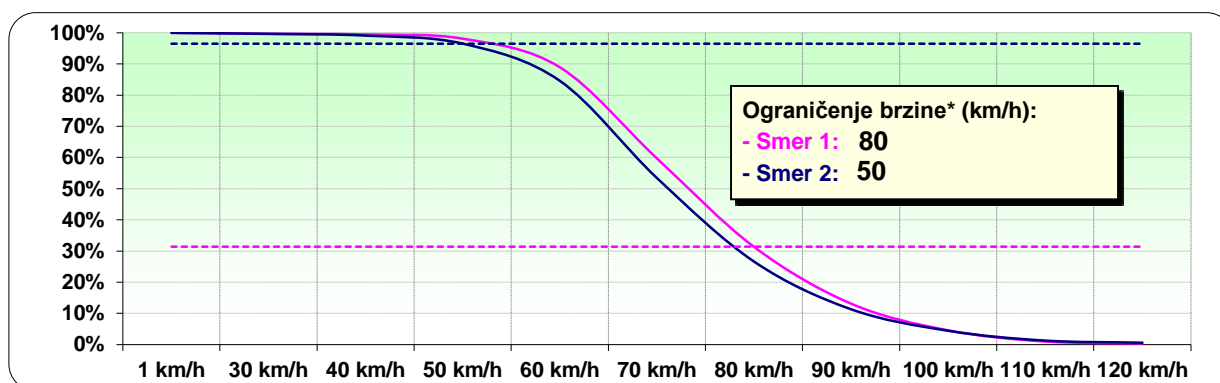
b) po smerovima

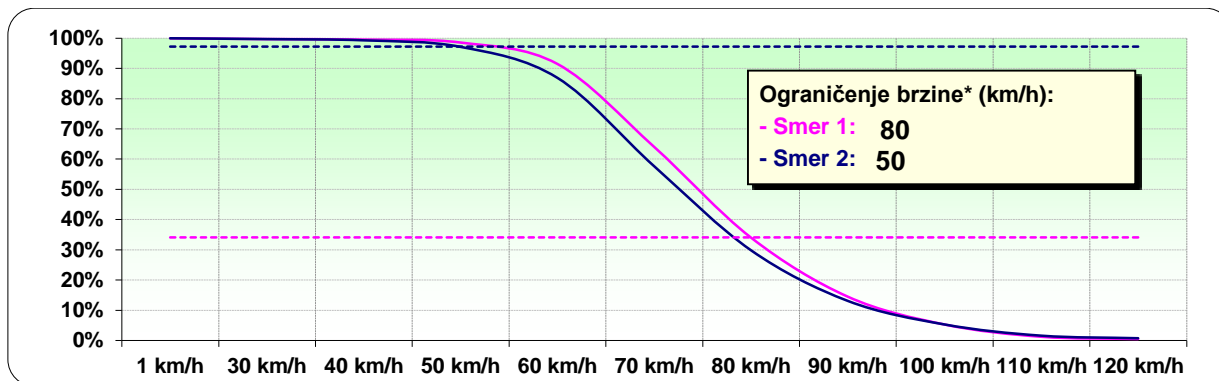
ID brojača	Srednja brzina			SREDNJA BRZINA VOZILA PO SMEROVIMA								
	2015	2016	2017	ID brojača	ograničenje brzine <sup>8</sup>		smer1			smer2		
					smer 1	smer 2	2015	2016	2017	2015	2016	2017
1035	58	58	58	1035	80	80	58,30	59,22	58,64	57,42	57,68	57,66
1036	72	72	71	1036	70	60	71,4	71,36	69,20	72,45	71,36	73,19
1153	76	76	nema podataka	1153	80	60	67,59	77,86	nema podataka	63,42	73,18	nema podataka
1037	73	74	78	1037	80	50	73,58	74,86	77,79	71,7	73,11	77,27
1038	72	73	74	1038	70	70	70,30	71,02	73,07	73,85	74,55	76,35
1154	63	62	64	1154	60	70	62,97	61,62	63,33	63,45	62,44	64,4
1156	71	71	71	1156	80	80	69,48	69,33	69,13	72,62	73,06	73,43

Na lokacijama gde su postavljeni ABS moguće je izračunati procenat vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu što se vidi u tabeli 5. Na slikama 3, 4, 5, 6, 7, i 8 dat je grafički prikaz prekoračenja na lokacijama na kojima je izračunat najveći procenat prekoračenja dozvoljene brzine.

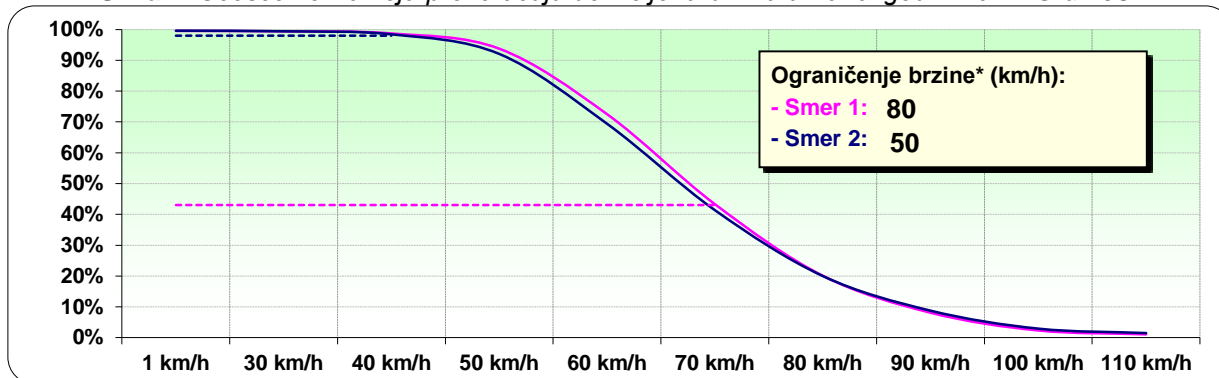
**Tabela 5. Procenat vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu kretanja po smerovima u posmatranim godinama**

%VOZILA KOJA PREKORACUJU DOZVOLJENU BRZINU								
ID brojača	ograničenje brzine		smer1			smer2		
	smer1	smer2	2015	2016	2017	2015	2016	2017
1035	80	80	4,97	5,55	4,74	5,94	6,00	5,84
1036	70	60	56,04	56,12	47,18	88,64	89,7	90,02
1153	80	60	42,62	45,14	nema podataka	85,81	85,42	nema podataka
1037	80	50	31,36	34,09	43,3	96,52	97,16	98,42
1038	70	70	48,19	50,55	57,53	60,69	62,85	66,96
1154	60	70	67,17	62,58	66,61	26,36	24,8	30,6
1156	80	80	18,48	18,5	17,69	26,59	28,41	29,1

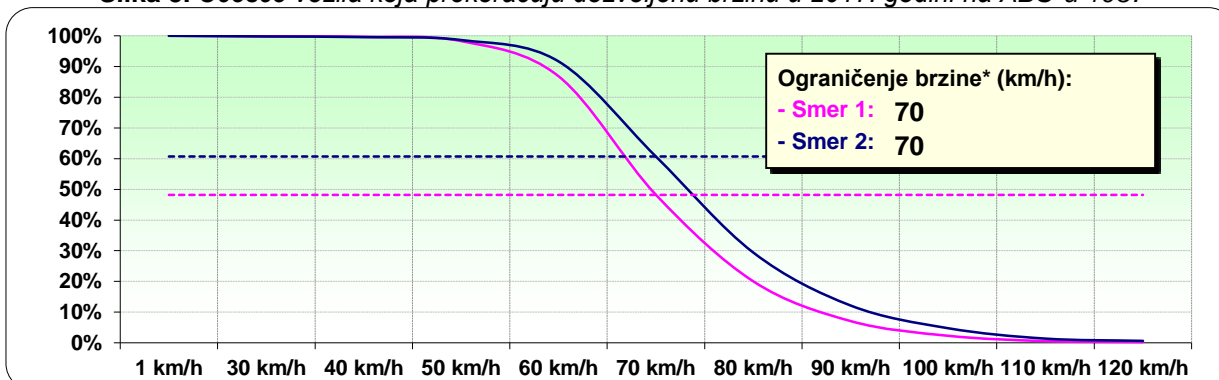

**Slika 3. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2015. godini na ABS-u 1037**
<sup>8</sup> Podaci o ograničenju dobijeni su od Ministarstva unutrašnjih poslova Republike Srbije



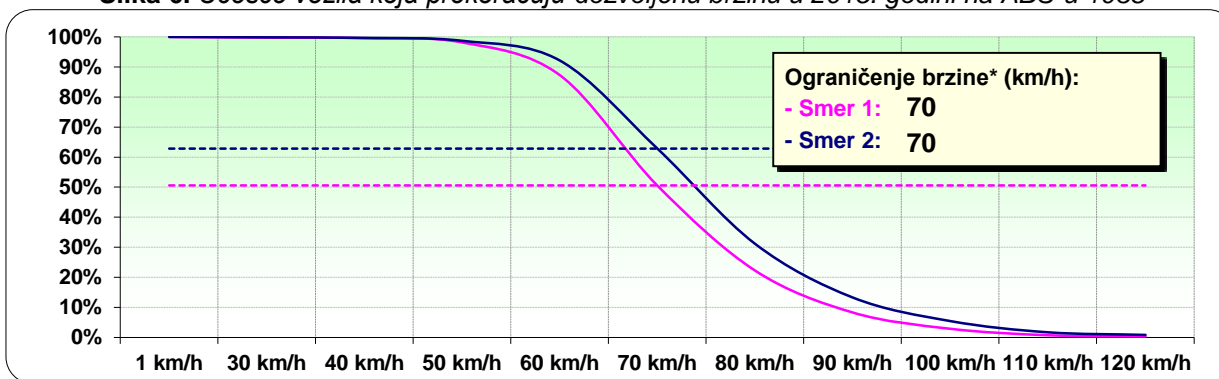
Slika 4. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2016. godini na ABS-u 1037



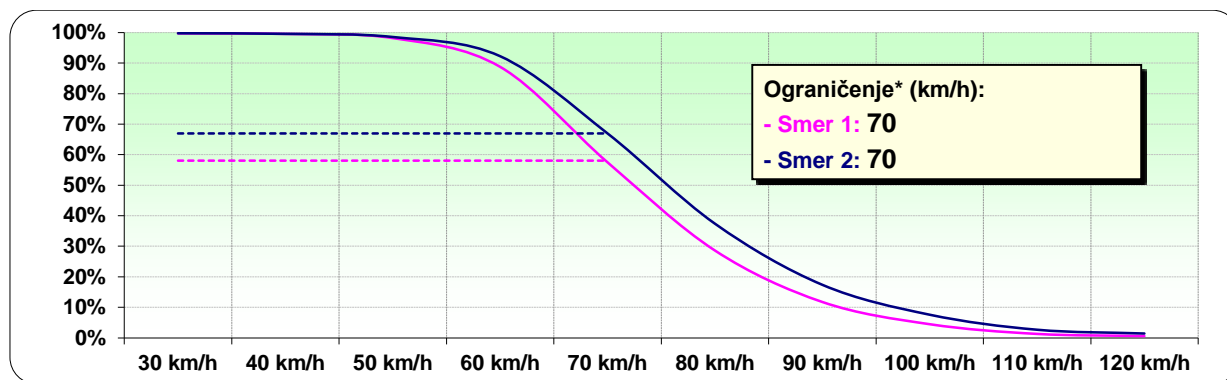
Slika 5. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2017. godini na ABS-u 1037



Slika 6. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2015. godini na ABS-u 1038



Slika 7. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2016. godini na ABS-u 1038

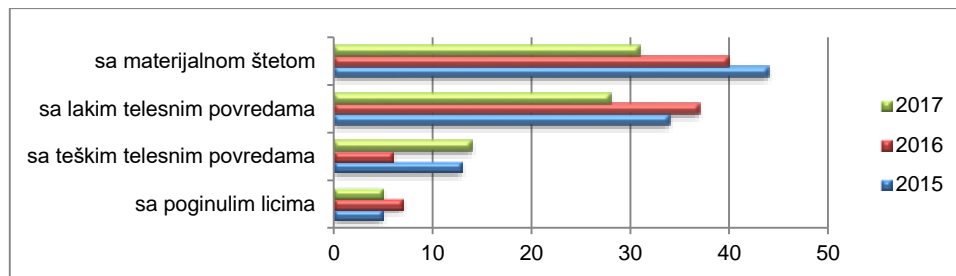


Slika 8. Učešće vozila koja prekoračuju dozvoljenu brzinu u 2017. godini na ABS-u 1038

Analizom podataka evidentirane su saobraćajne nezgode na predmetnom segmentu. Takođe je izvršena klasifikacija saobraćajnih nezgoda po posledicama. U tabelama 6. i 7. dat je prikaz saobraćajnih nezgoda po posledicama kao i promena prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (u daljem tekstu PGDS) u period od 2015. do 2017. godine. Grafički prikaz promene broja saobraćajnih nezgoda po posledicama u periodu od 2015. do 2017. godine dat je na slikama 9. i 10.

Tabela 6. Analiza saobraćajnih nezgoda po godinama na segmentu Ljig – Dići – Preljina – Mrčajevci

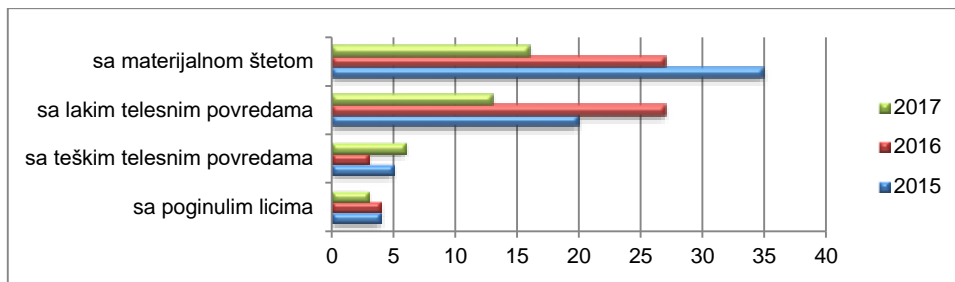
Broj saobraćajnih nezgoda na segmentu Ljig – Dići – Preljina - Mrčajevci							
	sa poginulim licima	sa teškim telesnim povredama	sa lakim telesnim povredama	sa materijalnom štetom	ukupno	PGDS	Duzina segmenta (km)
2015	5	13	34	44	96	9624	68.86
2016	7	6	37	40	90	9610	68.86
2017	5	14	28	31	78	7026	68.86



Slika 9. Grafički prikaz saobraćajnih nezgoda po godinama na segmentu Ljig – Dići – Preljina – Mrčajevci

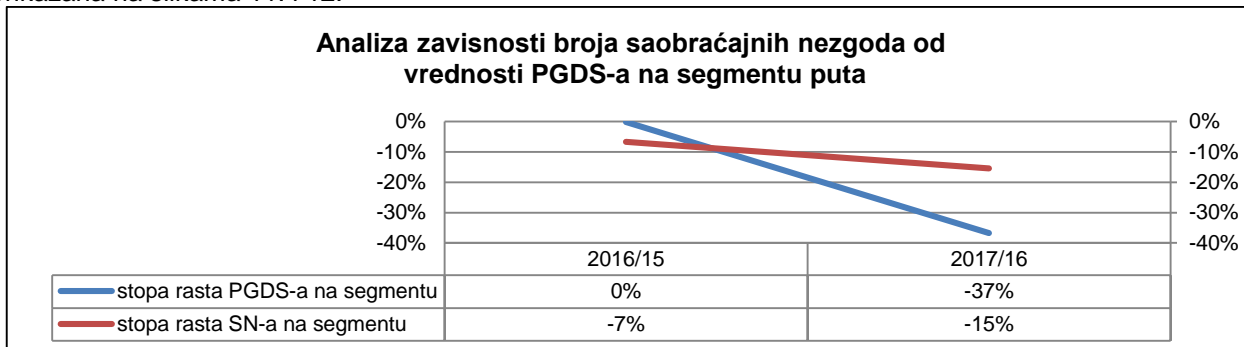
Tabela 7. Analiza saobraćajnih nezgoda po godinama na segmentu Dići – Preljina

Broj saobraćajnih nezgoda na segmentu Dići - Preljina							
	sa poginulim licima	sa teškim telesnim povredama	sa lakim telesnim povredama	sa materijalnom štetom	ukupno	PGDS	Duzina segmenta (km)
2015	4	5	20	35	64	9607	47.9
2016	4	3	27	27	61	9335	47.9
2017	3	6	13	16	38	5362	47.9

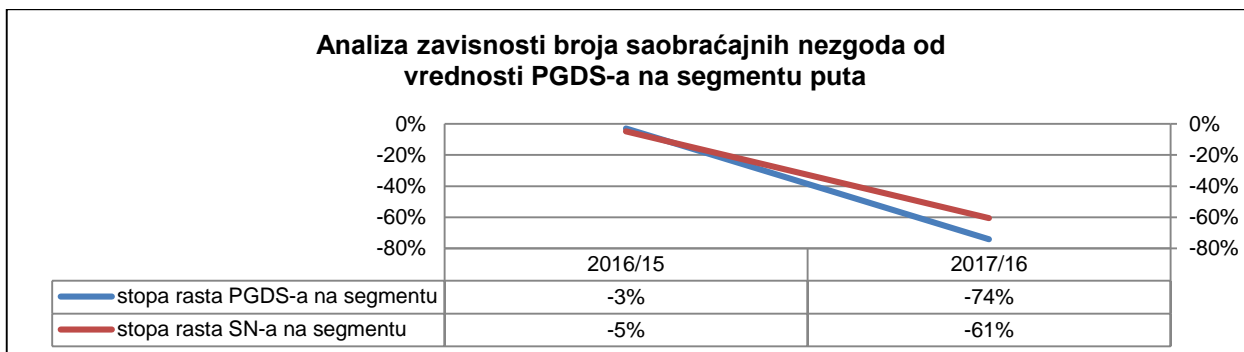


Slika 10. Grafički prikaz saobraćajnih nezgoda po godinama na segmentu Dići – Preljina

Analiza zavisnosti saobraćajnih nezgoda od vrednosti PGDS-a na posmatranim segmentima grafički je prikazana na slikama 11. i 12.



Slika 11. Grafički prikaz zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda od vrednosti PGDS-a po godinama na segmentu Ljig – Dići – Preljina – Mrčajevci



Slika 12. Grafički prikaz zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda od vrednosti PGDS-a po godinama na segmentu Dići – Preljina

## 6. ZAKLJUČAK

Analizom brzina saobraćajnog toka na predmetnom segmentu ustanovljeno je da se srednja brzina toka povećava po posmatranim godinama a samim tim povećavaju se i prekoracenja dozvoljene brzine. Na primeru ABS-a 1037 vidi se da se vrednosti srednje brzine u periodu od 2015. do 2017. godine kreću od 73 do 78 km/h na celoj deonici. Kada se pogledaju po smerovima srednje brzine u smeru 1 su u 2015. godini 73,58 km/h, u 2016. godini 74,86 km/h a u 2017. godini 77,79 km/h, a u smeru 2 su u 2015. godini 71,77 km/h, u 2016. godini 73,11 km/h a u 2017. godini 77,27 km/h. Primećeno je da je veći porast srednje brzine usledio u 2017. godini što je uzrokovano puštanjem u saobraćaj deonice državnog puta IA reda broj 2 od Dići do Preljine. Slična situacija je i sa prekoracenjem dozvoljene brzine. Na primeru ABS 1037 prekoracenje u smeru 1 gde je ograničenje 80 km/h je u 2015. godini 31,36% vozila, u 2016. godini 34,09% vozila, a u 2017. godini prekoracenje je 43,3% vozila koja prekoracuju dozvoljenu brzinu. Ovim je zaključeno da je brzina jedan od faktora koji se promenio ali je neusaglašena promena brzina i saobraćajnih nezgoda. Istraživanjem se došlo do zaključka da se broj saobraćajnih nezgoda smanjio, a brzine povećale.

Na osnovu analize promene PGDS-a usled puštanja u saobraćaj deonice državnog puta IA reda broj 2 od Dići do Preljine, promene brzina vozila i broja saobraćajnih nezgoda za period od 2015. do 2017. godine je značajna.

Na segmentu od Ljiga do Mrčajevaca na državnom putu IB reda broj 22 vrednost PGDS-a u odnosu na pre i posle puštanja u saobraćaj deonice državnog puta IA reda broj 2 od Dići do Preljine se smanjila za 37% a na istom segmentu vrednost saobraćajnih nezgoda se smanjila za 15%. Zaključeno je da su promene PDGS-a i broja saobraćajnih nezgoda nesrazmerne te je potrebno tražiti i druge faktore koji utiču na promenu saobraćajnih nezgoda. Takođe je u razmatranje uzet manji segment na državnom putu IB reda broj 22 od Dići do Preljine (što predstavlja tačke ulaska/izlaska na državni put IA reda broj 2). Vrednost PGDS na ovom segmentu u odnosu na pre i posle puštanja u saobraćaj deonice državnog puta IA reda broj 2 od Dići do Preljine se smanjila za 74% a na istom segmentu vrednost saobraćajnih nezgoda se smanjila za 61%. Zaključeno je da je promena odnosno smanjenje saobraćajnog opterećenja uticala na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda na ovom segmentu, ali da ta promena nije jedini faktor koji utiče na promenu broja saobraćajnih nezgoda

Konačnom analizom svih saobraćajnih parametara koji su predmet ovog istraživanja na posmatranim segmentima ustanovljeno je da je u posmatranom periodu od 2015. do 2017.godine došlo do smanjenja PGDS-a usled puštanja u saobraćaj deonice državnog puta IA reda broj 2 od Dići do Preljine, povećanje srednje brzine vozila ali i nesrazmernom smanjenju broja saobraćajnih nezgoda u odnosu na promenu prethodna dva parametra. Potrebno je detaljnije analizirati predmetni segment kako bi se ustanovili faktori koji utiču na promenu broja saobraćajnih nezgoda.

Upotrebom generisanih podataka na ABS uređajima moguće je vršiti detaljnije analize promene svih saobraćajnih parametara u posmatranom periodu, njihov uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda kao i za upravljanje saobraćajnim tokovima.

## Zahvale

Zahvaljujemo se Ministarstvu unutrašnjih poslova Republike Srbije na pomoći u vidu podataka o saobraćajnim nezgodama za 2015, 2016 i 2017. godinu, kao i podacima o ograničenju brzina na deonicama na kojima su postavljeni ABS.

## Literatura

[1] - Road Safety Performance in member countries - OECD/ECMT Transport Research Centre in 2005

[2] - WHO, World report on road traffic injury prevention - Risk factors, Chapter 3.

[3] - Institute for road safety research, SWOV fact sheet, 2012.

[4] - Sliogeris J. 110-kilometre per hour speed limit: Evaluation of road safety effects, Melbourne, Report No. GR92 8, Vicroads, 1992.

[5] - Frith B, Toomath JB. (1982), The New Zealand open road speed limit. Accident Analysis and Prevention.

[6] - Transportation Research Board (1998). Managing speed. Review of the practice for setting and enforcing speed limits. Special report 254, National Academic Press.

[7] - Taylor MC et al. (2000). The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. Crowthorne, Berkshire, UK TRL Report No. 421. Transport Research Laboratory (TRL).

[8] - Ministarstvo unutrašnjih poslova Republike Srbije, Agencija za bezbednost saobraćaja, Javno preduzeće „Putevi Srbije“ – Integrisana baza podataka od obeležjima bezbednosti saobraćaja, at: <http://bazabs.abs.gov.rs/>



## АНАЛИЗА МОДЕЛА ЗА ПРОРАЧУН ЕКСПЛОАТАЦИОНИХ БРЗИНА НА ВАНГРАДСКИМ ПУТЕВИМА

Весна Мештеровић, дипл. инж. саобраћаја<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, Србија, vesnamesterovic@gmail.com

Проф. др Владан Тубић, дипл. инж. саобраћаја

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, Београд, Србија, vladan@sf.bg.ac.rs

**Резиме:** Брзина је, са аспекта саобраћајног инжењерства, важан показатељ који има утицај на ефикасност, време путовања, безбедност у саобраћају, економичност и трошковне анализе. С тим у вези, могућност и способност процене валидних и ажурних експлоатационих брзина саобраћајног тока представља основу за планирање, пројектовање и вредновање, као и за управљање саобраћајем и безбедношћу на путевима. Основни циљ овога рада је да се, кроз примену одабраних постојећих модела прорачуна експлоатационих брзина на четрнаест деоница двотрачних путева у Србији, утврди у којој је мери сваки од примењених модела подобан за примену на мрежи путева Србије. У раду су, као основ за проверу подобности примењених модела, коришћени подаци о техничко експлоатационим карактеристикама пута и саобраћајних токова, емпиријска истраживања, као и подаци о реалним експлоатационим брзинама добијени са аутоматских бројача саобраћаја.

**Кључне речи:** експлоатациона брзина, двотрачни путеви, поређење модела.

## ANALYSIS OF THE OPERATING SPEED MODELS ON TWO-LANE RURAL HIGHWAYS

Vesna Mesterovic, B.Sc. T.E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija

Vladan Tubic, Ph.D. T.E.

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija

**Abstract:** From a traffic engineering point of view, speed is an important indicator with impact on efficiency, travel time, traffic safety, cost effectiveness and cost analysis. Therefore, the possibility and capability to assess valid and up-to-date operating speed represents the basis for planning, designing and evaluating, as well as traffic management and road safety. The main objective of this paper is to determine to what extent is each of the applied models suitable for Serbia's road network, by applying existing operating speed models to fourteen sections of two-lane rural highways. As a basis for checking the suitability of applied models, the data on characteristics of road and traffic flow, empirical research, as well as data on real operating speeds obtained from automatic traffic counters were used.

**Keywords:** operating speed, two-lane roads, models compare.

### 1. УВОД

Као један од основних параметара у димензионисању и вредновању пројектних решења, брзина је последњих година била предмет бројних истраживања. У пројектовању, брзина се користи као критеријум за унапређење конзистентности узастопних елемената пута, где се конзистентност пројектовања односи на способност геометријских карактеристика пута да одговоре очекивањима возача. Приступ експлоатационе брзине препознат је као једна од најефикаснијих мера за процену конзистентности пројекта пута, а у свету су развијени бројни модели за утврђивање и анализу експлоатационих брзина на путевима. Постојеће геометријске карактеристике елемената пута заснивају се на пројектној брзини, која мора бити у складу са категоријом пута, наменом земљишта и топографијом терена. Међутим, овај концепт пројектне брзине често није довољан за смањење варијација реалних брзина на путу, будући да у постојећем стању пројектна брзина често није у складу са постављеним ограничењем брзине и/или реалном брзином саобраћајног тока.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: vesnamesterovic@gmail.com

Због великог значаја експлоатационих брзина и модела за анализу експлоатационих брзина у саобраћајном инжењерству, основни циљ овога рада био је да се најпре испитају постојећи услови и зависности које се јављају између пројектних, слободних, ограничених и реалних брзина на одабраним деловима мреже, а потом и да се, кроз примену и детаљну анализу резултата постојећих модела за прорачун експлоатационих брзина, утврди у којој је мери сваки од анализираних модела подобан за примену на мрежи путева Републике Србије. У складу са наведеним, на мрежи путева Србије одабрано је четрнаест деоница двотрачних путева са инсталираним аутоматским бројачима саобраћаја, а зоне истраживања сведене су на одсеке хомогених карактеристика пута у дужинама од по километар испред и иза бројача. У раду су испитивана два домаћа линеарна модела и модел по поступку из НСМ 2000, а резултати које су анализирани модели остварили, поређени су са реалним експлоатационим брзинама возила у току, како би се утврдио ниво одступања модела од реалних вредности и подобност њихове примене.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Брзина је, са аспекта саобраћајног инжењерства, доминантан показатељ који има утицај на ефикасност, време путовања, безбедност у саобраћају, економичност и трошковне анализе. Као један од основних показатеља саобраћајног тока, она у исто време представља индикатор нивоа услуге при датом саобраћајном оптерећењу и главни параметар у димензионисању и вредновању пројектних решења, будући да од ње зависе сви елементи пута. Са друге стране, брзина се може описати и као једним од најважнијих фактора које корисници путева узимају у обзир приликом оцене погодности и ефикасности одређене руте (TRB, 2011).

Када се говори о брзини саобраћајног тока, она суштински зависи од величине и услова у саобраћајном току, са једне стране, и техничко – експлоатационих карактеристика пута и путног окружења, са друге стране, а оба услова су, по правилу, у функцији класе, односно категорије пута. Генерално, возачи возе већим брзинама на комфорнијим профилима, путевима без кривина, путевима са добрим стањем коловоза (Elliott et al, 2003; Martens et al, 1997) и у присуству мањег броја зграда, дрвећа и вегетације дуж пута (Elliott et al, 2003). С тим у вези, једна од основних мера управљања брзинама на путевима је дефинисање ограничења брзине. Ограничења брзине морају дефинисати сигурну брзину, која одражава функцију пута, саобраћајне услове у току и пројектоване карактеристике пута (ERSO, 2015). Ако то није случај, може доћи до проблема неусклађености перцепције возача о одговарајућој брзини на одређеном делу пута и постављеног ограничења брзине, при којем, према Gardner & Rockwell (1983), возачи имају већу тенденцију да се пре ослањају на сопствене процене о одговарајућој брзини, него на постављено ограничење брзине. Јављање наведеног проблема на одређеном путу или делу пута, отвара питање кредибилитета постављеног ограничења брзине на том путу. У прилог томе, Тубић и Челар (2017) су испитивали поштовање ограничења брзина, а самим тим и кредибилитет постављених ограничења на ванградској путној мрежи Србије, а резултати су показали да на двотрачним државним путевима у Србији, већина возача не поштује постављено ограничење брзине, те да је тај проценат на деоницама са ограничењима брзине од 40 km/h, 50 km/h и 60 km/h много већи него на деоницама са ограничењем брзине од 80 km/h, што је и потврдило полазну хипотезу истраживања да што је већа разлика између слободне и ограничене брзине, већи је и проценат возача који не поштују постављено ограничење.

Од увођења појма експлоатационе брзине, постојао је проблем успостављања једне одговарајуће дефиниције. Према резултатима анкете коју су Fitzpatrick et al. (2003) спровели међу стручњацима, најшире прихваћена дефиниција експлоатационе брзине је дефиниција која каже да је експлоатациона брзина највећа укупна брзина којом возач може путовати на одређеном путу под повољним временским и преовлађујућим саобраћајним условима, без икаквог прекорачења сигурне брзине која је одређена пројектном брзином по деоницама (Fitzpatrick et al., 2003; AASHTO, 1994; AASHTO, 1990). У домаћој пракси, експлоатациона брзина се дефинише као просечна брзина саобраћајног тока у нормалним условима, тј. условима међусобног ометања учесника у саобраћају (Кузовић, 1977).

Експлоатационе брзине на двотрачним путевима зависе од многих фактора који се односе на возаче, возила, путно окружење, радијусе хоризонталних кривина, стопе закривљености, уздужне нагибе, дужине хоризонталних кривина, углове дефлексије, прегледности, факторе бочног трења и стања коловоза (Pratico, F. & Giunta, M., 2012). Значај експлоатационе брзине и модела за анализу експлоатационих брзина је вишеструк. Укључивање предвиђања експлоатационих брзина у пројектној

фази, био је фокус значајних истраживања у последњих неколико година, јер процена експлоатационе брзине пружа прилику за процену очекиваних промена у брзинама возила која прелазе узастопне елементе пута (TRB, 2011). У основи, пројектна брзина на неком путу се бира у складу са категоријом пута, топографијом терена и наменом земљишта, а пројектанти се труде да задрже константну пројектну брзину у што већој дужини трасе, како би се задржала конзистентност (TRB, 2011). Међу различитим постојећим мерама за процену конзистентности пројекта пута, приступ експлоатационе брзине се може назвати једном од најефикаснијих и квантификованих мера (Misaghi, P. & Hassan, Y., 2005). Конзистентност пројектовања за појединачни елемент пута може се проценити упоређивањем експлоатационе и пројектне брзине, као и одређивањем границе сигурности (Lamm, R. et al., 1995). Када је реална експлоатациона брзина већа од пројектне брзине, што је заједничко за ванградске путеве, карактеристике пута могу постати проблем са аспекта безбедности (Jiang, Z. et al, 2016).

Harwood et al. (2000) су, анализом шест стручних радова који се баве различитим аспектима односа између пројектне и експлоатационе брзине и конзистентности пута, дефинисали три кључна начела која се могу користити за развој пројектног процеса који води ка сигурнијем, ефикаснијем и конзистентнијем пројектовању. Прво, пројектне брзине не смеју бити произвољне, већ се морају одабрати на основу објективно процењених експлоатационих брзина. Друго, ако се користи нижа пројектна брзина, све карактеристике пута и путног окружења морају бити у складу са нижом брзином. Треће, велике разлике у експлоатационим брзинама између узастопних елемената пута представљају неконзистентност пројекта која може довести до проблема са безбедношћу.

У протеклих шездесет година, спроведене су бројне студије утврђивања експлоатационих брзина широм света (TRB, 2011). Традиционални приступи су подразумевали предвиђање експлоатационих брзина засебно на кривинама и правцима. Само неколико аутора, развило је континуални модел експлоатационе брзине на узастопним елементима пута (Dell'Acqua, G., & Russo, F., 2010). Основни циљ овог рада је да се, кроз примену одабраних постојећих модела прорачуна експлоатационих брзина на четрнаест деоница двотрачних путева у Србији, утврди у којој је мери сваки од примењених модела подобан за примену на мрежи путева Србије.

### **3. ПРОБЛЕМ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА**

Како би се испитали постојећи модели и подобност њихове примене у проценама експлоатационих брзина на двотрачним путевима у Србији, у раду су као основа за даље прорачуне и анализу добијених резултата коришћени подаци о техничко – експлоатационим карактеристикама путева и саобраћајних токова, али су спроведена и емпиријска истраживања. Подаци о реалним експлоатационим брзинама, анализирани су са аутоматских бројача саобраћаја (АБС) и послужили су као основ за реперне вредности провере валидности модела.

За потребе истраживања, на мрежи путева IB реда одабрано је четрнаест деоница са инсталираним аутоматским бројачима саобраћаја, а зоне истраживања сведене су на одсеке хомогених карактеристика пута, у дужинама од по километар испред и иза аутоматских бројача саобраћаја (Слика 1). Подаци о техничко – експлоатационим карактеристикама хомогених одсека добијени су из постојеће базе података о путевима Јавног предузећа „Путеви Србије“ (2016) и проверавани емпиријским истраживањима на терену. Подаци о реалним брзинама и меродавним протоцима добијени су детаљном анализом података са аутоматских бројача саобраћаја. Ограничења брзине, проценти дозвољених претицања и број приступних тачака и остали саобраћајни услови добијени су емпиријским истраживањима на терену.

Све одабране хомогене одсеке путева, карактеришу попречни профили без критичних радијуса хоризонталних кривина, док је утицај подужног нагиба забележен на само једном анализираним одсеку. На осам одсека је, такође, детектовано опште ограничење брзине од 80 km/h, које важи за ову категорију пута, док су на осталим одсецима ограничења брзина била доста нижа. Када је реч о просечном годишњем дневном саобраћају, вредности се по одсецима крећу у распону од 3.000 до 16.500 возила на дан, према јавно доступним подацима за 2016. годину (ЈП „Путеви Србије“, 2016).

У оквиру истраживања, коришћени су линеарни модели експлоатационих брзина за двотрачне путеве (1) и (2), тестирани за различите вредности меродавних протока (30-ог и 200-ог сата, као и по класама протока), и модел експлоатационих брзина на двотрачним путевима по поступку из HCM 2000 (3),

коришћењем софтвера HCS 2000 (акроним од *Highway Capacity Software*). Први линеарни модел експлоатационих брзина, који је коришћен, дефинисао је Кузовић (1994) и гласи:

$$V_{ei} = \left[ V_{sli} - \frac{q_m}{C} (V_{sli} - V_c) \right] \left[ (1 - R) + \frac{R \times P}{100} \right] \quad (1)$$

Где су:

$V_{ei}$  – експлоатациона брзина основних категорија возила у току,

$V_{sli}$  – брзина основних категорија возила у слободном току,

$q_m$  – меродавни вршни проток,

$C$  – практични капацитет,

$V_c$  – брзина тока при капацитету,

$R$  – редуковани фактор утицаја прегледности на експлоатационе брзине,

$P$  – проценат укупне дужине деонице на којој постоји довољна прегледност за безбедно претицање,

а образац важи за  $\frac{q_m}{C} \leq 1$  (Кузовић, 1994).

Други линеарни модел експлоатационих брзина представља модификовани први модел, тако да је у прорачуне укључена и просечна брзина свих возила у слободном току, према следећем образцу:

$$V_{ei} = \left[ V_{sli} - \frac{q_m}{C} (\bar{V}_{sl} - V_c) \right] \left[ (1 - R) + \frac{R \times PP}{100} \right] \quad (2)$$

Где је  $\bar{V}_{sl}$  просечна брзина свих возила у слободном току, а образац важи за  $\frac{q_m}{C} \leq 1$ .

Трећи модел коришћен у анализи експлоатационих брзина је модел по поступку из HCM 2000. За прорачун и анализу брзина по овом моделу, коришћен је рачунарски програм HCS 2000 који спроводи поступке дефинисане у HCM 2000, по образцу (TRB, 2000):

$$V_{pr} = V_{real} - 0,0125q_{PA} - F_{BP} \quad (3)$$

Где су:

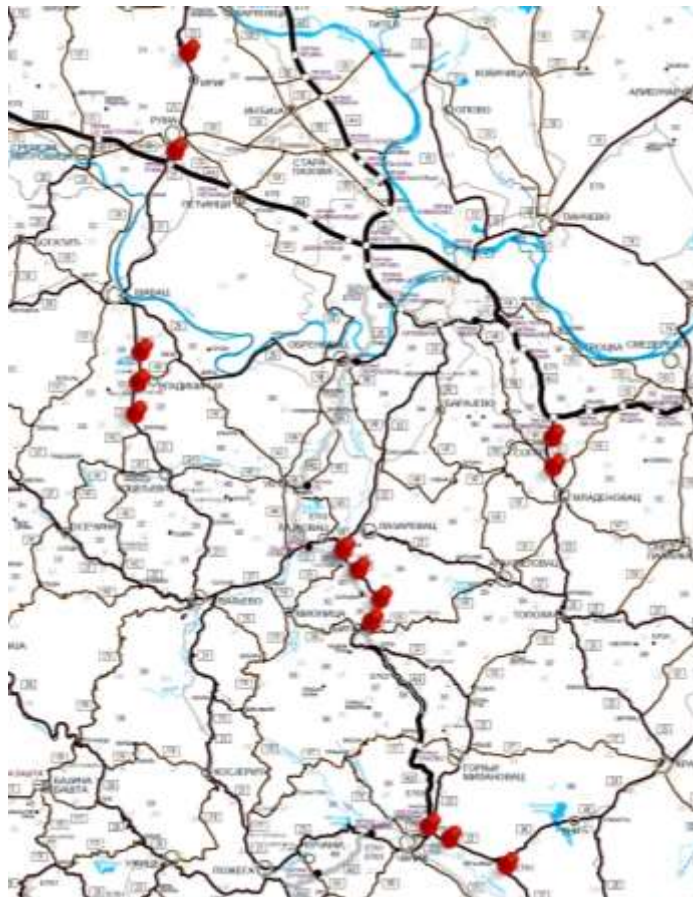
$V_{pr}$  – просечна брзина путовања за оба смера (km/h),

$V_{real}$  – процењена реална брзина (km/h),

$q_{PA}$  – еквивалентни проток изражен у путничким аутомобилима за 15-минутни вршни период (PA/h),

$F_{BP}$  – корекциони фактор за проценат зона без претицања.

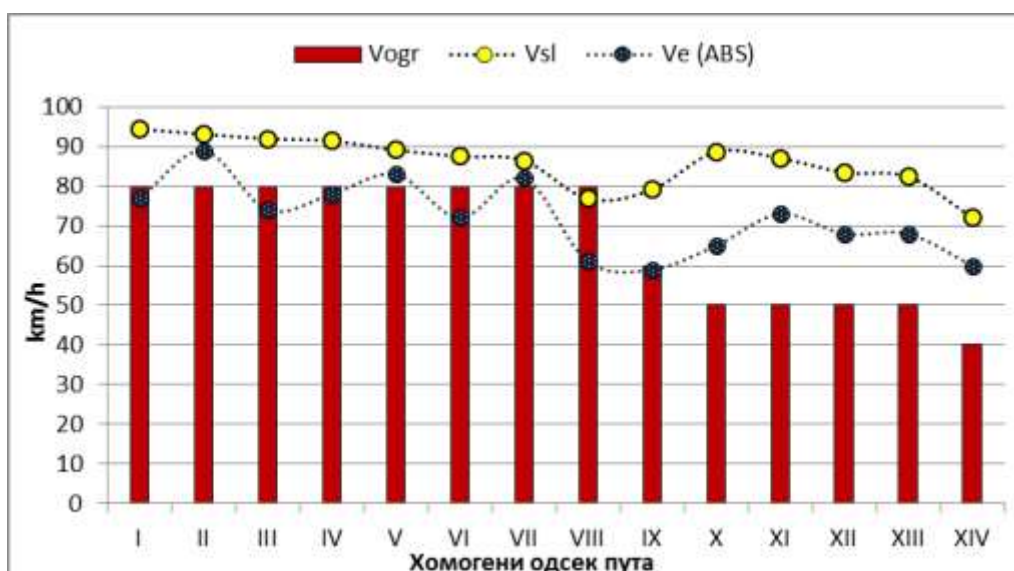
Након емпиријских истраживања на терену неопходних улазних параматара и анализом база података о саобраћајним токовима и техничко - експлоатационим карактеристикама хомогених одсека, у другом кораку је најпре, спроведена детаљна анализа односа слободних и ограничених брзина на посматраним хомогеним одсечима путева, а потом је испитивана подобност линеарних и HCM модела. С обзиром на извршене модификације, испитивана је и осетљивост самих линеарних модела. За проверу одабраних модела експлоатационих брзина, као реперни коришћени су подаци о реалним експлоатационим брзинама добијени анализом са АБС-а. Оваквим приступом аналитичким моделима и методама утврђене су просечне вредности реалних експлоатационих брзина за свих 8760 сати у току године, а подаци су коришћени из 2015. године.



Слика 1. Локације анализираних одсека хомогених по карактеристикама пута  
Извор: (Аутори)

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Детаљном анализом резултата добијених за ограничене, слободне и реалне експлоатационе брзине на предметним хомогеним одсецима путева, уочено је да се са повећањем разлике између слободне и ограничене брзине, јавља и већа разлика између слободне и реалне експлоатационе брзине добијене са АБС (Слика 2), а која за узрок нема функционалну зависност од величине меродавног протока. На појединим хомогеним одсецима, углавном при већим вредностима ограничене брзине (80 km/h), односно при блиским вредностима пројектних, слободних и ограничених брзина, возачи се понашају и возе у складу са постављеним ограничењем брзине. Са друге стране, на хомогеним одсецима на којима је присутна велика разлика између слободне и ограничене брзине, што је случај у десном делу дијаграма (одсеци X до XIV), где су ограничења по одсецима ригорознија (50 и 40 km/h), јавља се веће одступање реалних експлоатационих брзина од ограничених, односно долази до пада кредибилитета постављених ограничења брзина. Истраживањем је забележено да се проценат прекорачења на хомогеним одсецима са ограничењима брзине од 40 km/h и 50 km/h креће од 90 % до 96 %. Ово указује на то да путни и саобраћајни услови који владају на хомогеним одсецима из десног дела дијаграма, дозвољавају да се возачи крећу брзинама већим од дозвољених, што возачи и чине, ослањајући се више на сопствену интуицију сигурне брзине, него на постављено ограничење брзине. Једино одступање примећено је на одсеку II, где је ограничена брзина тока блиска слободној, а истраживањем је забележено да је проценат прекорачења брзине на овом одсеку 71 %. Сами резултати анализа о проценту возача који прекорачују ограничену брзину указују на озбиљан проблем о одрживости таквог концепта управљања брзинама. Енормно висок и забрињавајући проценат возача који прекорачују ограничену брзину постављену или из разлога безбедности саобраћаја, или нарушавања функције ванградског пута у мрежи проласком кроз насељено место, индицира управо на супротне ефекте у безбедности саобраћаја од планираних. Процент прекорачења дозвољене брзине по класама прекорачења је у директној зависности од разлике између слободне и ограничене брзине. Резултати ових анализа за 14 локација АБС на хомогеним одсецима су приказани у Табели 1.



Слика 2. Анализа односа слободних, ограничених и реалних експлоатационих брзина  
Извор: (Аутори)

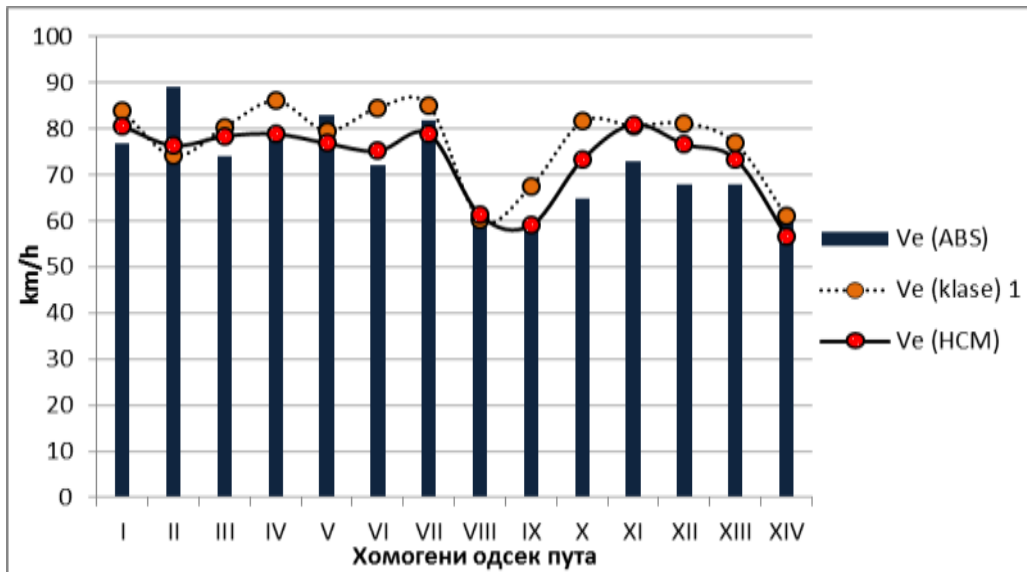
Табела 1. Процент прекорачења у функцији разлике слободне и ограничене брзине

Одсек / деоница пута	PGDS <sub>2016</sub> (voz/dan)	q <sub>m200</sub> (voz/h)	V <sub>sl</sub> (km/h)	V <sub>ogr</sub> (km/h)	Δ(V <sub>sl</sub> – V <sub>ogr</sub> ) (km/h)	% прекорачења
I Дудовица – Пољанице	9.025	757	94	80	14	36
II Мали Пожаревац – Влашко Поље	10.408	874	93	80	13	71
III Рума (Вогањ) – Рума (веза са А3)	8.844	744	92	80	12	32
IV Жупањац – Дудовица	9.744	809	91	80	11	39
V Матијевац – Владимирци	3.185	274	89	80	9	54
VI Прељина – Мрчајевци	11.366	945	88	80	8	23
VII Мрчајевци – Краљево	5.759	471	86	80	6	49
VIII Пољанице – Љиг	9.986	810	77	80	-3	6
IX Чачак – Прељина	16.464	1.355	79	60	19	44
X Влашко Поље – Младеновац	13.228	1.099	89	50	39	92
XI Ћелије – Жупањац	10.819	888	87	50	37	96
XII Шабац – Лојанице	4.477	377	83	50	33	90
XIII Лојанице – Матијевац	4.051	344	82	50	32	90
XIV Иришки Венац – Ириг	8.612	715	72	40	32	90

Извор: (Аутори)

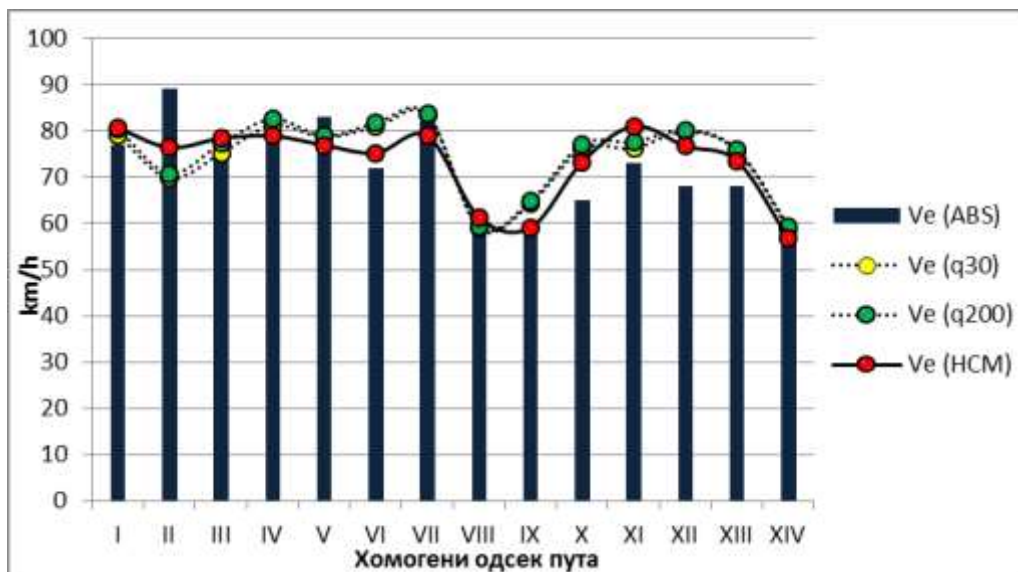
Резултати анализе подобности линеарног модела (1) по класама протока и HCM модела (меродавни проток по критеријуму 200-тог сата), са вредностима реалних брзина са АБС, указују да је **HCM модел** експлоатационих брзина подобнији за примену у локалним условима, односно показује мање одступање добијених експлоатационих брзина од реалних експлоатационих брзина добијених са АБС што је графички приказано на Сlici 3. HCM модел који у анализу експлоатационих брзина укључује само карактеристике попречног профила, утицај структуре тока и уздужних нагиба преко еквивалената, утицај процента дозвољеног претицања и утицај приступа, а не и стање коловоза, минималне радијусе и ограничења брзине, показао се као најподобнији у практичној примени. Са друге стране, линеарни модел (меродавни проток анализиран по класама протока), показује значајније одступање од реперних – реалних брзина са АБС. Међутим, основни проблем који се јавља код примене линеарног модела је парадокс да, иако кроз анализу слободних брзина и брзине при капацитету укључује више редукционих фактора, односно карактеристика пута, резултира већим брзинама него HCM модел.





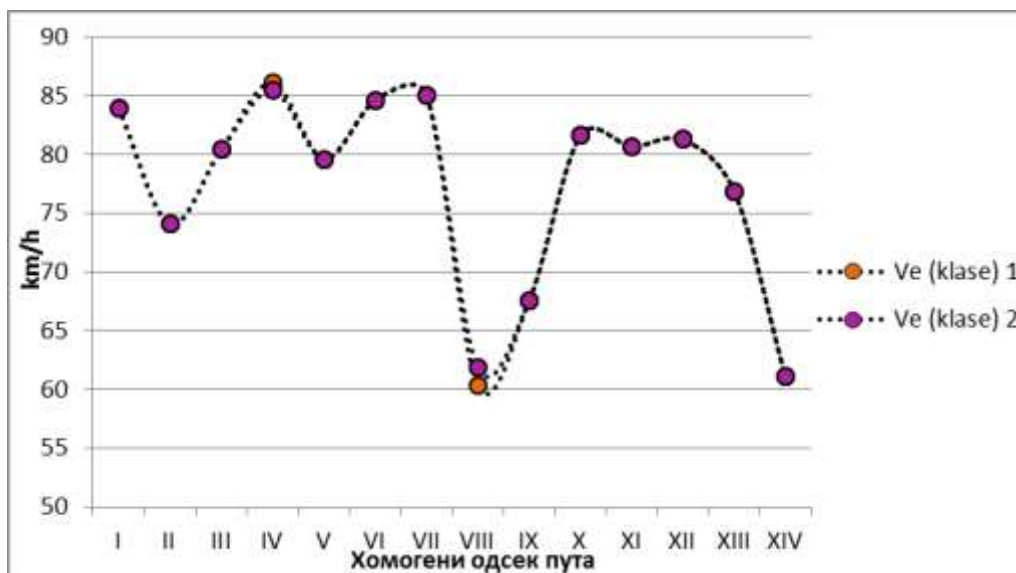
**Слика 3.** Анализа подобности линеарног модела (1) по класама протока и HCM модела  
Извор: (Аутори)

У раду је, такође, у тећем кораку испитивана осетљивост линеарног модела (1) на промене вредности меродавног вршног протока 30-ог и 200-ог сата, у односу на реперне вредности реалних брзина. Добијене вредности експлоатационих брзина су за различите вредности меродавних вршних часовних протока углавном једнаке, са минималним разликама на појединим одсечима. Међутим, резултати показују да се при одабраним вредностима меродавних часовних протока, код линеарног модела добија боље поклапање са реалним брзинама, него што је то био случај код примене овог модела по класама протока, што је парадокс, будући да би у анализи брзина кроз дистрибуцију протока по класама требало да се обезбеди већа подударност, односно сагласност са реалним условима у саобраћајном току. Анализа брзина заснована на дистрибуцији протока по класама детаљније квантификује утицаје промене величине захтеваног протока, односно промене у условима у саобраћајном току. Један од разлога овог парадокса је свакако у ниској бази достигнутих захтева, односно величини достигнутог саобраћаја на анализираним деоницама, што свакако треба детаљније истражити. Графичка интерпретација добијених резултата анализе подобности линеарног модела (1) при вредностима меродавног вршног протока 30-ог и 200-ог сата и HCM модела приказана је на Слици 4.



**Слика 4.** Анализа подобности линеарног модела (1) при вредностима меродавног вршног протока 30-ог и 200-ог сата и HCM модела  
Извор: (Аутори)

У четвртном кораку, испитиван је степен осетљивости брзине на повећање протока код линеарних модела (1) и (2), односно да ли је, за утицај смањења експлоатационе брзине на повећање протока, подобније да се у моделу користи појединачна брзина слободног тока ( $V_{sl_i} - V_c$ ) или просечна брзина слободног тока ( $\overline{V_{sl}} - V_c$ ). На основу добијених резултата спроведених анализа закључено је да не постоји значајна разлика у примени наведених модела, односно резултати примене наведених линеарних модела за анализу експлоатационих брзина сагласни су, без значајнијег одступања, на дванаест од четрнаест анализираних хомогених одсека пута. На остала два анализирана хомогена одсека јављају се минималне разлике између добијених вредности брзина (1 km/h, односно 2 km/h). Резултати анализе осетљивости линеарних модела (1) и (2) по класама протока на предметним хомогеним одсесима путева, графички су приказани на Слици 5.



Слика 5. Анализа осетљивости линеарних модела (1) и (2) по класама протока на хомогеним одсесима путева  
Извор: (Аутори)

#### 4. ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ

Брзина, као један од основних показатеља саобраћајног тока, у исто време представља индикатор нивоа услуге при датом саобраћајном оптерећењу и главни параметар у димензионисању и вредновању пројектних решења. Због великог значаја експлоатационих брзина и модела за анализу експлоатационих брзина у саобраћајном инжењерству, аутори овога рада истраживали су квалитет и подобност модела који се тренутно користе за процену експлоатационих брзина у Србији. Испитивање и анализа подобности модела вршени су на четрнаест одсека хомогених карактеристика двотрачних путева, а резултати које су анализирани модели дали, поређени су са вредностима реалних експлоатационих брзина возила у току, добијених са аутоматских бројача саобраћаја.

Анализом резултата истраживања, изведено је неколико закључака. На одсесима хомогених карактеристика пута на којима су установљене блиске вредности слободних и ограничених брзина, возачи се понашају и возе у складу са постављеним ограничењем брзине. Међутим, на хомогеним одсесима на којима је присутна велика разлика између слободне и ограничене брзине, што је углавном био случај на одсесима са нижим вредностима ограничене брзине, долази до већег одступања реалних брзина, односно до пада кредибилитета постављених ограничења. С тим у вези, истраживањем је забележено да се проценат прекорачења на деоницама са ограничењима брзине од 40 km/h и 50 km/h креће од 90 % до 96 %.

Даљом анализом резултата који су добијени применом анализираних модела, показало се да модел анализе експлоатационих брзина по поступку из HCM-а даје вредности најприближније вредностима реалних брзина са аутоматских бројача саобраћаја. Са друге стране, иако мање прецизни, линеарни модели, који су тестирани за различите вредности меродавних протока (вршни часовни проток 30-ог и 200-ог сата, као и по класама протока), такође дају доста блиске резултате. Када је реч о линеарним моделима, у процени су се ови модели боље показали када су за вредности меродавних протока усвојени критеријуми 30-ог, односно 200-ог сата, него када је анализа експлоатационих брзина

вршена по класама протока. Овај парадокс је вероватно последица ниске базе достигнутих захтева, а самим тим и ниских и приближних вредности меродавних протока по класама које значајно не утичу на промене брзина. У раду је истраживана и подобност и осетљивост два линеарна модела. Прелиминарни резултати указују да не постоји значајна разлика у резултатима које су ови модели дали за саобраћајне и путне услове на анализираним хомогеним одсецима путева.

У синтези свих резултата, уочено је да су, на хомогеним одсецима са ограничењем брзине од 50 km/h и великом разликом између слободних и ограничених брзина, резултати коришћених модела значајно одступали од вредности реалних брзина. Модели су на овим хомогеним одсецима дали вредности брзина које су биле, у просеку, за 10 km/h веће од реалних брзина са аутоматских бројача саобраћаја. Будући да ниједан од примењених модела не узима у обзир ограничење брзине приликом процене експлоатационих брзина, поставља се питање његовог утицаја на прецизност и поузданост самих модела, нарочито на деоницама путева на којима се јавља велика разлика између слободних и ограничених брзина. Са друге стране, на хомогеном одсеку пута који карактерише уздужни нагиб од 3,4 % и ограничење брзине од 40 km/h, иако постоји велика разлика између слободне и ограничене брзине (32 km/h), модели су се показали изузетно прецизним. Овде се намеће и ново питање, да ли је и у којим условима ограничење брзине значајан фактор који треба узети у обзир приликом процене експлоатационих брзина у случајевима значајног нарушавања кредибилитета постављених ограничења.

Евидентно је да експлоатационе брзине на двотрачним путевима зависе од бројних фактора. Поред карактеристика попречног профила, радијуса хоризонталних кривина, уздужних нагиба, стања коловоза, броја приступа и карактеристика возила, које анализирани модели у већој или мањој мери узимају у обзир, један од значајних фактора који има утицај су и карактеристике возача и њихова перцепција сигурне брзине. Овај фактор долази до изражаја када је кредибилитет постављеног ограничења брзине на одређеном делу пута доведен у питање, односно када значајна разлика између слободне и ограничене брзине оставља велики простор возачима да интуитивно процењују сигурну брзину вожње. Будућа истраживања, с обзиром на резултате овог рада би требало фокусирати посебно на хомогене одсеке где не постоји значајна разлика између слободних и ограничених брзина, а посебно на деонице са великом разликом између ових брзина. Са друге стране, у будућа истраживања би свакако требало укључити и репрезентативан број хомогених одсека са значајно већим ПГДС-ом где би се прецизније истражио и квантификовао утицај величине меродавних протока и протока по класама на промену експлоатационих брзина.

## Литература

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials (1990). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.
- [3] Dell'Acqua, G., and Russo, F. (2010). Speed Factors on Low-Volume Roads for Horizontal Curves and Tangents, *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 5 (2): 89-97.
- [4] Elliott, M. A., McColl, V. A., and Kennedy, J. V. (2003). Road design measures to reduce drivers' speed via „psychological“ processes: A literature review. TRL report 564. Crowthorne: Transport Research Laboratory TRL.
- [5] European Road Safety Observatory (2015). Speed and Speed Management. (on-line) Available at: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/ersosynthesis2015-speedspeedmanagement25\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/ersosynthesis2015-speedspeedmanagement25_en.pdf) (07.09.2017)
- [6] Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., Wooldridge, M., and Miaou, S. (2003). *Design speed, operating speed and posted speed practices*. National Cooperative Highway Research Program Report 504. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- [7] Gardner, D. J., and Rockwell, T. H. (1983). Two views of motorist behavior in rural freeway construction and maintenance zones: The driver and state highway patrolman. *Human Factors*, 25, 415-424.
- [8] Harwood, D., Neuman, T., and Leisch, J. (2000). Summary of Design Speed, Operating Speed, and Design Consistency Issues. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1701, 116-120.
- [9] Jiang, Z., Jadaan, K., and Ouyang, Y. (2016). Speed Harmonization – Design Speed vs. Operating Speed. Research Report No. FHWA-ICT-16-019. Urbana: Illinois Center for Transportation ICT.

- [10] Кузовић, Љ. (1994). Вредновање у управљању развојем и експлоатацијом путне мреже. Београд: Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду.
- [11] Кузовић, Љ. и Ђорђевић, Т. (1977). Основни појмови брзина у планирању путева и њихова међузависност и условљеност од пута и саобраћаја. Пут и саобраћај, 1-12.
- [12] Lamm R., Psarianos, B., Choueiri, E., and Soilemezoglou, G. (1995). A Practical Safety Approach to Highway Geometric Design International Case Studies: Germany, Greece, Lebanon, and the United States. International Symposium on Highway Geometric Design Practices. Boston, Massachusetts, 9:1-9:14.
- [13] Martens, M., Comte, S., and Kaptein, N. (1997). The effects of road design on speed behaviour: A literature review. Deliverable D1. TNO-report TM-97-B021. Soesterberg: TNO.
- [14] Misaghi, P., and Hassan, Y. (2005). Modeling operating speed and speed differential on two lane rural roads. Journal of Transportation Engineering. 131(6), 408-418.
- [15] Pratico, F., Giunta, M. (2012). Modeling Operating Speed of Two Lane Rural Roads. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 53, 664-671.
- [16] TRB Operational Effects of Geometrics Committee (2011). Modeling operating speed: synthesis report. Transportation research circular E-C151, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- [17] Transport Research Board (2000). *Highway Capacity Manual*. National Academy of Sciences. USA. 1207 p.
- [18] Тубић, В. и Челар, Н. (2017). Анализа брзина на путној и уличној мрежи у Србији. 6. Међународна конференција „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Република Српска, Бања Лука, 26-27. октобар.
- [19] Тубић, В. и Видас, М. (2014). Утицај контроле приступа на безбедност саобраћаја и ниво услуге путева, IX Међународна конференција „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Зајечар, стр. 243-248.
- [20] Тубић, В. (2011). Меродавни саобраћајни протоци у вредновању пројектних решења. Техника – Саобраћај, бр. 4, 619-628.

# UTICAJ PRISTUPA NA EFIKASNOST SAOBRAĆAJA DVOTRAČNIH PUTEVA

**Marijo Vidas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [m.vidas@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vidas@sf.bg.ac.rs)

**Vladan Tubić<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

**Nemanja Stepanović<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [n.stepanovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.stepanovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Visoka efikasnost saobraćaja na deonicama daljinskih dvotračnih puteva, predstavlja zadatak čijem ostvarenju teže svi, od same države, upravljača putevima, preko samih korisnika. Svaka saobraćajna deonica ima dvostruki, a istovremeno kontradiktorni zadatak: da obezbedi efikasno saobraćajno povezivanje i omogući pristupačnost lokacija u neposrednom okruženju puta. U radu će glavni akcenat biti stavljen na kvantifikaciju problema koje pristupi izazivaju u saobraćajnom toku na glavnom pravcu sa aspekta efikasnog saobraćajnog povezivanja, odnosno efikasnosti saobraćaja. Identifikovani su vremenski zastoji u glavnom saobraćajnom toku, koje izazivaju manevri vezani za pristupe, kao osnovni pokazatelj za kvantifikaciju uticaja pristupa do lokacija u neposrednom okruženju puta. Vremenski zastoji su pogodni za ovu analizu i sa aspekta osnovnog parametra saobraćajnog toka – vremena putovanja, kao jedan njegov deo koji nam direktno pokazuje kakva je efikasnost saobraćaja na posmatranoj deonici.

**Ključne reči:** pristup, vremenski zastoji, vreme putovanja, brzina saobraćajnog toka

## THE IMPACT OF ACCESS ON THE EFFICIENCY OF TWO-LANE HIGHWAYS

**Marijo Vidas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> University of Belgrade Faculty of Transport and Traffic Engineering, [m.vidas@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vidas@sf.bg.ac.rs)

**Vladan Tubić<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> University of Belgrade Faculty of Transport and Traffic Engineering, [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

**Nemanja Stepanović<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> University of Belgrade Faculty of Transport and Traffic Engineering, [n.stepanovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.stepanovic@sf.bg.ac.rs)

**Abstract:** Roads are valuable resources and most important public investment of a country, therefore road network is the basis for the good functioning of all aspects of a country. According to general understanding of the functional system of roads it is often impossible to provide a high level of service (safe and undisturbed movement of vehicles on the roads) with realization of optimal speed and accessibility of given location (access) in the observed time. In this paper, the main focus will be on the quantification of the impacts of access on the conditions in traffic flow on the main direction from the aspect of efficient traffic connections, that is, traffic efficiency. Time delays in the main traffic flow have been identified as a basic indicator for quantifying the impact of access to locations in the immediate road environment. Time delays is suitable for this analysis and from the aspect of the basic parameter of the traffic flow - time of travel, as one of its parts, which directly shows us the efficiency of traffic on the observed section.

**Keywords:** access, time delay, travel time, travel speed

### 1. UVOD

Visoka efikasnost saobraćaja na deonicama daljinskih dvotračnih puteva, predstavlja zadatak čijem ostvarenju teže svi, od same države, upravljača putevima, preko samih korisnika. Svaka saobraćajna deonica ima dvostruki, a istovremeno kontradiktorni zadatak: da obezbedi efikasno saobraćajno povezivanje i omogući pristupačnost lokacija u neposrednom okruženju puta, što je posebno izraženo na deonicama daljinskih puteva u blizini naselja ili koje prolaze kroz manja naseljena mesta.

Na pomenutim deonicama broj pristupa predstavlja jednu od dominantnih karakteristika koja ima uticaj na kapacitet i nivo usluge, a samim tim i na efikasnost. Pristupi odnosno vozila koja obavljaju različite manevre vezane za sam pristup (ulivanje ili izlivanje) utiču na glavni pravac odnosno na uslove u saobraćajnom toku na istom [1]. Za razliku od naše inženjerske prakse inostrana literature prepoznaje ovaj problem i na različite načine pokušava da utvrdi odnosno umanjiti ove uticaje.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [m.vidas@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vidas@sf.bg.ac.rs)

Najkorišćeniji priručnik za proračun kapaciteta i nivoa usluge – HCM uvodi u proračun poseban ulazni podatak: *gustinu pristupa*. Gustina pristupa predstavlja ukupan broj pristupa i sa desne i sa leve strane podeljen sa ukupnom dužinom posmatrane deonice [2].

U radu će glavni akcenat biti stavljen na kvantifikaciju problema koje pristupi izazivaju u saobraćajnom toku na glavnom pravcu sa aspekta efikasnog saobraćajnog povezivanja, odnosno efikasnosti saobraćaja. Identifikovani su vremenski zastoji u glavnom saobraćajnom toku, koje izazivaju manevri vezani za pristupe, kao osnovni pokazatelj za kvantifikaciju uticaja pristupa do lokacija u neposrednom okruženju puta. Vremenski zastoji su pogodni za ovu analizu i sa aspekta osnovnog parametra saobraćajnog toka – vremena putovanja, kao jedan njegov deo koji nam direktno pokazuje kakva je efikasnost saobraćaja na posmatranoj deonici.

Kao metod istraživanja korišćeno je „plutajuće vozilo” opremljeno GPS uređajem, koje aktivno učestvuje u saobraćajnom toku. GPS uređaj je tako podešen da u svakoj sekundi beleži pređeni put i trenutnu brzinu vozila. Kao izlaz su dobijeni grafici zavisnosti brzine i pređenog puta, sa jasno naznačenim uslovima u saobraćajnom toku i uzrokom promene brzine [1].

## 2. PREGLED REFERENTNE LITERATURE

HCM predstavlja najkorišćeniji priručnik u analizama nivoa usluge i kapaciteta saobraćajnica, čija je svrha definisanje skupa metoda i procedura za ocenjivanje multimodalnih performansi puteva i uličnih objekata sa aspekta operativnih mera i indikatora nivoa usluge. Jedna od značajnijih promena u poslednjem izdanju HCM 2010 jeste uvođenje treće klase dvotračnih puteva koja u metodologiju uključuje deonice u umereno razvijenim područjima. Na tim deonicama dolazi do mešanja lokalnog saobraćaja sa tranzitnim i gustina nesignalisanih pristupnih tačaka je značajno veća nego na vangradskim deonicama. Njih takođe karakteriše i veće ograničenje brzine, što je direktna posledica povećanog nivoa aktivnosti i sadržaja na tim deonicama dvotračnih puteva. Kao jedini pokazatelj nivoa usluge za treću klasu dvotračnih puteva HCM 2010 definiše procenat slobodne brzine ( $\%V_{sl}$ ) preko koga se ocenjuje mogućnost da se vozila kreću brzinom koja je jednaka ili približna postavljenom ograničenju brzine [2].

U lokalnim uslovima kao nedostatak pomenute metodologije iz HCM 2010 identifikovana je pretpostavka da korisnici na deonicama puteva koji spadaju u III klasu dvotračnih puteva prihvataju manju brzinu kretanja odnosno veće vreme putovanja što se iskazuje pokazateljem nivoa usluge – procentom slobodne brzine ( $\%V_{sl}$ ). Cilj rada je identifikacija uticaja pristupa, odnosno manevara vozila na pristupima, na povećanje vremena putovanja. Kao primarni pokazatelj performansi signalisane raskrsnice na gradskoj uličnoj mreži koriste se vremenski gubici zbog svog direktnog uticaja na vreme putovanja [3]. Na osnovu toga u radu je definisan pokazatelj - *vremenski zastoji* u glavnom saobraćajnom toku koji nastaju kao posledica manevara vozila na pristupima.

## 3. ISTRAŽIVANJE

U cilju prikupljanja podataka o vremenskim zastojima iskorišćena je ideja „plutajućeg vozila”, odnosno vozila istraživača koje se u potpunosti pokorava uslovima u saobraćajnom toku, odnosno kreće se brzinom kojom se kreće izabrana kolona vozila. U istraživanju odabrano je uključivanje vozila istraživača u kolonu vozila zbog veće verovatnoće da će neko vozilo skrenuti na neki od pristupa. Vozilo je opremljeno GPS uređajem Garmin koji je podešen da u svakoj sekundi beleži pređeni put i brzinu vozila, a na diktafonu je beležen koji je manevar bio u pitanju (uliv/izliv).

Kao deonica na kojoj je obavljeno istraživanje izabrana je deonica dvotračnog puta IA 2 Velika Moštanica – Vranić (Barajevo) (stara oznaka M -22) odnosno prolazak kroz naselje Meljak (Slika 1.). Posmatrana deonica predstavlja dobar primer uslova na dvotračnim putevima u R. Srbiji, odnosno haotične urbanizacije na najvažnijim državnim putnim pravcima. Ovi putni pravci zbog svog položaja i značaja u putnoj mreži predstavljaju svojevrsne generatore naseljenih mesta, mnoga naselja koja su se nalazila u blizini istih vrlo brzo su svoj pravac daljeg širenja vezali upravo uz pomenute državne puteve zbog atraktivnosti i lakšeg pristupa. Direktna posledica jeste upravo veliki broj pristupa po jedinici dužine.

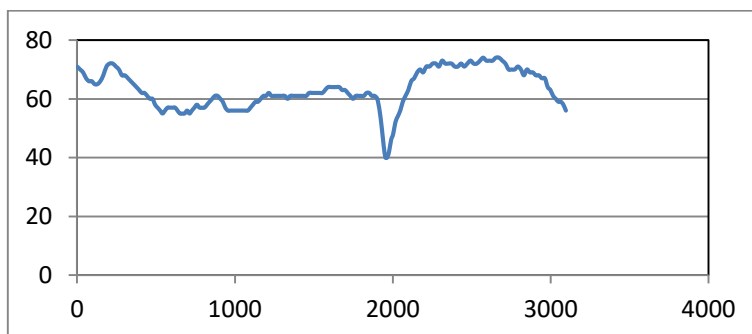




**Slika 1.** Položaj izabrane deonice  
Source: Google maps

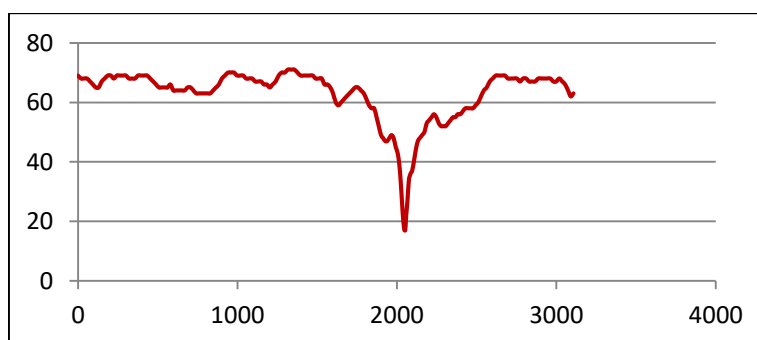
Dužina izabrane deonice je 3100 m, a od tehničko-eksploatacionih karakteristika izdvajaju se širina saobraćajne trake od 3.1 m, udaljenost bočnih smetnji od 1.0 m i ograničenje brzine na 50 km/h. Kao prvi korak istraživanja sniman je broj pristupa na posmatranoj deonici po smerovima. U smeru A (od Beograda) taj broj je 66, a u smeru B (ka Beogradu) je 45, odnosno ukupan broj pristupa na posmatranoj deonici je 111.

U daljem tekstu biće prikazani primeri grafika promene brzine saobraćajnog toka na posmatranoj deonici. U toku istraživanja odrađeno je po 100 snimanja u svakom smeru (od Beograda i ka Beogradu).



**Slika 2.** Vožnja u smeru od Beograda (Smer A) sa jednim manevarom vezanim za pristup  
Source: [1]

Na Slici 2. prikazana je promena brzine u smeri od Beograda (Smer A) kada u saobraćajnom toku imamo jedno vozilo koje se izlilo desno iz glavnog saobraćajnog toka. Taj manevar je prouzrokovao smanjenje brzine za nekih 20 km/h.



**Slika 3.** Vožnja u smeru ka Beogradu (Smer B) sa jednim manevarom vezanim za pristup  
Source: [1]

Na Slici 3. prikazana je situacija kada smo u saobraćajnom toku imali jedno vozilo koje se izliva levo iz glavnog saobraćajnog toka. Leva skretanja su se pokazala kao najkritičnija sa aspekta smanjenja brzine, na Slici 3. smanjenje brzine je oko 40 km/h, ali nije bilo potpunog zaustavljanja saobraćajnog toka dok vozilo čeka bezbedno rastojanje sleđenja u suprotnom smeru.

U Tabelama 1 i 2 prikazani su prosečni podaci za vožnje po broju zabeleženih manevara na pristupima: prosečna brzina, maksimalna i minimalna brzina, vreme putovanja, pređeni put, standardno odstupanje i koeficijent varijacije brzine saobraćajnog toka [4].

**Tabela 1. Zbirna tabela za sve vožnje u Smeru A**

Broj manevara	Broj vožnji	Prosečna brzina (km/h)	$V_{max}$ (km/h)	$V_{min}$ (km/h)	Vreme putovanja (h)	Pređeni put (m)	Standardno odstupanje	Koeficijent varijacije
0	11	62,14	87	33	0,05063	3122	6,4831	10,40 %
1	36	61,57	82	5	0,05073	3107	7,9338	12,90 %
2	23	59,94	87	0	0,05249	3119	10,3307	17,32 %
3	22	56,18	82	2	0,05581	3118	9,9672	17,67 %
4	8	56,28	84	0	0,05542	3096	12,7301	22,65 %
	$\Sigma$ 100							

**Tabela 2. Zbirna tabela za sve vožnje u Smeru B**

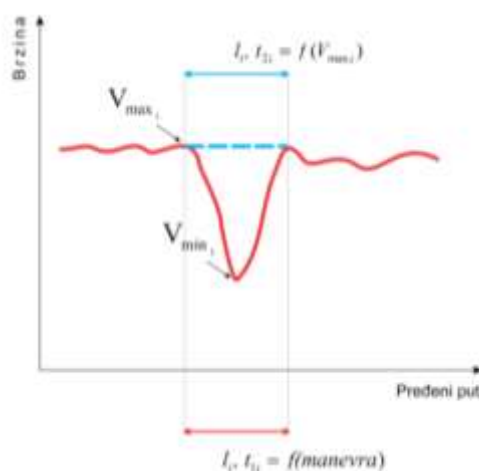
Broj manevara	Broj vožnji	Prosečna brzina (km/h)	$V_{max}$ (km/h)	$V_{min}$ (km/h)	Vreme putovanja (h)	Pređeni put (m)	Standardno odstupanje	Koeficijent varijacije
0	26	60,61	82	31	0,05210	3132	5,6065	9,29 %
1	34	60,69	82	9	0,05165	3123	8,8995	14,66 %
2	28	58,45	82	0	0,05360	3106	11,0903	19,41 %
3	12	57,56	83	6	0,05484	3142	11,3517	19,83 %
4	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\Sigma$ 100							

Iz gornjih tabela možemo primetiti da sa porastom broja manevara u toku jedne vožnje raste i vreme putovanja. U cilju identifikovanja uticaja manevara na pristupima na povećanje vremena putovanja potrebno je detaljno ispitati vremenske zastoje u glavnom saobraćajnom toku koji su njihova direktna posledica.

#### 4. UTVRĐIVANJE VREMENSKIH ZASTOJA

Primenjena metodologija za utvrđivanje vremenskih zastoja je sledeća: za svaki manevar ( $i$ ) utvrđena je vrednost  $V_{max_i}$ , odnosno najveća brzina vozila neposredno pre pojave usporenja (pada vrednosti brzine) usled manevara i  $V_{min_i}$  minimalna dostignuta brzina prouzrokovana posmatranim manevarom. Sledeći korak je utvrđivanje pređenog puta  $l_i$  za vreme trajanja uticaja posmatranog manevara  $t_{1_i} = f(\text{manevara})$ . Da bi se došlo do vrednosti vremenskih zastoja, proračunato je vreme  $t_{2_i} = f(V_{max_i})$ , vreme koje bi plutajućem vozilu bilo potrebno da pređe rastojanje  $l_i$  da se sve vreme kretalo brzinom  $V_{max_i}$  (Slika 4), odakle se vremenski zastoji dobijaju na osnovu razlike ova dva vremena:

$$VG_i = t_{1_i} - t_{2_i}$$



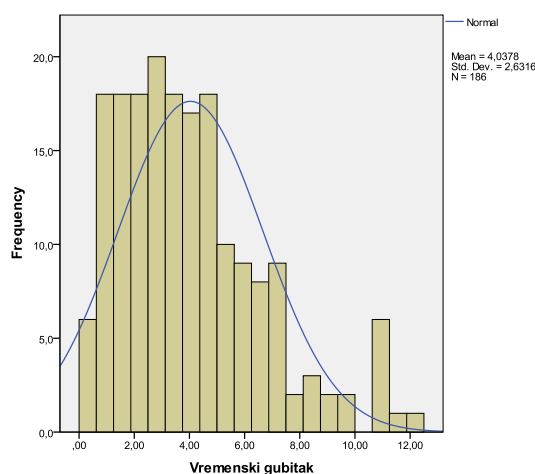
**Slika 4. Utvrđivanje vremenskih zastoja**  
Source: [5]

Analizom dobijenih grafika za svaku vožnju, odnosno identifikacijom i kvantifikacijom uticaja svakog manevara vezanog za pristup preko vremenskih zastoja, sortiranjem po kategorijama manevara i statističkom obradom podataka dobijaju se sledeći rezultati [4]:

- Izliv desno iz glavnog toka: veličina uzorka je 186 manevara. U Tabeli 3 prikazana je kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar desnog izliva. Na osnovu analize podataka postavljena je hipoteza o slaganju empirijske raspodele sa normalnom raspodelom (Slika 5). Postavljena hipoteza je testirana testom  $\lambda$  Kolmogorova za verifikaciju neparametarskih hipoteza. Da bismo verifikovali hipotezu o saglasnosti empirijske i pretpostavljene teorijske raspodele s koeficijentom značajnosti  $Q(\lambda_\alpha) = 0,95$  ( $\alpha = 5\%$ ), iz tabličnih vrednosti dobijamo da je  $\lambda_\alpha = 1,36$ . Uslov prihvatanja hipoteze o saglasnosti empirijske i teorijske raspodele je da  $D_n\sqrt{n} < \lambda_\alpha$  (Vukadinović i Popović, 2008). U ovom slučaju vrednost  $D_n\sqrt{n} = 1,035 < 1,36 = \lambda_\alpha$ , odnosno, nemamo osnova da odbacimo postavljenu hipotezu.

**Tabela 3.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar desnog izliva

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	45	45	0,2419	0,2419
2-4	61	106	0,3280	0,5699
4-6	42	148	0,2258	0,7957
6-8	22	170	0,1183	0,9140
8-10	8	178	0,0430	0,9570
10-12	7	185	0,0376	0,9946
>12	1	186	0,0054	1,0000
$\Sigma$	186			



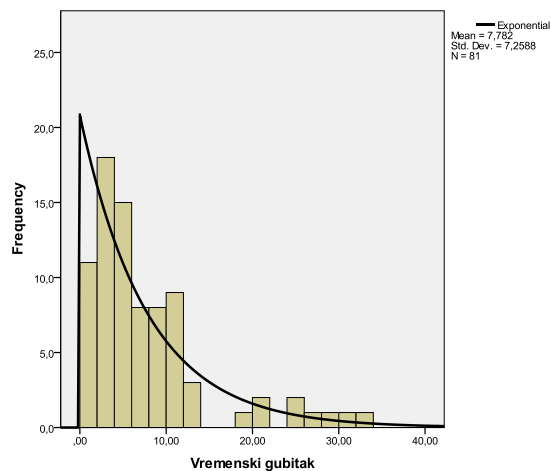
**Slika 5.** Raspodela vremenskih zastoja za manevar desnih izlivanja  
Source: [5]

Matematičko očekivanje vremenskih zastoja je 4,04 sek. po manevaru, sa standardnim odstupanjem od 2,63 sek.. Na osnovu verifikacije hipoteze o slaganju empirijske raspodele sa normalnom raspodelom možemo zaključiti da vremenski zastoji za manevar desnih izlivanja (u osnovnoj populaciji) imaju normalnu raspodelu  $N(4,04s; 2,63s)$ .

- Izliv levo iz glavnog toka: veličina uzorka je 81 manevar. U Tabeli 4 prikazana je empirijska raspodela vremenskih zastoja za manevar levog izliva. Analizom podataka je pretpostavljeno da vremenski zastoji za manevar levog izliva imaju eksponencijalnu raspodelu (Slika 7). Postavljena hipoteza o slaganju empirijske i pretpostavljene teorijske raspodele i u ovom slučaju testirana je testom  $\lambda$  Kolmogorova za verifikaciju neparametarskih hipoteza. Uslov prihvatanja hipoteze o saglasnosti empirijske i teorijske raspodele je da je ispunjeno  $D_n\sqrt{n} < \lambda_\alpha$  (Vukadinović i Popović, 2008). Na osnovu dobijene vrednosti  $D_n\sqrt{n} = 0,817 < 1,36 = \lambda_\alpha$  nemamo osnova da odbacimo postavljenu hipotezu.

**Tabela 4.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar levog izliva

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	11	11	0,1358	0,1358
2-4	18	29	0,2222	0,3580
4-6	15	44	0,1852	0,5432
6-8	8	52	0,0988	0,6420
8-10	8	60	0,0988	0,7407
10-12	9	69	0,1111	0,8519
12-14	3	72	0,0370	0,8889
14-16	0	72	0,0000	0,8889
16-18	0	72	0,0000	0,8889
18-20	1	73	0,0123	0,9012
20-22	2	75	0,0247	0,9259
22-24	0	75	0,0000	0,9259
24-26	2	77	0,0247	0,9506
26-28	1	78	0,0123	0,9630
28-30	1	79	0,0123	0,9753
30-32	1	80	0,0123	0,9877
32-34	1	81	0,0123	1,0000
<b>Σ</b>	<b>81</b>			


**Slika 7.** Raspodela vremenskih zastoja za manevar levih izlivanja  
 Source: [5]

Dobijeno matematičko očekivanje (srednja vrednost vremenskih zastoja) je 7,78 sek. po manevaru, sa standardnim odstupanjem od 7,26 sek.. Na osnovu verifikacije postavljene hipoteze o slaganju empirijske raspodele vremenskih zastoja i eksponencijalne raspodele, potvrđuje se opažanje da vremenski zastoji prilikom ovog manevara zavise od raspoloživog rastojanja sleđenja u suprotnom smeru. Pojava opadanja brzine glavnog toka ( $V_{min_i}$ ) na 0, što znatno povećava vremenske zastoje, predstavlja ekstrem koji je najčešći upravo za ovaj manevar, koji se javlja u vršnim periodima, odnosno kada su saobraćajni zahtevi najveći. Iz Tabele 4 može se uočiti da ne postoji jasna koncentracija vremenskih zastoja oko srednje vrednosti kao kod manevara desnog izliva, što je direktna posledica navedenog ekstrema. U inženjerskoj praksi i relevantnoj literaturi se kao najčešće rešenje ovog problema predlaže zabrana levog skretanja ili uvođenje dodatne trake za leva skretanja. Zbog velike gustine pristupa postavlja se pitanje primenljivosti ovih mera u našim uslovima. Potpuna zabrana levih skretanja bez uvođenja razdelnog pojasa ne bi eliminisala ista, a uvođenje dodatne trake bilo bi prihvatljivo i obavezno rešenje kod raskrsnica i najfrekventnijih pristupa gde poprečni profil puta to dozvoljava.

Proračunate su vrednosti vremenskih zastoja i za ostale maneuvre koji se mogu pojaviti na pristupu (prikazane su dalje u tekstu).

Veličina njihovih uzoraka potvrđuje pretpostavku da je naveća verovatnoća da će manevri izliva desno i izliva levo iz glavnog toka prouzrokovati nastanak vremenskih zastoja. Drugim rečima, postavlja se pitanje opravdanosti uključivanja ovih manevara u analizama uticaja pristupa zbog njihove veličine verovatnoće, koja se kreće u intervalu od 0,001 do 0,005.

- Uliv sa desne strane u glavni tok (uzorak 19 manevara): matematičko očekivanje je 4,26 sek., sa standardnim odstupanjem 3,64 sek.. U Tabeli 5 prikazana je empirijska raspodela verovatnoća vremenskih zastoja za manevar uliva sa desne strane.

**Tabela 5.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar uliva sa desne strane

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	7	7	0,3684	0,3684
2-4	3	10	0,1579	0,5263
4-6	4	14	0,2105	0,7368
6-8	3	17	0,1579	0,8947
8-10	1	18	0,0526	0,9474
10-12	0	18	0,0000	0,9474
>12	1	19	0,0526	1,0000
Σ	19			

- Uliv sa leve strane u glavni tok (uzorak 7 manevara): matematičko očekivanje je 3,50 sek., sa standardnim odstupanjem 1,88 sek.. U Tabeli 6 prikazana je kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar uliva sa leve strane.

**Tabela 6.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar uliva sa leve strane

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	1	1	0,1429	0,1429
2-4	4	5	0,5714	0,7143
4-6	1	6	0,1429	0,8571
6-8	1	7	0,1429	1,0000
8-10	0	7	0,0000	1,0000
10-12	0	7	0,0000	1,0000
>12	0	7	0,0000	1,0000
Σ	7			

- Izliv levo iz suprotnog smera (uzorak 7 manevara), matematičko očekivanje je 4,06 sek., sa standardnim odstupanjem 1,88 sek.. U Tabeli 7 prikazana je empirijska raspodela vremenskih zastoja za manevar izliva levo iz suprotnog smera.

**Tabela 7.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar izliva levo iz suprotnog smera

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	1	1	0,1429	0,1429
2-4	2	3	0,2857	0,4286
4-6	2	5	0,2857	0,7143
6-8	2	7	0,2857	1,0000
8-10	0	7	0,0000	1,0000
10-12	0	7	0,0000	1,0000
>12	0	7	0,0000	1,0000
Σ	7			

- Uliv u suprotan smer sa desne strane (uzorak 4 manevara): matematičko očekivanje je 3,31 sek., sa standardnim odstupanjem 1,41 sek.. U Tabeli 8 prikazana je empirijska raspodela vremenskih zastoja za manevar uliva u suprotan smer sa desne strane.

**Tabela 8.** Kumulativna frekvencija vremenskih zastoja za manevar uliva u suprotan smer sa desne strane

Interval	Frekvencija	Kumulativna frekvencija	Relativna frekvencija	Kumulativna relativna frekvencija
0	0	0	0,0000	0,0000
0-2	0	0	0,0000	0,0000
2-4	3	3	0,7500	0,7500
4-6	1	4	0,2500	1,0000
6-8	0	4	0,0000	1,0000
8-10	0	4	0,0000	1,0000
10-12	0	4	0,0000	1,0000
>12	0	4	0,0000	1,0000
$\Sigma$	4			

## 5. ZAKLJUČAK

Efikasnost saobraćaja na deonicama daljinskih dvotračnih puteva predstavlja jedan od prioritarnih zadataka saobraćajnih inženjera. Na deonicama dvotračnih puteva koje se nalaze u blizini naseljenih mesta ili prolaze kroz manja naseljena mesta kao značajni faktor uticaja na brzinu saobraćajnog toka i vreme putovanja pojavljuje se veliki broj pristupa. Sa povećanjem broja manevara na pristupima u toku pojedinačne vožnje raste i ukupno vreme putovanja. U cilju identifikovanja njihovog uticaja definisan je pokazatelj vremenskih zastoja i prikazana je metodologija za njegovo utvrđivanje na osnovu istraživanja u realnim uslovima. Utvrđeno je da uticaj pristupa na glavni saobraćajni tok najviše zavisi od vrste manevara, odnosno kao najkritičniji sa aspekta vremenskih zastoja i povećanja vremena putovanja identifikovani su manevari desnog i levog izliva iz glavnog pravca. Dobijeni rezultati predstavljaju značajne smernice za buduća istraživanja uticaja pristupa na uslove u glavnom saobraćajnom toku, odnosno kalibraciju inostranih postupaka za proračun nivoa usluge na lokalne uslove, kao i za definisanje projektantskih mera u cilju smanjenja njihovog uticaja.

## Literatura

- [1] Vidas, M., Milenković, M., (2016). Snimanje promene brzine saobraćajnog toka na dvotračnim putevima primenom GPS uređaja, Drugi srpski kongres o putevima, Beograd
- [2] National Research Council. 2010. Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board. Washington, D.C., USA.
- [3] Čelar, N., Stanković, S., Kajalić, J., Stepanović, N., (2018). Methodology for Control Delay Estimation Using New Algorithm for Critical Points Identification, Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, Vol. 144, Issue 2
- [4] Vidas, M. 2017. Uticaj kontrole pristupa na kapacitet i nivo usluge dvotračnih puteva", Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd
- [5] Vidas, M., Vukadinović, K., Tubić, V., (2017). Methodology for Determining Weighted Access-Density on Two-Lane Highways: Case Study of the Republic of Serbia, Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, Vol. 143, Issue 2



## **ANALIZA MERODAVNIH SAOBRAĆAJNIH PROTOKA U POSTUPCIMA KREIRANJA PROJEKTNIH REŠENJA PUTEVA**

**Miloš Petković<sup>1</sup>, student master akademskih studija**

*Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, milospetkovicds@gmail.com*

**Dr Vladan Tubić, redovni profesor**

*Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, vladan@sf.bg.ac.rs*

**Nemanja Stepanović, asistent**

*Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs*

**Rezime:** U procesu planiranja, projektovanja i definisanja argumenata neophodnih za donošenje odluka o ulaganju investicija u predložena rešenja puta ili mreže, značajno mesto zauzimaju i faze vrednovanja projektnih rešenja. Pod pojmom vrednovanje podrazumeva se definisanje argumenata na osnovu kojih se donose odluke od kojih zavisi hoće li, kada, gde i koja od planiranih rešenja prerasti u realnost, ili će ostati neostvarene ideje. Za efikasno izvršavanje proračuna ukupnih koristi, u analitičkim postupcima, značajnu ulogu imaju merodavni parametri saobraćajnog toka, a pre svega PGDS i merodavni saobraćajni protoci. Međutim, problem se javlja u slučaju pogrešnog korišćenja merodavnih protoka u fazama projektovanja i vrednovanja. Uputstva preporučuju i obavezuju analitičare da merodavne protoke analiziraju po klasama, što je veoma retko rađeno u dosadašnjoj praksi. Iz tog razloga, u ovom radu je sprovedena generalna analiza merodavnih saobraćajnih protoka na mreži puteva u Republici Srbiji za period od 2011. do 2015. godine. Poseban akcenat je stavljen na karakter saobraćajnih tokova, vremenske neravnomernosti, distribuciju protoka po klasama i analizu eksploatacionih brzina u zavisnosti od merodavnih protoka i klasa časovnih protoka. Rezultati ovog rada bi trebalo da omoguće sprovođenje argumentovanih analiza u fazama projektovanja, saobraćajnom i ekonomskom vrednovanju putnih projekata.

**Ključne reči:** merodavni protok, PGDS, klase protoka, vrednovanje, projektovanje.

## **ANALYSIS OF DESIGN HOURLY VOLUMES IN THE PROCEDURES FOR CREATING PROJECT SOLUTIONS OF ROADS**

**Miloš Petković, MSc candidate**

*Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, milospetkovicds@gmail.com*

**Dr Vladan Tubić, university professor**

*Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, vladan@sf.bg.ac.rs*

**Nemanja Stepanović, assistant**

*Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs*

**Abstract:** In the process of planning, designing and defining the necessary arguments for making investment decisions in the proposed solutions of the road or network, an important place is occupied by the evaluation of the design solutions. The term evaluation considers the definition of arguments on the basis of which decisions are made, that determine when, where and which of the planned solutions become a reality or remain unrealized ideas. For effective calculations of the total benefits in analytical methods, parameters of traffic flow have important role, especially AADT and design hourly volumes (DHV). However, the problem arises in the case of misuse of DHV in the phases of design and evaluation. Directions suggest and obligate analysts to analyze DHV by class, which is rarely done in practice. For this reason, this paper has conducted a general analysis of DHV on the network of roads in the Republic of Serbia for the period from 2011 to 2015. Special importance was placed on the nature of traffic flows, time imbalances, flow distribution by class and analysis of operating speed based on design hourly volumes and classes of traffic flow. The results of this paper should enable better implementation of analysis in the phases of design, operational and economic evaluation of road projects.

**Keywords:** design hourly volume, AADT, classes of flow, evaluation, design.

### **1. UVOD**

Primarna uloga vrednovanja u izradi studija opravdanosti izgradnje i poboljšanja puteva, odnosno u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, jeste – definisanje planova i programa razvoja mreže, po meri funkcionalnih zahteva saobraćaja i ekoloških ograničenja, sa maksimalnom ekonomskom opravdanošću, zasnovanih na realnim materijalnim mogućnostima društva. Drugim rečima, pod pojmom vrednovanje podrazumeva se definisanje argumenata na osnovu kojih se donose odluke od kojih zavisi hoće li, kada, gde i koja od planiranih rešenja prerasti u realnost, ili će ostati neostvarene ideje.

---

<sup>1</sup> Miloš Petković, milospetkovicds@gmail.com

Sa druge strane, postupak kreiranja projektnih rešenja puteva se sastoji od skupa koordinisanih i kontrolisanih aktivnosti sa terminima početka i završetka, preduzetih radi dostizanja cilja koji zadovoljava specifične zahteve, uključujući ograničenja u pogledu vremena, troškova i resursa.

U procesu planiranja, projektovanja i definisanja argumenata neophodnih za donošenje odluka o ulaganju investicija u predložena rešenja puta ili mreže, značajno mesto zauzimaju faze vrednovanja predloženih rešenja. Primena bilo kog modela vrednovanja u lokalnim uslovima i za svaki konkretan slučaj mora u prvoj fazi da se bazira na istraživanju merodavnih vrednosti saobraćajnih zahteva – **merodavnih protoka**, definisanju dovoljnog broja osetljivih pokazatelja nivoa usluge (funkcionalnih kriterijuma), da bi u drugoj fazi definisao niz ekonomskih pokazatelja (modela za kvantifikaciju efekata, nivo cena, karakteristike vozila i sl). Treća, sintezna i ključna faza mora da izvrši tzv. izbalansiranost pokazatelja funkcionalnih i ekonomskih kriterijuma sa ciljem dobijanja jednoznačnih zaključaka i rezultata.

Suštinski razlog osnovnih slabosti dosadašnjih pristupa je u stvari stav prema problemu vrednovanja – naknadnom dokazivanju već gotovih projektantskih rešenja više zasnovanih na intuiciji, a manje na argumentovanju realnih funkcionalnih potreba. U uslovima nepostojanja adekvatne informacione osnove (nerazvijen informacioni sistem o saobraćajnim tokovima, putevima, vozilima i sl) uz napred navedeni stav o ulozi vrednovanja, stvarao se prostor za razne zloupotrebe, što je kao konačnu posledicu imalo niz pogrešnih odluka. (Tubić, V., 2012)

Za efikasno izvršavanje proračuna ukupnih koristi, u analitičkim postupcima, značajnu ulogu imaju merodavni parametri saobraćajnog toka, a pre svega PGDS i merodavni saobraćajni protoci. Analiza postojećih i budućih saobraćajnih zahteva, odnosno problem korektnog utvrđivanja merodavnih protoka je ono što dominantno utiče na niz strateških odluka u celokupnom procesu optimiziranja putne mreže (dimezionisanje poprečnog profila, novogradnja ili rekonstrukcija, funkcionalno, ekonomsko i ekološko vrednovanje). Uputstva preporučuju i obavezuju analitičare da merodavne protoke analiziraju po klasama časovnih protoka, a to je veoma retko rađeno u dosadašnjoj praksi.

Iz tog razloga, cilj ovog rada se ogleda u preispitivanju kompletnog pristupa problemu vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva, sa posebnim akcentom na analizu promene prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i analizu merodavnih saobraćajnih protoka kao ključnim pokazateljima saobraćajnih zahteva. Poseban značaj u analizi je stavljen na karakter saobraćajnih tokova, vremenske neravnomernosti, distribuciju protoka po klasama i analizu eksploatacionih brzina u zavisnosti od merodavnih protoka i klasa časovnih protoka. Celokupna analiza je izvršena na mreži državnih puteva u Republici Srbiji za period od 2011. do 2015. godine.

## 2. MERODAVNI SAOBRAĆAJNI PROTOCI

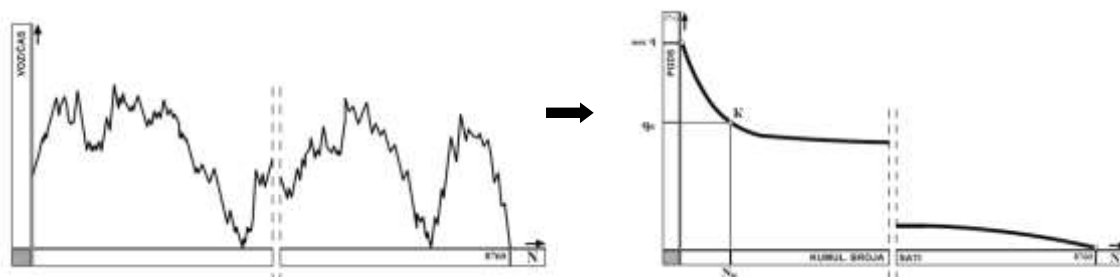
Karakteristika vremenske neravnomernosti saobraćajnog toka ima izuzetan značaj pri definisanju projektnih elemenata i donošenju odluka o opravdanosti izgradnje saobraćajnica. Značaj ove karakteristike saobraćajnog toka je naglašen i za mere koje se preduzimaju u regulisanju i upravljanju saobraćajem na posmatranoj mreži. (Tubić, V., 2012)

Časovna neravnomernost protoka u periodu cele godine predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim časovima u periodu cele godine, tj. u periodu 8760 časova. Uočavanje zakonitosti variranja časovnih protoka u periodu cele godine, tj. u periodu svih 8760 časova predstavljalo je osnovu kod uspostavljanja prvih kriterijuma pri definisanju merodavnog časovnog protoka vozila za dimenzionisanje poprečnih profila saobraćajnica.

Ova saznanja su nastala nakon uvođenja automatskih brojača saobraćaja (ABS) pomoću kojih je izvršeno i neprekidno brojanje saobraćaja u svih 8760 sati na putnoj mreži. Praktični rezultati prvih brojanja saobraćaja u svim časovima u periodu godine pokazali su da dijagrami časovnih protoka vozila svrstanih po veličini na svim saobraćajnicama imaju u osnovi sličan oblik (**slika 1**).

Nakon prvih brojanja časovnih protoka u periodu cele godine automatskim brojačima saobraćaja konstatovano je da pored istog opšteg oblika dijagrama, svrstanih po veličini časovnih protoka vozila u svih 8760 sati, za sve puteve približno istog karaktera i značaja u saobraćajnoj mreži, postoji značajna bliskost još i u sledećem:

- u položaju kolena dijagrama (simbol –  $K$ ),
- u relativnoj veličini časovnog protoka u kolenu, izraženoj u % od PGDS-a (simbol -  $q_k$ ) i
- u ukupnom broju časova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom ( $q_k$ ), koji odgovara kolenu dijagrama (simbol -  $N_k$ ).



**Slika 1.** Časovni protoci u periodu godine po hronološkom redosledu časova  
Izvor: Tubić, V. (2015)

Posebno značajno iz prvih saznanja bilo je da se položaj kolena na dijagramu, svrstanih časovnih protoka vozila u svih 8760 sati, nalazi u približno istim koordinatama koje okvirno iznose:

$$N_k = 30 \text{ i } q_k = 14 - 16 \% \text{ PGDS}$$

Peabody & Norman (1941) su nakon početnih saznanja o zakonitosti časovne neravnomernosti predložili kriterijum za merodavni protok u okviru od 30-og do 50-og časa. Nakon toga, 1945. godine AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) je usvojio da se nacionalni sistem međudržavnih puteva dimenzioniše prema veličini protoka koji odgovara 30-om času u 20-toj godini eksploatacije puta.

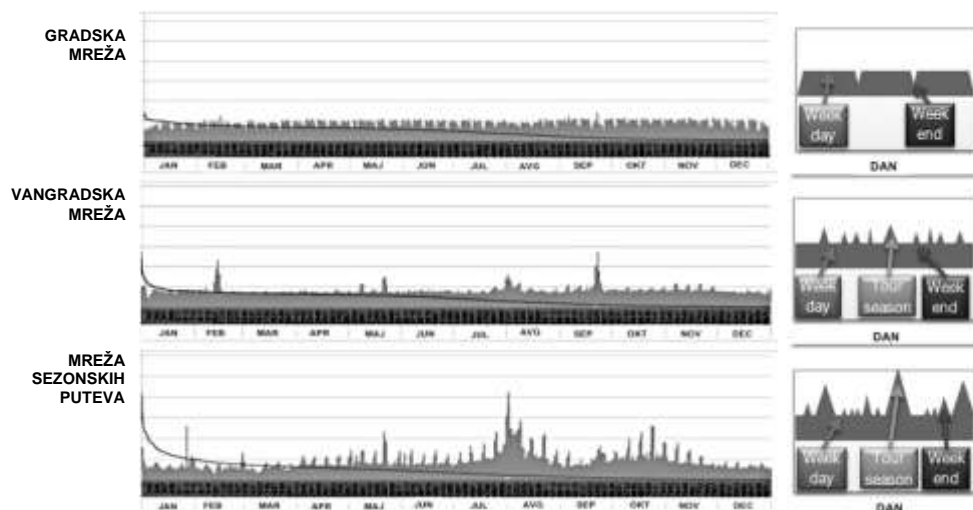
Kriterijum "30-og časa" se održao dugi niz godina, kao merodavni časovni protok, a u dosta zemalja i danas egzistira. Teorijski posmatrano, još od prvih dana uspostavljanja ovog kriterijuma bilo je nesporno da on ima značenje samo orijentacione mere, a nikako značenje apsolutne istine koja proističe iz suštine značenja merodavnog protoka za planiranje, projektovanje i vrednovanje puteva.

Posmatranjem oblika dijagrama svrstanih časovnih protoka vozila u periodu svih 8760 sati godišnje u dužem nizu godina, sa porastom motorizacije i putnog saobraćaja, uočene su određene zakonitosti u promeni oblika dijagrama. Promene se uočavaju pre svega u pomeranju relativnog položaja kolena na dijagramu svrstanih časovnih protoka. Naime, sa porastom apsolutnih vrednosti protoka vozila (časovno, dnevno, mesečno, godišnje) na dijagramu svih časovnih protoka svrstanih po veličini u 8760 sati uočavaju se sledeće promene:

- u povećanju ukupnog broja časova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom u tački kolena  $q_k$ . Naime,  $N_k$  uzima znatno veće vrednosti od 30.
- u relativnom smanjenju časovnog protoka (%) koji odgovara kolenu dijagrama izraženog u % od PGDS-a. Naime, relativna vrednost protoka  $q_k$  u odnosu na prosečni dnevni saobraćaj postaje sve manja, tj.  $q_k < 0,14\% \text{ PGDS}$ .
- u relativnom smanjenju najvećih časovnih protoka izraženih kao  $\max q$  u % od PGDS-a.

Sa uočavanjem tendencija u menjanju položaja kolena na dijagramu svrstanih časovnih protoka menjali su se i globalni kriterijumi o merodavnom časovnom protoku. Tako su, nakon kriterijuma "30-og časa" uspostavljeni i kriterijumi: "50-og časa", "80-og časa", "100-og časa", "150-og časa" i "200-og časa". Ovaj poslednji, tzv. merodavni protok 200-og časa danas ima primenu u mnogim razvijenim zemljama.

Vremenska neravnomernost časovnih protoka vozila u periodu svih 8760 sati u godini, zavisna je pored ukupnog protoka vozila u godini ili prosečnog dnevnog protoka još i od funkcije posmatrane saobraćajne deonice u mreži saobraćajnica (vangradska mreža, prigradska mreža, gradska mreža, lokalni vangradski put, sezonski vangradski put i sl). Svaka od kategorija mreže pri određenoj veličini ukupnog godišnjeg ili prosečnog dnevnog saobraćaja, ima svoj karakterističan dijagram svrstanih časovnih protoka vozila (**slika 2**). U suštini, sa poznavanjem opštih zakonitosti časovne neravnomernosti protoka vozila u periodu svih 8760 časova u godini moguće je donositi racionalnije odluke u planiranju i projektovanju saobraćajnica, a pre svega po pitanjima dimenzionisanja poprečnih profila i primeni savremenih softvera u procedurama vrednovanja kao što je HDM 4.



Slika 2. Karakterističan oblik krive svrstanih časovnih protoka za različite kategorije mreže  
Izvor: Bum Cho, W. (2015)

Generalno, merodavni protok iskazan kao % od PGDS-a je veći ukoliko su veće neravnomernosti saobraćajnog opterećenja u periodu cele godine. Maksimalna vrednost  $q_m$  se dostiže na putevima sa dominantno sezonskim (turističkim) kretanjima, dok se vrednost postepeno smanjuje na putevima sa dominantno daljinskim kretanjima, potom na vangradskim putevima, prigradskim i gradskim putevima. Sa druge strane, može se uspostaviti veza između veličine PGDS-a i  $q_m$ , odnosno sa povećanjem PGDS-a, smanjuje se faktor merodavnog protoka. U tabeli 1 su prikazane prosečne vrednosti merodavnog protoka, u zavisnosti od veličine PGDS-a, preporučene od strane HCM<sub>2010-a</sub> (*Highway Capacity Manual*).

Tabela 1. Veličina merodavnog protoka u zavisnosti od veličine PGDS-a

PGDS (voz/dan)	Prosečna vrednost $q_m$ (% PGDS)	Broj analiziranih saobraćajnica		
		Urbane saobraćajnice	Rekreacione saobraćajnice	Ostale vangradске saobraćajnice
0 – 2.500	15,1	0	6	12
2.500 – 5.000	13,6	1	6	8
5.000 – 10.000	11,8	2	2	14
10.000 – 20.000	11,6	1	2	15
20.000 – 50.000	10,7	11	5	10
50.000 – 100.000	9,1	14	0	4
100.000 – 200.000	8,2	11	0	0
> 200.000	6,7	2	0	0

Izvor: HCM (2010)

Projektanti i eksperti koji se bave ovom oblašću su u prošlosti pokrenuli ozbiljna pitanja u pogledu validnosti tradicionalnog pristupa određivanju merodavnog protoka. Jedna od kritika se odnosi na koncept određivanja merodavnih vrednosti strogo u zavisnosti od objekta (puta), a pritom ne sagledavši perspektivu korisnika. Iz tog razloga je Sharma (1986) sproveo studiju koja se ogleda u preispitivanju tradicionalnog faktora 30-og sata kao merodavnog, iz perspektive korisnika.

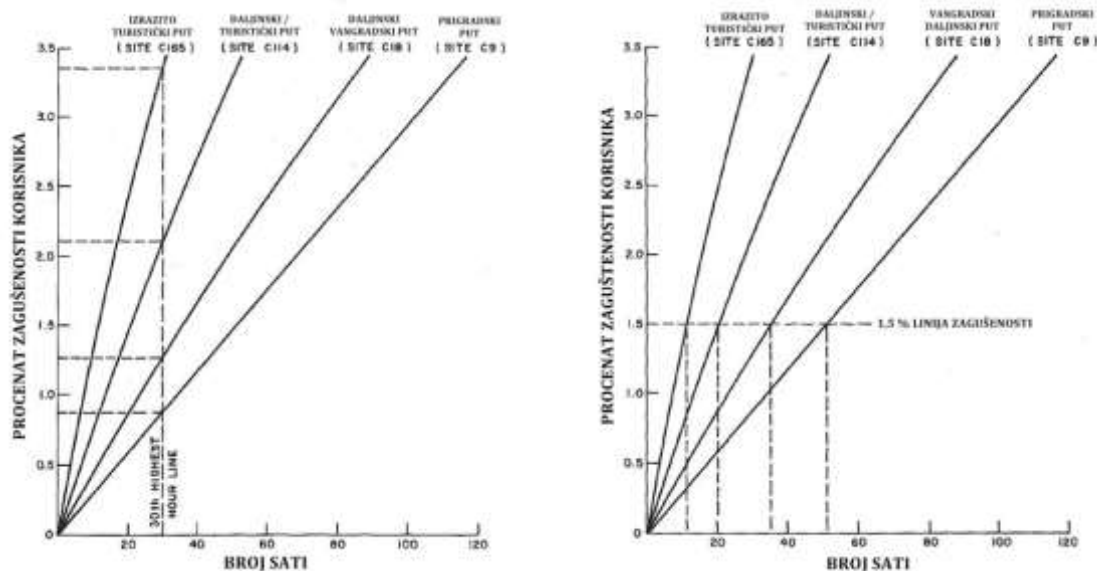
Osnovni ciljevi njegove analize su bili: (1) da se istraži uticaj različitih tipova puteva na vrednosti merodavnog protoka; (2) da se sugerišu vrednosti merodavnog protoka sa ciljem da se u procesu projektovanja sagleda ukupan procenat korisnika koji će biti pod uticajem zagušenja, a ne broj sati zagušenosti puta, kao što je u slučaju primene faktora 30-og sata, gde se sagledava ukupno zagušenje od 30 sati tokom godine za sve kategorije puteva.

Alternativni pristup određivanju merodavnog protoka, koji je predložen u njegovom radu, takođe je zasnovan na preraspodeli časovnih opterećenja tokom godine. Međutim, primarni interes predloženog pristupa je vrednost verovatnoće da će korisnici iskusiti (doživeti) saobraćajno opterećenje koje prevazilazi vrednost faktora n-tog sata (merodavnog časovnog protoka). Ovakva vrednost verovatnoće može biti aproksimirana sledećim odnosom (**obrazac 1**):

$$P(CON)_n = \frac{100}{365 \cdot (PGDS)} \cdot \sum_{i=1}^n V_i, \quad (1)$$

gde je  $P(CON)_n$  – verovatnoća iskazana u procentima da će korisnici iskusiti saobraćajno opterećenje koje prelazi vrednost faktora  $n$ -tog sata; a  $V_i$  – vrednost saobraćajnog opterećenja tokom  $i$ -tog sata.

Na osnovu sprovedenih analiza ustanovljeno je da se primenom tradicionalnog pristupa odabira faktora 30-og sata kao merodavnog za sve tipove puteva, verovatnoća zagušenja korisnika značajno razlikuje u odnosu na vrstu puta (**slika 3**). Sa druge strane, kod alternativnog pristupa, definisanjem jedinstvenog stepena zagušenosti korisnika moguće je uspostaviti jedinstven nivo usluge na svim putevima primenjujući različite vrednosti merodavnog protoka u zavisnosti od vrste puta. Na primer, može se predvideti da se na svim deonicama dozvoli procenat zagušenja korisnika od 1,5%, a na osnovu toga definisati merodavne protoke za put sa određenim karakterom tokova.



**Slika 3.** Tradicionalni i alternativni pristup određivanju  $q_m$  sa aspekta zagušenosti korisnika  
Izvor: Sharma, S. (1986)

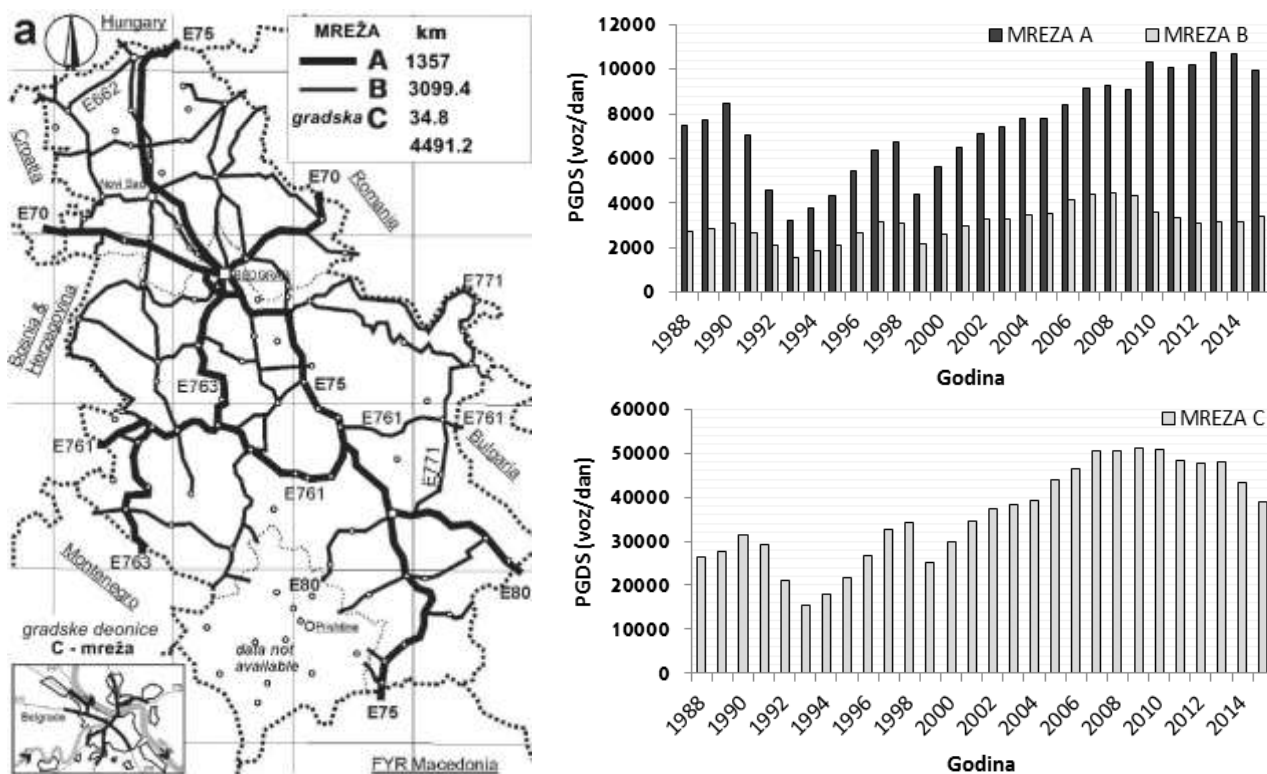
Glavni zaključak ove studije samo potvrđuje već pomenuti stav da karakter tokova, odnosno različita vrsta puta nesumnjivo predstavlja veoma značajan faktor koji treba razmotriti u procesu određivanja merodavnih časovnih protoka za projektovanje i vrednovanje putnih rešenja. Takođe, rezultati ukazuju i na opravdanu primenu različitih vrednosti merodavnih časovnih opterećenja u procesu kreiranja projektnih rešenja puteva u funkciji različitih karaktera tokova koji se na njima realizuju, kako bi se ostvario jedinstveni (zahtevani) nivo usluge.

### 3. PROMENE SAOBRAĆAJNIH TOKOVA NA PUTNOJ MREŽI SRBIJE U PERIODU 1988 – 2015. GODINE

Generalna analiza saobraćajne potražnje, odnosno prosečni godišnji dnevni saobraćaj (PGDS) predstavlja osnov za analizu merodavnih protoka i raspodelu saobraćajnih tokova po klasama časovnog opterećenja ( $q_m$ ). Iz tog razloga najpre je izvršena generalna analiza PGDS-a za period od 1988. do 2015. godine kako bi se utvrdio trend promene saobraćajnog opterećenja. Neophodno je napomenuti da je sa ciljem identifikovanja promene saobraćajnog opterećenja s obzirom na dominantno učešće pojedinih kategorija tokova (tranzitni – daljinski, izvorno ciljni i lokalni), primarna putna mreža Republike Srbije podeljena u tri funkcionalne podgrupe.

Funkcionalne podgrupe, odnosno, mreže koje su posebno analizirane (**slika 4**) su :

- A. mreža** (165 deonica ukupne dužine 1357 km) koja obuhvata mrežu autoputeva i najvažnije delove mreže primarnih dvotračnih državnih puteva;
- B. mreža** (310 deonica ukupne dužine 3099,4 km) sastoji se od deonica ostalih primarnih državnih puteva;
- C. mreža** je najmanja po obimu (2 gradske deonice ukupne dužine 34,8 km); čine je tipično gradske deonice pre svega na kontinualno izgrađenom području Beograda.



**Slika 4.** Promene prosečnog PGDS-a po funkcionalnim podgrupama deonice (A, B i C)  
Izvor: Autori rada (2018)

Sagledavši promene saobraćajne potražnje po godinama (**slika 4**) jasno se mogu uočiti određeni trendovi. Nakon burnih 90-ih godina prošlog veka koje su imale itekako veliki uticaj na celokupni sistem funkcionisanja države, uspostavljena je određena stabilnost i primetan je trend blagog porasta saobraćajnog opterećenja.

Na osnovu podataka sa automatskih brojača saobraćaja, na primarnoj mreži puteva u R. Srbiji (**mreža A**) se može uočiti konstantan trend porasta PGDS-a u periodu nakon 1999. godine pa sve do 2013. godine. Maksimalne zabeležene vrednosti saobraćajnog opterećenja dostižu do 10725 vozila na dan i poslednjih godina su trostruko veće od vrednosti saobraćajnog opterećenja na mreži ostalih primarnih puteva koji pripadaju **mreži B**. Ne možemo reći da je ovo posledica značajnog porasta daljinskih i turističkih kretanja, koja su karakteristična za **mrežu A**, već jednostavno niže stope i značajno manji broj vozila na putevima unutar države utiču na značajno nižu vrednost PGDS-a na **mreži B**.

Upravo je to razlog i ne preteranog osciliranja saobraćajnog opterećenja na **mreži B**. Naime, tokovi na **mreži B** su nakon 90-ih godina bili pod manjim uticajem spoljašnjih faktora, obzirom na to da su na ovoj mreži uglavnom primarna kretanja unutar države koja nisu u velikoj meri opterećena turističkim, odnosno sezonskim kretanjima. Maksimalne vrednosti PGDS-a na **mreži B** zabeležene su u periodu od 2006. do 2009. godine, kada je saobraćajno opterećenje dostiglo vrednost od 4438 vozila na dan.

Kada je reč o **mreži C**, koja zapravo predstavlja tipično gradske deonice koje su dominantno opterećene lokalnim i delimično izvorno ciljnim kretanjima, očekivano su zabeležene najviše vrednosti saobraćajnog opterećenja. Nakon 1999. pa sve do 2009. godine primećen je značajan porast saobraćajnog opterećenja. Prvenstveno zbog opterećenih deonica na teritoriji Beograda, zabeležene su maksimalne vrednosti PGDS-a od 51304 vozila na dan u 2009. godini. Nakon toga dolazi do postepenog smanjenja saobraćajne potražnje, ali su vrednosti PGDS-a i dalje značajno veće u odnosu na **mreže A i B**.

Kada uporedimo sadašnje vrednosti opterećenja na sve tri funkcionalne podgrupe sa vrednostima iz 1990. godine (neposredno pre kriznih perioda), možemo zaključiti da je na **mreži A** zabeležen relativno spor i ne preterano veliki porast PGDS-a, na **mreži B** vrednosti osciluju na nivou nešto višem od onog iz 1990. godine, dok je na **mreži C** PGDS dostigao značajno veće vrednosti od bazne 1990. godine.



#### 4. REZULTATI ANALIZE MERODAVNIH PROTOKA I DISKUSIJA

Detaljna analiza časovnih neravnomernosti protoka u toku svih 8760 sati moguća je jedino na osnovu podataka sa savremenih automatskih brojača saobraćaja (ABS). U ovom radu generalna analiza merodavnih časovnih protoka ( $q_m$ ) izvršena je za period od 2011. do 2015. godine. U procesu analize posmatrana je celokupna putna mreža, a na osnovu uslova u saobraćajnom toku, dominantnih karaktera saobraćajnih tokova i vremenskih neravnomernosti saobraćajnog opterećenja na dnevnom, nedeljnom, mesečnom i godišnjem nivou definisane su sledeće kategorije puteva koje su posebno razmatrane:

- putevi sa dominantno **daljinskim** kretanjima,
- tipično **vangradski** putevi,
- putevi sa dominantno **lokalnim** kretanjima i
- putevi sa dominantno **sezonskim** (turističkim) kretanjima.

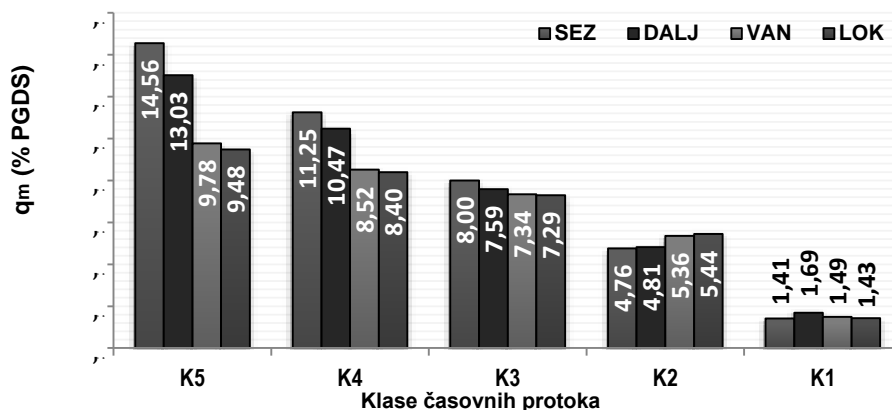
##### 4.1. Rezultati analize časovnih protoka po klasama

Značajno je istaći da su na današnjem nivou znanja iz teorije saobraćajnog toka i ekonomike saobraćaja, razvijeni novi postupci za utvrđivanje realnih vrednosti merodavnog protoka vozila, a oni su zasnovani na analizi protoka po klasama. Prilikom analize distribucije tokova i raspodele tokova po klasama kao polazna raspodela uzeta je raspodela iz modela HDM 4 u kojem je definisano pet karakterističnih perioda „učestalosti toka“ i to po klasama od K1 do K5:

- K1** - period minimalnog protoka vozila,
- K2** - period protoka vozila koji je ispod proseka,
- K3** - period prosečnog protoka vozila,
- K4** - period natprosečnog protoka vozila,
- K5** - period vršnog protoka vozila.

Prethodne analize prema preporučenim vrednostima broja sati po klasama od strane HDM modela (K5-87,6; K4-350,4; K3-613,2; K2-2978,4; K1-4754,4) rezultirale su malu osetljivost, odnosno malu promenu vrednosti prosečnih protoka naročito u poslednje dve klase (K4 i K5). Iz tog razloga broj sati po klasama je redefinisano (K5-50; K4-200; K3-1000; K2-4000; K1-3534). Na ovaj način je omogućeno realnije praćenje stanja u saobraćajnom toku s obzirom na karakter saobraćajnih tokova. (Tubić, V., 2012)

Analizom rezultata ustanovljeno je da u slučaju svih kategorija puteva ne postoje velika odstupanja u vrednostima %PGDS-a po godinama. Međutim, u pogledu raspodele protoka po klasama uočavaju se značajne razlike između različitih kategorija puteva (**slika 5**). Naime, kod puteva sa dominantno sezonskim i daljinskim kretanjima zabeležene su značajne razlike u prosečnim vrednostima protoka između klasa. Sa druge strane, uprkos redefinisanoj broja sati po klasama, kod vangradskih puteva i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima zabeležena je znatno manja osetljivost, odnosno manja promena %PGDS-a, naročito između poslednje tri klase (K3, K4 i K5). Ovo ukazuje na relativno malu promenu merodavnog vršnog opterećenja po klasama kod vangradskih puteva i puteva sa dominantnim lokalnim kretanjima, za razliku od ostale dve kategorije, gde jasno postoje razlike između klasa. Iz tog razloga, neophodna je dalja analiza i kontinualno praćenje promene saobraćajnog opterećenja u funkciji karaktera saobraćajnih tokova sa ciljem uočavanja promena u vrednostima opterećenja i daljeg prilagođavanja broja sati po klasama kako bi se stvorio osnov za realnije oslikavanje uslova u saobraćajnom toku u funkciji karaktera tokova.



Slika 5. Distribucija  $q_m$  po klasama časovnih protoka za različite tipove puteva (2011-2015.god)  
Izvor: Autori rada (2018)

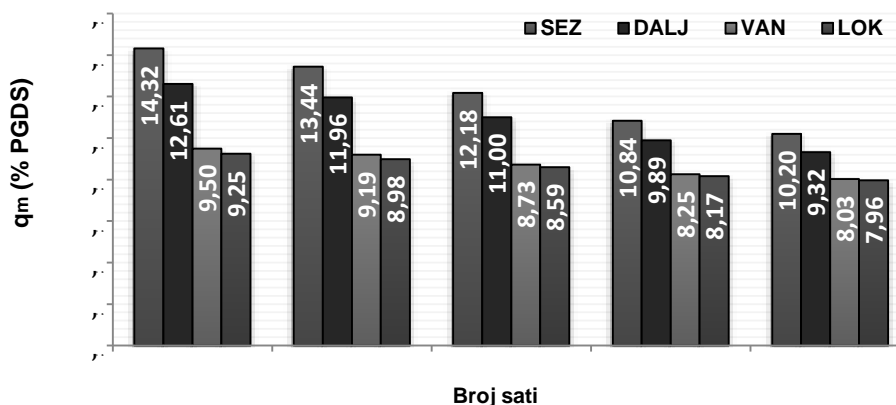
#### 4.2. Rezultati analize merodavnih časovnih protoka

Veličina merodavnog saobraćajnog protoka se definiše na bazi pretpostavke da na konkretnom putu neće biti zadovoljeni zahtevi za saobraćajem sa određenim nivoom usluge za  $n\%$  ukupnog godišnjeg protoka vozila, odnosno da će na tom nivou usluge biti udovoljeni zahtevi za  $(100-n)\%$  ukupnog godišnjeg protoka vozila. (Kuzović, Lj., 1987)

Kao što je ranije pomenuto, vremenska neravnomernost časovnih protoka vozila u godini u najvećoj meri zavisi od: ukupnog protoka vozila, odnosno nivoa dostignutog PGDS-a, ali i od funkcije posmatranog puta u mreži i dominantnog karaktera tokova. Svaka od kategorija mreže (vangradske, prigradske, gradske i dr) pri određenoj veličini ukupnog PGDS-a ili PDS-a, ima svoj karakterističan dijagram svrstanih časovnih protoka.

Shodno tome da je u ranijim istraživanjima i analizama ustanovljeno da je razlika u funkciji broja sati (N od 30 do 200) značajno smanjena, kriterijum 200-og sata logično se nameće kao merodavan. Iz tog razloga u ovom radu je izvršena analiza i 300-og sata sa ciljem da se proverí mogućnost dodatnog pomeranja granice merodavnog saobraćajnog opterećenja.

Analizom merodavnih protoka u funkciji broja sati utvrđeno je da postoje značajna odstupanja u odnosu na preporučene vrednosti merodavnih protoka po kategorijama puteva. Značajno su manje vrednosti po svim kriterijumima kao posledica niske baze PGDS-a, redukcije daljinskih kretanja, problema međunarodnog tranzita, odnosno društveno ekonomskih prilika u Republici Srbiji. Međutim, i pored toga u rezultatima se može primetiti napred pomenuta smanjena razlika u funkciji broja sati, naročito kod kategorija vangradskih puteva i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima (**slika 6**). Naime, razlike merodavnih protoka između 30-og i 300-og časa kod vangradskih i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima iznose 1,47% i 1,29%, redom, što nedvosmisleno ukazuje na mogućnost dodatnog pomeranja granice merodavnog opterećenja prema 300-om času. U slučaju ostale dve kategorije puteva, razlike između merodavnih protoka u funkciji broja sati su relativno veće, što je posledica karaktera tokova, odnosno većih neravnomernosti saobraćajnog opterećenja u toku godine. Kod puteva sa dominantno sezonskim (turističkim) kretanjima karakteristična su drastično veća opterećenja u letnjim/zimskim periodima i kod ovih puteva je opravdana primena merodavnih časovnih protoka u funkciji nižeg broja sati, jer u pojedinim delovima zemlje turizam predstavlja izuzetno važan privredni faktor koji je permanentno primaran u tim oblastima.



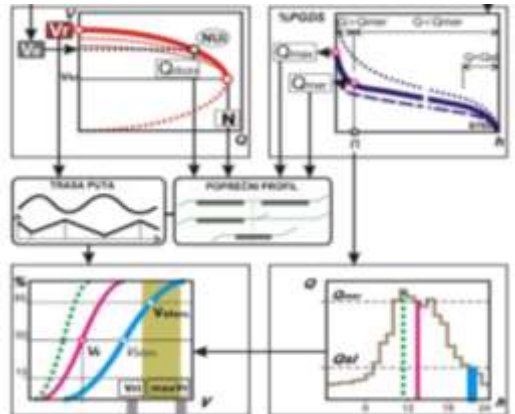
**Slika 6.** Distribucija  $q_m$  u funkciji broja sati za različite tipove puteva (2011-2015.god)  
Izvor: Autori rada (2018)

#### 4.3. Rezultati analize eksploatacionih brzina ( $V_e$ ) u funkciji časovnih protoka po klasama

Eksploataciona brzina ( $V_e$ ) je polazni programski parametar koji u suštini predstavlja indikator nivoa usluge određenog putnog pravca pri merodavnom saobraćajnom opterećenju ( $q_m$ ). Ova brzina se određuje na osnovu saobraćajnog značaja putnog pravca i makropokazatelja prostornih ograničenja, i zapravo treba da oslikava realne uslove u saobraćajnom toku pri merodavnom saobraćajnom opterećenju. Budući da je eksploataciona brzina ( $V_e$ ) približno jednaka srednjoj brzini saobraćajnog toka u idealnim uslovima i da je  $V=f(Q)$ , usvajanjem eksploatacione brzine istovremeno se definiše i dozvoljeno saobraćajno opterećenje pri kome je  $V_e$  realno ostvarljiva (**slika 7**).

Kao što je prikazano na **slici 7**, eksploataciona brzina  $V_e$ , indirektno se primenjuje (preko dozvoljenog protoka) u procesu dimenzionisanja poprečnog profila puta. Svakako da će se na putu javiti bolji uslovi

vožnje kada je saobraćajno opterećenje manje od graničnog protoka za slobodnu vožnju ( $q < q_{sl}$ ), tj. kada brzina saobraćajnog toka teži maksimalnoj brzini  $V_{max}$ . Prema osnovnoj zakonitosti saobraćajnog toka,  $V=f(Q)$ , može se takođe zapaziti da je maksimalna brzina direktno povezana sa eksploatacionom brzinom, i da u situacijama kada  $V \approx V_{max}$  dominantan postaje kriterijum bezbednost vožnje. Vrednosti eksploatacione brzine utvrđuju se u studiji koncepcije projekta na osnovu analiza Generalnog plana (master plana) putne mreže i služe kao programski parameter za izradu generalnog projekta puta. (Anđus, V., 2007)



**Slika 7.** Algoritam merodavnih brzina koje se primenjuju u projektovanju vangradskih puteva  
Izvor: Prilagođeno na osnovu izvora - Anđus, V., (2007)

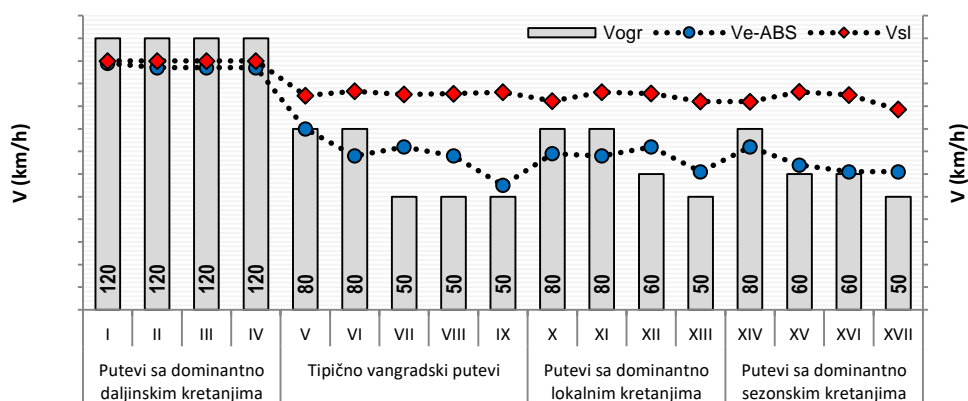
Postavlja se pitanje kako utvrditi prosečnu eksploatacionu brzinu koja će biti najbolji reprezent uslova u saobraćajnom toku. Linearni model za proračun  $V_e$  (**obrazac 2**) u obzir uzima samo jednu vrednost merodavnog časovnog opterećenja (npr. 30-og, 200-og časa), dok se pritom zanemaruju, odnosno ne uzimaju u obzir ostali časovi u toku godine koje karakterišu znatno niži nivoi saobraćajnog opterećenja.

$$V_e = [V_{sl} - q_m / C (V_{sl} - V_C)] \cdot \left[ (1 - R) + \frac{R \cdot P}{100} \right] \quad (2)$$

Upravo ovo može dovesti do niza pogrešnih strateških odluka u procesu vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva. Jedini način realnijeg predstavljanja uslova u saobraćajnom toku se može postići uključivanjem ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka u funkciji broja sati u proces proračuna eksploatacionih brzina. S tim u vezi, u ovom radu je izvršena detaljna analiza svih brzina koje su povezane sa eksploatacionom brzinom saobraćajnog toka. Drugim rečima izvršena je analiza slobodnih brzina ( $V_{sl}$ ), ograničenih brzina ( $V_{ogr}$ ), eksploatacionih brzina dobijenih na osnovu modela iz HCM<sub>2000</sub> u funkciji 200-og časa ( $V_{eHCMqm200}$ ), potom eksploatacionih brzina sa automatskih brojača saobraćaja ( $V_{eABS}$ ), i na kraju su sve brzine upoređene sa eksploatacionim brzinama po linearnom modelu u funkciji 30-og i 200-og časa, kao i u funkciji klasa časovnih protoka ( $V_{eqm30}$ ,  $V_{eqm200}$  i  $V_{eklase}$ , redom).

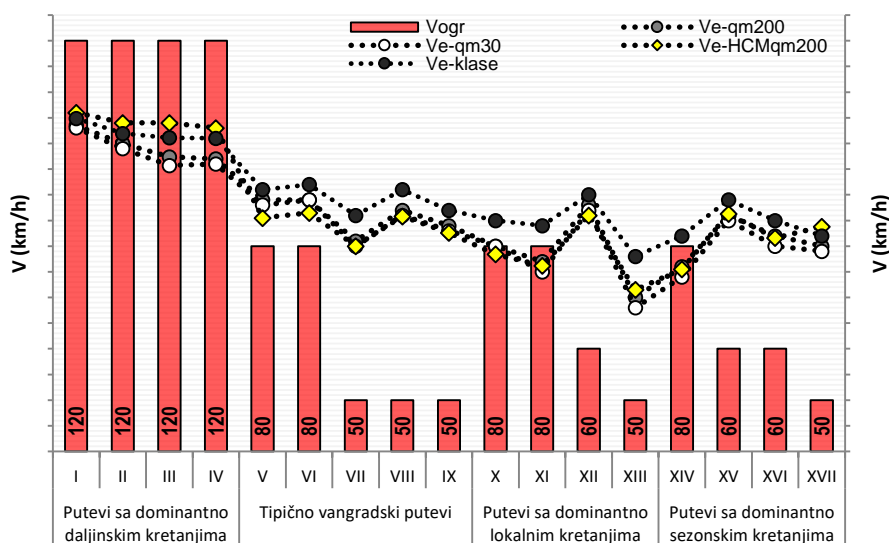
Kompletna analiza, kao i sve prethodne, je sprovedena za različite kategorije puteva u odnosu na dominantan karakter saobraćajnih tokova. Na samom početku analizirane su slobodne brzine na deonicama, koje su zapravo vezane za slobodni tok i podrazumevaju da se sva vozila u toku na posmatranom odseku kreću u identičnim uslovima ili uslovima kretanja koji odgovaraju kretanju pojedinačnog vozila na tom odseku. Neophodno je napomenuti da su prilikom analiza slobodnih i eksploatacionih brzina analizirane tehničko-eksploatacione karakteristike deonice u zonama automatskih brojača (1 km pre i 1 km posle brojača) kako bi se izbegli uticajni putni elementi koji se ne nalaze u uticajnoj zoni brojača. Kako bi se sagledao uticaj ograničenih brzina na stvarne brzine kretanja vozila, slobodne brzine su upoređene sa realnim brzinama očitanih sa ABS-a (**slika 8**). Kao što se može videti na **slici 8** kod puteva sa dominantnim daljinskim kretanjima (autoputevi) postoji bliskost između  $V_{sl}$  i  $V_{eABS}$  iz razloga što su uslovi na ovim putevima najpribližniji praktično idealnim uslovima i ne postoje putne karakteristike koje mogu uticati na smanjenje brzine u toku (kritični uzdužni nagib, minimalni radijus horizontalne krivine, itd). Međutim, kod ostalih kategorija puteva se primećuju drastične razlike između  $V_{sl}$  i  $V_{ogr}$ , koje dostižu vrednost i do 46 km/h. Ovakvi rezultati mogu ukazati na problem kredibiliteta samih ograničenja i postojanja mogućnosti velikog procenta nepoštovanja ograničenih brzina od strane korisnika. Sa druge strane, rigorozna ograničenja, koja su često u funkciji bezbednosti saobraćaja ili prilagođavanja puta potrebama naselja, negativno utiču na efikasnost saobraćajnog toka i iz tog razloga dolazi do značajno manjih realizovanih brzina, iako putne karakteristike dozvoljavaju kretanje znatno većim brzinama. Upravo to je zabeleženo na pojedinim

analiziranim deonicama gde su, kao posledica nižih vrednosti ograničenja, realne brzine u saobraćajnom toku, očitane sa ABS-a, značajno niže od proračunatih brzina u slobodnom toku.



**Slika 8.** Odnos slobodnih, ograničenih i eksploatacionih brzina očitanih sa ABS-a  
Izvor: Autori rada (2018)

Nakon generalne analize slobodnih i realnih brzina, pristupljeno je analizi eksploatacionih brzina dobijenih po linearnom modelu ( $V_{eqm30}$ ,  $V_{eqm200}$  i  $V_{eklase}$ ) i po modelu iz HCM<sub>2000</sub>-a (slika 9). Osnovni rezultati ove analize ukazuju na prilično malu razliku između vrednosti analiziranih eksploatacionih brzina. Ono što je bitno naglasiti jeste da se vrednosti  $V_e$  po linearnom modelu u funkciji 200-og sata u većini slučajeva poklapaju sa vrednostima  $V_e$  u funkciji 30-og sata, što samo potvrđuje prethodno pomenutu smanjenu razliku u funkciji broja sati, iskazanu u % PGDS-a. Na osnovu toga, sa sigurnošću možemo istaći da se kriterijum 200-og sata logično nameće kao merodavan. Sa druge strane, definisanje jedinstvene vrednosti saobraćajnog opterećenja u postupku proračuna  $V_e$ , koje je u funkciji samo jednog, odabranog, merodavnog sata, ne može u potpunosti da oslika realne uslove u saobraćajnom toku. S tim u vezi, u ovom radu je predstavljen i primenjen novi koncept proračuna  $V_e$  zasnovan na ponderisanim vrednostima klasa časovnih protoka u funkciji broja sati sa odgovarajućim vrednostima saobraćajnog opterećenja u periodu cele godine (8760 sati). Ovako dobijene eksploatacione brzine karakterišu relativno više vrednosti u odnosu na vrednosti dobijene u funkciji jedinstvenog merodavnog protoka. Ovi rezultati su i očekivani s obzirom da su u postupku proračuna  $V_e$  uključeni ostali časovi u toku godine koje karakterišu značajno niži nivoi saobraćajnog opterećenja. Na ovaj način je omogućeno realnije opisivanje uslova koji vladaju u saobraćajnom toku, što potvrđuje i usaglašenost između vrednosti eksploatacionih brzina dobijenih po linearnom modelu u funkciji klasa protoka i brzina dobijenih po HCM-u.

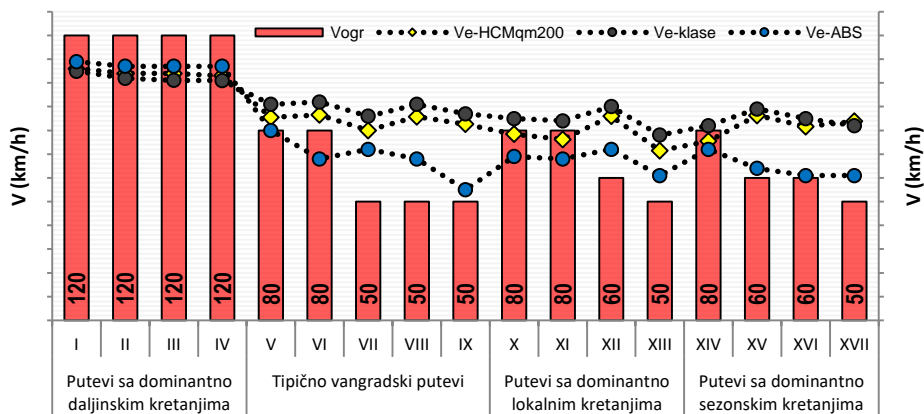


**Slika 9.** Odnos eksploatacionih brzina (po linearnom modelu i po HCM-u) i ograničenih brzina  
Izvor: Autori rada (2018)

Međutim, ograničenje brzine na deonicama može imati značajan uticaj na realizovane brzine u toku. Na putevima sa dominantno daljinskim kretanjima zbog približno idealnih uslova u saobraćajnom toku i

izostanka uticaja ograničenja brzine ( $V_{ogr}=120$  km/h), eksploatacione brzine dobijene na osnovu oba modela su veoma bliske realnim brzinama, što još jednom potvrđuje pomenuti stav o realnijem oslikavanju uslova u saobraćajnom toku. Sa druge strane, na ostalim posmatranim deonicama odnos između analiziranih brzina se značajno razlikuje u zavisnosti od vrednosti ograničenja.

Naime, sa **slike 10** se može primetiti da su dobijene eksploatacione brzine najpribližnije realno ostvarenim brzinama na deonicama sa ograničenjem brzine od 80 km/h. Ovakvi rezultati su očekivani, jer je ograničenje brzine od 80 km/h u skladu sa rangom i funkcijom puta, te vozači ne nailaze na problem neusklađenosti tehničko-eksploatacionih karakteristika puta i vrednosti ograničenja brzine. Međutim, kod nižih ograničenja (60 km/h i 50 km/h) uočavaju se dva karakteristična slučaja u pogledu odnosa analiziranih brzina.



**Slika 10.** Odnos eksploatacionih (po linearnom modelu u funkciji klasa, po HCM-u, sa ABS-a) i ograničenih brzina  
Izvor: Autori rada (2018)

U prvom slučaju (deonice IX, XV i XVI) zabeležene brzine na automatskim brojačima su značajno niže od vrednosti proračunatih eksploatacionih brzina po linearnom modelu u funkciji klasa protoka i po HCM-u. Ovo zapravo ukazuje na to da i pored povoljnih karakteristika puta na pomenutim deonicama uslovi u toku onemogućavaju realizovanje većih brzina. Ovakav problem je sa jedne strane karakterističan za deonice vangradskih puteva koje prolaze kroz naselje, jer su u tom slučaju prisutni drugačiji, nepovoljniji, uslovi u saobraćajnom toku. Sa druge strane, naročito na sezonskim, odnosno turističkim putevima veoma je čest slučaj da vozači održavaju kontinuitet u vožnji i nakon delova puta sa nešto lošijim tehničko-eksploatacionim karakteristikama nastavljaju da voze nižim brzinama i na delovima puta sa povoljnijim karakteristikama (na kojima su i locirani brojači koji beleže brzinu kretanja). Pored toga, niže brzine na ovim putevima od onih koje su u skladu sa karakteristikama puta, mogu biti i posledica svrhe putovanja. Drugim rečima, sezonski putevi se najčešće koriste kod putovanja sa svrhom rekreacije ili razonode, te vozači jednostavno svesno voze nižim brzinama uživajući u okolnim predelima.

Kada je reč o drugom slučaju odnosa analiziranih brzina koji je zabeležen kod ostalih deonica, uočeno je da su realne brzine sa ABS-a niže od dobijenih eksploatacionih brzina, ali ujedno značajno više od vrednosti ograničenih brzina. U ovim slučajevima se dovodi u pitanje kredibilitet postavljenih ograničenja. Kredibilno ograničenje brzine se definiše kao ograničenje brzine koje je u skladu sa percepcijom vozača uslovljenom putnim i saobraćajnim uslovima. Na primer, ako na putu važi ograničenje brzine od 60 km/h, taj put ne bi trebalo da izgleda kao put na kome bi inače trebalo da važi ograničenje od 80 km/h, kako bi ograničenje bilo verodostojno. Isto tako je loše ako put izgleda kao put za 60 km/h, a da na njemu važi ograničenje od 80 km/h. Izgled puta i njegovo okruženje bi trebalo da učine određeno ograničenje brzine logičnim i kredibilnim. Ovo bi svakako trebalo ispitati praktičnim, terenskim istraživanjima i utvrditi osnovni problem disbalansa između realnih, ograničenih i modelima proračunatih eksploatacionih brzina.

## 5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Sprovedeno istraživanje merodavnih saobraćajnih protoka, koji predstavljaju jedan od ključnih parametara u postupcima saobraćajnog i ekonomskog vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva, je dovelo do različitih zaključaka. Pre svega, generalni rezultati analize promena vrednosti  $q_m$  i distribucije protoka po klasama potvrdili su tezu da su promene značajne, ali i veoma različite u funkciji karaktera saobraćajnih tokova. U pogledu distribucije protoka po klasama časovnih protoka, naročito kod tipično vangradskih puteva

i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima, zabeležena je značajno mala osetljivost, odnosno mala promena %PGDS-a, prvenstveno između poslednje tri klase (K3, K4 i K5). Rezultati su ukazali i da je pitanje kalibrisanja svakog parametra, ali pre svega merodavnog saobraćajnog opterećenja, na realne lokalne uslove veoma složen zadatak. Iz tog razloga, značajne promene koje se dešavaju u saobraćajnim tokovima se moraju permanento pratiti i postati predmet kontinualnih istraživanja.

Daljom analizom uticaja merodavnih protoka na prosečne eksploatacione brzine utvrđeno je da se jedino uključivanjem ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka u funkciji broja sati u proces proračuna eksploatacionih brzina mogu korektnije analitički opisati realni uslovi koji vladaju u saobraćajnom toku. Vrednosti ovako dobijenih eksploatacionih brzina su približno uravnotežene sa vrednostima dobijenih po modelu iz HCM-a, što dodatno potvrđuje validnost predloženog postupka. Međutim, u rezultatima je zabeleženo da vrednosti ograničenih brzina imaju značajan uticaj na vrednosti realizovanih brzina u toku. Na putevima sa dominantno daljinskim tokovima koji nisu pod uticajem ograničenja brzine ( $V_{ogr}=120$  km/h), dobijene eksploatacione brzine su veoma bliske realnim brzinama, što nije slučaj kod ostalih kategorija puteva. Kod kategorija puteva sa nižim vrednostima ograničenih brzina značajnu ulogu ima kredibilitet postavljenih ograničenja, što bitno utiče na vrednosti realizovanih brzina. Shodno tome, prilikom definisanja ograničenja brzine za odgovarajuću deonicu trebalo bi uzeti u obzir njen uticaj na mobilnost, bezbednost, životnu sredinu i kvalitet života ljudi koji žive neposredno u blizini puta, kako bi brzine bile u skladu sa uslovima koji vladaju na deonici.

Pored rešavanja problema kredibiliteta ograničenih brzina, trebalo bi preispitati i sam model za proračun eksploatacionih brzina. Trebalo bi detaljno istraživati mogućnost da se u modele proračuna  $V_e$ , pored promene koncepta koji podrazumeva definisanje merodavnih opterećenja u funkciji ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka, razmotri i uključivanje uticaja ograničenih brzina.

Na kraju, s obzirom da je analiza saobraćajnih zahteva, odnosno problem korektnog utvrđivanja merodavnih protoka ono što dominantno utiče na niz strateških odluka u celokupnom procesu optimiziranja putne mreže (dimezionisanje poprečnog profila, novogradnja ili rekonstrukcija, funkcionalno, ekonomsko i ekološko vrednovanje), u daljem radu je neophodno nastaviti sa istraživanjem i kontinualnim praćenjem promene saobraćajnog opterećenja u funkciji karaktera saobraćajnih tokova sa ciljem uočavanja promena u vrednostima opterećenja i daljeg prilagođavanja broja sati po klasama kako bi se stvorio osnov za realnije oslikavanje uslova u saobraćajnom toku u funkciji karaktera tokova.

## Literatura

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*. Washington, DC: AASHTO. 2004.
- [2] Anđus, V. (2007). Merodavne brzine u projektovanju puteva i bezbednost vožnje. *Bezbednost saobraćaja u planiranju i projektovanju puteva*, pp. 81-89
- [3] Bum Cho, W. (2015). Study on Estimating Design Hourly Factor Using Design Inflection Point. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*. Vol. 6, No. 10.
- [4] Highway Capacity Manual – HCM 2000. *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, D.C. 2000
- [5] Highway Capacity Manual – HCM 2010. *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, D.C. 2010.
- [6] Kuzović, Lj. (1987). Teorija saobraćajnog toka. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [7] Kuzović, Lj. (1994). Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [8] Maletin, M., Tubić, V. (2013). Basic characteristics of traffic on primary rural roads in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 3(4).
- [9] Peabody, L. E., O. K. Normann (1941). Application of Automatic Traffic Recorder Data in Highway Planning. *Public Roads*, Vol. 21, No. 11, pp. 203–222.
- [10] Sharma, S. C. (1986). Design hourly volume from road users' perspective. *Journal of Transportation Engineering*, 112(4), 435-440.
- [11] Tubić V. (2015). Vremenske neravnomernosti protoka – teorijske relacije i praktični primeri, Saobraćajni fakultet, Beograd
- [12] Tubić, V. (2012). Merodavni saobraćajni protoci u vrednovanju projektnih rešenja. *Tehnika – saobraćaj*, No. 2.



## THE MAIN RESULTS OF THE CONNECTA PROJECT - RSI IN SEETO NETWORK

**Prof. Krsto Lipovac<sup>1</sup>, Traffic Eng., PhD**

*University of Belgrade, Faculty of traffic engineering, Belgrade, k.lipovac@sf.bg.ac.rs*

**Srbislav Gugleta, Traffic Eng.**

*City Administration for Construction Land and Investments, Novi Sad, Serbia, srbislav.gugleta@gmail.com*

**Dušan Savković, Civil Eng.**

*Mott MacDonald, Belgrade, dusan.savkovic@mottmac.com*

**Darko Cvoric, Traffic Eng.**

*Routing Ltd, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, darko.cvoric@routingbl.com*

**Abstract:** The purpose of this paper is to present the preliminary results for road safety inspection for the whole SEETO Core and Comprehensive Road Network in the Western Balkans (WB6). More than 10% of network (562km) team of international and local experts performed inspections and each of 22 sections in 6 countries prepared reports. In this paper focus is on selection and presentation of major common problems with recommendations for their improvements. Albeit, there are different problems in each country, same or very similar problems were detected, recommendations were possible to be conducted. All data collected and processed within RSI's are basis for short-term plans.

Following the progress of transportation and road infrastructure in region, systematic approach in road safety inspections is necessary. In next period recommendations should be respected and accepted by local beneficiaries to reduce risks in their respective road networks. All inspections were performed in maximum cooperation with all state road authorities and local designers which is essential in process of enhancing road safety in whole region.

**Key words:** Road safety, inspection, SEETO network, assessment, recommendations.

## НАЈВАЖНИЈА ИСКУСТВА ПРОЈЕКТА CONNECTA КОЈА СЕ ОДНОСЕ НА ПБС ПУТЕВА У SEETO РЕГИОНУ

**Prof. dr Krsto Lipovac<sup>1</sup>, dipl.inć., PhD**

*University of Belgrade, Faculty of traffic engineering, Belgrade, k.lipovac@sf.bg.ac.rs*

**Srbislav Gugleta, Traffic Eng.**

*City Administration for Construction Land and Investments, Novi Sad, Serbia, srbislav.gugleta@gmail.com*

**Dušan Savković, Civil Eng.**

*Mott MacDonald, Belgrade, dusan.savkovic@mottmac.com*

**Darko Cvoric, Traffic Eng.**

*Routing Ltd, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, darko.cvoric@routingbl.com*

**Резиме:** У току 2017. и 2018. године, у региону Југо-источне Европе, Опсерваторија за транспорт (SEETO) је реализовала пројекат CONNECTA. Безбедност саобраћаја је била посебна компонента пројекта. У оквиру ове компоненте урађене су Провере безбедности саобраћаја на око 10 % мреже европских путева и других путева у региону (Core и Comprehensive путевима). Посебно одабран тим проверивача са међународним искуством је обишао преко 560 km путева и урадио 22 извештаја о провери БС. У раду ће бити приказани први резултати ових провера. Посебно ће бити приказани најважнији проблеми који су уочени у појединим државама и најважније препоруке за унапређење безбедности саобраћаја на овим путевима. Мада има разлике између држава, могу се препознати и неки, веома важни исти или слични проблеми, односно могу се препоручити сличне мере унапређења.

У садашњој фази развоја саобраћаја и путне инфраструктуре у региону, неопходно је да се настави са систематском провером безбедности саобраћаја и, у што краћем року, реализују препоруке, односно смање ризици у саобраћају на овим путевима. Наведене провере су реализоване у тесној сарадњи са представницима управљача путевима и пројектантима у појединим државама, што би требало да повећа одрживост пројекта, односно да обезбеди трајније унапређење безбедности путева у региону.

---

<sup>1</sup> Krsto Lipovac: k.lipovac@sf.bg.ac.rs

### 1. INTRODUCTION

The South-East Europe Region has a high road crash rate compared to EU countries with the 6 SEETO Regional Participants having almost 76 road deaths per million population in 2014 compared to the EU28 at

just over 50 road deaths per million of population. In 2014, almost 1,400 were killed and more than 47,000 were injured in the SEETO Regional Participants according to the SEETIS data. The road safety reform progress around the WB6 varies but is generally low. The EU Directive 2008/96/EC is not (or only partly) transposed in national legislations.

The Preparation of Road Safety Inspection (RSI) and Audit (RSA) Plans for core/comprehensive network in Western Balkans (WB6) and Pilots Project commenced with a Kick-off Meeting on the 13 June 2017 with an expected project duration of 12 months.

The purpose of this TA is to prepare short-term plans (2018-2020) for road safety inspection and audit for the whole Core and Comprehensive Road Network in the Western Balkans. This consultancy will - as RSI/RSA pilots - also deliver a part (10% and 6 projects, respectively) of these overall plans in 2018.

The objective is to provide direct support to the Western Balkans' ministries responsible for transport and infrastructure and to road authorities for programming infrastructure maintenance and to assist the SEETO Secretariat in monitoring the implementation of relevant transport measures in the framework of Connectivity Agenda.

The four activities contained within this component are:

Activity 1 Map existing core and comprehensive road network in Western Balkans.

Activity 2 Compile a list of all Road Safety Inspections that have been implemented during the last 3 years (2014-2016), including those that followed the EuroRAP/iRAP inspection methodology. The list should include the recommendations of these inspections.

Activity 3 Prepare a three-year Plan (2018-2020) for road safety inspection for the core and comprehensive road network. This plan should recommend the use of two methods: i) traditional road safety inspection using SEETO's road safety inspection guidelines, and ii) EuroRAP road survey and star rating methodology. The Plan will include the required inspectors' inputs and an indicative cost to deliver it by consulting firms.

Activity 4 Undertake road safety inspections using SEETO's road safety inspection guidelines on 10% (about 550 km) of the core and comprehensive road network that is considered highest risk portion of the network based on fatal crash data. SEETO members will prepare a list of their high risk sections and the Consultant will then compile a list of about 550 km of these high risk roads by maintaining a reasonable distribution among all SEETO's members. The decision on the specific sections to be inspected will be taken jointly with SEETO and by also considering existing and foreseen TAs for RSI.

The present paper presents approach of preparation of the three-year plan (2018/19-2020/21) for road safety inspection of the SEETO core and comprehensive road network and general findings with assessment of deficits and proposals for improvement of road safety.

### 2. PILOT ROAD SAFETY INSPECTIONS

#### 2.1 The selection – planning process

Pilot road safety inspections have been carried out by the team using SEETO's road safety inspection guidelines on 10% (about 550 km, as per ToR, but finally actually 580 km) of the core and comprehensive road network that is considered highest risk portion of the network based on fatal crash data.

SEETO members prepared a list of their high-risk sections and the team compiled a list of about 550 km of these high-risk roads by maintaining a reasonable distribution among all SEETO's members.

Initially the High-Risk Road Sections from all WB6 countries were assessed. The information received was not comparable and should not be, because all countries have different characteristics and different problems. The crashes occurring on these roads is only an indication. Normally, it is not possible to compare between different roads from various countries, if their traffic characteristics, volumes, design, etc. are not known. Furthermore, the total length either of the TEN-T road network or of the high-risk road sections are not the same in all countries.

The area coverage, the population, the total number of road crashes, the total number of road fatalities, the total number of road injuries, the relevant figures from WHO, the under-reporting of road safety statistics, etc. of each country, were taken into consideration along with the team’s engineering judgement, and initially the total road section length of each country to be inspected as part of Connecta project was formed.

Apart from statistics, it was aimed to include a representative sample of each country's road network. To introduce RSI capacity building within each country and have sound information for the plan to be developed later, it was proposed to have more than one road section within each country and not less than a total of 40km for each SEETO RP. The only exception to this rationale was Montenegro, where it was proposed to inspect only one road ("Podgorica- Mioska") instead of two road sections (namely "Lipci - Ijuta" and "Ribarevine - Berane"), because it was considered a much more important road. Furthermore, it was intended not to underestimate the smaller countries.

Furthermore, since it seems that according to statistics, ALB and BiH face proportionally bigger road safety problems, and SRB is the best performing country (according to WHO) in terms of fatality rate per 100,000 population, we decreased the share of SRB and increased a bit the road length inspection in ALB and BiH. Since there was a need for a fair sample from each country, the final proposed RSI road length per country was the following:

- ALB: 110km
- BiH: 125km
- MNE: 50km
- MKD: 60km
- SRB: 155km
- KOS: 50km

**2.2 RSI reporting**

The approx. 580 km SEETO network inspected (as pilots), have been classified in RPs and sections for reporting purposes. Target was to deliver one report for each separate road section inspected. The result is 24 separate (and standalone) RSI pilot reports for the 6 RPs of SEETO. The pilot RSI reports have been submitted to each RP, according to the following table.

		Corridor	Name	Section_Start Node	Section_End Node
ALB	1	E762 SH1	Shkoder-Koplik	Road Start Tuzit	Start of By Pass Koplik
ALB	2	E 762	F. Kruje - Lezhe	Overpassing F. Kruje	r/a in Lezha exit
ALB	3	SH 2	Tirane - Durres	Overpassing Kamez	I/C of By Pass Shkozet
ALB	4	E 853	Fier - Vlore	I/C to Aulona Road	I/C to rd Sinan Ferhati
BiH	1	Route 2a	E-661 (M5)	Jajce Jug	Donji Vakuf
BiH	2	Corridor Vc	E-73 (M 17)	Karuše	Ozimica
BiH	3	Corridor Vc	E-73 (M 17)	Ozimica	Topčić Polje
BiH	4	Corridor Vc	E-73 (M 17)	Jablanica	Potoci
MNE	1	Route 4		Podgorica	Mioska
MKD	1	A3		Bitola	Prilep
MKD	2	A2		Stracin	Kriva Palanka
MKD	3	R-106		Prilep	Drenovo
MKD	4	R-106		Drenovo	Rosoman
SRB	1	Route 4	IB22	Orlovaca	Stepojevac
SRB	2	Route 4	IB22	Stepojevac	Celije
SRB	3	Route 5	IB23	Vrnjci(Ugljarevo)	Kamidzora
SRB	4	Route 5	IB22	Preljina	Mrcajevci
SRB	5	Route 9	IB21	Petrovaradin	Sremska Kamenica
SRB	6	Corridor X	A1	Bubanj Potok	Mali Pozarevac
SRB	7	Corridor X	A1	Beograd (Dobanovci)	Bubanj Potok
SRB	8	Corridor Xb	A1	Feketic	Sirig
KOS	1	R6b		Fushe Kosove	Gjurgjice/ R7-R6b I/C
KOS	2	R6b		Gjurgjice/ R7-R6b I/C	Kijeve
KOS	3	R6a		Veternik/N-2 N-25.2 I/C	Lipjan/N-2 & N-25 r/a

### 3. GENERAL FINDINGS

Pilot road safety inspections have been carried out by the team using SEETO's road safety inspection manual on approximately 580 km of the core and comprehensive road network that is considered highest risk portion of the network based on fatal crash data (based on information provided by each RP).

Below are presented, in brief, the most important or/and frequent RSI findings along the road sections inspected in WB6. Much more details on findings and proposed remedial measures are included in the specific pilot RSI reports (separately for each road section).

#### 3.1 Assessment of the deficits

The most critical deficits in respect of road safety are (of course, depending on each separate road section):

- Co-existence of long distance travel and local trips - increased speed conflicts and demand for overtaking.
- Many accesses (houses and commercial businesses next to the road). Especially accesses with allowed left turns (especially from the main carriageway) contribute to many conflicts and increased risk of crashes.
- Conflicts between vehicles and pedestrians. Activities around the road generate demand for pedestrian movement by the road and crossing the road at places with speed limit and operation speed more than 50 km/h.
- Unpaved areas near the road which have unregulated / unchanneled exits and entries to the main carriageway. Vehicles need to decelerate before exiting or accelerate after entering the traffic on the road. Maneuvers interrupt other drivers, create traffic conflicts and could result to road crashes.
- The absence of adequate pedestrian facilities at urban segments, near bus stops, etc. could force pedestrians to use the carriageway for walking along the road. It could increase risk and cause crashes involving pedestrians.
- Parked vehicles (legal or illegal) in the settlements reduce sight distance, reduce space for pedestrians, take driver's attention away and could make confused traffic situations and cause road crashes.
- Legal and illegal advertising signs (billboards), placed in the safety zone of the road, taking driver's attention away. Some advertisement billboards reduce sight distance, especially near the intersections. This could increase risk of road crashes near advertisement billboards.
- Not adequate pedestrian facilities on urban subsections, near bus stops, near houses and commercial plots, could force pedestrians to use carriageway for walking along the road. It could increase risk and cause road crashes with pedestrians.
- Insufficient space and not appropriate design of bus stops, with missing information signs in advance, could create unexpected situations in the traffic and cause crashes. It could make bus deceleration and acceleration difficult and unsafe.
- Damaged, not maintained or not safe guardrails with unsafe ends, gaps and unsafe connections.
- Road safety barriers are missing at some places where guardrails are needed to protect vehicles from hitting hard objects or from running off the road at dangerous places (i.e. high slopes).
- Guardrails installed to protect culverts or hard objects near the road with inadequate length. These short guardrails cannot protect hard objects and would not keep vehicle which run off the road.
- Unsafe barrier ends (terminals).
- Short stone obstacles used as unsafe alternative to guardrails.
- Sharp curves without chevron signs to inform and advice drivers
- Street lighting not adequate in some villages, at schools and bus stops.
- Gas stations with too wide entrance and exit which very often contain two, three, four or five traffic lanes.
- Road sections with approved overtaking but even without optimal stopping visibility.

- Using of motorway interchange acceleration ramps as accesses to surrounding commercials.
- Narrowed tunnels without any driver warnings so heavy trucks and buses have to use a traffic lane for the opposite direction.
- High slopes without safety nets etc.

### 3.2 Proposals and Recommendations

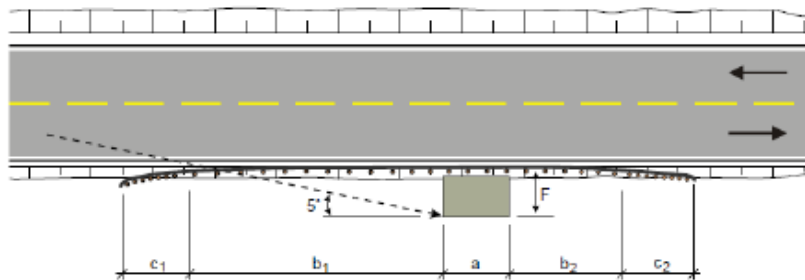
Among the deficiencies, there are some that could greatly be improved with some low-cost implementation measures. Some general, initial remedies of the RSI team are described at the following.

#### 3.2.1 Improve the guardrail system

Add guardrails where needed, repair guardrails, improve connection, extend guardrails or change the end of the guardrails.

The guardrail system should have proper length to be an appropriate restraint system for users. Guardrails will not work in the system if the elements do not have the required length. It could also create too many guardrail beginnings that may be problematic regarding road safety.

Recommendation is based on the EN 1317-4 (or EN 1317-7 new end terminal treatment). To protect errant vehicles to exit the road and to secure safe stops, end terminals should be constructed based on the mentioned EN standards.



*The required length of the guardrail, relevant to the object to be protected*



*Example of transition between concrete barrier and guardrail*

#### 3.2.2 Unsafe guardrail ends

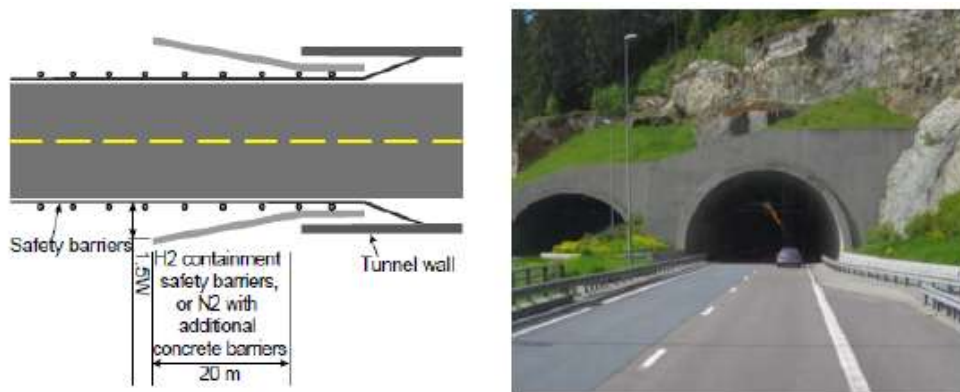
Recommendation is based on the EN 1317-7 new end terminal treatment. In order to protect errant vehicles to stop safely, end terminals should be constructed based on the mentioned EN standards.



*The ends of the guardrails should be rounded*

### 3.2.3 Tunnel entrances

A recommended solution which could efficiently solve the problem with tunnel portals is installation of tunnel portal safety barriers or crash cushions. The barriers cover the beginning and end of the head front of tunnels portals. For bidirectional tunnels and tunnels regularly operated for bidirectional flows, transitions should be designed for safety in both traffic directions. Guardrails can finish on the portal so vehicles are protected from the head front of the portal. An example of possible implementation tunnel portal safety barriers could be like in this case (picture below).



*Example of the placement of safety barriers before parallel tunnel portals*

### 3.2.4 Pedestrian crossing with proper lighting

General recommendation for pedestrian crossing lighting should be enhanced with additional lighting poles at the intersection zones and in the areas where pedestrian movement is expected.

Proposed measures, in accordance with the standards, include placement of adequate lighting that allows the lighting both crossing itself and the accesses, to ensure that drivers on the main road notice pedestrians in time.

### 3.2.5 Agriculture access roads

In order to protect users on the main road, pavement on the access roads from agriculture fields should be made of asphalt, concrete or gravel. Satisfactory length for the pavement on the access road is min 15-20 m. Access from the agricultural roads should be gravel, because this material helps previously accumulated dirt from wheels of the agricultural vehicle to be stripped before they access to the state road.

This measure reduces bringing mud to the road and therefore the risk of vehicle encountering mud and, consequently skidding and loss of control of the vehicle.





*Agricultural access road from ribbed concrete (expensive but most efficient solution, example from Serbia)*

### 3.2.6 Additional signage for curves

Adding of chevron signs before and along the sharp curves is recommended. The number of chevron signs should be calculated based on the length and radii of the curve as well as a principle that at each point in time the driver should see at least three chevron signs. It is recommended that, depending on the radii of the curve, distances between two chevron signs should be 8-15 m for curve radii of 60 m, 15-25 m for curve radii of 150 m and 25 m for curves with larger radii.



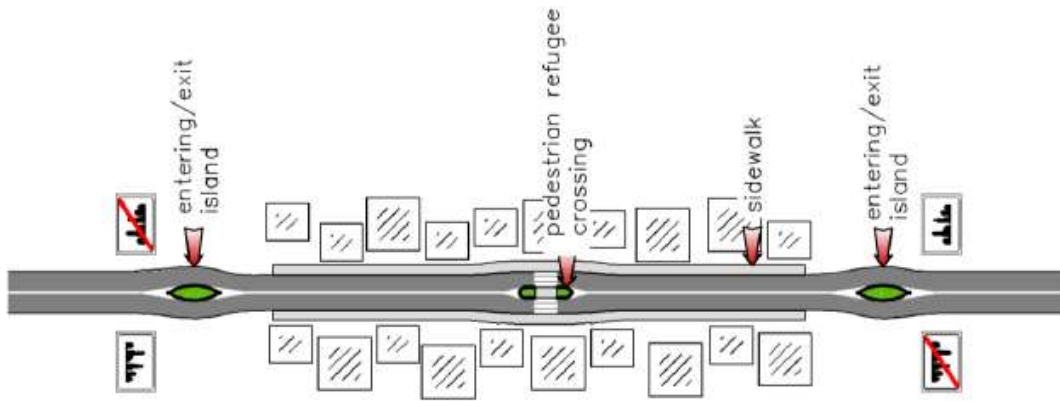
*Proper installation of chevrons in curves*

It is also recommended to install chevron signs with fluorescent base.



### 3.2.7 Built-up Area Gates and Speed Management

Considering that the speed limit outside of settlements is more than 50 km/h (i.e. 80 km/h) and in settlements 50 km/h, it is necessary for the infrastructure to be adapted so that the drivers are forced to reduce the speed when entering in the settlement. The following figure shows one of the possible solutions to the problem.



*Adapted infrastructure (gates) for entry into the settlement*

The need to change the driving behaviour when entering built-up areas should be emphasized by some infrastructure elements to indicate very clearly that driving conditions are changed. The typical signs, according to the current traffic code, are not enough according to the RSI Team. The recommendation of RSI Team is to have median islands (as gates) at all built-up areas' limits.

At the entrance of built-up areas, an island accompanied with the relevant signage creates a 'threshold' effect to show drivers that they are 'entering' an urban area and that there is a change in road type and its function, which requires lower speeds, attention to vulnerable road users (pedestrians, etc.) and unanticipated movements.



*Example - entering/exiting island to/from built-up areas*



*Good example with additional signage for "gate" in Austria*

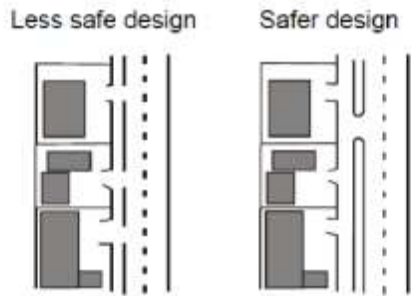
The gates should where relevant and at least at schools and bus stops be supplemented with speed management schemes.

### 3.2.8 Access control

One of the big problems seen on most of the inspected roads are many and often unregulated accesses. It is recommended to regulate accesses e.g. by:

- Close illegal accesses if it is possible,
- Connect more neighbouring accesses with a service road, if it is possible. The service road should be directed to the main road with deceleration and acceleration lanes, or

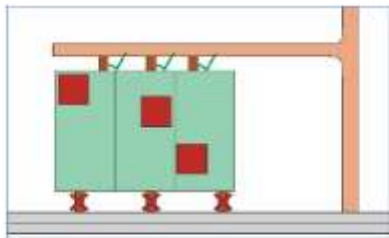
- Do designs and improvements of regular individual accesses, in case it is possible.



*A high number of accesses gives higher risk of crashes*

As a recommendation for solving the problem of access control at the inspected section, the following solutions are recommended:

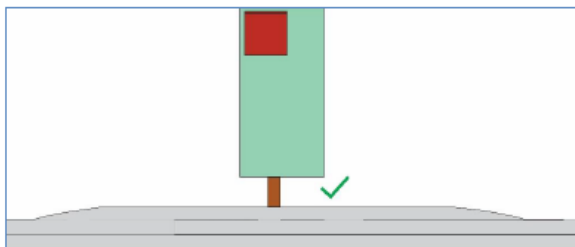
- Solution 1. Reconsider closing accesses on the road and redirecting them to an existing service (collecting) road and connect them to the main road (or to secondary road first and then to the main road) with a road junction. This solution is ideal if feasible. Thus, a feasibility study is primarily required.



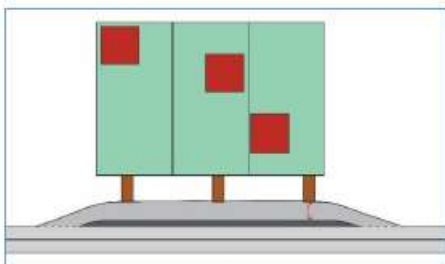
Solution 1 - Close accesses and redirect vehicles to regular intersection



- Solution 2. Rearrange and improve regulation of the accesses, constructing acceleration and deceleration lanes in order to ensure safe entering and exiting to the road. This is feasible only when the relevant property has the available 'face' on the main road.

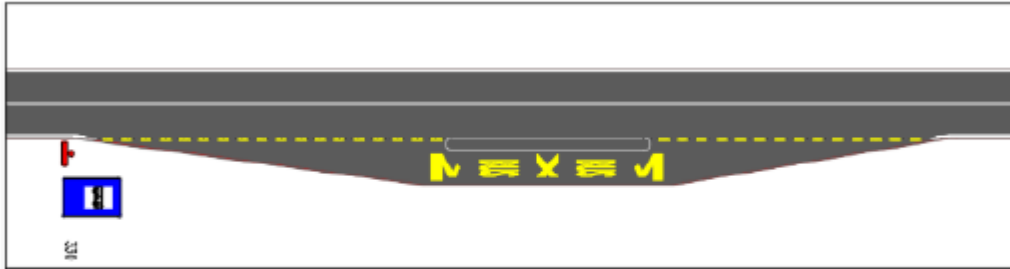


- Solution 3. Merge and/or construct a traffic island to allow entrance and exit to the road at controlled places. Available width from carriageway to the nearest property should be at least 4 m. This is the best solution when the Road Authority has the right-of-way for the available roadside area.



### 3.2.9 Bus stops

It is recommended that bus stops (especially outside settlements) should incorporate an island separating (forcing) the stopped bus from through traffic, bus stop sign at the bus stop and at some meters ahead (according to speed limit) for informing drivers following a bus that should expect its speed decrease, lighting, etc.



*Example of safe bus stop – should be provided with safe facilities for crossing pedestrians*

### 3.3 Preparation of 3-year plan for RSI - approach

A 3-year plan for road safety inspection of the SEETO Core and Comprehensive Road Network is to be prepared. This way, until 2021 the total SEETO Core and Comprehensive Road Network will have been inspected according to the SEETO manual for Road Safety Inspections, which is in line with the EC 2008/96 Directive.

The Plan is as follows:

The road network under consideration should be surveyed according to the iRAP methodology to classify the road sections under one of the five risk rating categories. This procedure could be completed by the end of 2018.

The traditional road safety inspection using SEETO's road safety inspection guidelines should be performed as follows:

The 1<sup>st</sup> year for all 1-star road sections

The 2<sup>nd</sup> year for all 2- and 3-star road sections

The 3<sup>rd</sup> year for all 4- and 5-star road sections

With this approach we managed to cost estimate whole core and comprehensive SEETO network RSI needs.

With this estimation RP's can prepare plans for undertaking inspections in next 3 years.

## 4. CONCLUSION AND DISCUSSION

Continuous and persistent work on Road Safety improvement combined with periodic Road Safety Inspection and Road Safety Audit activities is useful measure in order to try to decrease of car accident number as well as in order to reduce of the injury severity. During a carried out Road Safety Inspections there were noticed many common or similar shortcomings on WB6 road networks.

Taking into consideration that almost each of the WB6 has adopted appropriate EN norms it can be noted that EN norms implementation process is not carried out completely.

On the other hand during discussions with local designers it was very often situation that they know very well what is a better technical solution but they are often limited by project available budgets. It is not rare case applying of cheaper technical solution even in a construction phase.

Road Safety improvement is asking for systematically investment in Road Safety measures (at least investment in low cost and medium cost measures) and constant checking of the applied measure effectiveness.

Multi-year plans are practical solution in aim to adequately plan RSI activities and timely prepare budgets for their implementation.



# CRASH CUSHIONS AND END TERMINALS: SPECIFIC DEVICES TO SAVE LIVES

**Roberto Impero**

<sup>1</sup> CEO of Industry A.M.S. and Sales Manager of SMA Road Safety

**Abstract:** *The argument of this presentation will concern the problems and the solutions designed to protect the car drivers in case of collision against hazards in different situation. It is proposed a “problem - solution” approach which can clarify any possible usage of vehicle restraint systems according to the shape and the size of the obstacle to be protected.*

*The aim of such presentation is to sensitize road authorities and designers to the use of devices which are really able to save lives even if the use of those devices is not required by Local Norms.*

**Keywords:** *Road Safety, Vehicle Restraint Systems, Road Deaths, Hazards, Protection of obstacles.*

## 1. INTRODUCTION

According to the ACEA, in 2015 the circulating vehicles on the European roads were 291 million. In the same year the road accidents were about 1,09 million with 1,45 million injured passengers and 26 thousand deaths.

According to the European Commission statistics (2015), 45% of road accidents are caused by vehicles running off the road. The consequence of such accidents is that 3 on 10 passengers involved in accidents die.

The cause of such deaths, insofar as it has to be found in a car driver's unacceptable behavior, cannot be simply attributed to the drivers. In a lot of cases, in fact, an unprotected road hazard or an inadequate protection of the same is actually the cause of death of different thousands of passengers which could have been avoided with a suitable vehicle restraint system.

The use of suitable restraint systems along with other safety devices helps to reduce the road fatalities of at least the 20%.

In this paper I will show different cases of obstacles and the suitable devices to protect them from frontal and lateral impacts, avoiding any possible heavy injury for the vehicle passenger.

## 2. THE PREVENTION OF ROAD HAZARDS

As I usually explain to the attendants during my conferences, the Mission of Road Passive Safety is *avoid that a mistake in driving can end with a Fatality.*

The black spots on the global roads are still too much to be indifferent to such a serious problem.

The serious accidents can be avoided only with the implementation of specific technical solutions, which usually require a desk study to prevent any possible risk of error.

In the meantime, new products for the protection of the hazards have been developed and others will be designed in the next years according to the new requirements of the European Standard.

The best approach for the improvement of road safety starts by the analysis of the hazards, the road where it is located, and by some considerations related to the best way to avoid passengers serious injuries or fatalities without determining relevant changes.

As representative of a designing and manufacturing Company of road restraint systems, I can introduce our approach to find the best solution for the protection of fixed obstacles located beside the carriageway.

### 2.1. The analysis of the hazard.

The possible procedures to prevent any possible impact against a rigid fixed obstacle are:

- Removal of the Obstacle;
- Shield the obstacle.

A road restraint system designer intervenes when the obstacle removal is not possible.

Road restraint systems have the important task of adequately covering the obstacle from any possible risk of impact against it and avoiding injuries for the vehicle passengers in case of impact.



For this reason, they are conceived starting by the consideration of the following features.

Related to the obstacles to be protected we must consider:

- shape;
- width;
- height,
- materials.

Related to the road we must consider:

- road configuration;
- speed limit;
- traffic directions;
- ground conditions.

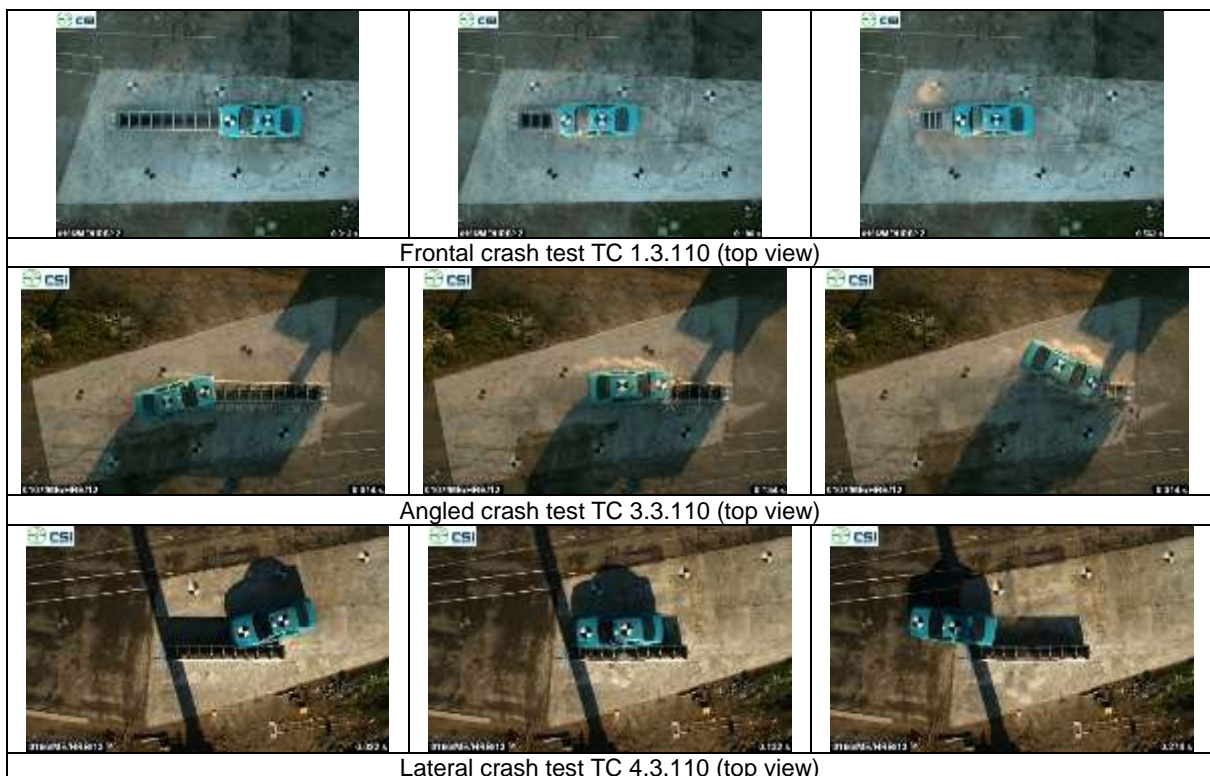
Road restraint system field comprise a wide range of products, such as:

- concrete barriers;
- metal barriers;
- wire ropes;
- crash cushions;
- energy absorbing (EA) end terminals;
- truck mounted attenuators.

In my paper I will only examine in detail the crash cushions and the end terminals, which are barriers able to absorb frontal, angled, and lateral vehicle impacts.

## 2.2. Crash Cushion and End Terminal features.

Crash Cushions and EA End Terminals are designed to be installed in front of an obstacle and to absorb the kinetic energy of an impacting vehicle in different approaches.



**Figure 1.** *Examples of crash tests performed on the crash cushions according to EN 1317*

Crash Cushions have different shapes and widths in order to be suitable to the fixed obstacle. In case of unprotected obstacles any possible impact can cause serious injuries like paralysis or even the death of the vehicle passenger, as Figure 2 shows.



**Figure 2.** *Examples of crashes against unprotected obstacles*

Some elements like the roadside barriers present some sharp terminal elements which can shear off the car when frontally impacted, therefore they inevitably need the installation of protection elements like the energy absorbing (EA) end terminal.

Crash Cushions and End Terminals must perform a set of crash tests to demonstrate their behavior in case of impact according to the criteria explained in the standard in force in the specific country where they must be installed.

In the Figure 1 it is illustrated the behavior of the crash cushion during the energy absorption process in frontal, angled, and lateral impacts.

In case of frontal and angled impacts, the car velocity is gradually reduced by means of telescopic elements that slide back along a rail fixed to the ground. On the other hand, in case of lateral approach the system is able to contain the vehicle impact and redirect it on the carriageway. The performance of the lateral crash test permits to classify the crash cushion as “redirective”.

Most of the countries in the European continent adopt the criteria established by the European Standard EN 1317.

In accordance to the European Standard, the product to be tested must demonstrate its performance in the energy absorption process by means of specific evaluation criteria. The crash test results must be within a specific range that indicates if the product is safe for the passenger or not (for further details please refer to EN 1317:2010).

The EN Standard establishes specific performance classes for crash cushions and end terminals, and defines the test criteria according to test impact velocity, vehicle weight, and test approach.

The whole crash test matrix is defined according to 4 speed classes (50, 80, 100, and 110 km/h) with 3 types of vehicles (900, 1300, and 1500 kg) and with 6 different approaches for the crash cushion and 6 for the energy absorbing end terminal.

### 2.3 Selection of the most suitable solution for the protection of the obstacle.

#### 2.3.1 Shape and width of the obstacle

Different problems require different solutions. In the Figure 3 below are shown some examples of fixed obstacles which needed a specific solution to protect them against vehicle crashes.



			
Asymmetrical gore	Crash Cushion for asymmetrical gores	Roadside steel barrier	EA End Terminals
			
Work zones barrier	Crash cushion for work zones	Pole	Crash Cushion for pole protection
			
Trees	Crash Cushion for trees	Toll plazas	Crash Cushion for toll plazas

**Figure 3.** A problem-solution approach with some examples of obstacles with their protections.

As you can see, the different shape and width of the obstacle, as well as the road configuration, make understandable the need of very specific restraint systems suitable to cover the obstacle. Each one of these solutions permits to avoid serious injuries for the passengers.

With specific reference to crash cushions, there are various type of installations. Normally crash cushions are anchored to the ground and precisely on concrete basement or asphalt. Those types are defined "Permanent Crash cushions".

On the market are also available temporary solutions which can be installed in front of movable element, for instance, in the work zones. Those types of barriers are defined "Temporary" because are not anchored to the ground (Please refer to the crash cushion for work zones picture above)

Some solutions have been also thought to work in case of frontal impacts from both traffic directions, e.g. for the protection of trees and poles.

Dangerous obstacles, such as the toll gate elements, are often regrettably ignored, although there are crash cushions specifically designed for the protection of these black spots.



### 2.3.2 System dimensions in reduced space.

Along with the obstacle shape, it must be considered the space available in front of the hazard to permit the installation of the unit.

The space is an important issue to be faced especially in case of installations on already operating roadways, which have been designed according to the safety rules in force at the time of construction.

Crash Cushions and EA End Terminals with reduced sizes have been designed for this kind of roads and for tunnel gores where the space is really short.

The benefit of compact Crash Cushions also derives from the brake space that the car can exploit to reduce the violence of the impact and even to avoid the impact, as happened in some cases.

Such argument has been fully explained by Professor Luigi Grassia in an article published on the Italian magazine *Strade e Autostrade*, issue of March 2013, pages 120-122.

Starting from an accurate probability calculation, Grassia explains how the probability to get an impact against the Crash Cushions is actually reduced when the length of the absorption system has been shortened from 5 to 3 meters.

**For this reason we can assume that for crash cushions “Shorter means Safer”**

### 2.3.3 Ground conditions

Considering the several conditions a road pavement can have, the traffic safety systems designers have developed products which can easily be installed on different types of ground.

The anchoring on the ground can be performed according to its own conditions if some minimal requirements are respected, such as hardness, size, thickness...

The crash tests are also used to demonstrate the reliability of the installation procedure. The manufacturers of crash barriers can also decide to test the same product with different installation procedures, for example to demonstrate the device performance when it is anchored on asphalt.

Crash cushions are usually installed on an armored concrete basement.

If the ground conditions allow it, it is possible to install the crash cushion on asphalt by means of chemical anchors.

End terminals are usually installed by means of rammed posts, aligned with the longitudinal barrier at the margin of the carriageway.

Ramming the post is not always possible since it depends on the soil stratification which can easily consist of different types of rock and terrain. In this case a different installation procedure, already used for the crash cushions, can be also carried out for the some particular end terminals.

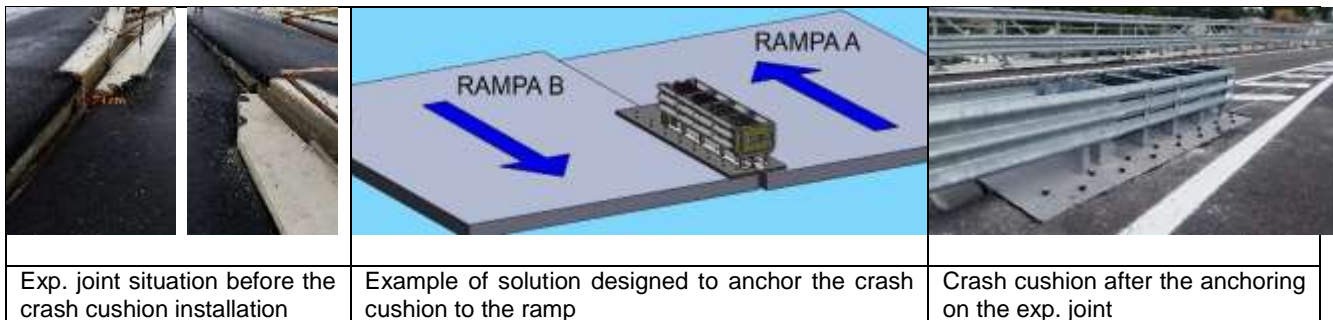
In this way, it is possible to install the end terminal on concrete by means of an armored concrete plinth and on asphalt through chemical anchors.

Special installations are possible in particular places where the road presents an expansion joint. The pictures in Figure 4 illustrate the situation before and after the crash cushion installation between two ramps.

To permit the anchoring to the ground it has been used a special coated steel plate with the holes on one side, then the crash cushion has been screwed to such plate.

The plate was fixed only on the B side of the ramp (RAMPA B in the Figure), in order to allow the joint to expand, by means of chemical anchors and special bolts.

Finally, the system has been fixed to the obstacle through a connection piece to the steel barrier.



**Figure 4.** Installation of a Crash Cushion on the expansion joint

removed

### 2.3.4 Connection to the obstacle.

The connection of the end terminal to the longitudinal barrier is mandatory according to the Norm, in fact, the end terminal cannot be installed without such connection. A crash test is also performed to evaluate the reliability of the connection element (according to prEN 1317 Part 7, Test TT 6.3.110)

The crash cushion works as stand-alone system once it is anchored to the soil.

Nonetheless the system connection to the obstacle is warmly recommended.

The connection can be carried out through a steel element specifically designed and manufactured to be adapted to the fixed obstacle (guardrail, concrete barrier, new jersey)

### 2.3.5 Product materials.

Frontal barriers such as Crash Cushions or End Terminals are made of plastic and/or metal.

Although plastic crash cushions have been used for a long time to protect the road users, their structure becomes dangerous for different reasons:

- plastic elements are flammable, so they cannot be used in the tunnels where the risk of fire accident is higher;
- a plastic structure can be deformed at high temperatures or become more rigid at low temperatures entailing possible modifications to the device performance;
- during the accident the plastic structure is fragmented in many components which are diffused in the air at higher speed and can cause damages to the other drivers;
- damaged plastic structures require a proper cost for the disposal.

Metal crash cushion are made with steel or aluminum.

Compared with plastic products, the metal crash cushions are more reliable since they are not flammable, can resist both to high and low temperatures and don't release debris during the impact.

Moreover, the metal components can be recycled after their use.

The energy absorbing components can consist of plastic boxes, which in turn are filled with air or with special foam to absorb the vehicle kinetic energy. In the cutting edge models the crash cushion absorbing elements are made of metal components, which work by controlled mechanical deformation of the structure.

End terminals are usually made of metal, a plastic end terminal is very rare, even if some devices can present a plastic element in the front part.

End terminals usually work by shearing of the eyelets or by extrusion of the elements. On the other hand, some end terminals have recently been designed to absorb the impact by means of a totally made of steel collapsible structure. This systems avoids any unpredictable behavior which can often occur during the energy absorption process due to the physical composition of the steel.

### 2.3.6 Performance and robustness.

Crash cushions and end terminals performance are guaranteed by the results of the experimental crash tests. A matrix indicates the mandatory crash tests according to the speed class of the evaluated model (for further details, please refer to: EN 1317-3:2010, par. 5.3, Prospect 1; and to: prEN1317-7, par. 5, Table 1).

The document released by the notified body certifies the device performance according to the Standard in force (e.g. EN 1317) and allows the installation of the system on the roads.

According to this Standard, the most severe crash test for crash cushions and end terminals is performed at 110 km/h with a vehicle with mass of 1500 kg. In this case, the tested device must be able to absorb a kinetic energy of 700,23 kJ.

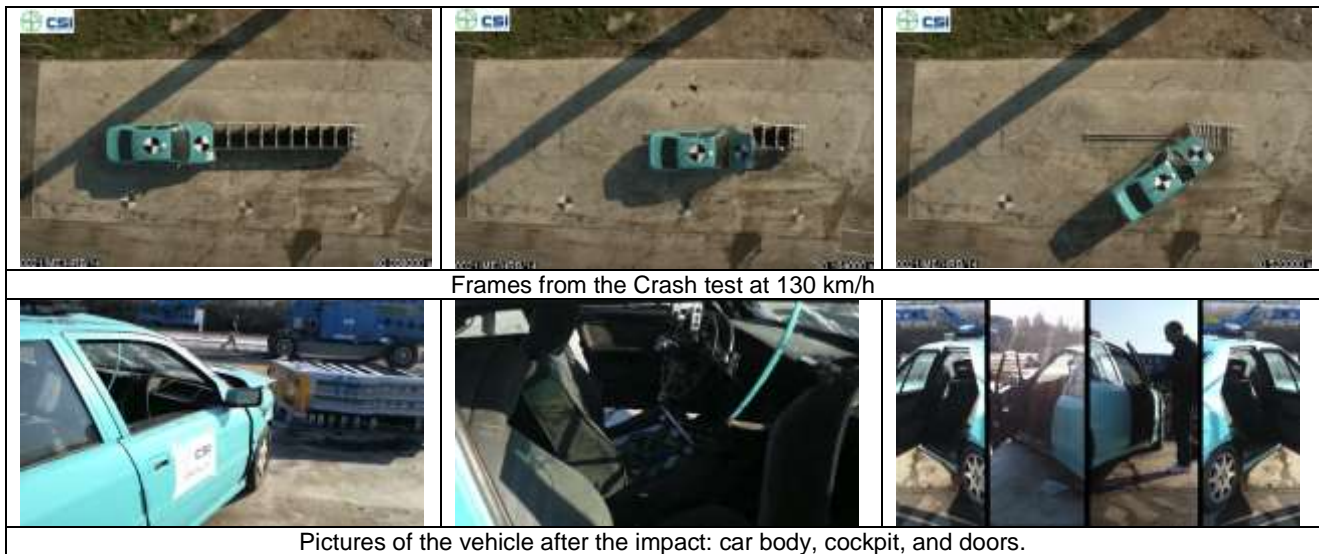
Considering that in the most part of the European motorways the vehicles can drive up to 130 km/h, and that in case of impact at 130 km/h the kinetic energy to be absorbed is equal to 862 kJ, it results evident that this Standard presents a significant lack.

To remedy this problem, the R&D Dept. of SMA Road Safety has designed a crash cushion compliant with EN 1317 for the class 110 km/h able to perform and successfully pass a frontal crash test at 130 km/h.

At the current stage, the SMA Crash Cushion is the only device tested at 130 km/h.

The device has successfully passed the crash test, as also shows the crash test video available on the Company website (visit: [www.smaroadsafety.com](http://www.smaroadsafety.com)).

The Figure 5 below shows some frames extracted from the video of the crash test.



**Figure 5.** Pictures of the vehicle during and after the crash test at 130 km/h.

Along with the vehicle speed problem, another issue has been faced by SMA in the development of safer crash cushions and end terminals.

Considering the increasingly use of heavier vehicles, such as the SUV models, a new gap has been filled by performing additional crash tests on the European certified model against the American NCHRP 350 Standard. The NCHRP Standard provides for the performance of the most severe crash tests at 100 km/h with a pickup of 2000 kg mass. This vehicle presents a center of balance significantly displaced forwards respect to the lighter vehicle with 1500 kg mass. These two elements, the mass and the center of balance, significantly change the conditions to absorb the vehicle kinetic energy and therefore to assure the safety of the occupants.

Nonetheless, the Crash Cushion has successfully passed the whole crash tests matrix according to the NCHRP 350 Standard.

Furthermore, the frontal crash test TL 3.31 according to the NCHRP 350 Standard (test at 100 km/h with the pickup of 2000 kg) has been performed with an Anthropomorphic Test Device (ATD) onboard, used for calculating the biomechanical parameters according to the EuroNCAP criteria.

Thanks to these criteria, it has been possible to know the possible passenger injuries for the chest, the neck, and the head (as shown in Figure 6).

The calculation of the crash test performance on vehicle restraint systems according to EuroNCAP remains the best way to have a clear overview of the vehicle passenger state of health after the impact, which is the final result we need to achieve.

## 2.4 Reliability of the system.

Beside being compliant with approved international standards, the absorbing system must be able to demonstrate its robustness in case of accident on a motorway.

According to Eng. Genichi Taguchi, the robustness of a product consists in the preservation of the device performance regardless of influent and uncontrolled disturbing effects.

A vehicle restraint system is able to demonstrate its robustness when its behavior is flawless in the same way the experimental tests have demonstrated.

The road and vehicle conditions in a test lab are usually different from the real condition on a motorway: the ground can consist of a different stratification, and the car can have a different mass and center of gravity.



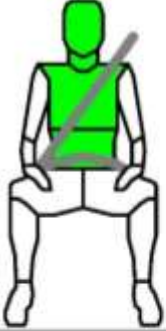
HRB087 Laboratory Test Report		crash cushion test		CSI	
Contract / Test Ref. No. 2015-11-18		Type of Test crash cushion test		Registration Euro NCAP 2015	
<b>Criterion</b>	<b>Passenger SP 3 (H3)</b>				
<b>Head &amp; Neck</b>	4.000 ★				
<b>Head</b>					
HIC 15	37.94				
Acceleration Resultant	28.42 g	4.000	★		
3ms cumulative	26.80 g				
<b>Neck</b>					
Shear Force Fx+	0.00 kN	4.000	★		
Shear Force Fx-	-0.42 kN	4.000	★		
Tensile Force Fz+	0.48 kN	4.000	★		
Extension My-	-12.41 Nm	4.000	★		
<b>Chest</b>	4.000 ★				
Deflection	-16.29 mm	4.000 <sup>1)</sup>	★		
VC max	0.09 m/s	4.000 <sup>1)</sup>	★		
Diagonal belt upper force					
<b>Knee, Femur &amp; Pelvis</b>					
<b>Left</b>					
Femur Force Fz-					
Knee Slider Displacement					
<b>Right</b>					
Femur Force Fz-					
Knee Slider Displacement					
<b>Tibia</b>					
<b>Left</b>					
Compression Upper Fz-					
Compression Lower Fz-					
Tibia Index Upper					
Tibia Index Lower					
<b>Right</b>					
Compression Upper Fz-					
Compression Lower Fz-					
Tibia Index Upper					
Tibia Index Lower					
<b>Sum</b>	(8.000)				
1) based on 2-point cal. chest deflection					
<b>Rating without modifiers</b>					
<b>Points</b>					
★ 4.000					
★ 2.670 - 3.999					
★ 1.330 - 2.669					
★ 0.001 - 1.329					
★ 0.000					
Vehicle 1	<b>Results Occupants</b>			Laboratory: CSI S.p.A.	
Driver Left	Front			Contact: Andrea Marzetti	
	Vehicle 1			Customer: AMS	
				4/36	

Figure 6. Results of the crash test performed according to the EuroNCAP criteria

To ensure its reliability in a real impact on the road, the project of a device must be robust, i.e. its structure has to be designed not with the aim to pass the crash test matrix at the minimal level required, but to avoid any possible loss of performance in case of more severe impacts.

SMA Road Safety has also designed a helpful instrument to have a wider overview of the crash cushion/end terminal behavior by the use of a specific monitoring system.

This device is named Geronimo and consists of a 24 hours operating HD camera connected to the monitored device by means of a piezo-electric sensor. The video is recorded by the camera in case of impact against the crash cushion/end terminal, and it is collected in a black box, while an alert is simultaneously sent to the police or to the Traffic Control Dept.

The video of the accident can be used for the analysis of the crash cushion behavior during the impact.

Further information on the vehicle speed and the impact dynamics can be obtained by means of a post-processing evaluation.

### 3. CONCLUSION

Returning to our first claim, the most important purpose for a road safety manager is avoid that a mistake in driving can end with a fatality.

The above explained instructions are meant to guide the selection of the safest crash cushion or end terminal according to specific needs.

To summarize, some important points have to be marked:

- The use of crash cushions and EA end terminals is mandatory for the protection of fixed obstacles from frontal, angled and lateral impacts.
- The road managers and designers are responsible in the selection of the most suitable product to protect the fixed obstacles, after a careful analysis of the road conditions and – when possible – cooperating with the barrier manufacturer.
- The barriers manufacturers have the responsibility to supply a product which is not simply compliant with the standard in force, but which presents proven characteristics of high robustness and performance.
- Along with the testimonies of the victims of accidents against the fixed obstacles, the best criterion to demonstrate the high reliability of the system is the execution of additional crash tests calculated with criteria able to demonstrate the passenger state of health after the impact, such as the EuroNCAP.

The commitment to avoid fatalities or serious injuries for the drivers is a responsibility shared by the road designers, the traffic managers and the traffic safety designers.

Safer roads cannot be achieved without a strong cooperation between these involved figures.

Therefore a real step change to safer roads can only start from these two important aspects: awareness and cooperation.

The first is necessary to become conscious of the evident hazards on the roads.

The second permits to find the best solution for its protection as a consequence of a joint effort among the involved individuals.

### References

- For **JOURNALS**:

- [1] Grassia, L.; 2013. Un attenuatore d'urto più corto è più economico e più sicuro, *Strade e Autostrade* 03(13): 120–122.

- For **PROCEEDINGS**:

- [2] Giavotto, V.; 2018. Sulla robustezza del progetto delle barriere, *AIPCR Road Safety Techno Park 2017, Atti del Convegno*, 27-33.

## UTICAJ KARAKTERISTIKA PUTA I OKRUŽENJA NA EMOCIJE VOZAČA

Marjana Čubranić-Dobrodolac<sup>1</sup>, Svetlana Čičević<sup>2</sup>, Aleksandar Trifunović<sup>3</sup>, Ivana Stokić<sup>4</sup>, Anđela Josić<sup>5</sup>

**Rezime:** Opažanje karakteristika puta i njegovog okruženja utiče na trenutno raspoloženje vozača, tj. na njegovo emocionalno stanje. U istraživanju realizovanom na uzorku koji se sastojao od 51 ispitanika, korišćen je upitnik koji se sastoji od fotografija sa različitim scenarijima saobraćajnog okruženja. Ispitanici su se izjasnjavali dajući odgovore na devetostepenoj kakav osećaj u njima izaziva prikazana saobraćajna situacija (podeljeno na segmente: Valenca, Uzbudenost i Dominantnost). U radu će biti analizirane tipične emocije koje dominiraju kod ispitanika u odnosu na prezentovan eksperimentalni sadržaj.

**Cljučne reči:** Emocije, percepcija, karakteristike puta, okruženje puta

## THE INFLUENCE OF THE ROAD AND ENVIRONMENT CHARACTERISTICS ON THE DRIVER'S EMOTIONS

Mirjana Čubranić-Dobrodolac<sup>1</sup>, Svetlana Čičević<sup>2</sup>, Aleksandar Trifunović<sup>3</sup>, Ivana Stokić<sup>4</sup>, Anđela Josić<sup>5</sup>

**Abstract:** Perception of characteristics of road and its environment affects the driver's current mood or his emotional state. In research conducted of 51 respondents is used questionnaire which consisting of photos with a different scenarios of traffic environment. The respondents answered by giving answers to the nine-stage feelings caused by the presented traffic situation (divided into segments: Valenca, Activation and Control). In this work will be analyzed typical emotions which dominate to the respondents in relation to presentive experimental content.

**Keywords:** Emotions, perception, characteristics of road, environment of road

### 1. UVOD

Učestvovanje u saobraćaju zahteva od vozača sposobnosti, znanje, veštine i bezbedno ponašanje. Navedeni elementi zavise od saobraćajne kulture, motivisanosti za vožnju i drugih faktora. Nedostatak nekog od ovih elemenata može dovesti do nastanka greške, koja za posledicu može imati pojavu saobraćajne nezgode. Postoji velika zabluda da su samo greške ili ponašanja vozača uzrok saobraćajnih nezgoda. Međutim, neki od rezultata istraživačkih projekata o uzrocima saobraćajnih nezgoda pokazuju da u svakoj trećoj saobraćajnoj nezgodi okruženje puta ima značajan uticaj. Faktori put i okruženje su značajni jer utiču na aktivnu i pasivnu bezbednost saobraćaja. Ovi faktori trebalo bi da je što moguće više umanje posledice grešaka vozača koje su nesporne. Kada se govori o dominantnim karakteristikama vozača, mnoga istraživanja su pokazala jaku povezanost između percepcije rizika i uključenosti u nezgode (Lipovac, 2008.). Istraživanje prikazano u ovom radu povezuje percepciju rizika vozača prema faktoru put i okoline puta. Pored puta se često nalaze različite prepreke koje utiču na pasivnu bezbednost saobraćaja. Sve naučne analize ukazuju da putevi mnogo više doprinose nastanku saobraćajne nezgode nego što je prikazano u statistikama. Po svojim prostornim, investicionim i drugim zahtevima i negativnim uticajima na okruženje i životnu sredinu, drumski saobraćaj i putna mreža moraju se usklađivati s potrebama uravnoteženog održivog razvoja i očuvanja životne sredine. Iz navedenih razloga sprovedeno je anketno istraživanje u kojem su ispitanici imali zadatak da ocene, sa aspekta bezbednosti saobraćaja, fotografije na kojima su prikazani različiti izgledi okoline puta.

Podaci o saobraćajnim nezgodama u nerazvijenim zemljama (Nigerija, Južnoafrička republika, Angola) ukazuju da se uticaj faktora puta zanemaruje i ne prikazuje realno, odnosno ne prepoznaje se put kao uzrok nezgode. Sa druge strane, u Srbiji je faktor puta uzrok u 3% nezgoda, a u razvijenim zemljama koje upravljaju bezbednošću saobraćaja, kao što je Švedska, put je uzrok u 36% nezgoda (Pešić, et al., 2012).

U nekim istraživačkim radovima dati su primeri saobraćajnih nezgoda čiji je uzrok bio put i okolina puta, a u kojima je bilo smrtno stradalih lica. Ovi radovi ukazuju da podatak iz statistike uzroka saobraćajnih nezgoda i

<sup>1</sup> Asistent, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, marjana@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Redovni profesor, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, s.cicevic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Asistent, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, a.trifunovic@sf.bg.ac.rs

<sup>4</sup> Student, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, ivanicas96@gmail.com

<sup>5</sup> Student, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, andjela.josic996@gmail.com

posledica u Srbiji, nije validan u velikoj meri. Naime, u tim radovima dati su primeri iz sudske prakse gde je kao primarni uzrok nastanka saobraćajne nezgode, prepoznat od strane uviđajne ekipe saobraćajne policije, bio ponašanje vozača (faktor čovek), gde je naknadnim stručnim analizama utvrđeno da je stvarni uzrok nastanka nezgode bilo stanje kolovoza, a ne ponašanje učesnika u saobraćaju, kako je to prevashodno bilo opredeljeno (Vujanić, et al., 2014.).

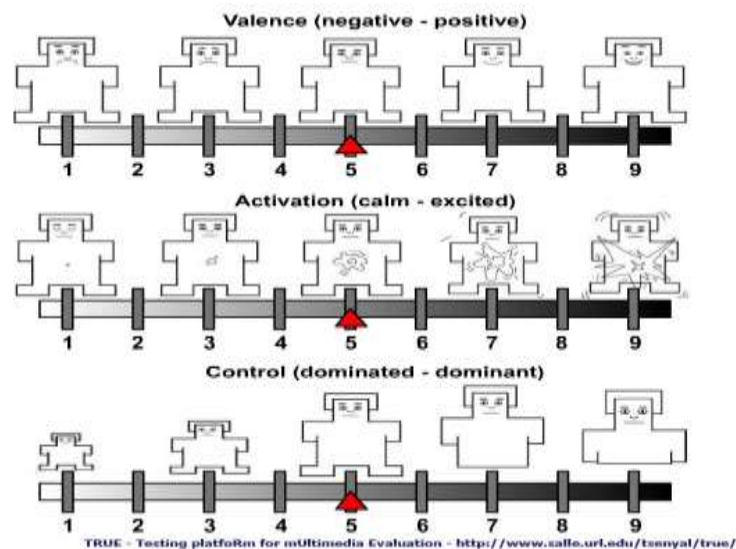
Od najranijih istraživanja bezbednosti na putu, bio je prihvaćen stav da vozači modifikuju svoje ponašanje u skladu sa percipiranim stepenom rizika. Teorije ranijeg datuma sadržale su uverenje da vozači prilagođavaju svoju vožnju održavajući rizik na konstantnom nivou. Brojni eksperimentalni dokazi upućivali su na činjenicu da je veza između vožnje i rizika ipak dosta kompleksnija. Istraživači su se bavili pitanjima koliko dobro vozači uočavaju put i moguće rizike i opasnosti, koji faktori ih navode na to da ustanove da postoji rizik, i pitanjem o vezi između percepcije mogućih rizika i vozačevih osećaja za rizik.

Cilj rada je da se ispita kako i u kojoj meri vozači percipiraju i ocenjuju opasnost oko puta, kakvo emocionalno stanje kod njih prouzrokuju ove fotografije i kako utiču na osećaj dominantnosti u odnosu na okruženje (Trifunović et al. 2016.).

## 2. METODOLOGIJA

Istraživanje je vršeno pomoću ankete koja je napravljena na „Google Drive“ platformi. Anketa je sadržala 36 slika. Na početku ankete ispitanici su imali zadatak da odgovore na osnovna demografska pitanja kao što su pol i godine starosti koja bi bila reper njihovog dosadašnjeg saobraćajnog iskustva. Nakon demografskih pitanja ispitanici su skalom od 1 do 9 (prikazana na Slici 1.) odgovarali kakve emocije kod njih izaziva data saobraćajna situacija. Razmatrana su tri segmenta emocija, a to su valenca, dominantnost i kontrola. Kod valence broj 1 je označavao negativne emocije, dok je broj 9 označio pozitivan stav o datoj situaciji prikazanoj na slici. Zatim, je za istu tu sliku ispitanik imao zadatak da odgovori u kojoj meri oseća uzbuđenost za datu situaciju. Broj 1 predstavljao je smirenost dok je broj 9 opisivao njegovu izrazitu uzbuđenost. Pored emocija i uzbuđenja, treći segment je dominantnost koji je gradacijski predstavljen od podređenog (broj 1) do dominantnog (broj 9).

Slike koje su prikazivane predstavljaju različite lokacije, sa različitim sadržajem i okolinom. Neke od slika pokazuju gradske sredine a neke prirodna okruženja. U skladu sa okruženjem vide se gradske gužve, na nekim slikama sa smanjenom vidljivošću, ometanje drugih učesnika u saobraćaju ispuštanjem izduvnim gasovima. Dok su i kod prirodnog okruženja prikazane različite situacije, poput prijatnih okruženja sa zelenilom koje godi vozačima do devastiranih okruženja sa odronima na putu, sa oštećenim kolovozima, a na nekim slikama sa prisustvom zemljanog puta. Redosled fotografija ide nasumičnim putem, kako se ne bi uticalo na validnost odgovora.

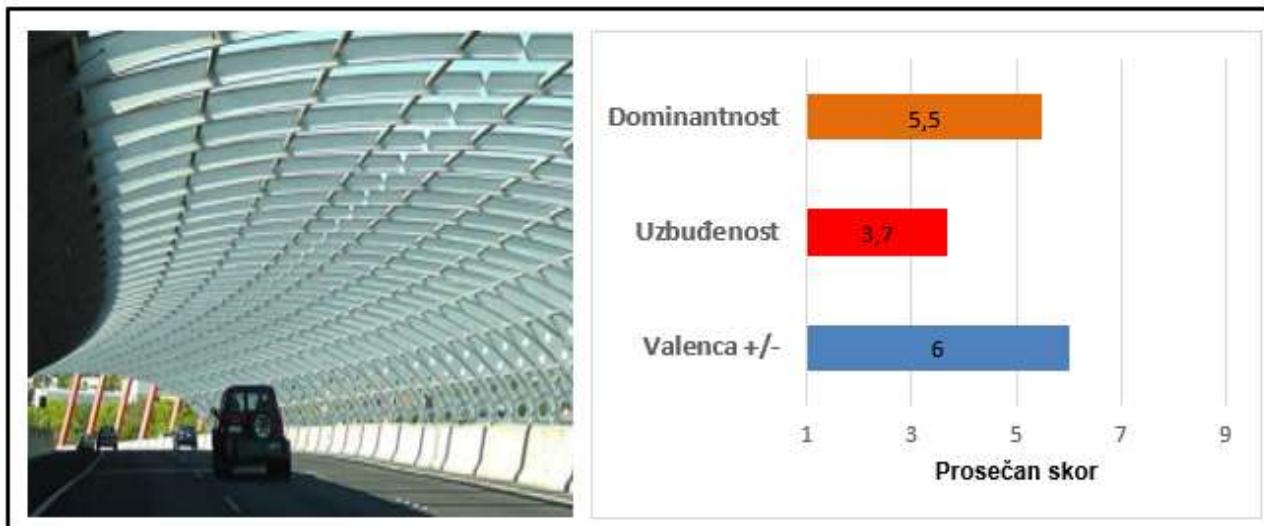


Slika 1. Korišćena skala 1-9

Podaci iz anketnih listova uneseni su u bazu podataka koja je urađena u programskom paketu MS Excel 2016. Na osnovu prosečnih vrednosti ispitanika došlo se do zaključaka u kojoj meri, kako i koje okruženje izaziva osećanja kod ispitanika.

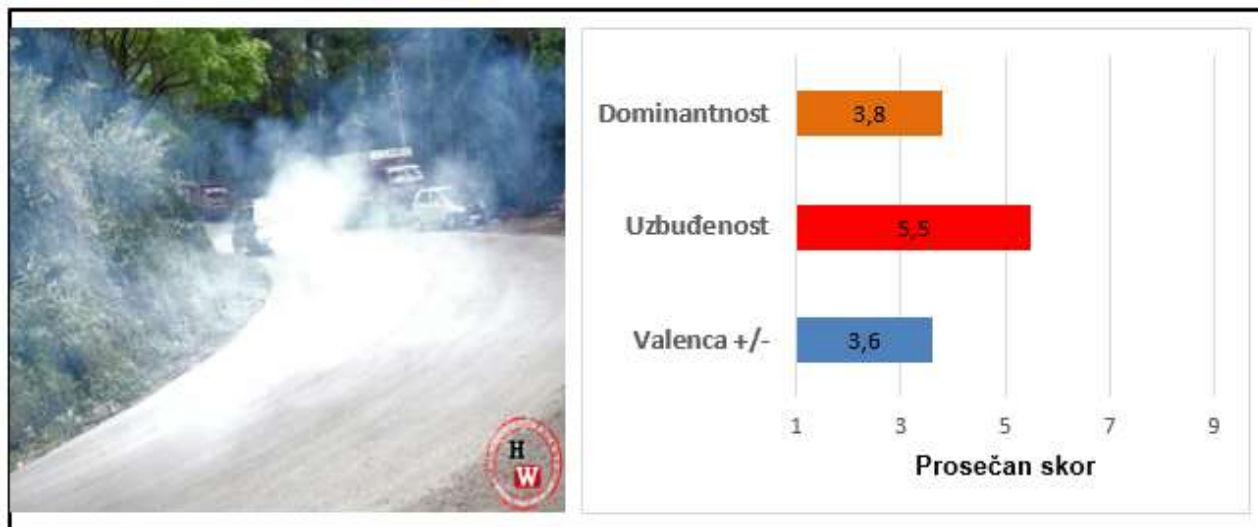
### 3. REZULTATI SA DISKUSIJOM

Fotografija kod većine ispitanika izaziva pozitivne emocije i dominantnost, dok uzbuđenost nije u tolikoj meri izražena (Slika 2). Ispitanicima širok, pregledan i osvetljen put izaziva pozitivne emocije, dominaciju i uživanje u vožnji. Bez obzira na zatvorenost prostora vozači ispitanici smatraju da bi se neometano kretali u ovakvom okruženju.



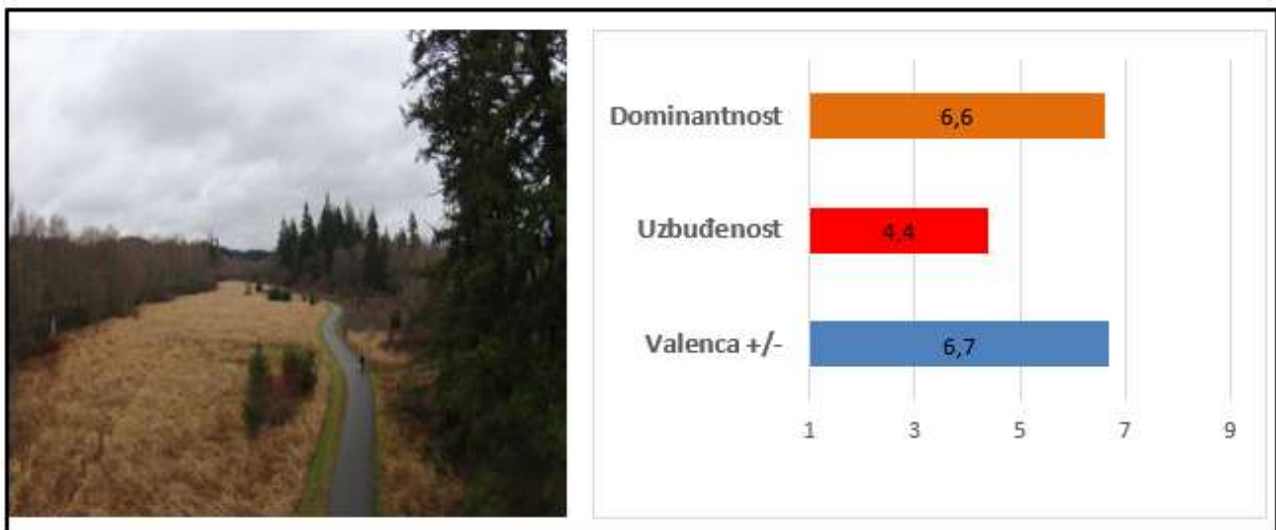
*Slika 2. Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata*

Emocije su izrazito negativne kod ispitanika na datu fotografiju, ali ona uglavnom izaziva uzbuđenje kod istih. U većini odgovaraju da osećaju podređenost, dok je nešto manje izjavilo da oseća apsolutnu dominantnost (Slika 3). Loše emocije, frustriranost, bez mogućnosti da svojim uticajem bilo šta promene kod neispravnih vozila koja ugrožavaju i svoju i ostalih učesnika u saobraćaju.



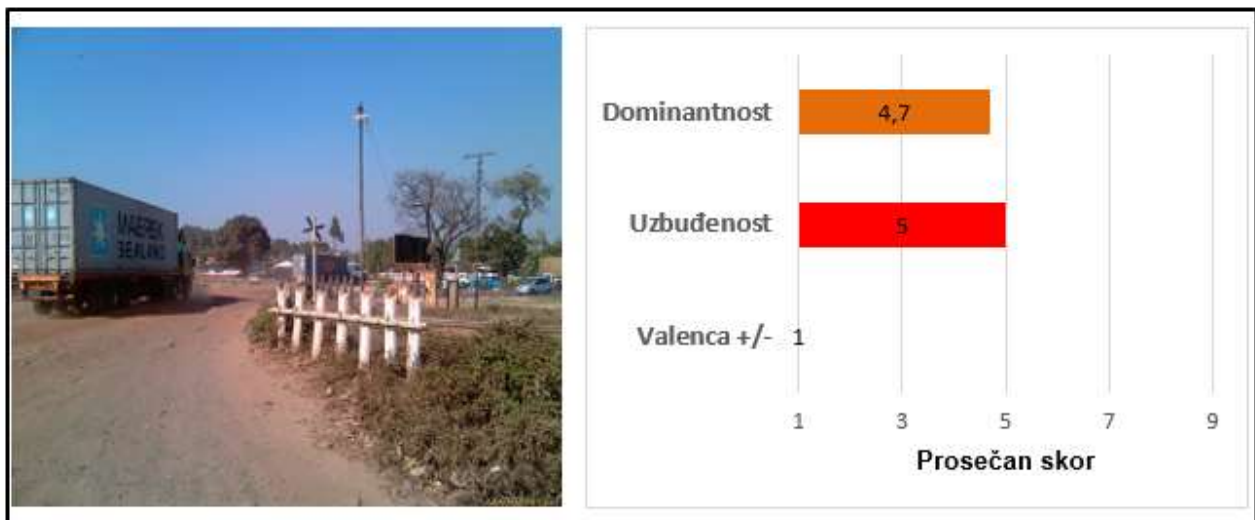
*Slika 3. Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata*

Ispitanici se, gledajući u fotografiju, osećaju lagodno, jer izaziva pozitivne emocije, osećaju se dominantnim (Slika 4). Sve to stvara okruženje i priroda kao ambijent u kom bi vozili.



**Slika 4.** Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata

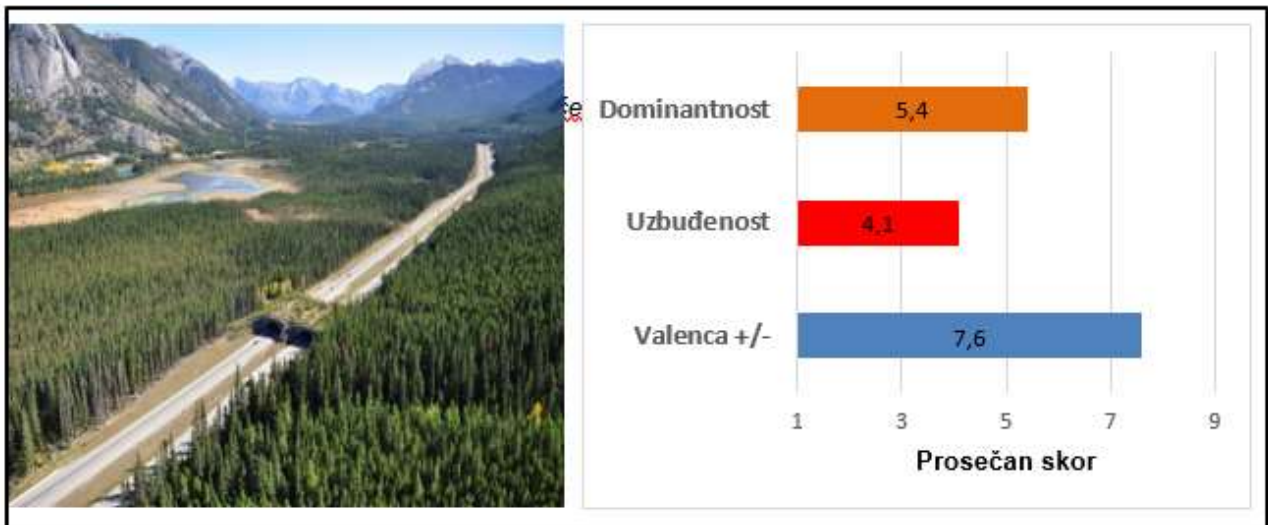
Neuređen put kod ispitanika izaziva izrazito negativne emocije, smatraju da nema mesta dominaciji jer ne izaziva ni osećaj uzbuđenosti ni smirenosti i pritom je većina ravnodušna (Slika 5).



**Slika 5.** Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata

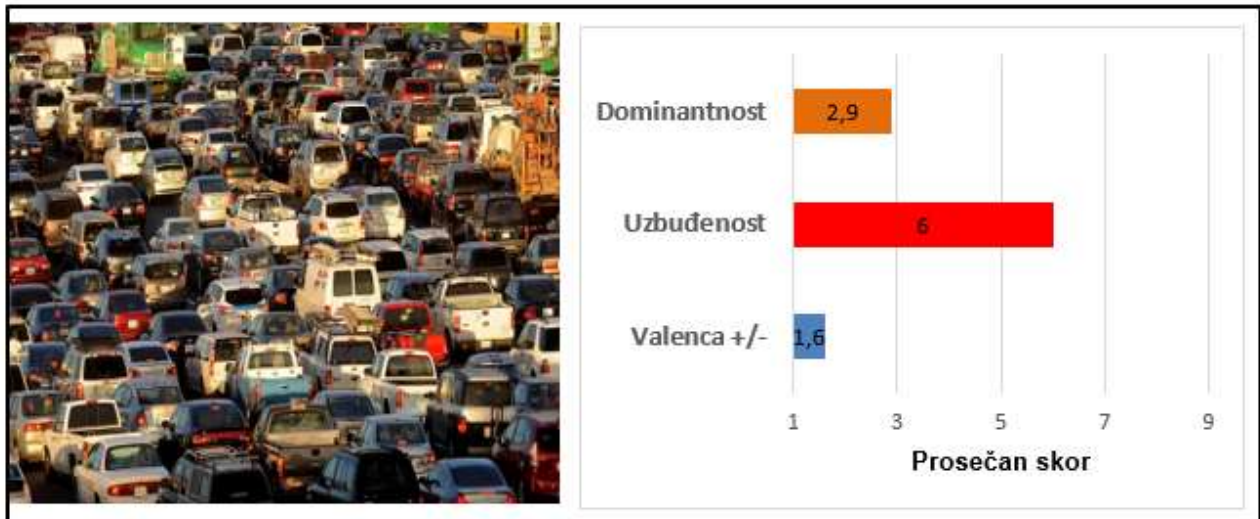


Priroda i okruženje na datoj fotografiji kod ispitanika izazivaju pozitivna osećanja kroz sve tri dimenzije (Slika 6). Ne pokazuju osećaj isfrustriranosti, već lagodnosti kada bi se kretali takvim predelom.



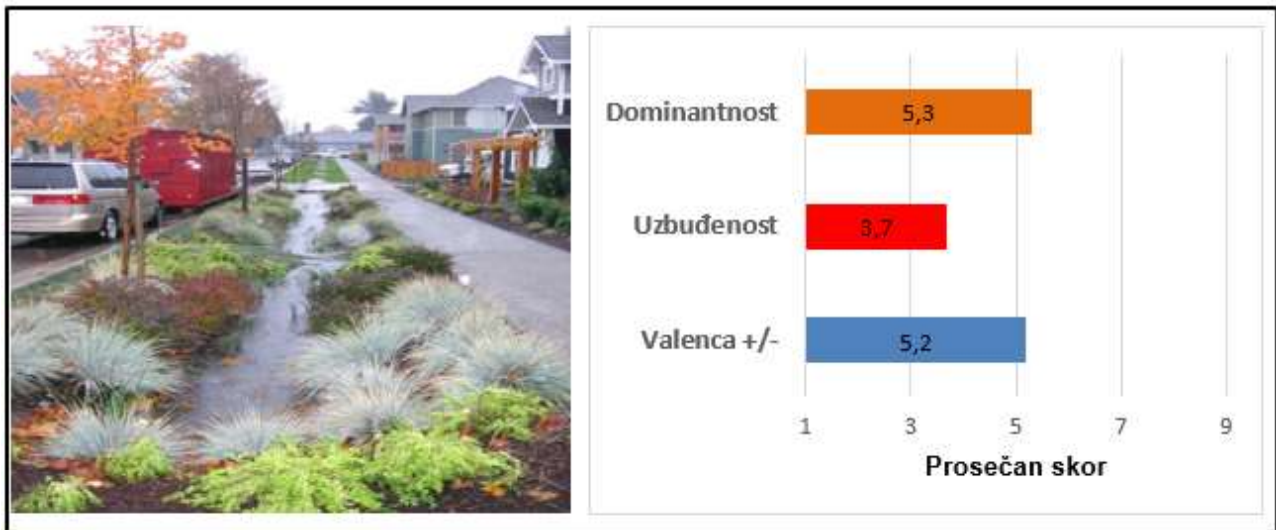
*Slika 6. Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata*

Totalni kolaps na putu izaziva kod ispitanika izrazito negativne emocije. Na grafikonu se vidi da uzbuđenost raste i da se javlja osećaj podređenosti (Slika 7).



*Slika 7. Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata*

Prijatna za oko priroda i okruženje, sa malim protokom vozila, kod ispitanika je izazvala osećaj smirenosti, ali su oni izrazito ravnodušni povodom iste u druge dve dimenzije (Slika 8).



**Slika 8.** Fotografija korišćena u eksperimentu i prikaz rezultata

### 3. ZAKLJUČAK

Za analizu karakteristika puta i okruženja nisu od presudnog značaja pol, zanimanje i starosno doba. Anketu su radili studenti, približno istih godina. Ovim istraživanjem dobili smo podatke da na ispitanike posebno utiče stanje i okruženje puta kojim bi se kretali isti.

Slike na kojima je prikazana priroda kod ispitanika stvaraju pozitivne emocije, osećaj lagodnosti, uživanja i kontrole kretanja tim predelima, izraženo na Slikama: 2, 4, 6 i 8.

Na slikama gde je loše stanje puta, sa odronima, u planinskim predelima, sa zastojem i gužvom u saobraćaju kod ispitanika je izražen osećaj podređenosti, kao i negativne emocije, koje je izraženo na Slikama: 5, i 7.

U budućnosti, istraživanja u ovoj oblasti trebalo bi koncipirati sa ciljem da se ispita kako različiti elementi puteva utiču na percepciju rizika, kako različita okolina puta može uticati na promene u ponašanju svih starosnih grupa vozača i kako je na taj način moguće unaprediti bezbednost saobraćaja na putevima.

### Literatura

- [1] Lipovac, K (2008). Bezbednost saobraćaja, JP Službeni list, Beograd
- [2] Pešić, D., Lipovac, K., Vollpracht, H., Antić, B., (2014). Indikatori bezbednosti saobraćaja koji se odnose na puteve. Prvi srpski kongres o putevima, Beograd.
- [3] Trifunović, A., Čičević, S., Trifunović, S. (2016). Ocene opasnosti okoline puta sa aspekta pasivne bezbednosti saobraćaja. Drugi srpski kongres o putevima, Beograd, 680-687.
- [4] Vujanić, M., Marković, N. (2014). Veštačenje saobraćajnih nezgoda i primena na unapređenje bezbednosti saobraćaja. Prvi srpski kongres o putevima, Beograd.

# ANALIZA MODELA ZA PRORAČUN ZASIĆENOG SAOBRAĆAJNOG TOKA ZA NEZAŠTIĆENA LEVA SKRETANJA IZ EKSKLUZIVNE TRAKE

Anica Kocić<sup>1</sup>, Nikola Čelar<sup>2</sup>, Stamenka Stanković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, [nana.anica.kocic@gmail.rs](mailto:nana.anica.kocic@gmail.rs)

<sup>2</sup>Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, [n.celar@sf.bg.ac.rs](mailto:n.celar@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup>Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, [s.stankovic@sf.bg.ac.rs](mailto:s.stankovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Određivanje kapaciteta signalisane raskrsnice i proračun parametara rada svetlosnih signala neposredno su povezani sa terminom zasićen saobraćajni tok. Višestruka primena zasićenog toka ističe njegov značaj i potrebu za tačnim utvrđivanjem njegove vrednosti, primenom modela ili istraživanjem na terenu u realnim uslovima. U modelima je u nekim slučajevima definisana bazna vrednost zasićenog toka trake za levo skretanje, dok je u drugim definisan faktor redukcije bazne vrednosti za traku pravo na vrednost koja odgovara traci za levo skretanje. Pored standardnih uticajnih faktora na vrednost zasićenog toka, kao što su struktura toka, širina trake, nagib prilaza itd., u slučaju levog skretanja značajan je uticaj načina opsluživanja u okviru signalnog plana. Naime, ukoliko se levo skretanje opslužuje kao nezaštićeno, odnosno ima konflikt sa tokom iz suprotnog smera i/ili sa pešacima na izlazu raskrsnice, postoje i dodatni uticajni faktori. Predmet ovog rada je analiza modela za proračun vrednosti zasićenog toka ekskluzivne trake za nezaštićeno levo skretanje, sa akcentom na utvrđivanje uticajnih parametara na vrednost zasićenog toka.

**Ključne reči:** zasićen saobraćajni tok, nezaštićeno levo skretanje, signalisana raskrsnica

## ANALYSES OF MODELS FOR ESTIMATION PERMITTED EXCLUSIVE LEFT TURN LANE SATURATION FLOW

Anica Kocić<sup>1</sup>, Nikola Čelar<sup>2</sup>, Stamenka Stanković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, [nana.anica.kocic@gmail.rs](mailto:nana.anica.kocic@gmail.rs)

<sup>2</sup>Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, [n.celar@sf.bg.ac.rs](mailto:n.celar@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup>Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, [s.stankovic@sf.bg.ac.rs](mailto:s.stankovic@sf.bg.ac.rs)

**Abstract:** Signalized intersection capacity estimation and signal timing parameters optimization are directly related to the term "saturation flow". Multiple application of saturation flow highlights its importance and need for accurate saturation flow rate estimation by models for that purpose or by researches. Saturation flow rate could be defined as a base saturation flow rate or as saturation flow rate reduction factor for left-turn lane. Besides the influence of traffic composition, lane width, approach grade, etc., left-turn phasing treatment has a key effect on saturation flow rate. Namely, if left-turn is permitted there are additional adjustment factors due to conflict with opposing vehicle and/or pedestrian flow. This paper presents analysis of saturation flow models for permitted exclusive left-turn lane with an emphasis on adjustment factors.

**Keywords:** saturation flow, permitted left turn, signalized intersection

### 1. UVOD

Kapacitet raskrsnice, tj. veličina saobraćajnog toka koji tokom određenog perioda vremena sa prilaza može da prođe raskrsnicom kontrolisanom svetlosnim signalima, zavisi od maksimalno mogućeg protoka vozila ograničenog signalnim planom, geometrijom prilaza (širina i broj saobraćajnih traka), karakteristikama toka i ponašanjem vozača. Za određivanje te vrednosti i njenu praktičnu primenu u proračunu rada svetlosnih signala neophodna je veličina zasićenog saobraćajnog toka. Zasićen saobraćajni tok (ZST) prilaza signalisane raskrsnice predstavlja maksimalan broj vozila koji sa prilaza može proći raskrsnicu ukoliko bi, teorijski, zeleni signalni pojam trajao jedan čas i na prilazu postojao konstantan saobraćajni zahtev homogenog toka putničkih automobila. Veličina zasićenog saobraćajnog toka u konkretnim okolnostima se

<sup>1</sup> Anica Kocić: [nana.anica.kocic@gmail.rs](mailto:nana.anica.kocic@gmail.rs)

može izračunati pomoću modela ili utvrditi istraživanjima na terenu u realnim uslovima. Vrednost ZST od koje se polazi pri proračunu kapaciteta signalisane raskrsnice predstavlja baznu vrednost, koja je u zavisnosti od modela definisana kao jedna, bazna vrednost koja se brojnim uticajnim faktorima modifikuje do vrednosti ZST koja odgovara realnim uslovima ili može biti definisano više vrednosti u zavisnosti od određenih kriterijuma.

Nakon definisanja pojma zasićenog saobraćajnog toka, isti je postao predmet brojnih istraživanja. Pored analize i utvrđivanja baznih vrednosti zasićenog toka i definisanja uticaja raznih parametara na tu vrednost, težilo se formiranju brojnih analitičkih modela za njegov proračun. U modelima je zasićeni tok levog skretanja razmatran na različite načine, u nekim slučajevima je definisana bazna vrednost trake za levo skretanje, dok je u drugim definisan faktor redukcije bazne vrednosti za traku pravo na vrednost koja odgovara traci za levo skretanje.

Pored standardnih uticajnih faktora na vrednost zasićenog toka, kao što su struktura toka, širina trake, nagib prilaza itd., u slučaju levog skretanja značajan je uticaj načina opsluživanja u okviru signalnog plana. Zapravo, ukoliko je levo skretanje zaštićeno i opslužuje se bez konflikta, nema dodatnih uticaja osim ranije pomenutih. Problem nastaje ukoliko se levo skretanje opslužuje kao nezaštićeno, obzirom da tada ima konflikt sa tokom iz suprotnog smera i/ili sa pešacima na izlaznom kraku raskrsnice. U ovoj situaciji, na početku zelenog intervala, dok u suprotnom toku vlada stanje zasićenja, vozila u levom skretanju ne mogu realizovati svoje skretanje već čekaju, a nakon toga u periodu kada je tok pravo delimično ispražnjen i realizuju se prihvatljivi intervali sleđenja, vozila u levom skretanju, prihvatajući određeni interval sleđenja, realizuju svoj manevar levog skretanja. Ukoliko se dogodi da tokom čitavog zelenog intervala u suprotnom toku pravo vlada stanje zasićenja i nijedno vozilo ne može skrenuti levo tokom zelenog vremena, leva skretanja se realizuju nakon pojave crvenog signalnog pojma, tj. u toku zaštitnih vremena između stanja. U tom slučaju broj vozila koja mogu skrenuti zavisi isključivo od raspoloživog prostora za čekanje vozila u levom skretanju u raskrsnici, odnosno od geometrije raskrsnice, i od ponašanja vozača.

Predmet ovog rada je analiza modela za proračun vrednosti zasićenog toka za nezaštićena leva skretanja iz ekskluzivne trake, koja se zasniva na rezultatima modela i njihovim poređenjem sa rezultatima istraživanja sprovedenih na 4 raskrsnice u Beogradu.

Cilj rada je analizom modela istaći uticajne parametre na veličinu ZST i utvrditi razlike u pristupu proračunu zasićenog toka, a utvrditi i koji od modela najbolje opisuje domaće uslove.

Ograničenje predstavlja relativno mali uzorak raskrsnica na kojima je sprovedeno istraživanje. Pored toga, utvrđeno je da nije obuhvaćen reprezentativan uzorak prihvatljivih intervala sleđenja u konfliktnom toku za realizaciju manevara levog skretanja na signalisanim raskrsnicama.

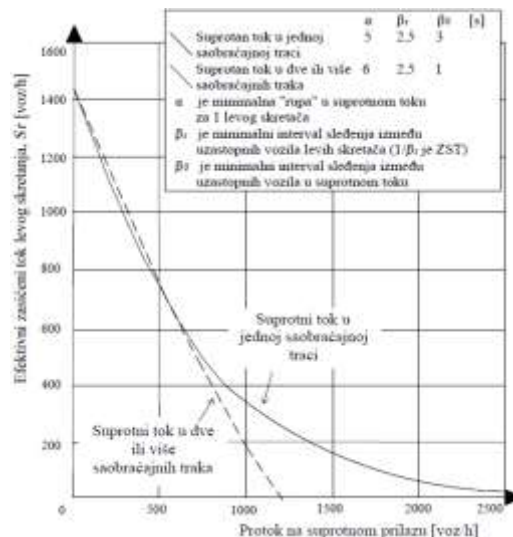
## 2. PREGLED LITERATURE

Zasićen saobraćajni tok bio je predmet brojnih istraživanja. Osnovu u ovoj oblasti predstavljaju istraživanja sprovedena u Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Američkim Državama. To su bila prva istraživanja sa temom signalisane raskrsnice, njenog kapaciteta i uticajnih faktora na veličinu kapaciteta.

### 2.1. Webster-ov model [1]

U britanskom priručniku, koji su publikovali Webster and Cobbe 1960-tih godina, se navodi da se nezaštićena leva skretanja u okviru svoje zelene faze mogu opslužiti samo ako postoji prihvatljiv interval sleđenja za presecanje prioritnog toka. Istraživanja koja su prethodila formiranju modela su ukazivala da se vrednost prihvatljivog intervala sleđenja kreće u granicama 5 - 6 s. Na bazi ovih rezultata formiran je teorijski dijagram koji obuhvata dve osnovne situacije: suprotan tok se opslužuje iz jedne saobraćajne trake, vrednost prihvatljivog intervala sleđenja iznosi 5 s i suprotan saobraćajni tok koristi više saobraćajnih traka, veličina intervala sleđenja iznosi 6 s (slika 1).

Na osnovu ove postavke definisan je pojam zasićenog saobraćajnog toka trake za levo skretanje, kao maksimalni teoretski protok vozila u levom skretanju ( $S_l$ ), koji se realizuje u prihvatljivim intervalima sleđenja, uz pretpostavku konstantnog intenziteta suprotnog toka (slika 1).



**Slika 1.** Zavisnost zasićenog toka levog skretanja od intenziteta i broja saobraćajnih traka konfliktnog toka  
 Izvor: Webster et al., 1966. [1]

## 2.2. Highway Capacity Manual (HCM 2010) [7]

Rezultat sprovedenih istraživanja u Sjedinjenima Američkim Državama je inženjerski priručnik HCM u kome je definisan i model utvrđivanja vrednosti zasićenog saobraćajnog toka. Vrednost zasićenog saobraćajnog toka za saobraćajnu traku namenjenu levom skretanju je definisana narednim izrazom:

$$S = S_p * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{Lpb} \text{ [voz/h]} \quad (1)$$

gde su:

$S_p$  - vrednost zasićenog saobraćajnog toka nezaštićenog levog skretanja [voz/h],

$f_w$  - faktor uticaja širine saobraćajne trake [-],

$f_{HV}$  - faktor uticaja strukture saobraćajnog toka [-],

$f_g$  - faktor uticaja uzdužnog nagiba [-],

$f_p$  - faktor uticaja parkiranja [-],

$f_{bb}$  - faktor uticaja autobuskih stajališta [-],

$f_a$  - faktor uticaja mikrolokacije raskrsnice [-],

$f_{LU}$  - faktor uticaja korišćenja saobraćajne trake [-],

$f_{Lpb}$  - faktor uticaja pešaka i vozila u levom skretanju [-].

Bazna vrednost zasićenog saobraćajnog toka za saobraćajnu traku namenjenu levom skretanju u konfliktnom signalnom planu ( $S_p$ ) u HCM-u 2010 definisana je narednim obrascem:

$$S_p = \frac{v_0 * e^{-v_0 * t_{cg} / 3600}}{1 - e^{-v_0 * t_{fh} / 3600}} \text{ [voz/h/tr]} \quad (2)$$

gde su:

$v_0$  - protok vozila u konfliktnom toku (pravo i desno, osim ukoliko nema desnih skretanja ili postoji posebna ekskluzivna traka za desno skretanje) [voz/h],

$t_{cg}$  - kritičan interval sleđenja u konfliktnom toku [s],  $t_{cg} = 4,5s$ ,

$t_{fh}$  - interval sleđenja vozila u levom skretanju u ekskluzivnoj traci [s],  $t_{fh} = 2,5s$ .

U situaciji kada je period vremena za opslugu pešaka duži od perioda vremena potrebnog za pražnjenja reda konfliktnog toka, znači da će vozila imati konflikt samo sa pešacima u jednom delu zelenog vremena te će postojati dodatni uticaj. Za tu situaciju definisan je korekcionni faktor bazne vrednosti zasićenog toka koji opisuje uticaj pešaka i biciklista na vozila u levom skretanju ( $f_{Lpb}$ ) i jednak je procentu neokupiranog vremena od strane pešaka i biciklista ( $A_{pbT}$ ):

$$f_{Lpb} = A_{pbT} \text{ [-]} \quad (3)$$

pri čemu je u slučaju jednakog broja traka na prilazu i izlazu raskrsnice:

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad [-] \quad (4)$$

a u slučaju većeg broja traka na izlazu nego na prilazu raskrsnice:

$$A_{pbT} = 1 - 0,6 * OCC_r \quad [-] \quad (5)$$

$$OCC_r = \frac{g_{ped} - g_q}{g_p - g_q} * OCC_{pedu} * e^{-5 * v_0 / 3600} \quad [-] \quad (6)$$

gde su:

$OCC_r$  - relevantna okupiranost konfliktne zone [-],

$v_0$  - protok vozila u konfliktnom toku [voz/h],

$g_{ped}$  - zeleno vreme potrebno za opslugu pešaka koji čekaju [s],

$g_q$  - zeleno vreme potrebno za opslugu reda konfliktnog toka [s],

$g_p$  - efektivno zeleno vreme faze za nezaštićeno levo skretanje [s],

$OCC_{pedu}$  - okupiranost konfliktne zone pešacima nakon praznjenja reda konfliktnog toka [-] (uzima vrednost 0 ukoliko je vreme opsluge pešaka kraće ili jednako vremenu opsluge reda konfliktnog toka)

$$OCC_{pedu} = OCC_{pedg} * (1 - 0,5 * \frac{g_q}{g_{ped}}) \quad [-] \quad (7)$$

gde su:

$OCC_{pedg}$  - okupiranost konfliktne zone pešacima [-],

$$OCC_{pedg} = \begin{cases} \frac{v_{pedg}}{2000}, & v_0 < 1000 \text{ peš/h} \\ 0,4 + \frac{v_{pedg}}{10000}, & 1000 \leq v_0 < 5000 \text{ peš/h} \end{cases} \quad (8, 9)$$

$g_q$  - zeleno vreme potrebno za opslugu reda konfliktnog toka [s],

$g_{ped}$  - zeleno vreme potrebno za opslugu pešaka koji čekaju [s],

$v_{pedg}$  - protok pešaka tokom vremena potrebnog da se opsluže pešaci koji su čekali [peš/h],

$$v_{pedg} = v_{ped} * \frac{C}{g_{ped}} \quad [\text{peš/h}] \quad (10)$$

gde su:

$v_{ped}$  - protok pešaka u oba smera na posmatranom pešačkom prelazu [peš/h],

$C$  - dužina ciklusa [s],

$g_{ped}$  - zeleno vreme potrebno za opslugu pešaka koji čekaju [s] (najčešće je jednako ukupnom efektivnom zelenom vremenu  $g$  te faze).

### 2.3. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2015) [8]

Nemački priručnik relativno jednostavno interpretira vrednost zasićenog saobraćajnog toka ekskluzivnih saobraćajnih traka, koje se u signalnom planu opslužuju beskonfliktno. Praktičan problem nastaje u definisanju baznih vrednosti zasićenog saobraćajnog toka mešovitim ili ekskluzivnih traka za skretanje signalnih grupa koje se u signalnom planu pojavljuju u nekoj formi dozvoljenog konflikta. Model je to nastojao da prevaziđe definisanjem procedure utvrđivanja kapaciteta za takve slučajeve, čiji je osnovni parametar dužina efektivnog zelenog posmatrane signalne grupe:

$$C_L = C_{PM} + C_{PC} \quad [\text{voz/h/tr}] \quad (11)$$

gde su:

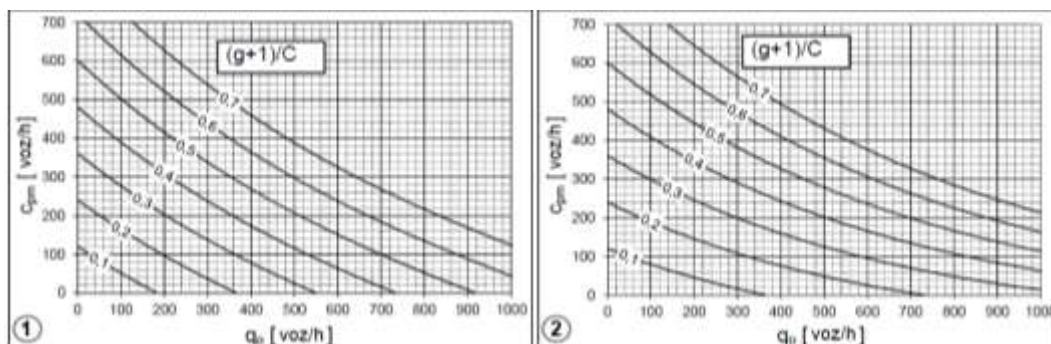
$C_{PM}$  - kapacitet tokom nezaštićenog dela zelenog vremena  $f(q_0)$  [voz/h/tr],

$C_{PC}$  - kapacitet kao rezultat prolaska vozila koja su tokom trajanja zelenog vremena ušla u raskrsnicu i prošla tokom zaštitnih vremena [voz/h/tr],

$q_0$  - intenzitet konfliktnog toka [voz/h].

Kapacitet tokom nezaštićenog dela zelenog vremena, kao što je navedeno, zavisi od intenziteta konfliktnog toka, ali i od udela efektivnog zelenog vremena u ciklusu i broja traka konfliktnog toka. Definiše se na osnovu teorije o prihvatljivim intervalima sleđenja i očitava se sa grafika na slici 2.





Slika 2. Zavisnost kapaciteta tokom nezaštićenog dela zelenog vremena od protoka suprotnog toka i udela efektivnog zelenog u ciklusu: 1) suprotni tok u jednoj traci; 2) suprotni tok u dve trake  
Izvor: Wu, 2015. [8]

## 2.4. Akçelik-ov model [2]

U australijskoj inženjerskoj praksi Akçelik (Akçelik, 1981) je razvio model proračuna vrednosti zasićenog toka, potpuno novi koncept optimizacije rada svetlosnih signala (koncept signalnih grupa) i novi koncept proračuna elemenata rada svetlosnih signala. Bazna vrednost zasićenog toka ( $S_0$ ) za ekskluzivnu saobraćajnu traku uslovnog levog skretanja data je izrazom:

$$S_0 = 1800/e_0 \quad [\text{voz/h}] \quad (12)$$

U prethodnom izrazu figuriše faktor korekcije bazne vrednosti zasićenog toka ( $e_0$ ) koji se proračunava primenom sledećeg obrasca:

$$e_0 = \frac{0,5 \cdot g}{s_u \cdot g_u + n_f} \quad [-] \quad (13)$$

gde su:

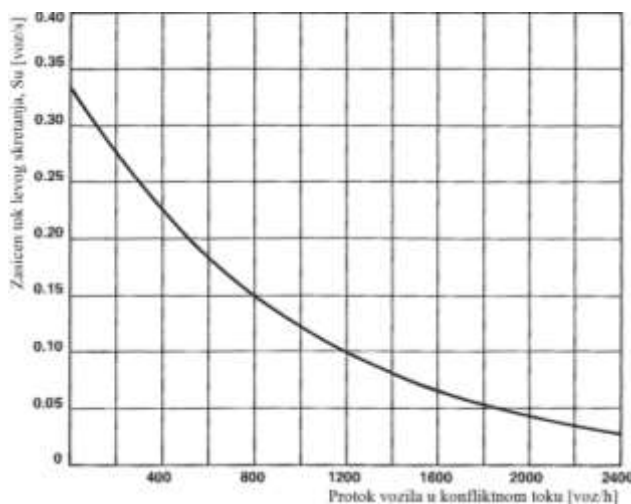
$g$  - dužina trajanja zelenog signalnog pojma za posmatrano kretanje [s],

$s_u$  - vrednost zasićenog saobraćajnog toka za vozila u levom kretanju [voz/s], (slika 3),

$g_u$  - nezasićeni deo zelenog vremena konfliktnog toka [s],  $g_u = \frac{g - y \cdot C}{1 - y}$  (14)

$s_u \cdot g_u$  - broj vozila u skretanju koja se mogu opslužiti tokom perioda  $g_u$  [voz],

$n_f$  - broj vozila koja mogu izvršiti manevar skretanja nakon prekidanja konfliktnog toka, tj. u međuzelenom periodu [voz].



Slika 3. Zavisnost zasićenog saobraćajnog toka trake za levo skretanje od protoka konfliktnog toka  
Izvor: Akçelik, 1981. [2]

## 2.5. DANKAP (Danish Capacity Manual) [4]

Procedura utvrđivanja vrednosti zasićenog saobraćajnog toka je u danskom priručniku prilično jednostavna. Vrednost ZST trake za levo skretanje ( $S_{LT}$ ) utvrđuje narednim obrascem:

$$S_{LT} = \frac{q_0 * e^{-5.5 * q_0 / 3600}}{1 - e^{-3.0 * q_0 / 3600}} \quad [\text{voz/h}] \quad (15)$$

gde je:

$q_0$  - intenzitet konfliktnog toka [voz/h].

## 2.6. Finski model [4]

Finski priručnik (Kehittämiskeskus, 1996.) se zasniva na Švedskom priručniku, a bazne vrednosti ZST su definisane u zavisnosti od namene saobraćajne trake i načina opsluživanja u okviru signalnog plana. Za ekskluzivnu traku u nezaštićenoj fazi kada postoji konflikt samo sa suprotnim tokom vrednost zasićenog saobraćajnog toka ( $S_G$ ) definisana je narednim izrazom:

$$S_G = 1800 - 1.04 * q_0 \quad [\text{voz/h}] \quad (16)$$

gde je:

$q_0$  - intenzitet suprotnog konfliktnog toka [voz/h].

U finskom priručniku nije razmatrana situacija kada vozila u levom skretanju imaju konflikt i sa pešacima i sa vozilima iz suprotnog toka.

## 2.7. Kanadski model [6]

Autori kanadskog priručnika su utvrdili da zasićen tok trake za levo skretanje koje se opslužuje nezaštićeno zavisi od prihvatljivih intervala sleđenja toka pravo i od samih vozača, tj. da li će prihvatiti intervale sleđenja da bi realizovali skretanje levo. Proračun vrednosti zasićenog toka se zasniva na određivanju prosečnog efektivnog protoka suprotnog toka tokom zelenog intervala ( $q'_o$ ) u prvom koraku i proračunu korekcionog faktora za nezaštićeno levo skretanje ( $F_L$ ) u drugom. Bazna vrednost ZST preporučena kanadskim priručnikom, koja se redukuje izračunatim faktorom redukcije, je 5% manja od bazne vrednosti preporučene HCM-om, i iznosi  $\approx 1810$  PA/h.

Prvi korak, proračun  $q'_o$  primenom obrasca:

$$q'_o = \frac{q_o * c}{g_e} \quad [\text{PAJ/h}] \quad (17)$$

drugi korak, proračun  $F_L$  primenom narednog obrasca:

$$F_L = 1,05 * e^{-0,00121 * f * q'_o} - 0,05 \quad [-] \quad (18)$$

gde su:

$q_o$  - suprotan tok [PAJ/h],

$c$  - dužina ciklusa [s],

$g_e$  - efektivno zeleno vreme za suprotan tok pravo tokom perioda kada je kada je levo skretanje nezaštićeno [s] (u slučaju nezaštićenog levog skretanja  $g_e = g$ , dok je u slučaju delimično zaštićenog  $g_e < g$ ),

$f$  - koeficijent koji predstavlja efekat broja traka toka pravo [-] (tabela 1).

**Tabela 1. Koeficijent uticaja broja saobraćajnih traka konfliktnog toka**

Broj saobraćajnih traka konfliktnog toka	1	2	3	4
$f$	1	0,625	0,51	0,44

Izvor: Teply et al, 2008. [6]

Ukoliko tok levo ima konflikt i sa pešacima, u kanadskom priručniku se razlikuju dva slučaja. Prvi je onaj kada je protok pešaka najviši u toku prvog dela zelenog vremena, dok vozila u levom skretanju propuštaju vozila u suprotnom toku, te nema dodatnog uticaja na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje. Drugi slučaj je kada je protok pešaka veliki i konstantan tokom zelenog vremena. U ovoj situaciji autori predlažu primenu prethodno opisane procedure, pri čemu se u proračunu korekcionog faktora zasićenog toka levog skretanja protoku suprotnog toka dodaje i protok pešaka. Ovakav pristup, iako neuobičajen, pokazao se kao realističan u mnogim situacijama.

## 2.8. Domaći model [3]

Na osnovu iskustava stečenih tokom dugogodišnjih istraživanja saobraćajnog toka formiran je postupak za utvrđivanje vrednosti zasićenog saobraćajnog toka u domaćim uslovima. Model ima sledeći oblik:

$$S = S_{op} * N * f_1 * f_2 * f_3 * f_4 \text{ [voz/h zelenog]} \quad (19)$$

gde su:

$S_{op}$  - operativna vrednost zasićenog toka [voz/h zelenog],

$N$  - broj saobraćajnih traka iste namene,

$f_1$  - faktor uticaja intenziteta pešačkog toka na vozila u skretanju [-],

$f_2$  - faktor uticaja intenziteta konfliktnog toka [-],

$f_3$  - faktor uticaja strukture saobraćajnog toka [-],

$f_4$  - faktor uticaja veličine grada [-].

Preporučena operativna vrednost zasićenog toka trake za levo skretanja iznosi 1500 voz/h, dok je maksimalna vrednost u granicama 1750 - 1800 voz/h. U ovom radu su razmatrani samo uticaji konfliktnog toka i toka pešaka ( $f_1$  i  $f_2$ ) i njihove vrednosti su date u tabelama 2 i 3.

**Tabela 2. Faktor uticaja intenziteta pešačkog toka na vozila u skretanju**

Intenzitet pešačkog toka [peš/h]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
$f_1$ [-]	0,97	0,95	0,92	0,87	0,82	0,76	0,69	0,62	0,57	0,53	0,50

Izvor: Stanić, 1991. [3]

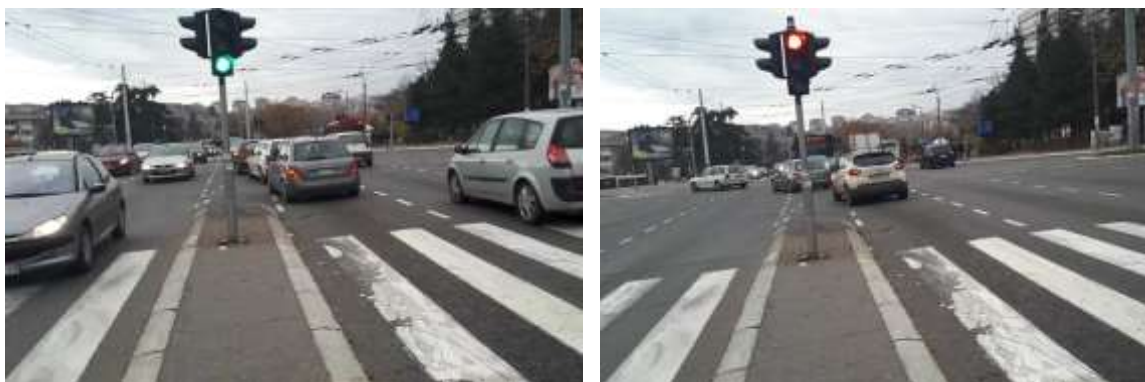
**Tabela 3. Faktor uticaja intenziteta konfliktnog toka na vozila u levom skretanju**

Intenzitet konfliktnog toka [voz/h]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	> 500
$f_2$ [-]	0,97	0,94	0,90	0,83	0,75	0,67	0,60	0,56	0,53	0,51	0,51

Izvor: Stanić, 1991. [3]

## 3. METODOLOGIJA

Radi analize modela za proračun vrednosti zasićenog saobraćajnog toka, sprovedeno je snimanje saobraćaja kamerom, na 4 raskrsnice (slika 4). Raskrsnice se nalaze na teritoriji Beograda, sa nezaštićenim levim skretanjem iz ekskluzivne trake. Nakon snimanja saobraćaja, pregledom snimaka, sprovedeno je brojanje saobraćaja u levom skretanju i u konfliktnom toku, na osnovu čega je omogućeno određivanje realnih vrednosti zasićenog toka, kao i proračun primenom modela.



**Slika 4. Istraživanje na jednoj od predmetnih raskrsnica (R1 smer 1)**

Određivanje realne vrednosti zasićenog toka trake za nezaštićeno levo skretanje je, zbog ometanja prilikom kretanja, utvrđeno na osnovu kapaciteta i udela zelenog vremena posmatrane faze u ciklusu:

$$S = \frac{\kappa}{\lambda} \quad (20)$$

gde su:

$K$  - maksimalni broj vozila koji može proći u toku jednog sata [voz/h],

$\lambda$  - odnos dužine zelenog vremena i dužine ciklusa [-],  $\lambda = \frac{Z}{C}$

$Z$  - dužina zelenog vremena za posmatranu fazu [s],

$C$  - dužina ciklusa [s].

Za utvrđivanje veličine ZST primenom modela upotrebljeni su obrasci prikazani u prethodnom poglavlju, a neophodne promenljive su utvrđene na osnovu definisanih tabela i grafika. Neophodne ulazne veličine za utvrđivanje zasićenog toka primenom modela date su u tabeli 4, a utvrđene su istraživanjem na terenu. Ulazne veličine neophodne u postupku utvrđivanja vrednosti zasićenog toka primenom modela su: dužina ciklusa ( $C$ ) i zelenog vremena ( $Z$ ) za posmatranu fazu, udeo zelenog vremena u ciklusu ( $\lambda$ ), nezasićeni deo zelenog vremena posmatrane faze - nakon pražnjenja inicijalnog reda konfliktnog toka, kada se realizuju leva skretanja ( $Z_n$ ), protok vozila u konfliktnom toku ( $Q_p$ ) i broj traka konfliktnog toka.

**Tabela 4. Ulazne veličine za proračun vrednosti zasićenog toka primenom modela**

	$Z$ [s]	$C$ [s]	$\lambda$ [-]	$Z_n$ [-]	$Q_p$ [voz/h]	Broj traka konfliktnog toka
<b>R1 smer 1</b>	43	100	0,43	0	900	2
<b>R1 smer 2</b>	43	100	0,43	0	883	2
<b>R2</b>	21	90	0,23	17	80	1
<b>R3</b>	43	90	0,48	0	920	2
<b>R4</b>	34	90	0,38	9	440	1

Obzirom da su uslovi u kojima je istraživanje sprovedeno bliski idealnim (homogeni tok putničkih automobila, širina trake 3m ili više, uzdužni nagib prilaza 0%), redukcioni faktori koji se odnose na ove uticaje su jednaki 1. Uticaj pešaka nije razmatran pri proračunu ZST modelima koji uzimaju u obzir uticaj pešaka samo ukoliko se oni opslužuju u dužem vremenskom periodu od vremena opsluživanja konfliktnog toka (HCM i kanadski model), obzirom da je na predmetnim raskrsnicama protok pešaka neznatan i opslužuju se u toku opsluživanja konfliktnog toka. Međutim primenom domaćih preporuka za proračun veličine zasićenog toka, uticaj pešaka se razmatra bez obzira na vremenski period njihovog opsluživanja.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

U skladu sa ciljevima rada, rezultati analize su grupisani u dva poglavlja. Naime, prvo poglavlje se odnosi na analizu modela, tj. načina pristupa proračunu ZST radi utvrđivanja uticajnih promenljivih na veličinu zasićenog toka i utvrđivanja razlika među modelima. Drugi deo rezultata se odnosi na analizu modela na osnovu poređenja rezultata tih modela sa rezultatima utvrđenim na osnovu istraživanja.

### 4.1. Rezultati analize uticajnih promenljivih na veličinu ZST

Kao najuticajnija veličina na vrednost zasićenog toka istakao se protok vozila suprotnog, konfliktnog toka, što je sasvim očekivano, obzirom da je taj tok prioritetan u odnosu na levo skretanje, te zbog toga njegova veličina utiče na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje. Zapravo, ističe se da zasićen tok zavisi od intervala sleđenja u konfliktnom toku i perioda iskorišćenja zelenog intervala za opsluživanje tokova pravo, ali je vrednost zasićenog toka najčešće prikazivana samo u zavisnosti od intenziteta konfliktnog toka, tako da sa porastom njegovog intenziteta opada vrednost zasićenog toka.

Ukoliko postoje i pešaci na izlazu raskrsnice koji je cilj manevra levog skretanja, intenzitet tog pešačkog toka takođe može biti uticajna veličina, a kanadski model predlaže prosto sabiranje intenziteta konfliktnog toka i pešačkog toka pri određivanju zasićenog toka. HCM-ov model ovaj uticaj posebno razmatra, ukoliko je period opsluživanja pešaka duži od perioda opsluživanja formiranog reda konfliktnog toka.

Istakla se još jedna uticajna veličina na vrednost zasićenog toka, a to je broj saobraćajnih traka namenjenih kretanju pravo iz suprotnog smera. Websterov model pokazuje da sa povećanjem broja traka vrednost zasićenog toka opada, a ova zavisnost je opravdana činjenicom da je u slučaju postojanja jedne trake vozačima u levom skretanju lakše da percipiraju prihvatljiv interval sleđenja, dok je pri većem broju traka manja verovatnoća pojave i teža percepcija prihvatljivog intervala sleđenja. Međutim, postoje i modeli (nemački i kanadski) koji definišu veće vrednosti zasićenog toka trake za levo skretanje ukoliko se konfliktni tok pravo opslužuje u više traka. Razlog za ovakve preporuke može biti činjenica da se isti saobraćajni

zahtev sa povećanjem broja traka brže opslužuje, ostavljajući veći deo zelenog vremena za opsluživanje toka levo.

Zanimljiv je uticaj prostora u konfliktnoj zoni raskrsnice na veličinu toka, koji na osnovu broja vozila koja se opslužuju u toku međuzelenih vremena, uzimaju u obzir HBS-ov i Akčelikov model. Naime, raspoloživ prostor za smeštaj vozila u levom skretanju od zaustavne linije do konfliktna tačke može imati uticaja na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje posebno ukoliko u konfliktnom toku konstantno vlada stanje zasićenja. U toj situaciji vozila u levom skretanju ne mogu realizovati svoj manevar levog skretanja tokom zelenog vremena i najčešće se opslužuju samo tokom međuzelenih vremena (nakon pojave žutog signalnog pojma). Iz tog razloga će ZST trake za levo skretanje u slučaju potpunog (ili bar približno) iskorišćenja kapaciteta konfliktnog toka, direktno i isključivo zavisiti od raspoloživog prostora od zaustavne linije do konfliktna tačke.

Pri razvoju domaćeg modela definisani su korekcionni faktori bazne vrednosti zasićenog toka trake za levo skretanje koji se odnose na uticaj protoka vozila u suprotnom smeru i broja pešaka. Definisana je minimalna vrednost korekcionnog faktora uticaja intenziteta konfliktnog toka 0,5 za protok od 550 voz/h, ali se postavlja pitanje da li je to stvarno minimalna vrednost i šta se dešava u situacijama kada na raskrsnici konstantno vlada stanje zasićenja. Ukoliko je zeleno vreme potpuno iskorišćeno za opsluživanje toka pravo iz suprotnog smera, može se opslužiti samo onoliko vozila u levom skretanju koliko ima prostora za čekanje na raskrsnici. Ova vrednost bi predstavljala minimalnu vrednost zasićenog toka, što je manje od polovine, koja je modelom predložena kao najmanja. Takođe, pitanje je i da li određena vrednost protoka suprotnog smera ima podjednak uticaj na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje pri različitim parametrima rada signala, različitim vrednostima iskorišćenja zelenog vremena i pri različitom broju traka konfliktnog toka. Model uzima u obzir korekcionni faktor u zavisnosti od broja pešaka, iako oni možda nemaju uticaja, ukoliko se opslužuju samo u periodu dok se konfliktni tok opslužuje.

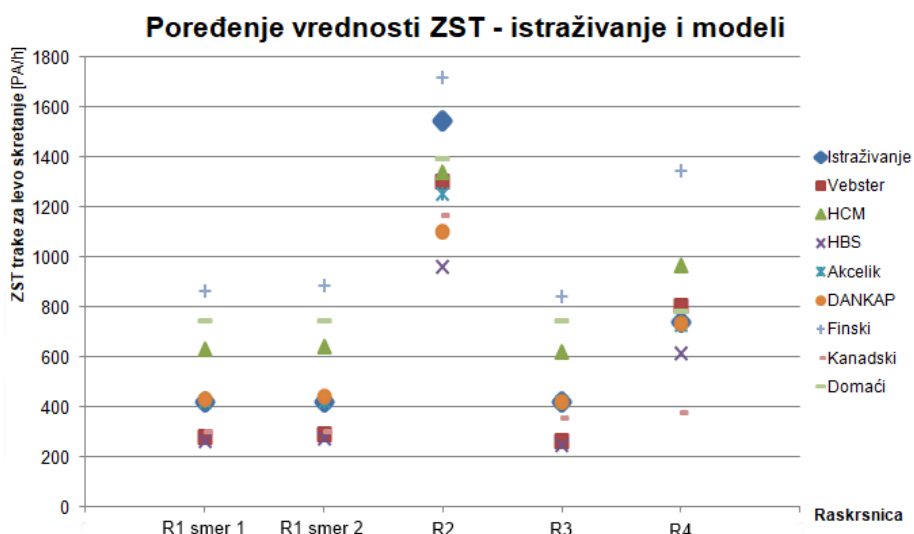
#### 4.2. Rezultati analize vrednosti ZST proračunatih modelima i na osnovu istraživanja

Nakon proračuna vrednosti zasićenog toka primenom modela i na osnovu istraživanja izvršeno je poređenje i analiza tih rezultata. Proračunate vrednosti zasićenog toka prikazane su u tabeli 5 i na slici 5.

**Tabela 5.** Vrednosti zasićenog toka utvrđene istraživanjem i primenom modela

S <sub>L</sub>	Istraživanje	Vebster	HCM	HBS	Akčelik	DANKAP	Finski	Kanadski	Domaći
R1 smer1	419	280	629	273	419	431	864	300	742
R1 smer2	419	290	639	284	419	440	882	300	742
R2 *	1545	1300	1339	967	1250	1098	1717	1164	1394
R3	417	260	617	255	419	421	843	352	742
R4	737	800	964	628	729	732	1342	374	780

\* Napomena: Potencijalno nepouzdati rezultati, obzirom da je istraživanje sprovedeno u kraćem vremenskom periodu u odnosu na ostale raskrsnice



**Slika 5.** Poređenje vrednosti zasićenog toka dobijenih istraživanjem i primenom modela

Poređenjem vrednosti ZST dobijenih istraživanjem sa rezultatima dobijenim modelima može se uočiti da Akčelikov model daje rezultate sa najmanje odstupanja, a slični rezultati su dobijeni primenom danskog modela (DANKAP). Postoje odstupanja u vrednostima zasićenog toka na R2 koja se mogu pripisati nepouzdanosti podataka snimljenih na ovoj raskrsnici. Zanimljivo je da danski model i HCM imaju isti način proračuna zasićenog toka, ali su odstupanja rezultata dobijenih HCM-ovim modelom značajnija, dajući veće vrednosti zasićenog toka od vrednosti dobijenih na osnovu istraživanja, što je posledica različitih vrednosti intervala sleđenja vozila u konfliktnom toku i u toku vozila u levom skretanju. Na taj način može se zaključiti da su usvojeni intervali sleđenja u konfliktnom toku i u toku vozila u levom skretanju u danskom modelu realniji (5,5 i 3s respektivno), u odnosu na vrednosti predložene HCM-ovim modelom (4,5 i 2,5s respektivno).

Vebsterov, HBS i kanadski model daju značajno manje vrednosti zasićenog toka od onih koje su utvrđene na osnovu istraživanja. Sva tri modela uzimaju u obzir i intenzitet i broj saobraćajnih traka konfliktnog toka, dok kanadski i HBS-ov model uzimaju u obzir i parametre rada svetlosnih signala. Međutim, iako sveobuhvatni, ovi modeli ne opisuju dobro domaće uslove, potcenjujući vrednosti zasićenog toka koje su utvrđene istraživanjem.

Finski i domaći model značajno precenjuju vrednosti zasićenog toka u odnosu na one koje su utvrđene istraživanjem. Odstupanje od ovog trenda je u slučaju proračuna ZST na R2 primenom domaćeg modela, jer je, pre svega, bazna vrednost trake za levo skretanje od koje se polazi mala iako postoje tendencije ka povećanju ove vrednosti [5,9]. Domaći model razmatra i protok vozila i protok pešaka kao uticajne promenljive, međutim ipak daje vrednosti koje odstupaju od onih utvrđenih istraživanjem. Problem nastaje prilikom određivanja korekcionih faktora, obzirom da je za vrednosti veće ili jednako 500 voz/h u suprotnom toku definisana jedna vrednost korekcionog faktora, bez obzira na broj traka. Na taj način nije adekvatno razmotren uticaj intenziteta konfliktnog toka. S druge strane, pešački tok se posmatra kao uticajan, bez obzira na to da li on uopšte ima uticaja na vozila u levom skretanju (ukoliko se opslužuje tokom opsluživanja konfliktnog toka). Intenzitet pešaka na posmatranim raskrsnicama je bio neznatan te nije imao značajnijeg uticaja na veličinu zasićenog saobraćajnog toka. Finski model je prilično jednostavan, predstavlja linearnu zavisnost zasićenog toka od intenziteta konfliktnog toka, bez razmatranja ostalih uticajnih faktora, tako da je primenljiv samo u lokalnim uslovima.

## 5. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Određivanje kapaciteta signalisane raskrsnice i projektovanje upravljanja saobraćajnim procesom na njoj neposredno su povezani sa pojmom zasićenog saobraćajnog toka. Ova veličina predstavlja osnovnu ulaznu veličinu u postupku optimizacije rada svetlosnih signala, utvrđivanja kapaciteta raskrsnice, vremenskih gubitaka, odnosno nivoa usluge, ali je i jedan od osnovnih pokazatelja efikasnosti saobraćajnog procesa. To znači da je zasićen saobraćajni tok izlazna veličina procesa realizacije saobraćajnog zahteva, a ulazna veličina u postupku optimizacije rada signala i utvrđivanja pokazatelja efikasnosti.

Višestruka primena zasićenog saobraćajnog toka ističe njegov značaj i potrebu za tačnim utvrđivanjem njegove vrednosti. Tokom vremena je, iz tog razloga, postao predmet brojnih istraživanja u kojima su utvrđivane bazne vrednosti, uticajni faktori, ali i razvijani modeli za analitičko određivanje ove veličine. Pregledom literature koja prikazuje razvoj modela za proračun zasićenog toka ekskluzivne trake namenjene nezaštićenom levom skretanju, može se zaključiti da je problem levog skretanja u konfliktnom signalnom planu bio čest predmet istraživanja.

Na vrednost zasićenog toka nezaštićenog levog skretanja, kao najuticajnija veličina, istakao se protok vozila u konfliktnom toku, tako da sa porastom intenziteta konfliktnog toka opada vrednost zasićenog toka nezaštićenog levog skretanja. Zapravo se ističe da zasićen tok zavisi od intervala sleđenja u konfliktnom toku i perioda iskorišćenja zelenog intervala za opsluživanje konfliktnog toka pravo. Uticaj broja saobraćajnih traka konfliktnog toka se posmatra na dva različita načina, u zavisnosti od modela. Naime, pojedini modeli definišu da sa povećanjem broja traka vrednost zasićenog toka opada, što je opravdano činjenicom da je u slučaju postojanja jedne trake vozačima u levom skretanju lakše da percipiraju prihvatljiv interval sleđenja, dok je pri većem broju traka manja verovatnoća pojave i teža percepcija prihvatljivog intervala sleđenja. S druge strane, sa povećanjem broja traka u pojedinim modelima veličina ZST raste, jer je činjenica da se isti saobraćajni zahtev sa povećanjem broja traka brže opslužuje, ostavljajući veći deo zelenog vremena za opsluživanje toka levo, pod uslovom da su parametri rada signala isti u ovom slučaju (isti protok - jedna ili više saobraćajnih traka). Ukoliko postoje i pešaci na izlaznom kraku raskrsnice, intenzitet tog pešačkog toka takođe može biti uticajna veličina ukoliko je za njihovo opsluživanje potreban duži vremenski period od potrebnog vremena za opslugu konfliktnog toka. Retko je razmatran uticaj prostora u konfliktnoj zoni raskrsnice na veličinu zasićenog toka - raspoloživ prostor za smeštaj vozila u levom skretanju od zaustavne



linije do konfliktne tačke, obzirom da može imati uticaja na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje posebno ukoliko u konfliktnom toku konstantno vlada stanje zasićenja. S obzirom na to da tada vozila u levom skretanju ne mogu realizovati svoj manevar levog skretanja tokom zelenog vremena i najčešće se opslužuju samo tokom međuzelenih vremena, ZST trake za nezaštićeno levo skretanje će direktno i isključivo zavisiti od raspoloživog prostora od zaustavne linije do konfliktne tačke.

Ukoliko se zanemare odstupanja na jednoj od raskrsnica zbog nepouzdanosti podataka, utvrđeno je da, bez obzira na obuhvatnost uticajnih parametara u modelima, postoje značajnija odstupanja u veličini zasićenog toka u odnosu na vrednosti zasićenog toka utvrđene istraživanjem. Modeli sa najvećim brojem promenljivih potcenjuju vrednosti zasićenog toka, dok je oni jednostavniji precenjuju. Modeli koji su razvijeni za australijsko [2] i dansko [4] područje daju najpribližnije rezultate onima koji su utvrđeni istraživanjem, te se može zaključiti da ovi modeli najbolje opisuju domaće uslove.

Što se domaćeg modela tiče, on uzima u obzir uticaj protoka vozila u suprotnom smeru i broja pešaka. Definisana je minimalna vrednost korekcionog faktora uticaja intenziteta konfliktnog toka od 0,5 za protok od 550 vozila na sat, ali se postavlja pitanje da li je to stvarno minimalna vrednost i šta se dešava u situacijama kada na raskrsnici konstantno vlada stanje zasićenja. Ukoliko je zeleno vreme potpuno iskorišćeno za opsluživanje toka pravo iz suprotnog smera, može se opslužiti samo onoliko vozila u levom skretanju koliko ima prostora za čekanje na raskrsnici. Ova vrednost bi predstavljala minimalnu vrednost zasićenog toka, što je manje od polovine, koja je modelom predložena kao najmanja. Ova činjenica je potvrđena i istraživanjem, obzirom da se definisanim korekcionim faktorom dobija vrednost ZST koja precenjuje realne vrednosti. U modelu, takođe, nije razmatrano da li određena vrednost protoka suprotnog smera ima podjednak uticaj na veličinu zasićenog toka trake za levo skretanje pri različitim parametrima rada signala, različitim vrednostima iskorišćenja zelenog vremena i pri različitom broju traka konfliktnog toka. Uticaj pešaka je kvantifikovan kroz korekcionni faktor u zavisnosti od broja pešaka, iako oni možda nemaju uticaja, ukoliko se opslužuju samo u periodu dok se konfliktni tok opslužuje.

Ograničenje u izradi rada je bio mali uzorak raskrsnica na kojima je sprovedeno istraživanje, tako da je za dodatnu potvrdu iznetih zaključaka neophodno sprovesti istraživanja na većem uzorku, u dužem vremenskom periodu, obuhvatajući različite situacije (zasićenje, nezasićena stanja, slučajni nailazak vozila, nailazak vozila u plotunu, itd.). Autori rada predlažu i kalibraciju domaćeg modela što se tiče baznih vrednosti zasićenog toka, ali i vrednosti korekcionih faktora. Takođe, buduća istraživanja bi trebalo da se orijentišu na utvrđivanje uticaja većeg broja parametara na veličinu zasićenog toka.

## Literatura

- [1] Webster, F. V., Cobbe B. M. 1966. *Traffic signals*. Her Majesty's Stationery Office. London, United Kingdom.
- [2] Akcelik, R. 1981. *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. Australian Road Research Board. Research report ARR No. 123 (7th reprint: 1998).
- [3] Stanić, B. 1991. Istraživanja efekata signalnog plana pri zasićenom toku: doktorska disertacija. Saobraćajni fakultet. Beograd, SFR Jugoslavija.
- [4] Luttinen, R. T., Nevala R. 2002. *Capacity and level of service of Finnish signalized intersections*, Final report. Finnish road administration. Helsinki, Finland.
- [5] Čelar, N. 2007. Prilog istraživanju merodavnih vrednosti zasićenog toka na signalisanim raskrsnicama: magistarski rad. Beograd, Republika Srbija.
- [6] Teply, S., Allingham, D. I., Richardson, D. B., Stephenson, B.W. 2008. *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*. Institute of Transportation Engineers. Canada.
- [7] Transport Research Board - TRB. 2010. *Highway Capacity Manual (HCM 2010), Chapter 31: Signalized Intersections: Supplemental*. National Research Council. Washington, D.C., United States of America.
- [8] Wu, N. 2015. *Traffic Quality Assessment at Signalized Intersections - Procedures in the New German Highway Capacity Manual (HBS 2015)*. 15th COTA International Conference of Transportation Professionals. Beijing, China.
- [9] Kocić, A. 2017. Istraživanje vrednosti zasićenog saobraćajnog toka udvojenih traka za levo skretanje: završni rad. Saobraćajni fakultet. Beograd, Republika Srbija.

## KARAKTERISTIKE SAOBRAĆAJNIH TOKOVA I USLOVI SAOBRAĆAJA NA DRŽAVNOJ PUTNOJ MREŽI REPUBLIKE SRBIJE

**Vladan Tubić**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, vladan@sf.bg.ac.rs

**Marijo Vidas**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, m.vidas@sf.bg.ac.rs

**Nemanja Stepanović<sup>1</sup>**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu su prikazani rezultati generalne kvantitativne i kvalitativne analize promena potražnje (saobraćajnih tokova) na primarnoj putnoj mreži Republike Srbije u periodu 1990-2016. godine. Analize se zasnivaju na dostupnim podacima sa automatskih brojača saobraćaja sa fokusom na promene saobraćajnih zahteva na primarnoj vangradskoj putnoj mreži, odnosno promenom i podelom po klasam prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i transportnog rada. Posebno su analizirane promene saobraćajnih tokova sa sezonskim varijacijama na Panevropskom multimodalnom Koridoru X i njegovim kracima na teritoriji Srbije, odnosno glavnim potezima autoputeva, kojima se realizuje daljinski tranzitni saobraćaj. U radu je sprovedena i Ex-post analiza transportnih zahteva na Koridoru X, sa ciljem utvrđivanja realno ostvarenih efekata i identifikacije svih odstupanja u vremenskoj dinamici. Analiza stanja potražnje zajedno sa analizom ponude (stanja putne mreže) predstavlja osnov za generalnu ocenu kvaliteta ponude (iskorišćenost kapaciteta, nivo usluge). To formira osnov za definisanje opštih zaključaka i preporuka za buduće aktivnosti na nivou mreže.

**Ključne reči:** Prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS), trendovi, potražnja, ponuda.

## TRAFFIC FLOW CHARACTERISTICS AND CONDITIONS ON RURAL STATE ROAD NETWORK OF REPUBLIC OF SERBIA

**Vladan Tubić**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, vladan@sf.bg.ac.rs

**Marijo Vidas**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, m.vidas@sf.bg.ac.rs

**Nemanja Stepanović**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** This paper includes general quantitative and qualitative analysis of road traffic demand changes on primary state road network in Republic of Serbia for the 1990 – 2016 period. Analyses of available traffic count data concentrate on primary rural network level demand changes, in other words Average Annual Daily Traffic (AADT) and Vehicle Kilometers changes and distribution. Transportation demand changes and seasonal variations on road sections of Pan European Transportation Corridor X (X, Xb and Xc), namely on motorway sections, in Serbia are further analyzed due to the fact that these sections are the trunk roads for long distance transit trips. The Ex-post analysis of the transport demand key factors with the aim of defining realistically achieved effects and the identification of variations in time dynamics was conducted for Corridor X. Present transport demand analyses together with supply analyses of present condition of primary state rural road network are the basis for overall transport supply appreciation (Volume to Capacity Ratio and Level of Service estimates). They form the basis for general conclusions definition and recommendations for future activities on network level.

**Keywords:** Average Annual Daily Traffic (AADT), Demand trends, Traffic demands, Transportation supply.

### 1. UVOD

Jugoistočna Evropa, a posebno Republika Srbija, doživeli su značajne pa i dramatične promene u poslednjoj deceniji prošlog veka; one su direktno i indirektno uslovile velike i nagle promene trendova u svim domenima uključujući i oblast potražnje i ponude transportnih usluga svih vidova transporta. Posle 2000. godine dolazi do stabilizacije društvenih i ekonomskih prilika gde su uspostvaljeni sasvim novi trendovi i korelativne zavisnosti između saobraćaja i društveno ekonomskih indikatora.

Geografski položaj i topografske karakteristike područja uslovile su da kroz istoriju važni koridori između Zapada i Istoka prolaze kroz područje Srbije. Veza između pomenutog značajnog položaja i burna istorija uzrokovala je brojne pozitivne i negativne uticaje na razvoj Republike Srbije. U skladu sa navedenim, danas veći broj E-puteva prolazi teritorijom Srbije a, prema III-joj Panevropskoj konferenciji u Helsinkiju 1997.g., delovi

<sup>1</sup> Nemanja Stepanović: n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

multimodalnih koridora VII (Dunav) i X, X<sub>b</sub> i X<sub>c</sub> nalaze se na teritoriji Republike Srbije. (European Parliament, 1999)

Mreža državnih puteva u Republici Srbiji sastoji se od 16.221 km puteva I i II reda, čija se vrednost procenjuje na oko 4,5 milijarde evra. (Putevi Srbije, 2017) Mreža državnih puteva se detaljnije kategoriše na:

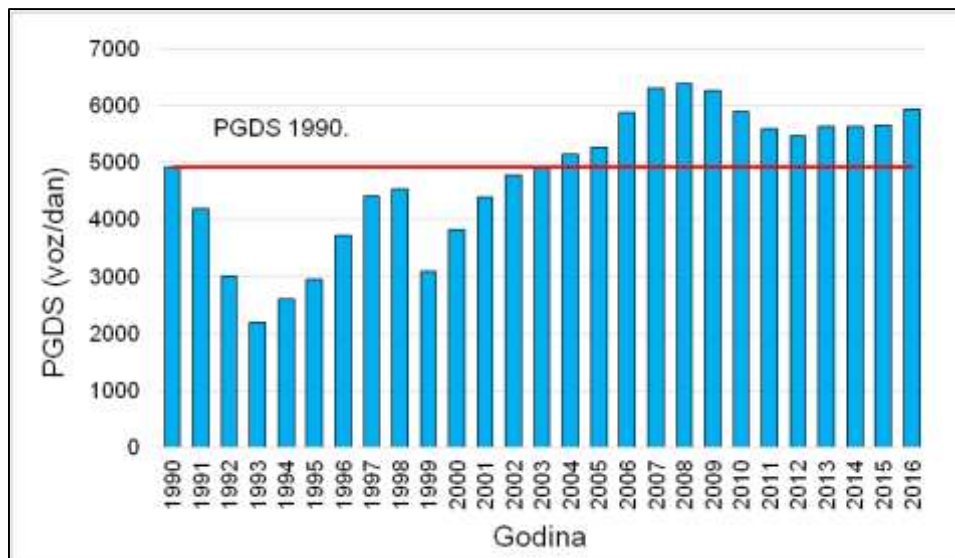
- državne puteve I A reda (auto-putevi) – 781,633 km (novembar 2017.g.),
- državne puteve I B reda - 4.486,575 km,
- državne puteve II A reda - 7.783,439 km, i
- državne puteve II B reda - 3.169,478 km.

Generalne analize dostignutih saobraćajnih tokova na nivou cele mreže, pre svega o obimu i vremenskim neravnomernostima, predstavljaju osnovu za definisanje strateških opredeljenja pri razmatranju problema novogradnje, rekonstrukcije i rehabilitaciji putne mreže. U ovom radu analizirane su generalne promene saobraćajnih tokova na primarnoj putnoj mreži Republike Srbije u periodu od 1990. do 2016. godine kao osnovnog parametra potražnje. Poseban osvrt je dat na analizu saobraćajnih tokova na Koridoru X, koji sa opsluživanjem daljinskih tokova predstavlja najznačajniji putni pravac kroz Srbiju, kako sa saobraćajnog tako i sa ekonomskog aspekta. Pored analize ostvarenog saobraćaja na celoj putnoj mreži, što je bitno za generalno detektovanje problematičnih delova mreže sa aspekta odnosa ponude i potražnje, pomenuta analiza ima za cilj ispitivanje i razumevanje trendova saobraćajne potražnje. Analiza trendova neophodna je za preciznije prognoze saobraćajnih tokova u budućnosti, odnosno precizniju izradu strateških projekata putne infrastrukture. Takođe je sprovedena i Ex-Post analiza nekadašnjih prognoza o povratku i dostizanju prognoziranih tokova nakon turbulentnih perioda, odnosno ostvarenju predstavljenih scenarija od pre 16 godina (Tubić and Maletin, 2002).

## 2. PROMENE SAOBRAĆAJNIH ZAHTEVA NA MREŽI DRŽAVNIH PUTEVA REPUBLIKE SRBIJE

Na osnovu zvaničnih statističkih podataka, svi vidovi saobraćaja pretpreli su značajne promene obima ostvarenih transportnih usluga. Krizni periodi u poslednjih 30 godina, u kojima se naročito ističu 1991-1993. i 1999. godina, prouzokovali su preraspodelu teretnog i putničkog tranzitnog saobraćaja na alternativne rute ili vidove saobraćaja, kao i drastično smanjenje izvorno/ciljnih i lokalnih putovanjima u okviru Republike Srbije zbog pada ekonomskih aktivnosti i BDP-a. Rast potražnje u vangradskom putnom saobraćaju posle pomenutih kriznih perioda bio je brži nego u železničkom i vodnom saobraćaju. Saobraćajni tokovi na putnoj mreži u potpunosti su odražavali nagle promene spoljnih i unutrašnjih uslova uz relativnu stabilizaciju posle 2000-te godine. (Tubić and Maletin, 2005)

Na osnovu podataka kontinualnog brojanja saobraćaja na putnoj mreži (Putevi Srbije, 1990-2016) moguće je utvrditi promenu srednje vrednosti Prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) za posmatrani vremenski period od 1990. do 2016. godine (Slika 1). 1990. godina izabrana je za početnu godinu analize kao poslednja godina koja je prethodila kriznom periodu, do koje je, uz povremene oscilacije beležen rast protoka na putnoj mreži Srbije. Celokupna analiza rađena je za primarnu putnu mrežu Republike Srbije, koja podrazumeva puteve dužine od oko 4.500 km (bez puteva na KiM). Vremenske serije podataka o prosečnom PGDS-u na analiziranim deonicama putne mreže pokazuju značajno smanjenje saobraćajnih zahteva, zbog spoljnih dešavanja koja su prouzokovala krizne periode, što je rezultovalo odsustvom trendova za period od 1991. do 1993. i 1999. godinu. Najbolji pokazatelj turbulentnog perioda je podatak da je prosečan dostignuti PGDS na primarnoj putnoj mreži u 2000. godini bio manji za 22,45 % od onog ostvarenog 1990. godine. Ubrzan rast od 2000. godine (Tubić, 2008), ostvaren je zahvaljujući uspostavljanju ekonomske stabilnosti, niske baze i rasta nakon kriznih perioda i sankcija, a rezultirao je dostizanjem prosečnog nivoa PGDS-a iz 1990. već 2003. godine. Trendovi rasta potrajali su do 2008. godine, kada je dostignut maksimum koji je bio za 29,75% veći od PGDS-a ostvarenog 1990. godine. Svetska ekonomska kriza, koja je nakon pomenute godine počela da se oseća i ovom regionu, uzrokovala je blagi pad PGDS-a do 2013. godine, nakon koje počinje period stabilizacije saobraćajnih zahteva i blagog rasta do 2016. godine. Postoje indicije da se rast uočen 2016. godine nastavlja i u 2017.godini međutim, kako je 2016. poslednja godina za koju su dostupni zvanični rezultati praćenja saobraćajnih tokova, ovo se ne može sa sigurnošću tvrditi.



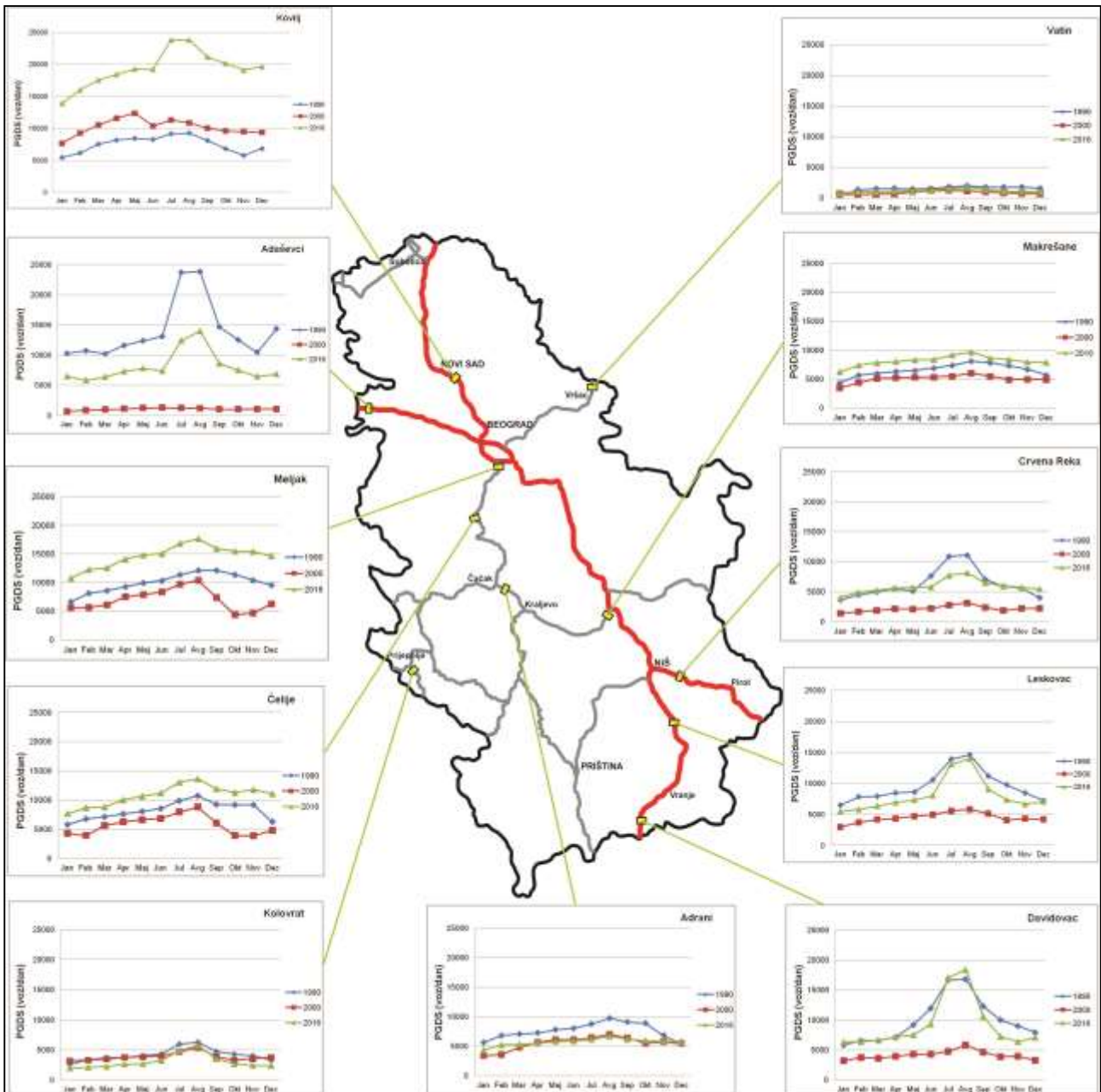
Slika 1. Promene prosečnih vrednosti PGDS-a na primarnoj mreži Republike Srbije (bez KiM)

Kako bi detaljnije sagledali promene saobraćajne tražnje u posmatranom periodu, neophodno je u analizu uključiti i vremenske neravnomernosti protoka vozila, koje na najbolji način oslikavaju prirodu nastajanja potreba za prostornim premeštanjem ljudi i dobara. (Kuzović, 1987) Za potrebe istraživanja analiziran je Prosečan mesečni dnevni saobraćaj (PMDS) na najznačajnijim - reprezentativnim deonicama sa kontinualnim snimanjem saobraćajnih tokova. (Slika 2). Reč je o deonicama najopterećenijih i funkcionalno najznačajnijih putnih pravaca u mreži državnih puteva Republike Srbije, na kojima se precizno mogu uočiti specifične promene protoka (voz/dan/mesec) u posmatranom periodu, kao i karakteristike sezonskih varijacija.

Posmatrajući specifične deonice, mogu se izvesti slični zaključci kao za celu mrežu državnih puteva, odnosno jasno se uočava značajan pad potražnje za presečnu 2000. godinu u odnosu na 1990. Dominantna turistička kretanja (tranzitna i izvorno/ciljna), koja uzorkuju vršne protoke u letnjim mesecima su do 2000. godine nestala sa mreže. Uzrok se svakako može pronaći u deceniji turbulentnih političkih dešavanja i sankcija, značajnom slabljenju ekonomske moći stanovništva, nestašici goriva itd, što je uzrokovalo preusmeravanje tranzitnih tokova na alternativne vidove transporta ili rute kroz okolne države, kao i značajnom padu unutrašnjih daljinskih i lokalnih kretanja. Drastične promene dogodile su se na koridoru X, pre svega na potezu između Beograda i granice sa Hrvatskom: najveća vrednosti PMDS-a ostvarena u avgustu 1990. godine od 23.815 voz/dan pala je na 1.303 voz/dan (u mesecu junu) u 2000. godini. Značajniji oporavak saobraćajnih zahteva nije se dogodio ni 16 godina kasnije: najveća vrednost PMDS-a u 2016. godini iznosila je približno 14.000 voz/dan u avgustu, što je za oko 41% manje od dostignutog saobraćaja 1990. godine. Slični trendovi dogodili su se i na još nekim deonicama odnosno putnim potezima koridora X, za koga je zbog funkcionalnog značaja puta u mreži, predviđena posebna analiza u nastavku rada.

Kao što je već pomenuto, slični trendovi koji su uočeni prilikom analize prosečnog PGDS-a na celoj mreži državnih puteva, uočeni su i za presečnu 2016. godinu. Ono što karakteriše PMDS, pored ukupnog povećanja saobraćajne potražnje i prestizanja dostignutog saobraćaja iz 1990. godine na mnogim deonicama, jeste povratak sezonskih (turističkih) tokova. Naime, na svim putnim pravcima na kojima su 1990. godine jasno uočene vremenske neravnomernosti i povećanje zahteva u letnjim mesecima, isti trend (oblik krive) primećen je i u 2016. godini. Pored pojedinih deonica koridora X na kojima saobraćajni tokovi ni u 2016. godini nisu u potpunosti dostigli nivo iz 1990. godine, primećeno je da je na deonicama u blizini graničnih prelaza sa Crnom Gorom i Rumunijom nivo saobraćajnih zahteva maltene konstantan u sve tri presečne godine. Izostanak očekivanog rasta, naročito u 2016. godini može se objasniti stagnacijom turističkih kretanja ka navedenim državama (zbog ukidanja viznog režima itd.) i upotrebom alternativnih graničnih prelaza. Na deonicama putne mreže ostalih značajnih putnih pravaca, kao što je recimo IB22 (nekadašnji M22, poznatiji kao "Ibarska magistrala"), došlo je do opšteg porasta protoka vozila u 2016. godini, sa vremenskim neravnomernostima po mesecima u toku godine koje se slažu sa 1990. godinom.

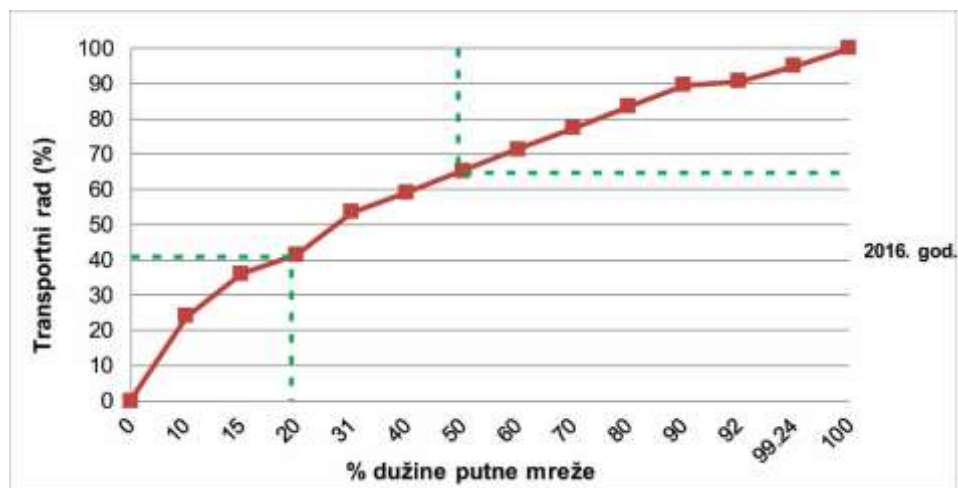
Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da su se tranzitni tokovi u izvesnoj meri vratili na prioritetne putne pravce mreže državnih puteva Republike Srbije, ali da porast saobraćajnih zahteva svakako ne prati očekivanja sa početka XX veka, na šta će se obratiti posebna pažnja u nastavku rada. Analiza saobraćajnih zahteva na mreži državnih puteva nižeg ranga pokazuje da je došlo do rasta daljinskih izvorno/ciljnih i lokalnih kretanja.



**Slika 2.** Promene saobraćajnih zahteva i vremenskih neravnomernosti protoka (za 1990, 2000 i 2016. god.) na najznačajnijim denicama državnih puteva Republike Srbije

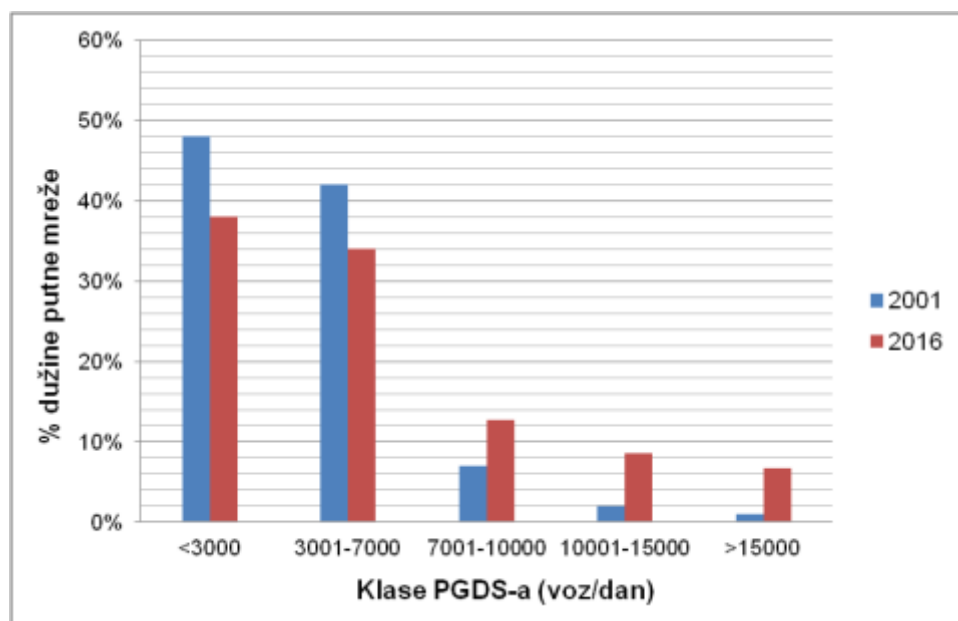
Relativna raspodela transportnog rada (% ukupnog transportnog rada u vozilo/kilometrima) i dužine primarne putne mreže Republike Srbije (% ukupne dužine primarne putne mreže) prikazana je za 2016. godinu na Slici 3. Veliki procenat ukupnog transportnog rada (oko 41%) realizuje se na relativno maloj dužini primarne putne mreže, odnosno na glavnim putnim pravcima (oko 20%). Međutim, poredeći sa istraživanjima sa početka XX veka, kada se 60% transportnog rada realizovalo na svega 30% ukupne dužine primarne putne mreže, uočava se da je raspodela ravnomernija. (Tubić and Maletin, 2002). Današnjoj ravnomernijoj raspodeli najbolje svedoči poređenje drugog dela dijagrama: 2001. godine se na preostalih 50% ukupne dužine primarne saobraćajne mreže realizovalo svega 20% transportnog rada, dok se u 2016. godini na istom procentu dužine primarne putne mreže (50%) realizuje oko 35% transportnog rada. Dobijeni rezultati pokazuju da se veliki procenat transportnog rada i dalje obavlja na glavnim putnim pravcima, pre svega na koridoru X, što je i očekivano s obzirom na karakter tokova prisutnih na ovom putnom pravcu. Međutim, uočava se i da je nakon perioda stabilizacije, došlo do porasta izvorno/ciljnih i lokalnih kretanja koja koriste i druge putne pravce primarne mreže državnih puteva Republike Srbije, što je doprinelo ravnomernijoj raspodeli transportnog rada na posmatranoj putnoj mreži, odnosno smanjenju deonica mreže sa neprihvatljivo niskim saobraćajnim opterećenjem. Ravnomernijoj raspodeli transportnog rada na primarnoj putnoj mreži doprinela je i nova

kategorizacija državnih puteva. (Tubić and Maletin, 2008) Naime, novom kategorizacijom mreže, koja je za glavni cilj imala funkcionalnu klasifikaciju puteva, došlo je do izmeštanja u nižu kategoriju pojedinih nekadašnjih putnih pravaca primarne mreže, koja se zasnivala na staroj podeli na magistralne (M) i regionalne (R) puteve, nastale u periodu velike Jugoslavije. Time su pojedini putni pravci, koji su izgubili nekadašnji značaj u mreži i na kojima je prisutno nisko saobraćajno opterećenje, uglavnom lokalnih saobraćajnih tokova, izbačeni iz prioritete mreže državnih puteva, dok su ubačene pojedine deonice sa značajnijom ulogom ili deonice novih puteva.



**Slika 3.** Relativna raspodela ukupnog transportnog rada i dužine primarne putne mreže u 2016. godini

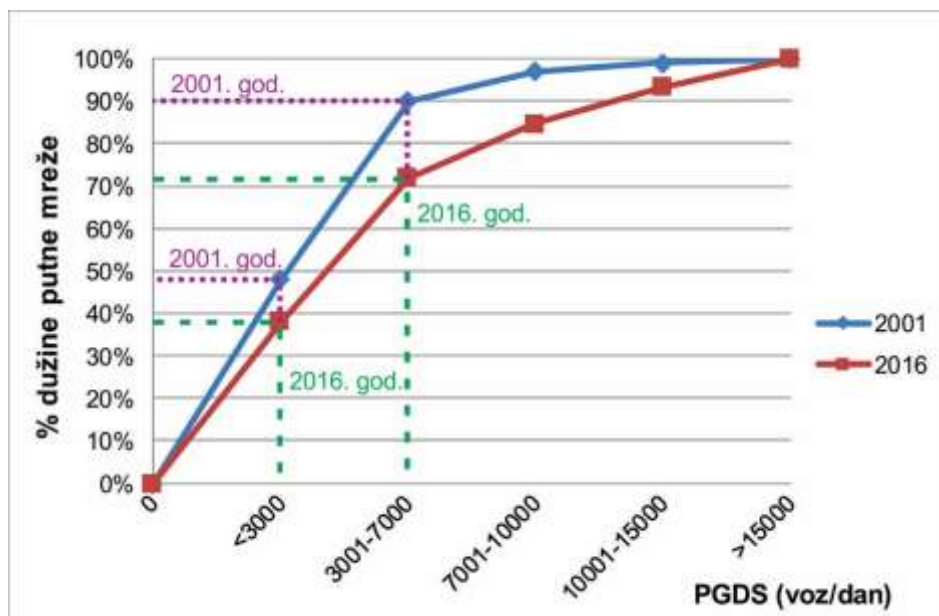
Na osnovu podataka o PGDS-u sa automatskih brojača saobraćaja na primarnoj mreži državnih puteva Republike Srbije, na Slici 4 prikazana je raspodela deonica mreže po klasama PGDS-a, dok je na Slici 5 prikazana njihova kumulanta, uporedno za 2001. i 2016. godinu.



**Slika 4.** Raspodela dužine deonica primarne putne mreže po klasama saobraćajnog opterećenja

S obzirom na već pomenuta dešavanja i nisku bazu PGDS-a, u 2001. godini se na primarnoj putnoj mreži Srbije uočava da se na čak 48% dužine realizovalo saobraćajno opterećenje manje od 3.000 voz/dan, dok se na 90% mreže realizovalo opterećenje manje od 7.000 voz/dan. PGDS veći od 10.000 voz/dan realizovao se na oko 3% dužine primarne putne mreže. Sve ovo govori o neiskorišćenosti kapaciteta odnosno saobraćajne ponude na većini deonica mreže državnih puteva.





**Slika 5.** Kumulativna raspodela ukupne dužine deonica primarne putne mreže po klasama saobraćajnog opterećenja

U 2016. godini, kao i kod raspodele transportnog rada, uočava se povoljnije stanje: smanjen je broj deonica sa izuzetno niskim saobraćajnim opterećenjem. Sa Slika 4 i 5 može se videti da je PGDS manji od 3.000 voz/dan realizovan na 38%, PGDS manji od 7.000 voz/dan realizovan na 72%, dok se PGDS veći od 10.000 voz/dan realizovao na 15% ukupne dužine putne mreže. Uočava se značaj porast klase PGDS-a veće od 15.000 voz/dan, koji se ostvario na 7% deonica primarne putne mreže Republike Srbije. Ova generalna analiza po klasama saobraćajnog opterećenja ima poseban značaj jer se na osnovu nje mogu identifikovati deonice sa potencijalnim problemom u odnosu saobraćajne tražnje i ponude (q/C). Naravno, problem se pre svega može javiti na deonicama dvotračnih puteva sa visokim saobraćajnim opterećenjem (>15.000 voz/dan), koji zbog očekivanog porasta saobraćajnih zahteva u budućnosti mogu indukovati nedostatak kapaciteta i pogoršanje nivoa usluge.

### 3. ANALIZA SAOBRAĆAJNIH ZAHTEVA NA KORIDORU X

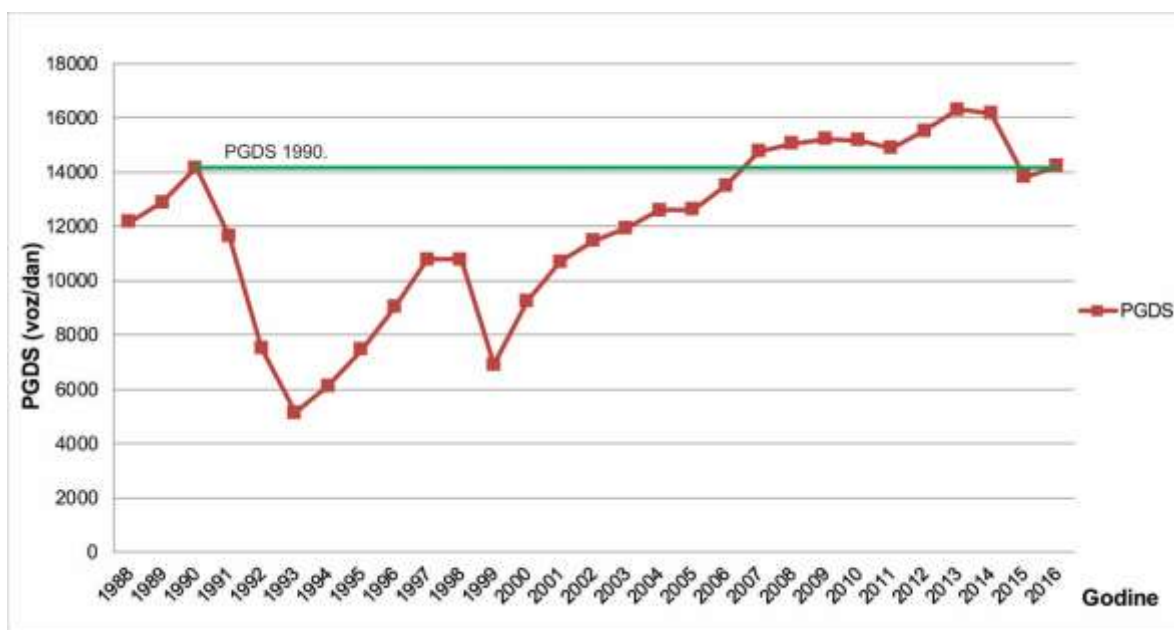
Panevropski multimodalni Koridor X je u okviru evropske mreže saobraćajnica zapravo, spona između zapada, krajnjeg juga i jugoistoka evropskog kontinenta. On kracima Xb i Xc direktno povezuje 9 zemalja Evrope: Austriju, Sloveniju, Hrvatsku, Mađarsku, Srbiju, Bugarsku, Makedoniju, Grčku i Tursku, a indirektno još 5 zemalja: Nemačku, Italiju, BiH, Rumuniju i Albaniju. Koridor je dug 2.360 km, i sastoji se iz:

- osnovnog pravca: Salcburg – Ljubljana – Zagreb – Beograd – Niš – Skoplje - Solun
- dva kraka: Krak Xb: Budimpešta – Novi Sad – Beograd; Krak Xc: Niš - Sofija (Istambul, preko Koridora IV).

Kao što je već pomenuto i što se može pretpostaviti iz liste zemalja kroz koje prolazi, Koridor X privlači kako tranzitne tokove kroz Republiku Srbiju, tako i izvorno/ciljne daljinske tokove. Usled dramatičnog perioda političke i ekonomske nestabilnosti došlo je do velike oscilacije saobraćajnih zahteva u analiziranom periodu (1990-2016. godina), koje je retko ko mogao da predividi. Na Slici 2 prikazani su, između ostalog, podaci kontinualnih brojanja saobraćajnih tokova u posmatranom periodu, na najznačajnijim deonicama Koridora X (svim njegovim kracima na teritoriji Srbije). U prethodnom delu rada pomenuto je da su se drastične promene dogodile na zapadnom kraku Koridora X između Beograda i granice sa Hrvatskom: najveća vrednosti PMDS-a ostvarena u avgustu 1990. godine od 23.815 voz/dan pala je na 1.303 voz/dan (u mesecu junu) u 2000. godini. Značajniji oporavak saobraćajnih zahteva nije se dogodio ni 16 godina kasnije: najveća vrednost PMDS-a u 2016. godini iznosila je približno 14.000 voz/dan u avgustu, što je za oko 41% manje od dostignutog saobraćaja 1990. godine. Sa druge strane, severni krak Koridora X (Xb) na potezu od Beograda do Novog Sada beleži rast saobraćajnog opterećenja čak i u presečnoj 2000. godini (povećanje u mesecu sa maksimalnim saobraćajnim opterećenjem za 33% u odnosu na mesec sa maksimalnim opterećenjem 1990. godine). Ovaj rast nastavljen je i u 2016. godini: PGDS na posmatranoj deonici veći je za 91% u odnosu na

2000. godinu. Na osnovu iznesenih podataka može se doći do zaključka da se većina tranzitnih i izvorno/ciljnih kretanja prebacila na severni krak, gde je sa političkom i ekonomskom stabilizacijom došlo do dodatnog rasta. Varijacije saobraćajnih zahteva na ostalim značajnim deonicama Koridora X (Slika 2) pokazuju slične trendove. Na deonici u blizini granice sa Makedonijom, zabeleženo je značajno smanjenje saobraćajnog opterećenja u vršnom mesecu 2000. godine: 65% manje u odnosu na 1990. godinu. U 2016. godini zabeležen je oporavak, odnosno vraćanje saobraćajnog opterećenja i sezonskih varijacija na nivo iz 1990. godine. Iako je u vršnom mesecu zabeleženo nešto veće opterećenje, ukupan PGDS je bio malo manji od onog iz 1990. godine. Slični trendovi uočavaju se i na kraku ka granici sa Bugarskom, gde je zabeležen pad u vršnom mesecu 2000. godine od 78% u odnosu na 1990. godinu. Analiza PMDS-a u 2016. godini beleži porast saobraćajnih zahteva, ali oni ne dostižu nivo iz 1990. godine: u vršnom mesecu dostignuto je 26% manje opterećenje od adekvatnog meseca iz 1990. godine.

Kako bi se ispitao trend saobraćajnih zahteva na autoputskom profilu kompletnog Koridoru X, neophodno je utvrditi prosečan PGDS na svim deonicama. Radi dobijanja kompletnog uvida uzet je u obzir malo veći vremenski period (1988-2016. godina) a rezultati su prikazani na Slici 6. Može se uočiti da se oblik krive, posle rasta do 1990. godine, u kriznom periodu poklapa sa analizom vršenom za celu prioritetnu mrežu državnih puteva Republike Srbije (Slika 1). Potrebno je naglasiti da je povratak saobraćajnih zahteva zabeležen tek 2007. godine, odnosno 3 do 4 godine kasnije u odnosu na celu mrežu, što takođe potvrđuje veći rast saobraćajnog opterećenja na putnim pravcima nižeg ranga (dvotračnim putevima) i sporiji povratak tranzitnih tokova. Može se uočiti rast uz određene oscilacije sve do 2014. godine, nakon koje je zabeležen značajniji pad u 2015. godini (na nivou iz 1990. godine). Taj pad se, međutim, može pripisati povećanju dužine autoputeva jer se, kao što je već pomenuto, analiza odnosi isključivo na deonice punog profila autoputa Koridora X. 2016. godine detektovan je blagi rast koji se na osnovu preliminarnih analiza nastavlja i u 2017. godini.



**Slika 6.** Promene prosečnih vrednosti PGDS-a na autoputskim deonicama Koridora X u Republici Srbiji

Pomenuta analiza neophodna je i za sprovođenje Ex-Post analiza saobraćajnih zahteva na Koridoru X, koja je data u nastavku rada.

#### 4. EX-POST ANALIZA SAOBRAĆAJNIH ZAHTEVA

Za izvođenje bilo kog značajnijeg projekta neophodna je izrada investicionih studija, koja je jedan od ključnih elemenata obavezne projektne dokumentacije. Postoje dve vrste investicionih studija, posmatrano u odnosu na razvoj i realizaciju projekta: Ex-ante i Ex-post studije.

Ex-ante (lat. pre događaja) analize su dobro poznate analize na osnovu kojih neke javne institucije (država, gradska vlast itd.) donose odluku o investiciji odnosno realizaciji određenog projekta. One su sastavni deo studija opravdanosti, a u oblasti saobraćaja obuhvataju saobraćajne (PGDS, broj putnika itd.) i ekonomske analize (analiza troškova građenja, operativnih troškova, prihoda itd.), sa ciljem dobijanja ekonomskih pokazatelja (neto sadašnja vrednost, interna stopa rentabiliteta itd.), koji pokazuju isplativost projekta.

Ex-post (lat. nakon događaja) analize su istraživanja rezultata projekta, kada je investicija (građevinski) završena i kada je sistem operativno funkcionalan određeno vreme. Ove analize često se sprovode posle prve pune godine funkcionisanja sistema, ali u zavisnosti od vrste projekta, mogu se sprovoditi ranije ili kasnije. Značajno je sprovođenje iste nakon perioda definisanog projektom (Mitrić, 2015)

S obzirom da je u ovom radu reč o generalnoj analizi saobraćajne tražnje, ne postoji konkretan projekat čiji će rezultati biti analizirani sa funkcionalnog i ekonomskog aspekta, pa samim tim ni klasična Ex-Post analiza. Međutim, moguće je ispitivanje prognoze dostizanja saobraćajnih zahteva pre kriznog perioda na Koridoru X, kao najznačajnijem putnom pravcu primarne mreže državnih puteva Republike Srbije, koje je sprovedeno početkom XX veka. (Tubić and Maletin, 2002)

U istraživanju su uzeta u obzir 2 scenarija:

- Scenario 1 podrazumevao je sledeće pretpostavke:
  - Povratak značajnog dela tranzitnih tokova na Koridor X, sa visokim stopama rasta u periodu 2000-2005. godine;
  - Rast izvorno/ciljnih kretanja koji će pratiti intenzivan ekonomski rast Jugoslavije u kratkom periodu tranzicije (3-4 godine);
  - Dostizanje repernih tokova predviđeno je 2006. godine, uz porast saobraćaja za 28% do 2010. godine.
- Scenario 2 podrazumevao je sledeće pretpostavke:
  - Tranzitni tokovi koji su koristili Koridor X su već promenili vid transporta odnosno rutu preko alternativnih država, pa će njihov povratak biti sporiji (zbog nivoa usluge, graničnih procedura itd.);
  - Rast izvorno/ciljnih kretanja koji će pratiti nešto sporiji ekonomski rast Jugoslavije u periodu tranzicije (6-8 godine);
  - Dostizanje repernih tokova predviđeno je 2010. godine, uz porast saobraćaja za 28% do 2016. godine.

S obzirom da je već pomenuto da se Ex-Post analize sprovode nakon realizacije projekta i puštanja objekta u eksploataciju, a posebno nakon istek projektnog perioda, interesantno je analizirati povratak i rast saobraćajnih tokova na Koridoru X na osnovu da pomenuta scenarija (poslednja godina po scenarijima je 2016. godina koja je i poslednja godina analize).

Kao što se može videti sa Slike 6, saobraćajni zahtevi su dostigli nivo iz 1990. godine (pre početka turbulentnog političkog i ekonomskog perioda) 2007. godine. Definisani rast od 28% (sa pragom od 18.000 voz/dan) u odnosu na baznu (1990. godinu), još uvek nije dostignut. Pomenuti rezultati govore u prilog umerenijem prognoznom scenariju, odnosno scenariju 2. Naime, prilikom prognoze početkom XX veka niko nije mogao da predvidi Svetsku ekonomsku krizu, koja je potresla celu Evropu a samim tim negativno uticala na saobraćajne zahteve i u Republici Srbiji. Svakako je ekonomski razvoj Srbije i povratak tokova bili nešto sporiji nego što se to početkom XX veka moglo prognozirati.

### 3. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

U radu je sprovedena generalna analiza dostignutih saobraćajnih zahteva na primarnim deonicama mreže državnih puteva Republike Srbije, u periodu od 1990. do 2016. godine, sa posebnim osvrtom na analizu Koridora X. Na osnovu rezultata generalne analize, dati su sledeći zaključci i preporuke:

- Izrazito turboulentan politički i ekonomski period (uzrokovao sankcijama, nestašicom goriva, inflacijom, ekonomskim padom itd.) u periodu do 2000. godine, rezultovao je padom prosečnog dostignutog PGDS-a na primarnoj mreži državnih puteva od 22,45% u odnosu na 1990. godinu. Nakon perioda stabilizacije, 2003. godine zabeleženo je dostizanje tokova bezne godine i rast do 2008. godine, kada sledi postepen pad zbog Svetske ekonomske krize do 2013. godine, nakon čega nastupa period stabilizacije i blagog rasta.
- Analizom PMDS-a na najznačajnijim deonicama prioritetne mreže državnih puteva može se zaključiti da su se tranzitni tokovi u izvesnoj meri vratili na prioritetne putne pravce, ali da porast saobraćajnih zahteva svakako ne prati očekivanja u pogledu značajnog prevazilaženja bazne 1990. godine. Porast saobraćajnih zahteva na mreži državnih puteva nižeg ranga pokazuje da je došlo do rasta daljinskih izvorno/ciljnih i lokalnih kretanja na teritoriji Republike Srbije.
- Uočen je povratak sezonskih varijacija odnosno povratak turističkih tokova.
- Analizom raspodele transportnog rada može se zaključiti da se veliki procenat transportnog rada i dalje obavlja na glavnim putnim pravcima, pre svega na koridoru X, ali da je došlo do porasta izvorno/ciljnih i lokalnih kretanja koja koriste i druge putne pravce primarne mreže državnih puteva

Republike Srbije, što je doprinelo ravnomernijoj raspodeli transportnog rada na posmatranoj putnoj mreži, odnosno smanjenjenju deonica mreže sa neprihvatljivo niskim saobraćajnim opterećenjem.

- Nova kategorizacija državnih puteva (prelazak sa tzv. M i R mreže na puteve I i II reda) koja se bazira na funkcionalnoj klasifikaciji puteva, doprinela je ravnomernijoj raspodeli transportnog rada, što pokazuje da je bolje definisan rang saobraćajnica.
- Uočena je bolja raspodela saobraćajnog opterećenja na mreži državnih puteva, odnosno smanjenje broja deonica sa izuzetno niskim i porast deonica sa visokim saobraćajnim opterećenjem.
- Detektovani su potencijalni delovi mreže dvotračnih puteva sa visokim saobraćajnim opterećenjem (>15.000 voz/dan), koji zbog očekivanog porasta saobraćajnih zahteva u budućnosti mogu problematični sa aspekta nedostatka kapaciteta i pogoršanja nivoa usluge.
- Uočeno je da se većina tranzitnih i izvorno/ciljnih kretanja prebacila sa zapadnog na severni krak Koridora X.
- Sprovedenjem Ex-Post analize saobraćajnih zahteva na Koridu X, zaključeno je da je povratak tranzitnih tokova tekao sporije od očekivanog, što ukazuje na potreban oprez prilikom budućih prognoza saobraćajnog opterećenja za infrastrukturne projekte.

#### 4. LITERATURA

- [1] Brojanje saobraćaja na putnoj mreži Republike Srbije (1990-2016). JP "Putevi Srbije"
- [2] Helsinki Conference on a pan-European transport policy Report (1999). European Parliament, (on-line) dostupno na:  
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A4-1999-0057+0+DOC+XML+V0//EN>
- [3] JP "Putevi Srbije" (2017). (on-line) dostupno na:  
<http://www.putevi-srbije.rs/index.php/%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B0/%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B01>
- [4] Kuzović, Lj. (1987). *Teorija saobraćajnog toka*, "Građevinska knjiga", Beograd
- [5] Mitrić, S. (2015). Iz problematike investicionih analiza za velike saobraćajne projekte, el. predavanja, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [6] Tubić, V., Maletin, M. (2002). ROAD TRANSPORT DEMAND CHARACTERISTICS FOR REPUBLIC OF SERBIA trends, present state and forecast, 3rd IRF Congress for South-East Europe, 30 September – 2 October 2002, Belgrade, Yugoslavia
- [7] Tubić, V., Maletin, M. (2005). General analysis of transportation demand and supply on primary state rural roads network in the Republic of Serbia, International Journal Transport & Logistics, No. 09, pp 36-51, UDC. 625.71:625.11
- [8] Tubić, V. (2008). Analiza promena saobraćajnih tokova na putnoj mrežu Srbije, VIII Savetovanje o tehnikama regulisanja saobraćaja - TES 2008, Sombor
- [9] Tubić, V., Maletin, M. (2008). Studija: Kriterijumi za kategorizaciju putne mreže Srbije, Saobraćajni fakultet - Institut saobraćajnog fakulteta, investitor JP "Putevi Srbije"

## ANALIZA PODOBNOSTI MODELA ZA PREDIKCIJU SAOBRAĆAJNIH NEZGODA NA PUTNOJ MREŽI SRBIJE

**Nemanja Stepanović<sup>1</sup>**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

**Marina Milenković**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Sreten Jevremović**

Student Master akademskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, jevremovicsreten@gmail

**Rezime:** Više od 1,25 miliona ljudi godišnje pogine u saobraćajnim nezgodama. 90% nastradalih je sa područja zemalja sa niskim i srednjim prihodima, kod kojih troškovi saobraćajnih nezgoda iznose oko 3% BDP-a. Dominantno negativan uticaj saobraćaja najčešće se kvantifikuje kroz broj saobraćajnih nezgoda i posledice koje one izazivaju. Suštinski problem je kako u planiranom periodu eksploatacije postojećih i projektovanih puteva za određene putne i saobraćajne uslove predvideti broj i težinu saobraćajnih nezgoda. Dugi niz godina razvijaju se i primenjuju modeli predikcije saobraćajnih nezgoda koji su u velikoj meri uticali na prevenciju nezgoda i svih negativnih posledica koje one izazivaju. Iako predstavljaju veoma važne i neophodne alate u procesima planiranja i projektovanja, Republika Srbija ne poseduje sopstveni model, već se koristi inostranim bez validne kalibracije. Osnovni cilj ovog rada je kritička analiza rezultata i test primene 9 savremenih inostranih modela predikcije saobraćajnih nezgoda na reprezentativnom broju (49) odseka, putne mreže Srbije. U drugom koraku sinteznom analizom dobijenih rezultata predložiće se najpodobniji modeli i smernice za kalibraciju istih.

**Ključne reči:** Modeli predikcije, bezbednost saobraćaja, saobraćajne nezgode.

## ANALYSIS OF ACCIDENT PREDICTION MODELS CREDIBILITY ON THE REPUBLIC OF SERBIA ROAD NETWORK

**Nemanja Stepanović**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

**Marina Milenković**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Sreten Jevremović**

MSc candidate, University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, jevremovicsreten@gmail

**Abstract:** More than 1.25 million people per year are killed in road accidents. 90% of the injured are from the low and middle income countries, where the costs of traffic accidents is around 3% of GDP. Negative impact of traffic is usually quantified through the number of accidents and the consequences they cause. The essential problem is how to predict the number and severity of accidents on existing and designed roads for prevailing traffic and road conditions. For many years, prediction models have been developed and applied, which have greatly influenced the prevention of accidents, and the reduction of the negative consequences that they cause. Although they represent very important and necessary tools in the planning and design, the Republic of Serbia does not have its own model, but is using foreign models without correct calibration. The main objective of this paper is a critical analysis of the results and the test application of 9 modern foreign models of traffic accidents prediction on a representative number of sections (49), of the Serbian road network. In the second step, a synthesized analysis of the obtained results will propose the most suitable models and guidelines for their calibration.

**Keywords:** Prediction models, traffic safety, traffic accidents.

### 1. UVOD

Jedan od važnih koraka prilikom izrade Studija opravdanosti izgradnje novih odnosno rekonstrukcije postojećih puteva odnosi se na ispitivanje ekonomskih koristi sprečavanja ili smanjenja nastanka saobraćajnih nezgoda na analiziranom putu. Posmatrajući samo sa aspekta saobraćajnih nezgoda, određivanje ekonomskih koristi podrazumeva poređenje relativnih vrednosti direktnih i indirektnih troškova saobraćajnih nezgoda na putnoj mreži bez investicija (u stanju „ne raditi ništa“) i troškova na putnoj mreži sa investicijama, odnosno sa planiranim merama. Prikazanom analizom može se utvrditi da li je investicija opravdana sa aspekta troškova saobraćajnih nezgoda ili ne.

---

<sup>1</sup> Nemanja Stepanović: n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Glavno pitanje koje se nameće prilikom ove analize odnosi se na određivanje broja saobraćajnih nezgoda u budućem (novoprojektovanom) stanju. Imajući to u vidu, ekonomski razvijene zemlje počele su sa razvojem prvih modela predikcije saobraćajnih nezgoda, koji su na osnovu određenih saobraćajnih i tehničko-eksploatacionih karakteristika puteva predviđali broj nezgoda u projektnom periodu.

Kao jedan od najtežih zadataka u celokupnom postupku izrade modela predstavlja odabir i kalibrisanje nezavisnih promenljivih. S obzirom da je broj nezavisnih promenljivih, veoma velik, autori se često odlučuju za nekoliko njih koje obično spadaju u grupu tehničko-eksploatacionih karakteristika puta. Treba imati u vidu da preciznost modela raste sa porastom broja promenljivih koje figurišu u njemu, ali se tada usložnjava i proces izrade samog modela, te s toga obično prevladavaju jednostavniji oblici ovih jednačina. Proces kalibracije modela zasniva se na prethodno jasno utvrđenim uzrocima svake saobraćajne nezgode u konkretnim uslovima. Definisanje uzroka znači određivanje faktora koji su uticali na događanje saobraćajne nezgode na određenom putu. U zavisnosti od toga koji je faktor bio najčešći uzročnik saobraćajnih nezgoda, on će dobiti najveću vrednost koeficijenta kalibracije u određenom odnosu. Proces se ponavlja za nekoliko najuticajnijih faktora sve dok se ne dobije jedinstven model sa željenom preciznošću i tačnošću.

Problemi koji otežavaju implementaciju modela predikcije na putevima u Srbiji su najčešće nestandardne tehničko-eksploatacione karakteristike puta, odnosno karakteristike koje se često menjaju duž jedne iste deonice (širina kolovoza, širina saobraćajnih traka, širina bankina itd.) Naime, inostrani modeli su obično izrađeni za određen opseg širina ili za jednu vrednost širine kolovoza, širine saobraćajnih traka itd. što znači da bi za jednu istu deonicu našeg puta bilo potrebno više modela. Pored toga kao značajan problem javlja se izrazito veliki broj pristupa koji je često van opsega inostranih modela. Sve ovo ukazuje na činjenicu da bi na našim putevima bilo veoma teško izvršiti samo kalibraciju inostranih modela. Ozbiljno pristupanje ovom problemu bi značilo razvijanje sopstvenog modela predikcije i njegova kalibracija za različite uslove.

Uopšteno govoreći modeli predikcije saobraćajnih nezgoda našli su veliku primenu u različitim sferama saobraćaja i predstavljaju neizostavan alat u procesu funkcionalnog i ekonomskog vrednovanja. Imajući u vidu da Srbija ne poseduje sopstveni model, već se koristi inostranim, cilj ovog rada je da se kroz testiranje nekoliko modela, na određenim odsecima dvotračnih puteva u Srbiji, prikažu njihove prednosti i nedostaci, odnosno da se utvrdi koji od inostranih modela daje najbolje rezultate u lokalnim uslovima. Pored toga, u radu je izvršena analiza uticaja putnih i saobraćajnih karakteristika na događanje saobraćajnih nezgoda na razmatranim odsecima. Dobijeni rezultati predstavljaju generalne smernice za razvoj domaćeg modela.

## 2. LITERARNI PREGLED

Do sada je razvijen veliki broj modela predikcije saobraćajnih nezgoda koji su, pored u saobraćajnim, svoju primenu našli i u različitim ekonomskim analizama opravdanosti, analizama uticaja na životnu sredinu itd. Osnovni zadatak prilikom izrade navedenih modela je uspostavljanje i definisanje korelacije između zavisnih i nezavisnih promenljivih. Kao zavisna promenljiva najčešće se koristi ukupan broj saobraćajnih nezgoda na nekom području, deonici ili odseku puta. Naravno, pored toga koristi se i ukupan broj nezgoda sa materijalnom štetom, sa povređenim ili poginulim licima, a sve u zavisnosti od potreba istraživanja (Geedipally, Patil and Lord, 2010). Najveći broj autora prepoznao je PDGS kao najznačajniju karakteristiku koja utiče na događanje saobraćajnih nezgoda, pa je s toga to i jedna od standardnih nezavisnih promenljivih u modelima (Kalokota and Seneviratne, 1994; Kiattikomol, 2005; Glavić *et al.*, 2016). Pored PGDS-a u važne nezavisne promenljive ubrajaju se tehničko-eksploatacione karakteristike puta: širina kolovoza ili saobraćajne trake, širina bankina, poprečni i podužni nagibi, radijusi horizontalnih krivina itd. (Ivan, Wang and Bernardo, 2000; Montella, Colantuoni and Lamberti, 2008; Williamson and Zhou, 2012).

Pored navedenih pojavljuju se specifični parametri koji su uključeni u modele, a za koje je utvrđeno, da u određenoj meri utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda. Takvi su broj pristupa ili broj raskrsnica na deonici (Hadi and Aruldas, 1995a), procenat teretnih ili komercijalnih vozila (Brimley, Saito and Schultz, 2012), brzina vozila u toku, procenat prekoračenja brzina (Taylor, Baruya and Kennedy, 2002). U (HSM, 2014)<sup>2</sup> su u obzir uzeti parametri koji se odnose na preglednost, osvetljenost puta, postojanje prelaznih krivina, postojanja traka za preticanje itd. Grand i Report, (2009) su u svom radu pokazali da stepen istrošenosti kolovoza ima značajan uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda, pa je jedan od parametara bio upravo taj. Određen broj autora bavio se ponašanjem vozača i njihovog uticaja na nastanak nezgoda, gde su pokušali da kroz pojednostavljene modele predvide broj saobraćajnih nezgoda u odnosu na određene manevre vozača u saobraćaju (Olmus and Erbas, 2012; Kumar and Prasad, 2015).

<sup>2</sup> Highway Safety Manual (HSM) je priručnik za analiziranje i predviđanje bezbednosti saobraćaja na putevima



Pored toga što su modeli razvijeni za deonice i odseke na vangradskim putevima, veliki broj njih razvijen je za tačkaste lokacije poput naplatnih stanica, rampi ili raskrsnica. Postoje različiti modeli predikcije koji su izrađeni u odnosu na tipove raskrsnica (trokake, četvorokake, kružne itd.) ili način njihovog regulisanja i upravljanja. (Maycock and Hall, 1984; Lyon *et al.*, 2003; Jonsson, Ivan and Zhang, 2007; Abuzwidah, 2014; Abuzwidah, Abdel-Aty and Ahmed, 2014). Takođe se u literaturi može naći dosta radova u kojima su analizirane saobraćajne nezgode na pružnim prelazima i u odnosu na njih razvijani modeli predikcije (Oh, Washington and Nam, 2006).

Generalno posmatrano modeli predikcije saobraćajnih nezgoda su našli veliku primenu u različitim sferama saobraćaja, dok su njihove koristi prepoznate u svim aspektima društvenih delatnosti.

### 3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe ovog istraživanja izabrane su sledeće deonice vangradskih dvotračnih puteva:

1. Divci – Slovac, deonica državnog puta IB reda broj 21, (Deonica 1),
2. Pakovraće (Markovica) – Kratovska Stena, deonica državnog puta IB reda broj 23, (Deonica 2),
3. Petlja Novi Sad istok – Kać, deonica državnog puta IB reda broj 12, (Deonica 3),
4. Kać – Žabalj (Šajkaš), deonica državnog puta IB reda broj 12, (Deonica 4),
5. Sremska Kamenica – Irig (Krušedol), deonica državnog puta IB reda broj 21, (Deonica 5),
6. Ruma (Voganj) – Ruma (veza sa A3), deonica državnog puta IB reda broj 21, (Deonica 6),
7. Jarak – gr. APV (Šabac), deonica državnog puta IB reda broj 21, (Deonica 7),
8. Sušica – Zlatibor, deonica državnog puta IB reda broj 23, (Deonica 8),
9. Požega (Arilje) – Arilje, deonica državnog puta IB reda broj 21, (Deonica 9),
10. Gornji Milanovac (Nevade) – Gornji Milanovac, deonica državnog puta IB reda broj 22, (Deonica 10),
11. Gornji Milanovac – Prejlina, deonica državnog puta IB reda broj 22, (Deonica 11),
12. Mataruška Banja – Ušće, deonica državnog puta IB reda broj 22, (Deonica 12),
13. Merošina – Prokuplje, deonica državnog puta IB reda broj 35, (Deonica 13).

Deonice su potom podeljene na homogene odseke u zavisnosti od parametara koji figurišu u modelu i tehničko-eksploatacionih karakteristika deonica. Na osnovu navedenog, dobijeni su sledeći homogeni odseci: Na deonici 1, odsek 1 (O1<sub>1</sub>), odsek 2 (O2<sub>1</sub>) i odsek 3 (O3<sub>1</sub>), na deonici 2, odsek 1 (O1<sub>2</sub>), odsek 2 (O2<sub>2</sub>), odsek 3 (O3<sub>2</sub>), odsek 4 (O4<sub>2</sub>), odsek 5 (O5<sub>2</sub>), odsek 6 (O6<sub>2</sub>), odsek 7 (O7<sub>2</sub>), odsek 8 (O8<sub>2</sub>) i odsek 9 (O9<sub>2</sub>), na deonici 3, odsek 1 (O1<sub>3</sub>), odsek 2 (O2<sub>3</sub>), odsek 3 (O3<sub>3</sub>) i odsek 4 (O4<sub>3</sub>), na deonici 4, odsek 1 (O1<sub>4</sub>), odsek 2 (O2<sub>4</sub>) i odsek 3 (O3<sub>4</sub>), na deonici 5, odsek 1 (O1<sub>5</sub>), odsek 2 (O2<sub>5</sub>), odsek 3 (O3<sub>5</sub>) i odsek 4 (O4<sub>5</sub>), na deonici 6, odsek 1 (O1<sub>6</sub>) i odsek 2 (O2<sub>6</sub>), na deonici 7, odsek 1 (O1<sub>7</sub>) i odsek 2 (O2<sub>7</sub>), na deonici 8, odsek 1 (O1<sub>8</sub>), na deonici 9, odsek 1 (O1<sub>9</sub>) i odsek 2 (O2<sub>9</sub>), na deonici 10, odsek 1 (O1<sub>10</sub>), na deonici 11, odsek 1 (O1<sub>11</sub>), odsek 2 (O2<sub>11</sub>), odsek 3 (O3<sub>11</sub>), odsek 4 (O4<sub>11</sub>), odsek 5 (O5<sub>11</sub>), odsek 6 (O6<sub>11</sub>), odsek 7 (O7<sub>11</sub>), na deonici 12, odsek 1 (O1<sub>12</sub>), odsek 2 (O2<sub>12</sub>), odsek 3 (O3<sub>12</sub>), odsek 4 (O4<sub>12</sub>), odsek 5 (O5<sub>12</sub>), odsek 6 (O6<sub>12</sub>), odsek 7 (O7<sub>12</sub>) i odsek 8 (O8<sub>12</sub>), na deonici 13, odsek 1 (O1<sub>13</sub>), odsek 2 (O2<sub>13</sub>) i odsek 3 (O3<sub>13</sub>). Ukupno je definisano i analizirano 13 deonica sa 49 odseka.

Samo testiranje modela zasnivalo se na poređenju stvarnog broja saobraćajnih nezgoda iz Baze podataka o saobraćajnim nezgodama, sa brojem nezgoda dobijenih modelom. U radu je korišćena Baza podataka o saobraćajnim nezgodama za vremenski period od dve godine (2015-2016), kao i tehničko-eksploatacione i saobraćajne karakteristike deonica i odseka za iste godine. Svi navedeni podaci obrađivani su i dobijeni iz Baza podataka Javnog Preduzeća „Putevi Srbije“.

Nakon toga u radu je izvršena linearna regresiona i korelaciona analiza kako bi se utvrdila zavisnost broja saobraćajnih nezgoda i određenih parametara uticaja. Kao zavisna promenljiva u analizi, izabran je ukupan broj saobraćajnih nezgoda po kilometru deonice, dok su za nezavisne promenljive uzeti: prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS), procenat komercijalnih vozila (%KV), uzdužni nagib (UN)<sup>3</sup>, dužina deonice u kilometrima i širina kolovoza u metrima.

### 4. TESTIRANI MODELI

<sup>3</sup> S obzirom da se deonice sa uzdužnim nagibima manjim od 3% smatraju za deonice bez kritičnog uzdužnog nagiba, u analizu su uključene deonice sa uzdužnim nagibima većim od 3%. Takvih deonica je bilo tri, pa rezultate dobijene ovom analizom treba prihvatiti sa oprezom

Modeli predikcije prikazani u nastavku, birani su tako da obuhvate sve karakteristike koje su od važnosti za naše područje, odnosno da pored baznih promenljivih obuhvataju i: broj pristupa, broj raskrsnica, procenat prekoračenja brzine, prosečnu brzinu kretanja, stepen istrošenosti kolovoza, procenat teretnih vozila itd. S obzirom da jedan model ne sadrži sve navedene pokazatelje, birani su pojedinačni modeli u kojima figuriše neka od pomenutih karakteristika. Takođe su birani najaktuelniji modeli sa različitih područja (Euromodel razvijen za evropske zemlje i HSM model razvijen prvenstveno za područje Amerike) kako bi se istakle razlike i utvrdile potencijalne prednosti primene na lokalnom nivou.

Prvi model (M1), razvijen je od strane (Geedipally, Patil and Lord, 2010) za Minesotu i u sebi pored standardnih tehničko-eksploatacionih karakteristika puta sadrži i parametar koji ukazuje na procenat teretnih vozila u toku. Model ima sledeći oblik:

$$\mu_i = \beta_0 L_i F_i^{\beta_1} e^{(\beta_2 tperc + \beta_3 lanew_i + \beta_4 shouldw_i)} \quad (1)$$

gde su:

$\mu_i$  – Predviđen ukupan broj saobraćajnih nezgoda po godini na odseku,  
 $L_i$  – Dužina odseka u miljama,  
 $F_i$  – PGDS na odseku (vozila/dan),  
 $tperc$  – Procenat teretnih vozila u toku (%),  
 $lanew_i$  – Širina saobraćajne trake na odseku u stopama,  
 $shouldw_i$  – Širina bankine na odseku u stopama,  
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  – Kalibracioni faktori.

Model (M2) razvili su Zegeer i saradnici, (1988) i on pored PGDS-a, kao glavne promenljive sadrži niz parametara koji se odnose na putne i karakteristike okruženja.

$$N = 0.0019 * PGDS^{0.8545} * 0.8927^W * 0.9192^{PA} * 0.9316^{UP} * 1.2365^H * 0.8182^{TER1} * 1.2779^{TER2} \quad (2)$$

gde su:

$N$  – Predviđen godišnji broj nezgoda po milji na odseku,  
 $W$  – Širina saobraćajne trake u stopama,  
 $PA$  – Asfaltirana širina bankine u stopama,  
 $UP$  – Neasfaltirana širina bankine u stopama,  
 $H$  – Koeficijent opasnosti okoline,  
 $TER1, TER2$  – Faktori koji određuju karakteristiku terena (ravničarski ili brdovit).

Naredni model (M3), rađen je za područje Alabame, koga su razvili (Mehta and Lou, 2013). Dosta je sličan modelu M1, s tim što on u sebi ne uključuje procenat teretnih vozila.

$$\mu_i = AADT_i^{\beta_3} * SL_i * e^{(\beta_0 + \beta_1 * SW_i + \beta_2 * LW_i)} \quad (3)$$

gde su:

$\mu_i$  – Predviđen godišnji broj nezgoda na odseku,  
 $AADT$  – PGDS (vozila/dan),  
 $SL_i$  – Dužina odseka u miljama,  
 $SW_i$  – Širina bankine na odseku u stopama,  
 $LW_i$  – Širina saobraćajne trake na odseku u stopama,  
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  – Kalibracioni faktori.

Model (M4) je uopšten model preuzet iz HSM-a, koji koristi određene kalibracione faktore kako bi se prilagodio za lokalne uslove. Ovaj model se sastoji iz nekoliko delova, prvi deo (opšti model) ima sledeći oblik:

$$N_{predicted\ rs} = N_{spf\ rs} * C_r * (CMF_{1r} * CMF_{2r} * ... * CMF_{12r}) \quad (4)$$

$N_{spf\ rs}$  je prosečan broj saobraćajnih nezgoda za bazne uslove. Ovaj broj se računa prema sledećoj jednačini:

$$N_{spf\ rs} = AADT * L * 365 * 10^{-6} * e^{(-0,312)} \quad (5)$$

gde su:

$N_{\text{predicted rs}}$  - predviđen prosečan broj saobraćajnih nezgoda za pojedinačnu deonicu puta za određenu godinu,  
 $N_{\text{spf rs}}$  - Predviđen prosečan broj saobraćajnih nezgoda za bazne uslove deonice puta,  
 $C_r$  - Kalibracioni faktor za deonice specifičnog tipa koji je razvijen za pojedina mesta ili geografske oblasti,  
 $CMF_{1r} \dots CMF_{12r}$  - Korekcionni faktori saobraćajnih nezgoda za vangradske dvotračne dvosmerne deonice,  
 $AADT$  - Prosečan godišnji dnevni saobraćaj (vozila na dan);  
 $L$  - Dužina odseka u miljama.

U ovom radu korišćeni su kalibracioni faktori za širinu saobraćajne trake, širinu bankine, procenat uzdužnog nagiba, broj pristupa i opasnost okruženja puta, gde se svaki od njih računa na poseban način. Ostali faktori nisu uzeti u obzir usled nedostatka podataka.

Naredni model (M5) su razvili Bonneson, Zimmerman i Fitzpartick, (2005) i on, za razliku od ostalih, u sebi sadrži i broj raskrsnica i ograničenje brzine na odseku. Model je oblika:

$$N = 0.001547 * ADT^{0.868} * L^{0.8157} * e^{(-0.0787*W_1 - 0.0108*V + 0.0601*N_i - 0.021*2W_s)} \quad (6)$$

gde su:

$N$  – Predviđen godišnji broj nezgoda na odseku,  
 $ADT$  – Prosečan dnevni saobraćaj, broj vozila/dan,  
 $L$  – Dužina odseka u miljama,  
 $W_1$  – Širina saobraćajne trake na odseku u stopama,  
 $V$  – Ograničenje brzine na odseku u miljama po času,  
 $N_i$  – Broj raskrsnica na odseku puta,  
 $W_s$  – Širina bankine (asfaltirane ili neasfaltirane) na odseku u stopama.

Model (M6) razvijen je za evropsko područje (Baruya, 1998) i on koristi podatke o saobraćajnim nezgodama, tehničko-eksploatacione karakteristike puta, saobraćajne i karakteristike okruženja iz Švedske, Holandije i Ujedinjenog Kraljevstva kao bazne vrednosti. Važni pokazatelji u ovom modelu koji se izdvajaju su: procenat prekoračenja brzine, prosečna brzina i broj pristupa. Ove dve vrednosti su svakako veoma važne s obzirom da je na našim putevima veliki procenat prekoračenja brzine i veliki broj nelegalno izgrađenih pristupa, pa bi ove karakteristike trebalo uključiti u lokalni model. Pomenuti model je oblika:

$$AF = 5.663Q^{0.748} L^{0.847} V^{-2.492} P^{0.114} e^{0.038NJ - 0.056W + 0.023S} \quad (7)$$

gde su:

$AF$  - Predviđeni broj saobraćajnih nezgoda po godini na odseku,  
 $Q$  – PGDS (vozila/dan),  
 $L$  - Dužina odseka(km),  
 $V$  - Prosečna brzina,  
 $P$  - Procenat vozača koji su prekoračili ograničenje brzine (%),  
 $NJ$  - Broj raskrsnica na odseku,  
 $W$  – Širina puta,  
 $S$  - Ograničenje brzine (km/h).

Model (M7), odnosi se na predikciju saobraćajnih nezgoda u odnosu na PGDS i stanje kolovoza, odnosno istrošenost kolovoza (IRI). Ovaj model je razvijen od strane (Grand and Report, 2009) i ima sledeći oblik:

$$E(a) = e^{a+b \ln(AADT)+cX} \quad (8)$$

gde su:

$E(a)$  – Predviđen broj nezgoda po godini na 0.1 milju,  
 $AADT$  – PGDS (vozila/dan),  
 $X$  – Promenljiva koja reprezentuje trošenje kolovoza,  
 $a, b, c$  – Koeficijenti regresije.

Model (M8), su za teritoriju Jute prilagodili (Brimley, Saito and Schultz, 2012), a po ugledu na bazni model u HSM-u. Novina u ovom modelu su parametri koji se odnose na mogućnost ili nemogućnost preticanja. Model ima sledeći oblik:

$$N = e^{(-7.17+0.0003AADT+0.423L-1.51NP-0.0812ODP-0.0219CT+0.0938SPEED)} \quad (9)$$

gde su:

N – Predviđen godišnji broj nezgoda na odseku,

AADT – PGDS (vozila/dan),

L – Dužina odseka u miljama,

NP, ODP – Faktori kojima se definiše nepostojanje ili postojanje mogućnosti preticanja,

CT – Procenat teretnih vozila svih vrsta,

SPEED – Ograničenje brzine u miljama po času.

Poslednji model (M9) razvijen od strane (Hadi and Aruldas, 1995b) predviđa broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim za vremenski period od četiri godine na analiziranom odseku ili deonici. Model ima oblik:

$$N = e^{(-10.72+0.8157Llen+0.8681Ladt -0.0787Lw-0.0108Sp+0.0601Is-0.021Ts)} \quad (10)$$

gde su:

N – Ukupan predviđen broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim na odseku za četiri godine,

Llen – Log(1000L), gde je L dužina deonice u miljama,

Ladt – Log(AADT),

Lw – Širina saobraćajne trake u stopama,

Sp – Ograničenje brzine (mph),

Is – Broj raskrsnica,

Ts – Širina bankine u stopama.

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazan je odnos stvarnog broja saobraćajnih nezgoda na analiziranim odsecima za 2015. i 2016. godinu sa brojem nezgoda dobijenih putem modela.

Tabela 1. Odnos broja nezgoda dobijenih po modelu i stvarnog broja saobraćajnih nezgoda po godini na odseku

Odsek	SN/god/odseku		M1		M3		M4		M5		M6 <sup>4</sup>		M8	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
O1 <sub>1</sub>	x	2	x	1.14	x	2.81	x	1.95	x	0.75	x	0.92	x	0.77
O2 <sub>1</sub>	x	4	x	0.78	x	1.92	x	1.24	x	0.55	x	0.67	x	0.69
O3 <sub>1</sub>	x	4	x	0.76	x	1.80	x	0.91	x	0.44	x	0.42	x	0.62
O1 <sub>2</sub>	x	2	x	0.40	x	1.11	x	0.61	x	1.75	x	0.91	x	0.20
O2 <sub>2</sub>	x	2	x	1.02	x	2.73	x	1.52	x	3.71	x	1.99	x	0.23
O3 <sub>2</sub>	x	2	x	0.28	x	4.80	x	1.69	x	1.99	x	1.60	x	0.24
O4 <sub>2</sub>	6	4	3.27	3.50	8.53	9.02	4.85	5.15	9.54	10.05	6.18	5.54	0.32	0.37
O5 <sub>2</sub>	2	3	2.10	2.25	5.48	5.80	3.11	2.89	6.65	7.01	4.25	3.81	1.04	1.22
O6 <sub>2</sub>	3	x	1.81	x	5.05	x	2.43	x	5.98	x	3.86	x	0.99	x
O7 <sub>2</sub>	x	3	x	0.38	x	4.46	x	1.72	x	2.33	x	1.73	x	0.24
O8 <sub>2</sub>	3	4	0.49	0.52	5.82	6.15	2.10	2.23	2.88	3.03	2.53	2.27	0.22	0.26
O9 <sub>2</sub>	3	3	0.82	0.88	9.76	10.32	3.76	3.49	4.39	4.62	3.92	3.52	0.27	0.32
O1 <sub>3</sub>	8	5	1.52	1.38	3.72	3.38	2.31	1.95	1.09	0.99	1.36	1.16	8.08	5.25
O2 <sub>3</sub>	5	4	1.92	1.74	4.71	4.28	2.73	2.64	1.31	1.20	1.66	1.42	7.92	5.14
O3 <sub>3</sub>	3	x	0.34	x	0.83	x	0.56	x	0.32	x	0.30	x	6.75	x
O4 <sub>3</sub>	3	x	0.09	x	0.94	x	0.39	x	0.15	x	0.24	x	6.16	x
O1 <sub>4</sub>	10	6	11.22	11.64	16.00	16.34	12.47	12.75	4.63	4.72	5.10	5.59	5.37	5.77
O2 <sub>4</sub>	2	3	3.09	3.21	4.41	4.50	3.67	3.75	1.62	1.65	1.71	1.87	1.22	1.31
O3 <sub>4</sub>	x	3	x	1.87	x	2.62	x	2.05	x	1.06	x	1.19	x	0.95
O1 <sub>5</sub>	9	7	3.65	4.12	5.09	5.29	5.34	5.55	3.87	4.01	1.63	1.75	0.09	0.12

<sup>4</sup> Na deonici Merošina – Prokuplje nije bilo moguće primeniti model, jer on u sebi sadrži parametar % prekoračenja brzine, koji se nije mogao utvrditi jer na deonici ne postoji automatski brojač saobraćaja

Odsek	SN/god/odseku		M1		M3		M4		M5		M6 <sup>4</sup>		M8	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
O2 <sub>5</sub>	x	4	x	1.60	x	1.62	x	1.56	x	1.75	x	0.70	x	0.02
O3 <sub>5</sub>	3	x	0.48	x	0.54	x	0.70	x	0.80	x	0.35	x	0.06	x
O4 <sub>5</sub>	7	5	4.61	5.19	5.07	5.26	5.35	5.56	4.42	4.58	1.77	1.90	0.10	0.12
O1 <sub>6</sub>	3	2	1.32	1.43	3.04	3.19	1.68	1.76	0.75	0.78	0.72	0.80	0.80	0.95
O2 <sub>6</sub>	2	x	0.17	x	0.46	x	0.24	x	0.14	x	0.14	x	0.64	x
O1 <sub>7</sub>	x	3	x	2.33	x	3.47	x	2.49	x	1.21	x	0.67	x	0.15
O2 <sub>7</sub>	4	3	1.83	2.04	2.86	3.03	2.04	2.03	1.03	1.08	0.55	0.59	0.03	0.03
O1 <sub>8</sub>	x	5	x	0.62	x	5.69	x	3.37	x	0.95	x	1.28	x	0.39
O1 <sub>9</sub>	4	2	1.92	1.99	3.26	3.37	2.03	2.10	1.98	2.04	1.30	1.32	0.20	0.21
O2 <sub>9</sub>	3	x	1.21	x	1.85	x	1.22	x	1.33	x	0.83	x	0.15	x
O1 <sub>10</sub>	2	4	1.56	1.51	4.09	3.93	2.64	2.55	1.06	1.02	0.86	0.86	0.76	0.68
O1 <sub>11</sub>	6	3	4.05	3.95	8.80	8.57	5.47	4.65	4.77	4.65	3.24	3.03	1.43	1.29
O2 <sub>11</sub>	3	2	1.13	1.11	2.47	2.40	1.43	1.49	1.69	1.65	1.10	1.03	1.01	0.91
O3 <sub>11</sub>	5	2	6.11	5.97	13.30	12.94	8.84	7.51	6.68	6.51	4.59	4.29	0.44	0.40
O4 <sub>11</sub>	3	x	2.77	x	6.02	x	3.75	x	3.50	x	2.35	x	0.30	x
O5 <sub>11</sub>	3	x	2.31	x	5.02	x	2.73	x	3.02	x	2.01	x	1.17	x
O6 <sub>11</sub>	x	3	x	2.91	x	6.31	x	4.19	x	3.63	x	2.34	x	0.25
O7 <sub>11</sub>	3	x	4.33	x	9.42	x	5.86	x	5.04	x	3.43	x	0.33	x
O1 <sub>12</sub>	x	3	x	5.52	x	11.06	x	7.04	x	7.92	x	4.92	x	0.18
O2 <sub>12</sub>	x	2	x	3.40	x	6.81	x	4.63	x	5.33	x	3.26	x	0.13
O3 <sub>12</sub>	3	7	6.71	7.21	14.71	15.63	8.66	9.25	10.12	10.72	7.01	7.35	0.32	0.36
O4 <sub>12</sub>	x	5	x	2.23	x	4.84	x	3.27	x	4.12	x	2.72	x	0.10
O5 <sub>12</sub>	x	3	x	1.75	x	3.80	x	2.10	x	3.38	x	2.22	x	0.09
O6 <sub>12</sub>	x	3	x	2.57	x	5.57	x	3.52	x	4.62	x	3.07	x	0.12
O7 <sub>12</sub>	5	6	7.64	8.21	16.76	17.81	10.55	12.04	11.26	11.92	7.83	8.21	0.41	0.46
O8 <sub>12</sub>	2	5	3.24	3.49	5.55	5.89	4.14	4.42	4.94	5.23	2.93	3.08	0.10	0.11
O1 <sub>13</sub>	3	x	0.49	x	1.76	x	0.97	x	0.35	x	x	x	0.38	x
O2 <sub>13</sub>	3	3	0.20	0.21	0.73	0.79	0.45	0.49	0.19	0.21	x	x	0.32	0.36
O3 <sub>13</sub>	x	3	x	0.38	x	1.37	x	0.76	x	0.29	x	x	x	0.37

x – Odseci na kojima nije bilo saobraćajnih nezgoda u definisanom vremenskom periodu

Posmatrajući tabelu 1, iz daljeg razmatranja može se isključiti model M8 zbog relativno male osetljivosti na promenu ulaznih parametara. Takođe se iz analize mogu isključiti i modeli M4 i M6 jer pokazuju znatno manji broj približnih vrednosti u odnosu na ostale modele, za obe godine.

Svi ostali modeli (M1, M3 i M5) su u određenoj meri dali približne vrednosti nezgoda stvarnom broju. Takav rezultat je bio očekivan s obzirom da modeli nisu razvijeni niti kalibrisani za područje Srbije, pa se nije mogla ni očekivati značajna preciznost.

Ono što je važno napomenuti je da je od tri navedena modela, model M3 za najveći broj odseka dao vrednosti koje su najpribližnije realnim vrednostima. Ako se struktura ovog modela uporedi sa strukturom preostala dva, uočava se zapravo da u svakom modelu postoji set standardnih parametara: PGDS, dužina odseka, širina saobraćajne trake i širina bankine na odseku. Jedina razlika je što model M1 sadrži procenat teretnih vozila u toku, a model M5 sadrži ograničenje brzine i broj raskrsnica na odseku. Gledajući sa tog aspekta dodatni parametri nisu učinili značajnu razliku u smislu tačnosti i preciznosti modela, odnosno model koji je imao najprostiju strukturu, dao je najbolje rezultate. Ovaj zaključak je u koliziji sa stavom da preciznost i tačnost modela raste sa brojem parametara koji figurišu u njemu, pa se u konkretnom slučaju to ne može tvrditi.

Razlog preciznosti modela može se tražiti u vrednostima korekcionih faktora i načinu na koji su oni uklopljeni u formulu. Može se pretpostaviti da su upravo te vrednosti faktora i takav oblik modela odgovarajući uslovima u kojima je model primenjen. Na osnovu toga, preporuka je da se pri kalibraciji modela za primenu u lokalnim

uslovima detaljno analizira i testira model M3 i ispita uticaj i međuzavisnost baznih parametara na nastanak saobraćajnih nezgoda.

U tabeli 2, radi jednostavnosti, zasebno su prikazani rezultati predikcije saobraćajnih nezgoda po kilometru odseka u odnosu na stvarni broj nezgoda, takođe za 2015. i 2016. godinu.

Tabela 2. Odnos broja nezgoda dobijenih po modelu i stvarnog broja nezgoda po godini po kilometru odseka

Odsek	SN/km/god		M2	
	2015	2016	2015	2016
O1 <sub>1</sub>	x	1.47	x	0.63
O2 <sub>1</sub>	x	4.33	x	0.51
O3 <sub>1</sub>	x	7.41	x	0.90
O1 <sub>2</sub>	x	6.35	x	2.03
O2 <sub>2</sub>	x	2.56	x	2.07
O3 <sub>2</sub>	x	2.30	x	0.74
O4 <sub>2</sub>	2.30	1.53	2.00	2.11
O5 <sub>2</sub>	1.19	1.79	2.00	1.38
O6 <sub>2</sub>	1.98	x	1.26	x
O7 <sub>2</sub>	x	3.39	x	0.91
O8 <sub>2</sub>	2.45	3.27	0.70	0.74
O9 <sub>2</sub>	1.46	1.46	0.87	0.60
O1 <sub>3</sub>	9.08	5.68	1.04	0.77
O2 <sub>3</sub>	4.49	3.59	0.84	0.95
O3 <sub>3</sub>	15.31	x	1.04	x
O4 <sub>3</sub>	19.48	x	0.30	x
O1 <sub>4</sub>	1.22	0.73	0.57	0.58
O2 <sub>4</sub>	0.89	1.33	0.70	0.71
O3 <sub>4</sub>	x	2.28	x	0.58
O1 <sub>5</sub>	4.81	3.74	2.86	2.96
O2 <sub>5</sub>	x	6.57	x	3.37
O3 <sub>5</sub>	10.42	x	2.58	x
O4 <sub>5</sub>	3.54	2.53	3.25	3.37
O1 <sub>6</sub>	3.08	2.05	0.92	0.96
O2 <sub>6</sub>	14.18	x	0.84	x
O1 <sub>7</sub>	x	2.37	x	1.11
O2 <sub>7</sub>	3.61	2.71	1.06	0.90
O1 <sub>8</sub>	x	3.31	x	0.84
O1 <sub>9</sub>	2.72	1.36	0.76	0.79
O2 <sub>9</sub>	3.50	x	0.81	x
O1 <sub>10</sub>	1.87	3.74	2.31	2.23
O1 <sub>11</sub>	3.29	1.64	3.10	1.98
O2 <sub>11</sub>	5.87	3.91	2.51	3.02
O3 <sub>11</sub>	1.81	0.73	3.83	2.45
O4 <sub>11</sub>	2.40	x	3.10	x
O5 <sub>11</sub>	2.88	x	2.03	x
O6 <sub>11</sub>	x	2.23	x	3.74
O7 <sub>11</sub>	1.54	x	3.10	x
O1 <sub>12</sub>	x	0.72	x	2.44
O2 <sub>12</sub>	x	0.78	x	3.02
O3 <sub>12</sub>	0.44	1.03	1.60	1.70
O4 <sub>12</sub>	x	2.38	x	2.59
O5 <sub>12</sub>	x	1.82	x	1.37
O6 <sub>12</sub>	x	1.24	x	2.09



Odsek	SN/km/god		M2	
	2015	2016	2015	2016
O7 <sub>12</sub>	0.65	0.77	1.98	2.59
O8 <sub>12</sub>	0.86	2.16	3.13	3.31
O1 <sub>13</sub>	3.79	x	1.05	x
O2 <sub>13</sub>	6.64	6.64	0.83	0.89
O3 <sub>13</sub>	x	5.22	x	1.12

Iz tabele 2 može se uočiti da model M2 u određenoj meri prati promene odseka i njihovih karakteristika, nešto više za 2016. nego za 2015. godinu. Takođe je važno napomenuti da, iako su ovakvi rezultati očekivani, nije bilo očekivano tako izrazito odstupanje od realnih vrednosti za 2015. godinu, posebno ako se obrati pažnja na činjenicu da ovaj model, po strukturi, najviše uzima u obzir karakteristike puta i okruženja. Navedeni model je rađen u periodu 80-ih godina prošlog veka, pa bi trebalo imati u vidu da je za njegovu primenu potrebno potpuno modifikovati i kalibrisati vrednosti parametara kako bi se one prilagodile današnjim vrednostima PGDS-a i okruženju puta, s obzirom da su to dve varijable koje su se od tada najviše izmenile.

U tabeli 3 date su vrednosti testiranog modela M7 i stvarne vrednosti saobraćajnih nezgoda po kilometru deonice. Ovakav prikaz rezultata izabran je jer su vrednosti stepena istrošenosti kolovoza bile dostupne samo za celu deonicu, a ne za pojedinačne odseke. To je ujedno i jedan od nedostataka istraživanja, jer je uzimana uopštena vrednost ovog koeficijenta. Poznato je da kolovoz ne mora imati isti stepen istrošenosti na različitim delovima jedne iste deonice. Iz tog razloga su autori ovog modela definisali predviđanje nezgoda na 0.1 milju, jer su smatrali da je to minimalno rastojanje na kome je potrebno pratiti stepen istrošenosti kolovoza.

Tabela 3. Odnos broja nezgoda dobijenih po modelu i stvarnog broja nezgoda po godini po kilometru deonice

Deonica	SN/km/deonice		M7	
	2015	2016	2015	2016
D1	x	1.80	x	7.63
D2	1.39	1.73	8.28	8.62
D3	6.86	3.74	12.31	11.48
D4	1.28	1.20	7.90	8.02
D5	2.53	2.53	8.15	8.38
D6	1.51	1.25	8.33	8.64
D7	0.87	0.91	7.70	8.03
D8	x	1.17	x	9.04
D9	1.20	0.96	6.62	6.79
D10	1.50	2.26	9.31	9.03
D11	1.97	1.25	11.18	10.96
D12	0.33	0.92	6.35	6.64
D13	0.93	1.10	5.82	6.12

Iz tabele 3 može se uočiti da ni model M7 nema izrazitu osetljivost na promenu karakteristika deonice. Posebno je važno napomenuti da bi primena ovog modela u našim uslovima zahtevala detaljnije podatke o stepenu istrošenosti kolovoza, kao i dodavanje baznih parametara u model kao što su: dužina deonice, širina saobraćajne trake i širina bankine. Jedna od slabosti ovog modela je upravo nedostatak navedenih baznih parametara koji u najvećoj meri, pored PGDS-a, utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda.

Rezultati modela M9 nisu prikazani u ovom radu, jer su sve dobijene vrednosti saobraćajnih nezgoda sa povređenim manje od 0.01 saobraćajnih nezgoda na odseku za četiri godine zbirno, što samo ukazuje na neupotrebljivost ovog modela u našim uslovima.

Sa ciljem utvrđivanja međuzavisnosti baznih parametara sa brojem saobraćajnih nezgoda po kilometru deonice, u radu je sprovedena linearna regresiona i korelaciona analiza. Rezultati su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Veza i značajnost ispitivanih parametara sa saobraćajnim nezgodama

Parametar	r	p	R <sup>2</sup>
<b>PGDS</b>	0.757	0.008	0.573
<b>% KV</b>	-0.214	0.300	0.046
<b>UN</b>	-0.246	0.388	0.061
<b>Dužina</b>	-0.424	0.428	0.180
<b>ŠK</b>	0.205	0.279	0.042

Iz tabele 4 može se uočiti da je broj saobraćajnih nezgoda po kilometru godišnje linearno zavistan samo od PGDS-a, odnosno broj nezgoda proporcionalno raste sa porastom PGDS-a. U prilog tome ide i činjenica da je rezultat statistički značajan sa 95%-tnim intervalom poverenja. Ostale vrednosti nisu statistički značajne, odnosno nemaju linearnu zavisnost sa saobraćajnim nezgodama. Dobijeni rezultati ukazuju na to da je potrebno izvršiti detaljniju analizu zavisnosti čime bi se ispitao neki drugi oblik veze (eksponencijalna, logaritamska, kvadratna ili funkcije višeg stepena). U slučaju da se ni tada ne otkrije povezanost, trebalo bi uključiti i druge parametre u model i ispitati njihov uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda.

## 6. SMERNICE I PREPORUKE

Razvoj sopstvenog modela predikcije predstavlja veliki izazov imajući u vodu činjenicu da zahteva velika novčana i resursna ulaganja, podršku različitih sektora, dostupnost velikog broja podataka, dosta truda i uloženog vremena. Iz tog razloga su najrazvijenije zemlje prve koje su počele sa razvojem istih, shvativši da su koristi koje sam model pruža mnogostuko veće nego sva inicijalna ulaganja u njegovu izradu.

Prilikom izrade domaćeg modela veliku pažnju treba posvetiti izboru nezavisnih promenljivih, jer one određuju model i njegovu tačnost. U tome važnu ulogu imaju dubinske analize saobraćajnih nezgoda i kvalitetno sprovođenje uviđaja pomoću kojih bi se tačno definisao uzrok nezgoda. Potrebna je međusobna saradnja različitih sektora (policije, zdravstvenih ustanova, naučno-obrazovnih ustanova, političkih predstavnika itd.) kako bi se obezbedila dostupnost svih potrebnih podataka. Prvi korak u tehničkom smislu je izrada integrisane baze podataka, odnosno objedinjene baze podataka o svim obeležjima saobraćajnih nezgoda i karakteristikama puta i okruženja. Nakon toga vrši se izdvajanje najuticajnijih promenljivih (jer se svakako ne mogu uključiti svi uticajni faktori) i njihova kalibracija za različite uslove.

Prilikom razvoja modela predikcije saobraćajnih nezgoda, prvi korak treba da predstavlja analiza inostranih modela, poput prikazanog modela M3. Način na koji su uvezane nezavisno promenljive, njihova vrsta, značaj i težina korekcionih faktora svakako se mogu iskoristiti kao početni primer.

Na samom početku treba ispitati uticaj PGDS-a i njegovo variranje na nastanak saobraćajnih nezgoda s obzirom da je to parametar koji je prepoznat kao jedan od osnovnih u najvećem broju modela. Takođe je važno izvršiti analize uticaja karakteristika puta na nastanak saobraćajnih nezgoda, posebno radijusa horizontalnih krivina, podužnih i poprečnih nagiba, širine kolovoza ili saobraćajnih traka, širine bankina itd. Poseban akcenat bi trebalo staviti na okruženje puta s obzirom da je i to jedan od faktora koji je prepoznat kao uzročnik saobraćajnih nezgoda.

Veoma je bitno napomenuti da se prvi model ne treba opterećivati velikim brojem promenljivih i dodatno usložnjavati. Na početku je važno napraviti funkcionalan model sa ciljanom preciznošću i tačnošću. U ovom radu je i pokazano da složenost ne znači i efikasnost. Zbog toga je preporuka da se prvi model zasniva na baznim pokazateljima: PGDS i geometrijske karakteristike puta. Sa tim u vezi je najbolje izabrati deonice autoputa kao test područja, jer su to ujedno i lokacije koje su konstruisane tako da nemaju izrazitih promena u profilu, što bi značajno moglo da olakša rad. Onog trenutka kada se model usavrši i postigne željena preciznost, može se preći na njegovu primenu na ostalim putevima u mreži. Sam proces prenošenja modela sa autoputa na puteve nižeg ranga bi zahtevao određeno prilagođavanje odnosno kalibraciju, jer su i uslovi različiti.

U kalibraciji i izradi modela za vangradske puteve svakako bi trebalo uključiti broj pristupa i raskrsnica, kao što je prikazano u nekoliko testiranih modela. Kada je reč o raskrsnicama posebno ih treba razdvojiti po tipovima i za svaki tip (trokrake, četvorokrake, kružne itd.) definisati model. Za lokalne uslove veoma je važno u proračun uključiti procenat prekoračenja brzine i prosečnu brzinu kretanja, jer su to dva faktora koji su česti uzročnici

saobraćajnih nezgoda. Stepenn istrošenosti kolovoza je takođe bitan parametar i trebalo bi ga detaljnije ispitati posebno jer postoji mogućnost za njegovo merenje.

Nešto sofisticiraniji modeli mogu da sadrže i faktore kojima se definiše osvetljenost puta, postojanje razdelnih ostrva, dodatnih traka za preticanje, preglednost (*Highway Safety Manual*, 2014), faktore vremenskih uslova, faktore ponašanja vozača itd. a sve u zavisnosti od definisane situacije ili problema.

## 7. ZAKLJUČAK

Važan deo u definisanju saobraćajne i ekonomske opravdanosti ulaganja u izgranj u ili rekonstrukciju određenog puta predstavlja analiza ekonomskih koristi od smanjenja saobraćajnih nezgoda u budućnosti. Da bi se utvrdio broj nezgoda u budućem periodu koriste se modeli predikcije saobraćajnih nezgoda. Imajući to u vidu cilj ovog rada zasniva se na testiranju nekoliko inostranih modela radi sagledavanja njihovih prednosti i nedostataka. Na osnovu dobijenih saznanja date su smernice za izradu prvog domaćeg modela.

Testiranje je vršeno na 13 deonica, odnosno 49 odseka vangradskih, dvotračnih puteva, sa saobraćajnim nezgodama za 2015. i 2016. godinu. Ukupno je testirano 9 modela.

Statističkom analizom saobraćajnih nezgoda za 2015. i 2016. godinu utvrđeno je da je jedino PGDS imao linearnu zavisnost sa nezgodama, odnosno da je njihov broj rastao sa porastom protoka. Ostali parametri su se pokazali kao statistički nevažni, što samo pokazuje da je potrebno izvršiti ispitivanje nelinearne zavisnosti sa saobraćajnim nezgodama.

U skladu sa navedenim predloženo je da se inicijalni domaći model prvenstveno izradi za autoput i da kao nezavisne promenljive sadrži PGDS i osnovne karakteristike puta: širine saobraćajnih traka, širine bankina, radijuse horizontalnih krivina, poprečne i podužne nagibe i dužinu deonice. Model za vangradske puteve trebalo bi pored navedenih da sadrži i broj pristupa na deonici, broj raskrsnica, procenat prekoračenja brzine i prosečnu brzinu kretanja. U odnosu na specifične zahteve deonica ili okruženja modeli se jednostavnom kalibracijom mogu dalje prilagođavati prema potrebama. Kreiranjem novog modela za predikciju saobraćajnih nezgoda u lokalnim uslovima omogućile bi se preciznije saobraćajne i ekonomske analize varijantnih rešenja, a time i odabir racionalnijih i adekvatnijih projekata saobraćajne infrastrukture u budućnosti.

## 8. LITERATURA

- [1] Abuzwidah, M. (2014) *Traffic Safety Assessment of Different Toll Collection Systems on Expressways Using Multiple Analytical Techniques, Doctoral Dissertation.*
- [2] Abuzwidah, M., Abdel-Aty, M. and Ahmed, M. (2014) 'Safety Evaluation of Hybrid Main-Line Toll Plazas', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2435(September), pp. 53–60.
- [3] Baruya, A. (1998) 'Speed-accident relationships on European roads', *9th International Conference Road Safety in Europe*, 1, p. 19.
- [4] Bonneson, J., Zimmerman, K. and Fitzpatrick, K. (2005) *Synthesis of safe road design.*
- [5] Brimley, B., Saito, M. and Schultz, G. (2012) 'Calibration of Highway Safety Manual Safety Performance Function', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2279, pp. 82–89.
- [6] Geedipally, S. R., Patil, S. and Lord, D. (2010) 'Examination of Methods to Estimate Crash Counts by Collision Type', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2165, pp. 12–20.
- [7] Glavić, D. et al. (2016) 'Contribution to Accident Prediction Models Development for Rural Two-Lane Roads in Serbia Mark as interesting Comment', *Promet-Traffic & Transportation*, 28(4), pp. 415–424.
- [8] Grand, S. and Report, F. (2009) 'Effects of Asphalt Pavement Conditions on Traffic Accidents in Tennessee Utilizing Pavement Management System ( PMS )', *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, pp. 1–14.

- [9] Hadi, M. and Aruldas, J. (1995a) 'Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1500, pp. 169–177.
- [10] Hadi, M. and Aruldas, J. (1995b) 'Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 169–177.
- [11] *Highway Safety Manual* (2014) AASHTO.
- [12] Ivan, J. N., Wang, C. and Bernardo, N. R. (2000) 'Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure', *Accident Analysis and Prevention*, 32, pp. 787–795.
- [13] Jonsson, T., Ivan, J. and Zhang, C. (2007) 'Crash Prediction Models for Intersections on Rural Multilane Highways: Differences by Collision Type', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2019, pp. 91–98.
- [14] Kalokota, K. R. and Seneviratne, P. N. (1994) *Accident prediction models for Two-Lane Rural Highways*.
- [15] Kiattikomol, V. (2005) *Freeway crash prediction models for long-range urban transportation planning*, University of Tennessee, Knoxville.
- [16] Kumar, M. K. and Prasad, V. K. (2015) 'Driver Behavior Analysis and Prediction Models : a Survey', *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(4), pp. 3328–3333.
- [17] Lyon, C. et al. (2003) 'Empirical Investigation of Interactive Highway Safety Design Model Rural Intersections', *Transportation Research Record* 1840, (3), pp. 78–86.
- [18] Maycock, G. and Hall, R. D. (1984) *Accidents at 4-arm roundabouts*, *Transportation Research Laboratory Report 1120*.
- [19] Mehta, G. and Lou, Y. (2013) 'Calibration and Development of Safety Performance Functions for Alabama', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2398, pp. 75–82.
- [20] Montella, A., Colantuoni, L. and Lamberti, R. (2008) 'Crash Prediction Models for Rural Motorways', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2083, pp. 180–189.
- [21] Oh, J., Washington, S. P. and Nam, D. (2006) 'Accident prediction model for railway-highway interfaces', *Accident Analysis and Prevention*, 38(2), pp. 346–356.
- [22] Olmus, H. and Erbas, S. (2012) 'Analysis of Traffic Accidents Caused By Drivers By Using Log-Linear Models', *Traffic & Transportation*, 24(6), pp. 495–504.
- [23] Taylor, M. C., Baruya, A. and Kennedy, J. V. (2002) *The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads*.
- [24] Williamson, M. and Zhou, H. (2012) 'Develop Calibration Factors for Crash Prediction Models for Rural Two-Lane Roadways in Illinois', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, pp. 330–338.
- [25] Zegeer, C. V et al. (1988) 'Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2(1195), pp. 20–32.

## АНАЛИЗА ГЛАВНИХ УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА НА БРЗИНУ И ТРАЈЕКТОРИЈУ КРЕТАЊА ВОЗИЛА У ПУТНИМ КРИВИНАМА

**Доц. др Сања Фриц, дипл. грађ. инж.**

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, [sfritic@grf.bg.ac.rs](mailto:sfritic@grf.bg.ac.rs)

**В. проф. др Дејан Гавран, дипл. грађ. инж.**

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Истраживач-сарадник Владан Илић, мастер инж. грађ.**

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Асис. Филип Трпчевски, мастер инж. грађ.**

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, [ftrpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftrpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Асис. Стефан Врањевац, мастер инж. грађ.**

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Резиме:** Безбедност саобраћаја, као последица значајног броја саобраћајних незгода и изгубљених људских живота у њима, постала је један од најактуелнијих проблема данашњег савременог друштва. Како би се достигао, а потом и одржао континуирани опадајући тренд догађања саобраћајних незгода, неопходно је проблем безбедности посматрати са становишта интеракције возача, возила и околине. Већина досадашњих истраживања показала су да кључне информације из околине возачу пружа управо пут. Тако највећи утицај на возача, при доношењу одлуке о начину вожње и промени стања кретања возила, имају пре свега елементи ситуационог плана пута. У овом раду ће бити приказана синтеза домаћих и иностраних истраживања на тему главних утицајних фактора на брзину и трајекторију кретања возила у путним кривинама, са акцентом на анализи везе брзина – пројектни елементи пута, као једног од кључних параметара који утичу на безбедност и удобност вожње у целини.

**Кључне речи:** безбедност саобраћаја, радијус кривине, трајекторија кретања, пројектна брзина, очекивана брзина вожње, тренутна брзина

## ANALYSIS OF THE MAIN IMPACT FACTORS ON THE VEHICLE SPEED AND TRAJECTORY ON RURAL ROAD CURVES

**Abstract:** Road safety, due to a large number of accidents and casualties, has become one of the most important issues of modern society. To achieve and maintain a continuous descending trend of traffic accidents, it is necessary to study the safety problem from the point of interaction of driver, vehicle and the environment (roadway). Previous studies have shown that the most important information perceived by driver is provided by the road itself. Thus, the utmost effect on the driver, when making a decision about how to drive, is made by the elements of road horizontal alignment... This paper will present the synthesis of domestic and foreign research of the main influencing factors regarding vehicle speed and trajectory in horizontal curves, with emphasis on the analysis of the link between speed and road design elements, as one of the key parameters that affect road safety and ride comfort in total.

**Keywords:** road safety, curve radius, vehicle trajectory, design speed, operating speed, current speed

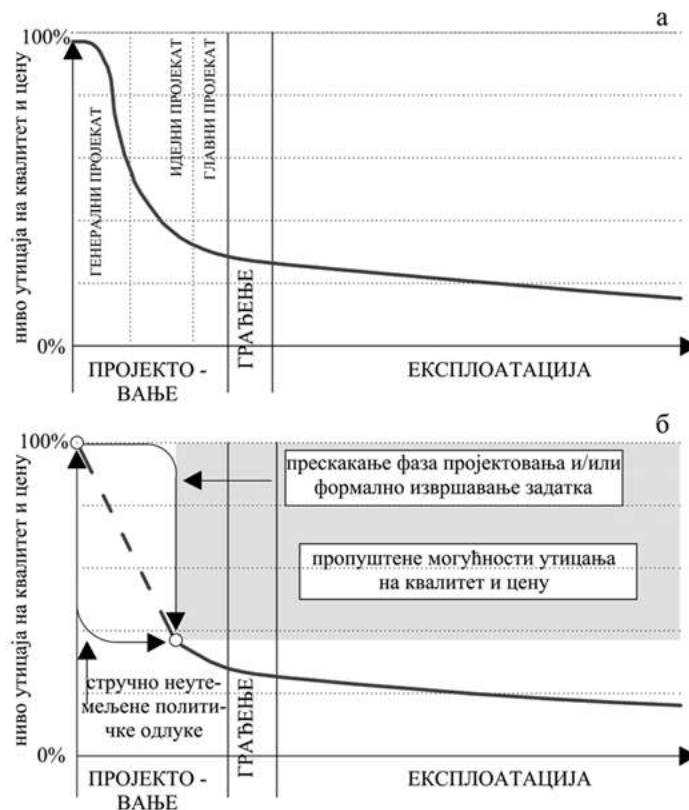
## 1. УВОД

Велики број људских жртава пре свега, као и велике материјалне штете, чине да безбедност саобраћаја полако постаје један од најактуелнијих проблема савременог друштва. Како би се обезбедио континуирани опадајући тренд дешавања саобраћајних незгода, неопходно је проблем безбедности разматрати на основу интеракције између возача, возила и инфраструктуре.

Аутомобил је значајно изменио живот сваког појединца, омогућивши му слободу кретања, али истовремено поставши симбол личног престижа свог власника. Квалитет живота човека у савременом друштву у значајној мери зависи управо од аутомобила.

Поред очигледних предности, коришћење аутомобила доноси и негативне последице, од којих су најзначајније: загађење животне средине, анагажовање драгоценог простора на дужи временски период и оно што је нарочито важно, саобраћајне незгоде [1]. Кључно питање је: Како укључити захтеве безбедности у процес планирања и пројектовања путева тако да се утицај пута на догађање саобраћајних незгода смањи и побољша безбедност саобраћаја у целини?

Исправан методолошки приступ процесу планирања и пројектовања путева у најранијим фазама пројектовања, омогућава ефикасно и континуално утицање на ниво квалитета пројекта и укупне трошкове грађења и експлоатације пута. Највећа, најалост и најчешћа грешка, у планирању и пројектовању путева јесте прескакање појединих фаза пројектовања и истовремено спровођење стручно неутемељених одлука (**Слика 1**), што често резултује неадекватним пројектним решењима која, по правилу, са собом носе значајне трошкове, како у фази грађења, тако и у фази експлоатације.



Слика 1. Ниво утицаја на квалитет и цену кроз фазе пројекта [1]

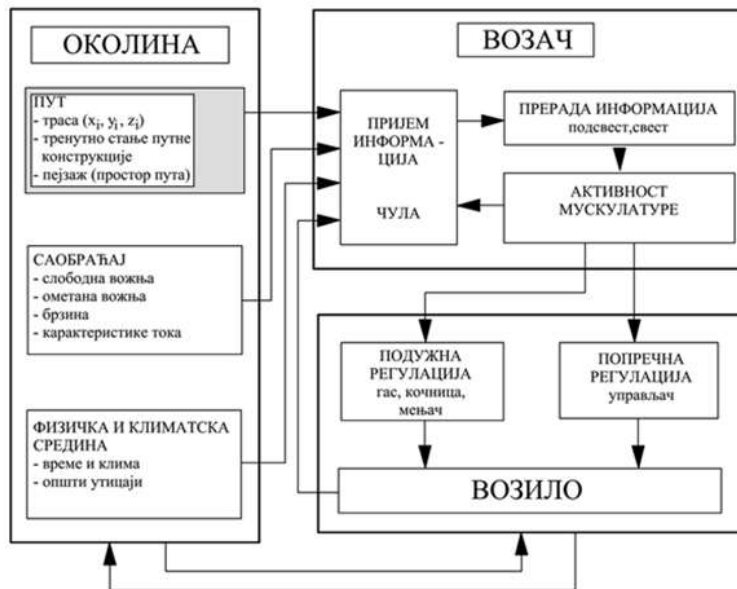
Већина досадашњих истраживања су показала да најважније информације из околине возачу пружа управо пут којим се креће у датом тренутку. Питање које из овога проистиче је у којој је мери управо пут узрочник догађања саобраћајне незгоде. Према истим истраживањима, највећи утицај на возача, када доноси одлуку о промени стања кретања возила, има постојећа геометрија пута.

Рад приказује анализу досадашњих истраживања главних утицајних параметара на реално вожену трајекторију у путним кривинама, као једног од основних елемената ситуационог плана ванградских путева.



## 2. СИСТЕМ ВОЗАЧ – ВОЗИЛО - ОКОЛИНА

У пројектовању путева, кључни проблем је како симулирати кретање возила на начин који ће довољно ефикасно описати реалне услове вожње, а у исто време бити и довољно једноставан за примену. У ову намену развијен је затворени кибернетички модел возач - возило - околина (Слика 2), који помаже да се у теоријском смислу на реалан начин прикажу стварне ситуације у вожњи.



Слика 2. Кибернетички систем возач – возило – околина [2]

Поред остваривања кретања ка жељеном циљу, возач истовремено има и кључну, управљачку улогу у функционисању целог система. Он прима информације из околине, обрађује их, и у складу са тим доноси одговарајућу одлуку и реагује у складу са том одлуком. Треба имати у виду да се способности возача да на прави начин реагује, временом мењају и да на њих утичу и године старости, стечено искуство, начин размишљања и сл. [3][4][5].

У систему В-В-О, возило представља објект управљања који, као последица донесених одлука управљача, заузима различите положаје у времену и простору. Најзначајније информације о стању система возач добија из целокупног простора који га окружује, односно из путног простора.

Утицај околине се различито дефинише у зависности од тога шта је предмет истраживања. Тако може обухватати низ различитих елемената који утичу на безбедност вожње па све до конкретизације на само одређени утицајни фактор, као што је, у овом раду, радијус путних кривина и брзина у тим кривинама. У условима слободног саобраћајног тока, са становишта грађевинских инжењера, може се сматрати да на понашање возача готово искључиво утичу информације о путу и путном простору које он током вожње добија.

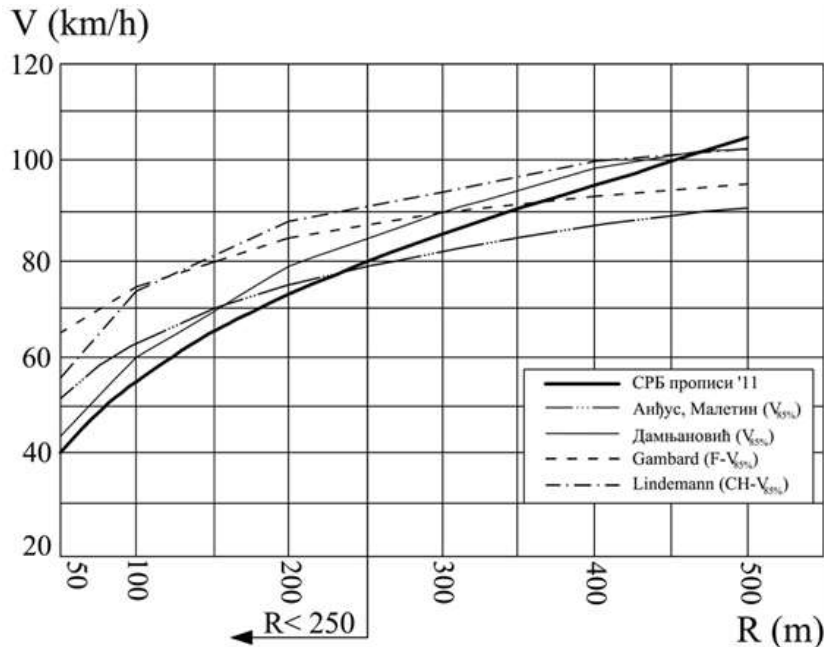
## 3. МЕРОДАВНЕ БРЗИНЕ У ПРОЈЕКТОВАЊУ ПУТЕВА

Брзина представља индикатор нивоа услуге пута али и основни показатељ при дефинисању трасе пута, димензионисању и вредновању пројектних решења. Такође, она представља и полазни елемент у дефинисању и димензионисању попречног профила пута.

Критеријуми за дефинисање сигурности и удобности вожње у условима слободног саобраћајног тока такође су у функцији брзине. У складу са тим, она представља и један од водећих узрочника догађања саобраћајних незгода на ванградским путевима.

Проблем меродавних брзина у пројектовању путева везан је пре свега за возно-динамичке анализе траса. Оне имају одлучујућу улогу у оцени квалитета одређеног пројектног решења и представљају његову прву проверу са становишта удобности и безбедности вожње.

Процес возно-динамичког оцењивања трасе пута заснива се на одређивању промене брзине у функцији примењених елемената плана и профила пута и саобраћајног оптерећења за дати ниво услуге. Нека од најважнијих истраживања теоријских зависности брзине од примењених елемената пута везана су за крај педесетих и почетак шездесетих година двадесетог века у Европи. Када су у питању наведена истраживања, углавном је већина њих везана за зависност брзине од примењених радијуса кривина у ситуационом плану (**Слика 3**).



**Слика 3.** Зависност брзине возње од радијуса кривине - компарација истраживања [2]

Резултати истраживања показали су недвосмислено да постоји сличност добијених резултата, без обзира на земљу у којој је истраживање спроведено. Може се закључити да у подручју радијуса мањих од 250 m постоји значајније одступање тренутних брзина возње -  $V_{85\%}$  од теоријских брзина дефинисаних у важећим прописима, односно тренутне брзине су свакако веће. Ово је нарочито важно са аспекта безбедности возње, с обзиром да је подручје малих радијуса оно у којем су саобраћајне незгоде најзаступљеније.

#### 4. ПОЈАМ ВОЖЕНЕ БРЗИНЕ И ВОЖЕНЕ ТРАЈЕКТОРИЈЕ

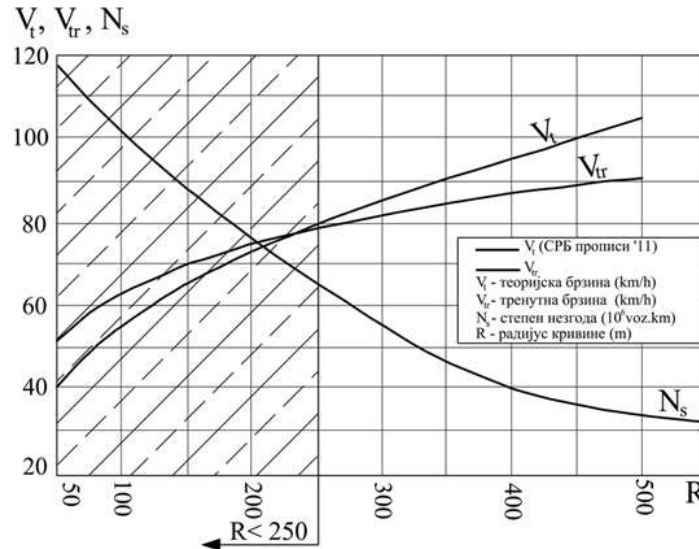
Којом ће се брзином и трајекторијом заиста возити у конкретној путној кривини, при унапред дефинисаним условима неопходним за безбедност возње (прегледност, подужни нагиб, попречни нагиб и сл.), зависи како од вредности радијуса те кривине, тако и од дужине кружног лука и скретног угла кривине. Ранија истраживања су показала да у путним кривинама мањег радијуса и мањег скретног угла, постоје значајне разлике између теоријске трајекторије возње, односно пројектованог радијуса кривине, и реалне, вожене трајекторије у тој кривини. Вожена трајекторија описује радијус који је значајно већи од пројектованог радијуса. Оваква комфорнија трајекторија као директну последицу има то да се у оваквим путним кривинама, вози брзинама које могу бити значајно веће од теоријски претпостављене брзине. Управо деонице са мањим радијусима кривина су оне које су са аспекта безбедности возње и најкритичније, односно, оне са највећим степеном несигурности и највећим бројем саобраћајних незгода које се у њима догађају (**Слика 4**).

Основни циљ спроведених истраживања био је да се, на основу теоријских и експерименталних анализа, утврди утицај постојећег радијуса путне кривине на начин возње (брзину и трајекторију) путничких возила у условима слободног саобраћајног тока. Претпоставка у свим истраживањима је била да постоји неусаглашеност вожене и теоријске трајекторије, као и да постоји значајна зависност брзине возње путничких возила у слободном саобраћајном току од изведеног радијуса путних кривина на ванградским путевима.

Услед неусаглашености вожене и теоријске трајекторије, сматра се да долази до тога да је тренутна брзина у конкретним кривинама већа од теоријске брзине на основу које се дате кривине и пројектују.

Као последица свега наведеног, може се закључити да долази до значајног угрожавања безбедности вожње у датим кривинама.

Утврђивањем праве зависности између стварне трајекторије возила и примењеног радијуса кривине, омогућило би се свакако смањење последица примењене путне геометрије али и спречило њихово настајање још у почетним фазама пројектовања, изменама важећих смерница за пројектовање путева.



Слика 4. Веза између теоријске брзине, очекиване брзине и степена незгода [2]

## 5. АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Два најважнија чиниоца која могу описати понашање возача у путним кривинама су брзина и трајекторија којом се вози у тим кривинама. Како је брзина један од кључних параметара који утичу на безбедност саобраћаја, веома је важно испитати утицај вожене брзине на безбедност вожње у условима слободног саобраћајног тока.

У досадашњим истраживањима развијени су различити модели за предикцију брзине возила у путним кривинама. Поред брзине, анализиран је и бочни положај возила у кривинама, са циљем идентификације и типизације различитих вожених трајекторија у датим кривинама. Поред брзине и путање, испитивани су и други значајни фактори који могу утицати на безбедност вожње као што су стање коловоза, утицај коефицијената трења, утицај околине у најширем смислу и сл. [2].

Лоренц (Lorenz H.) [6] се још 1950. године бавио анализом кретања возила кроз кривину тзв. „оптималном“ брзином. Аутор је ту брзину дефинисао као брзину слободног волана која се јавља приликом кретања кроз кривину. У том случају се управљање возилом кроз кривину врши искључиво притиском на педалу за гас. Анализирајући кретање возила, уочио је 3 карактеристичне трајекторије кретања: возило које се креће оптималном брзином прати осовину возне траке; возило које се креће брзином већом од оптималне креће се ка спољној ивици возне траке; возило које се креће брзином мањом од оптималне креће се ка унутрашњој ивици возне траке. Аутор је закључио да је неопходно и коришћење волана за управљање возилом, како не би дошло до „излетања“ возила из кривине. Утврђено је да на возача утиче и недовољна прегледност, попречни нагиб коловоза неприлагођен просечној брзини кретања, неусклађеност суседних елемената ситуационог плана пута и др.

Кребс (Krebs G.H.) [7] такође се међу првима (1973.) бавио анализирањем трајекторије возила у путним кривинама. Он је у својим истраживањима утврдио да у кривинама долази до мањег или већег одступања вожене трајекторије од теоријске претпостављене. Вожени радијус по правилу је већи од пројектованог радијуса за испитивану кривину. Показао је да је разлика значајно већа код путних кривина чији су и радијус и скретни угао мањи. Аутор је дошао и до аналитичких израза који повезују вожени и пројектовани радијус, узимајући у обзир ширину возне траке и ширину меродавног возила. На

крају Кребс закључује да брзину вожње у кривинама треба одредити анализом радијуса вожене трајекторије а не анализом радијуса пројектоване трајекторије.

Истраживања Копела (Koppel G.) [8][9] (1980.) показала су да су разлике у теоријском и стварном понашању возача нарочито значајне код кривина малог скретног угла и радијуса између 50 и 300 m. Аутор се бавио истраживањем везе између брзине и елемената ситуационог плана пута. У свом истраживању је утврдио да не постоји чврста (једнозначна) веза V-R, већ би тај однос требало посматрати са статистичког становишта, при чему је радијус кривине значајан али не и једини параметар који утиче на вожену брзину у кривини. Мана наведеног истраживања је да је утврђена веза између вожене брзине и пројектованог радијуса, али не и између вожене брзине и воженог радијуса. Аутор у свом закључку указује на феномен променљиве вредности теоријске (пројектне) брзине као нешто што је неопходно детаљније истражити у будућности.

Дамњановић [3][4] је током 1981. године испитивао утицај елемената пута на брзину у слободном саобраћајном току. Елементи пута су представљали независне варијабле чији се утицај на брзину, као случајну величину, испитивао. Мерење је извршено „изнутра“, из 5 наменски опремљених возила за потребе експеримента. Возилима су управљали возачи по прецизно дефинисаним упуствима која су подразумевала и јасно дефинисану трајекторију кретања. Аутор је уочио 3 карактеристична случаја променљивог кретања возила. Заједничко за све случајеве је то да се брзина кретања возила прилагођавала наилазећем критичном елементу пута (непосредно пре/после кружне кривине, на дугачком правцу и сл.) и да, зависно од тога, возило успорава или убрзава. Мана наведеног истраживања је да није утврђен стварно вожени радијус и његова веза са брзином кретања, већ је утврђена веза између брзине и унапред дефинисаног радијуса кретања.

Савременија истраживања показују да је готово немогуће наћи праву везу између карактеристика пута и понашања возача, ако би се истраживање усмерило искључиво на анализу брзине кретања. Истраживање Немачког Савезног Завода за Путеве [10] 1987. године је као основни закључак навело да „поређење брзина на посматраним деоницама није, упркос свим очекивањима, успоставило никакву релевантну везу између брзина и честих саобраћајних незгода које су се на тим деоницама дешавале.“ Овакви и слични резултати су навели стручну и научну јавност да у анализама реалног саобраћајног тока, поред анализе брзине кретања, укључи и анализу трајекторије кретања возила.

Дончева [11] је 1993. године у свом истраживању дошла до закључка да са порастом кривинске карактеристике расте и број саобраћајних незгода. Најважнији закључак њеног истраживања је да са порастом коефицијента динамичке хомогености, расте и степен саобраћајних незгода. Овим се поново истакло да је у савременом пројектовању путева најважније пројектовати пут на којем би се остварила хомогена несигурност (по аутору, у 20-40% саобраћајних незгода главни узрочник незгоде је управо пут).

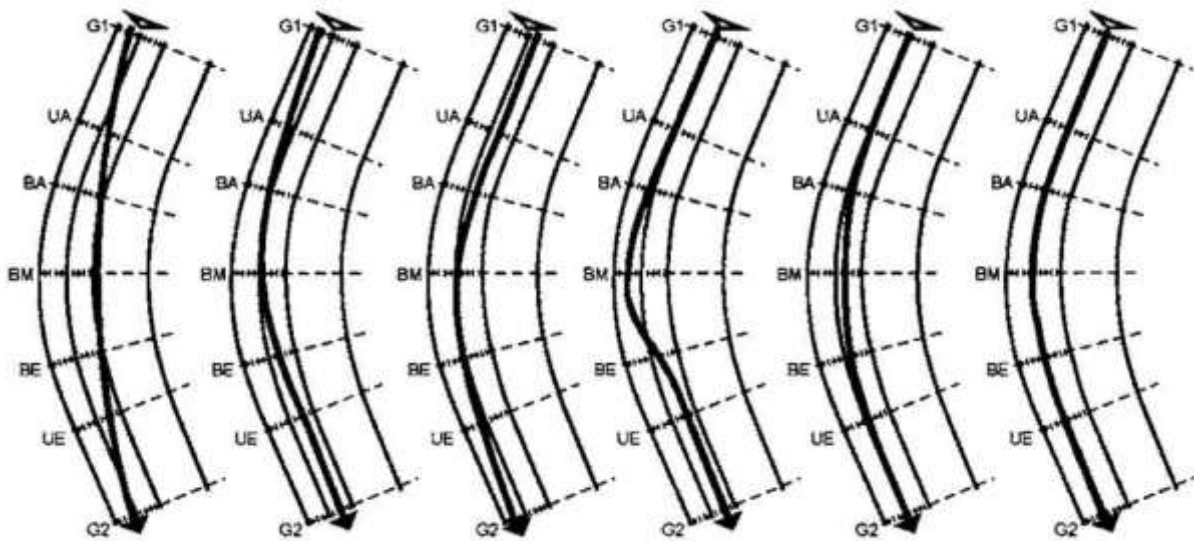
Вонг и Николсон (Wong D.Y., Nicholson A.) [12] су 1993. године анализирали понашање возача у слободном саобраћајном току у хоризонталним кривинама градског и ванградског подручја. Аутори су експериментално истраживање извршили „споља“ у условима дневне видљивости и сувог коловоза. Посебан акценат су ставили на анализирање везе између брзине и трајекторије кретања возила. Резултати истраживања су показали да постоји значајна разлика између трајекторије описане воженим и трајекторије описане пројектованим радијусом, али да не постоји јака зависност између брзине кретања и радијуса кретања возила. Аутори су указали и на везу између кривина малог радијуса и степена саобраћајних незгода: како се радијус кривине смањивао, степен саобраћајних незгода се повећавао.

Анђус и Малетин [13] су 1998. године детаљније истраживали трајекторију возила у хоризонталним кривинама, поготово у кривинама радијуса мањег од 250 m. Аутори су дошли до закључка да је вожена трајекторија у опсегу кривина мањег радијуса комфорнија од пројектоване трајекторије. Таква вожена трајекторија, по ауторима, омогућава возачу већу брзину кретања од теоријске брзине, а са већим брзинама расте и ризик од саобраћајних незгода. Аутори у закључку наводе да је управо брзина узрок 53.30 % саобраћајних незгода на двотрачним ванградским путевима.

Лам, Псарианос и Мејлендер (Lamm R., Psarianos R., Mailaender T.) [14][15] су током 1999. године направили синтезу истраживања брзина и њиховог утицаја на безбедност саобраћаја. Аутори су дошли до података да се 50 % саобраћајних незгода дешава на ванградским двотрачним путевима, од чега 30 % у кружним кривинама. Такође, 70% од тих саобраћајних незгода су незгоде са фаталним

последицама. Аутори су дошли и до закључка да се брзине у условима слободног саобраћајног тока, по сувом и по влажном коловозу (када је у питању мањи интезитет падавина), значајно не разликују. Иако вредности коефицијента трења опадају у условима влажног коловоза, истраживања су показала да возачи почињу да прилагођавају своје кретање условима коловоза тек у условима јаких пљускова и то превасходно услед смањене видљивости. Показало се и да у кружним кривинама чији је радијус мањи од 350 m, долази до значајног утицаја радијуса и закривљености кривине на повећање брзине у датим кривинама. Истраживања су показала да је у кружним кривинама радијуса мањег од 250 m, највећа стопа саобраћајних незгода и да ризик њиховог догађања опада са порастом вредности радијуса. Аутори на крају долазе до закључка да кружне кривине представљају значајан елемент путне геометрије, посебно са становишта безбедности и сигурности вожње.

Спачек (Спасек Р.) [16][17] се крајем двадесетог века бавио праћењем и типизирањем понашања возила у кривинама. Аутор је пошао од тога да се, код утврђивања зависности између понашања возача са једне стране, и карактеристика пута са друге стране, мора узети у обзир више параметара. Аутор наглашава да је чест случај да истраживања, која се заснивају искључиво на анализи утицаја брзине на безбедност вожње, у закључцима не докажу своју полазну претпоставку, јер се не може сматрати да је искључиво брзина узрок настанка саобраћајних незгода [10]. Аутор је пошао од претпоставке да постоји веза између геометрије кривине, трајекторије возила у кривини и догађања саобраћајних незгода. Експериментално истраживање је извршено у условима слободног саобраћајног тока, на 8 ванградских путних кривина радијуса између 65 и 220 m. У свакој кривини је постојало 12 мерних места (на унутрашњој и на спољашњој страни кривине), која су омогућавала праћење саобраћаја у оба смера кретања. Током експеримента, примећен је утицај карактеристика локалног саобраћаја на понашање возача у кривинама, у смислу доброг познавања пута и предвиђања ситуација које се на њему могу очекивати. Аутор је издвојио два понашања као доминантна: прво, када се возач понашао супротно важећим прописима и ограничењима и друго, када је понашање возача било условљено непостојањем одговарајућих информација из његове околине. Након извршеног експеримента, Спачек је изоловао 6 различитих типова трајекторија (Слика 5), које су обухватале и „нормално“ и „екстремно“ понашање возача (нпр. сечење кривина).



Слика 5. Различити типови трајекторија вожње [17]

Идеално понашање је подразумевало трајекторију која у потпуности одговара замишљеној средини возне траке којом се возило креће (прва трајекторија са десне стране). Остале изоловане трајекторије (Слика 5) су у већој или мањој мери одступале од идеалне трајекторије.

Када је у питању учесталост појављивања појединих трајекторија, аутор је дошао до закључка да је са најмањом учесталošћу управо идеална трајекторија. Аутор је нагласио да се ови типови даље могу поделити на подтипове у зависности од нивоа „екстремности“ возача приликом проласка кроз кривину. Као најтипичније понашање је изоловано оно када возач „прихвата“ и „разуме“ закривљеност кривине па самим тим њој прилагођава и своје понашање. Током експеримента се дешавало да возач не сагледа на време све карактеристике кривине па у њу уђе неодговарајућом брзином или погрешном трајекторијом. Тада је возач покушавао да на преосталом делу кривине исправи своју грешку

прилагођавањем услова вожње условима пута. Овакво понашање би резултирало трајекторијом чији је радијус мањи од пројектованог радијуса. Аутор је изоловао и случајеве када је возач „потцењивао“ закривљеност кривине, што га је доводило у непосредну опасност од излетања из кривине. Аутор у свом закључку између осталог наводи да постоје различити типови трајекторија у кривинама и да њихове карактеристике и учесталост њиховог понављања зависе од карактеристика дате кривине. Бонесон и Прат (Bonneson A.J., Pratt P.M.) [18][19] су у својим истраживањима на ову тему (2000. год.), дошли до закључка да, поред радијуса које возило описује приликом кретања кроз хоризонталну кривину, на вожену брзину значајно утиче и коефицијент трења.

Рифел и Цимерман (Riffel B.S., Zimmerman M.) [20] су 2011. године у свом експерименталном истраживању имали за циљ утврђивање модела трајекторије кретања возила у кривинама различитог радијуса и различитог скретног угла. Мерења су била „сакривена“ и извршена су уз помоћ наменски конструисане видео и радарске опреме. Намера аутора је била да се дефинисани модел кретања користи у даљој идентификацији опасних места на путној мрежи Немачке, са циљем побољшања безбедности вожње. Аутори су дошли до закључака да ограничења брзине немају значајан утицај на понашање возача у кривинама, већ има геометрија кривине (пре свега радијус), усклађеност суседних елемената ситуационог плана и сл.

Фицсимонс (Fitzsimmons, J.E.) [21][22][23] је експерименталним истраживањем уз помоћ индуктивних петљи смештених у коловозу пута, утврђивао брзину кретања возила и њихов положај у попречном профилу пута (2012. год.). Испитивање је обухватило једну ванградску и једну градску хоризонталну кривину. Резултати истраживања су показали да на трајекторију кретања кроз кривину највећи утицај има брзина којом се возило креће непосредно пре уласка у кривину. Аутор је утврдио да се у хоризонталним кривинама мањег радијуса вози значајно већим радијусом од оног који је пројектован. Аутор је у свом закључку указао на сложену везу између геометрије кривине, возила, возача и околине која га окружује, као и да је неопходно детаљније истражити везу између вожене трајекторије и степена саобраћајних незгода у кривинама.

Отман, Томсон и Ланер (Othman S., Thomson R., Lanner G.) [24] су 2013. године испитивали кружне кривине са аспекта безбедности вожње и догађања саобраћајних незгода у истим. Аутори су кружне кривине означили као критичан део путне мреже због значајног броја саобраћајних незгода које се у њима догађају, а који је 2.5-4.0 пута већи од оних које се догађају на правцу. Истраживање је подразумевало осматрање саобраћаја у реалним условима вожње, искључујући могућност да возачи знају да су предмет експерименталног истраживања. Експериментално мерење је трајало непрекидно 6 месеци и обухватило је укупно 96 хоризонталних кружних кривина. Мерене су брзине и убрзања сваког појединачног возила и одређиване су њихове вожене трајекторије. Аутори су дошли до следећег закључка: возачи у кривинама возе брзинама за које они оцене да су за дату кривину прикладне и те брзине су по правилу значајно веће од ограничења које у датим кривинама постоји. Затим, показало се да је вожени радијус значајно већи од пројектованог и да је то оно што омогућава кретање кроз кривину већим брзинама од теоријских брзина. Као најопаснији део кривине аутори су издвојили сам улазак у кривину, где се догађало значајно више саобраћајних незгода. Такође, истраживање је показало да су десне кривине опасније од левих и да се у њима дешава за око 20 % више саобраћајних незгода. Показано је и да су кривине чији је радијус мањи од 400 m, далеко опасније од кривина већег радијуса, без обзира на скретни угао предметне кривине. Аутори у свом закључку више пута упућују на утицај радијуса кривине на безбедност вожње у датим кривинама. Главни закључак аутора је да безбедност саобраћаја у кривинама највише зависи од радијуса кривина као и да је трајекторија кретања возила један од главних узрочника настанка саобраћајних незгода [2].

## **6. СМЕРНИЦЕ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА ПУТНИХ КРИВИНА И ПРИМЕНУ ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ**

Наведена истраживања су недвосмислено показала да је понашање возача у путним кривинама нарочито интересантно са аспекта анализирања безбедности и сигурности вожње у тим кривинама. Претходно је изнешен општи став да на кретање возила у таквим условима највећи утицај има пут и околина која га окружује. По свом значају, посебно се издвајају елементи ситуационог плана, пре свих радијуси путних кривина. Као што је претходно наглашено, изузетно значајне анализе, које представљају саставни део идејног пројекта су свакако возно - динамичке анализе пројектног решења. Овим анализама проверавају се сви кључни параметри одговорни за безбедност и удобност вожње у условима слободног саобраћајног тока.



У погледу будућих истраживања која би могла наћи своју примену на територији републике Србије, како би се дефинисала методологија пројектовања која би имала шири значај по безбедност вожње, могу се дати следеће препоруке:

- 1) извршити експериментална истраживања већег броја мерних деоница на путној мрежи Србије, како би резултати били веродостојни за процес генерализације добијених резултата. Потребно је анализирати кривине различитих радијуса у опсегу  $50 < R < 250$  m, са различитим вредностима скретног угла  $\gamma$ , како би се утицај оштрих али и плитких кривина на реално понашање возача прецизније испитао;
- 2) извршити експериментална истраживања са циљем утврђивања утицаја усклађености суседних путних кривина на понашање возача у датим кривинама;
- 3) извршити експериментална истраживања брзина у условима мокрог коловоза, како би се прецизно утврдио утицај мокрог коловоза на брзину вожње, који би се потом могао генерализовати на ширу путну мрежу Србије;
- 4) укључивање добијених закључака ових истраживања у процес Провере сигурности пута, као саставног дела контролних листи које се у том процесу користе [2].

## 7. ЗАКЉУЧАК

Савремено пројектовање путева представља истраживачки процес у којем треба обезбедити захтевану ширину приступа проблему, са једне стране, а са друге јасно дефинисану хијерархијску уређеност. Изузетно је значајно формирати, а потом и доследно примењивати методологију пројектовања која је у складу са резултатима савремених истраживања.

У алгоритму процеса пројектовања издваја се једна фаза као најзначајнија са становишта безбедности и удобности вожње, а то је фаза идејног пројекта. Са правом се може рећи да је то фаза у којој пројектант засигурно има највеће могућности утицаја на карактеристике и квалитет будућег пута. Последице деловања у фази идејног пројекта значајно утичу на укупне трошкове грађења, експлоатације и одржавања одређеног путног правца.

Спровођење ширег опсега експерименталних истраживања утицаја елемената путних кривина на понашање возача у датим кривинама на територији републике Србије, могло би довести до кључног циља а то је имплементирање резултата тих истраживања у техничку регулативу за пројектовање нових деоница, реконструкције и рехабилитације (посебно у процесу идентификације црних тачака и „опасних“ места).

Ово би неспорно довело до побољшања безбедности вожње на путној мрежи, смањивања броја саобраћајних незгода, и што је најважније, прецизнијег утврђивања узрока догађања саобраћајних незгода као првог корака у процесу идентификације и реконструкције опасних места на путној мрежи. Такође, ово би пружило и могућност за отклањање узрока догађања саобраћајних незгода још у фази њиховог настајања, односно на нивоу пројектовања [2].

## Литература

- [1] Анђус, В. (1994). *Пројектовање путева. Синтеза искуства, рационалности и креативности*, приступно предавање поводом избора за редовног професора Грађевинског факултета Универзитета у Београду на предмету Пројектовање путева, Београд.
- [2] Фриц, С. (2014). *Теоријско и експериментално истраживање граничних трајекторија вожње у ванградским путним кривинама*, докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду.
- [3] Дамњановић, Д. (1981). *Утицај елемената пута на брзину у слободном току*, докторска дисертација, Грађевински факултет, Ниш.
- [4] Дамњановић, Д., Милићевић, А., Цветковић, Д. (2002). *Усклађивање конструктивних елемената пута према очекиваној брзини у слободном току*, монографија, Грађевинско - архитектонски факултет, Ниш.
- [5] Катанић, Ј., Анђус, В., Малетин, М. (1983). *Пројектовање путева*, Грађевинска књига, Београд.
- [6] Лојенс, Н. (1980). *Пројектовање и трасирање путева и аутопутева*, Грађевинска књига, Београд.

- [7] Krebs, G.H. (1973). Einfluss des Kurvenschneidens auf Bogengeschwindigkeit und Trassierungsgrundsätze, *Strasse and Autobahn* (24), Heft 8.
- [8] Koppel, G., Bock, H. (1970). Kurvigkeit, Stetigkeit und Fahrgeschwindigkeit, *Strasse und Autobahn*, Heft 8.
- [9] Koppel, G. (1980). *Variable Entwurfsgeschwindigkeit*, Diss. RWTH – Aachen.
- [10] Kraus, B., Trapp, K.H. (1987). *Analysis and removal of accident sites on the highway network in rural areas*, Report on Research Project 8319, Federal Institute of Highways, Bergisch Gladbach.
- [11] Дончева, Р. (1993). *Влијание на колебањето на брзината во услови на слободен сообраќаен ток*, докторска дисертација, Градежен факултет, Скопје.
- [12] Wong D.Y., Nicholson A. (1993). Speed and Lateral Placement on Horizontal Curves, *Road and Transport Research*, Vol. 2, No. 1, ARRB, March 1993., pp .74-87.
- [13] Andus, V., Maletin, M. (1998). Speeds of Cars on Horizontal Curves, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 1612, pp. 42-47.
- [14] Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T. (1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- [15] Lamm, R., Beck, A., Ruscher, T., Mailaender, T. (2007). *How to make Two-Lane Rural Roads Safer*, WITPress, Southampton, UK.
- [16] Spacek, P. (2000). Track Behavior and Accident Occurance in Curves on Two-Lane Highways in Rural Areas, *2nd International Symposium on Highway Geometric Design*, FGSV 002/67, Forschungsgesellschaft fur Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Keln.
- [17] Spacek, P. (2005). Track Behavior in Curve Areas: Attempt at Typology, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 9, pp. 669-676.
- [18] Bonneson, A.J., Pratt, P.M. (2009). A Model for Predicting Speed Along Horizontal Curves on Two-Lane Highways, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 2092, pp. 19-27.
- [19] Bonneson, A.J. (2000). Kinematic Approach to Horizontal Curve Transition Design, Geometric Design and Effects on Traffic Operations, *Transportation Research Record*, Transportation Research Board (TRB), No. 1737, pp. 1-8.
- [20] Riffel, B.S., Zimmermann, M. (2011). *Modellierung des Fahrverhaltens in Kurven*, Kolloquium fur Fortgeschrittene, Karlsruhe.
- [21] Fitzsimmons, J.E. (2011). *Development and Analysis of Vehicle Trajectories and Speed Profiles along Horizontal Curves*, PHD dissertation, Iowa State University.
- [22] Fitzsimmons, J.E., Kvam, V., Souleyrette, R.R., Nambisan, S.S, Bonett D.G. (2013). Determining vehicle operating speed and lateral position along horizontal curves using linear mixed-effects models, *Traffic Injury Prevention*, Volume 14, Issue 3, pp. 309-321.
- [23] Fitzsimmons, J.E., Nambisan, S.S. , Souleyrette, R.R., Kvam, V. (2013). Analyses of vehicle trajectories and speed profiles along horizontal curves, *Journal of Transportation Safety and Security*, Volume 5, Issue 3, pp. 187-207.
- [24] Othman, S., Thomson, R., Gunnar, L. (2013). Safety Analysis of Horizontal Curves Using Real Traffic Data, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 140, No. 4, 9 p.

## ПЕРЦЕПЦИЈА 3Д ВИЗУЕЛНИХ ОЗНАКА У ЗОНАМА ШКОЛА

Светлана Чичевић<sup>1</sup>, Александар Трифуновић<sup>2</sup>, Наташа Видовић<sup>3</sup>, Маријана Мошић<sup>4</sup>

**Резиме:** *Неприлагођене брзине возила условима у саобраћајном току главни су фактор који доводи до настанка саобраћајних незгода свих категорија возила. Овај податак подстакло је стручне тимове да се посвете тражењу нових предлога за решавање проблема небезбедне брзине возања. Као одговор, пројектни тимови дошли су на идеју да истражују утицај 3Д визуелних ознака на брзину кретања возила, као и на остала потенцијална позитивна понашања у возању. 3Д хоризонталне ознаке, у ствари, представљају оптичке илузије које могу довести до заваривања ока посматрача, јер оно што возачи виде као тродимензионални физички објекат, заправо је само класична хоризонтална сигнализација. Овакав вид хоризонталне сигнализације обично се користи на местима где поруке које пружа класична хоризонтална и вертикална сигнализација нису довољне (нпр. Зона школе, зона успореног саобраћаја). Из наведених разлога спроведен је експеримент помоћу 3Д наочара које су испитаници користили за гледање различитих 3Д визуелних ознака у зонама школе. Пре самог експеримента испитаници су одговарали на основна социо-демографска питања, која између осталог имају задатак да класификују и испитанике према возачком искуству, учесталости возања, итд. Анализом добијених резултата може се створити основ за имплементацију оваквих саобраћајних решења у зонама школа и на територији Републике Србије.*

**Кључне речи:** 3Д хоризонталне ознаке, зона школе, саобраћајна сигнализација, перцепција, безбедност саобраћаја.

## THE PERCEPTION OF 3D VISUAL MARKINGS IN SCHOOL ZONE

Svetlana Čičević, Aleksandar Trifunović, Nataša Vidović, Marijana Mošić

**Abstract:** *Unadjusted vehicle speeds in traffic conditions are the main factor causing of traffic accidents for all vehicle categories. This information encouraged expert teams to devote themselves to looking for new proposals to address the problem of unsafe driving speeds. In response, project teams came up with the idea to explore the impact of 3D visual markings on the speed of vehicles as well as on other potential positive driving behaviors. 3D horizontal markings, in fact, represent optical illusions that can lead to the welding of an observer's eye, because what drivers see as a three-dimensional physical object is in fact only a classical horizontal signaling. This type of horizontal signaling is usually used in places where messages provided by classical horizontal and vertical signaling are not sufficient (e.g. School Zone, slow-motion traffic zone). For the above reasons, an experiment was conducted using 3D glasses used by the respondents to view different 3D visual markings in the school zones. Before to the experiment, subjects responded to basic socio-demographic questions, which, among other things, have the task of classifying respondents according to driver's experience, driving frequency, etc. An analysis of the obtained results can provide the basis for the implementation of such traffic solutions in the zones of schools and on the territory of the Republic of Serbia.*

**Keywords:** 3D Horizontal Markings, School Zone, Traffic Signalization, Perception, Traffic Safety.

### 1. УВОД

Основни предуслов за успешно функционисање друштва и његов даљи развој представља добро осмишљен, пажљиво организован и ефикасан саобраћајни систем. Саобраћај је увек био један од пресудних фактора за реализацију циљева жељеног економског, друштвеног и културног развоја појединих земаља, региона и народа. Он омогућава задовољавање производних, културних, економских, одбрамбених и многих других потреба и као такав он представља делатност без које се не може замислити егзистенција људског друштва. Међутим, за саобраћај се везују и бројни негативни ефекти, од којих се истичу: загађење екосистема, бука, настанак саобраћајних незгода итд. Због тога је неопходно непрестано радити на даљем развоју саобраћаја са циљем минимизирања свих негативних утицаја. Као најважнији непожељни ефекат који се јавља са

<sup>1</sup> Redovni profesor, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, s.cicevic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Asistent, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, a.trifunovic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Student, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, natasa.vidovic.94@gmail.com

<sup>4</sup> Student, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, maja11400@hotmail.com

порастом степена моторизације могу се издвојити саобраћајне незгоде са рањивом категоријом учесника као што су деца и малолетници.

Под рањивим учесницима у саобраћају у ужем смислу се сматрају пешаци, деца до 15 година, бициклисти и возачи моторних двоточкаша, док у ширем смислу овде спадају и старије особе, особе са инвалидитетом и особе оштећеног вида и слуха. На основу спроведених истраживања у разним земљама, утврђено је да од укупног броја страдалих у саобраћајним незгодама готово половину чине рањиви учесници у саобраћају. Све наведене категорије рањивих учесника у саобраћају специфичне су по својим обележјима, способностима и понашању. Деца се сматрају угроженим корисницима пута, јер до десет година старости она већином још увек нису спремна (тј. немају физичке и когнитивне способности) како би доносили праве изборе кад се ради о њиховој безбедности у саобраћају. Родитељи и васпитачи морају бити свесни вештина деце и планирати развој свести деце о безбедности у саобраћају у складу са њиховим развојем (Liu, 2012).

Према извештају Светске здравствене организације о превенцији повреда деце из 2008. године, 21% од свих саобраћајних незгода су незгоде у којима су учествовала деца (WHO, 2008.). Из истог извора добијен је податак да 186 300 деце сваке године настрада у саобраћајним незгодама широм света - то је више од 500 деце сваки дан. Заправо, повреде које су настале као последице ових незгода се налазе међу првих четири узрока смртног исхода за сву децу старију од пет година док су повреде у саобраћајним незгодама водећи узрок смрти код деце узраста од 15 до 19 година и други узрок смртног страдања деце од 5 до 14 година старости. У периоду од 2013. до 2016. године 5-оро деце је смртно страдало и још 4.469-оро деце је повређено у саобраћајним незгодама на путевима у Републици Србији. Дакле, у просеку свако педесето лице смртно страдало у саобраћајним незгодама је дете. Оно што је важно истаћи је то да у саобраћајним незгодама деца највише смртно страдају као путници у возилима (54%), затим као пешаци (34%) и на крају као бициклисти (12%). (Агенција за безбедност саобраћаја, 2016.).

Након више независних истраживања уочено је да је удео пута у кохезији са осталим факторима други доминантан узрочник саобраћајних незгода. Имајући наведено у виду, Европска комисија (ЕК) је произвела Директиву 2008/96/ЕЦ о "Управљању безбедношћу путном инфраструктуром", са циљем да се безбедност интегрише у планирање, пројектовање и функционисање целокупне путне инфраструктуре на Транс-европској мрежи путева (TERN). Управљачи путевима морају да гарантују адекватан ниво безбедности на постојећим путевима. Да би овај циљ био остварен, треба у потпуности променити традиционални приступ, при коме се до сада деловало само на "црним тачкама".

У Србији је новим Законом о безбедности саобраћаја на путевима дефинисана законска обавеза реализације савремених процедура за унапређење безбедности путева. Према Закону „управљач јавног пута мора обезбедити независне пројекте провере безбедности саобраћаја на путу и то: периодичне провере у периоду од пет година за све деонице државних путева, циљане провере за најугроженије деонице државних путева и периодичне и циљане провере за остале путеве према могућностима, односно потребама. Редовну контролу јавног пута у експлоатацији са аспекта безбедности саобраћаја на путу врши орган надлежан за послове саобраћаја – инспектор за јавне путеве. Управљач јавног пута мора обезбедити да се, на основу налаза инспектора за јавне путеве, сачини пројекат којим се утврђују мере за безбедно одвијање саобраћаја на путу. (члан 156, став 4).

Препоручљиво је да се провера документује путем видео снимака или фотографија. Пре или после теренске инспекције одржава се дискусија на лицу места са целокупним тимом, као помоћ за попуњавање свих контролних листова. Контролни листови су важан елемент ПБС и служе као основа за испитивање и инспекцију на терену. Комбинација контролних листова гарантује да су током инспекције прегледани сви неопходни критеријуми. Резултат Провере безбедности саобраћаја јесте Извештај о уоченим опасностима на путевима и недостацима пута са аспекта безбедности саобраћаја, на који је наручилац Провере безбедности саобраћаја (управљач пута или онај ко доноси одлуке) дужан да одговори. Идеја превентивног деловања јесте да се делује пре него што настану саобраћајне незгоде и њихове последице. Развијене земље почеле су да интензивно примењују овај приступ пре тридесетак година и то за сваки од фактора возач-возило-пут-околина.

Како би се унапредила безбедност саобраћаја и смањио број саобраћајних незгода у којима учествују деца, од посебног је значаја анализирати постојеће стање на терену у зонама школа. Најефикаснији начин који би омогућио свеобухватну анализу јесте систематска Провера безбедности саобраћаја. На овај начин би се утврдиле карактеристике елемената пута и целокупног простора у овим зонама и на основу тога дефинисале одговарајуће мере којима би се отклонили недостаци који угрожавају безбедно кретање деце. Од посебног значаја је испитати рад светлосних сигнала: утврдити дужину трајања циклуса, прераспodelу зеленог сигналног појма намењеног возачима, односно пешацима итд.; утврдити карактеристике хоризонталне и вертикалне сигнализације у смислу да ли су саобраћајни знакови постављени правилно, да ли сигнализација има задовољавајућу ретрорефлексију, да ли постоје успоривачи саобраћаја и сл. Поред тога, потребно је испитати понашање возача у зони школе и предузети контрамере за отклањање небезбедних понашања возача. Возач моторног возила ће у мањој или већој мери прилагођавати брзину кретања у зони школе у зависности од поштовања вертикалне и хоризонталне сигнализације, правилног и добро осветљеног пута, успоривача саобраћаја итд. Бројна истраживања су показала да поштовање ограничења брзине представља темељ сигурног и безбедног саобраћајног система. Али, ако се брзине кретања возила поставе или промене без одговарајуће путне инфраструктуре која то подржава, едукације или принуде, онда ће таква ограничења имати само делимичан утицај на брзине.

Решавање проблема безбедности на путевима и подизање свести возача о угроженим корисницима путева је континуалан процес па као такав мора пратити развој технологије и употребу иновативних метода извођења саобраћајне сигнализације. У циљу проналажења таквих метода истраживачки тимови дошли су на идеју да истражују утицај 3Д визуелних ознака на брзину кретања возила, као и на остала потенцијална позитивна понашања у вожњи. 3Д хоризонталне ознаке, у ствари, представљају оптичке илузије које могу довести до завањања ока посматрача, јер оно што возачи виде као тродимензионални физички објекат, заправо је само класична хоризонтална сигнализација. 3Д ефекат је често усмерен, што омогућава његову примену на ознаку на путу која је намењена конкретном саобраћајном току. Овакав вид хоризонталне сигнализације обично се користи на местима где поруке које пружа класична хоризонтална и вертикална сигнализација нису довољне као што су зоне школе, на чијој примени овај рад базира.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

За анализу перцепције 3Д визуелних ознака у зонама школе на подручјима Градске општине Младеновац и града Београда коришћен је метод експерименталног истраживања. Експеримент је спроведен у преподневном периоду, средином радне седмице, над свим испитаницима, тако да време и дан спровођења експеримента не би требали да имају утицај на добијене резултате. У оквиру процеса прикупљања података анкетирано је 86 испитаника. Анкетирани су полазници ауто-школа, возачи професионалци и возачи аматери. Битно је напоменути да су испитаницима приказиване фотографије анкете и 3Д наочаре (деталније описано у даљем тексту), тако да експериментални услови не одговарају у потпуности реалним ситуацијама.

Метод анкете је поступак којим се на темељу анкетног упитника истражују и прикупљају подаци, информације, ставови и мишљења о предмету истраживања. Анкетно истраживање је спроведено у две фазе. Прва фаза је подразумевала постављање електронске форме анкетног обрасца на „Google Drive“ платформи. Испитаници у ауто- школи су могли да приступе електронској форми анкетног обрасца путем рачунара док је испитаницима на терену обезбеђен приступ анкети путем „смарт“ мобилних телефона. Теренско истраживање се састојало од анкетања лица која су пристала на анкету. На терену су радила два истраживача. Испитаници су одабрани насумично. Први део анкете имао је задатак да испита демографске карактеристике испитаника. Друга фаза анкетања подразумевала је коришћење 3Д наочара које су испитаници користили за гледање различитих 3Д визуелних ознака, које су испитаницима презентоване на монитору односно дисплеју „смарт“ мобилног телефона.





**Слика 1.** Реализација експеримента

Анкетни образац садржао је 38 питања, од којих је 20 „отвореног“ типа и 18 „затвореног“ типа. Прву групу питања чинила су питања општег типа којима се испитивао пол, године старости, категорије возила за које поседује возачку дозволу, период поседовања возачке дозволе, учесталост у вожњи и др. Друга група питања су доминантно усмерена ка перцепцији возача о промени брзине при наиласку на 3Д ознаке на путу у зонама школе. Испитаницима је за сваку од слика 3Д хоризонталних ознака (Слика 2.) постављено питање „Када бисте као возач наишли на ознаку приказану на слици испод, у зони школе, тренутну брзину Вашег возила, којом сте се кретали бисте смањили на?“. Редослед слика био је случајан, да испитаници не би могли да повезују претходне одговоре, већ спонтано да одговарају за сваку од задатих ситуација.



**Слика 2.** Фотографије 3Д хоризонталних ознака коришћених у експерименту

Прикупљени подаци су интегрисани у јединствену базу података у програму MS Excel 2013, а статистичка анализа података је спроведена у статистичком софтверском пакету IBM SPSS Statistics v. 22 и при томе су коришћене стандардне методе дескриптивне статистике. На основу резултата дескриптивне статистике и крос-табулације дат је приказ основне статистичке анализе података добијених у експерименту.

### 3. РЕЗУЛТАТИ РАДА СА ДИСКУСИЈОМ

Истраживањем је обухваћено 87 испитаника од којих су 35 још увек у процесу обуке за возача, док су 52 испитаника возачи аматери и професионалци. Од укупног броја анкетираних особа 54% су



мушког пола, а 46% женског пола. На основу реализованог анкетног истраживања могуће је приказати закључке од значаја за овај рад:

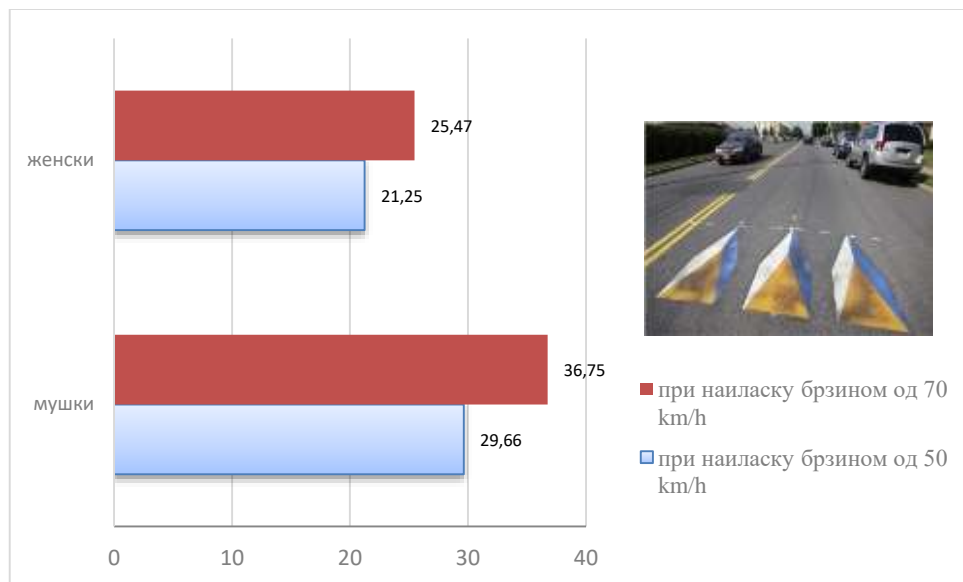
- 36,8% испитаника има возачку дозволу између 5 и 10 година; 23,6% поседује возачку дозволу више од 10 година, док 19,2% поседују пробну возачку дозволу;
- 42,8% испитаника учествује у саобраћају свакодневно док 26,7% испитаника су особе које возе између 3 и 5 пута недељно, док су одмах за њима они који учествују као возачи у саобраћају само пар пута годишње (14,8%);
- 24,3% доживело је саобраћајну незгоду као возач

Прво питање за сваку од слика 3Д хоризонталних ознака гласило је „Када бисте као возач наишли на ознаку приказану на слици испод, тренутну брзину Вашег возила, којом сте се кретали (50 km/h или 70 km/h) бисте смањили на?“. Приликом наилаaska на 3Д хоризонталну ознаку на којој је приказано дете са лоптом, испитаници би за задату брзину од 50 km/h препреку просечно прешли брзином од 23,36 km/h, док би за брзину од 70 km/h испитаници 3Д ознаку прешли просечном брзином од чак 33,28 km/h. Када је реч о другој 3Д хоризонталној ознаци на којој је приказана препрека у облику пирамиде, испитаници би за задату брзину од 50 km/h препреку просечно прешли брзином од 25,45 km/h, док би за брзину од 70 km/h испитаници 3Д ознаку прешли просечном брзином од 31,11 km/h.



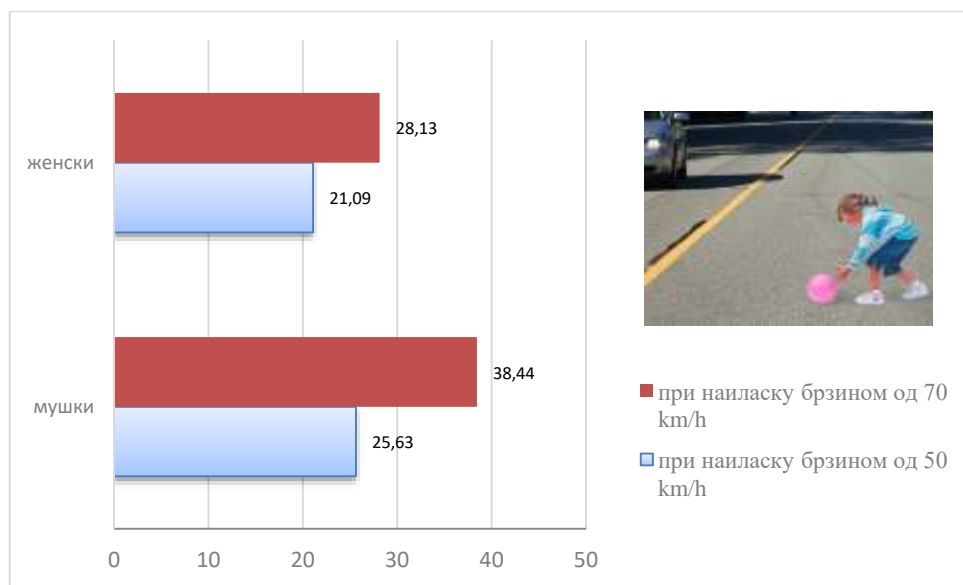
**Слика 3.** Просечна вредност промене брзине при наиласку на 3Д ознаку

При наиласку на 3Д хоризонталну ознаку приказане на сликама 4. и 5. , при брзинама од 50 km/h и 70 km/h, утврђено је да би у оба случаја особе женског пола реаговале већом редукцијом (смањењем) брзине него особе мушког пола. Овакви резултати показују да су особе женског пола опрезније у вожњи.



**Слика 4.** Просечна вредност промене брзине при наласку на 3Д ознаку приказану на фотографији

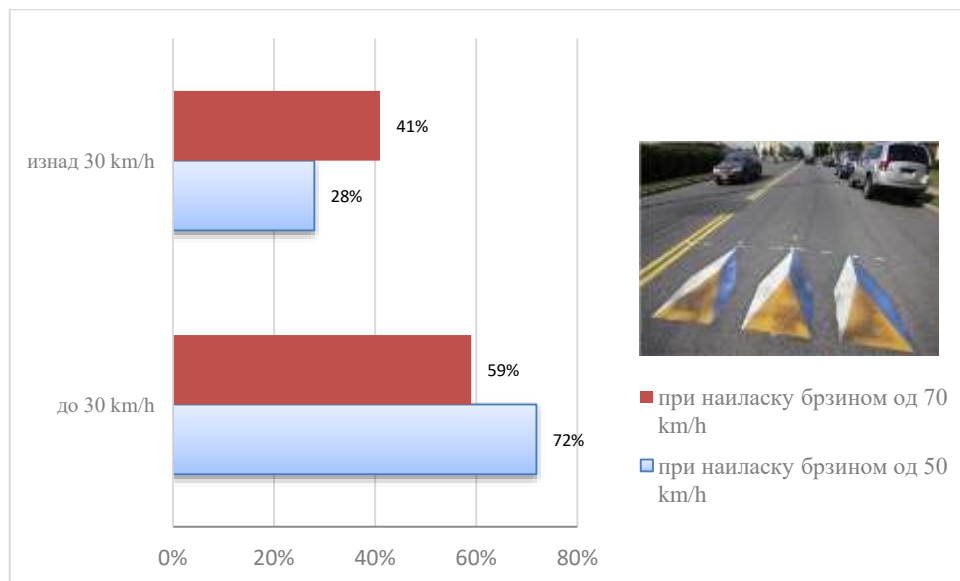
Оба пола испитаника би мањом брзином прошли поред 3Д хоризонталне ознаке на којој је приказана препрека на коловозу у облику пирамида, при обе задате брзине (50 km/h и 70 km/h) него при наласку на хоризонталну 3Д ознаку детета са лоптом.



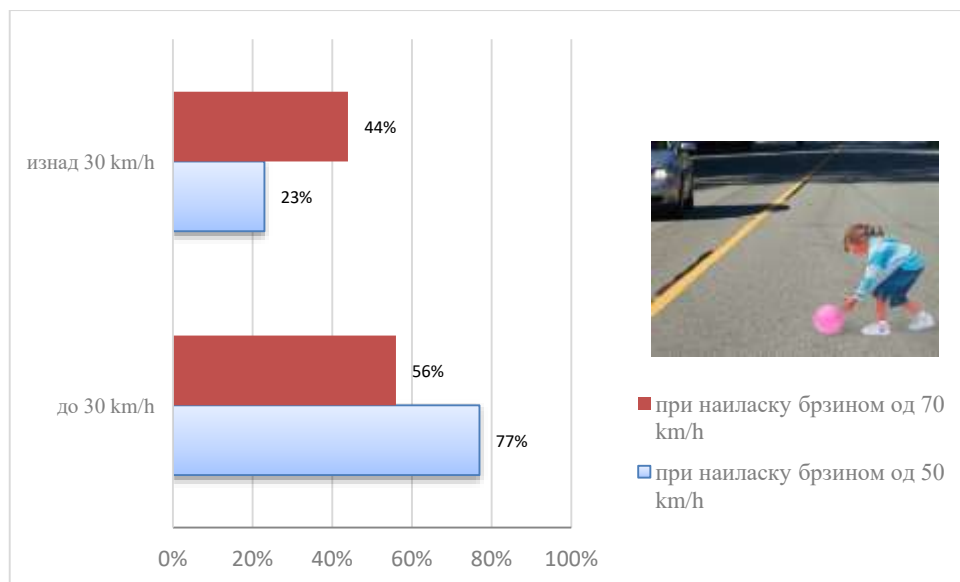
**Слика 5.** Просечна вредност промене брзине при наласку на 3Д ознаку приказану на фотографији

Када смо у разматрање узели комплетан узорак испитаника и упоредили њихове одговоре о смањењу брзине са аспекта ограничења брзине у зонама школа долази се до закључка да би 72% анкетираних особа поштовало ограничење (кретало би се брзином мањом од 30 km/h) при наласку на 3Д хоризонталну ознаку препреке на путу у виду пирамида (Слика 6.). При наласку на 3Д

визуелну ознаку детета са лоптом на путу чак 77% испитаника би своју брзину смањило испод ограничења у зонама школе (Слика 7.).



**Слика 6.** Процентуална вредност промене брзине у складу са ограничењем у зони школе при наиласку на 3Д ознаку приказану на фотографији



**Слика 7.** Процентуална вредност промене брзине у складу са ограничењем у зони школе при наиласку на 3Д ознаку приказану на фотографији

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Према савременом концепту безбедности саобраћаја, постизање ефикасних резултата за друштво у целини, у највећој мери зависи од примене проактивних мера (Нешић и др. 2015). Како се неприлагођене брзине возила условима у саобраћајном току могу сматрати основним проблемом

који у највећој мери смањује ниво безбедности деце у зонама школа, као најефикаснију меру за смиривање саобраћаја по питању односа трошкова и користи које ће у кратком року произвести видљиве резултате предлажемо употребу 3Д визуелних ознака. На основу резултата добијених анализом података прикупљених током истраживања могу се извести општи закључци:

- Женски део испитаника има тенденцију ка већем смањењу брзине при наиласку на посматране препреке, што значи да је женски део популације знатно опрезнији;
- Брзине којим би испитаници прешли преко приказаних хоризонталних ознака у истраживању су у просеку највише износиле 38,44 km/h што представља брзину нешто вишу од ограничења у зони школе.
- Када смо класификовали кретање при наиласку на препреке „до 30 km/h“ и „изнад 30 km/h“ дошли смо до закључка да би се у просеку 75% испитаника кретало брзином која није већа од 30 km/h, што је и ограничење у зонама школа.

Најзанимљивији податак за ово истраживање је да се на питање „Да ли би требало применити овакав вид ознака у зонама школе на територији Републике Србије“ 86,7% испитаника се изјаснило позитивно. 3Д хоризонтална сигнализација има потенцијал да замени физичке објекте на путу, попут вештачких избочина, бојених острва итд. Треба размишљати о дугорочној користи 3Д хоризонталних ознака; ако се често користе, возачи ће се навићи на овај концепт. Као негативна последица наилажења возача на овакав вид хоризонталне сигнализације може се издвојити и нагло успоравање возила или нагла промена правца возила, које су изазване рефлексном реакцијом возача. Из наведених разлога као предлог мере унапређења хоризонталне сигнализације као и безбедности учесника у саобраћају издвајамо реализацију 3Д ознака на коловозу у зони школе и праћење реакција возача како би се утврдило у којој мери би овакав вид сигнализације утицао на смањење брзине возила.

### Захвалност

Овај рад је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја (пројекти 36027, 36022 и 36006).

### Литература

- [1] Hidayati, N.; Liu R.; Montgomery F. 2012. *The Impact of School Safety Zone and Roadside Activities on Speed Behaviour: the Indonesian Case*. 15<sup>th</sup> meeting on the EURO Working Group on Transportation.
- [2] Nadler, F.; Nadler, B.; Elias, D. 2011. *Road Safety Inspection Schemes Review*.
- [3] Trifunović, A.; Lipovac, K. 2016. *Specifičnosti proverе bezbednosti saobraćaja u zonama škole*.
- [4] Ranković, J.; Nojković, D.; Milošević, J. 2013. *Provera bezbednosti saobraćaja – primena u lokalnoj zajednici*. Међународна конференција „Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“ Србија, Valjevo.
- [5] Nešić, M., Rosić, M., Filipović, F., Ivanišević T. 2015. *Brzina vozila u okolini tri škole u Beogradu*.
- [6] Cvetanović, A.; Banić, B. 2012. *Uputstvo za proveru bezbednosti puta*.
- [7] Pešić, D., Smailović, E. 2013. *Model analize bezbednosti saobraćaja u zoni škole*. VIII међународна конференција Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici, Valjevo, Divčibare.
- [8] Закон о безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије. Службени гласник Републике Србије, 2009.
- [9] Агенција за безбедност саобраћаја Републике Србије. Статистички извештај о станју безбедности саобраћаја у Републици Србији за период од 2013. до 2016. године.

## УТИЦАЈ СТАЊА КОЛОВОЗА НА БЕЗБЕДНОСТ И ТРОШКОВЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ

**Катарина Тадић, студент**

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, k.tadic96@gmail.com

**Оливера Дамњановић, студент**

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, oljadamnjjanovic@gmail.com

**Резиме:** У структури фактора од којих зависи безбедност саобраћаја, један од најзначајнијих је пут. Пут је један од елемената чији утицај може бити директан или индиректан, на безбедност саобраћаја. Утицај пута на безбедност саобраћаја огледа се кроз техничке и експлоатационе показатеље. Технички показатељи су у великој мери истражени, што није случај са експлоатационим параметрима. Један од веома слабо истражених експлоатационих параметара је стање коловоза. Осим на безбедност, стање коловоза утиче и на трошкове експлоатације. Карактеристике коловоза које утичу на безбедност вожње и трошкове експлоатације су: храпавост, ударне рупе колотрази, попречне пукотине, подужне пукотине, мрежне пукотине и др. У раду ће на основу емпириских истраживања и применом статистичких метода бити истражен наведени утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја и трошкове експлоатације.

**Кључне речи:** стање коловоза, безбедност саобраћаја, трошкови експлоатације.

## IMPACT OF PAVEMENT CONDITION ON TRAFIC SAFETY AND VEHICLE OPERATION COSTS

**Катарина Тадић, student**

Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade k.tadic96@gmail.com

**Оливера Дамњановић, student**

Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, oljadamnjjanovic@gmail.com

**Abstract:** In the structure of the factors that influence on traffic safety, one of the most important is the road characteristics. Therefore, road is one of the most influential factor that can have direct or indirect influence on traffic safety. The impact of the road on road safety is reflected in technical and exploitation indicators. Technical indicators have been largely researched, which is not the case with exploitation parameters. One of the very poorly researched exploitation parameters is the pavement condition. In addition to safety, the condition of the road surface also effects on. Characteristics of the vehicle operation costs the road surface that affect the traffic safety and the vehicle operation costs are: roughness, potholes, transverse cracks, longitudinal cracks... Based on empirical research and the application of statistical methods, the impact of the condition of road surface on traffic safety and exploitation costs will be investigated.

### 1 Увод

Стање коловоза је слабо истражен експлоатациони параметар који утиче на безбедност саобраћаја али и на трошкове експлоатације. Веома је тешко мерити и описати сложеност површине коловоза и карактеристика. Да би се тај проблем решио потребно је да се стање коловоза искаже кроз бројне индикаторе и параметре. Неке од карактеристика коловоза које утичу су: храпавост, текстура површине коловоза, носивост коловозне конструкције, трење, отпор котрљања, микротекстура и макротекстура, површински дефекти односно рупе, уздужне неравнине, деформације ивице, пукотине и колотрази (Слика 1). У раду су дати описи који то параметри стања коловоза и на који начин утичу на безбедност саобраћаја на путевима и на трошкове експлоатације, детаљније на потрошњу горива. Такође извршен је и преглед литературе различитих студија и приказани су резултати истраживања до којих су дошли различити аутори.



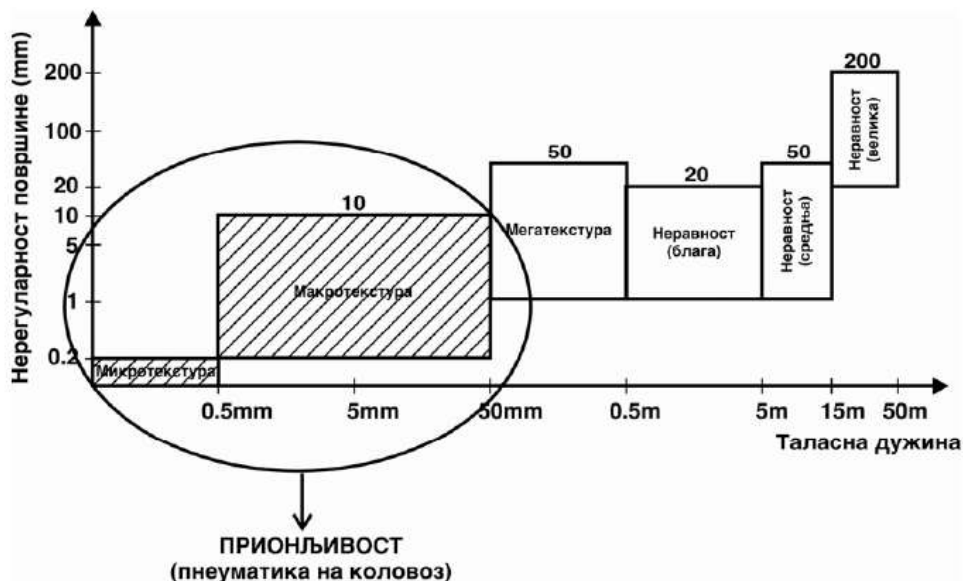
Слика 1. Параметри стања коловоза  
Извор: <https://www.google.com/imghp?hl=sr>

## 2 Утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја

Као што је већ познато пут може бити узрок догађања саобраћајних незгода. На први мах се јако мали проценат саобраћајних незгода региструје са путем као узроком догађања саобраћајне незгоде, тек детаљнијим истраживањем тај проценат се повећава. У периоду од 2011. до 2015. године, проценат саобраћајних незгода са погинулим лицима у којој се као узрок наводи „Непрописно стање пута, опреме и саобраћајних знакова“ износи 0,03% (Агенција за безбедност саобраћаја, 2015). Везано за пут узрок може бити само стање коловоза односно недовољна равност, попречна и подужна, прионљивост пнеуматика на коловоз, постојање ударних рупа и других пукотина...

### 2.1 Коefицијент трења

У литератури је трење препознато као параметар који има најзначајнији утицај на безбедност пута. Коefицијент подужног трења је мера трења у правцу кретања возила. Мања вредност коefицијента подужног трења значи дуже убрзање и већу дужину успорења (Славољуб Ерјавец, 2007).



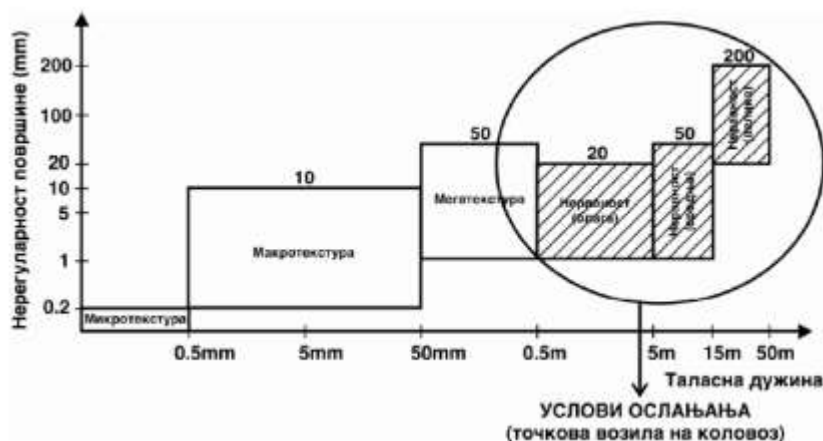
Слика 2. Веза између имперфекције површине коловозне конструкције и прионљивости пнеуматика на коловоз (Извор:[2])



Коефицијент бочног трења је мера доступне отпорности на клизање у правцу управном на правац кретања возила (Славољуб Ерјавец, 2007). При прорачуну минималног радијуса хоризонталне кривине у формулу је укључен коефицијент бочног трења, поред њега фигуришу и попречни нагиб коловоза као и брзина кретања возила. Микротекстура и макротекстура имају велики утицај на трење (Слика 2). Микротекстура је таласне дужине краћа од 0.5mm и односи се на површину везива, агрегата и загађивача као што су гумени наноси од пнеуматика. Макротекстура је таласне дужине од 0.5mm до 50mm, она има позитивна и негативна својства, позитивна се односе на краће таласне дужине којима се смањује бука при контакту пнеуматика и површине коловоза, а негативна својства се односе на то да макротекстура дуге таласне дужине повећава отпор котрљању и емисију штетних гасова. Микротекстура хабајућег слоја у вези је са полирношћу каменог материјала који се користи за израду хабајућег слоја док је макротекстура у вези са композицијом асфалтне мешавине у хабајућем слоју.

## 2.2 Неравност коловоза

Губитак добре подужне и попречне равности коловоза последица је процеса оштећивања коловоза односно пропадања саме структуре коловозе. Читав тај процес се одражава и на безбедност саобраћаја Слика 3 показује везу између таласне дужине неправилности коловозне конструкције и неравности коловоза. Последица тога утиче на услове ослањања точкава возила на коловоз. Доступна литература не нуди јасну везу између подужне неравности и безбедности саобраћаја (Славољуб Ерјавец, 2007). Разлог може бити то што је већи део деоница које су описане са занемарљивом неравношћу. Ипак ефекат обнове хабајућег слоја на безбедност возње има двојак значај, са једне стране смањена неравност побољшава квалитет возње кроз повећање брзина, а са друге стране обнова хабајућег слоја утиче на повећање коефицијента трења чиме се смањује зауставни пут кочења и побољшава бочна стабилност у кривини при влажном коловозу (Славољуб Ерјавец, 2007). Повећање брзине кретања возила након рехабилитације пута износи 10% при сувом коловозу, према подацима из страних истраживања (Славољуб Ерјавец, 2007). Такође како се рехабилитацијом коловоза смањује зауставни пут кочења и повећава бочна стабилност возила у кривини када је коловоз влажан тако се стопа саобраћајних незгода на мокром коловозу, у односу на почетну, смањује за око 15% (Славољуб Ерјавец, 2007). Иако су укупни ефекти израде хабајућег слоја на безбедност саобраћаја мали постоји могућност за унапређење безбедности сагледавањем ефеката рехабилитације коловоза на погоршање безбедност саобраћаја.



Слика 3. Веза између имперфекције коловозне конструкције и услова ослањања возила  
Извор:([2])

Током експлоатације узрок погоршања попречне неравности су првенствено колотрази. Колотрази на коловозу настају као последица трајних деформација у постељици и слојевима од невезаног каменог агрегата, а на путевима у Србији врло често и као последица лоше пројектованих и изведених асфалтних слојева (Славољуб Ерјавец, 2007). На безбедност саобраћаја попречна неравност утиче директно и то веома неповољно јер колотрази у време падавина спречавају да се вода уклони и чине да се створи водени филм у трагу точкава возила. Са повећањем брзине возње и дебљине тог воденог филма коефицијент трења се смањи до те мере да пнеуматик почиње да лебди на том воденом слоју. Овај феномен је познат као хидропланинг ефекат (Славољуб Ерјавец, 2007). С обзиром да управљање возилом у оваквим условима возње није могуће потребно је тежити смањењу ризика појаве овог

феномена. Овај феномен се јавља већ при дебљини филма већој од 2mm и брзини кретања возила већој од 60 km/h (Славољуб Ерјавец, 2007).

Оно што је од суштинског значаја за стање подужне равности и само делимично за стање попречне равности коловозне конструкције јесте стање структуре. Избор хабајућег слоја је важно за прионљивост пнеуматика и саму прегледност при влажном коловозу (Славољуб Ерјавец, 2007). Из тог разлога су у литератури издвојене карактеристике које асфалтна мешавина треба да задовољи у хабајућем слоју и значај те карактеристике за безбедност саобраћаја (Табела 1).

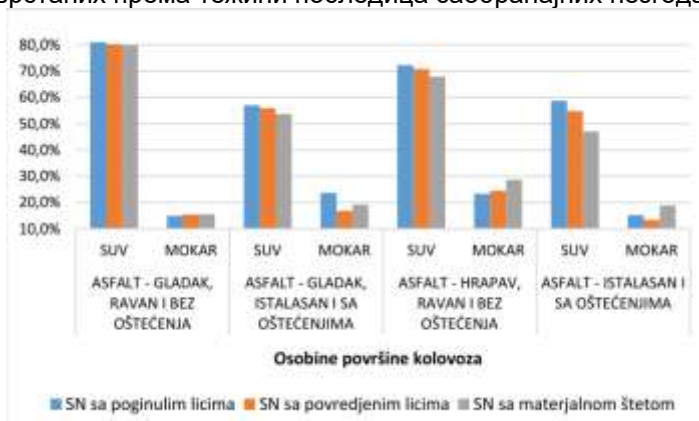
**Табела 1. Значај појединих карактеристика на безбедност саобраћаја**

Карактеристике које асфалтна мешавина треба да задовољи у хабајућем слоју	Значај за безбедност саобраћаја
Отпорност на колотраге Храпавост Ефикасност уклањања воде са површине Осетљивост на одржавање у зимским условима	Карактеристике од изразито великог значаја
Отпорност на деформације услед смицања	Карактеристика од великог значаја
Крутост Кохезија Отпорност на чупање зрна	Утицај карактеристике није занемарљив
Отпорност на замор Отпорност на термички замор Отпорност на велика оптерећења Отпорност на рефлектоване пукотине Водонепропустљивост Отпорност на оштећења од хемијских продуката Абсорпција/смањење буке	Карактеристика није од значаја

Извор:([2])

### 2.3 Преглед литературе

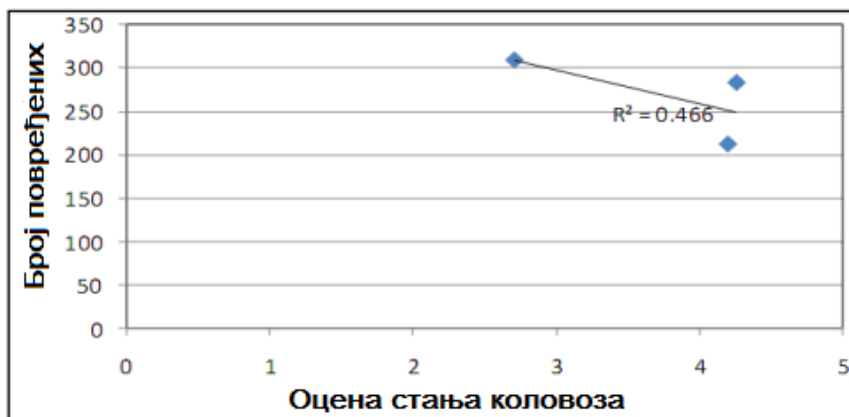
Рад под називом „Утицај површинских карактеристика коловоза и параметара пута на настанак саобраћајних незгода у Републици Србији“ чији су аутори Трифуновић, Орешковић, Трпчевски бави се анализом површинских карактеристика коловоза на настанак саобраћајних незгода. Истраживање обухвата анализу података везаних за пут и околину пута на месту саобраћајне незгоде, узорак обухвата 501 643 саобраћајне незгоде које су се догодиле у периоду од 2006. до 2015. године на територији Републике Србије (Агенција за безбедност саобраћаја, 2017). Као резултат истраживања дат је дијаграм који приказује процентуални приказ саобраћајних незгода (y-оса) у зависности од особине и стања површине коловоза, разврстаних према тежини последица саобраћајних незгода.



**Слика 4. Процентуални приказ саобраћајних незгода и тежине последица у зависности од стања коловоза (Извор: [11])**

Са дијаграма се може очитати да се више саобраћајних незгода догађа када је коловоз сув него када је мокар, што се може оправдати чињеницом да је у току године више периода када је сув коловоз. Тежина последица саобраћајних незгода је већа код сувог коловоза, када је коловоз мокар у већој мери су заступљене саобраћајне незгоде са материјалном штетом. У периоду када је коловоз сув највећи број незгода се догоди на асфалту који је гладак, раван и без оштећења, код мокрог коловоза највећи број саобраћајних незгода се догоди када је асфалт храпав, раван и без оштећења. На крају аутори су закључили да стање површине коловоза има утицај на број и тежину последица саобраћајних незгода. Као ограничење у самом истраживању наводе лоше податке о стању површине коловоза приликом увиђаја саобраћајних незгода.

A. Mohammed, S. Y. Umar, D. Samson and T. Y. Ahmad. аутори су рада под називом „Утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја: Студија случаја савезних путева у Bauchi State – y“. У студији су у разматране три савезне државе са различитим оценама стања коловоза. Један од резултата до којих су они дошли је наредни график који приказује однос између нормализованих вредности саобраћајних незгода у 2012. години у односу на просечан саобраћај и оцену стања пута. Са графика се може видети да постоји препознатљив однос између броја повређених и оцене стања коловоза, међутим регресиона линија слабо репрезентује податке обзиром да је коефицијент детерминације 0,466.



Слика 5. Однос између нормализованих вредности броја повређених у саобраћајним незгодама и оценом стања коловоза (Извор: [12])

### 3 Утицај стања коловоза на трошкове експлоатације

Под самим појмом трошкови експлоатације подразумевају се бројни трошкови, они који су најприближнији великом броју корисника су трошкови потрошње горива поред тога јављају се и трошкови уља, пнеуматика, замену делова и одржавање. Сви ти трошкови варирају у зависности од стања коловоза.

#### 3.1 Потрошња горива

Потрошња горива у свету је у сталном порасту и предвиђа се да ће достићи 60 милиона барела до 2035. године. Под притиском енергетске и економске кризе развијају се различити системи и различите технологије како би се смањила потрошња горива, мисли се на хибридна возила, систем „Start-Stop“... Када је реч о одрживости посебна област се односи на потрошњу горива јер она утиче директно на сва ти принципа одрживости: друштвене, еколошке и економске користи. Нпр. ако се повећа економичност при потрошњу горива требаће мање природних ресурса за производњу тог горива, возила ће емитовати мање гасова са ефектом стаклене баште и на крају одређена количина новца ће се сачувати. Иако на први поглед изгледа као да је једноставно да се разумеју фактори који утичу на потрошњу горива ипак је то сложен процес. Да би се уопште возило покренуло мора да се савлада: отпор котрљању, аеродинамичне силе, инерцијалне силе при убрзању, унутрашње силе трења и силу гравитације при вожњи на косинама (Слика 6). Ове силе се даље могу разложити на отпор котрљању, отпор ваздуха, инерцијалну отпорност, отпор бочних сила, губитке при промени брзине... Ствар се додатно компликује, јер ове силе и њихово дејство није изоловано већ је то систем који утиче на економичност и потрошњу

горива. Као најважнија међу овим силама издваја се отпор котрљању. Отпор котрљању се дефинише као механичка енергија која се претвара у топлоту при кретању пнеуматика по јединици пута. Према истраживањима у Сједињеним Америчким Државама када се возило креће брзином од 48km/h 45% енергије троши се на савлађивање отпора котрљању, при брзини од 113km/h тај проценат је 20. Иако, на отпор котрљања углавном утичу фактори који зависе од возила ипак постоје и три кључна параметра стања површине коловоза који утичу на отпор котрљању су:

- текстура површине коловоза-поставља се питање колико је груба мешавина,
- храпавост коловозне конструкције
- чврстоћа коловоза- у којој мери коловоз подноси оптерећење



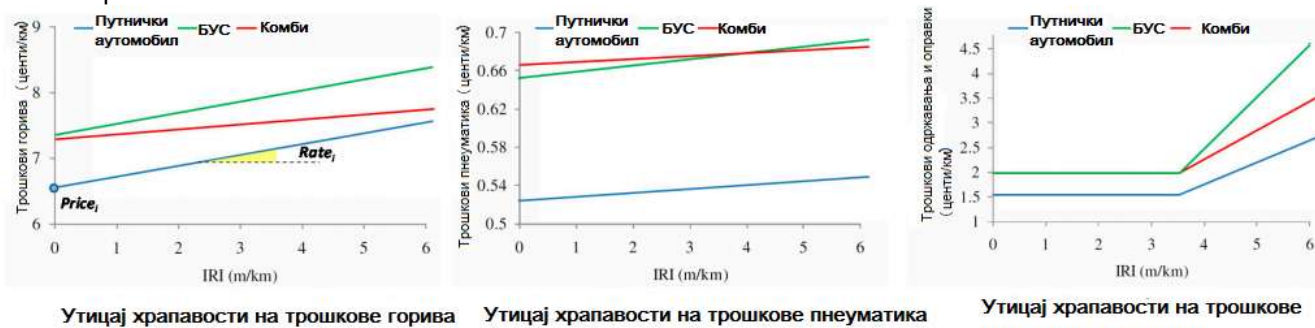
Слика 6. Отпори при војњи аутомобила

Извор: <https://www.mindomo.com/da/mindmap/otpori-voznje-d02becf8e2a3455ca00800f15dbb42e8>

Поставља се питање на који то начин стање коловоза утиче на потрошњу горива? Наиме, текстура површине коловоза и храпавост те површине стварају вибрације у пнеуматикама и систему за ослањање. Те вибрације се апсорбују уз помоћ амортизера и пнеуматика на возили и на тај начин долази до губитка енергије у укупном систему. Губитак енергије у систему директно утиче на економичност и потрошњу горива. Када се каже чврстоћа коловоза мисли се на различите девијације, односно савијања коловоза, које су наведене као трећи параметар утицаја на потрошњу горива. Сматра се да се енергија губи када интерагују пнеуматици и површина коловоза на којој су настале различите девијације.

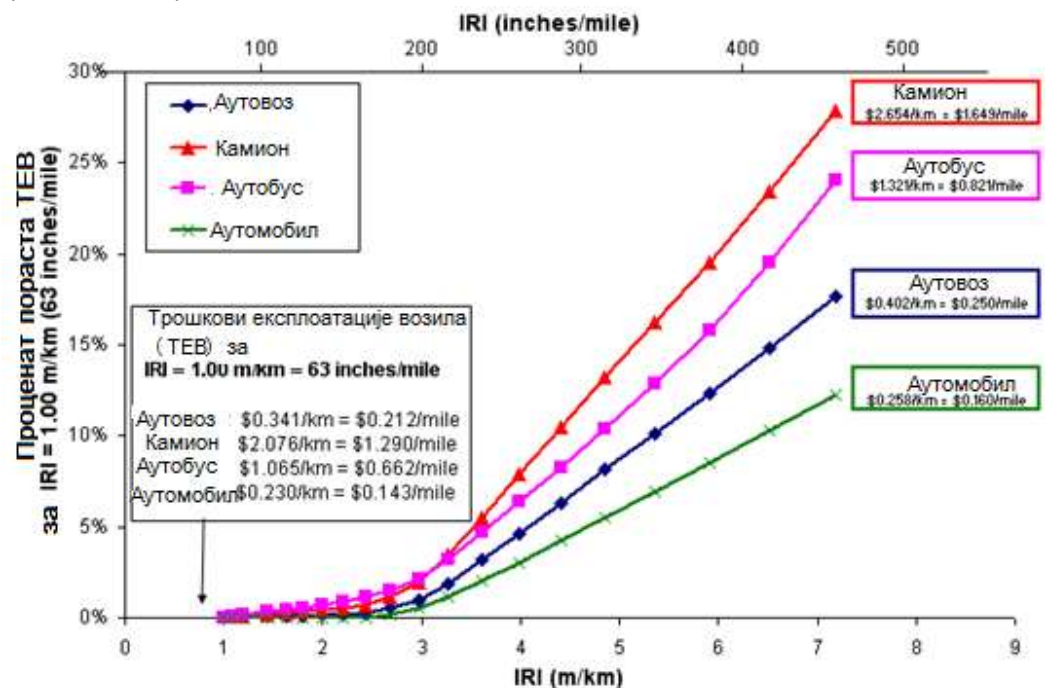
Наредна слика приказује три графика, на првом је дат утицај храпавости на трошкове потрошње горива за путнички аутомобил, аутобус и комби возило, односно како се мењају ти трошкови у зависности од промене вредности IRI (Међународног индекса храпавости). Ти трошкови су највећи за аутобусе а најнижи за путничке аутомобиле. Са графика се види и да са повећањем вредности IRI долази до линеарног раста тршкова потрошње горива, за путничке аутомобиле трошкови су 6.5 центи/километру када је IRI једнак 0 m/km и до 7.25 центи/километру када је IRI 6 m/km. Други график даје утицај храпавости на трошкове пнеуматика такође за путнички аутомобил, аутобус и комби возило. Са графика се види да су ти трошкови виши за аутобусе и комби возила него за путнички аутомобил. За путнички аутомобил крећу од 0.52 центи/километру и бележе линеарни раст са повећањем вредности IRI, док код аутобуса и комби возила ти трошкови при нултој вредности IRI су око 0.66 центи/километру и такође бележе линеарни раст са порастом вредности IRI. Последњи у низу графика приказује утицај храпавости

на трошкове одржавања и оправки. Као и претходни и ови трошкови су најнижи за путнички аутомобил. Код ових трошкова бележи се нешто другачији тренд него код претходних, наиме при вредностима IRI од 0 до 3.5 m/km трошкови су константни и износе 1.5 центи/километру за путнички аутомобил и 2 центи/километру за аутобусе и комби возила. Када вредност IRI пређе 3.5 m/km ти трошкови бележе нагли пораст.



Слика 7. Графици утицаја храпавости на трошкове потрошње горива, трошкове пнеуматика и трошкове одржавања и оправке (Извор:[9])

На слици приказаној испод дат је график промене трошкова експлоатације за различита возила у функцији храпавости. Приказана је промена трошкова у зависности од промене вредности IRI који је изражен у m/km и инчима/миљама.



Слика 8. Промена трошкова експлоатације различитих возила у зависности од храпавости (Извор: [10])

Табела 2. Вредности трошкова експлоатације за различите вредности IRI

IRI m/km	Трошкови експлоатације \$/km			
	Аутовоз	Камион	Аутобус	Аутомобил
IRI=1	0.341	2.076	1.065	0.230
IRI=7	0.402	2.654	1.321	0.258

Извор: ([10])  
Из табеле и са слике приказане изнад види се да најниже трошкове експлоатације имају аутомобили и да са порастом вредности IRI бележе раст трошкова од неких 12%, највише трошкове имају камиони и њихов пораст је око 27%.

### 3.1.1 Преглед литературе студија о потрошњи горива

Студију под називом „Ефекти структуре коловоза на потрошњу горива код возила-Фаза 3“, студију су израдили G.W. Taylor и J.D. Patten 2006. године. Студија се односила на процену утицаја саме коловозне конструкције на потрошњу горива. Спровели су истраживање које је подразумевало вожњу тегљача са полуприколицом по асфалтном и бетонском коловозном конструкцијом и коловозом од блокова да би се утврдило да ли се неке уштеде у потрошњи горива могу приписати самој површини коловоза. Истраживање је спроведено у сва четири годишња доба и у дневним и ноћним условима при брзини од 60km/h и 100km/h. Током истраживања возила су оптерећивана различитим тежинама на отвореним путевима у Онтарију и Квебеку. Путеви којима су се возила кретала имала су добар квалитет коловозне конструкције, а у обзир нису узети у обзир трошкови хабања, трења и других неправилност. Сви путеви који су имали IRI већи од 1,6m/km нису анализирани. Студија је показала да при брзини од 100km/h бетонска коловозна конструкција смањила је потрошњу између 0.8% и 1.8%. Извештај показује и боље резултате бетонске конструкције наспрам асфалтних конструкција за возило под теретом при брзини од 60 km/h. Закључак је да су бетонске коловозне конструкције ефикасније.

Perriot је сачинио извештај „Путеви и енергија: Како коловоз утиче на потрошњу горива код возила“ 2008. године. Овај извештај представља критичку ревизију постојеће литературе тврдећи да је мања потрошња горива на бетонским коловозним конструкцијама него на асфалтним. Perriot је идентификовао четири фактора која утичу на отпор котрљању:

- Расипање енергије кроз трење пнеуматика и коловоза
- Расипање енергије узроковано деформацијом пнеуматика
- Расипање енергије због амортизера
- Расипање као резултат вискоеластичности коловоза

Поред ових фактора идентификовао је и две категорије за карактеристике коловозне конструкције које су одговорне за расипање енергије: карактеристике површине (због трења и деформације пнеуматика и амортизера) и структурне особине. Такође, идентификовао је и да је следеће факторе тешко проценити, нпр.:

- текстура површине коловоза и друга механичка својства
- отпор котрљања јер зависи и од коловоза а и од возила

I. Zaabar and K. Chatti су спровели студију под називом „Теренска истраживања утицаја стања коловоза на потрошњу горива“. Да би проценили потрошњу горива у односу на тип коловозне конструкције, брзину возила, храпавост коловоза и структуру површине коловоза користили су пет различитих возила на пет различитих локација у Мичигену. Истраживање су спроводили на равним и глатким површинама коловоза, у зимским и летњим условима и при три различите брзине кретања возила: 56, 72 и 88 km/h. Пошто је рађено на пет различитих локација идентификовано је и пет секција од асфалта и бетона. Пре почетка истраживања од департмана за транспорт су добијени подаци о стању коловоза, тачније IRI је за асфалтну коловозну конструкцију се кретао између 0.8 и 6 m/km, а за бетонску између 0.8 и 2.5 m/km. Текстура коловозне конструкције код асфалтних 0.23 до 1.96mm а код бетонских од 0.23 до 2.7 mm. Користећи коваријансу аутори су проценили утицај храпавости коловозне конструкције и површинске текстуре на потрошњу горива. Аутори су сумирали да у летњим условима средња разлика између потрошње горива код асфалтних и бетонских коловозних конструкција статистички значајна при брзини од 56 km/h, а није статистички значајна при брзинама од 72 и 88 km/h. А за зимске услове утврдили су да средња разлика између потрошње горива код асфалтних и бетонских коловозних конструкција није статистички значајна.

## 4 ЗАКЉУЧАК

Значајне карактеристике коловоза које утичу на безбедност саобраћају су коефицијент трења односно микротекстура и макротекстура које имају значајан утицај на коефицијент трења. Такође на безбедност саобраћаја утиче и неравност коловоза, наиме рехабилитација коловозне конструкције са једне стране утиче негативно на безбедност саобраћаја кроз повећање брзине, а позитивно кроз смањење зауставног пута кочења и повећава бочну стабилност у кривини. На безбедност негативно утиче и појава колотрага као и феномен „хидропланинг“ који настаје задржавањем воде на коловозу. У раду су и наведене друге карактеристике које су значајне за безбедност саобраћаја, од изразитог значаја су управо отпорност на



колотраге, храпавост коловоза, ефикасност уклањања воде са површине коловоза и осетљивост коловоза на зимско одржавање. Са аспекта трошкова експлоатације детаљније су истражени трошкови потрошње горива у зависности од стања коловоза. На потрошњу горива пре свега утичу силе које је потребно да возило савлада при кретању, пре свега отпор котрљању, а карактеристике стања коловоза које утичу управо на њега су текстура површине, храпавост коловозне конструкције и чврстоћа коловоза. Што се тиче храповости коловоза која се изражава преко IRI уочава се пораст свих трошкова експлоатације са порастом вредности IRI.

## 5 ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Richard Willis, Ph.D., Mary M. Robbins, Ph.D., Marshall Thompson, Ph.D., 2015., *Effects of pavement properties on vehicular rolling resistance: a literature review*, National Center for Asphalt Technology Auburn University, Auburn, Alabama
- [2] Славољуб Ерјавец, 2007., *Стање коловоза и безбедност саобраћаја*, Институт за путеве а.д Београд, Србија
- [3] I. Zaabar and K. Chatti, 2011., *A Field Investigation of the Effect of Pavement Surface Conditions on Fuel Consumption*, Proceedings of the TRB 90th Annual Meeting
- [4] I. Zaabar and K. Chatti, 2012., *Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating Costs*, NCHRP Report 720
- [5] A. Perriot, 2008., *Roads and Energy: How Pavements Can Affect Vehicle Fuel Consumption*, Colas Group
- [6] G.W. Taylor and J.D. Patten, 2006., *Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption — Phase III*, Centre for Surface Transportation Technology (CSTT), National Research Council of Canada (NRC)
- [7] Anita Ihs, 2004., *The Influence of Road Surface Condition on Traffic Safety and Ride Comfort*, The Swedish National Road and Transport Research Institute
- [8] Anita Ihs and Georg Magnusson, 2000., *The significance of various road surface properties for traffic and surroundings*, The Swedish National Road and Transport Research Institute
- [9] Giuseppe Loprencipe, Antonio Pantuso and Paola Di Mascio, 2017, *Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs*, Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering, Università degli Studi di Roma
- [10] *Life-Cycle Cost Analysis* available at: <http://www.pavementinteractive.org/life-cycle-cost-analysis/> (22.03.2018.)
- [11] Trifunović, S., Orešković, M., & Trpčevski, F. 2017. , *Influence of pavement characteristics and road parameters at traffic accident occurrence in the republic of Serbia*, International Conference “Road Safety in Local Community” Serbia
- [12] Mohammed, A., Umar, S. Y., Samson, D., & Ahmad, T. Y. 2015. *The Effect of Pavement Condition on Traffic Safety: A Case Study of Some Federal Roads in Bauchi State.*, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering Ver. I*, 12(3), 2278–1684. available at: <https://doi.org/10.9790/1684-1231139146>
- [13] Агенција за безбедност саобраћаја, 2017, База података о саобраћајним незгодама <http://www.abs.gov.rs/gis-baza>

# ULOGA SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE U PROMOVISANJU RAZVOJA PRIVREDNIH ZONA U SLOVENIJI

**Mr Andrej Gulič**

Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS), Trnovski pristan 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, <http://www.uirs.si/>, [andrej.gulic@uirs.si](mailto:andrej.gulic@uirs.si)

**Rezime:** Promovisanje postojećih i planiranih privrednih zona u Republici Sloveniji predstavlja jednu od veoma aktualnih razvojnih tema sa kojom se u novije vreme na stručnom, planskom i implementacijskom nivou bave različite državne i regionalne institucije kao i jedinice lokalne samouprave te preduzeća. U radu su naglašeni pretežno prostorni i saobraćajni aspekti razvoja privrednih zona. Prikazana su usmerenja i kriterijumi njihovog razvoja koji su definisani u važećim prostornim dokumentima države kao i u rezultatima izabranih međunarodnih studija. U nastavku rada izneseni su predlozi kriterijuma za prostorno planiranje privrednih zona na državnom, regionalnom i subregionalnom nivou, koji obuhvataju i niz kriterijuma u oblasti saobraćajne infrastrukture. Demonstrirani su primeri dugoročnog prostornog planiranja privrednih zona. U zaključku rada predstavljen je sadržaj web stranice INVEST SLOVENIA, koju je za potrebe agencije SPIRIT SLOVENIA koncipirao Urbanistički institut RS i u kojoj je predstavljena aktualna ponuda lokacija za razvoj privrednih zona u Republici Sloveniji.

**Ključne reči:** Privredne zone, saobraćajna infrastruktura, promovisanje, planska usmerenja, prakse, Slovenija.

## THE ROLE OF TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN PROMOTING THE DEVELOPMENT OF BUSINESS ZONES IN SLOVENIA

**MSc Andrej Gulič**

Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia (UIRS), Trnovski pristan 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, <http://www.uirs.si/>, [andrej.gulic@uirs.si](mailto:andrej.gulic@uirs.si)

**Abstract:** Promoting the existing and planned business zones in the Republic of Slovenia has been one of the most important development issue in the recent decade which has been dealt with at the expert, planning and implementation level by various national and regional institutions, local governments and enterprises. The paper highlights mainly the spatial and transportation aspects of the issue. Guidelines and criteria for business zones development as used in the valid spatial planning documents of the country and from selected international studies are presented. Examples of long-term spatial planning of economic zones in expert studies for regional spatial plans are highlighted too. A set of spatial and transportation planning criteria of economic zones at the national, regional and sub-regional level is furthermore explained. In the final part of the paper, the content of the website INVEST SLOVENIA, commissioned by the SPIRIT SLOVENIA - Public Agency for Entrepreneurship, Internationalization, Foreign Investments and Technology, and elaborated by the Urban Planning Institute of RS is presented. The website hosts an updated offer of the locations for the development of business zones in the Republic of Slovenia.

**Key words:** Business zones, transportation infrastructure, promotion, planning guidance, practices, Slovenia.

### 1. UVOD

U uvodu rada polazimo od opšteg saznanja da država Slovenija, za sada, ne raspolaže sa sveobuhvatnim strateškim dokumentom na području podsticanja i podrške razvoju privrednih (poslovnih, industrijskih, proizvodnih, zanatskih, trgovačkih i drugih) zona koji bi, pored društveno-ekonomskih kriterijuma, uključivao jasnu prostornu koncepciju za njihovo planiranje i izgradnju. Terminologija u ovoj oblasti još nije u potpunosti usklađena, tako da su načini i oblici njihovog koncipiranja različiti, čime je otežano njihovo poređenje i povezivanje. Tu prazninu delomično popunjava važeća Strategija prostornog razvoja Slovenije (u nastavku SPRS) koja definiše ciljeve i politike dugoročnog razvoja privrednih zona u Sloveniji. Pored toga, Javna agencija RS za promovisanje preduzetništva, internacionalizacije, stranih investicija i tehnologije SPIRIT SLOVENIA (u nastavku SPIRIT SLOVENIJA) raspolaže sa rezultatima studija, koje su za potrebe države u prošloj deceniji pripremile strane konzultantske institucije. Rezultati stranih studija bili su međusobno prilično različiti i nisu doprineli konačnom razjašnjenju stavova i formiranju ujednačenijih polazišta i smernica u ovoj oblasti.

## 2. USMERENJA IZ STRATEGIJE PROSTORNOG RAZVOJA SLOVENIJE I PROSTORNOG REDA SLOVENIJE

SPRS (MOP, 2004a) je osnovni državni dokument usmeravanja prostornog razvoja. Pruža okvir za prostorni razvoj na celoj teritoriji države i postavlja smernice za razvoj u evropskom prostoru. Određuje koncept uređenja prostora, njegovu upotrebu i zaštitu. Među osnovne ciljeve SPRS svrstava i cilj koji se odnosi na problematiku promovisanja razvoja privrednih zona. Cilj je, da se sa razvojem regionalnih poslovnih zona za proizvodne i uslužne delatnosti, poveća konkurentnost slovenačkih gradova u Evropi. Usmerenja koja proizilaze iz pomenutog cilja određuju, da je kod razvoja privrednih zona - pored uvažavanja društveno ekonomskih uslova, garantovane dostupnosti kapitala i znanja u oblasti visoke tehnologije te radne snage - potrebno uvažiti i prostorne kriterijume, naime: optimalnu povezanost sa saobraćajnom i energetsom mrežom; blizinu i veličinu postojećih privrednih zona te terminala za saobraćaj; veličinu naselja, njihovu ulogu u urbanom sistemu i dostupnost do predviđanih lokacija privrednih zona; prostorne mogućnosti i ograničenja koji proizilaze iz stanja i karakteristika prirodnog i kulturnog pejzaža u koji se privredna zona locira. SPRS podstiče veće povezivanje opština u statističkim/razvojnim regionima sa ciljem zajedničkog uspostavljanja većih privrednih zona čime bi u većoj meri iskoristili razvojni potencijal regiona. Pored toga se u SPRS određuje da je potrebno proveriti mogućnosti sanacije i renovacije zapuštenih industrijskih, komunalnih, saobraćajnih in drugih sličnih područja te ih ponovno osposobiti za proizvodne svrhe. Uprkos činjenici da SPRS izričito ne definiše područja za prioritetni razvoj privrednih zona na državnom nivou, predloženi prostorni kriterijumi i usmerenja predstavljaju nekakvu širu osnovu za odlučivanje domaćih i inostranih privrednih ulagača o tome gde i na koji način alocirati potencijalne privredne zone.

Prostorni red Slovenije (u nastavku PRS) (MOP, 2004b) koji propisuje pravila za: uređivanje prostora i za prostorno planiranje; određivanje osnovnog i detaljnog načina korišćenja zemljišta; pripremu polaznih osnova za izradu prostornih rešenja kao i za izradu tehničke dokumentacije, propisuje i opšta pravila za planiranje područja privrednih delatnosti te u okviru njih i privrednih zona. Za određivanje prikladnosti lokacije za planiranje i izgradnju privredne zone PRS je opredelio sledeće kriterijume:

- Gravitacijsko zaleđe privredne zone nacionalnog i regionalnog značaja.
- Pogodna saobraćajna povezanost i pristupačnost.
- Mogućnost racionalnog infrastrukturnog opremanja.
- Povezanost sa postojećim istraživačkim centrima, univerzitetima, tehnološkim parkovima i drugim razvojnim nukleusima.
- Prostorne mogućnosti i ograničenja koja proističu iz stanja ili karakteristika prirodnog i kulturnog pejzaža u kojem se nalazi planirana privredna zona.
- Prostorne mogućnosti i ograničenja koje proizilaze iz karakteristika zemljišta i podtla.
- Udaljenost od već postojećih privrednih zona i transportnih terminala.
- Građevinsko tehnička relevantnost i izvodljivost.
- Stambeni uslovi u okolini i tržište rada.

Kriterijume koje predlaže PRS - uvažavajući činjenicu da nisu izraženi odgovarajućim merljivim indikatorima - možemo upotrebiti samo kao neku vrstu uopštenog usmerenja.

## 3. USMERENJA IZABRANIH MEĐUNARODNIH STUDIJA

S ciljem promovisanja razvoja privrednih zona u Sloveniji država je finansirala izradu nekoliko studija, koje su sprovele izabrane međunarodne institucije. Studija pod nazivom "Drawing and Implementation of model for foreign investment promotion at regional level" koju je u okviru tehničke pomoći Flamanske Vlade sprovela Agencija za razvoj Limburg (2003) identifikovala je najviše standarde, koje bi pojedinačna privredna zona u procesu svog planiranja, funkcionisanja i razvoja morala uvažiti. Ti standardi su sledeći:

- Odlična saobraćajna dostupnost (lociranje zona duž autoputeva i glavnih državnih puteva) (dostupnost železnicom važna je za manji deo potencijalnih investitora).
- Visoko kvalitetna lokacija koja u susedstvu nije okružena sa potencijalno konfliktnim namenama upotrebe zemljišta i koja ima mogućnost širenja.
- Postojanje ekskluzivne namene korišćenja zemljišta u zonama u kojima se ne sme planirati i graditi objekti druge namene.
- Podesna površina privredne zone u koju se namerava privući direktne strane investicije (minimum 60-70 ha).

Druga studija pod nazivom „Strategic Possibilities for the Development of Business Zones in Slovenia“ koju je izradio PE International - Hypodomi (2002) definisala je kriterijume za izbor najpovoljnijih lokacija za planiranje i izgradnju privrednih zona u Sloveniji. Ti kriterijumi su sledeći:

- Fizičke karakteristike (lokacija i veličina privredne zone).
- Pravni status (uključenost u prostorni plan jedinice lokalne samouprave i vlasništvo).
- Socio-ekonomske karakteristike (ljudski resursi/zapošljavanje i institucionalni kapacitet regionalnih razvojnih agencija).

Uprkos predloženim kriterijumima spomenuti projekti predložili su konkretne lokacije privrednih zona od kojih većina nije bila u skladu sa njima. Čini se da su spomenuti projekti predstavljali nekakvu vrstu pokrića za neformalno donete političke odluke.

#### 4. PREDLOG POJMOVA I KRITERIJUMA ZA PROSTORNO PLANIRANJE PRIVREDNIH ZONA U SLOVENIJI

Kao što smo već u uvodu konstatirali, terminologija u oblasti proučavanja i planiranja privrednih zona u Sloveniji još nije usklađena. U dosadašnjoj analizi sreli smo se sa narednim pojmovima: privredna zona, regionalna razvojna zona, poslovna zona, poslovno-industrijska zona, poslovna zona malog biznisa, industrijska zona. Uzimajući u obzir opisano stanje odlučili smo se da u proučavanju problematike privrednih zona – uvažavajući sadržaj Zakona o privrednim društvima – , kao zajednički pojam za sve oblike zona koristimo pojam privredna zona.

Za razvoj privrednih zona i za njihovu prostornu alokaciju potrebno je zadovoljavanje brojnih uslova, koje u obliku potražnje ili zahteva postavljaju zainteresirana domaća i strana preduzeća. Prema tome, da bi proces razvoja privrednih zona bio uspešan od idejnog koncepta, njihovog planiranja i projektovanja, izgradnje, marketinga i poslovanja neophodno je uvažavati niz kriterijuma koji su se dokazali u praksi rada uspešnih privrednih zona.

U nastavku predstavljamo uži izbor predloga kriterijuma prostorne alokacije privrednih zona po pojedinačnim kategorijama zona: privredne zone nacionalnog, regionalnog i subregionalnog značaja. Zelenom bojom označena su polja saobraćajnih kriterijuma.

**Tabela 1. Privredne zone nacionalnog značaja**

Kriterijumi prostorne alokacije	
funkcionalni značaj	međunarodni, nacionalni, regionalni
veličina	min. 90 ha (može biti i više fizički ili funkcionalno povezanih privrednih zona, od kojih je svaka veličine bar 30 ha)
mogućnosti za širenje u prostoru	dodatna površina veličine od cca. 1/3-1/2 funkcionalne površine za eventualno širenje
blizina postojećih privrednih zona	blizina i pristupačnost postojećih privrednih zona u dostižnom radijusu značajna je po pitanju povezivanja internih preduzeća (sarađivanje i podela funkcija)
blizina većih centara	centar međunarodnog od. nacionalnog značaja (uvažavajući SPRS)
gravitaciono područje	100.000 stanovnika
poreklo investitora	domaći i inostrani
određivanje namene prostora	područja proizvodnih delatnosti
prostorna struktura	velika struktura, izgradljivi ulični blokovi (npr. raster mreže: 250x120m ili 60x120m)
blizina saobraćajnog čvora	blizina najvažnijeg državnog, državnog ili regionalnog saobraćajnog čvora u kojem se povezuje saobraćajna infrastruktura različitih saobraćajnih podsistema i koji se nalazi u /uz centar nacionalnog značaja
povezanost sa državnim putem	autoput, državni put I i II reda
povezanost sa železnicom	magistralna ili regionalna pruga neposredno ili preko industrijskog koloseka
povezanost sa infrastrukturom javnog putničkog saobraćaja	putnički terminal za vođenje javnog putničkog saobraćaja međunarodnog od. nacionalnog značaja
povezanost sa infrastrukturom kombinovanog transporta	terminal za kombinovani transport nacionalnog značaja

Izvor: (Gulič, A. et al., 2010)

**Tabela 2. Privredne zone regionalnog značaja**

Kriterijumi prostorne alokacije	
funkcionalni značaj	regionalni i eventualno nacionalni i međunarodni
veličina	min. 60 ha (može biti i više fizički ili funkcionalno povezanih privrednih zona, od kojih je svaka veličine bar 20 ha)
mogućnosti za širenje u prostoru	dodatna površina veličine od cca. 1/3-1/2 funkcionalne površine za eventualno širenje
blizina postojećih privrednih zona	blizina i pristupačnost postojećih privrednih zona u dostižnom radijusu značajna je po pitanju povezivanja internih preduzeća (sarađivanje i podela funkcija)
blizina većih centara	centar nacionalnog od. regionalnog značaja (uvažavajući SPRS)
gravitaciono područje	50.000 stanovnika
poreklo investitora	domaći i inostrani
određivanje namene prostora	područja proizvodnih delatnosti od. mešana područja
prostorna struktura	srednja struktura, izgradljivi ulični blokovi (npr. raster mreže: 60x120m ili 40x80m)
blizina saobraćajnog čvora	blizina regionalnog saobraćajnog čvora u kojem se povezuje saobraćajna infrastruktura različitih saobraćajnih podsistema i koji se nalazi u /uz centar regionalnog značaja
povezanost sa državnim putem	državni put I i II reda
povezanost sa železnicom	regionalna pruga neposredno ili preko industrijskog koloseka
povezanost sa infrastrukturom javnog putničkog saobraćaja	putnički terminal za vođenje javnog putničkog saobraćaja regionalnog značaja
povezanost sa infrastrukturom kombinovanog transporta	terminal za kombinovani transport regionalnog značaja

Izvor: (Gulič, A. et al., 2010)

**Tabela 3. Privredne zone subregionalnog značaja**

Kriterijumi prostorne alokacije	
funkcionalni značaj	subregionalni
veličina	min. 20 ha (može biti i više fizički ili funkcionalno povezanih privrednih zona, od kojih je svaka veličine bar 5 ha)
mogućnosti za širenje u prostoru	dodatna površina veličine od cca. 1/3-1/2 funkcionalne površine za eventualno širenje
blizina postojećih privrednih zona	blizina i pristupačnost postojećih privrednih zona u dostižnom radijusu značajna je po pitanju povezivanja internih preduzeća (sarađivanje i podela funkcija)
blizina većih centara	međupštinski centar (uvažavajući SPRS)
gravitaciono područje	15.000 stanovnika
poreklo investitora	domaći i inostrani
određivanje namene prostora	područja proizvodnih delatnosti od. mešana područja
prostorna struktura	srednja struktura, izgradljivi ulični blokovi (npr. raster mreže: 60x120m ili 40x80m)
blizina saobraćajnog čvora	blizina subregionalnog saobraćajnog čvora u kojem se povezuje saobraćajna infrastruktura različitih saobraćajnih podsistema i koji se nalazi u /uz međupštinski centar
povezanost sa državnim putem	državni put II reda
povezanost sa železnicom	regionalna pruga neposredno ili preko industrijskog koloseka
povezanost sa infrastrukturom javnog putničkog saobraćaja	putnički terminal za vođenje javnog putničkog saobraćaja subregionalnog značaja
povezanost sa infrastrukturom kombinovanog transporta	terminal za kombinovani transport subregionalnog značaja

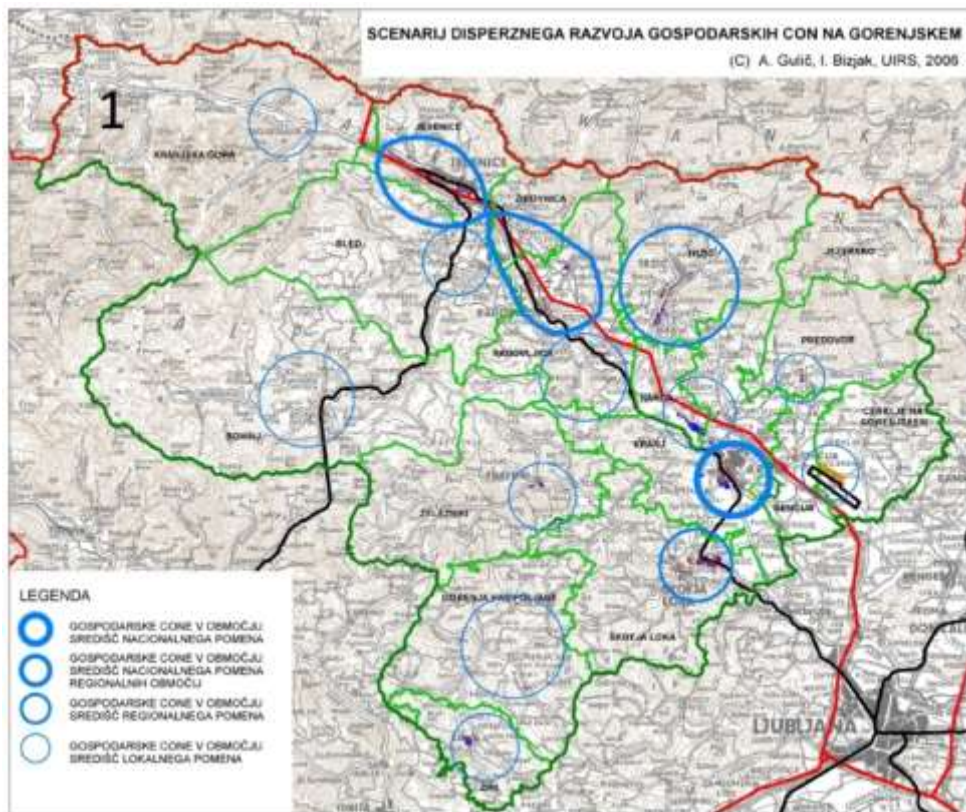
Izvor: (Gulič, A. et al., 2010)

## 5. PRIMERI DUGOROČNOG PROSTORNOG PLANIRANJA PRIVREDNIH ZONA NA REGIONALNOM NIVOU

Predloženi sistem kriterijuma prostorne alokacije privrednih zona pokušali smo sprovesti prilikom izrade stručnih osnova za razvoj i upravljanje privrednih zona kao i kod izrade stručnih osnova za regionalne prostorne planove različitih regiona u Sloveniji. U okviru projekta Stručne osnove za upravljanje i prostorni razvoj privrednih zona v Gorenjskom regionu (Gulič, A., Bizjak, I. 2006) pokušali smo u najvećoj mogućoj meri uvažiti predložene kriterijume prostorne alokacije privrednih zona po predloženih kategorijama. Na slikama 1 – 4 prikazani su mogući scenariji razvoja privrednih zona u Gorenjskom regionu u Sloveniji. Scenario disperzivnog razvoja (Slika 1), scenario policentričkog razvoja - A (Slika 2), scenario policentričkog razvoja -

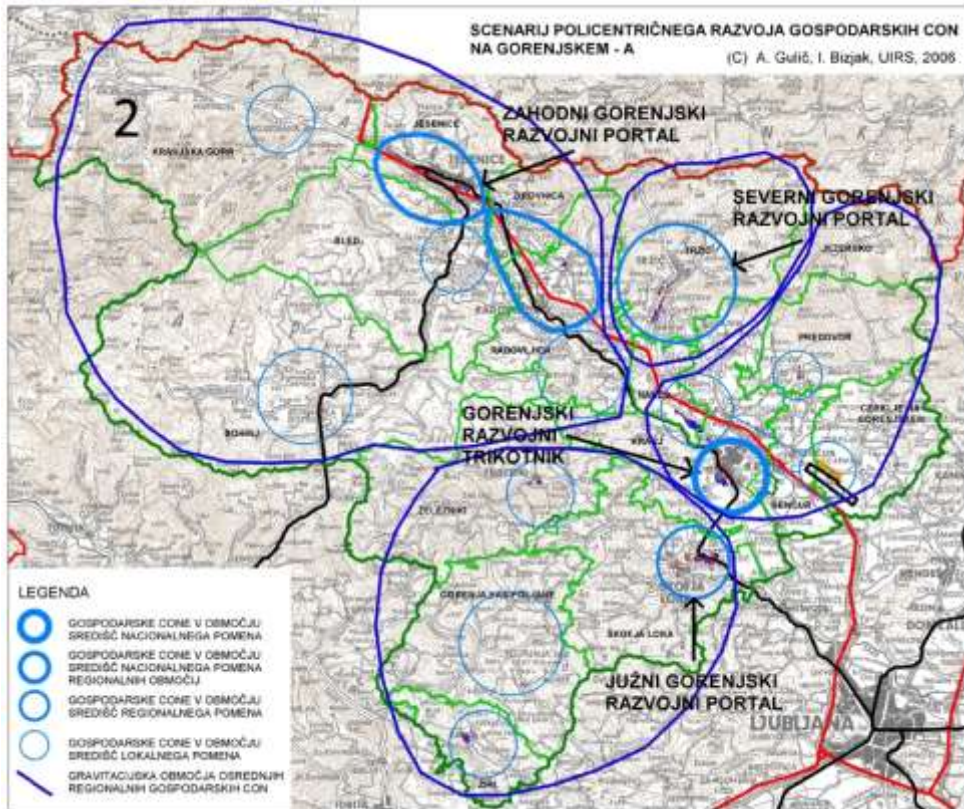


C (Slika 3) i scenario monocentričkog razvoja (Slika 4). U pogledu uvažavanja kriterijuma saobraćajne infrastrukture su svi scenariji jednaki i impliciraju lociranje većih privrednih zona na lokacije koje su blizu autoputne i železničke infrastrukture i važnijih saobraćajnih čvorišta (Jesenice, Kranj, Škofja Loka). U scenarijima su predstavljene različite mogućnosti razvoja, povezivanja i upravljanja postojećim i planiranim privrednim zonama u regionu. Ključni razvojni akteri u regionu odlučili su se za implementaciju tzv. scenarija monocentričkog razvoja, koji nadograđuje scenario disperzivnog i scenarije policentričkog razvoja i koji predviđa osnivanje tzv. Privrednog centra Gorenjske (The economic center of the Gorenjska region) kao jedinstvenog poslovnog sistema sa prednostnim zadatkom organizacionog, institucionalnog i logističkog povezivanja svih privrednih zona nadlokalnog značaja. Nažalost ciljna usmerenja izabranog scenarija nisu još bila sprovedena u praksi. U praksi danas prevlađuje ostvarivanje tzv. scenarija disperzivnog razvoja prema kojem skoro svaka opština u regionu teži ka tome da na svom teritoriju alokira privrednu zonu prikladnu svojim lokalnim razvojnim interesima i potrebama bez većeg uvažavanja predloženih kriterijuma i bez obzira na mogućnosti šireg prostornog i funkcionalnog povezivanja u regionu.

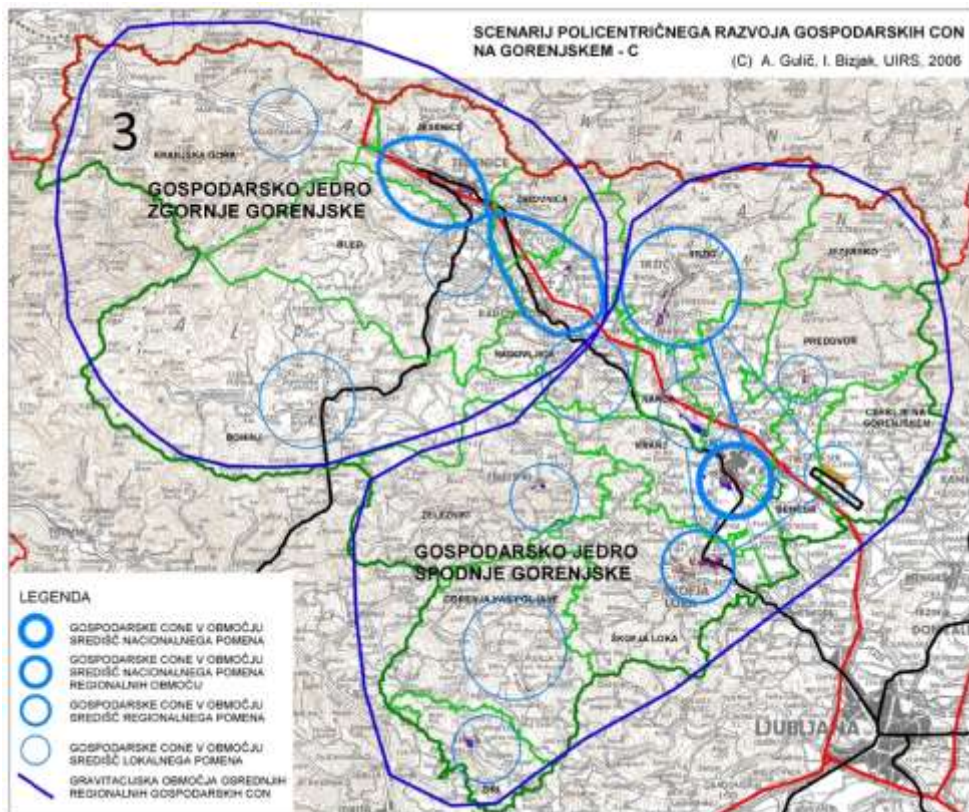


**Slika 1.** Scenarij disperznog razvoja privrednih zona u Gorenjskom regionu u Sloveniji  
Izvor: (Gulič, A., Bizjak, I., 2006)



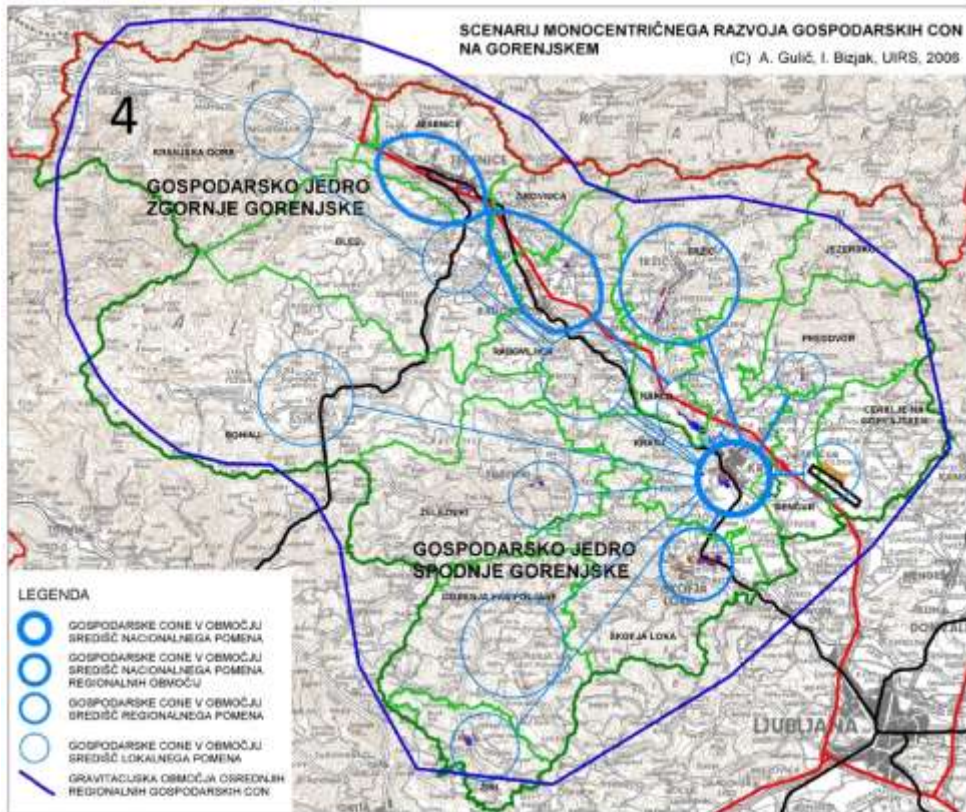


Slika 2. Scenarij policentričnega razvoja privrednih zona u Gorenjskom regionu u Sloveniji - A  
Izvor: (Gulič, A., Bizjak, I., 2006)



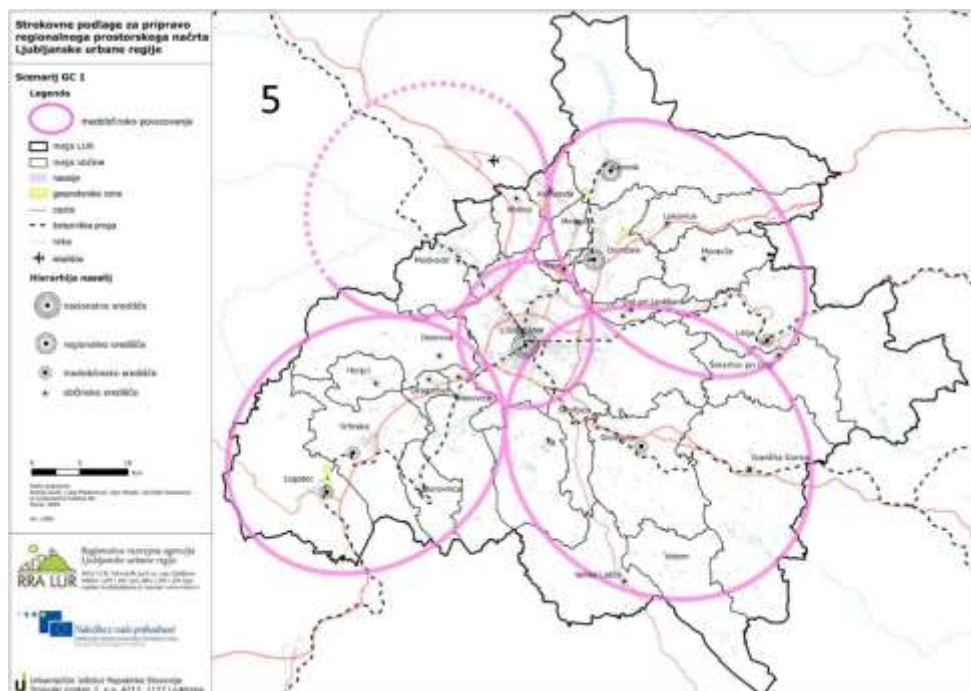
Slika 3. Scenarij policentričnega razvoja privrednih zona u Gorenjskom regionu u Sloveniji - C  
Izvor: (Gulič, A., Bizjak, I., 2006)





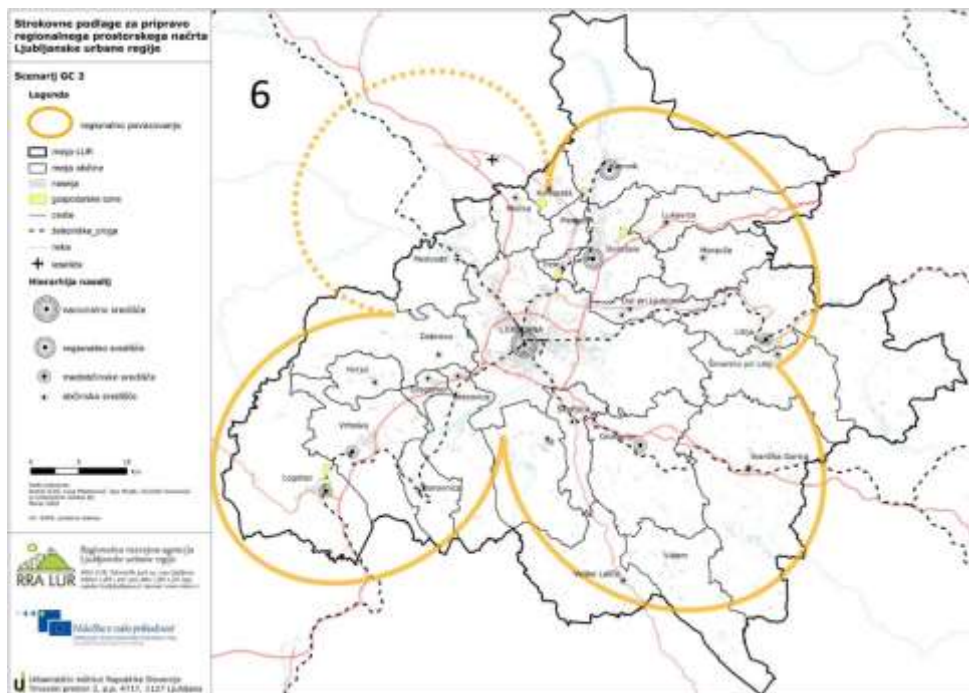
**Slika 4.** Scenarij monocentričnog razvoja privrednih zona u Gorenjskom regionu u Sloveniji  
Izvor: (Gulič, A., Bizjak, I., 2006)

Slična situacija ponavlja se i u drugim regionima u kojima smo pripremili stručne osnove za izradu regionalnih prostornih planova. Predloženi kriterijumi i prostorna usmerenja razvoja privrednih zona na regionalnom nivou u glavnom su bili uvaženi u skladu sa željama i zahtevima konkretnih investitora kao i sa očekivanjima predstavnika organa jedinica lokalne samouprave. Slike 5 i 6 prikazuju scenarije razvoja privrednih zona u Ljubljanskom urbanom regionu u okviru projekta Stručne osnove za pripremu regionalnog prostornog plana Ljubljanskog urbanog regiona (Gulič, A. et al. 2010).



**Slika 5.** Scenarij GC 1 razvoja privrednih zona u Ljubljanskom urbanom regionu u Sloveniji

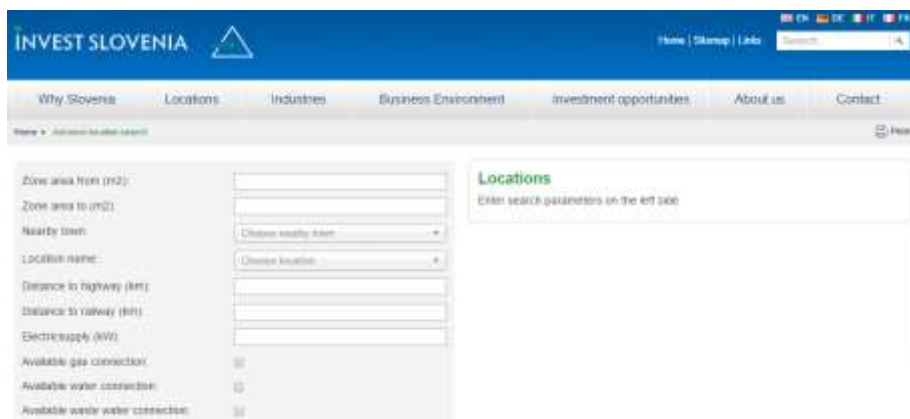
Izvor: (Gulič, A., 2010)



Slika 6. Scenarij GC 2 razvoja privrednih zona u Ljubljanskem urbanom regionu u Sloveniji  
Izvor: (Gulič, A., 2010)

## 6. PRIVREDNE ZONE REPUBLIKE SLOVENIJE NA SVETSKOJ MREŽI (WWW)

Predloženi sistem kriterijuma prostorne alokacije privrednih zona pokušali smo implementirati i prilikom izrade web stranice [INVEST SLOVENIA](http://www.invest-slovenia.si), koju smo za potrebe Javne agencije Republike Slovenije za promovisanje preduzetništva, internacionalizacije, stranih investicija i tehnologije [SPIRIT SLOVENIA](http://www.spirit-slovenia.si) koncipirali i u kojoj je predstavljena aktualna ponuda lokacija za razvoj privrednih zona u Republici Sloveniji. To nam je u ograničenom smislu uspelo, posebno u okviru u definisanja kriterijuma za pretragu lokacija evidentiranih postojećih i planiranih zona. U svim ostalim pogledima web stranica nudi aktualne informacije o ponudi lokacija za privredne zone bez obzira na šira prostorno strateška usmerenja države.



Slika 7. Pretraga lokacija evidentiranih postojećih i planiranih zona  
Izvor: (SPIRIT Slovenija, 2018)

## 7. ZAKLJUČCI

Promovisanje održivog razvoja ekonomskih zona u Sloveniji je, uprkos brojnim stručnim naporima - uključujući i napore Urbanističkog instituta Republike Slovenije - još uvek u povojima. Bez obzira na postojanje relativno kvalitetnih prostornih i razvojnih strategija na državnom i regionalnim nivojima (npr. regionalni razvojni programi) u praksi preovlađuje tzv. neoliberalni ekonomski pristup u kojem se sa strane ponude lokacija postojećih i planiranih privrednih zona prilično nepovezano pojavljuju različiti akteri, kao na primer državne

institucije, institucije regionalne i lokalne samuprave te preduzeća. Pomenuti akteri se sa ponudom komunalno opremljenih i neopremljenih zemljišta privrednih zona često međusobno takmiče u privlačenju domaćih i stranih investitora i na taj način snižavaju vrednost zemljišta i drugih ekonomskih faktora (npr. cena radne snage) te smanjuju vrednost mogućih prihoda. U mnogim slučajevima se manje i manje razvijene opštine odlučuju za oblikovanje ponude privrednih zona na lokacijama koje ne ispunjavaju minimalne prostorne i saobraćajne kriterijume. U praksi danas preovlađuje ostvarivanje scenarija disperzivnog razvoja prema kojem većina opština u Sloveniji teži ka tome da na svom teritoriju alocira privrednu zonu prikladnu svojim lokalnim razvojnim interesima i potrebama i bez obzira na mogućnosti šireg prostornog i funkcionalnog povezivanja u širem prostoru.

Uprkos utvrđenim problemima se situacija okreće na bolje. Ministarstvo zaštite životne sredine i uređenja prostora te Ministarstvo za privredni razvoj i tehnologiju Republike Slovenije poverili su nedavno Urbanističkom institutu Republike Slovenije i partnerima, da izrade projekat „Metodologija za popis poslovnih zona i subjekata inovativnog okruženja na području Slovenije“ sa kojim će do septembra 2019 godine biti izrađene stručne osnove za efikasnije rešavanje gore pomenutih problema i izazova.

## Literatura

- [1] Gulič, A., Bizjak, I. 2006. *Strokovne podlage za upravljanje in prostorski razvoj gospodarskih con na Gorenjskem (Background document on management and spatial development of business zones in the Gorenjska region)*. Sastavni deo projekta INTERREG IIIa ROPOL – Razvoj obmejnih poslovnih lokacij Slovenija – Avstrijska Koroška. Urbanistični inštitut RS. Ljubljana.
- [2] Gulič, A. et al. 2010. *Strokovne podlage za pripravo regionalnega prostorskega načrta Ljubljanske urbane regije*. Urbanistični inštitut RS. Ljubljana.
- [3] Limburg Development Agency. 2003. *Drawing and Implementation of model for foreign investment promotion at regional level*. Cooperation project cofinanced by Flemish government, Belgium.
- [4] MOP - Ministrstvo za okolje in prostor. 2004a. *Strategija prostorskega razvoja Slovenije*. Ljubljana.
- [5] MOP - Ministrstvo za okolje in prostor. 2004b. *Prostorski red Slovenije*. Ljubljana.
- [6] PE International, Hypodomi. 2002. *Strategic Possibilities for the Development of Business Zones in Slovenia*. Ljubljana.
- [7] SPIRIT Slovenija. 2018. Invest Slovenia. <http://www.investslovenia.si/>



# PROCENA SOCIO-EKONOMSKIH UTICAJA MOGUĆEG POZICIONIRANJA NOVE ŽELEZNIČKE PRUGE U PROSTOR POMURSKOG REGIONA (SLOVENIJA)

**Mr Andrej Gulič**

Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS), Trnovski pristan 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, <http://www.urs.si/>, [andrej.gulic@urs.si](mailto:andrej.gulic@urs.si)

**Rezime:** Socio-ekonomska procena uticaja (SEPU) predstavlja najrašireniji instrument za utvrđivanje potencijalnih sadašnjih i budućih društvenih te ekonomskih uticaja predložene infrastrukture i drugih razvojnih projekata te za razvijanje odgovarajućih politika i mera kojima se identificirani nepovoljni uticaji mogu ublažiti ili ukloniti, pozitivni društveni i ekonomski uticaji pa efikasno iskoristiti u korist zajednica u kojima su projekti prostorno smešteni. U Sloveniji SEPU nije pravno obavezna, zbog čega njena upotreba zavisi o sadržaju i prirodi pojedinačnih razvojnih projekata, kao i o procenama naručioaca. U radu su predstavljeni konačni rezultati delimičnog SEPU izbora nove železničke pruge u Pomurskom regionu u Sloveniji u smeru Bad Radkersburg (A) - Murska Sobota (SLO).

**Ključne reči:** Procena socio-ekonomskih uticaja (SEPU), nova železnička pruga, Slovenija.

## SOCIO-ECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF THE NEW RAILWAY LINE ROUTE SELECTION IN THE POMURSKA REGION (SLOVENIA)

**MSc Andrej Gulič**

Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia (UIRS), Trnovski pristan 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, <http://www.urs.si/>, [andrej.gulic@urs.si](mailto:andrej.gulic@urs.si)

**Abstract:** Socio-Economic Impact Assessment (SEIA) represents the most widely used tool for determining the potential current and future social and economic impacts of proposed infrastructure and other development projects and for developing appropriate policies and measures by which the identified adverse effects can be mitigated or eliminated, and positive social and economic impacts effectively exploited for the benefit of communities in which the projects are spatially located. In Slovenia SEIA is not legally binding, for this reason its use depends on the content and nature of specific development projects as well as on the contracting entity's assessments. In the paper the final results of a partial SEIA of the new railway link site selection in the Pomurska region on the route Bad Radkersburg (A) - Murska Sobota (SLO) are presented.

**Key words:** Socio-economic impact assessment (SEIA), new railway link, Slovenia.

### 1. UVOD

U Evropskoj uniji (EU) postoji odlučnost i posvećenost u promociji budućeg razvoja konkurentnih i održivih saobraćajnih veza i infrastrukture. U tom kontekstu naglašen je značaj razvoja moderne železničke infrastrukture, s posebnim naglaskom na (ponovnom) uspostavljanju nepostojećih prekograničnih veza. Ovu činjenicu potkrepljuju važni razvojni i drugi dokumenti EU, koji u svojim ciljevima i orijentacijama zagovaraju:

- prekograničnu koordinaciju poslovno usmerenih „bottom-up“ projekata kao što su železnički teretni i zeleni koridori (EU, 2009);
- razvoj integrisanog evropskog tržišta železnica (EU, 2011);
- usredsređivanje na popunjavanje nepostojećih veza (posebno prekograničnih sekcija i uskih grla / zaobilaznica) i poboljšanje postojeće infrastrukture (ibid.);
- pripreme pregleda regionalnih prekograničnih železničkih veza koje su bile uklonjene ili napuštene, posebno one koje bi mogle biti povezane s TEN-T (EP, 2009);
- izgradnju i proširenje /.../ železničke mreže /.../, koje je izuzetno važno za granične regione, uključujući i uspostavljanje nepostojećih veza između regionalnih / nacionalnih i transevropskih prometnih osovina i mreža (Evropsko udruženje graničnih regiona - AEBR, 2009).

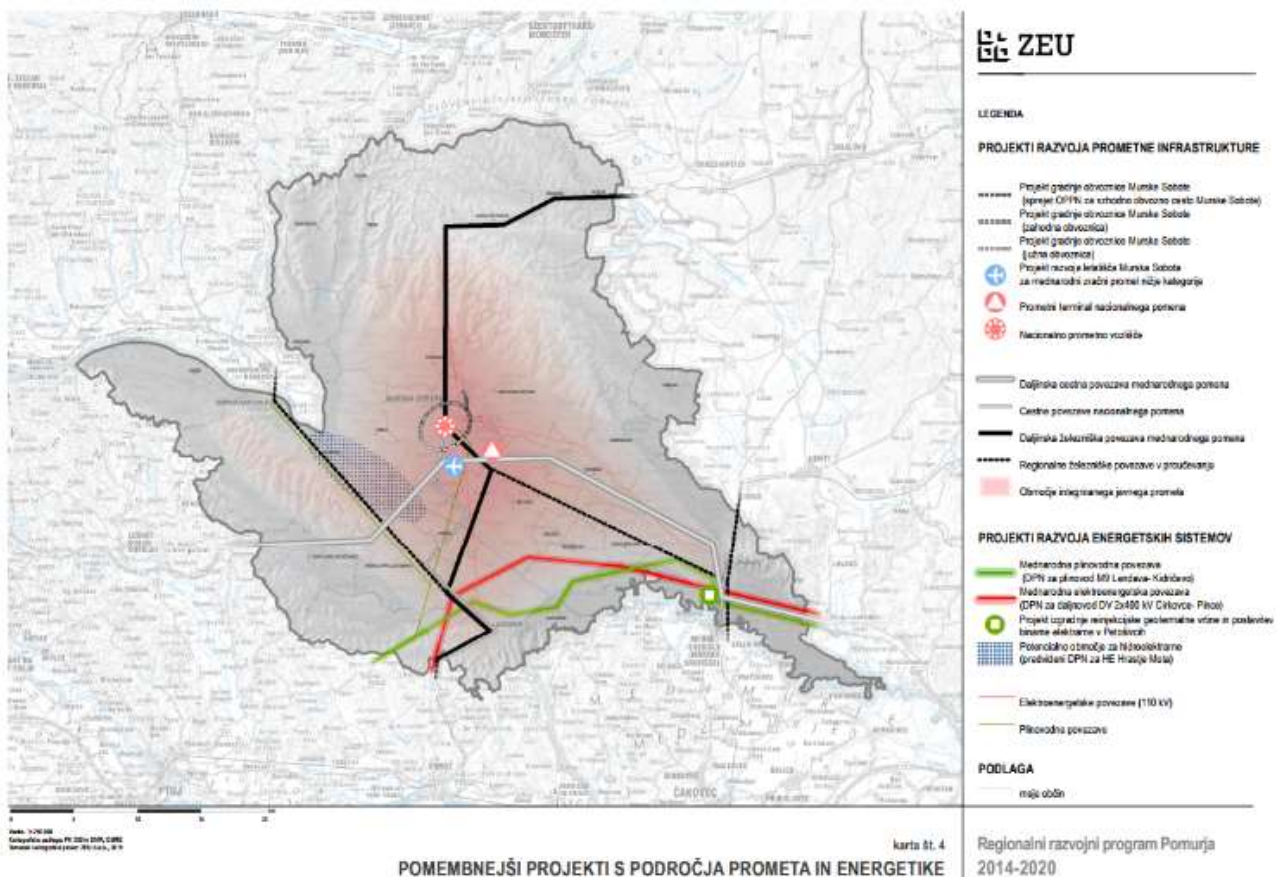
Slična usmerenja i razvojna opredeljenja ne mogu se naći u okviru dugoročnih razvojnih dokumenata koji usmeravaju budući razvoj saobraćaja i unutar njega posebno železničkog sistema / infrastrukture u Republici Sloveniji (dalje u tekstu: RS). To se posebno odnosi na Pomurski region, koji je ujedno i najmanje razvijen slovenački statistički / razvojni region. Naime, neke važne regionalne železničke pruge koje su povezivale

region sa susednim prekograničnim područjima u Republici Austriji i Mađarskoj u nedavnoj istoriji, napuštene su. Radi se o železničkim prugama Ljutomer - Gornja Radgona - Bad Radkersburg - Lipnica te Lendava - Redics.

Tako, npr. u važećoj Strategiji prostornog razvoja Slovenije (MOP, 2004) (dalje u tekstu: SPRS) nisu predložene mogućnosti ponovnog uspostavljanja pomenutih železničkih veza. U izveštaju o Nacionalnom programu razvoja saobraćaja u Republici Sloveniji za period do 2030 godine (ReNPRP30) Prilog 7 - Dinamika železničkog saobraćaja (MP, 2016), samo je kao primer navedena mogućnost izgradnje nove regionalne pruge Gornja Radgona – državna granica – Austrija, koja ne uključuje informacije o programu pripreme potrebne dokumentacije i izgradnju pruge. ReNPRP30 ne predviđa izgradnju nove regionalne pruge od Lendave do graničnog prelaza Dolga vas (i dalje do Redicsa u Mađarskoj). Umesto nje predviđa izgradnju regionalne pruge Lendava – Beltinci s kojom na planskom nivou povezuje Lendavu sa nacionalnom železničkom mrežom.

Na taj način, se na nivou strateškog planiranja i programiranja aktivno doprinosi produblivanju saobraćajne izolacije Pomurskog regiona, slabljenju položaja Murske Sobote kao glavnog saobraćajnog čvorišta i urbanog središta regiona, smanjenju mogućnosti poboljšanja održive mobilnosti unutar regiona, pogoršanju uslova za usklađivanje i obezbeđivanje interoperabilnosti regionalne železničke mreže sa železničkim mrežama susednih zemalja Austrije, Mađarske i Hrvatske. Uprkos činjenici da je uklanjanje „uskih grla“ i optimiziranje kapaciteta prekograničnog regionalnog saobraćaja – u našem slučaju železničke veze – presudno za poboljšanje efikasnosti putničkog i teretnog saobraćaja unutar jedinstvenog evropskog tržišta.

Za razliku od predstavljenih nacionalnih strateških razvojnih dokumenata, Program regionalnog razvoja Pomurskog regiona za period 2014 - 2020 (RRA Mura, 2015) naglašava problem nepostojanja prekograničnih železničkih veza, to jest, železničke veze između Lendave i Redicsa u Mađarskoj, te železničke veze između Murske Sobote i Bad Radkesburga u Austriji. Program identifikira obe napomenute pruge kao regionalne železničke veze u istraživanju. Osim toga, predviđa mere za izgradnju transportnog terminala od nacionalnog značaja koji bi se navezao na postojeće i moguće buduće železničke pruge (Slika 1).



Slika 1. Projekti razvoja saobraćajne infrastrukture u Pomurskom regionu (izvor: RRA Mura, 2015)



U opisanom kontekstu te u okviru Operativnog programa Slovenija - Austrija 2007-2013 bio je sproveden projekat „Studija izvodljivosti za uspostavljanje železničke infrastrukture do novog V. koridora na relaciji Bad Radkersburg – Murska Sobota“ (PNZ, IBK et al., 2012). Cilj studije izvodljivosti bio je ispitati i proceniti moguće koridorske varijante za lokaciju železničke infrastrukture u prostor u smeru Bad Radkersburg - Murska Sobota. Istraživanje je obuhvatilo niz radnih paketa koji su uključivali: indikativno utvrđivanje investicijske vrednosti novih infrastrukturnih veza, studiju delovanja, ekonomsku i finansijsku analizu, istraživanje tržišta, analizu geoloških i hidroloških uslova, analizu tržišnih potencijala nove železničke veze, studiju trasiranja pruge te studiju izvodljivosti četiri moguće varijante koridora. U okviru ove studije je autor rada, kao predstavnik Urbanističkog instituta Republike Slovenije, proveo socioekonomsko istraživanje koje predstavlja naučni temelj rada (Gulič, 2012).

## 2. PROSTORNI KONTEKST

Prostorni kontekst unutar koga je urađena procena socioekonomskih uticaja mogućih koridorskih varijanti železničke infrastrukture u smeru Bad Radkersburg - Murska Sobota, obuhvatio je tri analitička područja. Najširi uticajni prostor, koji uključuje EU, Republiku Sloveniju i Austriju. Šire područje uticaja koji uključuje austrijsku saveznu državu Štajersku te slovenački Podravski i Pomurski statistički region, koje smo imenovali prekogranični region. Uže područje uticaja – koje se usredsređuje na procenu socioekonomskog uticaja – odnosi se na prekogranično područje između Bad Radkersburga i Murske Sobote, koje takođe uključuje i neka od važnijih naselja u ovom delu Pomurskog regiona (Gornju Radgonu, Radence i Tišinu).

## 3. METODOLOŠKI OKVIR

Socio-ekonomska procena uticaja (PSEU) predstavlja najraširenije oruđe za utvrđivanje potencijalnih sadašnjih i budućih društvenih te ekonomskih uticaja predložene infrastrukture i drugih razvojnih projekata te za razvijanje odgovarajućih politika i mera kojima se identifikovani nepovoljni uticaji mogu ublažiti ili odstraniti, pozitivni društveni i privredni uticaji pa efikasno iskoristiti na dobrobit zajednica u kojima su projekti prostorno smešteni.

U dosadašnjoj planerskoj praksi i praksi vrednovanja politika, socijalna procena i procena ekonomskih uticaja obično su pripremljene i provedene odvojeno, često u vezi sa strateškom procenom uticaja na životnu sredinu. U novije vreme sve je očitija potreba za njihovom bližom integracijom i razvojem integriranog pristupa. Integrirani pristup može pružiti sveobuhvatne i troškovno efikasne rezultate koji pružaju informacije o mogućim ekonomskim uticajima, kao i mogućim uticajima na prevladavajuće društvene vrednosti i stavove stanovnika i drugih učesnika na predložene promene.

PSEU mogućeg izvođenja razvojnih projekata obično uključuje sledeće metodološke korake: određivanje prostornih, vremenskih i problemskih okvira za izvođenje procene uticaja; određivanje početnih okolnosti i uslova; predviđanje (ne)posrednih i kumulativnih društvenih te privrednih uticaja; određivanje mera ublažavanja za upravljanje, smanjenje i uklanjanje negativnih uticaja izvođenja razvojnog projekta; vrednovanje (mogućih varijanti) predloga razvojnog projekta od strane različitih učesnika i šire javnosti te izvođenje mera prilagođavanja i praćenja izvođenja razvojnog projekta (više o tome u Becker i Vanclay, 2003).

U Sloveniji PSEU nije pravno obavezna, zbog toga njena upotreba zavisi o sadržaju i prirodi pojedinačnih razvojnih projekata, kao i o procenama naručioca. Isto vredi i za procene socijalnog uticaja, koje čine sastavni deo procene socio-ekonomskog uticaja. To naglašava Bojan Radej (2011: 160), koji ističe da „procene socijalnog uticaja u Sloveniji nisu obavezne za kreatore socijalne politike i nisu široko korištene, a njihov uticaj na javne odluke još uvek je neznatan“.

## 4. SINTEZNA OCENA SADAŠNJEG STANJA NA ŠIREM UTICAJNOM PODRUČJU

Na temelju izvedene analize PSEU unutar šireg područja uticaja dobiveni su neki sintetički rezultati koji se odnose na procenu sadašnjeg stanja a poslužili su kao osnova za implementaciju delimične SWOT analize. Radi se o sledećim nalazima:

1. Prekogranični region razvojno je nehomogen, u njemu postoje značajne razvojne razlike između – uzimajući u obzir sve društveno-ekonomske pokazatelje – razvijena austrijska i manje razvijena područja u Sloveniji.
2. Utvrđene socio-ekonomske razlike između austrijskih i slovenačkih regiona se u promatranom razdoblju ne smanjuju.

3. U negativnom razvojnom smislu, istupa Pomurski region u čiji prostor bi morala biti smeštena nova železnička veza u smeru Bad Radkersburg - Murska Sobota.
4. Granica između dve države je u nedavnoj istoriji obeležila snažnu razvojnu (uključujući kulturnu i jezičnu) liniju razdvajanja koja je uticala na relativni razvojni zaostatak područja s obe strane državne granice i usmeravala radne, poslovne i prometne tokove u središnja urbana središta (u Graz na austrijskoj strani te u Maribor i Mursku Sobotu na slovenačkoj strani).
5. Uprkos periferizaciji graničnih područja sa obe strane državne granice među njima su se očuvale razlike u nivou razvoja i životnog standarda stanovništva.
6. Pogoršanje privrednih uslova u Pomurskom regionu – gde su još uvek dominantne aktivnosti u primarnom i sekundarnom sektoru privrede – takođe prate nepovoljna kretanja stanovništva koja su posledica niske plodnosti i visoke smrtnosti, kao i iseljavanja u druge slovenačke regione.
7. Sistem naselja u okrugu Radkersburg i u Pomurskom regionu razvija se neovisno o sadašnjem i još daljnem potencijalu železničkog sistema koji produbljuje proces suburbanizacije i dezurbanizacije u prekograničnom regionu, te dovodi u pitanje mogućnost naknadnog uspostavljanja železničkog sistema kao temelja savremenog javnog prevoza.
8. U prekograničnom regionu prevladuje korišćenje sistema drumskog prevoza koji utiče na rast saobraćaja i zanemarivanje razvoja ostalih saobraćajnih sistema (posebno železnice).
9. Među važećim regionalnim (RRP Pomurskog regiona) i državnim razvojnim dokumentima (SPRS, ReNPRP30) na području podsticanja razvoja železničke infrastrukture u Pomurskom regionu za sada postoje nepremostive razlike na koje smo upozorili u uvodu rada.

## 5. DELIMIČNA SWOT ANALIZA PODESNOSTI USPOSTAVLJANJA NOVE ŽELEZNIČKE INFRASTRUKTURE UZIMAJUĆI U OBZIR ŠIRE PODRUČJE UTICAJA

U ovom poglavlju predstavljamo rezultate delimične SWOT analize podesnosti uspostavljanja nove železničke infrastrukture, uzimajući u obzir širi teritorijalni nivo: EU, Republiku Sloveniju, Republiku Austriju, austrijsku saveznu državu Štajersku i Pomurski region.

**Na nivou Evropske unije** moguće uspostavljanje nove železničke infrastrukture u smeru Bad Radkersburg - Murska Sobota nudi sledeće *prilike*:

- uklanjanje uskih grla i drugih prepreka na području železničke infrastrukture;
- sjedinjavanje saobraćajnih sistema istočnih i zapadnih delova Evrope;
- uspostavljanje infrastrukturnih uslova za razvoj multimodalnih logističkih lanaca;
- uspostavljanje infrastrukturnih uslova za razvoj integrirane evropske železničke mreže i tržišta.

Istovremeno, postoji *pretnja* da uspostavljanje novih poprečnih veza između koridora i moguće preusmeravanje dela tokova teretnog saobraćaja dovede do labavljenja uloge i značaja definiranih transevropskih saobraćajnih koridora.

**Na nivou Republike Slovenije** moguće uspostavljanje nove železničke infrastrukture nudi sledeće *prilike*:

- lakše preuzimanje očekivanog visokog stepena rasta potražnje za teretnim saobraćajem do 2050 godine;
- poboljšanje konkurentnosti železničke mreže;
- poboljšanje saobraćajne dostupnosti Pomurskog regiona;
- jačanje položaja Murske Sobote kao nacionalnog saobraćajnog čvorišta i središta koje će moći ravnopravno saradivati sa prekograničnim područjima u Austriji, Mađarskoj i Hrvatskoj;
- uklanjanje „uskih grla“ i optimiziranje kapaciteta prekograničnih regionalnih železničkih veza.

Na istom teritorijalnom nivou istovremeno se pojavljuju brojne *pretnje*:

- neusaglašenost razvojnih dokumenata na nacionalnom i regionalnom nivou u pogledu podsticanja budućeg razvoja železničkog sistema i infrastrukture ima negativan uticaj na ostvarivanje mogućnosti za uspostavljanje razmatrane infrastrukture;
- napuštanje postojećih planova za ulaganje u novu mrežu regionalnih puteva u Pomurskom regionu;
- preuzimanje dela teretnog saobraćaja od V. panevropskog koridora preko nove Koralmbahn železničke pruge u Austriji i njegovo preusmeravanje na druge luke severnog Jadrana koje su konkurentne luci Kopar;
- ukidanje V. panevropskog koridora preko teritorija Slovenije;
- preusmeravanje tereta u logističke centre u Austriji (npr. terminal Werndorf kod Graza);
- nova železnička veza Murska Sobota - Bad Radkersburg - Šentilj - Maribor takmičila bi se sa postojećom vezom Murska Sobota - Ormož - Pragersko - Maribor.

**Na nivou Republike Austrije** moguće uspostavljanje nove železničke infrastrukture nudi sledeće *prilike*:

- povezivanje sa brzom i efikasnom novom železničkom linijom Koralmbahn na relaciji Graz – Klagenfurt – (Villach – Trst) i preuzimanje dela teretnih tokova od sadašnjeg panevropskog koridora V. sa mogućnošću njegove prekategorizacije u V. panevropski koridor;
- uklanjanje „uskih grla“ i optimiziranje kapaciteta prekograničnih regionalnih železničkih veza.

Na tom teritorijalnom nivou, jedina *pretnja* bila bi mogućnost neostvarivanja spomenute nove železničke pruge.

**Na nivou austrijske savezne države Štajerske** prepoznali smo sledeće *prilike* moguće izgradnje nove železničke infrastrukture:

- pruga bi rasteretila postojeću železničku prugu koja povezuje Graz sa Budimpeštom;
- povećao bi se saobraćajni kapacitet železničke mreže;
- poboljšala bi se izravna železnička veza između terminala Werndorf blizu Graza i Pomurskog regiona te obližnjih mađarskih i hrvatskih regiona;
- uklonjeno bi bilo „usko grlo“ i optimiziran kapacitet prekograničnih regionalnih železničkih veza;
- poboljšali bi se uslovi za – na temelju svakodnevne radne mobilnosti – privlačenje dela raspoložive i troškovno pristupačnije radne snage iz Pomurskog regiona u središta zapošljavanja u austrijskoj saveznoj državi Štajerskoj.

Kao jedinu *pretnju* koja proizlazi iz moguće izgradnje navedene železničke infrastrukture na teritoriju austrijske savezne države Štajerske, prepoznali smo planiranu izgradnju konkurentnog savremenog terminala kombiniranog transporta u Murskoj Soboti, koji bi mogao preuzeti deo posla i prihoda logističkog terminala u Werndorfu.

**Na nivou Pomurskog regiona** moguće uspostavljanje nove železničke infrastrukture nudi sledeće *prilike*:

- unapređenje saobraćajne dostupnosti, što može posredno uticati na poboljšanje privredne uspešnosti Pomurskog regiona i barem delimično ograničavanje negativnih demografskih trendova;
- poboljšanje međuregionalne kohezije;
- poboljšanje infrastrukturnih uslova za podsticanje razvoja održive mobilnosti unutar regiona;
- jačanje položaja Murske Sobote kao saobraćajnog čvorišta Pomurskog regiona;
- poboljšanje infrastrukturnih uslova za izgradnju savremenog kombiniranog transportnog terminala;
- uklanjanje „uskih grla“ i optimiziranje kapaciteta prekograničnih regionalnih železničkih veza.

Na istom teritorijalnom nivou istovremeno se pojavljuju dve *pretnje*:

- stepenovanje raspršenosti naselja, što može dodatno pogoršati prostorne uslove za izgradnju navedene železničke infrastrukture;
- prevladavajuće saobraćajno infrastrukturno i logističko navezivanje privrede Pomurskog regiona na saobraćajne i logističke kapacitete austrijske savezne države Štajerske.

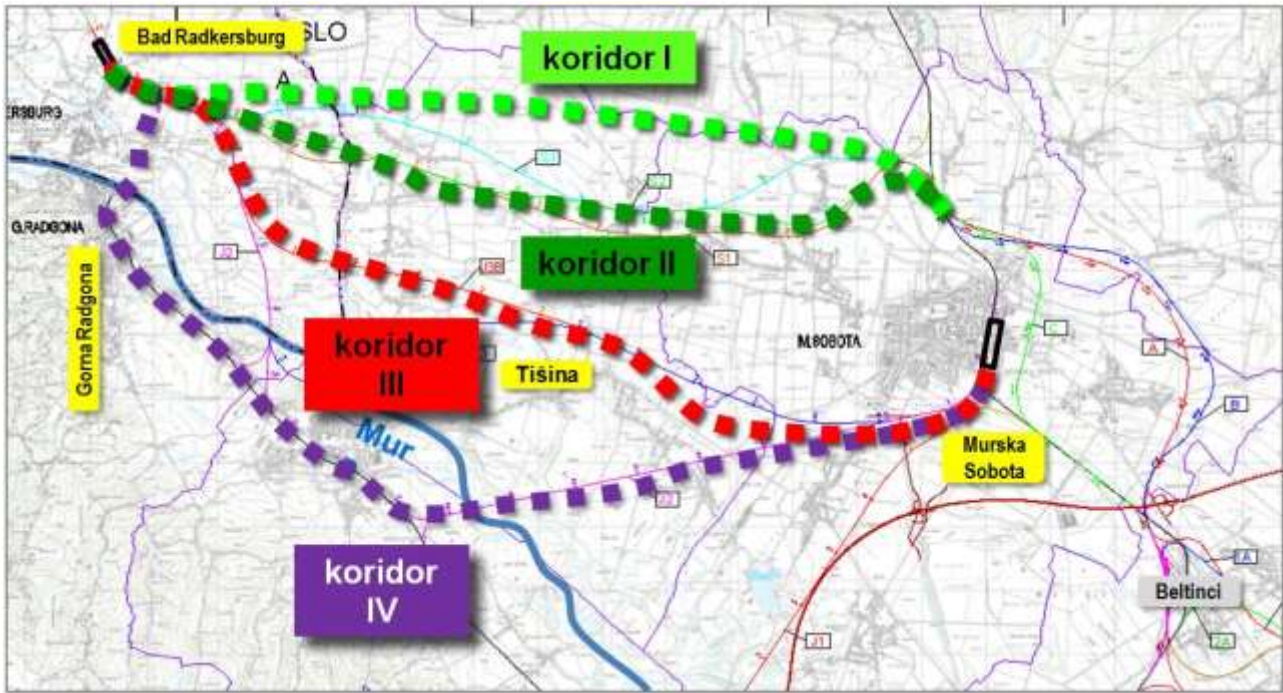
## 6. PROCENA POGODNOSTI POJEDINIH TRASA KORIDORA NOVE ŽELEZNIČKE PRUGE

U ovom poglavlju predstavljamo rezultate procene pogodnosti pojedinih trasa nove železničke infrastrukture na relaciji Bad Radkersburg - Murska Sobota.

Proceni prethodi pretpostavka da je uspostavljanje železničke infrastrukture do novog koridora V. na relaciji Bad Radkersburg - Murska Sobota pozitivno i da utvrđene prilike na širim teritorijalnim nivoima (EU, Slovenija, Pomurski region) preovlađuju nad utvrđenim pretnjama. Trase koridora nove železničke infrastrukture prikazane su na Slici 2.

Uže prekogranično područje preko kojeg su na relaciji Bad Radkersburg – Murska Sobota predložene koridorske varijante nove železničke infrastrukture, opisuju sledeće osnovne socioekonomske karakteristike i karakteristike sistema naselja:

1. Na predmetnom području se po broju stanovnika i radnih mesta ističu: Murska Sobota, Gornja Radgona i Radenci te sa austrijske strane Bad Radkersburg.
2. Murska Sobota je regionalno središte, Gornja Radgona i Bad Radkersburg su subregionalna središta, Radenci su lokalno središte a Tišina sublokalno središte.



**Slika 2.** Prikaz mogućih koridora nove železničke infrastrukture na relaciji Bad Radkersburg – Murska Sobota  
(izvor: PNZ, IBK et al., 2012)

Za procenu pogodnosti predloženih trasa koridora nove železničke infrastrukture predložen je bio sledeći niz kriterijuma:

1. povezivanje lokalnih središta;
2. povezivanje razvojnih središta (kao centara za zapošljavanje) i poslovnih zona;
3. mogućnosti za uspostavljanje zajedničkih saobraćajnih koridora;
4. uticaj na privredu;
5. uticaj na turizam;
6. održiva saobraćajna dostupnost i mobilnost;
7. prekogranična povezanost regiona.

Za procenu pogodnosti izabranih koridora, odabrana je sledeća skala procene:

1. (+) pogodniji;
2. (0) pogodan;
3. (-) manje pogodan.

U okviru procene, koridori su raspoređeni prema pogodnosti, uzimajući u obzir predloženi niz kriterijuma. Pri tome bila je oblikovana skala procene od (1 - najviša vrednost) do (4 - najniža vrednost). Rezultati procene izloženi su u Tabeli 1.

Kvalitativna procena socioekonomske (razvojne) pogodnosti predloženih trasa koridora nove železničke infrastrukture u smeru Bad Radkersburg – Murska Sobota – uzimajući u obzir odabrani niz kriterijuma – pokazala je da je najpovoljniji koridor IV, a slede mu koridori III i II, kao najmanje pogodan pokazao se je koridor I.

U nastavku izlažemo kratka tumačenja pogodnosti koridora uzimajući u obzir pojedinačne kriterijume (više o tome u Gulič, 2012.). Uvažavajući:

- kriterijum „povezivanje lokalnih središta“ je Koridor IV najpogodniji jer u njegovom smeru povezuje naselja G. Radgona i Radence, koja su subregionalno i lokalno središte;
- kriterijum „povezivanje razvojnih središta (kao centara za zapošljavanje) i poslovnih zona“ je Koridor IV najpogodniji jer u njegovom smeru povezuje G. Radgonu i Radence, koji predstavljaju značajne centre zapošljavanja te se neposredno navezuje na planiranu poslovnu zonu na južnom rubu grada Murske Sobote;

- kriterijum „mogućnosti za uspostavljanje zajedničkih saobraćajnih koridora“ je Koridor III najpogodniji jer je zbog prostorne blizine najprimerniji za uspostavu zajedničkog saobraćajnog koridora s drumskom infrastrukturom;
- kriterijum „uticaj na privredu“ je Koridor IV najpodesniji kako za upravljanje (tranzitnim) železničkim prevozom preko kojeg se može prevoziti teret za potrebe proizvodnog sektora Pomurskog regiona i širih teritorijalnih područja, tako i za potrebe dnevnog prevoza radnika u postojeće i planirane centre zapošljavanja (južni dio M. Sobote, G. Radgona, Radenci);
- kriterijum „uticaj na turizam“ je Koridor IV najprimerniji jer u njegovom smeru i uzduž njega postoje važnije turističke atrakcije (područja zaštite prirode i nepokretne kulturne baštine), mogući su vizualno atraktivni prizori na obližnji pejzaž (vožnja i dvostruki prelaz reke Mure, Radgonske gorice), predviđene železničke stanice se navezuju na postojeće i planirane turističke atrakcije. Koridor se delimično navezuje na postojeću Mursku biciklističku stazu. Moguća izgradnja železničke pruge može potaknuti daljnji razvoj regionalne turističke destinacije bez (automobilskog) saobraćaja („traffic free tourism destinations“) i razvoj tzv. železničke pruge baštine („heritage railway line“);
- kriterijum „održiva saobraćajna dostupnost i mobilnost“ je Koridor IV najpodesniji jer ima – zbog prisutne funkcije povezivanja većih naselja i centara za zapošljavanje (G. Radgona i Radenci) te navezivanja na lokalna čvorišta javnog autobusnog prevoza i biciklističku infrastrukturu – srazmerno povoljne uslove za promovisanje održive dostupnosti i mobilnosti u području koridora;
- kriterijum „prekogranična povezanost regiona“ je Koridor IV najprimerniji, jer – uprkos činjenici da na poprilično zaobilazan način povezuje Mursku Sobotu i Bad Radkersburg i druga središta u smeru Maribora i Graza – istovremeno ima značajnu ulogu povezivanja važnih središta u Pomurskom regionu (G. Radgone i Radenca kao subregionalnog i lokalnog središta).

**Tabela 1. Kriterijumi za procenu i razvrstavanje koridora**

Kriterijum	Koridori	Procena	Redosled
Povezivanje lokalnih središta	Koridor I	–	4
	Koridor II	–	3
	Koridor III	O	2
	Koridor IV	+	1
Povezivanje razvojnih središta i poslovnih zona	Koridor I	–	4
	Koridor II	–	3
	Koridor III	O	2
	Koridor IV	+	1
Mogućnosti za uspostavljanje zajedničkih saobraćajnih koridora	Koridor I	–	3
	Koridor II	–	2
	Koridor III	+	1
	Koridor IV	–	4
Uticaj na privredu	Koridor I	0	2-4
	Koridor II	0	2-4
	Koridor III	0	2-4
	Koridor IV	+	1
Uticaj na turizam	Koridor I	–	4
	Koridor II	–	3
	Koridor III	–	2
	Koridor IV	+	1
Održiva saobraćajna dostupnost i mobilnost	Koridor I	–	4
	Koridor II	–	3
	Koridor III	–	2
	Koridor IV	+	1
Prekogranična povezanost regiona	Koridor I	–	4
	Koridor II	–	3

---

Koridor III	0	2
Koridor IV	+	1

---

(Izvor: Gulič, 2012)

## 7. ZAKLJUČCI

Procena socio-ekonomskih uticaja mogućeg smeštaja nove železničke veze u prostor Pomurskog regiona je pokazala, da se radi o višeslojnom problemu s mnogim društvenim, ekonomskim, prostornim i drugim dimenzijama.

Posebno bi želeli ukazati na sledeće činjenice:

1. Između strateških razvojnih usmerenja na evropskom (EU), nacionalnom i regionalnom nivou (Pomurski region) postoji značajan stepen neusklađenosti u pogledu budućeg razvoja javne železničke infrastrukture.
2. Novi državni razvojni dokumenti na području razvoja javne železničke infrastrukture (ReNPRP30) tek delimično rešavaju probleme saobraćajne dostupnosti Pomurskog regiona i na taj način doprinose k održavanju njene saobraćajne izolacije kao najmanje razvijenog slovenačkog statističkog regiona.
3. Država nema opštu razvojnu viziju i strategiju koja bi između ostalog jasno definirala i s drugim razvojnim učesnicima koordinirala strateške razvojne interese Slovenije na različitim teritorijalnim nivoima (globalni, evropski, susedne zemlje, prekogranična područja). Ti dokumenti mogli bi predstavljati strateški okvir za pripremu svih vrsta razvojnih dokumenata, uključujući i one koji se odnose na razvoj pojedinih saobraćajnih sistema i infrastrukture.
4. Delimična SWOT analiza pogodnosti uspostavljanja nove železničke infrastrukture otkrila je mogućnosti i opasnosti na širom teritorijalnom nivou: EU, Republika Slovenija, Republika Austrija, austrijska savezna država Štajerska i Pomurski region. Ne bi trebali zanemariti činjenicu, da se prilike za Republiku Sloveniju i Pomurski region pojavljuju kao pretnje Republici Austriji i austrijskoj saveznoj državi Štajerski kao i obrnuto.
5. Procena socioekonomske pogodnosti pojedinih koridora nove železničke infrastrukture pokazala je da je koridor IV najpogodniji. Istovremeno se je, uvažavajući druge izvršene procene (sa aspekta zaštite životne sredine, tehničkih karakteristika, troškova gradnje i troškova održavanja) pokazalo, da je Koridor IV najmanje pogodan odnosno najskuplji.
6. U ovom primeru se je procena socio-ekonomskih uticaja pokazala efikasnim instrumentom za procenu društvenih, privrednih i delimično prostornih uticaja izgradnje saobraćajne infrastrukture. Mislimo, da bi bilo korisno proučiti mogućnosti njenog uključivanja u odgovarajući pravni i regulatorni sistem Republike Slovenije.

## Literatura

- [1] Association of European Border Regions – AEBR (2009). Statement on the Green Paper: TEN-T: a policy review. Gronau. [http://www.aebr.eu/files/publications/AEBR\\_Statement\\_TEN-T\\_EN\\_18-09-09.pdf](http://www.aebr.eu/files/publications/AEBR_Statement_TEN-T_EN_18-09-09.pdf) (28.11.2017)
- [2] Becker, H., Vanclay, F. 2003. *The International Handbook of Social Impact Assessment: Conceptual and Methodological Advances*. Northampton: Edward Elgar Publishing Inc.
- [3] Državni zbor RS. 1996. *Nacionalni program razvoja Slovenske železniške infrastrukture (NPRSZI)*. Ur.l. RS, št. 13/1996. Ljubljana.
- [4] Evropski parlament (2009). Resolucija Evropskega parlamenta z dne 22. aprila 2009 o Zeleni knjigi o prihodnosti politike TEN-T (2008/2218(INI)). Strasbourg. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2010:184E:0035:0040:SL:PDF> (23.10.2017)
- [5] Evropska Komisija (2009). Zelena knjiga TEN-T: Na poti bolj povezanemu evropskemu prometnemu omrežju v službi skupne prometne politike. Bruselj. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0044:FIN:SL:PDF> (23.10.2017)
- [6] Evropska Komisija (2011). Bela knjiga Načrt za enotni evropski prometni prostor – na poti h konkurenčnemu in z viri gospodarnemu prometnemu sistemu. Bruselj. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:SL:PDF> (22.10.2017)
- [7] Gulič, A. 2012. *Študija izvedljivosti vzpostavitve železniške infrastrukture do novega V. koridorja na relaciji Bad Radkersburg-Murska Sobota: Socio-ekonomska raziskava*. Končno poročilo o rezultatih raziskave. Urbanistični inštitut Republike Slovenije. Ljubljana.
- [8] Lawrence, D. P. 2003. *Environmental Impact Assessment: Practical Solutions to Recurrent Problems*. John Wiley and Sons Inc.
- [9] Ministrstvo za okolje in prostor. 2004. *Strategija prostornog razvoja Slovenije*. Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana.



- [10] Ministrstvo za infrastrukturo. 2016. *Nacionalni program razvoja prometa u Republici Sloveniji za razdoblje do 2030 godine (ReNPRP30)*. Republika Slovenija Ministarstvo za promet. Ljubljana.
- [11] PNZ, IBK et al. 2012. *Študija izvedljivosti vzpostavitve železniške infrastrukture do novega V. koridorja na relaciji Bad Radkersburg – Murska Sobota*. Naročniki Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko, Mestna občina Murska Sobota, Občina Tišina. Ljubljana in Beljak.
- [12] Radej, B. 2011. *Presoja socialnih vplivov*. V Radej, B., Golobič, M., Macur, M., Dragoš, S. (ured.): *Vrednotenje politik: obzorja nove miselnosti*. Založba Vega. Ljubljana.
- [13] RRA Mura (2015). *Regionalni razvojni program Pomurja 2014 – 2020*. Murska Sobota. <http://www.rcms.si/sl/regionalni-razvojni-program-2014-2020> (15.10.2017)
- [14] Taylor, C. N., Bryan, C. H. in Goodrich, C. G. 1995. *Social Assessment: theory, process & techniques*. Taylor Baines and Associates, Christchurch.
- [15] Vanclay, F. 2003. *Social Impact Assessment: International Principles*. IAIA Special Publications Series No. 2, May (2003). International Association for Impact Assessment.
- [16] Vanclay, F., Esteves, A. M. 2011. *New Directions in Social Assessment: Conceptual and Methodological Advances*. Edward Elgar. Cheltenham. UK.

# 100% RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT USING GREEN REJUVENATORS

Ing. Lorenzo Sangalli<sup>1</sup>, Ing. Luca Baccellieri<sup>2</sup>, PhD Ing. Loretta Venturini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduate Technician, Iterchimica Srl, 24040 – Suisio (BG), Italy

<sup>2</sup>Graduate Laboratory Technician, Iterchimica Srl, 24040 – Suisio (BG), Italy

<sup>3</sup>Technical Director, Iterchimica Srl, 24040 – Suisio (BG), Italy

## Abstract:

Together with the use of specific additives, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is generally used into new pavement with a dosage up to 40%, depending on the type of layer. Nowadays, thanks to the latest-generation plants, it is possible to increase the dosage of RAP up to 100%. This way, it is possible to reduce the energy consumption and the use of raw materials such as aggregates and neat bitumen, while guaranteeing a high sustainable pavement thanks to the green rejuvenators.

This research evaluates the rejuvenating effect through standard and rheological tests on RAP binder. The results allow to establish the correct dosage both to fulfill the limits required by the Technical Specifications of the Country where it is used and to restore the original chemical characteristics of the oxidized bitumen (penetration class 50/70 or 70/100), especially the maltenic fraction.

The work shows the case history of an Asphalt Concrete Base Layer realized with 100% RAP and the effect of the rejuvenator on the mixture in terms of Marshall Test and Indirect Tensile Strength Tests.

**Keywords:** RAP, Sustainability, Rejuvenators, Binder Rheology

## 1. INTRODUCTION

In the last twenty years, in line with the ever-increasing mobility and road infrastructures demand, and considering the Circular Economy, the environmental sustainability concept has become fundamental in the flexible road paving construction field. Eco sustainability meets the environmental protection requirements and two important factors: the reuse and the recycling. An example is RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), usable in place of aggregates and bitumen, which are non-renewable materials.

In order to obtain pavements composed by HMA with recycled materials, RAP must be treated, managed and introduced in the production cycle in accordance with the rules of the art and, in any case, according to current legislation.

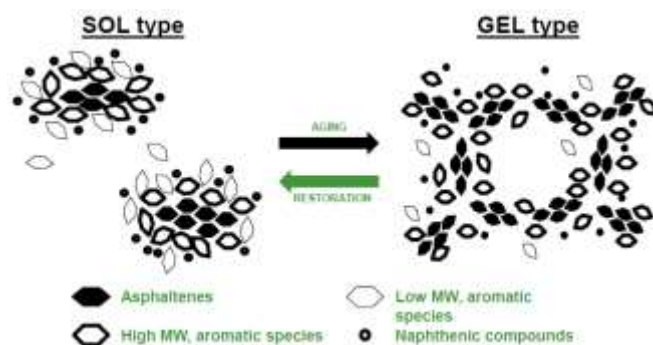
There are many ways to reuse RAP, but the most common in the world is the hot recycling. In function of the production plant characteristics, up to 90-100% of RAP can be recycled. Considering the HMA performance, the focal point is the recovery of the aged bitumen, also through the help of rejuvenating additives.

The effect of a rejuvenator can be evaluated both in the binder and in the asphalt concrete characteristics. In this research, the rejuvenation effectiveness has been evaluated by taking into account both effects.

Bitumen oxidation causes an increase in polarity through the formation of carbonyls and sulfoxides, primarily in the asphaltene fraction, and an increase in polarizability through conversion of aromatic resins to asphaltenes, as reported in Figure 1.

The physical and chemical features of a rejuvenator to restore aged asphalt can be listed as follows:

- restore the maltene phase;
- activate aged bitumen instead of just soften or plasticize the bitumen;
- provide high flash point to use it in Hot Mix Asphalt (HMA);
- disperse readily and maintain miscibility with asphalt bitumen over time.



**Figure 1. Rejuvenators' effect** <sup>[1]</sup>  
Source: "Rejuvenators" - SCAPA (2016) <sup>[1]</sup>

One of the techniques used for many years to recover oxidized bitumen was the addition of high penetration binder. In the last few years, however, recovery oils have been used to guarantee good workability especially during the laying but with these products the volatilized chemical components deficiency remains.

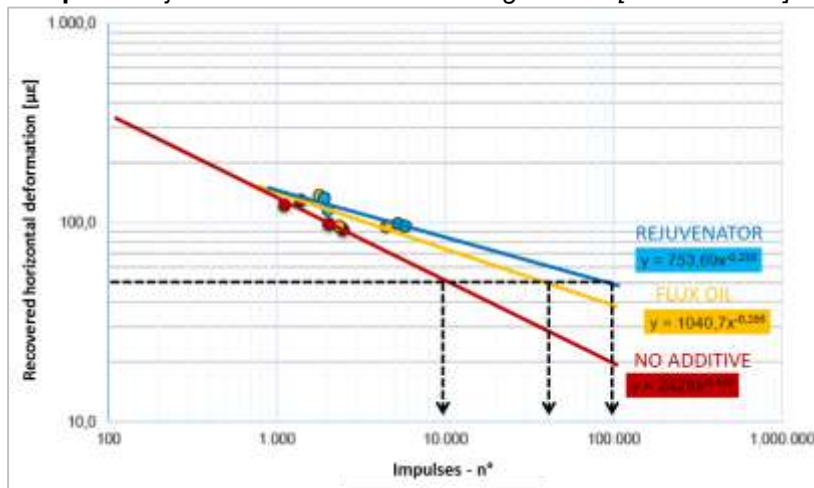
There are several types of products available on the market: Waste Vegetable Oil (WV Oil), Waste Vegetables Grease (WV Grease), organic oil, distilled tall oil, aromatic extract, Waste Engine Oil (WEO). Each of them can influence the physical and rheological behaviour of the bitumen in different ways.

Vice versa, above all for high RAP percentages, it has been shown that the addition of Functional Chemical Activators (ACF- rejuvenators) allows both to ensure the correct processing and laying viscosity and to implement the missing chemical components in the aged milled material, ensuring the suitable performance and the new pavement life cycle. In general, the main goals when including rejuvenators are <sup>[1]</sup>:

- restoring the properties of aged bitumen (Figure 1);
- reducing the consumption of virgin materials (re-use of RAP in a hot mix).

Differences exist between plasticizers additives often adopted as rejuvenators and actual rejuvenators. The first only reduce the viscosity of the surrounding continuous phase while rejuvenators disrupt the layering and networking of the asphaltenes and stabilize the resulting rejuvenated system. The effect of the rejuvenator in the mixture can be evaluated thanks to the dynamic tests. As reported in Graph 1 <sup>[2]</sup>, the asphalt concrete with RAP and flux oil has got a lower fatigue life than the asphalt concrete mixture with rejuvenator. Both mixtures were produced with the same granulometric curve.

**Graph 1. Rejuvenators vs Flux Oils - Fatigue tests [EN 12697-24] <sup>[1]</sup>**



Source: "Il fresato" - Strade & Autostrade (2017) <sup>[2]</sup>

## 2. EXPERIMENTAL PLAN

The research carried out by Iterchimica S.r.l. aimed to evaluate the rejuvenator's effect on the binder and on the mixture in order to produce a 100% recycled HMA that meets the existing technical requirements of the country in which the project was carried out.

In the Table 1 is reported the ID of each sample analyzed. The letter "b" represents the "binder sample" where the main raw material is the oxidized bitumen, which was recovered by one source of RAP using the procedure described in EN 12697-1 and EN 12697-3. The letter "m" represents the "mixture sample" where the main raw material is RAP (same material used for the binder recovery process).

The research aimed to define:

- rejuvenator's dosage necessary to restore the original characteristics of the binder;
- main technical parameters more sensitive to rejuvenation process;

In order to reach the target of the experimental plan, a new rejuvenator classified as "second level rejuvenator" has been used. This concept of rejuvenator is due to its effect that can be summarized in the following point:

- restore the chemical composition;
- change the binder standard and rheological parameters;
- change the asphalt concrete static and dynamic parameters.

**Table 1. Sample ID description**

Mix ID	Description	Oxidized bitumen [g]	RAP [g]	Rejuvenator [g]
1b	Oxidized Bitumen	250	-	-
2b	Oxidized Bitumen+3%Rejuvenator*	250	-	5
3b	Oxidized Bitumen+6% Rejuvenator*	250	-	10
4b	Oxidized Bitumen+9% Rejuvenator*	250	-	15
1m	100%RAP	-	1000	-
2m	100%RAP+0,13% Rejuvenator**	-	1000	1.3
3m	100%RAP+0,26% Rejuvenator**	-	1000	2.6
4m	100%RAP+0,39% Rejuvenator**	-	1000	3.9

(\*) Percentage referred to the bitumen weight

(\*\*) Percentage referred to the RAP weight

#### Additive: Second level rejuvenator

The additive used (Figure 2) is an additive commonly adopted for Hot Mix Asphalt (HMA) to rejuvenate the bitumen coming from RAP. For HMA the dosage of RAP is usually between 30-50% (considering the standard plant production). When the plant production is able to manage up to 100% of RAP (as in the case considered in this research) the rejuvenator can be properly sprayed to obtain homogeneous mixture.

The main features of the additive are:

- aspect at 25°C: liquid
- flash point: > 200°C
- density at 25°C:  $0.93 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$
- viscosity at 25°C:  $100 \pm 50 \text{ cP}$



**Figure 2.** Rejuvenator for Hot Asphalt Concrete with high content of RAP

#### Oxidized bitumen

The oxidized bitumen came from a unique source of RAP. In order to obtain the binder material, the extraction and recovery process included three different steps:

- step 1: solvent extraction (Figure 3a);
- step 2: centrifuge (Figure 3b);
- step 3: binder recovery using Rotavapor (Figure 3c).



Figure 3. Bitumen recovery procedure

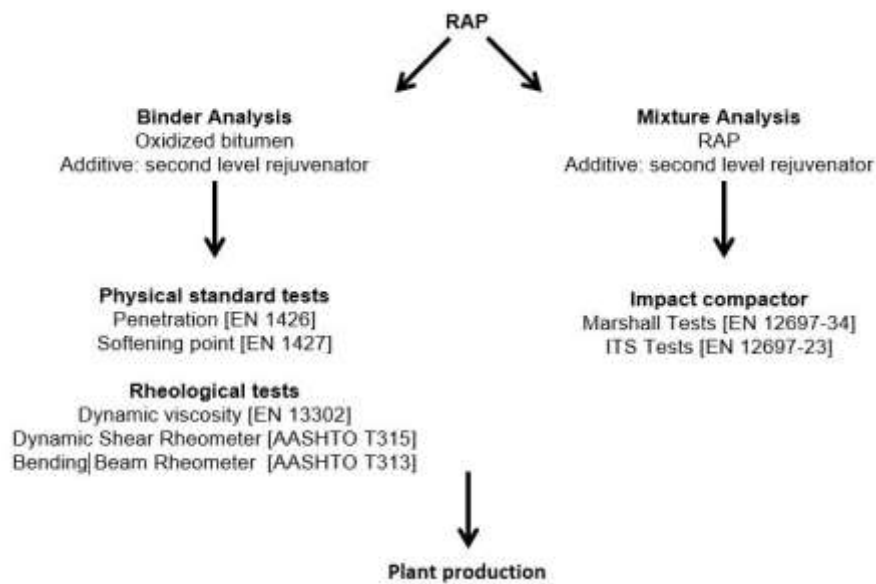


Figure 4. Experimental plan

### 3. BINDER ANALYSIS - STANDARD AND RHEOLOGICAL PARAMETERS

Analyzing the details of the experimental plan, it is important to focus the attention on the main variabilities due to the rejuvenator addition:

1. **Rejuvenator's dosage:** it was defined in order to describe the behaviour of the ACF on the oxidized bitumen. The percentages considered representative for the research were 3%, 6% and 9%.
2. **Aging process:** it represents one of the main targets required by the construction companies, in particular the target can be different depending on the aging level:
  - Unaged bitumen: the Original Binder (*Neat Bitumen* - OB), it is the bitumen before the production process or the bitumen after the refinery production.
  - Aged bitumen (level 1): after RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Tests*), it is the bitumen after the production process.
  - Aged bitumen (level 2): after PAV (*Pressure Aging Vessel*), it is the bitumen around 10 years after the life-cycle time.

In Europe, the bitumen is defined by penetration and softening point range. The bitumen commonly used can be defined by the following description: B 70/100 and B 50/70. Each bitumen has the maximum and the minimum values of penetration and softening point, in function of his aging level, as reported in Table 2.

Table 2. Bitumen limits: unaged and aged bitumen (level 1)

Binder	Aged level	Penetration range [dmm]	Softening point range [°C]
B 50/70	OB	50/70	43-51

	RTFOT	30/45	48-65
	PAV	-	-
B 70/100	OB	70/100	46-54
	RTFOT	40/75	45-62
	PAV	-	-

Starting by the main characteristics of the oxidized bitumen, the optimum quantity of rejuvenator to restore the standard and rheological parameters of the bitumen was defined. In order to compare the behaviour of the oxidized bitumen, the oxidized bitumen with rejuvenator and the virgin bitumen (both B 70/100 and B 50/70), Graphs 2, 3 and 4 have been drawn up (see paragraph 3.1.1.).

**3.1 Standard tests**

Thanks to the asphalt plant configuration, that uses the air system to dry and heat the RAP (double drum technology), the oxidized bitumen contained in the RAP does not suffer an additional aging process during production. Penetration and softening point do not change during the production. The main characteristics of the bitumen recovered by RAP are:

- quantity of bitumen by weight of aggregates: 4.57%;
- penetration: 20 dmm;
- softening point: 65.3°C.

The oxidized bitumen is normally characterized by low penetration and high softening point.



**Figure 4. Asphalt Plant**

During the research, other RAP sources have been analyzed. It is important to underline that the characteristics of the RAP used in this project can be considered good if compared with what is normally found in Italy. For example, the Table 3 shows the penetration and softening point values of another RAP source.

**Table 3. Bitumen limits: unaged and aged bitumen (level 1)**

Research ID	Penetration [dmm]	Softening point [°C]
#1 [3]	5.4	71.8
#2 [4]	12.8	71.2

Source: University Thesis [3][4]

**3.1.1. Penetration tests [UNI EN 1426] and Ring & Ball tests [UNI EN 1427]**

Although penetration and softening point are not parameters that adequately describe the bitumen behaviour, they are still used to classify it, both in Europe and in other countries, including the country where the project was carried out. For this reason, starting by these two parameters well known and used in all countries, it is possible to define the lowest dosage of rejuvenator in order to obtain a bitumen with a specific penetration class and softening point. As reported in Table 4, for each aging step it is possible to design a graph:

- Original Binder, the Graph 2;
- RTFOT, Graph 3;
- PAV, Graph 4.

**Table 4. Penetration and Ring & Ball (R&B) Tests**

Aging Process	ORIGINAL BINDER		RTFOT		PAV	
	R&B	Pen.	R&B	Pen.	R&B	Pen.
Binder sample						

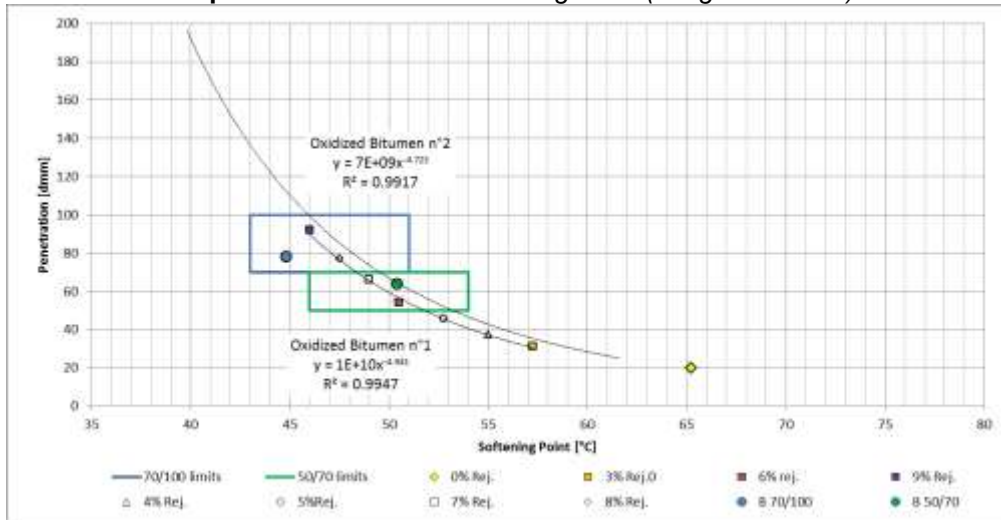


	[°C]	[dmm]	[°C]	[dmm]	[°C]	[dmm]
B 70/100	44.8	78	50.3	46.4	61.4	23
B 50/70	50.4	64	53.4	43	63.4	20
Oxidized Bitumen+0%Rej.	65.3	20	68.8	12	77.5	11
Oxidized Bitumen+3%Rej.	57.3	31	62	27	71.5	14
Oxidized Bitumen+6%Rej.	50.5	54	54.5	38	68	17
Oxidized Bitumen+9%Rej.	46.0	92	49	62	62.5	25
Plant production (4.5%Rej.)	-	-	53.5	50	-	-

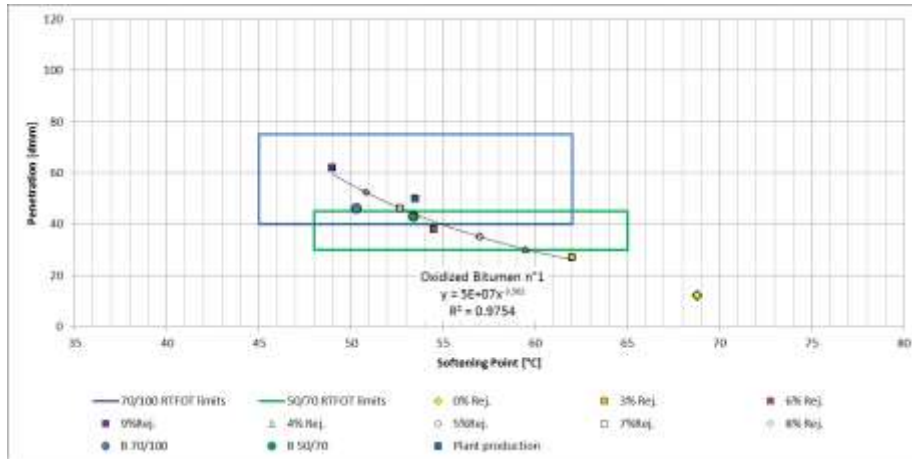
As shown in Graph 2, it is possible to determine the rejuvenator’s dosage using the trend line and trying to relate the penetration and softening point values of the mixture “oxidized bitumen + rejuvenator” to the ones of the required virgin bitumen class. This way, it is also possible to predict the binder properties after the production. Graph 2 also reports the trend line of another oxidized bitumen (from a different RAP source) that confirms this behaviour.

After the PAV process, binder loses the penetration and softening point characteristics. Using a high dosage of rejuvenator (more than 6% by weight of bitumen) it is possible to have a benefit even after the PAV aging process.

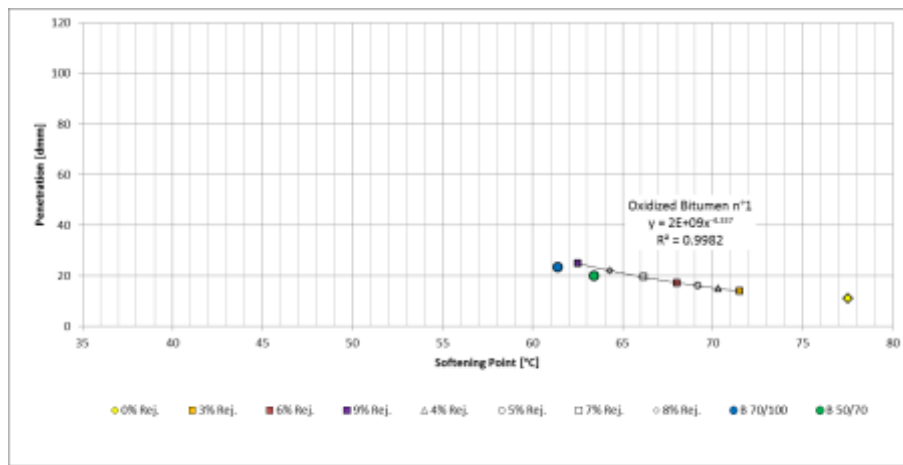
**Graph 2. Penetration vs Softening Point (unaged bitumen)**



**Graph 3. Penetration vs Softening Point (aged bitumen - level 1)**



Graph 4. Penetration vs Softening Point (aged bitumen - level 2)



In order to validate the laboratory results, the same tests were carried out after the plant production, with the rejuvenator dosed at 4.5% by weight of bitumen. Graph 3 shows that, in terms of penetration and softening point, the results obtained on the mixture produced at the asphalt plant are closer to a 70/100 bitumen than the laboratory tests. This is due to the variability of the RAP material and to the high quality of the plant production system.

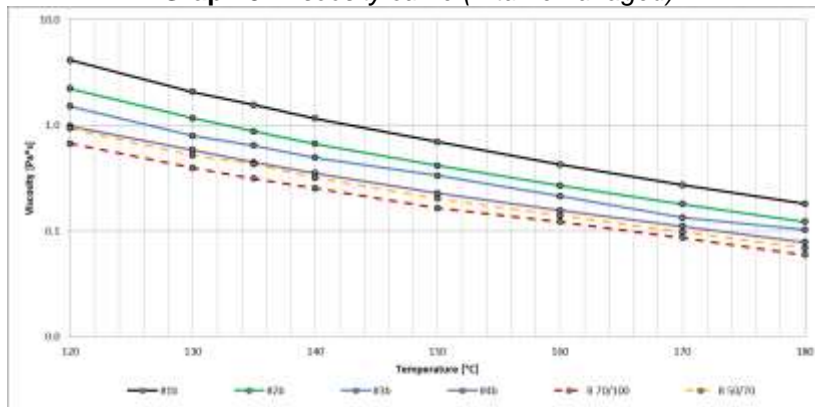
### 3.1.2. Viscosity curve [UNI EN 13302]

The rejuvenator reduces the oxidized bitumen viscosity.

In Graph 5 the viscosity was defined on the bitumen classified as OB (unaged Bitumen).

In order to restore the right viscosity, the quantity of rejuvenator that has to be added in the bitumen is about 9% for the B 50/70 binder and more than 9% for the B 70/100 binder.

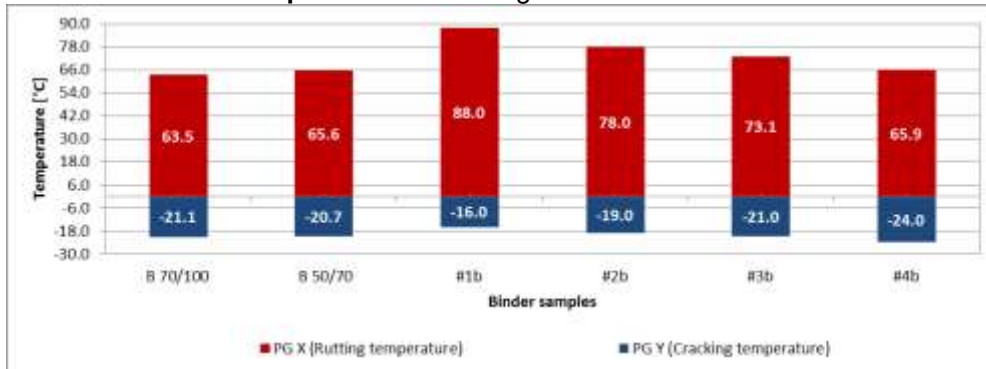
Graph 5. Viscosity curve (Bitumen unaged)



### 3.2 Rheological tests

In order to evaluate the rheological behaviour, the PG of each bitumen was determined as reported in Graph 6.

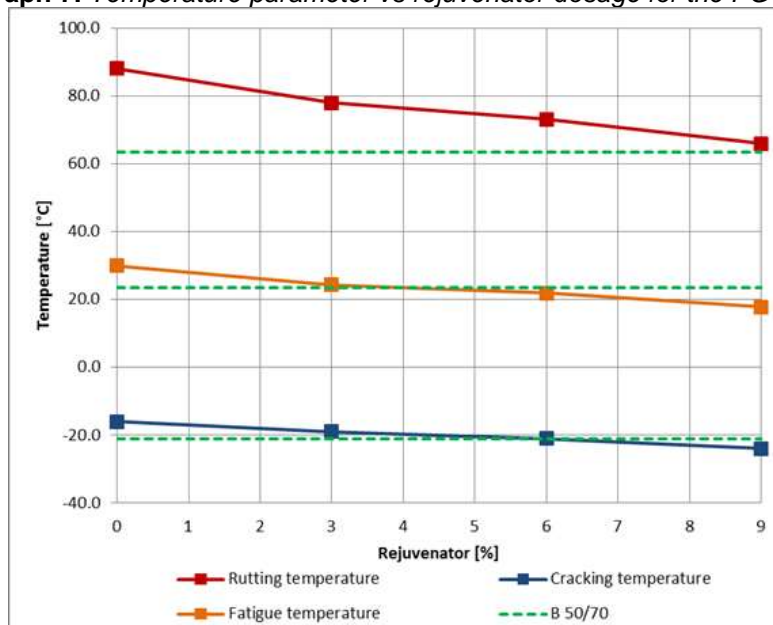
**Graph 6. Performance grade of the Bitumen**



As reported in Graph 7, the effects of the rejuvenator can provide different information:

- It reduces the PG X (Rutting temperature): the rejuvenator's dosage necessary to bring the temperature X back to the same level of a virgin bitumen is very high, as well as the viscosity. Therefore, these parameters are not discriminating in defining the additive's dosage; instead, they are used to identify the fluxing power, which is not necessarily a positive aspect.
- It reduces the PG Y (Cracking temperature): this parameter is very sensible (a small dosage of rejuvenator causes significant improvements), and it can be considered a discriminatory parameter.
- It reduces the fatigue temperature and it provides a higher fatigue resistance in the range of application temperatures. Like the cracking temperature, it can be considered a discriminatory parameter.

**Graph 7. Temperature parameter vs rejuvenator dosage for the PG limit**



### 4. MIXTURE ANALYSIS - ASPHALT CONCRETE TESTS

Bitumen tests are not enough to understand the rejuvenator behaviour. In fact, both the bituminous mixture's Life Cycle and the laying procedure must also be guaranteed. In the first case, fatigue resistance, wheel tracking resistance and ITS shouldn't be different from an HMA without RAP. In the second case the material must be adequately workable: it must not be too hard (it would create compaction problems and, therefore, voids problems) and mustn't flow under the roller, forming pavement deformations instead of compaction.

The presence of oxidized bitumen in the mixture causes the mixture to be characterized by high stiffness, that in terms of fatigue life can represent an issue. Using Marshall and ITS tests it is possible to evaluate the effect of the rejuvenator on mixtures composed by 100% of RAP (Figure 5). In Table 5 are reported the results obtained with each test at different rejuvenator's dosages.



Figure 5. RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

The grading curve after extraction (Graph 8) describes the material used [5]. In order to confirm the values obtained in laboratory, a trial section has been done. In Table 5 the values of Marshall and ITS tests on the sample taken on site are also reported.

Graph 8. Particle Size distribution - Anas Binder [5]

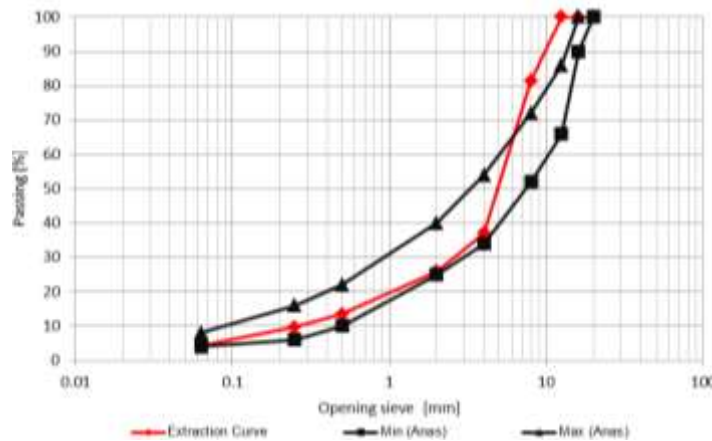


Table 5. Mechanical Performances

Impact compactor @75 blows; T <sub>production</sub> =155°C; T <sub>compaction</sub> =145°C									
Mixture ID	Dosage of Rej (*)	Dosage of Rej. (**)	Voids	Stability	Flow	Marshall Quotient	Voids	ITS	CTI
	[%]	[%]	[%]	[kg]	[mm]	[kg/mm]	[%]	[MPa]	[MPa]
ID 1m	0.0	0.00	4.9%	2391	3.4	703	4.9%	2.33	262
ID 2m	3.0	0.13	2.2%	2250	3.5	643	2.2%	2.18	194
ID 3m	6.0	0.26	1.7%	1628	4.5	362	2.2%	1.64	120
ID 4m	9.0	0.39	1.7%	1561	4.6	339	1.8%	1.40	118
Plant production	4.5	0.20	2.2%	2048	4.7	471	2.3%	1.59	137

(\*) by weight of bitumen

(\*\*) by weight of the mixture

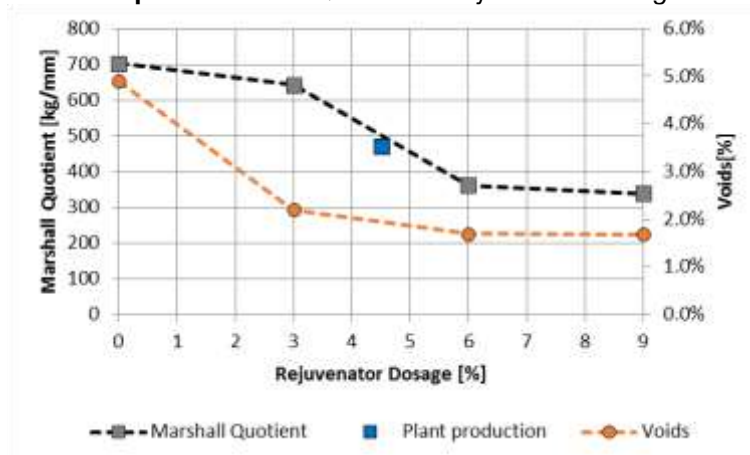
The samples were realized with the impulsive compaction method at the same production temperature of 160°C and they were compacted at the same site temperature of 145°C. The rejuvenator was sprayed on RAP in order to obtain an homogeneous mixture and to allow the chemical reaction between rejuvenator and RAP (method already used in some production plant). Using this method, with 100% of RAP, it is possible to better distribute the liquid additive on the aggregates. Conversely, if the mixture is composed by both RAP and virgin aggregates, the best way to distribute the liquid additive is to add it to the bitumen.

**4.1 Marshall tests [EN 12697-34]**

The results reported in Graph 9 allow to better understand and underline the main parameters to check during this first step. Increasing the rejuvenator’s dosage, the behaviour of the mixture shows:

- a decrease of the Marshall stability;
- an increase of the flow;
- a decrease of the air voids.

**Graph 9. Marshall Quotient vs rejuvenator dosage**



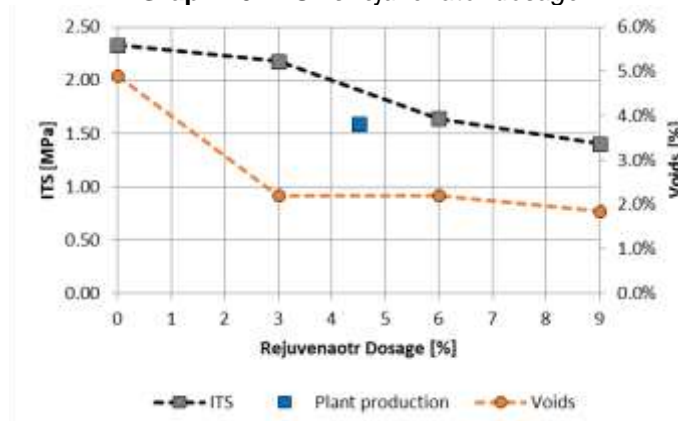
**4.2. ITS test [EN 12697-23]**

ITS and CTI can be considered the most used parameters, commonly present in all Technical Specifications. The use of the rejuvenator allows to reduce the stiffness, improving the fatigue resistance especially with low temperatures. Furthermore, the voids trend is equal to the air voids obtained in the Marshall tests.

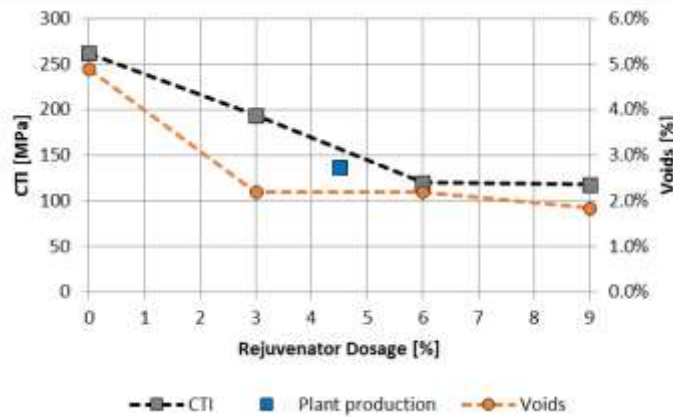
Considering the results:

- ITS: the value decreases tending to reach those required by the most Technical Specifications of European Countries.
- Asphalt plant production: considering the RAP source and the behaviour of the mixture heated by dryer drum (air system), the achieved results can be compared with the laboratory analysis.

**Graph 10. ITS vs rejuvenator dosage**



**Graph 11. CTI vs rejuvenator dosage**



### 5. TRIAL SECTION AND CASE HISTORIES

The mixture produced at the asphalt plant was checked and analyzed, as previously reported in each chart, in order to compare the final production with the laboratory experimental tests. During the production, in order to obtain an optimal distribution, the rejuvenator was sprayed on the RAP. Using this technique, it is possible to give the rejuvenator the time to act on the oxidized bitumen, therefore obtaining a better result. The production temperature was around 160°C while the laying temperature was about 120-140°C, due to the external temperature during the paving period. As reported in the picture:

- Step 1: production using 4,5% of rejuvenator by weight of bitumen (tests results are reported in Table 4 and 5);
- Step 2: paving using the double steel roller compactor (9t) and the rubber-tyred roller compactor (28t).



**Figure 6. Asphalt Concrete – Step 1**



**Figure 7. Asphalt Concrete – Step 2**



## 6. CONCLUSION

Thanks to the achieved results, it is possible to determine the optimum dosage of rejuvenator according to the limits required by the Technical Specification of the Country where the project was carried out. Considering the bitumen B 50/70 as final target, it is possible to summarize the following dosages (always referred to bitumen weight):

- in order to restore the Penetration class, the rejuvenator's dosage is 7%;
- in order to restore the Softening point, the rejuvenator's dosage is 6%;
- in order to restore the Viscosity, the rejuvenator's dosage is more than 9%\*;
- in order to restore the PG Rutting temperature, the rejuvenator's dosage is 9%\*;
- in order to restore the PG Fatigue temperature, the rejuvenator's dosage is 4%;
- in order to restore the PG Cracking temperature, the rejuvenator's dosage is 6%.

(\*) These parameters are not discriminating in the choice of the additive's dosage and they are not necessarily a positive aspect.

According to these results, it is possible to determine the main parameters to take in consideration in case of rejuvenation process: penetration, softening point, fatigue temperature and cracking temperature. But this type of analysis is not enough. It is very important to understand the behaviour of the final HMA mixture, both during the laying phase and his Life Cycle.

The research aimed to go thought more technical information about the bitumen behaviour like  $G^*$ ,  $\delta$  and  $\Delta T_c$  analysis. In terms of mechanical performance, the research aimed to describe not only the static performance but even the dynamic performance with resilient modulus, fatigue and rutting tests.

## Acknowledgements

The Authors would like to thank Marco Salerno for the laboratory experimental tests and Eng. Filippo Montanelli for the plant production and trial section.

## References

- For **JOURNALS**:
  - [1] Christopher Holmes – “Rejuvenators” – SCAPA (2016);
  - [2] Loretta Venturini – “Il fresato: Materiale Ecosostenibile per miscele bituminose” – Strade & Autostrade (2-2017);
- For **UNIVERSITY**:
  - [3] Eleonora Castellani - “L'efficacia dei diversi additive ringiovanenti sulle prestazioni fisico, reologiche e chimiche del bitume” - Master thesis in Civil Engineering, Politecnico di Milano (2016);
  - [4] Luca Baccellieri - “Studio sperimentale degli effetti del rigenerante a freddo sulla reologia del bitume” - Master thesis in Civil Engineering, Politecnico di Milano (2015);
- For **SPECIFICATION**:
  - [5] Anas Specification (2013)

# SVRSISHODNOST JAVNE RASPRAVE KAO MEHANIZMA UKLJUČIVANJA LOKALNE ZAJEDNICE U RAZLIČITIM FAZAMA PRIPREME I IMPLEMENTACIJE PROJEKATA

**Selma Ljubijankić, Fata Terzić**

*Javno preduzeće Ceste Federacije BiH*

*Terezija 54, Sarajevo*

*Bosna i Hercegovina*

[selma.ljubijankic@jpcfbih.ba](mailto:selma.ljubijankic@jpcfbih.ba), [fterzic@jpcfbih.ba](mailto:fterzic@jpcfbih.ba)

**Rezime:** *Uključivanje javnosti i uticaji lokalne zajednice kroz javne rasprave osigurava se u svim fazama pripreme i realizacije projekata, od usvajanja prostorno-planske dokumentacije do izvođenja radova. Obaveza provođenja javnih rasprava predviđena je kako domaćom legislativom tako i legislativom Međunarodnih finansijskih institucija. Dosadašnje iskustvo u provođenju javnih rasprava pokazalo je, osim prednosti, i značajne probleme, gdje su javne rasprave dovele do zastoja u implementaciji projekata. Cilj rada je ukazati na ove probleme i ponuditi neka razmišljanja o mogućnosti njihove prevencije.*

**Ključne reči:** *javna rasprava, Međunarodne finansijske institucije.*

## EFFECTIVENESS OF PUBLIC DISCUSSIONS AS A MECHANISM OF LOCAL COMMUNITY INCLUSION IN DIFFERENT PHASES OF PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF PROJECTS

**Selma Ljubijankić, Fata Terzić**

*Public Company Roads of Federaton of BH*

*Terezija 54, Sarajevo*

*Bosna i Hercegovina*

[selma.ljubijankic@jpcfbih.ba](mailto:selma.ljubijankic@jpcfbih.ba), [fterzic@jpcfbih.ba](mailto:fterzic@jpcfbih.ba)

**Abstract:** *Citizen Engagement, as well as the impact of local communities through public discussions is ensured in all phases of project preparation and implementation, from master plans to civil works. Public discussions are obligatory by both domestic and international legislations. However, experiences gained in conducting public discussions showed, apart from benefits, a whole range of problems, where public discussions led to a standstill in the project implementation. The objective of this paper is to point out such problems and offer thoughts on their prevention.*

**Keywords:** *Public discussion, International Financial Institutions.*

### 1. UVOD

Uključivanje javnosti i mogućnost lokalne zajednice da utiče na projekte osigurano je u svim fazama pripreme i realizacije infrastrukturnih projekata, kako po domaćoj tako i po međunarodnoj legislativi.

Po domaćoj legislativi javnost se konsultuje prilikom izrade Prostorno planske dokumentacije, kao i u postupku izdavanja okolinske dozvole.

Procesu izdavanja okolinske dozvole pristupa se obvezno ukoliko se gradi nova cesta u dužini većoj od 10 km, dok se za nove ceste neprekidne dužine između 2 i 10km donosi odluka o potrebi izrade Procjene uticaja na okoliš u svakom pojedinačnom slučaju <sup>1</sup>

U praksi se pokazalo da javnost, ukoliko je na datom projektu obavezno poštivanje samo domaće legislative, ostaje formalno neupoznata sa projektom. Međutim, činjenično stanje u regiji pokazuje da sredstva prikupljena standardnim načinom financiranja (akcize na gorivo, naknada pri registraciji motornih vozila, korištenje cestovnog pojasa, vanredni prijevozi itd) nisu dovoljna za implementaciju programa rekonstrukcije i izgradnje cesta, pa se pristupa prikupljanju sredstava za gradnju cesta kroz kredite međunarodnih

---

[„Pravilnik o pogonima i postrojenjima za koje je obavezna procjena utjecaja na okolis i pogonima i postrojenjima koji mogu biti izrađeni i pusteni u rad samo ako imaju okolinsku dozvolu”, Sl. novine Federacije BiH br. 19/04 od 10.4.2004\).](#) <sup>1</sup>

financijskih institucija. Jedna od temeljnih vrijednosti kojim se ove institucije vode prilikom svog poslovanja jeste angažman građana, koji dovodi do transparentnije implementacije projekata.

Ove vrijednosti utkane su u gotovo sve operativne politike, smjernice i legislativu međunarodnih financijskih institucija koje je korisnik kredita dužan poštovati.

Kreditor svojom leglstivom propisuje izradu određenih zaštitnih mehanizama u vidu dokumenta koji bi osigurali poštovanje operativnih politika.

Svaki zaštitni mehanizam, koji korisnik kredita izradi, dužan je prezentirati javnosti kroz javnu raspravu prije početka radova. Međunarodna legislativa kreditora najvećim dijelom propisuje i obavezu stalne komunikacije sa lokalnom zajednicom tokom čitavog perioda implementacije projekta .

Sudeći po svemu nabrojanom dolazimo do zaključka da bi javnost, barem ukoliko je riječ o projektima kreditiranim od strane međunarodnih financijskih institucija, morala biti upoznata i saglasna sa projektnim aktivnostima.

Ukoliko se ova teza uzme kao tačna, kako onda objasniti probleme sa lokalnom zajednicom s kojima se često svi učesnici u projektu susreću?

Autori će u predmetnom radu pokušati ponuditi neka razmišljanja u cilju odgovaranja na ovo pitanje.

## 2. TEORIJA

Jedna od temeljnih poluga suvremenih demokracija jest razvijeno civilno društvo koje se, između ostalog, ostvaruje u otvorenom dijalogu, suradnji i partnerstvu građana, organizacija civilnoga društva, odnosno općenito zainteresirane javnosti, s javnim i državnim institucijama. Prihvatanje aktivne uloge građana, otvorenosti i javnosti kao temeljnih vrijednosti podrazumijeva i spremnost državnih i javnih institucija na poduzimanje djelotvornih mjera savjetovanja sa zainteresiranim skupinama i lokalnim zajednicama.

### 2.1. Teorija po domaćoj legislativi

Temeljni zakon u BiH koji reguliše pitanja koje se vežu za problematiku komunikacije Javnih institucija sa zainteresiranim građanima jeste Zakon o slobodi pristupa informacijama. Ovim zakonom uspostavlja se pravo javnosti da ostvari pristup informacijama i dokumentima, kojima raspolažu javni organi. Donošenje ovakvog zakona imalo je tri cilja:

- Ustanoviti da informacije, koje posjeduju javni organi, predstavljaju javno dobro;
- Ustanoviti da svaka osoba, dakle i fizička i pravna osoba, ima pravo pristupa ovim informacijama, a javni organi obavezu da objave informaciju;
- Omogućiti svakoj fizičkoj osobi da zatraži izmjenu i daje komentar na informacije kojima lično raspolaže ili koje kontrolira javni organ.

Ustav Bosne i Hercegovine i Ustav entiteta garantiraju svim osobama pravo na slobodu izražavanja. Kako bi zaštitili i u potpunosti realizirali ovo pravo, veoma je važno da svaka osoba ima pravo pristupa informacijama. Javni pristup informacijama, koje su u posjedu javnih organa, neophodan je za demokratski proces. Cilj Zakona je da ustanovi da su informacije pod kontrolom javnih organa javno dobro, i da javni pristup takvim informacijama promovira veću transparentnost i odgovornost tih organa. Transparentnost je ključni put za sprečavanje i otkrivanje korupcije, kao i put koji osigurava i promovira integritet javnih organa.

Javni pristup informacijama, koje su u posjedu javnih organa, ima tri važna cilja:

- Potiče veću otvorenost i odgovornost javnih organa pri donošenju odluka. Osnovna poruka ovog Zakona je odgovornost javnih organa pred javnošću. ZoSPI osigurava djelovanje javnih organa u skladu s voljom naroda.
- Unapređuje demokraciju, promovirajući učešće javnosti pri donošenju odluka javnih organa. Omogućavajući pristup javnosti informacijama koje su pod kontrolom javnih organa, daju se veće mogućnosti javnosti da procjenjuje i daje komentare o aktivnostima i politici djelovanja javnih organa. ZoSPI uvažava činjenicu da građani ne mogu značajno učestvovati u društvenim događanjima, ako ne znaju šta se događa u njihovim organima vlasti.
- Sloboda pristupa informacijama doprinosi borbi protiv korupcije i lošeg rukovođenja u javnim organima. Ukoliko javni organi znaju da će snositi odgovornost za svoje aktivnosti prema javnosti i biti podložni sankcijama u skladu sa Zakonom zbog nesavjesnog rada, djelovat će mnogo odgovornije, i u skladu sa Zakonom. Pored toga, međunarodno iskustvo daje bezbrojne primjere, u kojima su korupcija, loše rukovođenje i greške javnih organa objelodanjene putem informacija koje su postale dostupne, u skladu sa Zakonom o slobodi pristupa informacijama.

**Pojam “javnost” predstavlja jedno ili više fizičkih ili pravnih osoba, njihova udruženja, organizacije ili grupacije.** U predmetnom Zakonu definirano je da “javnost ima pristup informacijama, mogućnost učešća u odlučivanju i zaštitu prava pred upravnim i sudskim organima po pitanjima zaštite okoliša, bez diskriminacije, na osnovu državljanstva, nacionalnosti ili mjesta stanovanja i, u slučaju pravnih osoba, bez diskriminacije na osnovu njihovog mjesta registracije ili centra aktivnosti.”

**Zainteresirana javnost znači javnost koja ima interes u odlučivanju o predmetnom projektu, bilo zbog lokacije projekta, ili zbog prirode datog zahvata u okolišu, javnost koja je pod utjecajem ili je vjerovatno da će biti pod utjecajem namjeravanog zahvata u okolišu i nevladinih organizacija koje promoviraju zaštitu okoliša.**

Prema Uredbi o jedinstvenoj metodologiji za izradu dokumenata prostornog uređenja iz 2004. godine Nosilac pripreme (i/ili Savjet plana) obavezni su izraditi Program uključivanja javnosti u proces pripreme i izrade za sve dokumente prostornog uređenja. Program uključivanja javnosti sastavni je dio Programa i plana aktivnosti za pripremu i izradu dokumenta prostornog uređenja. Programom uključivanja javnosti precizno se definiraju načini uključivanja javnosti (organiziranje tribina, okruglih stolova, javnih rasprava i drugih oblika uključivanja javnosti) u svim fazama pripreme i izrade dokumenta prostornog uređenja. Nadalje, u postupku ocjene Studije o uticaju na okoliš Ministarstvo okoliša i turizma FBiH obavještava i poziva javnost na raspravu o Studiji putem štampe dostupne na području Federacije, u skladu sa Zakonom o zaštiti okoliša iz 2003. godine.

Dosljednom primjenom navedenih zakonskih propisa, već u fazi izrade prostorno-planske dokumentacije trebala bi biti osigurana podrška i javnost uključena kod izrade i usvajanja dokumenata. Za usvojene trase u nastavku se radi investiciono-tehnička dokumentacija, čiji jedan dio čine i procjene uticaja na okoliš, za koju bi javna rasprava trebala biti fokusirana na sagledavanje uticaja na okoliš i mjera ublažavanja.

## 2.2. Teorija po stranoj legislativi

Građanski angažman se definira kao dvosmjerna interakcija između građana i države koja građanima daje udio u odlučivanju s ciljem unaprjeđenja razvojnih rezultata.

On se odnosi na širok spektar mjera i mehanizama koji mogu **osnažiti građane da vlast, odnosno investitora drže odgovornim**, kao i na nastojanja civilnog društva, medija i državnih aktera da ih podrže. **Treba se naglasiti da** ove mjere i mehanizmi teže da **dopune i ojačaju**, a ne da zamijene, konvencionalne mehanizme odgovornosti.

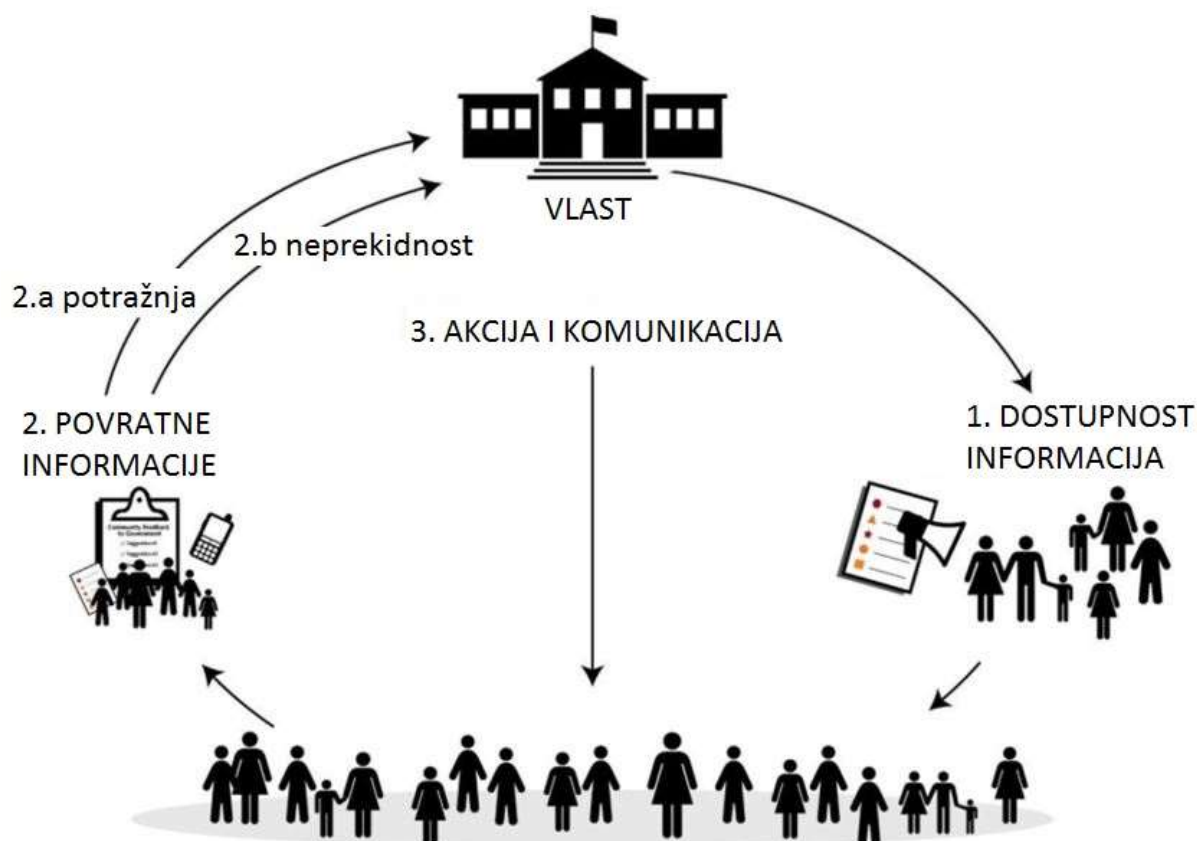
Da bi angažman građana bio uspješan i djelotvoran mehanizam iz kojeg bi se izvukle koristi na određenom projektu potrebno je osigurati zatvoreni krug protoka informacija. Vlast, odnosno Investitor, mora osigurati dostupnost informacija zainteresiranim građanima, te nakon toga od njih konstantno tražiti povratne informacije.

Povratne informacije se tokom svih faza implementacije projekta trebaju tražiti od projektom pogođenih građana kao i od svih zainteresiranih strana. „**Zainteresirana strana“ se definira kao: „Svi pojedinci, grupe, organizacije i institucije koji mogu biti pogođeni projektom ili imaju mogućnost utjecaja na projekat”, dok „ projektom pogođeni građanin“<sup>2</sup> podrazumjeva osobe „koje zbog provedbe projekta izgube pravo vlasništva, korištenja ili druge koristi od izgrađenog objekta, zemljišta (stambenog, poljoprivrednog ili pašnjaka), jednogodišnjih ili višegodišnjih kultura i stabala, ili neke druge nepokretne i pokretne imovine, u cijelosti ili djelimično, na privremenoj ili trajnoj osnovi.“<sup>3</sup>**

Razlog za insistiranje kreditora na Građanskom Angažmanu leži u tome što inicijacijom angažmana građana i dobivanjem povratnih informacija od korisnika možemo vrlo lako i rano identificirati rizike određenog projekta. Također pruža mogućnost za poboljšanje samog projektnog rješenja i olakšava implemetaciju. Ako se provovremeno inicira, sprečava nezadovoljstvo građana, proteste koji vode ka zastoju radova i naposljetku gubitku novca.

<sup>2</sup> Akcijski plan preseljenja za pod-projekte, Enova d.o.o. Sarajevo, mart 2016.

<sup>3</sup> Akcijski plan preseljenja za pod-projekte, Enova d.o.o. Sarajevo, mart 2016.



**Slika 1.** Zatvoreni krug protoka informacija  
(Izvor: Sandra Kdolsky, Radionica Svjetske Banke: "Operational Learning Series on Mainstreaming Citizen Engagement: Mainstreaming Citizen Engagement in ECA", Sarajevo, April 2017. Prilagodilo: autor)

### 3. PRAKSA

Praksa, ipak pokazuje različita iskustva.

#### 3.1. Slučaj javnih konsultacija za projekat izgradnje magistralne ceste Neum-Stolac

Javno preduzeće Ceste Federacije BiH pokrenulo je sveobuhvatan Program modernizacije mreže magistralnih cesta na teritoriji Federacije BiH. U tu svrhu, Vlada FBiH je podržala inicijativu za osiguranje kreditnih sredstava kod međunarodnih finansijskih institucija, te su pokrenuti pregovori o kreditiranju sa grupom kreditora uključujući Svjetsku banku.

Projekt se sastoji od nekoliko malih i srednje velikih investicija, uključujući i projekat izgradnje magistralne ceste M17.3 dionica Neum-Stolac.

U toku pripreme za pregovore o kreditiranju tim Svjetske Banke procjenjuje projekte te ih klasificira u tri grupe na osnovu tipa, lokacije, osjetljivosti, razmjera, te prirode i veličine utjecaja na okoliš. Budući da je projekat izgradnje magistralne ceste M17.3 Neum-Stolac klasificiran u kategoriju A, odnosno kategoriju projekata čiji je utjecaj znatan, te moguće nepovratan, na njega se je tokom pregovora o kreditiranju i priprema za kreditiranje obratila posebna pažnja.

Izrađen je čitav niz zaštitnih mehanizama u vidu dokumenta čiji je cilj osiguravanje postupanja po svim za projekat relevantnim operativnim politikama kreditora.

S obzirom da je Studija utjecaja na okoliš za projekat izgradnje M1.3 Neum –Stolac već bila napravljena 2009 godine, bilo je potrebno istu samo ažurirati te utvrditi, analizirati i procijeniti utjecaje koje će ovaj projekat imati na zahvaćeno društvo. Za obje ove studije obavljene su javne rasprave 2009 i 2016 godine.

Osim ovog dokumenta za dionicu Neum-Stolac bilo je potrebno izraditi i Netehnički sažetak za Ažuriranu studiju utjecaja na okoliš i procjene utjecaja na socijalne aspekte, Plan upravljanja okolišem i društvenim aspektima, Plan upravljanja otpadom. U okviru ovih dokumenta u toku 2016 i 2018 godine održane su još dvije javne rasprave.

U svrhu provođenja operativne politike 4.12, za dionicu Neum-Stolac pripremljeni su i Akcijski plan preseljenja za dionicu Neum-Stolac i Revizija i pregled preseljenja, za koje su također održane još dvije javne rasprave 2016. godine.

Dakle možemo zaključiti da je od 2009 do 2018 godine za projekat izgradnje magistralne ceste M17.3. Neum- Stolac održano 6 Javnih rasprava. Javnost je konsultirana 6 puta ne računajući organiziranje fokus grupa, sastanke sa opštinama, izlaske na teren sa projektantom, konsultacije koje je revident imao sa lokalnim stanovništvom i pogodenim općinama.

Glavna pitanja koja su pokrenuta javnim konsultacijama u svim fazama projekta ticala su se **isključivo izmjena trase ceste, priključaka i eksproprijacije.**

JP Ceste FBiH je tako kod donošenja odluka na svim područjima gdje je to bilo opravdano, uzelo u obzir javno mnijenje, odnosno stav lokalne zajednice. Primjer je trasa u blizini naselja Hutovo, gdje su analizirane dvije varijante: otvorena trasa i tunelska varijanta. Obje varijante su imale značajne prednosti i nedostatke, pri čemu je stav lokalne zajednice da preferira tunelsku varijantu, uz dodatni argument manjeg okolinskog uticaja, usvojen, te za dalji rad na projektu odabrana tunelska varijanta (iako varijanta s otvorenom trasom ima niže troškove građenja). Međutim, zbog skraćivanja tunela trasa je podignuta na višu kotu, čime je usložnjeno pitanje priključka mjesta na novu cestu, pa se u sljedećoj iteraciji građani pojavljuju sa zahtjevom da se odobri priključak sela na magistralnu cestu M17.3 u neposrednoj blizini portala tunela. U konkretnom slučaju, iako se radi o legitimnom zahtjevu lokalne zajednice, sigurnost saobraćaja na cesti je imala prednost, gdje su Projektant, Revident i Investitor imali jedinstven stav da bi postupanje u skladu sa zahtjevima lokalne zajednice proizvelo vrlo nebezbedno rješenje.

Pitanja ostalih priključaka su riješena u suradnji sa Revidentom koji je imao izravnu komunikaciju sa lokalnom zajednicom, te su priključci mjestima obezbjeđeni na svim traženim lokacijama gdje je isto bilo tehnički izvedivo.

Bitno je napomenuti i da su javne rasprave uglavnom bile dobro posjećene, ali se često dešavalo da su se pojavljivali građani koji nisu bili upoznati s ranije održanim javnim raspravama, pa su problematizirana ranije uvojena rješenja.

Dodatno, trasa dionice Neum- Stolac 2017. godine ulazi i u Prostorni plan općine Neum koji je također prošao postupak javne rasprave.

Generalno, može se reći da je komunikacija i saradnja sa lokalnom zajednicom bila dobra, da je javnost bila upoznata, te spremna podržavati projektne aktivnosti. Ovakvo stanje je trajalo je zadnje javne rasprave, javne rasprave na Plan upravljanja okolišem i socijalnim pitanjima na dionici Neum-Stolac, održane u februaru 2018. godine, kada lokalna zajednica iznosi niz optužbi uključujući neinformiranje javnosti o projektu te iznose stav da „ne žele cestu“.

### **3.2. Slučaj javnih konsultacija za projekat izgradnje Obilaznice Goražda**

Projekat Obilaznice Goražda definiran je još sedamdesetih godina prošlog vijeka, a izgradnja je realizirana etapno, prema raspoloživim sredstvima. Oko 2000. godine izgrađena je i puštena u saobraćaj posljednja dionica, nakon čega dolazi do zastoja u implementaciji projekta zbog nedostatka sredstava. Pomenutim Programom modernizacije magistralnih cesta FBiH predviđena i izgradnja nedostajućeg dijela Obilaznice Goražda do naselja Hibjeri, gdje se mostom preko Drine spaja sa magistralnom cestom M20 kod Kopača.

Glavni projekat je urađen još 2009, nakon čega su rađena dodatna geološka istraživanja, te projektovana sanacija zatečenih klizišta. U vrijeme izrade projektne dokumentacije, u izradi je bio Prostorni plan općine Goražde, koji je nakon puno komplikacija, donesen 2016. godine, u potpunosti respektujući projektovanu Obilaznicu Goražda.

Za potrebe prikupljanja dozvola i saglasnosti, JP ceste FBiH je u 2017. godini izradilo set dokumenata iz oblasti okolišta, te je Federalno ministarstvo okoliša i turizma zakazalo Javnu raspravu u Goraždu na temu ovih dokumenata. Na ovoj javnoj raspravi nije bilo govora o okolišu, nego o ultimativnom zahtjevu grupe građana da se trasa promijeni, te da se most izgradi bliže gradu. Jedino što Investitor u tom slučaju može uraditi, jeste da konstatuje da nema pune saglasnosti lokalne zajednice o preferiranoj varijati, te da dozvoli dodatno vrijeme za konsultacije. U međuvremenu su Ministrstvu okoliša i turizma FBiH dostavljene dvije



peticije, jedna sa potpisima podrške projektu prema usvojenom Prostornom planu sa 185 potpisa građana, a desetak dana nakon toga, druga peticija protivnika usvojene trase sa 74 potpisa. U konkretnom slučaju teret usaglašavanja je na lokalnoj zajednici, jer će u daljem toku implementacije projekta biti neophodno provesti veliki broj javnih rasprava, pri čemu bi protivljenje projektu dovelo do kašnjenja, kao i mogućih drugih problema za Investitora.

### 3.3. Ostali slučajevi

U Program Modernizacije također je uvršten projekat rekonstrukcije raskrsnice u mjestu Kamenica kod Bihaća. JP Ceste FBiH je u svrhu izrade zaštitnih mehanizama prema operativnim politikama Svjetske banke i u svrhu upoznavanja lokalne zajednice sa projektnim aktivnostima organizovalo javnu raspravu 2016 godine.

Iako je javna rasprava bila uredno oglašena u lokalnim medijima posjećenost je bila slaba.

U toku 2016 i 2017 predstavnici JP Cesta kao i predstavnici kreditora u više su navrata obilazili predmetnu lokaciju i razgovarali sa stanovništvom zatečenim na terenu. 2009. godine obavljeno je i geodetsko snimanje kada su i geodeti bili na terenu.

Ipak, u februaru 2018. godine na adresu Kreditora stiže pritužba od građanina pogođenog eksproprijacijom koji tvrdi da je tek kada je dobio Prijedlog za proglašenje javnog interesa saznao za bilo kakve projektne aktivnosti.

S obzirom da su postojali dokazi o naporima JP Ceste da informišu lokalno stanovništvo, Kreditor ne poduzima nikakve mjere sankcionisanja Investitora, nego prepušta istom rješavanje slučaja sa strankom. Trenutno je u toku preprojektovanje galvnog projekta kako bi se izbjegla predmetna parcela.

Kao još jedan zanimljiv slučaj možemo navesti i općinu Travnik na čijoj se periferijalnoj teritoriji nalaze dva projekta koja su ušla u Program modernizacije.

Za oba je do sada održana po jedna javna rasprava. I premda uredno oglašene u lokalnim medijima, iste su bile vrlo slabo posjećene. Prvoj, održanoj u 2016 godini, prisustvovao je 1 predstavnik opštine. Na drugu se je opština u potpunosti oglušila te nije prisustvoavalo niko.

Kao pozitivan primjer iz prakse možemo uzeti Općinu Bugojno na čijem teritorju se nalazi projekat rekonstrukcije mosta preko rijeke Vrbas koji je također ušao u Program Modernizacije. Javna rasprava održana u ovom mjestu je protekla u pozitivnom tonu, lokalna zajednica je obećala podršku, iznijeti su važni elementi koji su uzeti u obzir prilikom odluke o načinu izvođenja saobraćaja za vrijeme građenja, prisustvovali su i lokalni mediji kao i najviši predstavnici lokalne vlasti.

## 4. DERIVIRANI PROBLEMI

Kao glavne probleme na koje su ukazali predočeni slučajevi iz prakse možemo izdvojiti:

- Lokalna zajednica se ne uključuje u fazi izrade i usvajanja prostorno-planske dokumentacije, a postaje zainteresirana većinom nakon njenog usvajanja, kao i nakon izrade investiciono-tehničke dokumentacije i revizije projektne dokumentacije, kada je kasno za bilo kakve značajne izmjene
- Nezainteresiranost lokalne zajednice za projekte koja dovodi do slabe posjećenosti javnih rasprava u fazi kada je bitno imati stav lokalne zajednice i kada je moguće da lokalna zajednica utiče na projektne rješenja.
- Nerazumijevanje značaja planskog dokumenta po njegovom usvajanju, gdje se postupak unedogled vraća na sami početak, odnosno sama lokalna zajednica ne priznaje vlastiti planski dokument,
- Osobni interesi pojedinaca i nevođenje principom javnog dobra.
- Argumenti koji nemaju za cilj rješavanje problema, nego politički pritisak ili kočenje projekata

## 5. RAZMIŠLJANJA O MOGUĆNOSTI PREVENCIJE PROBLEMA

Iskustva u dosadašnjem radu pokazuju da je dobra komunikacija i posvećenost zajedničkom javnom cilju neophodan uslov za uspjeh javnih rasprava, odnosno pozitivnog uključivanja javnosti u projekat.

Konsultiranje lokalne zajednice mora biti kontinuirano i mora se vršiti od najranijih aktivnosti vezanih za projekat. Kada se lokalna zajednica uključi prekasno u projekat to može voditi ozbiljnim problemima prilikom implementacije pa čak i obustavi projekta.

Značajno je educirati građane da što više učestvuju u ranim fazama izrade i usvajanja prostorno-planske dokumentacije, te da u toj fazi daju konstruktivan doprinos. Međutim, nakon usvajanja prostorno-planske dokumentacije treba se suzdržati od davanja primjedbi na već ustanovljene parametre. Fokus primjedbi

građana u kasnijim fazama trebao bi biti na sagledavanju mogućih uticaja na okoliš i socijalnih uticaja projekata na prethodno usvojenim trasama, te na mjerama ublažavanja prepoznatih uticaja. Ukoliko se stalno budemo bavili položajem trase, nikada nećemo moći finalizirati projekat.

Moguće je da bi bilo pozitivno primjerom projekta s dobrom komunikacijom svih strana i implementacijom u predviđenim rokovima, i kod sredina gdje lokalna zajednica nema izgrađen takav odnos prema javnim raspravama, ponukati ove građane da razmišljaju u smislu zajedničke dobrobiti.

## 6. ZAKLJUČAK

Iz dosadašnjih iskustava u provođenju javnih rasprava i generalno uključivanja javnosti na prezentacijama projekata u raznim fazama i konsultacija s građanima, mogu se izvesti dva ključna pojma: **komunikacija i edukacija**. Voditelji projekata i osobe uključene u implementaciju projekata u svakom pojedinačnom slučaju trebaju, vođeni principom dva pomenuta ključna pojma, tražiti najbolji put i najbolji način komunikacije, kako bi osigurali što lakšu implementaciju projekata. Lekcije naučene u jednom slučaju uvijek se mogu koristiti u drugim analognim slučajevima, posebno za potrebe prepoznavanja rizika i njihove prevencije.

### Literatura

#### - **LEGISLATIVA:**

- [1] Pravilnik o pogonima i postrojenjima za koje je obavezna procjena utjecaja na okolis i pogonima i postrojenjima koji mogu biti izrađeni i pusteni u rad samo ako imaju okolinsku dozvolu , Sužbene novine Federacije BiH br. 19/04 od 10.4.2004.
- [2] Zakon o zaštiti okoliša, Službene novine Federacije BiH br. 33/03, od 19.07.2003
- [3] Uredbi o jedinstvenoj metodologiji za izradu dokumenata prostornog uređenja, Sužbene novine Federacije BiH br. 63/04 od 12.1.2004.

#### - **DOKUMENTI:**

- [4] Akcijski plan preseljenja za pod-projekte, Enova d.o.o. Sarajevo, mart 2016

#### - **PREZENTACIJE I RADIONICE:**

- [5] Carmen Malena, Radionica Svjetske Banke: "Operational Learning Series on Mainstreaming Citizen Engagement: Koncept & Praksa Građanskog Angažmana", Sarajevo, april 2017
- [6] Sandra Kdolsky, Radionica Svjetske Banke: "Operational Learning Series on Mainstreaming Citizen Engagement: Mainstreaming Citizen Engagement in ECA", Sarajevo, april 2017

#### - **INTERNET:**

- [7] Viktor Bjelić, Snežana Mišić-Mihajlović, Anđa Kalem-Perić, Đorđe Stefanović, Mladen Rudež, Suada Numić, Ljiljana Stanišljević, Nada Ljubojević, Damir Petrović, Alma Mirvić. Priručnik za praktičnu primjenu Aarhuske konvencije u Bosni i Hercegovini, dostupno na:  
[http://www.fmoit.gov.ba/userfiles/file/AARHUS%20MANUAL\\_interactive.pdf](http://www.fmoit.gov.ba/userfiles/file/AARHUS%20MANUAL_interactive.pdf)  
(29.03.2018)

# PLAN UPRAVLJANJA ŽIVOTNOM SREDINOM U PROJEKTIMA REHABILITACIJE PUTEVA

Iva Kaplanec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za puteve AD Beograd

**Rezime:** Projekat rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja, predstavlja prvu fazu vadinog Nacionalnog programa rehabilitacije puteva od koga se očekuje da u periodu 2014-2019 godine realizuje rehabilitaciju na dužini od oko 1100 km nacionalnih puteva širom zemlje. Plan upravljanja životnom sredinom (eng. Environmental management plan - EMP) predstavlja dokument koji se izrađuje uz projekat rehabilitacije puteva po zahtevu i smernicama zaštite međunarodnih finansijskih institucija koje finansiraju projekat. Ključne komponente plana upravljanja životnom sredinom su: plan za umanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu i plan praćenja uticaja na životnu sredinu. Cilj izrade plana upravljanja životnom sredinom je da ukaže na negativne ekološke uticaje i probleme upravljanja u toku izvođenja građevinskih radova, kao i neophodne mere ublažavanja uticaja koje se moraju primeniti. Ovim radom biće predstavljen i objašnjen metod izrade EMP-a na osnovu iskustva autora prilikom izrade pomenutog dokumenta, a koji obuhvata teorijske studije i istraživanja na terenu kao i važnost uključivanja lokalnog stanovništva i predstavnika vlasti na lokalnom i regionalnom nivou.

**Ključne reči:** Plan upravljanja životnom sredinom, životna sredina, rehabilitacija puta

## ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLAN IN ROAD REHABILITATION PROJECTS

Iva Kaplanec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Highway Institute

**Abstract:** The Road Rehabilitation and Traffic Safety Improvement Project (RRSP) represents the implementation of the first phase of the Government's National Road Rehabilitation Program which is expected to rehabilitate about 1100 km of national roads across the country, from 2014 to 2019. The Environmental Management Plan (EMP) is a document that is developed with the Road Rehabilitation Project on the request and guidelines for the protection of International Financial Institutions that fund the project. The key components of the Environmental Management Plan are: Mitigation Plan and Monitoring Plan. The aim of the EMP is to highlight the negative environmental impacts and management problems during the execution of construction works, as well as the necessary mitigation measures that must be applied. This work will present and explain the method of making EMP based on the author's experience on the preparation of the said document, which includes theoretical studies and field research, as well as the importance of involving the local population and representatives of the authorities at the local and regional level.

**Keywords:** EMP, environment, road rehabilitation

### 1. UVOD

Izrada plana upravljanja životnom sredinom usklađuje se sa srpskim zakonodavstvom, pravilnicima i uredbama, kao i sa međunarodnim konvencijama i smernicama zaštite izdate od strane međunarodnih finansijskih Institucija.

Ministarstvo zaštite životne sredine je ključna institucija u Republici Srbiji, odgovorna za formulisanje i sprovođenje politike zaštite životne sredine. Ostalim aspektima upravljanja zaštitom životne sredine, a koji se odnose na projekte putne rehabilitacije, bavi se nekoliko drugih institucija, među kojima su Zavod za zaštitu prirode Republike Srbije i Zavod za zaštitu spomenika kulture Republike Srbije.

U Republici Srbiji, procedura procene uticaja na životnu sredinu regulisana je Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu, koji je u potpunosti u skladu sa Evropskom direktivom 85/337/EEC.

U daljem tekstu biće objašnjen mehanizam izrade plana upravljanja životnom sredinom, njegova važnost u projektima putne rehabilitacije kao i njegova konkretna primena tokom izvođenja radova kroz dokument izvođačevog plana upravljanja životnom sredinom.

---

<sup>1</sup> Iva Kaplanec: i.kaplanec@highway.rs

## 2. PROCEDURA PROCENE UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU U REPUBLICI SRBIJI I IZRADA PLANA UPRAVLJANJA ŽIVOTNOM SREDINOM

Tokom izrade dokumenta plana upravljanja životnom sredinom i tokom samog izvođenja radova neophodno je da se primene zahtevi inostranih kreditora koji obuhvataju sledeće:

- Svetska banka: Operativne smernice OP 4.01, procena uticaja koja zahteva delimičnu studiju o proceni uticaja na životnu sredinu i odgovarajući plan upravljanja životnom sredinom za projekte koji pripadaju kategoriji B,
- Evropska banka za obnovu i razvoj: Zaštita životne sredine i socijalne smernice (2008);
- Evropska investiciona banka: Izjava o ekološkim i socijalnim principima i standardima (2008).

Evropska banka za obnovu i razvoj i Evropska investiciona banka zahtevaju da projekat putne rehabilitacije bude urađen u skladu sa zakonima Republike Srbije i standardima Evropske Unije.

Za ovu vrstu investicija, prema propisima Vlade Republike Srbije, nije predviđen plan upravljanja životnom sredinom, dok se prema smernicama Svetske banke, za svaku deonicu, zahteva delimična procena uticaja na životnu sredinu i izrada plana upravljanja životnom sredinom.

Procedura procene uticaja na životnu sredinu u pravnom sistemu Republike Srbije regulisana je Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu, koji je u saglasnosti sa evropskom direktivom EIA – 85/337/EEC.

Za projekte pojačanog održavanja puteva prema prethodno navedenom zakonu nije potrebna procena uticaja na životnu sredinu, osim u slučaju deonica koje se nalaze u zoni ili blizini zaštićenih prirodnih i kulturnih područja. U tom slučaju, projektant koji je zadužen za izradu dokumenta pribavlja uslove od Zavoda za zaštitu prirode Srbije i nadležnog zavoda za zaštitu spomenika kulture pod kojim se može izvoditi predmetni projekat. Zajedno sa pribavljenim uslovima nadležnih zavoda, zahtev za izdavanje mišljenja o potrebi izrade studije o proceni uticaja na životnu sredinu upućuje se nadležnom ministarstvu. U slučaju kada je odgovor nadležnog ministarstva na zahtev o mišljenju takav da nije potrebna izrada studije o proceni uticaja na životnu sredinu, pristupa se izradi dokumenta plana upravljanja životnom sredinom.

## 3. KOMPONENTE EMP DOKUMENTA I METOD IZRADE

Svaki EMP dokument sastoji se iz više komponenti:

1. Opis projekta
2. Politika, pravni i administrativni okvir
3. Ocena osnovnih uslova na trasi tokom istraživanja
4. Rezime uticaja na životnu sredinu
5. Plan upravljanja životnom sredinom
  - a) Plan za ublažavanje
  - b) Plan praćenja uticaja
  - c) Institucionalna primena i dogovori o izveštavanju
6. Uključivanje zainteresovanih strana, objavljivanje informacija, konsultacije i učešće

Izrada plana upravljanja životnom sredinom obuhvata teorijske studije kao i istraživanja na terenu kako bi se na najbolji način uzeli u obzir i razmotrili svi mogući negativni uticaji na životnu sredinu tokom izvođenja projekta putne rehabilitacije.

Tokom pojačanog održavanja predmetnih deonica u okviru projekta rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja moguća je pojava privremenih negativnih uticaja kao posledica građevinskih aktivnosti tokom izvođenja samih radova. Upravo iz tog razloga, zadatak projektanta koji izrađuje dokument plana upravljanja životnom sredinom jeste sveobuhvatno sagledavanje mogućih negativnih uticaja koji se mogu javiti u različitim aspektima. Negativni uticaji mogu se ogledati kroz: poremećaj odvijanja saobraćaja, smanjenu bezbednost na putu zagađenje vazduha prašinom i gasovima iz izduvnih sistema građevinske mehanizacije, pojavu buke, oštećenja na pristupnim putevima, stvaranje otpada i potencijalno zagađenje zemljišta i vodnih resursa u neposrednoj blizini predmetne deonice, kao i privremene poremećaje u biocenozi i funkcionisanju okolnih naselja.

Jedna od neophodnih komponenti svakog EMP dokumenta jeste rezime uticaja na životnu sredinu i sledeća tabela upravo predstavlja primer kratkog pregleda pomenutih uticaja na konkretnoj deonici koji su predviđeni za vreme trajanja pojačanog održavanja.

**Tabela 1. Rezime uticaja na životnu sredinu**

Analizirani uticaji	Značaj	Komentar
Uticaji na korišćenje zemljišta/naselja	nizak	Tokom realizacije projekta, neće biti novog zauzimanja zemljišta, kao što je definisano OP 4.01.
Podzemne i površinske vode	nizak	Zbog male količine vode koja odvodnjavanjem može doći do reke Kubršnice, negativan uticaj je minimalan ili zanemarljiv
Kvalitet vazduha	nizak	Privremeni uticaj
Flora I fauna (zaštićena područja i vrste)	nizak	Nema zaštićenih područja
Buka	nizak	Privremeni uticaj
Pristupne tačke ukrštanja glavnog i lokalnih puteva	nizak	Rehabilitacija i proširenje neće uticati na postojeće tačke ukrštanja
Upravljanje zemljištem	nizak	Uz primenu odgovarajućih mera postupanja sa otpadom
Otpad	nizak	Osigurano kroz pripremu i realizaciju Plana upravljanja otpadom i otpadnim vodama
Kumulativni uticaji, itd.	nizak	Tokom izvođenja radova, privremeno se može izazvati blagi porast nivoa buke i koncentracije zagađujućih materija

Izvor: Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Aranđelovac (4) Orašac - Krčevac

Za svaku predmetnu deonicu, plan upravljanja životnom sredinom fokusira se na fazu pojačanog održavanja, dok aktivnosti vezane za redovno održavanje deonice, iako nisu u fokusu ovog plana, uglavnom budu uključene u osnovnim crtama kako bi plan bio kompletan.

### 3.1. Plan ublažavanja uticaja na životnu sredinu i plan praćenja uticaja

Plan ublažavanja uticaja na životnu sredinu predstavlja rezime mogućih negativnih uticaja na životnu sredinu i odgovarajućih mera za njihovo ublažavanje pre izgradnje, u toku izvođenja kao i u toku eksploatacije predmetnog puta. Sve navedene mere ublažavanja u planu odnose se na samo gradilište kao i na čitav putni pojas predmetne deonice. Ovaj plan se poziva na zakone i ugovornu dokumentaciju, na dobijene uslove od nadležnih institucija kao i vremenske okvire.

Plan praćenja uticaja je druga glavna komponenta EMP dokumenta I sadrži sledeće činioce:

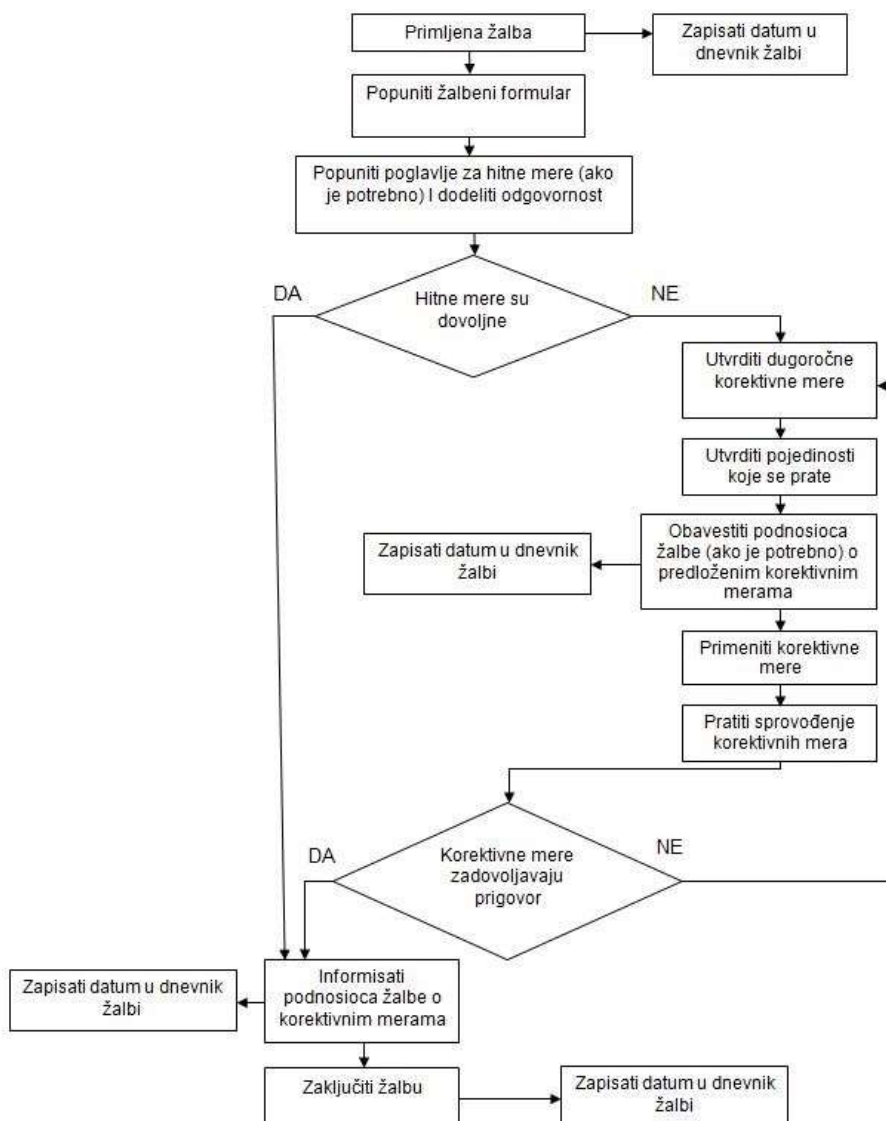
- Parametre koje treba pratiti
- Posebne oblasti, lokacije na kojima će se merenja vršiti
- Način na koji se parametri prate, vrsta opreme za monitoring
- Trajanje i učestalost merenja
- Institucionalna odgovornost u vezi sa monitoringom i nadzorom

### 3.2. Uključivanje zainteresovanih strana, objavljivanje informacija, konsultacije i učešće

Veoma bitna komponenta plana upravljanja životnom sredinom jeste i uključivanja lokalnog stanovništva i predstavnika vlasti na lokalnom i regionalnom nivou. Ovaj vid interakcije svih strana koje su uključene u predmetni projekat kao i lokalnog stanovništva na koje će uticati pojačano održavanje predmetne deonice predstavlja politiku zaštitnih mera međunarodnih finansijskih institucija i manifestuje se kroz održavanje javnih konsultacija.

Celokupna dokumentacija se dostavlja opštinama, objavljuje na njihovom sajtu i postavlja na web sajt Investitora kako bi dokument bio javan i dostupan. Javnost se obaveštava preko jednog nacionalnog i lokalnih medija o vremenu i mestu održavanju javnih konsultacija.

Rezultati javnih konsultacija o planu upravljanja životnom sredinom uvršćuju se u EMP dokument u vidu izveštaja o javnim konsultacijama. Ukoliko postoji žalba na plan upravljanja životnom sredinom u okviru dokumenta nalazi se i žalbeni mehanizam koji podnosioc žalbe popunjava sa predlogom za rešavanje konkretne žalbe. Ukoliko postoje, pristigle žalbe treba rešiti u toku 15 radnih dana primenom žalbenog postupka.



Slika 1. Djagram toka žalbenog postupka

Izvor: Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Arandelovac (4) Orašac - Krčevac



#### **4. IZVOĐAČEV PLAN ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE**

Pre početka izvođenja radova, izvođač je u obavezi da pripremi svoj plan upravljanja životnom sredinom koji se odnosi na uslove u planu upravljanja životnom sredinom, a koji je u skladu sa nacionalnom zakonskom regulativom i zahtevima inostranih finansirajućih institucija.

U izvođačevom planu upravljanja životnom sredinom detaljno je predstavljeno kako se izvođač odnosi prema aktivnostima pojačanog održavanja u okviru plana upravljanja životnom sredinom i dužan je da ovaj plan dostavi investitoru na odobrenje. Ukoliko je plan odgovarajući i primenljiv pristupa se početku izvođenja radova.

Iskustvo u izradi EMP dokumenta pokazuje da moguća neadekvatna primena ovog plana od strane izvođača, nastaje zbog njegove nedovoljne povezanosti sa ugovornim dokumentima. Plan upravljanja životnom sredinom deo je programa rada i izvođač je u obavezi da mu pristupi i sprovedi ga na način na koji se traži.

#### **5. ZAKLJUČAK**

Važnost ovog dokumenta ogleda se u sveobuhvatnom prikazu i sagledavanju potencijalnih štetnih uticaja koji mogu nastati tokom izvođenja radova na pojačanom održavanju puteva i određivanju odgovarajućih mera ublažavanja pomenutih uticaja kao i njihovo praćenje.

Uključivanje zainteresovanih strana i objavljivanje informacija kroz održavanje javnih konsultacija bitna je komponenta plana upravljanja životnom sredinom. Na taj način se ostvaruje komunikacija i interakcija zainteresovanih strana na temu izrade plana upravljanja životnom sredinom čime se omogućava njegova transparentnost i dalja primena u izvođenju kroz izvođačev plan upravljanja životnom sredinom.

Kvalitetno izrađeni planovi upravljanja životnom sredinom, uz ispunjenje svih zahteva od strane međunarodnih finansijskih institucija, ne podrazumevaju uvek i adekvatno sprovođenje smernica iz plana u toku izvođenja na čemu bi trebalo raditi u budućnosti.

## Literatura

- [1] Institut za puteve a.d. Zavod za projektovanje "Trasa". Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Aranđelovac (4) Orašac – Krčevac, Beograd.
- [2] Institut za puteve a.d. Zavod za projektovanje "Trasa". Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Leskovac jug (veza sa A1) – Leskovac (Bratmilovce), Beograd.
- [3] Institut za puteve a.d. Zavod za projektovanje "Trasa". Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Beloljin – Kuršumljia - Rudare, Beograd.
- [4] Društvo za izgradnju i održavanje autoputeva Srbijaautoput d.o.o. Izvođačev Plan upravljanja životnom sredinom, deonica: Aranđelovac (4) Orašac – Krčevac, Beograd.
- [5] Zakon o zaštiti životne sredine, ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 - dr. zakon, 72/2009 - dr. zakon, 43/2011 - odluka US i 14/2016).

# ODRŽIVI RAZVOJ I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE U PLANSKOJ I TEHNIČKOJ DOKUMENTACIJI SA ASPEKTA PUTNOG SEKTORA

Jovana Munjas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut za puteve AD, Beograd, j.munjas@highway.rs

**Rezime:** Održivi razvoj i zaštita životne sredine neophodni su segmenti planiranja. Održivi razvoj podrazumeva pronalaženje ravnoteže između društvenog razvoja, ekonomskog napretka i zaštite životne sredine. Ovaj rad prikazuje razmatranje aspekta zaštite životne sredine u našoj planskoj dokumentaciji, sa akcentom na putni sektor, kroz različite nivoe prostornih i urbanističkih planova, kao i ostale zakonske regulative. Od nivoa detaljnosti planova, zavise mere i ciljevi zaštite životne sredine.

*Cilj rada je ukazivanje na neophodnost i kompleksnost razmatranja zaštite životne sredine u svim fazama izrade planske i tehničke dokumentacije iz oblasti putnog sektora, kako bi proces planiranja i odlučivanja funkcionisao u cilju očuvanja i unapređenja kvaliteta životne sredine, a samim tim i održivog razvoja.*

**Ključne reči:** održivi razvoj, životna sredina, putni sektor.

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN PLANNING AND TECHNICAL DOCUMENTS WITH THE ASPECT OF THE ROAD SECTOR

Jovana Munjas

<sup>1</sup> Highway institute

**Abstract:** Sustainable development and environmental protection are essential segments of planning. Sustainable development implies finding a balance between social development, economic progress and environmental protection. This paper presents the consideration of the aspects of environmental protection in our planning documentation, with emphasis on the road sector, through different levels of spatial and urban plans, and other legal regulations. From the level of detail of the plans depends the measures and goals of environmental protection.

*The aim of this paper is to emphasize the necessity of and complexity of considerations of environmental protection in all stages of planning and technical documentation in the field of the road sector, to make the process of planning and decision-making function in order to maintain and improve environmental quality, and hence sustainable development.*

**Keywords:** sustainable development, environmental protection, road sector.

### 1. UVOD

Kvalitet životne sredine je sagledan kao jedan od osnovnih kriterijuma za uravnotežen i održiv razvoj Republike Srbije u saglasnosti sa ciljevima njenog prostornog razvoja. Nacionalna strategija održivog razvoja definiše održivi razvoj kao "ciljnoorijentisan, dugoročan, neprekidan, sveobuhvatan i sinergijski proces koji utiče na sve aspekte života (ekonomski, socijalni, ekološki i institucionalni) na svim nivoima". Održivi razvoj teži uspostavljanju ravnoteže kroz planiranje, koje na kvalitetan način zadovoljava društveno-ekonomske potrebe i interese građana, a istovremeno uklanja ili znatno smanjuje uticaje koji prete ili štete životnoj sredini i prirodnim resursima. Poremećaji u životnoj sredini, degradacija prirodnog kapitala i nastalo zagađenje onemogućavaju korišćenje drugih prirodnih i ljudskih resursa. Još ozbiljnije, neracionalna upotreba resursa dovodi u pitanje osnovni smisao razvoja, s obzirom na to da izaziva klimatske promene te ugrožava zdravlje ljudi.

Prostorno planiranje tradicionalno je aktivnost čija je svrha uređenje, razvoj i zaštita prostora. Ono, kao deo šireg sistema upravljanja prostorom, mora stvoriti preduslove za održivo upravljanje prirodnim resursima, samim tim i zaštitu životne sredine.

Bitan element razvoja svakog područja je razvoj saobraćajne infrastrukture, tj. putnog sektora. Izgradnja saobraćajnica neminovno ima uticaj na životnu sredinu. Uticaji se ogledaju u vidu zauzimanja tla i vodenih

---

<sup>1</sup> Jovana Munjas: j.munjas@highway.rs

površina, degradacije vegetacije, presecanju ekoloških tokova, biotopa, narušavanju pejzaža, itd. Kasnije, pri eksploataciji puta javljaju se dodatni negativni uticaji, kao što su buka, vibracije, zagađenje vazduha, zemljišta, voda, kao i podzemnih voda.

Problem nastaje kada tretirani prostor zbog svog ekološkog potencijala treba očuvati u svojoj izvornoj formi sa jedne strane, a sa druge omogućiti nesmetani socio-ekonomski napredak istog, a da se pri tome ne naruši ravnopravni balans u prostoru između ove dve komponente. Ovaj rad ukazuje na činjenicu da akcent treba da bude na prostornom planiranju kao instrumentu u postizanju održivog razvoja.

## **2. PROCENA UTICAJA PUTNOG SEKTORA I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE U ZAKONSKOJ REGULATIVI REPUBLIKE SRBIJE**

Izrada planske i tehničke dokumentacije iz oblasti putnog sektora, kao i njihove procene uticaja na životnu sredinu regulisana je brojnim propisima Republike Srbije, koji se mogu svrstati u dve grupe.

Prvoj grupi pripadaju propisi kojima se reguliše izrada planske i tehničke dokumentacije. Osnovni zakon za izradu planske i tehničke dokumentacije je Zakon o planiranju i izgradnji, kojim se između ostalog, reguliše i obim i sadržaj prostornih, urbanističkih planova i tehničke dokumentacije.

Drugu grupu propisa čini zakonska regulativa iz oblasti zaštite životne sredine. Zakonom o zaštiti životne sredine uređuje se integralni sistem zaštite životne sredine kojim se obezbeđuje ostvarivanje prava čoveka na život i razvoj u zdravoj životnoj sredini i uravnotežen odnos privrednog razvoja i životne sredine u Republici Srbiji. Sistem zaštite životne sredine čine mere, uslovi i instrumenti za:

- 1) održivo upravljanje, očuvanje prirodne ravnoteže, celovitosti, raznovrsnosti i kvaliteta prirodnih vrednosti i uslova za opstanak svih živih bića;
- 2) sprečavanje, kontrolu, smanjivanje i sanaciju svih oblika zagađivanja životne sredine.

Prema Zakonu o zaštiti životne sredine osnovna načela zaštite životne sredine jesu:

- 1) Načelo integralnosti - državni organi, organi autonomne pokrajine i organi jedinice lokalne samouprave obezbeđuju integraciju zaštite i unapređivanja životne sredine u sve sektorske politike sprovođenjem međusobno usaglašenih planova i programa i primenom propisa kroz sistem dozvola, tehničkih i drugih standarda i normativa, finansiranjem, podsticajnim i drugim merama zaštite životne sredine;
- 2) Načelo prevencije i predostrožnosti - svaka aktivnost mora biti planirana i sprovedena na način da prouzrokuje najmanju moguću promenu u životnoj sredini, predstavlja najmanji rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi, smanji opterećenje prostora i potrošnju sirovina i energije u izgradnji, proizvodnji, distribuciji i upotrebi, uključi mogućnost reciklaže, spreči ili ograniči uticaj na životnu sredinu na samom izvoru zagađivanja.

Načelo predostrožnosti ostvaruje se procenom uticaja na životnu sredinu i korišćenjem najboljih raspoloživih i dostupnih tehnologija, tehnika i opreme.

Strateška procena uticaja na životnu sredinu (SPU) vrši se za strategije, planove, programe i osnove u oblasti prostornog i urbanističkog planiranja ili korišćenja zemljišta, poljoprivrede, šumarstva, ribarstva, lovstva, energetike, industrije, **saobraćaja**, upravljanja otpadom, upravljanja vodama, telekomunikacija, turizma, infrastrukturnih sistema, zaštite prirodnih i kulturnih dobara, biljnog i životinjskog sveta i njihovih staništa i dr. i sastavni je deo plana, odnosno programa ili osnove.

Strateška procena uticaja na životnu sredinu mora biti usklađena sa drugim procenama uticaja na životnu sredinu, kao i sa planovima i programima zaštite životne sredine i vrši se u skladu sa postupkom propisanim posebnim zakonom. Izrada procene uticaja na životnu sredinu prostornih i urbanističkih planova je regulisana Zakonom o strateškoj proceni uticaja, a tehničke dokumentacije Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu.

Zakonom o strateškoj proceni uticaja uređuju se uslovi, način i postupak vršenja procene uticaja određenih planova i programa na životnu sredinu radi obezbeđivanja zaštite životne sredine i unapređivanja održivog razvoja integrisanjem osnovnih načela zaštite životne sredine u postupak pripreme i usvajanja planova i programa.

Izveštaj o strateškoj proceni je dokument kojim se opisuju, vrednuju i procenjuju mogući značajni uticaji na životnu sredinu do kojih može doći implementacijom plana i određuju mere za izbegavanje ili smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu. Izveštaj sadrži razrađene smernice za planove ili programe na nižim hijerarhijskim nivoima koje obuhvataju definisanje potrebe za izradom strateških procena i procena uticaja projekata na životnu sredinu, određuju aspekti zaštite životne sredine i druga pitanja od značaja za procenu uticaja na životnu sredinu planova i programa nižeg hijerarhijskog nivoa.

Procena uticaja projekta na životnu sredinu (PU) vrši se za projekte koji se planiraju i realizuju u prostoru, uključujući promene tehnologije, rekonstrukciju, proširenje kapaciteta ili prestanak rada koji mogu dovesti do značajnog zagađivanja životne sredine ili predstavljaju rizik po zdravlje ljudi, kao i projekti koji su realizovani bez izrade studije o proceni uticaja, a nemaju odobrenje za izgradnju ili se koriste bez upotrebne dozvole. Predmet procene uticaja su projekti su iz oblasti industrije, rudarstva, energetike, **saobraćaja**, turizma, poljoprivrede, šumarstva, vodoprivrede, upravljanja otpadom i komunalnih delatnosti, kao i za projekte koji se planiraju na zaštićenom prirodnom dobru i u zaštićenoj okolini nepokretnog kulturnog dobra.

Procena uticaja projekta na životnu sredinu je sastavni deo tehničke dokumentacije bez koje se ne može pristupiti izvođenju projekta i vrši se u skladu sa postupkom propisanim posebnim zakonom.

Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu uređuje se postupak procene uticaja na životnu sredinu, sadržaj studije o proceni uticaja na životnu sredinu, učešće zainteresovanih organa, organizacija i javnosti, prekogranično obaveštavanje za projekte koji mogu imati značajne uticaje na životnu sredinu druge države, nadzor i druga pitanja od značaja za procenu uticaja na životnu sredinu.

Studija o proceni uticaja na životnu sredinu je dokument u kome se analizira i ocenjuje kvalitet činilaca životne sredine, njihova osetljivost na određenom prostoru, međusobni uticaji postojećih i planiranih aktivnosti, predviđaju neposredni i posredni štetni uticaji projekta na činioce životne sredine, kao i mere i uslovi za sprečavanje, smanjenje i otklanjanje štetnih uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

## 2.1. Dokumenti prostornog i urbanističkog planiranja i tehnička dokumentacija

Glavna faza realizacije održivog razvoja na svim nivoima je donošenje plana tj. akciono planiranje. Prema Zakonu o planiranju i izgradnji planski dokumenti su prostorni i urbanistički planovi. Podela planova data je u Tabeli 1.

**Tabela 1. Planski dokumenti**

<b>Prostorni planovi</b>	<b>Urbanistički planovi</b>
Prostorni plan Republike Srbije	Generalni urbanistički plan
Regionalni prostorni plan	Plan generalne regulacije
Prostorni plan jedinice lokalne samouprave	Plan detaljne regulacije
Prostorni plan područja posebne namene	

*Izvor: Zakon o planiranju i izgradnji*

Tehnička dokumentacija jeste skup projekata koji se izrađuju radi utvrđivanja koncepta objekta, razrade uslova, načina izgradnje objekta i za potrebe održavanja objekta. Vrste tehničke dokumentacije predstavljene su u Tabeli 2.

**Tabela 2. Vrste tehničke dokumentacije**

<b>Tehnička dokumentacija</b>
Generalni projekat (GNP)
Idejno rešenje (IDR)
Idejni projekat (IDP)
Projekat za građevinsku dozvolu (PGD)
Projekat za izvođenje (PZI)
Projekat izvedenog objekta (PIO)

*Izvor: Zakon o planiranju i izgradnji*

### 2.1.1. Zaštita životne sredine u dokumentima prostornog i urbanističkog planiranja i tehničkoj dokumentaciji

Prostornim planom Republike Srbije utvrđuju se dugoročne osnove organizacije, uređenja, korišćenja i zaštite prostora Republike Srbije u cilju usaglašavanja ekonomskog i socijalnog razvoja sa prirodnim, ekološkim i kulturnim potencijalima i ograničenjima na njenoj teritoriji. Ovaj prostorni plan se razrađuje regionalnim prostornim planovima, prostornim planovima područja posebne namene, prostornim planovima za područja utvrđena Prostornim planom, prostornim planovima jedinica lokalne samouprave, urbanističkim planovima, planovima i programima razvoja, propisima i opštim aktima donetim za njihovo sprovođenje.

Prema Prostornom planu Republike Srbije osnovni cilj je zaštita i unapređenje životne sredine kao osnova uravnoteženog razvoja, korišćenja i uređenja prostora Republike Srbije zaustavljanjem dalje degradacije, preventivnom zaštitom od svih planiranih aktivnosti koje mogu ugroziti postojeći kvalitet prirodne i životne sredine, uz sanaciju i revitalizaciju ugroženih područja. Konceptija zaštite i unapređenja životne sredine zasniva se, između ostalog, na:

- 1) planiranju na osnovama održivog razvoja: planiranje racionalnog korišćenja prirodnih resursa - zemljišta, vode, sirovina i drugih prirodnih resursa uvažavajući „ekološki” kapacitet prostora, povećanje korišćenja obnovljivih izvora energije;
- 2) proceni uticaja planova, programa, objekata i aktivnosti na životnu sredinu, kao osnovu za planiranje mera zaštite. Integrisanje zaštite životne sredine u sektore planiranja, projektovanja i izgradnje, kroz instrumente procene uticaja (SPU za planove i programe, PU za projekte).

Ostali planski dokumenti moraju biti u skladu sa Prostornim planom Republike Srbije.

Regionalni prostorni plan se izrađuje za veće prostorne celine administrativnog, funkcionalnog, geografskog ili statističkog karaktera, usmerene ka zajedničkim ciljevima i projektima regionalnog razvoja. Regionalni prostorni plan sadrži, između ostalog i principe i propozicije zaštite, uređenja i razvoja prirode i prirodnih sistema, mere zaštite, uređenja i unapređenja prirodnih dobara i nepokretnih kulturnih dobara, mere zaštite životne sredine. Osnovni ciljevi zaštite životne sredine su: očuvanje i unapređenje kvaliteta životne sredine, integrisano sa zaštitom prirodnih i kulturnih vrednosti i održivim razvojem područja i upravljanje kvalitetom životne sredine zasnovanom na proceni i monitoringu uticaja postojećih i planiranih aktivnosti, infrastrukturnih sistema i objekata na životnu sredinu.

Neki od posebnih ciljeva definisanih u regionalnim prostornim planovima su:

- 1) sprečavanje i zaustavljanje dalje degradacije prostora, sanacija i revitalizacija prostora, kao preventiva zaštite od svih planiranih aktivnosti koje mogu ugroziti postojeći kvalitet životne sredine;
- 2) izrada i sprovođenje opštinskih/gradskih planova/programa zaštite zemljišta od vodne erozije, zagađivanja i drugih degradacionih procesa, zaštite voda od zagađivanja i nepovoljnih promena hidroloških režima, zaštite vazduha od zagađivanja, zaštite od prekomerne buke i svih elemenata životne sredine od zagađivanja;
- 3) sprovođenje mera zaštite životne sredine i uređenja zaštitnih pojaseva saobraćajnica (državnih puteva I i II reda) koje ugrožavaju životnu sredinu;
- 4) rešavanje problema prolaska tranzitnog saobraćaja kroz gradske/opštinske centre i smanjenje štetnog uticaja saobraćaja na životnu sredinu;
- 5) izrada strateških procena i procena uticaja na prirodu i životnu sredinu svih prioritetnih programa, planskih dokumenata i projekata.

Prostorni plan jedinice lokalne samouprave donosi se za teritoriju jedinice lokalne samouprave i određuje smernice za razvoj delatnosti i namenu površina, kao i uslove za održivi i ravnomerni razvoj na teritoriji jedinice lokalne samouprave. Plan definiše planiranu zaštitu, uređenje, korišćenje i razvoj prirodnih i kulturnih dobara i životne sredine. Planom se definišu konkretne zone zaštite zaštićenih područja.

Prostorni plan područja posebne namene donosi se za područja koja zahtevaju poseban režim organizacije, uređenja, korišćenja i zaštite prostora, projekte od značaja za Republiku Srbiju ili za područja određena Prostornim planom Republike Srbije, ili drugim prostornim planom, uključujući i infrastrukturne koridore. Prostorni plan sprovodi se izradom i donošenjem prostornih planova jedinica lokalne samouprave i urbanističkih planova, kao i razvojnim planovima i programima, programima uređenja građevinskog zemljišta i programima zaštite životne sredine i prirode.



Izuzetno za linijske infrastrukturne objekte, prostorni plan područja posebne namene može se izrađivati paralelno sa izradom idejnog projekta koji sadrži sve potrebne tehničke podatke.

Prostorni plan područja posebne namene infrastrukturnog koridora, pored ostalog, sadrži koncepciju i propoziciju zaštite, uređenja i razvoja prirode i prirodnih sistema, kao i mere zaštite životne sredine. Konkretno mere koje definiše ovaj plan su:

- 1) uspostavljanje monitoringa stanja životne sredine u toku izgradnje i eksploatacije saobraćajnice;
- 2) smanjenje aerogađenja formiranjem zelenih zaštitnih pojaseva i zaštitnih ograda uz saobraćajnicu;
- 3) zaštita od buke na delovima koridora, koji prolaze obodom naseljenih mesta;
- 4) zaštita voda od zagađenja kontrolisanim sakupljanjem atmosferskih otpadnih voda koje se slivaju sa kolovoznih površina (zatvoreni sistem odvodnjavanja).

Generalni urbanistički plan se donosi kao strateški razvojni plan, sa opštim elementima prostornog razvoja. Ovaj plan se donosi za naseljeno mesto, utvrđeno kao grad. Ovaj plan sadrži elemente koji su značajni za dalju plansku razradu urbanističkog plana.

Plan generalne regulacije se obavezno donosi za naseljeno mesto koje je sedište jedinice lokalne samouprave, a može se doneti i za druga naseljena mesta na teritoriji opštine, odnosno grada, kada je to predviđeno prostornim planom jedinice lokalne samouprave. Ovaj plan određuje mere zaštite kulturno-istorijskih spomenika i zaštićenih prirodnih celina.

Plan detaljne regulacije se donosi za delove naseljenog mesta, uređenje neformalnih naselja, zone urbane obnove, infrastrukturne koridore i objekte i područja za koja je obaveza njegove izrade određena prethodno donetim planskim dokumentom.

Izuzetno za linijske infrastrukturne objekte, plan detaljne regulacije, može da se izrađuje istovremeno sa izradom idejnog projekta koji sadrži sve potrebne tehničke podatke. Ovaj plan sadrži mere za smanjenje negativnih uticaja na prirodne vrednosti prostora.

Dokumenti prostornog i urbanističkog planiranja moraju biti usklađeni, tako da dokument užeg područja mora biti u skladu sa dokumentom šireg područja. Planski dokumenti moraju biti u skladu sa Prostornim planom Republike Srbije.

Tehnička dokumentacija na koju će se ovaj rad osvrnuti je generalni projekat, idejno rešenje i idejni projekat.

Generalni projekat sadrži naročito podatke o makrolokaciji objekta, opštoj dispoziciji objekta, tehničko-tehnološkoj koncepciji objekta, načinu obezbeđenja infrastrukture, mogućim varijantama prostornih i tehničkih rešenja sa stanovišta uklapanja u prostor, prirodnim uslovima, proceni uticaja na životnu sredinu, inženjerskogeološkim-geotehničkim karakteristikama terena sa aspekta utvrđivanja generalne koncepcije i opravdanosti izgradnje objekta, istražnim radovima za izradu idejnog projekta, zaštiti prirodnih i nepokretnih kulturnih dobara, funkcionalnosti i racionalnosti rešenja. U okviru izrade tehničke dokumentacije - generalnog projekta puta problematika zaštite životne sredine se analizira u sklopu posebne studijske dokumentacije- Analize uticaja na životnu sredinu. S obzirom da je suština Generalnog projekta izbor optimalnog koridora, jasno je da se na ovom nivou projektovanja pružaju i jedine suštinske šanse za zaštitu životne sredine. Dinamika istraživanja odnosa puta i zaštite životne sredine mora biti usklađena sa dinamikom izrade generalnog projekta.

Idejno rešenje se izrađuje za potrebe pribavljanja lokacijskih uslova, a može biti deo urbanističkog projekta za potrebe urbanističko-arhitektonske razrade lokacije.

Idejni projekat se izrađuje za potrebe izgradnje objekata i izvođenja radova državnih puteva prvog i drugog reda, putnih objekata i saobraćajnih priključaka na ove puteve, kao i za uređenje saobraćajnica u okviru postojeće regulacije ulica, njihovu rekonstrukciju, adaptaciju i sanaciju. Za linijske objekte idejnim projektom se vrši izbor optimalne trase pri konkretnim uslovima i ograničenjima.

Aspekt zaštite životne sredine se mora razmatrati u svim fazama izrade planske i tehničke dokumentacije iz oblasti putnog sektora, da bi proces planiranja i odlučivanja funkcionisao u cilju očuvanja i unapređenja kvaliteta životne sredine, tj. održivog razvoja.

Hijerarhijska uređenost metodoloških koraka izrade dokumentacije predstavlja polaznu osnovu za ispravan metodološki pristup, što omogućava poštovanje utvrđenog redosleda poteza i stvaranje osnove za donošenje odluka. Svi izvedeni zaključci iz prethodne faze predstavljaju obavezu i polaznu osnovu svakog narednog koraka.

Osnovni metodološki koraci zaštite životne sredine se definišu u širem kontekstu. Ovaj kontekst podrazumeva i proces prostornog planiranja u kome su integrisani specifični planerski postupci karakteristični za put s obzirom na njegove funkcionalne zahteve i specifične posledice, što se razrađuje prostornim planom područja posebne namene i planom detaljne regulacije.

### 3. ZAKLJUČAK

Jedan od prioriteta za dostizanje održivog razvoja odnosi se na zaštitu i unapređenje životne sredine racionalno korišćenje prirodnih resursa, što podrazumeva integraciju i usaglašavanje ciljeva i mera svih sektorskih politika. Kako bi politika životne sredine postala sastavni deo ostalih sektorskih politika, posebno sektora prostornog i urbanističkog planiranja, treba jačati kapacitete za primenu strateške procene uticaja na životnu sredinu politika, planova i programa, u skladu sa zakonom. Da bi pomenuti ciljevi bili ispunjeni, proces projektovanja puteva i proces procene uticaja na životnu sredinu moraju da budu dva komparativna procesa usaglašena na svim nivoima sa jasnom hijerarhijskom strukturom.

Usaglašenost na svim nivoima podrazumeva horizontalnu i vertikalnu koordinaciju. Vertikalna koordinacija podrazumeva uspostavljanje veza svih nivoa prostornog i urbanističkog planiranja i uređenja prostora, od nacionalnog ka regionalnom i dalje ka lokalnom nivou, kao i informisanje, saradnju i koordinaciju između lokalnih inicijativa, planova i projekata sa regionalnim i državnim planovima i akcijama.

U cilju sagledavanja uticaja predmetne saobraćajnice na životnu sredinu, neophodno je izvršiti analizu mogućih negativnih uticaja, kako u fazi izgradnje tako i u fazi eksploatacije sa predlogom mera za sprečavanje i otklanjanje istih. Razvoj onih principa tj. mera koji se mogu proveriti i primeniti u praksi, kao i dosledno sprovođenje planskih rešenja neophodni su uslovi za zaštitu životne sredine, samim tim i održivi razvoj.

#### Literatura

- [1] ZAKON O PLANIRANJU I IZGRADNJI ("Sl. glasnik RS", br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 – odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014 i 145/2014).
- [2] ZAKON O PROSTORNOM PLANU REPUBLIKE SRBIJE OD 2010. DO 2020. GODINE („Sl. glasnik RS”, br. 88/2010).
- [3] ZAKON O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 - dr. zakon, 72/2009 - dr. zakon, 43/2011 - odluka US i 14/2016).
- [4] ZAKON O STRATEŠKOJ PROCENI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004 i 88/2010).
- [5] ZAKON O PROCENI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004 i 36/2009).
- [6] NACIONALNA STRATEGIJA ODRŽIVOG RAZVOJA ("Sl. glasnik RS", br. 57/2008).
- [7] JP „Putevi Srbije“ Beograd, 2011. Tehničko uputstvo o proceni uticaja na životnu sredinu za putni sektor.

# КОНСТРУКЦИЈЕ ЗА ЗАШТИТУ ОД БУКЕ У ПОПРЕЧНОМ ПРОФИЛУ ПУТА

Јована Кленпић<sup>1</sup>, Снежана Радуловић Јевремовић

<sup>1</sup> Институт за путеве АД, Београд, j.klenpic@highway.rs

**Резиме:** При пројектовању путева у свим фазама израде техничке документације потребно је узети у обзир загађење околине буком коју изазива друмски саобраћај. Које ће се мере применити зависи првенствено од расположивог простора, али и од других фактора. Од конструкција за заштиту најчешће се примењују земљани насипи и зидови за заштиту од буке. Радом ће бити представљени основни принципи којима се треба руководити при избору постављања ових конструкција у попречном профилу пута.

**Кључне речи:** конструкције за заштиту, бука, попречни профил пута.

## PLACEMENT OF NOISE PROTECTION STRUCTURES IN ROAD CROSS SECTION

Jovana Klenpić<sup>1</sup>, Snežana Radulović Jevremović

<sup>1</sup> Highway Institute

**Abstract:** During road design, at all stages of development of technical documentation, environmental noise exposure should be considered. Most applicable mitigation measures will depend primarily on the available space, but also on other factors. Most commonly used protection structures are earth embankments and noise walls. Basic guidelines on placement of noise protection structures in accordance with different road cross sections will be presented in this paper.

**Keywords:** protection structures, noise, road cross sections.

### 1. УВОД

Бука која настаје на градским и ванградским саобраћајницама представља значајан еколошки проблем који има утицај на здравље људи. Последица сталног развоја саобраћајне инфраструктуре и пораста броја моторних возила је значајно повећање нивоа буке у животној средини. Саобраћајна бука настаје као последица контакта коловоза и пнеуматика и рада мотора, па тако зависи од брзине кретања возила, врсте и стања пнеуматика, типа површине коловоза, подужног нагиба пута као и самог возила.

При пројектовању путева потребно је узети у обзир загађење околине буком коју изазива друмски саобраћај и планирати мере за њихово умањење.

Заштита животне средине од саобраћајне буке може се постићи конструктивним решењима на самим возилима, рационалним просторним и урбанистичким решењима, прилагођеном регулацијом саобраћаја, ефикасном звучном изолацијом угрожених објеката, побољшањем акустичних својстава коловозне површине, као и конструкцијама за заштиту. Које ће се мере применити зависи од много фактора, један од њих је и расположив простор.

### 2. КОНСТРУКЦИЈЕ ЗА ЗАШТИТУ ОД БУКЕ

Улога конструкција за заштиту од буке је да спрече директно преношење буке, која настаје као резултат одвијања саобраћаја, кроз ваздух. Од конструкција за заштиту од буке најчешће се примењују земљани насипи и зидови за заштиту од буке. Постављају се између извора буке и зона угрожених буком, што ближе извору буке како би били ефикаснији.

---

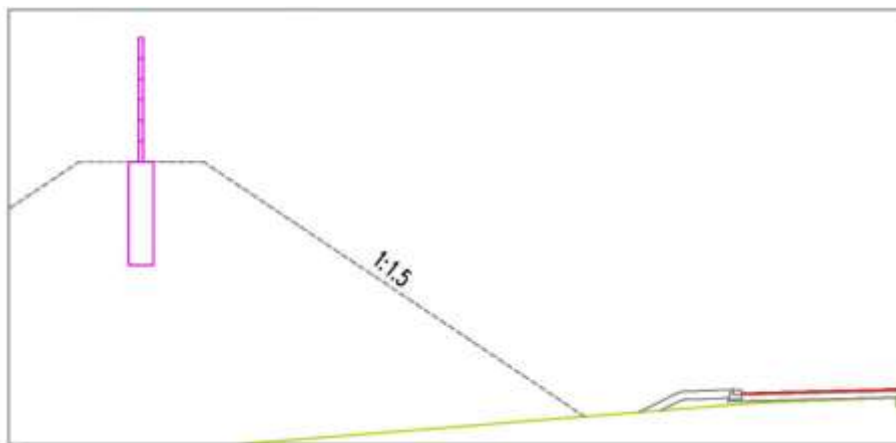
<sup>1</sup> Јована Кленпић: j.klenpic@highway.rs

При планирању и постављању конструкција за заштиту од буке треба водити рачуна о следећем:

- да се прилагоде средини у којој се постављају,
- да поседују захтевана акустичка својства,
- да буду статички стабилне,
- да не угрожавају безбедност,
- да буду прецизно грађевински изведене.

## 2.1. Земљани насипи

Земљани насипи су конструкције изграђене од земљаног материјала које апсорпцијом и делимично рефлексijом обезбеђују редуkцију нивоа буке. Како би били стабилни неопходно је да имају оптималне косине насипа што захтева веће заузеће површина. Повећањем нагиба косина смањује се површина коју насип заузима, али се смањује и стабилност косина. Да би задржали стабилност косина могу се користити готови бетонски елементи у које се насипа земља, габиони, геотекстили и други материјали, чиме се практично армира земља. Са обзиром на облик и захтеве у вези стабилности и озелењавања, померен положај у односу на извор буке, потребно је да имају веће висине него зидови за заштиту од буке, за исти ефекат заштите. Проблем се може решити постављањем зида за заштиту од буке у круни насипа (Слика 1.).



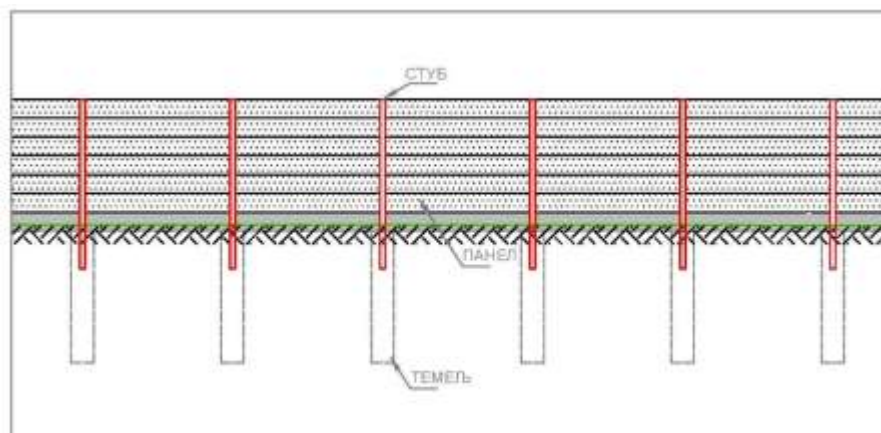
Слика 1. Земљани насип са зидом за заштиту од буке  
Извор: Аутори рада

Потребна површина за формирање земљаних насипа ограничава њихову примену у урбаним срединама. Међутим, ова врста конструкција има доста предности за примени у ванградским условима: јефтино и ефикасно решење, знатно лакше уклапање у околину, искоришћење вишка земљаног материјала на градилишту, мали трошкови одржавања, повољан утисак који оставља на учеснике у саобраћају и околно становништво.

## 2.2. Зидови за заштиту од буке

Најчешће примењиване конструкције за заштиту од буке су зидови за заштиту од буке. Примењује се на локацијама где нема довољно простора у профилу пута за смештај друге конструкције за заштиту. Зид за заштиту од буке преставља нешто скупље техничко решење од насипа које је знатно захтевније када је уклапање у околни простор у питању. Ипак, треба истаћи да се предност зида огледа у незаузимању простора као и у мањим потребним висинама конструкције за заштиту. Наиме, зидови за заштиту од буке су увек ближи извору буке од круне насипа те је потребна мања висина за остварење идентичних акустичких ефеката.

Конструкција зида од буке (Слика 2.) се састоји од панела, челичних стубова и темеља. Зидови се могу монтирати и на објектима – мостови, потпорни зидови.



**Слика 2.** Подужни изглед зида за заштиту од буке  
Извор:Аутори рада

У зависности од врсте панела постоје два типа зидова:

- Апсорпциони зидови – израђени су од панела који задовољавају захтевана апсорпциона својства. На пример, код апсорпционих алуминијумских панела са испуном од минералне вуне, лице панела је перфорирано минимум 33 %. Перфорирана страна се окреће према саобраћајници. Услед велике количине чврстих честица у издувним гасовима моторних возила, може доћи до затварања рупа и губљења моћи апсорпције. Због наведеног се за ову врсту панела предвиђа редовно одржавање.
- Рефлектујући зидови – израђени су од панела од којих се звук одбија под истим углом под којим и пада на панел, због тога долази до повећања нивоа буке од саобраћаја на другој страни саобраћајнице. Препорука је да се рефлектујући зидови употребљавају када не постоје објекти који би могли бити угрожени са друге стране саобраћајнице. Такође, стране окренуте ка саобраћајници се профилишу, како би се променио угао одбијања.

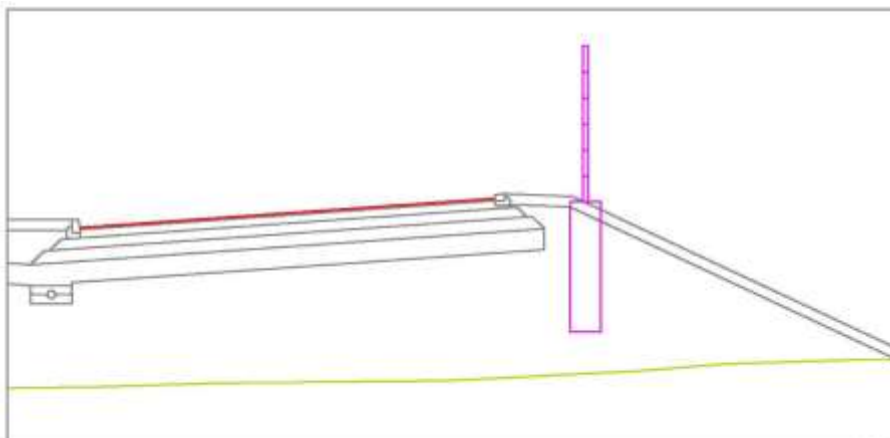
Апсорпциони зидови за заштиту од буке остварују веће редукције нивоа буке у односу на рефлектујуће зидове исте висине. Редукција нивоа буке зависи и од:

- облика зида,
- положаја зида,
- димензија зида.

Да би зид за заштиту од буке ефективнији, поставља се што је могуће ближе извору звука. У наставку су дата нека од могућих решења постављања зидова у попречном профилу пута.

### 2.2.1. Пут у насипу

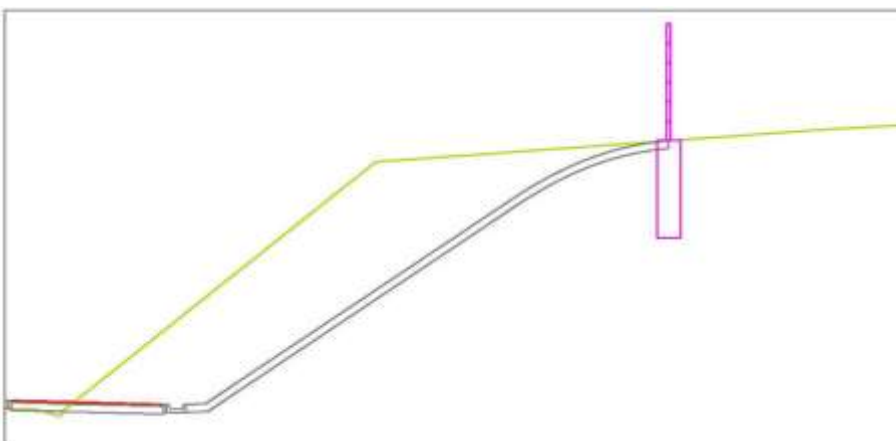
Позиција зида за заштиту од буке који се темељи на шиповима, код пута у насипу, је у косини насипа на одстојању 15-20 см од краја банке (Слика 3.). Због обезбеђења квалитетног одводњавања у фази експлоатације пута, горња ивица темеља мора бити 5–20 см изнад косине. У припремљене рупе лију се бетонски темељи на лицу места или се спуштају префабриковани АБ темељи, након чега се земља око темеља збија. Следећи корак је монтажа челичних стубова у чашицу АБ темеља. При томе треба водити рачуна да стубови буду вертикални и оријентасани у правцу пружања конструкције. Након тога се монтирају панели уметањем између суседних стубова. На крају се врши насипање дробљеног камена (фракција Ø16-32) у "клин" који је омеђан зидом, равни насипа пута и површи која настаје продужењем банке до равни зида.



**Слика 3.** Зид за заштиту од буке у насипу  
Извор: Аутори рада

### 2.2.2. Пут у усеку

Уколико се појави потреба заштите од буке на местима где се пут налази у усеку, зид се поставља на врху усека (Слика 4.), чиме се зид удаљава од извора звука. Када би зид за заштиту од буке био ближи коловозу он би изгубио своју намену због дубине усека, а предстаљао би и препреку одводњавању воде са косине усека.

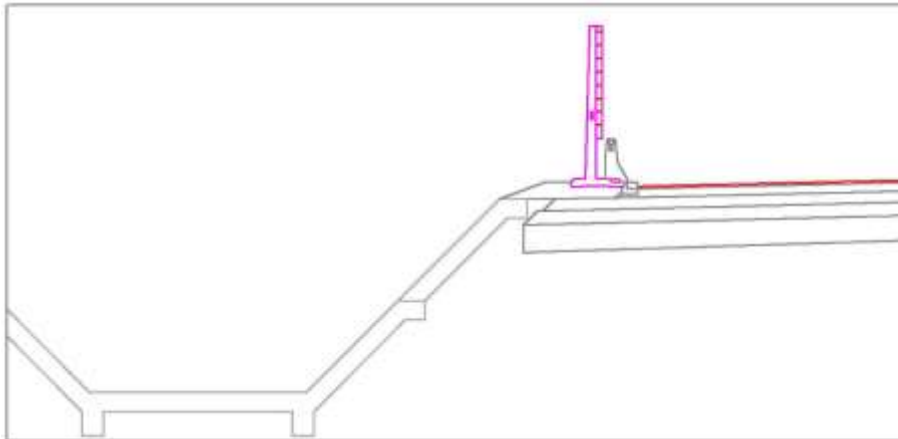


**Слика 4.** Зид за заштиту од буке у усеку  
Извор: Аутори рада

### 2.2.3. Систем за заштиту од буке без темељења

Када у профилу пута нема довољно простора, или када је подлога нестабилна и захтева ојачање геотекстилина, геомрежама тј. армирањем, може се користити систем који чине конструкција за заштиту од буке без темељења (Слика 5.) и одбојна ограда. Овакав систем захтева продужавање носећих слојева коловоза за око 1,5 m колико износи његова радна ширина. Предност овог система у односу на друге конструкције за заштиту од буке је у томе што се налази јако близу извора звука, а не угрожава безбедност саобраћаја. Међутим, његова оптимална висина износи око 3,5 m, што често није довољно да би се заштитили објекти.

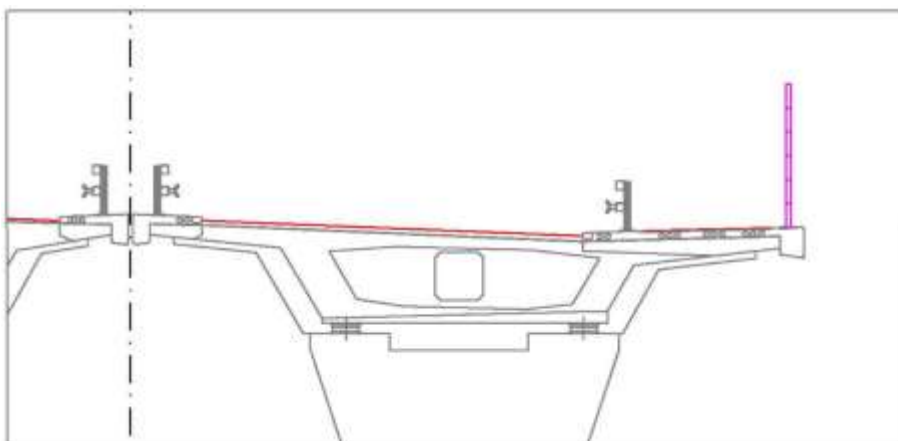




Слика 5. Систем за заштиту од буке без темељења  
Извор: Аутори рада

#### 2.2.4. Зидови за заштиту од буке на објектима

Зид се може монтирати на мостовима (Слика 6.) и потпорним зидовима (Слика 7.), тако што се носачи конструкције причвршћују за конструкцију објекта. Наиме, на објектима је потребно поставити анкер плоче и оставити рупе за котве. Анкер плоча се уграђује тако да анкери утону у бетон, а сама плоча са отворима за котве остаје на површини бетона. Потом се обезбеђују рупе испод отвора за котве тако да се котве касније могу упустити у бетон. Затим се приступа везивању челичног стуба за темељ преко анкер плоче. То се постиже фиксирањем котви кроз квадратну челичну плочу која се налази на дну стуба у простору који је у темељима већ раније обезбеђен. У последњој фази се монтирају панели уметањем између два суседна стуба до пројектоване висине.



Слика 6. Зид за заштиту од буке на мосту  
Извор: Аутори рада



Слика 7. Зид за заштиту од буке на потпорном зиду  
Извор:Аутори рада

### 3. ЗАКЉУЧАК

Постављање конструкција за заштиту од буке као самосталних објеката у профилу саобраћајнице повезано је са низом проблема који произилазе из потребе синхронизације са другим елементима у трупцу пута (одводњавање, осветљење, елементи везани за безбедност саобраћаја, зидови за санацију косина, итд.). Радом су презентовани најчешћи примери позиција конструкција за заштиту од буке у попречном профилу пута. Основни принцип при одређивању позиције ових конструкција је да се поставе на најмањем растојању од извора буке тј. од ивице коловоза, поштујући услов безбедности. Сви остали захтеви (услови стабилности, визуелно уклапање и остало) решавају се избором врсте конструкције и њеног темељења.

### Литература

- [1] Приручник за пројектовање путева у Републици Србији 7. Пут и животна средина 7.1 Заштита од буке Доступно на:  
[http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik\\_za\\_projektovanje\\_puteva/SRDM7-1-zastita-od-buke\(120430-srb-konacna\).pdf](http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik_za_projektovanje_puteva/SRDM7-1-zastita-od-buke(120430-srb-konacna).pdf)
- [2] Немачка савезна управа за путеве (1990). Richtlinien für den Larmschutz an Strassen RLS-90.

## UREĐENJE PUTNOG POJASA – TERMINOLOGIJA, SMERNICE I VEZA SA DRUGIM PROJEKTIMA

**Nada Dragović<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institut za puteve a.d. Beograd, Bulevar Peka Dapčevića 45

**Rezime:** Tokom izrade Projekta uređenja putnog pojasa, neophodna je odgovarajuća vremenska sinhronizacija sa ostalim projektima, usaglašenost sa važećim standardima iz ove oblasti kao i dobijenim uslovima nadležnih institucija. Nedovoljno poznavanje terminologije iz oblasti uređenja putnog pojasa kao i ograničenja koja se definišu kroz zakonsku regulativu dovodi do problema prilikom izdavanja uslova nadležnih institucija. Dobijene uslove, koji se odnose na zaštitu prirode često nije moguće primeniti u potpunosti, što dovodi do problema prilikom izrade tehničke dokumentacije ne samo uređenja putnog pojasa, već i Studija o proceni uticaja na životnu sredinu. Cilj rada je da ukaže na ovu problematiku i ponudi objašnjenja koja bi dovela do bolje saradnje između nadležnih institucija koje izdaju uslove za zaštitu prirode i projektnih organizacija.

**Ključne reči:** uređenje putnog pojasa, terminologija, standardi, uslovi za zaštitu prirode.

## ROAD LANDSCAPING PROJECT – TERMINOLOGY, GUIDELINES AND CONNECTION WITH OTHER PROJECTS

**Nada Dragovic**

<sup>1</sup> Highway institute, Belgrade, Blvd Peka Dapcevic 45

**Abstract:** During the development of the Road Landscaping Project, appropriate time synchronization with other projects is required, compliance with the applicable standards in this field as well as the conditions provided by the relevant institutions. Insufficient knowledge of the terminology in the field of road landscaping, as well as the limitations defined by the legislation, leads to problems when issuing the conditions of the competent institutions. The conditions that apply to nature protection can often not be fully applied, which leads to problems in the development of technical documentation not only for the Road Landscaping Project, but also for the Environmental Impact Assessment Study. The aim of the paper is to point out this issue and offer explanations that would lead to better cooperation between the competent institutions that issue the conditions for nature protection and project organizations.

**Keywords:** road landscaping, terminology, standards, conditions for nature protection.

### 1. UVOD

Proces projektovanja puteva zahteva optimizaciju i usklađenost svih delova projektne dokumentacije. Tako je i neophodno da Projekat uređenja putnog pojasa ispuni zahteve bezbednosti, efikasnosti, ekonomičnosti, jednostavnosti i uklapanja puta u prirodno okruženje. Pored ispunjavanja pomenutih zahteva, neophodno je i ispuniti uslove stručnih ustanova: Zavoda za zaštitu prirode Srbije, odnosno Pokrajinskog zavoda za zaštitu prirode, koji se definišu za svaku deonicu. Dobijeni uslovi primenjuju se na celu projektnu dokumentaciju, naročito na: građevinski, hidrotehnički, Projekat uređenje putnog pojasa i Studiju o proceni uticaja na životnu sredinu. Projekat uređenja putnog pojasa mora da bude usaglašen i sa važećim standardima koje je izradila Komisija sa standarde iz oblasti projektovanja i građenja puteva i gradskih saobraćajnica.

### 2. TERMINOLOGIJA I SMERNICE

Primena odgovarajuće terminologije je od ključnog značaja, jer jedino tako stručne ustanove mogu da donesu rešenje o uslovima koje je precizno definisano, adekvatno i kao takvo primenljivo tokom izrade Projekta uređenja putnog pojasa i Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Na osnovu dosadašnjeg iskustva, velike probleme stvara pogrešno korišćenje termina i nedovoljno poznavanje njihovog značenja. U cilju što bolje saradnje i stručnog usavršavanja, zaposleni u stručnim ustanovama, odgovorni projektanti na izradi Projekata uređenja putnog pojasa i Studija o proceni uticaja na životnu sredinu kao i reviziona komisija, treba da usvoje ispravnu terminologiju.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: n.dragovic@highway.rs

Navešću neke primere i iskustva iz prakse gde je dolazilo do odstupanja od standarda ili nesuglasica. Pri prolasku trase kroz šumu, od strane stručnih ustanova zahtevano je sledeće:

- izradu posebnih projekata, planova ili elaborata za zaštitu i obnovu (rekonstrukciju) šume i šumskog zemljišta,
- primenu mera kojima bi se sprečila erozija, obnovilo i zaštitilo šumsko zemljište,
- pošumljavanje ogoljenih padina kao i rekultivaciju uništenih ili narušenih prostora pod šumom i šumskim zemljištem.

Uslovi stručnih ustanova traženi su za projekte izgradnje javnih puteva, a šume i šumsko zemljište nisu isto što i putni pojas, niti se nalaze na njemu. Prilikom planiranja i izgradnje puteva vrši se eksproprijacija i promena namene površina. Kada se na određenoj površini uklanja šumsko drveće radi promene namene šumskog zemljišta, taj postupak se označava kao krčenje šuma. U Zakonu o šumama definisan je postupak kada šumsko zemljište menja svoju namenu. U tu svrhu plaća se jednokratna naknada u visini desetostruke vrednosti koju čine vrednost drvne mase na panju i vrednost zemljišta. Sredstva ostvarena od naknade su prihod državnom budžetu, i preko bužetskih fondova se namenski koriste prioritarno za formiranje novih šuma. Prostor na kome je ranije bila šuma, nakon krčenja promenio je namenu u javni put koji obuhvata: trup puta, putne objekte, trotoare, biciklističke i pešačke staze, priključke, zemljišni pojas, vazdušni prostor iznad kolovoza itd.

## 2.1. Primena standarda iz oblasti uređenja putnog pojasa

Za potrebe izgradnje puteva rade se Projekti uređenja putnog pojasa uz obaveznu primenu standarda iz ove oblasti:

- SRPS U.C4.660:1994 Zasadi – Tehnički zahtevi i osnovni principi
- SRPS U.C4.661:1994 Zasadi – Prostor za zasađivanje
- SRPS U.C4.662:1994 Zasadi – Razmeštaj na ivicama kolovoza
- SRPS U.C4.663:1994 Zasadi – Oblikovanje u šumi
- SRPS U.C4.664:1994 Zasadi – Razdelna traka
- SRPS U.C4.668:1994 Zasadi – Projekti zasađivanja
- SRPS U.C4.669:1994 Zasadi – Čvorovi

U putnom pojasu formiraju se zasadi a ne šume, i iz tog razloga zahteve stručnih ustanova nije moguće primeniti. Odgovorni projektant na izradi Projekta uređenja putnog pojasa mora da primeni aktuelne standarde iz ove oblasti, ali zaposleni u stručnim ustanovama, kao i reviziona komisija, treba da budu upoznati sa njihovim sadržajem.

Putni pojas se ozelenjava sa zasadima koji obuhvataju: travu, žbunje i drveće. Zasadima se omogućava:

- uklapanje puta u okolni pejzaž,
- uspostavljanje narušene prirodne ravnoteže,
- brza i efikasna površinska zaštita od izlokavanja zemljišta,
- prostorno razdvajanje saobraćajnih traka suprotnih smerova i zaštita od zaslepljivanja,
- optičko vođenje trase,
- zadržavanje prašine i izduvnih gasova,
- zaštita od buke.

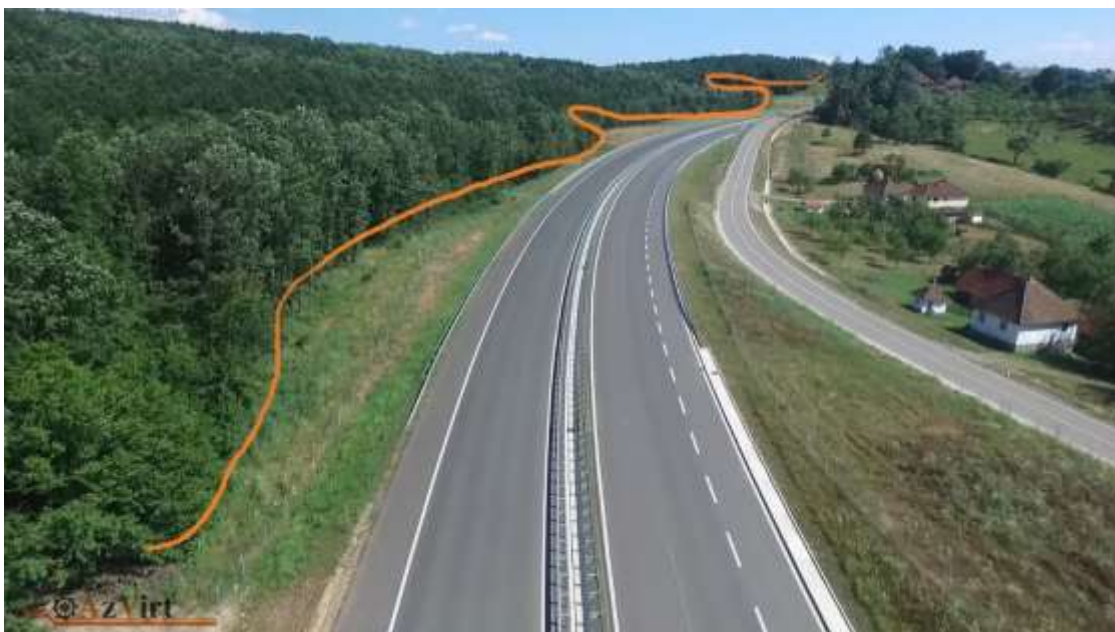
Zakonom o javnim putevima definisana je širina zemljišnog pojasa puta van naselja i predstavlja rastojanje mereno između linija koje čine krajnje tačke poprečnog profila, sa obe strane, uvećano za jedan metar. Sa spoljne strane zemljišnog pojasa nalazi se zaštitni pojas čija širina iznosi od 5 m do 40 m u zavisnosti od toga kojoj kategoriji pripada put. Zaštitni pojas ne ulazi celom površinom u zonu eksproprijacije.

Standardom SRPS U.C4.661:1994 utvrđuje se prostor za zasađivanje i definiše granica pojasa pored javnih puteva na kome ne može da se nalazi drveće. Ona iznosi 3 m, računajući od spoljne ivice zemljišnog pojasa. Slobodna zona bez drveća doprinosi većoj bezbednosti saobraćaja i po pravilu je zatravljena. Na slici 1. sa leve strane autoputa (Beograd – Južni Jadran E-763, sektor 2, deonica Ljig - Boljkovci) je korito reke i pojas šume na levoj obali. Na desnoj obali nalazi se manji broj stabala i travni pojas. Stablo obeleženo na slici nalazi se ili na samoj granici pojasa ili unutar pojasa na kome ne može da se nalazi drveće. Na terenu treba proveriti udaljenost stabla od zemljišnog pojasa, odrediti njegovu visinu i zdravstveno stanje (stabilnost) pa na osnovu toga doneti odluku o tome da li ga treba ukoliti ili ne.



**Slika 1.** Položaj stabla čije uklanjanje treba razmotriti  
Izvor: Azvirt

Standardom SRPS U.C4.663:1994 utvrđuje se oblikovanje zasada na delu puta kada on prolazi kroz šumu. Tehnika vožnje, bezbednost saobraćaja, padanje drveća, kapanje posle kiše, opadanje lišća i poledica definišu granice oblikovanja zasada. Ovim standardom izdvaja se slobodna zona koja je u skladu sa standardom SRPS U.C4.661:1994 i predstavlja rastojanje od ivice slobodnog profila do 3 m iza ivice zemljišnog pojasa. Sigurnosna zona se nastavlja na slobodnu zonu i njena širina odgovara najvećoj visini drveća u okolnoj šumi (od 25 m do 35 m) umanjenoj za širinu slobodne zone. Obe ove zone nalaze se u zaštitnom pojasu puta. Sigurnosna zona ne nalazi se u potpunosti u okviru eksproprijacije. U tom smislu, sa površina koje nisu u zoni eksproprijacije, a obuhvataju sigurnosnu zonu, upravljač šuma dužan je da ukloni nestabilna stabla za koja se pouzdano može zaključiti da ugrožavaju put i bezbednost saobraćaja. Pored svega navedenog, potrebno je obratiti pažnju da krošnje stabala iz sigurnosne zone ne ulaze u vazdušni prostor iznad kolovoza čija visina iznosi najmanje 7 m. Na slici 2. prikazana je dobro oblikovana ivica šume u sigurnosnoj zoni sa leve strane autoputa (Beograd – Južni Jadran E-763, sektor 2, deonica Boljkovci - Takovo). Ivica treba da bude nepravilna i da podržava oblike koji su prisutni u prirodi.



**Slika 2.** Pravilno oblikovana ivica šume  
Izvor: Azvirt



Kako je površina predviđena za krčenje šuma (promenu namene površine) poznata pre početka izgradnje puta, upravljač šuma pristupa radovima na prosvetljavanju u cilju povećanja otpornosti okolne šume, kao i naknadnim zasađivanjima u oblasti budućih granica šume. Čista seča ne zavisi od građevinskih radova i izvodi se pre početka radova na putu. Da bi se izbegla oštećenja graničnih stabala tokom izvođenja radova, poslednji niz stabala se ne uklanja. Sigurnosna seča odvija se van oblasti izgradnje puta i može se izvesti u nekoj kasnijoj fazi izgradnje, a pre puštanja saobraćajnice u eksploataciju. Tada se uklanja poslednji niz stabala iz slobodne zone i seku nestabilna stabla iz sigurnosne zone. Tokom eksploatacije saobraćajnice, upravljač šuma jednom godišnje vrši kontrolu u sigurnosnoj zoni, doznačavanje i seču nestabilnih stabala ukoliko ih ima.

### 3. VEZA SA DRUGIM PROJEKTIMA

Projekat uređenja putnog pojasa usko je povezan sa izradom Studije o proceni uticaja na životnu sredinu i za oba važe uslovi zaštite prirode koje nalažu stručne ustanove i pod kojima se mogu vršiti radovi na izgradnji puta. Nažalost, u praksi se pokazalo da ne postoji uska povezanost ovih projekata.

U hronološkom smislu, Projekat uređenja putnog pojasa izrađuje se pre Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Tokom izrade, odgovorni projektanti ne obraćaju dovoljno pažnje na uslove za zaštitu prirode. Pretežno se rukovode time da zadovolje uslove koje im nameću standardi. Ukoliko je u uslovima za zaštitu prirode u poglavlju „Ozelenjavanje trase puta“ precizno navedeno da je zabranjena sadnja određenih vrsta, jer se smatraju invazivnim i kao takve ne mogu da se koriste za uređenje putnog pojasa, samo te smernice se i koriste.

Međutim, u uslovima za zaštitu prirode u više poglavlja precizno se definiše izgled i način formiranja zasada koji treba da:

- smanje mogućnost akcidenta uzrokovanih sudarom sa divljači i uginuća životinja na putu,
- očuvaju ekološka svojstva vodotokova kao staništa i ekoloških koridora,
- omoguće povezanost staništa i prohodnost ekoloških koridora.

Na slici 3. može se uočiti vodotok sa leve strane autoputa (Beograd – Južni Jadran E-763, sektor 2, deonica Takovo - Preljina) u čijoj blizini se nalaze različita staništa: obradivo zemljište, međe, nisko rastinje i šume. Mozaični raspored staništa ovaj predeo čini pogodnim za život raznih vrsta životinja a blizina vodotoka utiče na formiranje koridora kojim se kreću životinje. U Projektu uređenja putnog pojasa česta je praksa da se izvan zone zemljanih radova zadržava postojeća vegetacija. Na slici je obeleženo „zeleno ostrvo“ postojeće žbunaste vegetacije koje je ostalo sa desne strane regulisaog korita reke, a sa leve strane reke najviše su zastupljene obradive površine i nisko rastinje. U trenutnoj fazi izvođenja radova (kada je napravljen ovaj snimak iz drona) stiže se utisak da „zeleno ostrvo“ nema nikakvu funkciju jer nije povezano sa okolnim staništima. U narednim fazama izvođenja radova, treba posaditi žbunje na kosinama između desne obale vodotoka i žičane ograde koja se nalazi u nožici nasipa čime bi se formirao kontinuirani pojas niskog rastinja.



**Slika 3.** „Zeleno ostrvo“ u blizini vodotoka  
*Izvor: Azvirt*



Reviziona komisija prihvata Projekte uređenja putnog pojasa, ukoliko zadovoljavaju određene standarde iz te oblasti uz primenu neinvazivnih vrsta koje se navode u uslovima za zaštitu prirode u poglavlju „Ozelenjavanje trase puta“, ali ostali uslovi za formiranje zasada koji su u drugim poglavljima ostaju neprimjećeni kao da se ne odnose na ovaj projekat.

Studija o proceni uticaja na životnu sredinu radi se kada je Projekat uređenja putnog pojasa već prihvaćen. Kroz Studiju se obrađuje postojeće stanje životne sredine, značajni uticaji koji nastaju usled izgradnje i eksploatacije puta i definišu se odgovarajuće mere zaštite. Kroz mere treba da se primene uslovi za zaštitu prirode koji se između ostalog i direktno odnose na vrstu i prostorni raspored zasada. U tom smislu, rešenja koja su primenjena u Projektu uređenja putnog pojasa ulaze u Studiju o proceni uticaja na životnu sredinu i ne mogu se menjati, jer se prema pravilniku o obimu i sadržaju kroz Studiju ne uređuje putni pojas. To dovodi do čestih i nekada nepremostivih problema prilikom revizije Studije o proceni uticaja na životnu sredinu.

#### 4. ZAKLJUČAK

U cilju očuvanja životne sredine kroz Projekte uređenja putnog pojasa i Studije o proceni uticaja na životnu sredinu neophodno je da se svi problemi rešavaju odgovarajućim redosledom, sa puno strpljenja i voljom da se proširi znanje, sagleda šira slika i ostvari uspešna saradnja između svih učesnika.

Prvi korak je da svi učesnici preispitaju svoja zaduženja koja moraju da implementiraju bilo kroz projekat koji izrađuju ili uslove koje izdaju, i da se detaljno upoznaju sa zakonima, uredbama, pravilnicima, konvencijama i standardima iz svoje oblasti. Zatim, treba ukrstiti mišljenja pri čemu bi svaka strana iznela svoje zahteve i gde bi se napravio presek istih. Bez saradnje, nemoguće je definisati zajedničku polaznu osnovu.

Stručne ustanove koje izdaju uslove za zaštitu prirode moraju uvažiti standarde iz oblasti uređenja putnog pojasa. Na taj način se mogu formirati uslovi koji su terminološki precizni, usklađeni i primenljivi u praksi. Tokom godina, primećeno je da postoji veliki problem sa dostavom podataka, jer da bi se na nekoj deonici definisali uslovi za zaštitu prirode, neophodno je da se precizno zna gde se nalazi trasa puta. Projektanti treba da izađu u susret zaposlenim u stručnim ustanovama i da u dogovoru sa njima dostave podatke u onom obliku koji bi njima bio najpogodniji za korišćenje. To što su crteži georeferencirani njima nije od pomoći, budući da uglavnom nemaju programe pomoću kojih bi te crteže otvorili. Formati prilagođeni za štampu, kao što je PDF, takođe, ne doprinose tome da steknu jasan uvid u položaj trase puta, osim ako crteži nisu postavljeni preko ortofoto podloga, a čak i tada je prikazan samo jedan uzan pojas oko puta. Iz ovoga se može zaključiti da je tokom godina veliki broj uslova za zaštitu prirode izdat bez jasne vizije gde je put u prostoru, koliko zemljišta je zauzeto, obima radova koji će se izvršiti i gde je linija eksproprijacije. Sve ovo projektantima može da se čini veoma lakim i razumljivim, ali nismo svi istih struka, kao što nemamo svi isto predznanje ni tehničke veštine. Možda bi bio dobar predlog da se dostavljaju KMZ fajlovi koji bi se otvarali u Google Earth-u.

Odgovorni projektanti na uređenju putnog pojasa treba da sagledaju kompletne uslove koje izdaju stručne ustanove i da ih u potpunosti primene u skladu sa važećom zakonskom regulativom, a ne da pažnju fokusiraju samo na ono poglavlje koje se po svom naslovu odnosi na uređenje putnog pojasa. Projektantska rešenja su često šablonskog karaktera, jer je jedini kriterijum primena standarda. Međutim, treba sagledati širu sliku, uočiti šta se nalazi sa druge strane linije eksproprijacije, jer to može značajno uticati na kvalitet rešenja. Nije dovoljno pogledati karte i ortofoto snimke, neophodno je otići na teren, zato što se samo tako može steći objektivni uvid u postojeće stanje i naći najbolje moguće rešenje. Nivo detaljnosti kojim Reviziona komisija obrađuje Projekte uređenja putnog pojasa samo je doprinela ovakvom stanju stvari.

Prilikom izrade Studije o proceni uticaja na životnu sredinu treba uspešno objediniti rešenja data Projektom uređenja putnog pojasa i propisati ostale mere zaštite koje direktno proističu iz studije kako bi se ispunili svi uslovi zaštite prirode. Tek u ovoj fazi izrade tehničke dokumentacije postaju jasni propusti koji su načinjeni u ranijim fazama, počev od uslova za zaštitu prirode koji sadrže nepreciznu terminologiju, preko uslova koje nije moguće ispuniti jer su u suprotnosti sa zakonskom regulativom, pa do uređenja putnog pojasa koje nije u potpunosti u skladu sa uslovima zaštite prirode. Ove nedostatke nije lako ispraviti i to u praksi često dovodi do problema prilikom usvajanja studije, budući da se time neopravdano stiče utisak da je Studija o proceni uticaja na životnu sredinu jedini dokument gde se uočavaju propusti, pa samim tim i jedini dokument gde se isti mogu otkloniti, što, naravno nije slučaj.

Cilj ovog rada nije da ukaže na nedostatke pojedinca ili organizacija, već na problem koji se tiče svih zainteresovanih strana, kao i na moguća rešenja. Na kraju, da bi ceo lanac u izradi projekata dobro i ispravno funkcionisao, treba saradivati, razmenjivati iskustva, tražiti i davati potrebne informacije.

#### Literatura:

- [1] Zakon o šumama „Službeni glasnik RS“, br. 30 od 7. maja 2010, 93 od 28. septembra 2012, 89 od 27. oktobra 2015. Dostupno na web-stranici:  
<http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/reg/viewAct/1babc52a-a987-44f8-af85-8897406ae65c>
- [2] Zakon o javnim putevima "Službeni glasnik RS", br. 101 od 21. novembra 2005, 123 od 26. decembra 2007, 101 od 30. decembra 2011, 93 od 28. septembra 2012, 104 od 27. novembra 2013. Dostupno na web-stranici:  
<http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/reg/viewAct/788d3ee8-562c-44af-aed4-c23a3a78e18d>
- [3] SRPS U.C4. 663:1994 Zasadi – Oblikovanje u šumi. Dostupno na web-stranici:  
[http://www.iss.rs/standard/?natstandard\\_document\\_id=13887](http://www.iss.rs/standard/?natstandard_document_id=13887)
- [4] SRPS U.C4.661:1994 Zasadi – Prostor za zasađivanje. Dostupno na web-stranici:  
[http://www.iss.rs/rs/standard/?natstandard\\_document\\_id=13885](http://www.iss.rs/rs/standard/?natstandard_document_id=13885)

## **ZAŠTITA OD PREKOMERNE SAOBRAĆAJNE BUKE PO ŽALBI GRAĐANA – OBAVEZE I MOGUĆNOSTI**

**Mimoza Jeličić<sup>1</sup>, Đorđe Mitrović<sup>2</sup>, Dušica Bogićević<sup>3</sup>, Ivana Vuković<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

<sup>2</sup>Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs

<sup>3</sup>Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, dusica.bogicevic@putevi-srbije.rs

<sup>4</sup>Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, ivana.vukovic@putevi-srbije.rs

**Rezime:** Počev od 2013. godine u JP „Putevi Srbije“ stižu dopisi građana koji se žale na prekomerne nivoe buke poreklom od saobraćaja na državnoj putnoj mreži. Da bi se ispoštovala procedura, građani se savetuju da žalbe preusmere na nadležnu inspekciju za zaštitu životne sredine, koja pokreće i sprovodi postupak za izradu mera zaštite. U radu je dat redosled i prikaz aktivnosti koje se preduzimaju u JP „Putevi Srbije“ u cilju ispunjenja zahteva, kao i problemi koji nastaju tokom realizacije postupka.

**Ključne reči:** zaštita životne sredine, saobraćajna buka, žalbe građana, merenje buke, mere zaštite, JP „Putevi Srbije“

## **TRAFFIC NOISE PROTECTION INITIATED BY CITIZENS' COMPLAINS – OBLIGATIONS AND OPPORTUNITIES**

**Mimoza Jeličić, Đorđe Mitrović<sup>2</sup>, Dušica Bogićević<sup>3</sup>, Ivana Vuković<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

<sup>2</sup>Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs

<sup>3</sup>Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, dusica.bogicevic@putevi-srbije.rs

<sup>4</sup>Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, ivana.vukovic@putevi-srbije.rs

**Abstract:** Since 2013, the PublicEnterprise “Roads of Serbia” has received letters from citizens complaining of excessive levels of traffic noise on the state road network. In order to comply with the procedure, citizens are advised to divert their appeals to the competent environmental inspection, which initiates and implements the procedure for the elaboration of protective measures. The paper presents the order and description of the activities undertaken at PE “Roads of Serbia” in order to fulfill the requirements, as well as the problems that arise during the implementation of the procedure.

**Keywords:** enviromental protection, traffic noise, citizens' complains, noise measurement, Public Enterprise „Roads of Serbia”

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

## 1. UVOD

Zakonska regulativa o zaštiti od buke u životnoj sredini u Republici Srbiji, koja je usklađena sa evropskim propisima, ima za cilj da se maksimalno ograniči i kontroliše izlaganje populacije nivoima buke iznad propisanih graničnih vrednosti. Porast saobraćajnog opterećenja na mreži državnih puteva ima za posledicu, pored ostalog i povišen nivo buke koji je neretko iznad propisanih graničnih vrednosti.

Javno preduzeće „Putevi Srbije“ kao upravljač nad državnim putevima I i II reda u Republici Srbiji predstavlja jedan od subjekata zaštite životne sredine u aktivnostima vezanim za zaštitu od buke drumskog saobraćaja. S obzirom na globalni i lokalni značaj buke u životnoj sredini, proizlazi potreba za kontrolom nivoa buke i planiranje mera za zaštitu populacije od njenog negativnog dejstva.

Na osnovu žalbi građana na povišen nivo buke koja potiče od saobraćaja na državnim putevima I i II reda, po nalogu Republičke inspekcije za zaštitu životne sredine Javnom preduzeću „Putevi Srbije“ se upućuju Rešenja na osnovu kojih se nalažu merenja merodavnih nivoa buke na kritičnim lokacijama i sprovođenje adekvatnih mera zaštite.

## 2. ZAKONSKO UREĐENJE PROBLEMATIKE PREKOMERNE SAOBRAĆAJNE BUKE

Polazni dokument i osnovu za zaštitu životne sredine od buke predstavlja Direktiva o proceni i upravljanju bukom u životnoj sredini (END 2002/49/EC), usvojena od strane Evropskog parlamenta. U zakonodavstvo Republike Srbije ovaj dokument je transponovan skupom pravnih akata iz 2010. godine. Zakon o zaštiti životne sredine od buke („Sl. glasnik RS“, br.36/2009 i 88/2010) i prateća podzakonska akta (jedna uredba i pet pravilnika), koji su doneti u periodu oktobar - novembar 2010. godine, usaglašeni su sa Direktivom 2002/49/EZ.

Putevi sa pripadajućim saobraćajem spadaju u grupu najvećih zagađivača životne sredine bukom i shodno tome Javno preduzeće „Putevi Srbije“ preduzima adekvatne korake u planiranju i projektovanju mera zaštite, a u skladu sa zakonskom regulativom u ovoj oblasti, kako bi se negativni uticaji puta na životnu sredinu sveli na najmanju moguću meru. Kao početni korak u rešavanju ovog problema pokrenuta je inicijativa na izradi strateških karata buke. Do polovine 2016. godine za sve deonice na mreži državnih puteva Srbije sa godišnjim saobraćajem preko 3 miliona vozila u referentnoj 2012. godini, izrađene su ove karte. Strateške karte buke se koriste kao osnova za izradu akcionih planova zaštite od saobraćajne buke u životnoj sredini i kao sredstvo za obaveštavanje javnosti o dostignutim nivoima buke u zoni uticaja mreže državnih puteva, kao i štetnim efektima na stanovništvo. Akcioni planovi, koji slede iza strateških karata buke, su u fazi izrade i biće dostupni polovinom 2018. godine.

## 3. SPROVOĐENJE POSTUPKA PO ŽALBI GRAĐANA NA BUKU

Prva dokumentovana žalba na uslove života sa aspekta prekomerne saobraćajne buke u JP „Putevi Srbije“ prispela je krajem 2013. godine. Građani su tražili informaciju o mogućnostima izrade konstrukcija za zaštitu od buke u zoni uticaja autoputa E-75 kroz Novi Beograd. Odgovoreno im je da idejni projekti postoje, ali zbog nedovoljnih sredstava u budžetu ova aktivnost se odlaže. Do polovine 2018. stiglo je 11 dopisa po sličnom zahtevu, najviše u 2016. i 2017. godini - po tri. Većinom su se građani žalili na buku od saobraćaja na deonicama puteva IA reda, jer su tu i najveća saobraćajna opterećenja. Podnosioci žalbi su upućeni da se obrate nadležnoj inspekciji za životnu sredinu, tako da je do sada, počev od 2016. godine u JPPS prispelo 6 naloga za inspeksijski nadzor.

Prvi korak u sprovođenju postupka po žalbi na prekomernu saobraćajnu buku kreće od prijave građana inspektorima za zaštitu životne sredine nadležnom za teritoriju na kojoj je državni put u eksploataciji. Inspektor po žalbi građana pismenim zahtevom obaveštava pravno lice odgovorno za emisiju buke o predstojećem vanrednom terenskom i kancelarijskom inspeksijskom nadzoru u skladu sa članovima 36. i 37. Zakona o proceni uticaja na životnu sredinu („Sl. glasnik RS“ 135/04 i 36/2009) i članovima 31. i 32. Zakona o zaštiti od buke u životnoj sredini („Sl. glasnik RS“ 36/09 i 88/10) i Zakona o inspeksijskom nadzoru („Sl. glasnik RS“ 36/09 i 88/10) nad nadziranom subjektom. Nakon izlaska na teren odnosno konstatovanja stanja i upoznavanja sa građanima koji se žale na prekomernu saobraćajnu buku sastavlja se Zapisnik o inspeksijskom nadzoru.

Na osnovu Zapisnika inspektor za zaštitu životne sredine upućuje Rešenje kojim se licu odgovornom za emisiju buke nalaže da u roku od 30 dana na propisan način obezbedi merenje buke za dan i veče i za noć i

izradi izveštaj o merenju buke koji se dostavlja inspektorima za zaštitu životne sredine. Merenja nivoa buke u životnoj sredini i izrada Izveštaja o rezultatima ispitivanja buke vrši ovlašćena stručna organizacija. U slučaju da je predmetna lokacija pokrivena Strateškim kartama buke, inspektor ima prava da te rezultate proglasi relevantnim i ne zahteva dodatna merenja. Nakon predaje Izveštaja o rezultatima ispitivanja buke i utvrđivanja opravdanosti žalbe, sledi Rešenje kojim se upravljajuću putu nalaže sprovođenje odgovarajućih mera zaštite od saobraćajne buke. Mogućnost realizacije mera zaštite značajno zavisi od faze životnog ciklusa predmetne deonice. Za puteve koji su u eksploataciji manje od godinu dana, mere je moguće uvrstiti u dopunu projekta za građevinsku dozvolu, što značajno pojednostavljuje proceduru projektovanja. Za puteve koji se duže koriste Zakon o planiranju i izgradnji ne prepoznaje ovaj vid aktivnosti. Kompromisno rešenje bi bilo svrstati ih u rehabilitaciju, ili čak rekonstrukciju puta. To svakako zahteva dugotrajan proces pribavljanja uslova nadležnih institucija. Mere zaštite od buke na autoputevima se u najvećem broju slučajeva odnose na izgradnju konstrukcija (zidova) u putnom pojasu. Veliki problem nastaje kada je potrebno zaštititi stanovništvo od buke na dvotračnim putevima. Postavljanje konstrukcija, osim kada je put na objektu, je funkcionalno nepovoljno jer ograničava pristup sadržajima sa obe strane saobraćajnice u dužini od najmanje 100 m. U takvim slučajevima treba predvideti saobraćajno – regulacione mere (ograničenje brzine, obilazne saobraćajnice i sl.), izmene namene površina u ugroženoj zoni, ili ugradnju kolovoznog zastora sa posebnim akustički apsorpcionim karakteristikama. Sve nabrojane mere zahtevaju velika investiciona ulaganja. Rok za sprovođenje mera zaštite nije uskladen sa vremenskim okvirom javne nabavke i izrade projektne dokumentacije odnosno idejnog projekta i projekta za građevinsku dozvolu, a kasnije i izvođenjem radova.

#### **4. IZVEŠTAJI O MERENJU BUKE**

Izveštaj o ispitivanju buke sadrži merenja nivoa buke koja potiče od saobraćaja koji se odvija na predmetnoj deonici koja se rade u skladu sa Standardima SRPS ISO 1996-1:2010 i SRPS ISO 1996-2:2010. Merenja se sprovode u zatvorenom prostoru, boravišnim prostorijama - dnevnoj sobi i na otvorenom prostoru u neposrednoj blizini imisionih tačaka. Za svaki interval merenja beleži se intenzitet saobraćaja odnosno brojanje saobraćaja. Od ostalih podataka tu su osnov merenja, naručilac, zadatak merenja, datum i vreme merenja, izvor buke, karakteristike buke, uslovi okoline, merna oprema i merna nesigurnost. U daljem tekstu biće na dva primera dat prikaz aktivnosti koje se sprovode da bi se pozitivno odgovorilo na zahteve građana za ublažavanje nepovoljnih uticaja saobraćajne buke kojoj su izloženi, kao i kritički osvrt na aktuelnu proceduru.

Po žalbi građana iz mesta Jovanovac u opštini Kragujevac na saobraćajnu buku od državnog puta I B reda, broj 24 izvršen je inspekcijski nadzor. Tom prilikom izvršen je uvid u dokument Tabela saobraćajnog opterećenja na državnim putevima I i II reda, gde je konstatovano da je prosečni dnevni saobraćaj u 2016. godini 10 324 vozila na dan. Izvršen je i uvid u Stratešku kartu buke deonice Ralja (Požarevac) – Batočina, Cerovac – Kragujevac i Batočina (Markovac) – Ravni Gaj. Strateškom kartom je vršeno modelovanje saobraćajne buke za deonicu puta na kojoj je predmetna lokacija i ustanovljeno da se nivo buke predmetnog objekta nalazi na granici opsega za noć ( $L_{night}$ ) od 55 do 60 i od 60 do 65 dB, a za dan ( $L_{den}$ ) na granici opsega od 60 do 65 i od 65 do 70 dB.

Imajući u vidu sve gore navedeno, naloženo je merenje buke u neposrednoj blizini i unutar stambenog objekta građana koji se žalio na buku. Tom prilikom je, od strane nadležnog organa dat rok od 15 dana za izvršenje. Rok je produžen kasnije iz razloga što nije bilo moguće u tako kratkom roku ugovoriti merenja sa stručnom ovlašćenom organizacijom, a trebalo je sačekati i vremenske uslove kojima će biti zadovoljeni standardi za merenja. Ovlašćena stručna organizacija koja je izradila izveštaj priložila je i foto dokumentaciju položaja mernih tačaka, kao obavezan element izveštaja. Na slikama 1. i 2. je prikazano merno mesto na otvorenom prostoru: u dvorištu domaćinstva, prema saobraćajnici, na oko 5 m od fasade stambenog objekta i prozora dnevne sobe sa trpezarijom.



**Slike 1. i 2.** Merno mesto na otvorenom prostoru Izvor: [1]

Merenje je vršeno sa dva instrumenta, simultano na otvorenom prostoru i unutar objekta. Na slikama 3. i 4. je prikazano merno mesto u zatvorenom prostoru u dnevnoj sobi sa trpezarijom, površine oko 20 m<sup>2</sup>, sa prozorom postavljenim prema autoputu, sa laminatom i keramičkim pločicama kao podnom oblogom, uobičajenim nameštajem i prozorskom stolarijom od drveta koja je bila zatvorena u periodu merenja. Merni instrument je postavljen na sredini prostorije oko 2 m od prozora i na visini 1,5 m od poda.



**Slika 3.** Merno mesto u zatvorenom prostoru  
Izvor: [1]

**Slika 4.** Prozori sobe u kojoj je vršeno merenje  
Izvor: [1]

U tabeli 1. prikazani su rezultati merenja na mernim mestima. Merenja na otvorenom prostoru i u zatvorenim prostorijama su vršena uz brojanje saobraćaja. Prema važećim propisima vršena su merenja u dva dnevna, dva noćna i jednom večernjem periodu. Zabeležen je i intezitet saobraćaja za svaki 15-minutni interval merenja.



**Tabela 1. Rezultati merenja buke u Jovanovcu (u zagradi su granične vrednosti nivoa buke)**

Vremenski interval merenja		Merna tačka	$L_{AeqT}$ [dB(A)]	K [dB]	$L_{RaeqT}$ [dB(A)]	Intezitet saobraćaja tokom intervala merenja
prvi dnevni 04.01.2018	od 10:20 do 10:35 časova	Zatvorene prostorije	29,1	-	<b>29</b> <b>(35)</b>	Putnička vozila =155 Autobusi = 2 Laka teretna = 8 Teška teretna = 9
	od 10:50 do 11:05 časova	Otvoreni prostor	62,6	-	<b>63</b> <b>(65)</b>	Putnička vozila =161 Autobusi = 2 Laka teretna = 10 Teška teretna = 9
drugi dnevni 04.01.2018	od 14:44 do 14:59 časova	Otvoreni prostor	63,9	-	<b>64</b> <b>(65)</b>	Putnička vozila =181 Autobusi = 1 Laka teretna = 10 Teška teretna = 12
	od 15:07 do 15:22 časova	Zatvorene prostorije	30,6	-	<b>31</b> <b>(35)</b>	Putnička vozila =169 Autobusi = 4 Laka teretna = 6 Teška teretna = 13
večernji 04.01.2018	od 21:24 do 21:39 časova	Otvoreni prostor	59,3	-	<b>59</b> <b>(65)</b>	Putnička vozila =70 Autobusi = 2 Laka teretna = 0 Teška teretna = 0
	od 21:43 do 21:58 časova	Zatvorene prostorije	26,9	-	<b>27</b> <b>(35)</b>	Putnička vozila =67 Autobusi = 0 Laka teretna = 4 Teška teretna = 4
prvi noćni 04.01.2018	od 23:25 do 23:40 časova	Zatvorene prostorije	29	-	<b>29</b> <b>(35)</b>	Putnička vozila =29 Autobusi = 0 Laka teretna = 1 Teška teretna = 9
	od 23:44 do 23:59 časova	Otvoreni prostor	55,4	-	<b>55</b> <b>(55)</b>	Putnička vozila =24 Autobusi = 0 Laka teretna = 0 Teška teretna = 4
drugi noćni 05.01.2018	od 00:10 do 00:25 časova	Otvoreni prostor	54,9	-	<b>55</b> <b>(55)</b>	Putnička vozila =19 Autobusi = 0 Laka teretna = 0 Teška teretna = 1
	od 00:31 do 00:46 časova	Zatvorene prostorije	26,9	-	<b>27</b> <b>(35)</b>	Putnička vozila =33 Autobusi = 0 Laka teretna = 0 Teška teretna = 4

Izvor: [1]

Postupak je obustavljen na osnovu Izveštaja o ispitivanju nivoa buke u životnoj sredini u zoni uticaja puta IB reda broj 24 na deonici oznake 02402/02403 na KP. Br.463/1 u mestu Jovanovac, kojim je utvrđeno da merodavni nivoi buke ne prelaze granične vrednosti indikatora buke za dnevni, večernji i noćni period u zatvorenim prostorijama.

Po žalbi građana iz mesta Grdelica na saobraćajnu buku od državnog puta IA reda, broj A1, novoizgrađena deonica Grabovnica - Grdelica, izvršen je inspekcijски nadzor. Tom prilikom inspektor je zatražio uvid u Studiju o proceni uticaja na životnu sredinu autoputa E-75 deonica Grabovnica – Grdelica km 865+845.65 – km 873+71.86 i Glavni projekat autoputa na koridoru X, deonica 2: Grabovnica – Grdelica km 868+166.10 – km 873+700.00: knjiga 2.10 Projekat zaštite životne sredine – Sveska 2.10.1/1 Projekat zaštite životne sredine, iz kojih je zaključeno da predmetni objekat nije ugrožen bukom od saobraćaja na autoputu, te nisu predviđene nikakve mere zaštite. Izvršen je uviđaj na lokaciji na kojoj se nalazi stambeni objekat podnosioca

žalbe, što je i fotografski dokumentovano. Na osnovu prikupljenih informacija naloženo je merenje buke na lokaciji građana koji se žali na buku i tom prilikom je dat rok od 30 dana za izvršenje.

Merodavni nivoi ukupne buke u dnevnom periodu, večernjem periodu i noćnom periodu kao posledice saobraćaja motornih vozila autoputem E-75, prelaze granične vrednosti indikatora buke i na otvorenom prostoru i u boravišnim prostorijama stambenog objekta Živane Janković u Grdelici. Ocena nivoa buke nije data sa nivoom poverenja od 95% za izračunatu proširenu mernu nesigurnost, što znači da postoji mogućnost da ocenjeni merodavni nivo buke ne prekoračuje propisanu graničnu vrednost.

Uz izveštaj ovlašćene stručne organizacije priložena je i foto dokumentacija sa označenim položajima mernih tačaka kao obavezan deo izveštaja (slike 5-8).



**Slike 5. i 6.** Položaj ugroženog prostora bukom u zoni uticaja specifičnih izvora buke  
Izvor: [2]



**Slika 7.** Položaj saobraćajnica u odnosu na stambeni objekat Izvor: [2]

Važno je napomenuti da je predmetni stambeni objekat ugrožen i bukom od železničkog saobraćaja na magistralnoj pruzi Beograd – Skoplje, kao i državnog puta IIA reda broj 258 Leskovac – Bujanovac. Upravljač puta je smatrao da su potonja dva izvora, iako bliži mestu imisije, zbog značajno manjeg saobraćajnog opterećenja, zanemarljivog uticaja na ukupni nivo buke, pa nisu uzeti u obzir.



Slika 8. Položaj mernih mesta za ocenu stanja nivoa buke na ispitivanoj lokaciji Izvor: [2]

U tabeli 2. prikazani su rezultati merenja na mernim mestima prikazanim na slici broj 8.

Tabela 2. Rezultati merenja buke u Grdelici

Referentni period	Oznaka mernog mesta	Označavanje buke	Srednja vrednost ekvivalentnog nivoa buke $L_{AFeq}$ [dB]	Merodavni nivo buke $L_r$ [dB]	Granična vrednost merodavnog nivoa buke [dB]
Dan (06:00–18:00)	ZP1	Ukupna buka	36.5	$37 \pm 3.1$	35
	OP	Ukupna buka	66.3	$66 \pm 3.1$	65
Veče (18:00–22:00)	ZP1	Ukupna buka	35.0	$35 \pm 3.7$	35
	OP	Ukupna buka	59.0	$59 \pm 3.7$	65
Noć (22:00–06:00)	ZP2	Ukupna buka	34.3	$34 \pm 4.5$	30
	OP	Ukupna buka	55.4	$55 \pm 4.5$	55

Izvor: [2]

Na osnovu Izvestaja o rezultatima ispitivanja Republički inspektor za zaštitu životne sredine Ministarstva zaštite životne sredine naložio je Rešenjem sprovođenja mera zaštite u roku koji je prekratak za realizaciju Idejnog projekta i Projekta za građevinsku dozvolu kao i za izvođenje radova jer u tom trenutku nije bilo predviđenih sredstava za 2017. godinu. Tek Programom poslovanja za 2018. godinu i Planom javnih nabavki su predviđena sredstva za realizaciju Idejnog projekta. Kako je došlo do isteka roka za izvršenje Rešenja, ponovo je pokrenut postupak inspekcijiskog nadzora kako bi se utvrdile činjenice zbog čega se kasni. Na osnovu izloženih razloga i zaključka upravljača puta da je neophodan rok za projektovanje i realizaciju mera zaštite najmanje godinu dana, novim Rešenjem je produžen rok za tri meseca, što je opet nedovoljno za realizaciju.

## 5. ZAKLJUČAK

Porast društvene svesti o značaju zaštite životne sredine u poslednjoj deceniji izazvao je pojavu pritužbi građana na pogoršanje uslova života izazvano protokom drumskog saobraćaja. Po pravilu, stanovnici se žale na prekomernu buku i sa pravom očekuju od JP „Putevi Srbije“ da preduzme aktivnosti kojima će se

nivoi buke svesti u zakonske okvire. Zbog visokih troškova i složenosti neophodnih mera zaštite, bez obzira da li su u pitanju građevinski radovi ili regulacioni i prostorno – planski zahvati, realizacija zahteva dug vremenski period. Pokretanje i realizacija javnih nabavki projektovanja i sprovođenje mera zaštite, uz pribavljanje svih uslova, zahteva najmanje jednu godinu. Poseban problem predstavlja nemogućnost da se ova vanredna aktivnost predvidi godišnjim programom poslovanja. Moguće rešenje bi bilo usvajanje i primena akcionog plana izrade mera za zaštitu od buke na mreži državnih puteva koji se radi na osnovu strateških karata buke. Ovaj plan, koji sadrži dinamiku ulaganja sredstava u petogodišnjem periodu, mora da prođe sud zainteresovane javnosti kroz javne konsultacije u jedinicama lokalne samouprave, a zatim da bude usvojen od strane najviših državnih izvršnih organa. Na taj način bi se došlo do okvirnih ukupnih troškova izrade neophodnih mera zaštite od buke poreklom od drumskog saobraćaja, utvrdio redosled i liste prioriteta, što bi, verovatno, broj vanrednih intervencija po pitanju realizacije mera zaštite od buke svelo na minimum.

#### **Literatura**

- [1] Izveštaj o ispitivanju nivoa buke u životnoj sredini u zoni uticaja puta IB reda 24 na deonici oznake 02402/02403 na KP. Br. 463/1 u mestu Jovanovac, Zaštita na radu i zaštita životne sredine Beograd, laboratorija za buku, vibracije i sudove pod pritiskom, januar 2018
- [2] Izveštaj o rezultatima ispitivanja br.01/03-15/16Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, Niš, mart 2017

# PRAĆENJE UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I PRIMENA MERA ZAŠTITE U TOKU IZVOĐENJA RADOVA, ISKUSTVA

Vladan Tasić<sup>1</sup>, dipl.inž.hidrogeol.

**Rezime:** Zaključci koji proizilaze iz Studije o proceni uticaja na životnu sredinu i Akcionog plana za ublažavanje uticaja na životnu sredinu, definisali su potrebu da se u toku izvođenja radova na izgradnji autoputeva a kasnije i u fazi njihove eksploatacije, prati i analizira stanje činilaca životne sredine a za koje je dokazano da mogu biti izloženi negativnim uticajima. Izvođač radova mora da poštuje smernice iz Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Isto tako, Izvođač mora da izradi Akcioni plan za upravljanje životnom sredinom u koji će uvrstiti predloge koji se tiču realizacije, upravljanja i praćenja predloženih komponenti projekta koji se tiču životne sredine. Radi se o Planu zaštite životne sredine, koji Izvođač podnosi na odobrenje Investitoru i Nadzornom organu, i to u roku od mesec dana od dolaska na gradilište. Taj Plan, u koji je Izvođač uneo radne detalje svojih predloga, treba da je u skladu sa zahtevima Akcionog plana za ublažavanje uticaja na životnu sredinu.

**Glavne reči:** Sudija o proceni uticaja na životnu sredinu, Akcioni plan za ublažavanje uticaja na životnu sredinu, Plan zaštite životne sredine, Izvođač, Nadzorni organ, Investitor.

## ENGLISH

Vladan Tasić<sup>1</sup>, B.Sc. Hydrogeol. Eng.

**Abstract:** Conclusions from the Environmental Impact Assessment Study and the Environmental Impact Action Plan defined the need to monitor and analyze the status of environmental factors during the construction of highways and later and at the stage of their exploitation. Which has been proven to be exposed to adverse effects. The contractor must comply with the guidelines from the Environmental Impact Assessment Study. Similarly, the Contractor must develop an Environmental Management Action Plan, which will include proposals related to the implementation, management and monitoring of proposed components of the project relating to the environment. This is the Environmental Protection Plan, submitted by the Contractor to the Investor and the Supervisory Authority for approval, within one month of the arrival at the site. The Plan, to which the Contractor has entered the working details of his proposal, should comply with the requirements of the Environmental Impact Action Plan.

**Key words:** Environmental Impact Assessment (EIA), Environmental Mitigation Action Plan (EMAP), Environmental Protection Plan, Contractor, Engineer for approval, Employer.

## 1. UVOD

Na osnovu sagledavanja postojećeg stanja i Procene uticaja novoprojektovanih saobraćajnica na životnu sredinu, mogu se definisati parametri koje je potrebno meriti za svaki od segmenata životne sredine gde se očekuje narušavanje iste, kako u fazi izgradnje, tako i u fazi eksploatacije.

Dosadašnja iskustva prilikom projektovanja saobraćajnica, pokazuju da odgovarajućih merenja koja definišu postojeće stanje životne sredine – zemljišta, površinskih i podzemnih voda, vazduha i buke, nema. Rezultati ovih merenja bi bili referentni prilikom monitoringa životne sredine u toku eksploatacije objekta.

S tim u vezi, neophodno je da se u narednoj fazi izrade projektne dokumentacije a to su Projekti za građevinsku dozvolu i na tom nivou, Projekti zaštite životne sredine, izradi Plan monitoringa, u kome će biti definisani parametri životne sredine koji se prate (buka, zagađenje vazduha, zagađenje voda i zagađenje zemljišta), merna mesta, zagađujuće materije koje treba ispitivati i učestalost ispitivanja, kako u toku izgradnje, tako i u toku eksploatacije saobraćajnice.

Cilj ovog rada je da skrene pažnju na značaj svih učesnika u realizaciji projekata izgradnje velikih infrastrukturnih objekata kada je zaštita životne sredine u pitanju, kako bi se negativni uticaji koji nastaju u ovoj fazi izbegli ili umanjili i sprečile trajne posledice po životnu sredinu.

## 2. PARAMETRI ŽIVOTNE SREDINE KOJI SE PRATE

Zadatak Projektanta saobraćajnica je da kroz tehničku dokumentaciju, sagledaju sve aspekte zaštite životne sredine i predvide adekvatne mere prevencije i mere zaštite životne sredine od samog početka formiranja gradilišta pa sve do puštanja objekta u rad a potom i tokom njegove eksploatacije. Nadzorni organ tokom

---

<sup>1</sup> Institut za puteve ad Beograd, v.tasic@highway.rs

izvođenja radova svojim delovanjem i autoritetom kontroliše sprovođenje projektom predviđenih mera zaštite životne sredine i postupak praćenja stanja parametara životne sredine. Izvođač radova, preko imenovanog lica odgovornog za zaštitu životne sredine, mora u potpunosti postupati po svim zahtevima iz projektne dokumentacije i u skladu sa dobrom građevinskom praksom, kada je odnos prema životnoj sredini u pitanju.

Izvođač radova kada je zaštita životne sredine u pitanju, mora pre svega da poštuje smernice iz Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Pored toga, Izvođač radova je u obavezi da izradi Plan zaštite životne sredine, koji u roku od mesec dana od dolaska na gradilište mora da podnese na odobrenje Investitoru i Nadzornom organu. Plan zaštite životne sredine mora da bude u skladu sa zahtevima Akcionog plana upravljanja životnom sredinom.

Izvođač radova mora da ima među svojim osobljem na gradilištu tokom trajanja ugovora, jednog imenovanog službenika, kvalifikovanog za promovisanje i održavanje dobrog upravljanja životnom sredinom tokom izgradnje a posebno za sprovođenje Plana zaštite životne sredine. Ovaj službenik mora da ima ovlašćenja da izdaje uputstva i da preduzima mere predostrožnosti, kako bi se sprečila šteta po životnu sredinu uključujući ali bez ograničenja, uspostavljanje ekološki dobre radne prakse i obuku osoblja i radnika za njeno sprovođenje.

## 2.1 Buka

kao jedan od parametara koji definiše postojeće stanje životne sredine, meri se, računa i ocenjuje u skladu sa Uredbom o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini („Sluzbeni glasnik RS” br. 75/2010).

Za merenje nivoa buke potrebno je koristiti opremu koja može da pruži uvid u kompletne rezultate merenja. Procedura merenja u svemu mora poštovati Pravilnik o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke („Sluzbeni glasnik RS“, br. 72/2010). Izveštaj o izvršenom merenju potpisuje odgovorno stručno lice.

## 2.2 Vazduh

takođe parametar koji definiše postojeće stanje životne sredine, meri se i ocenjuje u cilju utvrđivanja dugoročnih trendova zagađenja vazduha. Pored toga, rezultati praćenja kvaliteta vazduha služe kao osnova za procenjivanje opasnosti po zdravlje ljudi i u ispitivanju posebnih žalbi građana, kao i za pribavljanje podataka pri izmeni i dopuni prostornih planova.

Na početku realizacije programa monitoringa, preporučuje se merenje koncentracija ugljenmonoksida (CO) i azotdioksida (NO<sub>2</sub>). Ukoliko rezultati merenja ukažu na prekoračenje GV (Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima za kvalitet vazduha („Sluzbeni glasnik RS“, br. 11/2010; 75/2010 i 63/2013, prilog 10, odeljak B), neophodno je listu polutanata proširiti merenjem koncentracija azotmonoksida (NO), sumpordioksida (SO<sub>2</sub>), ugljovodonika (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) i čvrstih čestica (PM10).

Za svako merno mesto se mere i sledeći meteorološki pokazatelji:

- atmosferski pritisak,
- temperatura vazduha,
- vlažnost vazduha,
- vetar (smer i brzina),
- oblačnost sa vrstom oblaka i visinom baze,
- pojava padavina,
- vidljivost,
- insolacija.

## 2.3 Voda

je parametar životne sredine, čiju ugroženost definišu:

- za površinske vode to su pH, koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi, otpadne materije, zamućenost, koncentracija organskih jedinjenja i mineralnih ulja;
- za podzemne vode to su: geološko - hidrogeološki faktor (nivo podzemne vode, dinamika i količina podzemne vode), fizičko - hemijski i hemijski (kvalitet podzemne vode).

Analiza rezultata i zaključci se izvode na osnovu:

- Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda („Sluzbeni glasnik RS“, br. 74/2011);
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje („Sluzbeni glasnik RS“, br. 50/2012, Prilog I).



## 2.4 Zemljište

Parametri koji su merodavni za utvrđivanje ugroženosti zemljišta jesu pH, koncentracija teških metala, ulja i organskih supstanci.

Zemljište u blizini prometnih saobraćajnica se ispituje na sadržaj opasnih i štetnih materija, a u slučaju potrebe ispituje se narušenost hemijskih i bioloških svojstava.

Opasne materije na osnovu Pravilnika o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovih ispitivanja („Sluzbeni glasnik RS” br. 23/1994) su:

- kadmijum,
- olovo,
- živa,
- arsen,
- hrom,
- niki i
- fluor,

dok su štetne

- bakar,
- cink i
- bor.

## 3. PROGRAM MERENJA

Izgradnja saobraćajnice je aktivnost koju odlikuje složena vremenska i prostorna dinamika radova što otežava izbor mesta, način i učestalosti merenja utvrđenih parametara. Ukoliko se u procesu izvođenja radova i praćenja stanja životne sredine registruju povećanja negativnih uticaja neophodno je povećanje obima istraživanja, kako bi se dobili pouzdani podaci o ugroženosti, uzrocima takvog povećanja kao i potrebnim merama koje je potrebno preduzeti kako bi se negativni uticaji eliminisali ili sveli na zakonski propisane vrednosti. Ukoliko se zbog pojave novih okolnosti javi potreba za određivanjem novih parametara monitoringa, parametre za kvantifikaciju novonastalog stanja i lokacije novih mesta za uzorkovanje određiće nadležna inspekcijaska služba za zaštitu životne sredine.

Zakonska regulativa R Srbije predviđa Uredbama i Pravilnicima metode, uslove i programe praćenja kvaliteta parametara životne sredine.

### 3.1 Buka

U toku gradnje dolazi do povećanja nivoa buke usled prevoza tereta teškim teretnim vozilima (odvoženje i dovoženje materijala) i upotrebe građevinske mehanizacije. Ovi izvori buke su privremenog karaktera i traju do završetka građevinskih radova.

U fazi izvođenja radova nivo buke je potrebno kontrolisati po potrebi tj. ukoliko se pojave žalbe građana na prekomerni nivo buke u trenutku izvođenja radova. Pravilnik o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke („Sluzbeni glasnik RS”, br. 72/2010) definiše između ostalih i metode merenja, izbor mernih mesta, vremenski interval merenja i referentno vreme.

U okviru monitoringa buke u toku izvođenja radova, obavezno je:

- izvršiti merenja nultog stanja,
- izvršiti merenja najviših nivoa (pikova) buke u toku građenja,
- ukoliko se pri izvođenju radova značajnije prekorače granice dozvoljenih nivoa buke, u dogovoru sa vlasnikom objekta preduzimaju se potrebne mere zaštite.

Za sve posledice koje proisteknu iz povišenog nivoa buke u fazi izvođenja radova odgovoran je Izvodjac.

### 3.2 Vazduh

Monitoring zagađenja vazduha u fazi izgradnje saobraćajnice uključuje utvrđivanje uticaja na kvalitet vazduha u trenutku izvođenja građevinskih radova, koji se odvijaju u blizini nastanjenih područja. U slučaju da gradilište bude postavljeno na lokaciji koja je od područja stanovanja bliža od 400 m, potrebno je predvideti stalno praćenje stanja zagađenosti vazduha. Ako je gradilište dalje od 400 m, u slučaju pritužbi lokalnog stanovništva na tim mestima organizovati praćenje uticaja naknadno. Uredbom o uslovima za

monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha („Sluzbeni glasnik RS“ br.11/2010, 75/2010 i 63/2013 - Prilog 10, Odeljak B), utvrđuju se uslovi za monitoring i zahtevi kvaliteta vazduha.

### **3.3 Voda**

Monitoring voda u fazi izgradnje saobraćajnice uključuje utvrđivanje uticaja na kvalitet voda u trenutku neposrednih građevinskih radova koji se odvijaju u blizini vodotokova odnosno vodozahvata.

Program monitoringa uključuje parametre koji su merodavni za utvrđivanje ugroženosti površinskih i podzemnih voda.

Uzimanje uzorka se vrši na delu površinskog toka nizvodno od gradilišta. Program monitoringa se odvija tako da se pomoću njega može utvrditi koji građevinski radovi utiču na kvalitet površinskih tokova. Uzorke je potrebno uzeti pred početak radova, u trenutku kada se vrši skidanje humusa i kada se izvodi iskop ili nasipanje zemljanog materijala. U slučaju da se to ne uradi pred početak radova, uzorke uzimati na referentnoj tački uzvodno od gradilišta.

Na osnovu poredjenja rezultata izvršenih ispitivanja i granicnih vrednosti za određivanje kvaliteta površinskih voda prema Uredbi o granicnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje („Sluzbeni glasnik RS“ br. 50/2012., Prilog I), mogu se izvesti zaključci o klasi vodotoka. Pomocu Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda („Sluzbeni glasnik RS“ br. 74/2011), može se odrediti tip vodotoka.

U situacijama kad rezultati merenja i analiza ukazuju na povećanje negativnih uticaja, neophodno je uraditi dodatna merenja, utvrditi uzroke pogoršanja stanja i preduzeti potrebne mere zaštite. Do trenutka određivanja uzroka pogoršanja stanja, mogu se odvijati samo oni radovi koji ne utiču na zagađenje površinskih voda.

Za podzemne vode dinamika izvođenja monitoringa podzemnih voda u toku faze građenja je izrađena na osnovu programa izvođenja radova koje je dostavio naručilac i koji je sastavni deo dokumentacije za izradu nacrtu monitoringa. Program monitoringa u toku građenja obuhvata vreme pripremnih radova i vreme gradnje. Monitoring kvaliteta podzemnih voda podrazumeva redovnu kontrolu vode za piće na gradilištu.

Sa svim merenjima se počinje jedan mesec pre početka pripremnih radova. Merenja osnovnih i indikativnih parametara podzemnih voda bi trebalo izvoditi bar jednom godišnje u toku građenja i na kraju izgradnje. Vreme uzimanja uzoraka će zavisiti od nivoa podzemnih voda, od padavina kao i dr. geoloških i hidrogeoloških odnosa.

### **3.4 Zemljište**

Monitoring zemljišta podrazumeva, uzimanje uzoraka, merenje i laboratorijsku analizu uzoraka, obradu dobijenih rezultata i izveštavanje nadležnih organa i organizacija a prema Uredbi o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa („Sluzbeni glasnik RS“ br.88/2010).

Monitoring zemljišta se odvija tako da se njime može utvrditi koji građevinski radovi utiču na kvalitet istog. Uzorke je potrebno uzeti pred početak radova, u trenutku kada se vrši skidanje humusa i kada se izvodi iskop ili nasipanje zemljanog materijala. U slučaju da se to ne uradi tako, uzorke uzeti na referentnoj tački koja je udaljena od gradilišta i manipulativnih površina građevinske mehanizacije najmanje 100 m.

U situacijama kad rezultati merenja i analiza ukazuju na povećanje negativnih uticaja, neophodno je uraditi dodatna merenja, utvrditi uzroke pogoršanja stanja i preduzeti potrebne mere zaštite. Do trenutka određivanja uzroka pogoršanja stanja, mogu se odvijati samo oni radovi koji ne utiču na zagađenje zemljišta.

## **4. MERE ZAŠTITE**

Mere zaštite kojima bi se negativne posledice svele u prihvatljive okvire, obuhvataju mnoštvo aktivnosti za svaki od uočenih uticaja u toku izvođenja radova. Navedene su samo one mere zaštite koje se odnose na parametre životne sredine čije se vrednosti prate tokom izvođenja radova.

### **4.1 Buka**

Kao opšta mera ublažavanja, od Izvođača radova se zahteva da koristi modernu opremu sa prigušivačima buke i da se pridržava uobičajenih radnih sati u toku dana. U blizini naseljenih mesta rad sa bučnom opremom treba ograničiti i/ili ako se ukaže potreba treba koristiti zaklone, postavljanje opreme iza prirodnih zvučnih barijera.

Redovnom (periodičnom), po potrebi vanrednim tehničkim pregledom opreme i vozila, osigurati maksimalnu ispravnost i funkcionalnost u cilju minimalne emisije buke i vibracija.

## 4.2 Vazduh

Za vreme izvođenja građevinskih radova potrebno je sprovesti niz mera kako bi se negativni uticaji na kvalitet vazduha sveli na minimum:

- u cilju sprečavanja nekontrolisanog raznošenja građevinskog materijala transportnim sredstvima potrebno je sprovesti čišćenje vozila pre izlaska na javne površine, kao i obavezno prekrivanje ili vlaženje materijala koji se transportuje kako ne bi došlo do njegovog razvejanja;
- duž transportnih veza treba angažovati cisterne sa vodom sa pogodnim sistemom raspršivanja. Voda može da se raspršuje najmanje 6 puta na dan duž čitave trase kako bi se sprečilo podizanje prašine usled kretanja kamiona, naročito po neasfaltiranim putevima; po suvom i vetrovitom vremenu sprovesti redovno vlaženje površina sa kojih može doći do razvejanja prašine;
- obezbediti tehničku ispravnost mehanizacije, redovnim (po potrebi i vanrednim) tehničkim kontrolama normi emisije štetnih gasova;
- prilikom izvođenja radova na tunelu, prilikom miniranja, obzirom da stenske mase ne sadrže hemijski štetne sastojke predviđena je mera zaštite emisije mineralne prašine koja je prisutna u povećanom obimu kod ovakve vrste radova. Mera zaštite je polivanje vodom, intezitet polivanja se dimenzioniše na osnovu koncentracije prašine, veličine taložnih površina, uključujući meterološke uslove kao što su temperatura, vlažnost, prisustvo vetra i padavine.

## 4.3 Voda i zemljiste

- Građevinski kampovi treba da budu smešteni dalje od svih lokalnih naseobina ljudi, organizovani na minimalnoj površini potrebnoj za njihovo funkcionisanje i to na zemljištu koje trenutno nije produktivno, ako je to moguće. U svakom slučaju, pri izboru lokacije voditi računa da to ne bude prostor sa izraženim prirodnim vrednostima. Kampovi moraju da imaju adekvatno vodosnabdevanje, sanitarne uslove i sve potrebne infrastrukturne objekte. Voda kojom se građevinski kampovi snabdevaju ne sme da bude zagađena arsenom. Kampovi moraju da imaju septičke jame/drenažne jame odgovarajućeg kapaciteta, tako da mogu dobro da funkcionišu tokom čitavog perioda korišćenja;

Izvođač mora da koristi takve metode gradnje i da održava sva pozajmišta, deponije materijala i deponije otpada, tako da se obezbede stabilnost i bezbednost radova i svih susednih odlika, da se obezbedi slobodno i efikasno prirodno i veštačko odvodnjavanje i drenaža i spreči erozija.

- Nadzorni organ i investitor imaju ovlašćenje da zabrane metode gradnje odnosno korišćenje bilo kog pozajmišta, deponije materijala ili deponije otpada, ako su, po njihovom mišljenju, ugrožene stabilnost i bezbednost radova ili bilo koje susedne odlike, ili ako postoji nepropisno ometanje prirodnog ili veštačkog odvodnjavanja i drenaže, ili ako će metod ili korišćenje takvog prostora pospešiti preteranu eroziju.

Bez obzira na odobrenje planirane metode rada, Izvođač mora u svako doba da bude odgovoran za izvođenje zemljanih radova u skladu sa Uslovima, Projektom i svojim radnim crtežima.

Pozajmišta i kamenolomi moraju da budu locirani, korišćeni i zatvoreni u skladu sa Uslovima. Otpad mora da bude odložen na odobrene deponije koje su pripremljene, napunjene i zatvorene u skladu sa odnosnim zahtevima iz Uslova.

- skladišta za rasut materijal moraju da budu zaštićena od uticaja vetra da ne bi došlo do razvejanja, kao i zaklonjena od padavina;
- propisati zabranu paljenja otpada na gradilištu;
- Posle iskopa za radove, Izvođač mora da preduzme sve korake potrebne da se okončaju radovi na drenaži i zaštiti kosina pre svake kišne sezone. Izvođač mora odmah, o sopstvenom trošku, da sanira eroziju, nestabilnost ili taloženje naslaga od radova koji nisu u skladu sa Uslovima. Izvođač takođe mora da preduzme sve korake potrebne da se odvodnjavanje i drenaža završe pre svake zimske kišne sezone na mestima iskopanim radi pozajmice materijala.

Izvođač mora da obezbedi da njegove aktivnosti ne izazovu bilo kakvo zagađenje zemljišta ili vode zagađujućim materijama. On mora da sprovede fizičke i operativne mere, kao što su zemljani nasipi odgovarajućeg kapaciteta oko rezervoara za skladištenje goriva, nafte i razređivača, skladišta, hvatača ulja i masti u drenažnim sistemima iz radionica, postrojenja za pranje vozila i baza, prostora za popravku i sipanje goriva, kuhinja, uspostavljanje sanitarnih sistema za odlaganje čvrstog i tečnog otpada, održavanje ovih mera u funkcionalnom stanju, uspostavljanje procedura za hitno reagovanje u slučajevima zagađenja i za smanjenje prašine, sve u skladu sa redovnom dobrom praksom i na zadovoljstvo nadzornog organa i investitora.

- prostor za skladištenje goriva treba da bude bar na 50 m udaljenosti od vodotoka;
- zabraniti skladištenje i rukovanje gorivima, uljima i dr. opasnim materijama u zonama zaštite vodoizvorišta;
- sva otpadna ulja, filteri za ulja i gorivo biće prikupljeni i odlagani na sigurnim mestima.
- Vozila angažovana za prevoz materijala moraju da budu otporna na curenje kako bi se izbeglo ili na minimum svelo curenje materijala tokom transporta. U svakom slučaju, transportne veze treba pregledati najmanje dva puta na dan kako bi se isključilo eventualno slučajno curenje.
- zabraniti oticanje vode koja nastaje ispiranjem miksera, jer visoka pH vrednost takve vode, može degradirati životnu sredinu;
- po završetku radova neophodno je na osnovu posebnih projekata rekultivacije urediti sva pozajmišta i deponije kako bi se sprečilo dalje degradiranje tla i poboljšao vizuelni efekat.
- Prilikom zatvaranja gradilišta, svo kontaminirano zemljište treba iskopati i zameniti novim slojem zemljišta;
- upotrebenu vodu sa gradilišta sakupiti i tretirati na odgovarajući način. Otpadne vode ne smeju se ispuštati bez prethodnog tretmana;
- gradilište mora biti propisno drenirano (odvodnjavano). Asfaltirane površine, uključujući i zone za parkiranje vozila, radionice i skladišta goriva, odvodnjavaju se ka separatoru za vodu i ulje.

Prostor obuhvaćen projektom može da zadesi ružno vreme, sezonske klimatske promene i jake snežne padavine. Smatraće se da je Izvođač upoznat sa ovim uslovima i da je formulisao svoj program radova uzimajući u obzir mogući gubitak vremena iz ovih razloga i biće obaveza Izvođača da revidira svoj program radova i pojača svoje napore na izgradnji po potrebi, kako bi obezbedio pravovremeni završetak radova isplaniran za svaku radnu sezonu.

#### 4.4 Vegetacija

Tamo gde to naloži nadzorni organ, Izvođač mora da uspostavi vegetaciju na kosinama nasipa, useka ili manje iskorišćenim pozajmištima i ostalim površinama koje mogu da uključuju bankine i zelene pojaseve, deponije otpadnog materijala, deponije građevinskog materijala, kamenolome, pristupne staze, lokacije postrojenja, kampove, tragove klizišta, jaruge i obale potoka i reka. Pre postavljanja humusa odnosno uspostavljanja vegetacije na nasipima, sav nasuti materijal koji nije nabijen po zahtevanim standardima, mora da se ukloni sa bočnih kosina.

Izvođač je odgovoran za isporuku dovoljne količine sadnog materijala za obavljanje svog posla na ponovnom uspostavljanju vegetacije i mora da uspostavi i vodi rasadnike, po potrebi, i da napravi sopstvene aranžmane za nabavku reznica, kalema i semena za sadnju.

Osim ukoliko je drugačije predviđeno u Uslovima, Izvođač mora da obezbedi da se drveće, žbunje ili vegetacija pored vode ne obara ili oštećuje, osim onoga što je potrebno raskrčiti za izvođenje radova. Izvođač mora da zaštiti drveće i vegetaciju od oštećenja na zadovoljstvo Nadzornog organa i Investitora.

Izvođač je odgovoran za pribavljanje svih potrebnih dozvola za obaranje drveća i za uklanjanje oborenih stabala u skladu sa pozitivnim propisima. Nijedno drvo ne sme biti uklonjeno pre prethodne saglasnosti Nadzornog organa i Investitora.

U slučaju da drveće ili druga vegetacija koji nisu naznačeni za krčenje budu oštećeni ili uništeni, Izvođač iste mora da popravi ili zameni o sopstvenom trošku i na zadovoljstvo Nadzornog organa i Investitora.

Izvođač ne sme da koristi niti dozvoli upotrebu drveta kao goriva za kuvanje, zagrevanje prostora i vode u svim svojim kampovima i smeštaju za život. Svako drvo tako upotrebjeno mora da bude skupljeno na zakonit način, a izvođač mora po potrebi da obezbedi nadzornom organu i investitoru primerke relevantnih dozvola.

## 5. ISKUSTVA NADZORNOG ORGANA

Tokom vršenja stručnog nadzora za životnu sredinu na izgradnji autoputeva u Srbiji, iskustva su različita, ali je slična svest o zaštiti životne sredine koju poseduju učesnici u izgradnji ovako značajnih infrastrukturnih objekata. Slede slike sa različitih lokacija na autoputu u izgradnji.

Primer zagađivanja vodotoka koji protiče obodom građevinskog kampa, dat je na slici br. 1. Zagađenje koje je očigledno, potiče od ispiranja miksera za beton u kanal koji odvodi otpadnu vodu u vodotok bez separatora i prečišćivača (Slika br. 2).



**Slika 1.** *Odvodni kanal na mestu ulivanja u vodotok  
(Izvor, autor teksta)*



**Slika 2.** *Ispiranje miksera za beton u kanal neposredno pre ulivanja u reku.  
(Izvor, autor teksta)*

Na slici br. 3 prikazano je zagađivanje vodotoka i to njene obale, sedimenta rečnog dna i samog vodotoka.





**Slika 3. Zagađenje vodotoka.**  
(Izvor, autor teksta)

Primer dobre građevinske prakse u zaštiti životne sredine – odvodnjavanje u gradilišnom kampu Izvođača radova, prikazan je na slikama 4 i 5.



**Slike 4. i 5. Odvodnjavanje atmosferske i otpadne vode u kampu Izvođača radova** (Izvor, autor teksta)



Na Slici 6 je pokazano kako obično Izvođači radova na trasi autoputa postupaju sa viškom betona. Ovde imamo primer ispiranja miksera za beton direktno u jarugu u neposrednoj blizini objekta čije se betoniranje obavlja.



**Slika 6.** Ispiranje miksera za beton u jarugu u neposrednoj blizini značajnog objekta na trasi autoputa.  
(Izvor, autor teksta)

Na Slici 7 je pokazan primer improvizacije od strane Izvođača radova i to prilikom iskopa jame za pranje miksera i odbacivanje viška betona nakon ugradnje, a posle brojnih intervencija i primedbi nadzornog organa.



**Slika 7.** Jama za pranje miksera.  
(Izvor, autor teksta)

Veoma česta pojava na svim deonicama izgradnje autoputa je odbacivanje viška betona posle betoniranja objekata na trasi i to bilo gde, gde je to zgodno, a prikazano je na sledećoj fotografiji.



**Slika 8.** Očvršli beton odbacen pored lokalnog puta, na prilazu novoj deonici auto puta.  
(Izvor, autor teksta)

Na Slici br. 9 pokazan je primer skladištenja ulja i maziva suprotno načinu kako to predviđa Plan zaštite životne sredine odnosno Elaborat o uređenju gradilišta.



**Slika 9.** Skladište ulja i maziva u kampu jednog od podizvođača radova  
(Izvor, autor teksta)



Na Slici br. 10 se vidi intervencija Izvođača radova u neposrednoj blizini novoizgrađene deonice autoputa na koridoru 11. - Očekivala se i još uvek se očekuje rekultivacija koju je Izvođač u obavezi da izvrši. Ili će se priroda već sama pobrinuti za to.



**Slika 10.** Pozajmište materijala ili stabilizacija kosine?!  
(Izvor, autor teksta)



**Slika 11.** Još jedan primer dobre građevinske prakse u zaštiti životne sredine - Bazen sa taložnikom za pranje miksera za beton na gradilišnoj bazi.

## 6. ZAKLJUČAK

U prethodnom poglavlju su dati najupečatljiviji primeri narušavanja životne sredine u fazi izgradnje autoputa. Utisak je, da se mera zaštite predviđenih projektnom dokumentacijom, a potom i Planom zaštite životne sredine koji je izradio sam Izvođač, isti ne pridržava. Neophodno je da Nadzorni organ za životnu sredinu bude prisutan od samog početka izvođenja radova, kako bi uz pomoć imenovanog službenika za zaštitu životne sredine ispred Izvođača radova i koji ima sva ovlašćenja, zajednički sprovedili smernice Studije o proceni uticaja na životnu sredinu i Plana zaštite životne sredine. Isto tako, projektna dokumentacija koja se odnosi na životnu sredinu, pre svih Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, mora da sadrži sve mere zaštite. U slučaju neadekvatne projektne dokumentacije, Nadzorni organ nema mehanizam na osnovu kojeg bi mogao da insistira na svim merama zaštite koje treba preduzimati u fazi izgradnje i bez čije primene nema dobrog upravljanja životnom sredinom tokom izgradnje.

### Literatura

- „SRCS Tehnički uslovi za građenje puteva, Poglavlje 1: Uvodne odredbe“, JP „Putevi Srbije“, Beograd, 2009.
- „Projekat zaštite životne sredine, AP E – 763 Beograd - Ljig - Požega Sektor II, Ljig - Požega, deonica 1 Boljkovci - Takovo“, Institut za puteve AD Beograd, Beograd, 2011.
- „Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, AP E – 763 Beograd - Ljig - Požega, Sektor I Beograd - Ljig, deonica 3 Obrenovac - Ub“, Institut za puteve AD Beograd, Beograd, 2007.
- „Projekat zaštite životne sredine, AP E – 763 Beograd - Ljig - Požega, Sektor I Beograd - Ljig, deonica 5 Lajkovac - Ljig“, Institut za puteve AD Beograd, Beograd, 2010.
- „Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini“, Sluzbeni glasnik RS, 2010., br. 75.
- „Pravilnik o metodama merenja buke, sadržini i obimu izveštaja o merenju buke“, Sluzbeni glasnik RS, 2010., br. 72.
- „Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima za kvalitet vazduha“, Sluzbeni glasnik RS, 2010., br. 11.
- „Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima za kvalitet vazduha“, Sluzbeni glasnik RS, 2010. br. 75.
- „Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima za kvalitet vazduha“, Sluzbeni glasnik RS, 2013., br. 63. prilog 10, odeljak B;
- „Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda“, Sluzbeni glasnik RS, 2011., br. 74;
- „Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje“, Sluzbeni glasnik RS, 2012., br. 50, Prilog I;
- „Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovih ispitivanja“, Sluzbeni glasnik RS, 1994., br. 23;
- „Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa“, Sluzbeni glasnik RS 2010., br.88.

## ZIDOVI ZA ZAŠTITU OD BUKE - OBLIKOVANJE

Snežana Radulović Jevremović<sup>1</sup>, Jovana Klenpić

<sup>1</sup>Institut za puteve a.d. Beograd, instput@highway.rs

**Rezime:** Zidovi za zaštitu od buke su najčešće primenjivana mera zaštite od ovog neželjenog uticaja. Svojim položajem i gabaritom, često vizuelno dominiraju u putnom pojasu. Pored zahteva u smislu efikasnosti zaštite, bezbednosti, stabilnosti, ekonomičnosti, zidovi za zaštitu od buke moraju zadovoljiti i estetske kriterijume koji obezbeđuju njihovo vizuelno uklapanje u okolinu i zadovoljavajući vizuelni utisak na posmatrača. Rad se bavi prezentovanjem nekih od ciljeva, principa i smernica koji dovode do optimalno oblikovanog zida na osnovu autorovog i inostranog iskustva.

**Ključne reči:** buka, zidovi za zaštitu od buke, oblikovanje, vizuelno uklapanje.

## NOISE BARRIER – DESIGN

Snežana Radulović Jevremović, Jovana Klenpić

<sup>1</sup>Highway Institute

**Abstract:** Noise barriers are the most commonly used protection measures against this unwanted impact. By their position and dimension, they often visually dominate the right of way. In addition to requirements in terms of efficiency of protection, safety, stability, economy noise barriers must satisfy aesthetic criteria that ensure their visual matching to the environment and satisfactory visual impression on the viewer. This paper will present some of the goals, principles and guidelines that lead to an optimally designed noise barrier based on the author's and foreign experience.

**Keywords:** noise, noise barriers, design, visual integration.

### 1. UVOD

Svaka intervencija u prirodi, pa tako i izgradnja i eksploatacija saobraćajnica, narušava njen sklad. Posledica odvijanja saobraćaja često je neželjena pojava povišenog nivoa buke. Razvojem automobilske industrije smanjena je emisija buke ali se njen nivo na putevima povećava usled rasta broja vozila i brzina kojim se ona kreću. Buka, koju najčešće definišemo kao neželjeni zvuk, ima veliki uticaj na zdravlje i kvalitet života. Najispravniji put ka eliminisanoj negativnog uticaja buke je blagovremeno uočen problem i njegov stalni tretman kroz sve planerske i projektantske faze. Takvim pristupom problem se rešava najefikasnije i najjeftinije. Ukoliko je potrebna primena mera zaštite, posle svih koraka kreiranja saobraćajne mreže, izbora mogućih rešenja, kao i njihov prostorni položaj svodimo u uske granice a posledica su skuplja i neprikladna rešenja.

### 2. ZIDOVI ZA ZAŠTITU OD BUKE

Najčešće primenjivane građevinsko - tehničke mere zaštite od buke su konstrukcije za zaštitu od buke. One predstavljaju konstrukcije koje sprečavaju direktno prenošenje buke koja nastaje kao rezultat odvijanja saobraćaja na putu kroz vazduh. Konstrukcije za zaštitu od buke ne blokiraju celokupnu buku već smanjuju ukupni nivo buke na nivo granične vrednosti.

Jedna od varijanti ovakvih konstrukcija su zidovi za zaštitu od buke. Sastoje se od konstruktivnih elemenata i elemenata za zaštitu od buke. Konstruktivni elementi obezbeđuju stabilnost konstrukcije i nose elemente za zaštitu od buke (temelji i stubovi). Elementi za zaštitu od buke/paneli su delovi konstrukcije za zaštitu od buke koji obezbeđuju akustička svojstva zidu.

#### 2.1. Dimenzionisanje

Posle sprovedene procene zagađenja prostora bukom i sagledavanja ugroženih objekata pristupa se dimenzionisanju zidova za zaštitu od buke. Zvučna barijera mora da bude pažljivo dimenzionisana i konstruisana, a položaj između tačke emisije i tačke imisije optimizovan tako da obezbedi najveću moguću zaštitu pri najmanjoj površini zida. Efikasnost zida za zaštitu od buke se povećava sa njegovom visinom, dužinom i blizinom postavljanja u odnosu na izvor buke. Pri određivanju gabarita barijere treba uzeti u obzir

---

<sup>1</sup> Snežana Radulović Jevremović: s.radulovicjevremovic@highway.rs

smanjenje nivoa buke koje može da se postigne njenim postavljanjem. Potrebni gabariti zida za zaštitu od buke se definišu proračunom u skladu sa propisanim metodama. Visina i dužina zida treba da obezbedi da granične vrednosti indikatora buke ne prelaze propisane granične vrednosti.

## 2.2. Vizuelni uticaj

Položaj i gabarit zidova za zaštitu od buke često im dodeljuju vizuelno dominantnu ulogu u putnom pojasu. Kao trodimenzionalni objekti oni imaju dve strane izložene pogledu.

Sa jedne strane, nalaze se u vidnom polju učesnika u saobraćaju, vozača, suvozača, putnika. Za njih zid predstavlja kontinuirani linijski objekat. Učesnicima u saobraćaju zidovi predstavljaju vizuelnu prepreku, gube mogućnost sagledavanja okoline, orijentacije. Pri tome, ukoliko su zidovi postavljeni sa obe strane puta pojavljuje se tunelski efekat. Bez obzira na primenjene elemente puta, zidovi izazivaju monotonost vožnje. Pri analizi vizuelnog uticaja zida na učesnike u saobraćaju mora se uzeti u obzir i predviđena brzina kretanja na putu. Pri manjim brzinama kretanja, mogu se registrovati detalji i ima smisla primenjivati ih. Pri većim brzinama bitan je opšti utisak koji se postiže primenom ritmički svedenih rešenja.

Lokalno stanovništvo u neposrednoj blizini puta sagledava zidove za zaštitu od buke kao trajni, stalno prisutan objekat. Kod njih oni, takođe, predstavljaju vizuelnu prepreku i dominantan objekat u okolini. Pri tome izazivaju osećaj gubitka cirkulacije vazduha i gubitka svetlosti.

Oba aspekta sagledavanja moraju se imati u vidu u procesu oblikovanja zidova kako bi se našlo kompromisno rešenje. Nažalost, mora se imati u vidu da su zahtevi učesnika u saobraćaju i lokalnog stanovništva, uglavnom, radikalno suprotstavljani kada je oblikovanje zidova za zaštitu od buke u pitanju.

## 2.3. Materijali

Vrsta osnovnog materijala koji se upotrebljava za izradu elemenata za zaštitu od buke, koji predstavljaju deo zida mogu biti:

- beton i laki beton,
- drvo,
- metal,
- transparentni materijal,
- zasad,
- reciklirani materijali,
- kombinacija navedenih materijala.

Na sledećim slikama prikazani su zidovi od različitih materijala.



Slika 1. Izgled betonskog zida za zaštitu od buke  
(<https://signalsistem.hr>)





**Slika 2.** Izgled zida za zaštitu od buke od lakog betona, Beograd  
(<http://beobuild.rs>)



**Slika 3.** Izgled zida za zaštitu od aluminijских panela, Koridor X, Srbija  
(Fotodokumentacija Institut za puteve a.d.)



**Slika 4.** Izgled zida za zaštitu od buke sa transparentnim panelima, Beograd  
(<http://www.građevinarstvo.rs>)



Slika 5. Izgled zida za zaštitu od buke sa ozelenjenim panelima  
(<https://sapgroup.com>)



Slika 6. Izgled zida za zaštitu od buke sa drvenim panelima, Karlovac, Hrvatska  
(<https://www.emajstor.hr>)

### 3. OBLIKOVANJE ZIDOVA ZA ZAŠTITU OD BUKE

Kada smo odredili gabarit zida potreban da bi se obezbedila zahtevana zaštita od buke i njegov optimalni položaj u putnom pojasu pristupamo njegovom oblikovanju. Od kako je napravljen prvi zid za zaštitu od buke pre 60 godina u Kaliforniji sistematizovani su tehnički zahtevi koje mora da zadovolji kroz različite standarde i pravilnike, dok su se za oblikovanje zidova formulisali određeni ciljevi, principi i smernice. Oni su definisani na osnovu iskustva projekatara i reakcija učesnika u saobraćaju i okolnog stanovništva. Pri tome se mora imati u vidu veoma izražen subjektivan osećaj koji je prisutan pri oceni izvedenog rešenja, pa su često ocene dijametralno različite.

Oblikovanje zidova za zaštitu od buke trebalo bi da bude rezultat saradnje više struka, građevinskih inženjera, akustičara, arhitekata, pejzažnih arhitekata, kao i zahteva investitora. Pri projektovanju se mogu koristiti razni alati kako bi se dobili najbolji rezultati uklapanja zida u okolni prostor.





**Slika 7. Primer 3D vizuelizacije zida za zaštitu od buke**  
(<https://www.wired.com>)

Na šta pomislimo kada kažemo da je zid za zaštitu od buke “dobar”? Pre svega da je efikasan u smanjenju uticaja buke, konstruktivno siguran, trajan, ekonomičan, jednostavan za održavanje, vizuelno prihvatljiv. Vizuelnu prihvatljivost, na prvom mestu obezbeđuje ispunjen uslov njegovog vizuelnog uklapanja u okolinu, usklađenost izabranih materijala, završne obrade, boja, detalja, promene visine, itd. Pri svim izborima treba imati u vidu da zid za zaštitu od buke treba da odražava karakter okoline i njenu estetiku.

### 3.1. Karakteristike okoline

Karakteristike okoline koje utiču na oblikovanje zidova za zaštitu od buke su:

- namena prostora u neposrednoj okolini puta,
- arakteristike pejzaža,
- karakteristike objekata koji se štite,
- topografija terena,
- karakteristike saobraćajnice (nasip, usek, most, nadvožnjaci, pravac, krivina, itd.).

Proces oblikovanja zidova za zaštitu od buke podrazumeva razvijen osećaj za prostor, što predstavlja problem kada su autoputevi u pitanju jer prolaze kroz mnogo oblasti različitih vizuelnih, fizičkih i ekoloških karakteristika. Rešenje ovog problema predstavlja kompromis između lokalnih uslova i zahteva koji se odnosi na ceo koridor.

### 3.2. Položaj i kompozicija

Položaj zida za zaštitu od buke uslovljava i njegovo oblikovanje. Najčešći položaj zida je na minimalnom razmaku od ivice puta jer se na taj način povećava njegova efikasnost zaštite. Ovako pozicionirani zidovi najviše utiču na vozače i ostale učesnike u saobraćaju. Velika visina ovih zidova može se ublažiti određenim zakošenjima, celih zidova ili samo njihovih završnih elemenata. Na taj način ublažava se njihova vizuelna dominacija i ublažava opterećenje prostora.



**Slika 8.** Izgled lucnog zida za zaštitu od buke  
(Autor rada)



**Slika 9.** Primer obostrano postavljenih zidova, efekat tunela  
(Autor rada)

Dugačke poteze sa obostrano postavljenim zidovima treba izbegavati, ali to je u praksi česta pojava. U takvim slučajevima treba naročitu pažnju obratiti na njihov dizajn (izbor boja, primena kombinacije sa transparentnim panelima, usaglašen ritam promene dizajna, korišćenje zasada). Na ovaj način može se ublažiti efekat tunela i izbeći monotonost.

Promena visine zidova, naročito onih uz samu ivicu puta nije poželjna. Ukoliko su potrebne primeniti ih u jednakom i kontrolisanom ritmu. Poželjno je da se povećanje visine zida rešava stepenastim prelazom od pola metra ili visinom jednog panela. Skokovitost gornje ivice zida ne sme se poklopiti sa prevojem na terenu. Velike promene u visini zida mogu se izvesti i preklapanjem zidova.

U horizontalnom smislu treba nastojati da zid bude paralelan putu kad god je to moguće. Na taj način on "prati" horizontalne elemente puta i ne ugrožava vozačevu percepciju prilikom vožnje.

Zidovi koje je neophodno postaviti u usecima, lociraju se neposredno uz ivicu kosine useka. U takvim slučajevima oni su najčešće u blizini samih objekata koji se štite, neretko na samim međama imanja. Tada je potrebno njihov dizajn uskladiti sa takvom ulogom i, ako je moguće, ozeleniti ih.

Zidovi koji se postavljaju na mostovskim konstrukcijama imaju ograničenja u pogledu visine i preporuku za upotrebu transparentnih materijala. Kod manjih mostova, do 30 metara, poželjno je zadržati rastojanje zida u odnosu na ivicu puta kao pre i posle mosta, po cenu odstupanja od propisanog profila mosta i povećanih troškova.

Dobro oblikovani zidovi podrazumevaju doslednost duž koridora, što ne znači da svi zidovi treba da budu identični. Kontinuitet podrazumeva usklađenost izabраниh materijala, oblika, boja, detalja.

### 3.3. Materijali i završna obrada

Izbor materijala i završne obrade najviše utiče na konačan izgled zida. Svaki material ima karakteristike koje uslovljavaju oblikovanje i krajnji izgled zida. Pri izboru materijala i završne obrade, pored estetskog kriterijuma, treba imati u vidu i trajnost, promene koje nastaju u toku vremena, otpornost na grafite, jednostavnost održavanja i eventualne promene elementa. Pored ovoga, preporuka je da se izaberu lokalno prisutni i dominantni materijali koji će biti dobro prihvaćeni od lokalnog stanovništva i najbolje se uklopiti u okolinu.

Prilikom izbora završne obrade mora se obratiti pažnja na sprečavanje pojave odsjaja tj. refleksije svetlosti kao i otpornost na grafite. Antigrafitni premazi koji se navode u specifikaciji mnogih proizvođača panela odnose se na jednostavnost uklanjanja grafita. Izbor završne obrade značajna je kada su grafiti u pitanju. Gruba tekstura panela neprivaćna je za iscrtavanje grafita, ali se i teško čisti, dok glatka površina privlaći crtaće grafita, ali se i lakše čisti.

### 3.4. Boje

Osnovni izgled zida pre svega zavisi od izbora boja panela i uticaja svetlosti. Uklapanje boja u sliku zida, okolinu i prirodu od velikog je znaćaja. Upotrebom prirodnih materijala (kamen, drvo, opeka) izbegava se naknadno bojenje, obezbeđuje se uklapanje u prirodno okruženje i održavanje je jednostavnije. Bojeni elementi posle izvesnog vremena dobijaju zapušten izgled ako se ne održavaju.



**Slika 10.** Primer loše održanih bojenih zidova

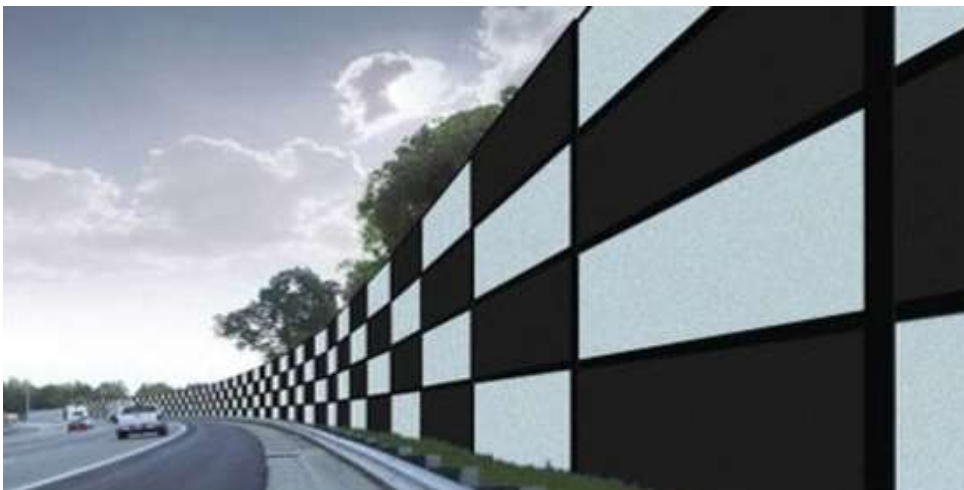
Zavisno od izabranog materijala imamo razlićit spektar boja na raspolaganju. Najveći izbor boja je na raspolaganju pri primeni metalnih, odnosno aluminiskih panela. Tada možemo koristiti sve RAL-ove boje. Kada su u pitanju betonski paneli izbor je sužen na boje betona i zagasite nijanse tzv. zemljane boje. Transparentni paneli takođe mogu biti u boji uz poštovanje određenog procenta providnosti.

Preporuka je da se koriste boje koje su prisutne u okruženju uz izuzetak kada se želi "oživeti" prostor, tada se koriste kontrastne boje. Iskustvo pokazuje da primena svetlih boja zahteva veće umeće. Ne trebaju se koristiti signalne boje, kombinacija crne i bele boje, pastelni tonovi koji u startu izgledaju izbledele. Veliku pažnju treba obratiti na izbor nijansi zelene boje, samo nekoliko se harmonićno uklapa sa tonovima u prirodi.

Znaćaćkom kombinacijom boja mogu se ublaćiti gabariti zida. Visoki zidovi izgledaće niže ukoliko se gledano od podnožja zida koriste tamnije nijanse, a prema vrhu, svetlije. Kod niskih i kratkih zidova treba izbegavati primenu više razlićitih boja i njihovu čestu promenu.



**Slika 11.** *Primer transparentnih panela u boji*  
(<http://www.ausq.com.au>)



**Slika 12.** *Primer primene crne i bele boje panela*



**Slika 13.** *Primer nijansiranja zida od tamnijih ka svetlijih nijansi*  
(<https://signalsistem.hr>)

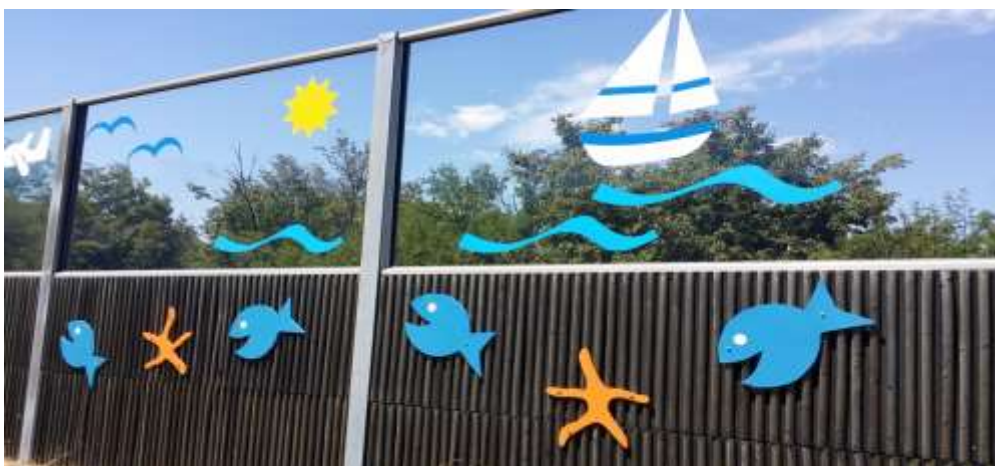
### 3.5. Dekoracija

Primena dekorativnih elemenata zahteva posebno umeće i obazrivost. Ovakvi elementi privlače pažnju što može predstavljati problem prilikom vožnje. Potrebno je naći balans između upotrebe dekorativnih detalja i bezbednosti. Primena elemenata kojima se imitira priroda jako je rizična i vrlo često neuspešna.





**Slika 14.** Primer dobro upotrebljenih dekorativnih elemenata  
(<https://www.fhwa.dot.gov>)



**Slika 15.** Primer loše upotrebljenih dekorativnih elemenata  
(<http://www.konzalting.com>)

Zidovi se mogu uspešno dekorisati, naročito u urbanim sredinama i primenom unapred osmišljenih grafita.



**Slika 16.** Primer primene grafita

Nešto skuplje rešenje je aplikacija fotografija na aluminijske panele.



**Slika 17.** *Primer aplikacije fotografije na panele  
(Autor rada)*

### 3.6. Ozelenjavanje

Hortikulturno uređenje prostora ispred i iza zidova za zaštitu od buke je poželjno iz više razloga. Sadnjom određenih biljnih vrsta može se značajno uticati na bolje uklapanje zida u prirodno okruženje, dok se u urbanim sredinama na ovaj način može oplemeniti prostor.

Sadnja i ozelenjavanje naročito je poželjno sa strane zida okrenutoj ka stanovništvu, naročito kada su objekti u neposrednoj blizini.



**Slika 18.** *Primer ozelenjavanja sa strane ka domaćinstavima*

Ozelenjavanje je nemoguće primeniti kod zidova u neposrednoj blizini ivice puta, dok je kod onih koji su udaljeni vrlo poželjno. Uslov za primenu sadnje je primena panela koji ne zahtevaju održavanje tokom vremena s obzirom da će im biti onemogućen pristup bujanjem biljaka.





**Slika 19.** *Primer ozelenjavanja*

Ozelenjavanje zidova za zaštitu od buke zahteva primenu ograničenog broja biljaka koje su otporne na specifične uslove i svakako zahteva određeno pojačano održavanje i negu. Zbog toga se retko primenjuje na autoputevima dok se u urbanim sredinama češće upotrebljava.



**Slika 20.** *Primer neuspešne primene ozelenjavanja*

#### **4. ZAKLJUČAK**

Oblikovanje zidova za zaštitu od buke zasluži ravnopravno mesto sa svim ostalim zahtevima koji se uvažavaju u procesu projektovanja ovih konstrukcija. Zanemarivanje ovog aspekta u fazi projektovanja dovodi do stvaranja prostora da se o ovom odlučuje u fazi izvođenja gde se uvek bira jeftino rešenje. U našim uslovima veliko ograničenje predstavlja i mali izbor vrsta panela za zaštitu od buke. Sa obzirom da smo u odnosu na decenisko iskustvo u izgradnji zidova u svetu, mi još na samom početku, nadam se da će napredak u pristupu projektovanju biti ubrzan.



**Slika 21.** Zidovi za zaštitu od buke budućnosti  
(<https://weburbanist.com>)

## Literatura

- [1] Wall design guidelines: <http://www.rms.gov.au>.
- [2] Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji: <http://www.putevi-srbije.rs>

## КРИТЕРИЈУМИ ЗА ОЦЕНУ УТИЦАЈА ПУТЕВА I И II РЕДА НА ЗАШТИЋЕНА ПРИРОДНА И КУЛТУРНА ДОБРА

Име аутора – Бакић Давид<sup>1</sup>, Богићевић Душица<sup>2</sup>, Вуковић Ивана<sup>3</sup>, Јеличић Мимоза<sup>4</sup>, Ковачевић Драган<sup>5</sup>, Ложајић Александар<sup>6</sup>

**Резиме:** Рад се односи на приказивање једног дела студије која је израђена за потребе ЈП Пuteви Србије са насловом: „Утицај путева I и II реда на заштићена природна и културна добра“. Фокус рада се односи на методолошке аспекте и критеријуме за процену степена угрожености заштићених природних и културних добара од стране неповољних утицаја које могу имати путеви I и II реда.

Неповољни утицаји које активности саобраћаја могу имати на природна добра и културну баштину су приликом израде студије узети у разматрање као појединачни и као кумулативни са циљем да се препознају критичне тачке на које би ЈП Пuteви Србије као институција задужена за одржавање путне инфраструктуре посебно обратили пажњу у смислу примене одговарајућих техничких и организационих мера заштите.

Опсег студије је комплетна територија Републике Србије, односно сва заштићена добра на која би путеви I и II реда теоријски могли да имају утицај.

За потребе студије аутори су развили матрицу за процену степена угрожености од елемената који су били доступни.

На основу матрице за процену степена угрожености и добијених резултата, интензитет утицаја путева је подељен у четири категорије: занемарљив, мали, умерен и изражен.

**Кључне речи:** Процена утицаја, путеви, заштићена добра, степен угрожености.

## CRITERIA FOR IMPACT ASSESSMENT OF THE ROADS OF I AND II ORDER ON PROTECTED NATURAL AND CULTURAL AREAS

Full name of the authors – Bakić David, Bogićević Dušica, Vuković Ivana, Jeličić Mimoza, Kovačević Dragan, Ložajić Aleksandar.

**Abstract:** This paper is a presentation of a part of the elaborate developed for PE Roads of Serbia entitled 'Impacts of the roads of I and II order on protected natural and cultural sites'. The paper focuses on methodological aspects and criteria for the assessment of vulnerability degree of protected areas and immobile cultural sites, influenced by negative impacts caused by the roads of I and II order.

Negative impacts from traffic activities on natural protected areas and cultural heritage were assessed as singular and cumulative with the purpose of determination of critical hotspots which would require special attention by PE Roads of Serbia, institution in charge of the maintenance of road infrastructure, in the sense of application of adequate technical and organizational measures for protection.

Scope of the elaborate was whole territory of the Republic of Serbia, meaning all protected natural areas and cultural sites which could theoretically be affected by the roads of I and II order.

For the purpose of the elaborate, the authors developed a matrix for the assessment of vulnerability degree from the available elements.

Based on the matrix for the assessment of vulnerability degree and obtained results, the intensity of the impact of the roads was divided into four categories: insignificant, small, moderate and high.

**Key words:** impact assessment, roads, protected areas, degree of vulnerability

### 1. УВОД

<sup>1</sup> Деконта д.о.о., david.bakic@yahoo.com – аутор задужен за кореспонденцију

<sup>2</sup> ЈП Пuteви Србије, dusica.bogicevic@putevi-srbije.rs

<sup>3</sup> ЈП Пuteви Србије, ivana.vukovic@putevi-srbije.rs

<sup>4</sup> ЈП Пuteви Србије, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

<sup>5</sup> Деконта д.о.о., envi.dragan.kovacevic@gmail.com

<sup>6</sup> Деконта д.о.о., a.lozajic@dekonta.rs

Циљ израде студије: „Утицај путева I и II реда на заштићена природна и културна добра“ је да пружи прецизне податке о постојању, положају и особинама сваког регистрованог заштићеног природног подручја и непокретног културног добра на територији Републике Србије, при чему се положај одређује у UTM географском координатном систему и у односу на државне путеве. У оквиру израде студије било је неопходно одредити критеријуме који би довели у однос путеве I и II реда са једне стране, и заштићена природна и културна добра са друге стране. Међународна доступна литература из области процене утицаја се углавном бави аспектима процене утицаја на животну средину за пројекте који су у процесу планирања [5,6,7]. Задатак је овде био другачији: требало је развити критеријуме који су довољног нивоа опшности да могу да покрију целу територију Републике Србије и сав диверзитет њеног природног и културног наслеђа.

У студији су на постојећој мрежи државних путева евидентирана критична места на којима може доћи до деградације заштићеног добра. На основу података из Студије, управљач пута ће моћи да сагледа све факторе утицаја одвијања саобраћаја на заштићено добро и да на негативне делује превентивно, а позитивне да подстиче. Студија треба да да основу за наредне кораке управљача пута у погледу заштите животне средине на угроженим локацијама (израда акционих планова заштите, студија затеченог стања, израда планова мониторинга и сл.) [1,2].

Категорије заштићених природних добара према законодавству Републике Србије (Закон о заштити природе („Службени гласник РС“, број 36/09 и 88/10 и 91/10-исправка) су:

- Национални паркови,
- Паркови природе,
- Предела изузетних одлика,
- Општи и специјални резервати природе,
- Споменици природе,
- Заштићена станишта.

Поред природних добара заштићених у националним оквирима, у Србији су издвојена и заштићена подручја која су значајна сходно међународним прописима:

- Рамсарска подручја, влажна подручја заштићена према Рамсарској конвенцији о заштити мочварних подручја од међународног значаја, нарочито као станишта птица мочварица,
- Резервати биосфере су подручја копнених и обалских/морских екосистема која су у оквиру MAB (Man and the Biosphere) програма. Резервати биосфере су од кључног значаја за остваривање одрживе равнотеже између понекад сукобљених циљева очувања биолошке разноврсности, промовисања економског развоја и очувања културних вредности,
- Емералд европска еколошка мрежа на основу Конвенције о очувању европске дивље флоре и фауне (Бернска конвенција),
- UNESCO подручја заштите природне баштине према програму MAB (Man and the Biosphere),
- IPA-Important Plant Areas подручје од међународног значаја за биљке,
- IBA Important Bird Area међународно значајна подручја за птице,
- PBA-Prime Butterfly Areas подручја за дневне лептире.

Еколошка мрежа Србије за сада садржи 101 еколошки значајно подручје, која су издвојена на предлог Завода. У оквиру прелиминарне мреже уврштена су заштићена природна добра, добра у поступку заштите, и она која су планирана за заштиту, односно подручја значајна са становишта очувања ретких и угрожених врста и њихових станишта, и примене међународних конвенција чији је Србија потписник. Такође су, у састављању листе подручја која чине еколошку мрежу Србије, узета су у обзир: 61 „Емералд“ подручје (номинована за „Емералд“ европску еколошку мрежу коју чине подручја од посебног интереса за очување европске дивље флоре и фауне и њихових природних станишта, на основу Бернске конвенције); рамсарска подручја (која су на основу Рамсарске конвенције, тј. „Конвенције о заштити мочварних подручја од међународног значаја, нарочито као станишта птица мочварица“ проглашена за међународно значајна влажна подручја); подручја од међународног значаја за биљке (61 Important Plant Areas), значајна подручја за птице (у оквиру програма Important Bird Area IBA издвојена су 42 подручја) и одабрана подручја за дневне лептире (Prime Butterfly Areas PBA - 40 подручја).

Према подацима са сајта Завода за заштиту природе Србије на основу примењених мера институционалне заштите природе током више од шест деценија, површина заштићених подручја у Србији тренутно износи 662.435 ha, односно 7,9% територије Србије. Под заштитом се налази 461 заштићено подручје (новембар 2015. године):



- 5 националних паркова,
- 18 паркова природе,
- 20 предела изузетних одлика,
- 68 резервата природе,
- 3 заштићена станишта,
- 310 споменика природе,
- 38 подручја од културног и историјског значаја која су заштићена на основу ранијег Закона о заштити животне средине и Закона о заштити споменика културе.

Према Закону о културним добрима („Службени гласник РС“, број. 71/94, 52/2011 и 99/2011), непокретна културна добра су:

1. споменици културе,
2. просторне културно-историјске целине,
3. археолошка налазишта,
4. знаменита места.

У централном регистру Завода за заштиту споменика културе тренутно је уписано 2531 непокретних културних добара, од тога 2188 споменика културе, 75 просторно културно-историјских целина, 191 археолошко налазиште и 77 знаменитих места.

Категорисаних непокретних културних добара има 782 од чега су 200 од изузетног значаја а 582 од великог значаја.

Међу непокретним културним добрима од изузетног значаја налази се 155 споменика културе, 11 просторно културно-историјских целина, 18 археолошких налазишта и 16 знаменитих места, а међу непокретним културним добрима од великог значаја 512 споменика културе, 28 просторно културно-историјских целина, 25 археолошких налазишта и 17 знаменитих места.

## 2. МЕТОДЕ ПРИКУПЉАЊА ПОДАТАКА

На основу циља израде студије и с обзиром на потребу приказа података о постојању, положају и особинама регистрованих заштићених природних подручја и непокретних културних добара на територији Републике Србије, аутори су развили ГИС (географски информативни ситем).

Аутори су користили јавно доступан софтвер QGIS (верзија 2.8.11) за израду базе података, израчунавања и графички приказ односа државних путева I и II реда и заштићених природних и културних добара.

Просторни распоред елемената у ГИС-у је приказан у државном координатном систему WGS 84 UTM зона 34N.

Просторни модели су приказани у облику вектора и растера. Векторски подаци су представљени као тачке, линије и полигони, и снимани су у оквиру појединачних shapefile фајлова, подесним за даљу манипулацију, допуњавање/мењање садржаја и коришћење у великом броју софтверских алата за обраду.

За израду ГИС-а коришћене су следеће подлоге:

- Shapefile са просторним распоредом државних путева I и II реда и припадајућим информацијама о дужини деонице, почетним и завршним чвориштима, итд;
- Shapefile са саобраћајним чвориштима са припадајућим информацијама;
- Shapefile-ови са просторним распоредом заштићених природних добара (полигони и тачке), природних добара у поступку заштите као и припадајућим информацијама о типу заштите и године проглашења;
- ПГДС за 2016. годину.

Подлоге које су развили аутори су обухватале следеће:

- Просторни распоред дела заштићених непокретних културних добара и друге информације од значаја које су добијене од стране Републичког завода за заштиту споменика културе, као и од локалних Завода за заштиту споменика;
- Просторни распоред дела заштићених непокретних културних добара са сајта Националног центра за дигитализацију.

Услед непостојања обједињене базе дигитализованих података о непокретним културним добрима у Републици Србији, подаци о позицији непокретних културних добара су поред података од стране релевантних државних институција прикупљани и преко јавно доступних сајтова/удружења/мапа и излацима на терен уколико су услови то дозвољавали. Аутори су успели да идентификују координате за 2497 непокретних културних добара од укупно 2541, односно нису пронађене координате за нешто мање од 1% непокретних културних добара која се налазе на списку Републичког завода за заштиту споменика културе.

### **3. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ОЦЕНУ УТИЦАЈА ПУТЕВА I И II РЕДА НА ЗАШТИЋЕНА ПРИРОДНА И КУЛТУРНА ДОБРА**

#### **3.1. Критеријуми за процену степена угрожености заштићена природна добра**

Процена укупних утицаја путева I и II реда је посматрана са аспекта укупног утицаја пута на заштићена природна добра у смислу да нису посматрани различити апсекти животне средине на које би путеви могли да имају утицај независно, у смислу буке, светлости или вибрације или различита загађења ваздуха од издувних гасова превозних средстава [12], него свеукупно. За потребе израде студије која обухвата сва заштићена природна добра у Србији без обзира на њихове карактеристике, односно опсег истраживања је обухватао целу Републику Србију, методологија је фокусирана пре свега на критеријум "Удаљености", а затим на карактеристике заштићених природних добара.

Код заштићених природних добара за процену степена угрожености је коришћена матрица која има 6 елемената.

Елементи за оцењивање степена угрожености одређени су на следећи начин:

1. Удаљеност – скала оцена је изведена на основу уобичајне праксе у израдама стратешких процена утицаја на различите аспекте животне средине у којима се обично дефинишу појасеви утицаја на до 1500м удаљености од основе пута или железничке пруге. Скалирање оцена је изведено на начин да степен угрожености заштићеног природног добра кроз које пролазе путеви I и II реда или се налазе у непосредној близини путева I и II реда добија највишу оцену, док је угроженост од путева I и II реда који су на дистанцама већим од 1,5км занемарљиви односно непостојећи.
2. ПГДС – скала оцена је добијена нормалном расподелом у ГИС програму да би се добила оптерећеност пута. Скалирање оцена је такво да су најоптерећенији путеви добили највише оцене, док су најмање оптерећени добили најниже оцене. У случајевима када кроз заштићено природно добро пролази више путева I и II реда за које су подаци о ПГДС доступни, број на који се примењивало оцењивање је представљао аритметичку средину свих доступних података. Корекција расподеле у ГИС програму је извршена заокруживањем.
3. Густина путне мреже путева I и II реда – критеријум густине путне мреже се добија дељењем дужине путева I и II реда са површином заштићеног природног добра. Излазни податак је број километара по километру квадратном [15,16].
4. Густина мреже водотокова – критеријум густине мреже водотокова се добија дељењем укупне дужине водотокова са површином заштићеног природног добра кроз који протичу. Излазни податак је број километара по километру квадратном [15,16].
5. Врста заштићеног природног добра – по овом критеријуму врсте заштићених природних добара су рангиране на основу врсте заштите које уживају по закону о заштити природе, где су највеће оцене добила природна добра која имају најстрожије рестрикције по људске активности
6. Међународни степен заштите – заштићена природна добра у Србији имају различите карактеристике као основу заштите. Овај критеријум је постављен да што је већи број различитих карактеристика статуса заштићених подручја за птице, дневне лептире, слепе мишеве или влажна станишта, то подручје добија већу оцену.

Овакав избор категорија које ће се користити у процени степена угрожености заштићених природних добара базиран је на уобичајној пракси процена стања заштићеног подручја [11, 12]. Елемент који је

везан за хидрологију заштићеног природног подручја је значајан пре свега са аспекта утицаја путева I и II реда на фауну заштићеног природног подручја [8,12,13]. Животињске врсте које имају релативно мали ареал кретања као што су различите групе водоземаца, рептила и инсеката, су везане за воду у различитим ступњевима животног циклуса или за потребе различитих животних функција [10,13,14,15]. Пошто је цела каскада у ланцу исхране везана за воду, посредно се може очекивати и већи број животињских група које имају веће ареале кретања као што су птице или сисари. Посебну врсту утицаја на фауну у овом смислу имају мостови који могу имати ефекат на смањење природних ефеката баријере који би постојали у одређеном екосистему, с тим у вези је за очекивати да ће утицај пута на месту прелаза бити значајан због повећаног броја контаката фауне и антропогених фактора [8,9, 13,14].

Критеријуми који је директно везан за путеве густина путне мреже је постављен да би се могла проценити оптерећеност заштићеног природног добра постојањем путева [15,16].

Степен угрожености за заштићено природно добро, у случају постојања података за ПГДС добија се сабирањем оцена из свих 6 категорија, с тим што је у обрачунавању оцена категорија "Удаљеност" служила као елиминациони критеријум за категорију "ПГДС". Овај фактор је урачунат из разлога што интензитет саобраћаја не може доћи до изражаја у смислу утицаја на заштићено природно добро уколико је то добро превише удаљено од пута, тако да ако је удаљеност добра већа од 1.5км, оцена за категорију "ПГДС" је аутоматски 0.

**Табела 1. Матрица за оцењивање степена угрожености за заштићена природна добра**

Оцена	Удаљеност (м)	ПГДС	Густина путне мреже (м/м <sup>2</sup> )	Густина мреже водотокова (м/м <sup>2</sup> )	Врста заштићеног природног добра	Међународна заштита (Рамсар, IBA, IPA, PBA)
0	Преко 1500м	0-3000	0 - 0,0001739	0 - 0,0006265	/	Ни једно од наведених
1	500м-1500м	3000-6000	0,0001739 - 0,0006349	0,0006265 - 0,0026261	Споменик природе	Једно од наведених
2	150м-500м	6000-12000	0,0006349 - 0,0016994	0,0026261 - 0,0066324	НП, ПИО, ПП	Два или три од наведених
3	Мање од 150м	Преко 12000	0,0016994 - 0,0035594	0,0066324 - 0,0115359	СтПР, СРП, ЗС	Сва четири

Скале оцена су за све елементе осим за "Удаљеност" добијене нормалном расподелом у ГИС програму у четири класе.

Скала утицаја је направљена на начин да је максимални степен угрожености природног добра 18, колико је износи збир свих оцена. Скала се конвертује у табелу утицаја како би се добили приоритети за даље деловање, односно стекао утисак на којим местима постоји изражен утицај путева.

**Табела 2. Скала утицаја у зависности од степена угрожености за заштићена природна добра**

Степен угрожености	Утицај	Степен угрожености	Утицај
1	Занемарљив	9	Мали
2	Занемарљив	10	Умерен
3	Занемарљив	11	Умерен
4	Занемарљив	12	Умерен
5	Занемарљив	13	Умерен
6	Мали	14	Изражен

7	Мали	15	Изражен
8	Мали	16	Изражен
9	Мали	17	Изражен
10	Умерен	18	Изражен

У случајевима где нису постојали подаци за ПГДС за путеве I и II реда који пролазе кроз или су у близини заштићених природних добара овај параметар је рачунат са оценом 0, односно исто као да је ПГДС до броја 3000. Ова непрецизност проузрокована недостатком података нема значајан утицај на процену утицаја путева I и II реда на посматрана заштићена природна добра, тако да и у случају да су подаци били у потпуности доступни и комплетни одступање од прорачунатих степена угрожености вероватно не би било драстично.

Оно што треба имати у виду приликом одређивања степена угрожености за категорију споменика природе је да су то углавном појединачна стабла од значаја, односно нису у питању делови ширег екосистема заштићеног подручја. У међународној литератури која је била доступна ауторима студије нису нађене паралеле које би биле корисне приликом одређивања критеријума у предметној студији. Такође обзиром да су у питању споменици природе мале површине могућности за смањење утицаја путева I и II реда на конкретне заштићене споменике природе су релативно ограничена, обзиром да су у питању углавном појединачни организми, ређе групе дрвенстих биљака (чији је просторни распоред опет такав да су графички представљене као једна тачка, а не као површина).

### 3.2. Критеријуми за процену степена угрожености заштићена непокретна културна добра

Критеријуми који се односе на процену утицаја путева I и II реда се пре свега односе на удаљеност одређеног заштићеног културног добра од пута. Сума свих утицаја које пут може да има на одређено заштићено културно добро који су описани у литератури [17,18,19] и обрађивани приликом поступака процена утицаја на животну средину и стратешких процена утицаја [1,2,4] се могу свести на удаљеност заштићеног добра од пута. На ову врсту методолошке синтезе извођач се одлучио из разлога што је географски обухват студије знатно већи него што је то уобичајно у пракси израде студија утицаја на животну средину, односно у конкретном случају обухвата комплетну територију Републике Србије. Такође, у односу на уобичајни приступ за процену утицаја који се ради пре изградње одређених инфраструктурних објеката, у случају ове студије методологија је требало да обради већ постојеће стање. У том смислу израђена методологија за квантитативну процену је много ближа концепту студије затеченог стања него концепту студије процене утицаја на животну средину.

Удаљеност као главни критеријум је добијена мерењем преко рачунарских операција у ГИС-у.

Следећи критеријум који је послужио за оцењивање степена угрожености је ПГДС, за деонице путева где је овај податак доступан. Пошто је овај податак битан и може имати значајан удео у утицају који путеви I и II реда могу имати на заштићено културно добро, у смислу интензитета буке, вибрација, количине издувних гасова и осталих могућих утицаја, посебно су посматрана културна добра којима су најближи путеви I и II реда за које постоји податак о ПГДС, док су одвојено посматрана заштићена културна добра код којих за најближе путеве овај податак није био доступан.

**Табела 3. Матрица за оцењивање степена угрожености за заштићена непокретна културна добра:**

Оцена	Удаљеност	ПГДС	Категорија важности	Датовање НКД
0	Преко 1500м	0-3000	/	XX век
1	500м-1500м	3000-6000	НКД	од 1804. године
2	150м-500м	6000-12000	Велики значај	од 1453. године
3	Мање од 150м	Преко 12000	Изузетан значај	пре 1453. године

Критеријуми за оцењивање категорије одређени су на следеће начине:

*Удаљеност* – скала оцена је изведена на основу уобичајне праксе у израдама стратешких процена утицаја на различите аспекте животне средине у којима се обично дефинишу појасеви утицаја на до 1500м удаљености од основе пута или железничке пруге [1,2,3,11,16]. Скалирање оцена је изведено тако да степен угрожености заштићеног културног добра у непосредној близини путева I и II реда добија највишу оцену, док је угроженост од путева I и II реда који су на већим дистанцама од 1,5км занемарљиви, односно непостојећи.

*ПГДС* – скала оцена је добијена нормалном расподелом у ГИС програму да би се добила оптерећеност пута. Скалирање оцена је такво да су најоптерећенији путеви добили највише оцене, док су најмање оптерећени добили најниже оцене. Нормална расподела је коригована заокруживањем на најближу цифру како би елемент био видљивији у графичком представљању.

*Категорија важности* – Ову категорију препознаје Закон о културним добрима и сва евидентирана културна добра су подељена у 3 категорије важности. У овом случају овај критеријум треба више схватити у правцу одређивања приоритета за мере које треба предузети него као интензитет утицаја, односно његова важност се пре свега огледа у одређивању хијерархије приоритета активности на заштити непокретних културних добара. Премиса од које се пошло у одређивању скале за ову категорију је да свако заштићено културно добро има важност по себи, стога не постоји оцена 0, услед чега је минимални степен угрожености културног добра по овом критеријуму 1, чак и у случајевима када су путеви I и II реда удаљени више од 1,5км.

*Датовање непокретних културних добара* – овај критеријум је формиран на основу података које је уступио Републички завод за заштиту споменика културе. У овим подацима је у табеларном приказу било доступно датовање непокретних културних добара. Логика овог критеријума је базирана на временској димензији кумулативног трпљења утицаја и различитих врста грађе објеката који су подизани кроз различите временске епохе, али пре свега постављен је на основу онога што је у грађевинској индустрији познато као *замор материјала*. Ова чињеница се односи пре свега на претпоставку да је старија грађа подложнија утицајима из средине, укључујући ту и утицаје путева, него непокретна културна добра са новијим датумом настанка. У складу са наведеним, скала рангирања је постављена тако да су сва непокретна културна добра која су датована пре 1453. године (година пада Константинопоља је узета за граничну годину, пошто међу историчарима не постоји консензус о томе који се догађај узима као крај Средњег века) добила оцену 3. Ово укључује Средњи век, антику и праисторију (готово сва археолошка налазишта су добила оцену 3). Оцена 2 је предвиђена за непокретна културна добра која су настала између 1453. године и 1804. године (1804. година је узета као почетак обнове српске државности, а поклапа се са почетком XIX века). Оцена 1 је предвиђена за сва непокретна културна добра која су настала у XIX веку. Оцену 0 су добила непокретна културна добра која су настала у XX веку, базирано на томе да су већина објеката у статусу непокретног културног добра из овог периода грађевине које су од модернијих материјала и стога су отпорније на спољашње утицаје у односу на добра из претходних периода која су углавном од камене и дрвне грађе.

Степен угрожености за непокретно културно добро у случају постојања података за ПГДС се добија сабирањем оцена из све четири категорије, с тим што је у обрачунавању оцена категорија "Удаљеност" служила као елиминациони критеријум за категорију "ПГДС". Овај фактор је урачунат зато што интензитет саобраћаја не може доћи до изражаја у смислу утицаја на заштићено културно добро уколико је то добро превише удаљено од пута, тако да ако је удаљеност добра већа од 1.5км, оцена за категорију "ПГДС" је аутоматски 0.

Скала која претвара степен угрожености по критеријумима у утицај путева је следећа

**Табела 4.** Скала утицаја у зависности од степена угрожености за заштићена културна добра

Степен угрожености	Утицај	Степен угрожености	Утицај
1	Занемарљив	7	Умерен
2	Занемарљив	8	Умерен

3	Занемарљив	9	Умерен
4	Мали	10	Изражен
5	Мали	11	Изражен
6	Мали	12	Изражен

Сврха ове конверзије је одређивање приоритета активности које би ЈП Путеви Србије требало да предузму са становишта смањивања негативних утицаја путева којима управљају на заштићена културна добра.

#### 4. МЕТОДОЛОШКА ОГРАНИЧЕЊА

##### 4.1. Заштићена културна добра тачка-полигон

Методолошка грешка која утиче на егзактност везана за утицај путева I и II реда на заштићена културна добра огледа се у томе што постоје заштићена културна добра која обухватају површину већу него што је површина просечне цркве или куће (које су уједно и најзаступљенији случај међу културним добрима), а приликом геореференцирања (за потребе одређивања утицаја путева) су означене као тачкасте у смислу координата, а не као полигони. Пре свега, ово се односи на одређене археолошке локалитете који могу заузимати више хектара, тврђаве и рушевине градова из ранијих епоха, али и на Просторне културно-историјске целине које обухватају језгра старих градова или сличне локације.

У Одлукама о утврђивању одређеног добра за заштићено културно добро, које доноси Република Србија или нижи органи управе, као минимална зона заштите која се наводи, односно као просторно одређење, стоји катастарска парцела на којој се добро налази. У зависности од типова културних добара у неким Одлукама је наведена и шира зона заштите коју обично обухватају катастарске парцеле које су у непосредној близини заштићеног културног добра.

Већој егзактности процене утицаја путева I и II реда би допринело када би заштићена културна добра била представљена у полигонима који осликавају њихову стварну површину. Током трајања израде ове студије, на Геопорталу Србије је постала доступна *Национална инфраструктура геопросторних података* која је до краја израде студије била у тест фази. Геопортал Србије нуди опцију прегледа катастарских парцела, уз напомињање одређених ограничења везаних за прецизност података. Извор података за Геопортал Србије је Републички геодетски завод.

##### 4.2. Заштићена добра - недостатак ПГДС за најближе путеве

Доступност података везаних за ПГДС није био на нивоу који је довољан за свеукупну анализу утицаја путева I и II реда на заштићена природна и културна добра. Од изграђених путних деоница којих има 1851, ПГДС је био доступан за 944 деонице што чини 50.99%. Ова доступност података је условила измену критеријума која се огледа у томе да за један број утицаја постоје само критеријуми категорисане важности заштићеног културног добра и удаљености тог добра од најближег пута. Егзактност процене овог утицаја би требало да буде коригована у смеру додавања критеријума о промету на путевима тамо где та информација недостаје.

##### 4.3. Заштићена културна добра која нису узета у разматрање за оцењивање

Полазни извор података о заштићеним непокретним културним добрима су спискови који се налазе на сајту Републичког завода за заштиту споменика културе где постоји 6 спискова у форми табела, од којих су 4 списка везана за врсту културног добра, док су 2 списка за категорије важности: *велик значај* и *изузетан значај*.

Током израде студије установљено је да одређени број непокретних културних добара не може бити узет у разматрање за процену утицаја путева I и II реда из различитих разлога који се могу груписати у четири групе.



*Прва група* – прву групу чине углавном археолошка налазишта и мањи број споменика културе који су наменски потпољени за потребе акумулације хидроелектрана. Највећи број су локалитети из римског периода који су се налазили на лимесу на подручју које је сада акумулација за хидроелектране на Дунаву, односно хидроелектрану Ђердап I. Стварање акумулације је извршено 1966. и од тада су ова заштићена непокретна културна добра под водом, самим тим одређивање утицаја које би на њих могли да изврше путеви I и II реда не би било методолошки целисходно. У ову групу спада и Ваљевска Грачаница која је потпољена за време изградње акумулације Стубо-Ровни.

*Друга група* – у другу групу спадају непокретна културна добра која су уништена у периоду од 1999. на Косову и Метохији. Нажалост, овој групи прпадају и цркве које су проглашене за непокретна културна добра од изузетног значаја.

*Трећа група* – у трећу групу спадају добра за која се током израде студије испоставило да су срушена или да не постоје из различитих разлога. Верификација непостојања ових непокретних културних добара је добијена на основу анализе просторних планова и других планских докумената општина у којима су се налазила или на основу информација добијених од регионалних завода за заштиту споменика културе. Највећи број ових културних добара су куће које су заштићене као примери урбане или сеоске архитектуре.

*Четврта група* – се односи на мали број непокретних културних добара чија локација током трајања израде студије није могла бити прецизирана. За ова непокретна културна добра надлежни регионални заводи тренутно не располажу подацима о тачној локацији.

## 5. МОГУЋЕ ДОПУНЕ МЕТОДОЛОГИЈИ

Узевши у обзир релативно ограничено време за израду методологије и целе студије, смислено би било наставити рад на утврђивању утицаја путева на заштићена природна и културна добра и у квалитативном смислу, пошто је акценат методологије на овом нивоу на квантитативном карактеру и сагледавању ситуације.

Квалитативан аспект методологије би омогућио много прецизнији и сврсисходнији алат за стратешко планирање даљих путних праваца и за оперативно одржавање текућих путних праваца са аспекта заштите животне средине и културне баштине.

Подаци који директно недостају из мониторинга животне средине односе се на могуће утицаје путева у фази експлоатације односно редовног и периодичног одржавања путева на биљни и животињски свет, су од велике важности за прецизније сагледавање ситуације. Најзначајнији утицаји на биљни и животињски свет током ових фаза су [4,10,11,12,13]:

- фрагментација станишта,
- пресецање миграторних путева,
- утицај буке и вибрација на животињски свет у подручју пута,
- утицај загађења ваздуха на биљни свет у непосредној близини пута,
- директни и индиректни утицаји уља, горива, тешких метала, соли и осталих супстанци које продиру у водено и копнено окружење,
- страдање животиња приликом судара са возилима и
- страдање водоземаца који се заглаве у сливницима. који би било врло значајни за процену утицаја

У даљем истраживању имало би смисла ући у садржај одређеног културног добра и са аспеката типа културног добра проценити потенцијални утицај путева [17,19]. Ово би се могло извести скалирањем заштићених културних добара у одређене категорије, пошто утицаји пута не могу бити исти на надгробни споменик и на цркву из средњег века или на родно место хероја из НОБ-а. За овакву квалитативну анализу постоје одређене смернице из међународне праксе за израду стратешких процена утицаја, с тим што се методологије које су наведене у тим праксама углавном односе на стратешко одлучивање приликом избора нових путних деоница. За успешну квалитативну анализу оваквог типа потребна је добра сарадња са надлежним институцијама и стручњацима из области културне баштине.

Такође, критеријум који се појављује често у међународним смерницама је старост одређених културних добара, с тим што се прави дистинкција археолошких налазишта у односу на историјске споменике, која би могла да се прилагоди и примени и на подручје Републике Србије.

Још један критеријум квалитативне анализе који би могао да се примени на заштићена непокретна културна добра је локација добара у односу на насеља. Критеријум би се могао образложити тиме да, уколико се неко заштићено добро налази у центру или у близини центра агломерације становништва, услед привредних активности становништва, утицаји које трпи то добро су значајно већи него што трпи заштићено добро које је ван урбанизованог подручја, односно изоловано. Са тог аспекта могући утицај путева (као и одговорност управљача пута) може бити већи на одређено заштићено добро из простог разлога што су други утицаји мањи од активности становништва, или их чак и нема.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Са становишта целисходности ефекта који би критеријуми објављени у овом раду, а и цела студија требало да имају у погледу одређења међусобних односа путева и заштићених добара, добијене резултате на основу ових критеријума је потребно упоредити са Стратешким проценама утицаја и Проценама утицаја на животну средину за путне деонице које су грађене од момента ступања на снагу одговарајућих закона о процени утицаја. Првенство у валоризацији утицаја на животну средину би требало да имају резултати и тврдње које су постулиране у Стратешким проценама утицаја и проценама утицаја на животну средину, које су добиле сагласност надлежних органа у односу на ову студију, јер је опсег посматрања утицаја на знатно вишем нивоу у односу на посебне деонице којима се баве посебне процене утицаја на животну средину. Оно што су доприноси ове студије којима се могу допунити закључци појединачних студија на животну средину би требало да буду управо шири контекст и узимање у обзир фактора као што су густина путне мреже и слично на које одређене посебне студије утицаја на животну средину понекад не обраћају пажњу.

Другачија перспектива посматрања студије која је резултате добила на основу критеријума наведених у раду доводи до тога да се тежиште погледа на утицаје премешта из тачке гледишта утицаја одређене путне деонице на све аспекте животне средине на тачку гледишта кумулативних утицаја свих путних деоница која пролазе кроз неко заштићено природно добро, односно посматрају се границе заштићеног природног добра као целина на коју одређене путне деонице врше утицај. Са становишта смањења утицаја већ постојећих путева овакав приступ би требало да олакша примену организационих и техничких мера за смањење негативних утицаја. Овде треба напоменути да се у обзир посматрања целине са овог аспекта могу укључити и сва заштићена културна добра која се налазе на територији заштићеног природног добра.

У односу на уобичајни приступ у процени утицаја на животну средину критеријуми из овог рада израђени за ниво општости територије државе добијају своју вредност у виду једне врсте пресека затеченог стања. Нарочито ако се узме у обзир да је путна инфраструктура која се користи углавном старија од Европске легислативе која је транспозицијом у законодавство Републике Србије донела обавезу процене утицаја на животну средину, тако да за многе путне правце процена добијена путем ових критеријума је прва процена могућих утицаја на животну средину.

Због недостатка докумената управо највећу корист критеријуми имају за управљаче путева, који брзо и ефикасно могу да препознају критичне тачке где би требало извршити мониторинг животне средине и евентуално мере за смањивање негативних утицаја. Графичка база у коју су критеријуми убачени има вредност и са становишта планирања нових путних деоница јер релативно лако омогућава преглед могућих утицаја на заштићена природна и културна добра и усмерава обраду аспеката животне средине у обавезној планској документацији и процени утицаја будућег пројекта.

## Захвале

Аутори рада би овом приликом желели да се захвале институцијама без који израда студије, па тиме и методологије не би била могућа. На првом месту ту је ЈП Путеви Србије које је у оквиру своје политике заштите животне средине препознало важност истраживања утицаја путева на заштићена природна и културна добра. Велику захвалност дугујемо Заводу за заштиту природе Републике Србије, без чијих подлога истраживање не би могло бити спроведено. Такође желели би смо да се захвалимо Републичком заводу за заштиту споменика културе, као и запосленима у регионалним заводима у Београду, Сремској Митровици, Новом Саду, Суботици, Панчеву, Зрењанину, Смедереву,

Крагујевцу, Ваљевоу, Краљеву и Нишу на пруженој помоћи приликом геореференцирања заштићених непокретних културних добара.

## Литература

- [1] *Заштита животне средине у сектору путева (Процена утицаја и програм)*, ЈП “Путеви Србије”, Београд, 2009.
- [2] *Техничко упутство о процени утицаја на животну средину за путни сектор*, ЈП “Путеви Србије”, Београд, 2011.
- [3] *Студија изводљивости техничких мера смањења штетног утицаја буке од друмског саобраћаја на одабраним деоницама државних путева*, ЈП “Путеви Србије”, Београд, јун 2010.
- [4] *Monitoring of environmental impacts of roads*, World Road Association (PIARC), France
- [5] *Roads and the Environment: A Handbook*, The World Bank, Washington D.C., November.1997
- [6] *Evaluation of Ecological Impacts from Highway Development*, US Environmental Protection Agency, April 1994.
- [7] *Indicators of the Environmental Impacts of Transportation*, US Environmental Protection Agency, 2006
- [8] Battisti, C., Poeta, G. Fanelli, G. 2016. *An Introduction to Disturbance Ecology*. Springer International Publishing, Switzerland
- [9] Daigle, P. 2010. A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: A literature review. *BC Journal of Ecosystems and Management* 10(3):65–89.
- [10] Asha Rajvanshi, Vinod B. Mathur, Geza C. Teleki and Sujit K. Mukherjee. 2001. *Roads, Sensitive Habitats and Wildlife: Environmental Guideline for India and South Asia*. Wildlife Institute of India, Dehradun and Canadian Environmental Collaborative Ltd., Toronto.
- [11] Garcia-Montero L., López E., Monzón A., Otero Pastor I. 2010. Environmental screening tools for assessment of infrastructure plans based on biodiversity preservation and global warming (PEIT, Spain). *Environ. Impact Asses.* 30, (3), 158,
- [12] Forman R.T.T., Alexander L.E. 1998. *Roads and their major ecological effects*. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 207,
- [13] Coffin A.W. 2007. *From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads*. *Journal of Transport Geography* 15, 396.
- [14] Jackson, S.D. 2000. Overview of Transportation Impacts on Wildlife Movement and Populations. Pp. 7-20 In Messmer, T.A. and B. West, (eds) *Wildlife and Highways: Seeking Solutions to an Ecological and Socio-economic Dilemma*. The Wildlife Society
- [15] García-Montero L., Mancebo Quintana S., Casermeiro M., Otero Pastor I., Monzón de Cáceres A. 2010. A GIS raster model for assessing the environmental quality of Spain focused on SEA and infrastructure planning procedures (LATINO model). *Highway and Urban Environment* 17, (1), 31.
- [16] Macias, A., Gadzinski, J. 2013. Assessment of Road Transport Environmental Impact as Illustrated by a Metropolitan Area. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 22, No. 6 (2013), 1749-1758
- [17] Goodland R. and M. Webb. 1989. *The Management of Cultural Property in World Bank-Assisted Projects*. World Bank Technical Paper No. 62. Washington, D.C.
- [18] Countryside Agency 1999: *Interim Landscape Character Assessment Guidance/Countryside character programme and character of England map* Countryside Agency and Scottish Natural Heritage
- [19] *Guidance on Heritage Impact Assessments for Cultural World Heritage Properties*. A publication of the International Council on Monuments and Sites January 2011, ICOMOS

## MODEL ZA PROCENU EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJIA NA DRŽAVNIM PUTEVIMA

**Aleksandar Manojlović**

*Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, a.manojlovic@sf.bg.ac.rs*

**Miloš Milović<sup>1</sup>**

*Intico d.o.o., Beograd, m.milovic@intico.rs*

**Jelena Trifunović**

*Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, j.trifunovic@sf.bg.ac.rs*

**Rezime:** *Određivanjem godišnjih količina zagađujućih materija poreklom od drumskog saobraćaja emitovanih u atmosferu, uz pravovremeno dostavljanje pouzdanih informacija svim zainteresovanim stranama, stvaraju se uslovi za podizanje nivoa informisanosti javnosti o zaštiti životne sredine. Utvrđivanjem količina emitovanih zagađujućih materija olakšava i praćenje trendova radi sniženja nivoa rizika od njihovog negativnog dejstva. U ovom radu prikazani su rezultati proračuna količine emitovanih zagađujućih materija poreklom od drumskih motornih vozila i određivanje emisije zagađujućih materija na državnim putevima I i II reda u Republici Srbiji za period od 2013. do 2015. godine korišćenjem aktuelne verzije softvera COPERT 5. Na osnovu izračunatih emisija zagađujućih materija po deonicama i pripadnosti deonica odgovarajućim prostornim kvadratima prikazana je prostorna raspodela po kvadratima mreže Programa Evropskog monitoringa i evaluacije (EMEP).*

**Ključne reči:** *emisija zagađujućih materija, COPERT 5, deonice, EMEP mreža.*

## MODEL FOR ASSESSMENT OF TRANSPORT RELATED ATMOSPHERIC POLLUTANT EMISSIONS ON NATIONAL ROADS

**Aleksandar Manojlović**

*University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia, e-mail: a.manojlovic@sf.bg.ac.rs*

**Miloš Milović**

*Intico d.o.o., Beograd, m.milovic@intico.rs*

**Jelena Trifunović**

*University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia, e-mail: j.trifunovic@sf.bg.ac.rs*

**Abstract:** *Determination the annual quantities of pollutant emissions in road transport emitted into the atmosphere, with the timely delivery of reliable information to all interested parties, conditions are created for raising the level of public awareness of environmental protection. Determining the amount of pollutants emitted facilitates monitoring of trends in order to lower the level of risk from their negative effect. This paper presents the results of calculating the amount of emitted pollutant emissions from road motor vehicles and determining emissions of pollutants on state roads I and II in the Republic of Serbia for the period 2013 to 2015 using the current version of COPERT 5 software. On the basis of the calculated emission of pollutants by shares and the belonging of the sections to the corresponding squares, the spatial distribution according to the squares of the European Monitoring and Evaluation Program (EMEP) network is shown.*

**Keywords:** *atmospheric pollutant, COPERT 5, road section, EMEP Network*

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespodenciju: m.milovic@intico.rs

## 1. UVOD

Utvrđivanje emisija zagađujućih materija u drumskom saobraćaju je veoma kompleksno i zahteva modeliranje ulaznih parametara. Pored prognoze emisije zagađujućih materija, modeli i njihovi rezultati se koriste za donošenje odluka prilikom kreiranja strategija u cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu. Uz pomoć modela ocenjuju se i efekti primenjenih mera. Da bi se primenio koncept održivog razvoja na sektor drumskog transporta, neophodno je poznavanje učešća drumskog saobraćaja u zagađenju vazduha, a to nam obezbeđuju modeli za procenu emisija poreklom od drumskog saobraćaja. Određivanjem godišnjih količina zagađujućih materija poreklom od drumskog saobraćaja emitovanih u atmosferu, uz pravovremeno dostavljanje pouzdanih informacija svim zainteresovanim stranama, stvaraju se uslovi za podizanje nivoa informisanosti javnosti o zaštiti životne sredine. Utvrđivanje količina emitovanih zagađujućih materija olakšava i praćenje trendova radi sniženja nivoa rizika od njihovog negativnog dejstva. Sve veličine koje utiču na količinu emisije zagađujućih materija u drumskom saobraćaju je neophodno što preciznije odrediti ili oceniti kako bi se omogućila analiza efekata stimulativnih i restriktivnih mera (analizom troškova i koristi, nematerijalnih efekata i dr.) u cilju dostizanja održivosti drumskog transporta. Metod ocene prikazan u ovom radu predstavlja dobru osnovu za ocenu izvodljivosti fiskalnih mera za smanjenje emisije koja potiče od drumskog transporta, odnosno za povećanje njegove održivosti, kao i za ocenu emisije zagađivača koju ostvare vozila na državnim putevima I i II reda. Predmet ovoga rada je proračun količine emitovanih zagađujućih materija poreklom od drumskih motornih vozila i određivanje emisije zagađujućih materija na državnim putevima I i II reda korišćenjem aktuelne verzije softvera COPERT 5 za period od 2013. do 2015. godine. Predmet istraživanja je i određivanje uticaja dominantnih eksploatacionih uslova na emisiju zagađujućih materija. Na osnovu procenjenog pređenog puta, dominantnih uslova eksploatacije i nivoa standarda emisije zagađujućih materija vozila određuje se tehničko stanje vozila i konačna vrednost emisije vozila na pojedinačnim saobraćajnicama. Za sve deonice državnih puteva I i II reda na osnovu podataka sa automatskih brojača ili ponderisanih podataka o PGDS -u, strukture voznog parka, dužine deonice i prosečne brzine na deonici (izmerene ili ekspertski ocenjene), izračunava se emisija skupa zagađujućih materija za pojedinačne deonice po kategorijama vozila. Na osnovu izračunatih emisija zagađujućih materija po deonicama i pripadnosti deonica odgovarajućim kvadratima izrađuje se prostorna raspodela po kvadratima mreže Programa Evropskog monitoringa i evaluacije (EMEP).

## 2. MODEL ZA PROCENU EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJIA

U cilju kvantifikacije emisije gasovitih zagađivača koji potiču od drumskog saobraćaja u ovom radu prikazani su rezultati dobijeni korišćenjem softverskog alata COPERT 5 (april, 2017.g.). COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) predstavlja jedan od evropskih alata za izračunavanje emisije prema "Konvenciji o dalekosežnom prekograničnom zagađenju vazduha" (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution - CLRTAP), a u skladu sa zahtevima koje su postavili Program saradnje za kontrolu i ocenu dalekosežnog prenošenja zagađujućih materija u vazduhu u Evropi (European Monitoring and Evaluation Programme - EMEP) i Evropska agencija za zaštitu životne sredine (European Environment Agency - EEA) koja je i finansirala razvoj COPERT-a u okviru aktivnosti Evropskog tematskog centra za vazduh i klimatske promene.

Kako bi se izvršila ocena emisije poreklom od drumskog saobraćaja primenom softverskog alata COPERT 5 potrebno je prikupiti obimne ulazne podatke. Pre početka bilo kakve ocene, odnosno korišćenja softvera bilo je potrebno prikupiti podatke o:

- vremenskim (klimatskim) uslovima tokom godine,
- specifičnim karakteristikama svih vrsta goriva u prodaji,
- ukupnoj (godišnjoj) potrošnji svih vrsta goriva,
- voznom parku klasifikovanom prema zahtevanim kategorijama, potkategorijama i tehnologijama emisije vozila (broj vozila),
- prosečnom pređenom putu za svaku kategoriju vozila (na bazi posebnog istraživanja),
- prosečnim brzinama vozila po kategorijama vozila i saobraćajnica,
- učešću pređenog puta po kategorijama vozila i saobraćajnica (gradska, vangradska i autoput) u procentima.

Ulazni podaci za Republiku Srbiju, koji su bili dostupni u zvaničnim evidencijama ili statistikama državnih institucija i organa, su prikupljeni iz Republičkog zavoda za statistiku (podaci o prodatom/utrošenom pogonskom gorivu u saobraćaju i transportu, podaci o pograničnom prometu putničkih i teretnih vozila i dr.) i Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (podaci o dominantnim vremenskim - hidrometeorološkim

uslovima). Posle analize podataka utvrđen je metod njihove korekcije, odnosno dovođenja u formu koja se zahteva modelom COPERT 5.

Određivanje strukture voznog parka na putevima prvog i drugog reda izvršeno je usvajanjem merodavne nacionalne strukture voznog parka, a prema prosečnom godišnjem saobraćaju (PGDS) po kategorijama vozila.

Jedini relevantan izvor podataka o hidrometeorološkim (vremenskim) uslovima u Republici Srbiji predstavlja Meteorološki godišnjak koji izdaje Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZ). RHMZ raspolaže tzv. „klimatološkim“ podacima od 1949. godine do 2015. godine sa izuzetkom perioda 1980. – 1989. godine. U ovim izveštajima nalaze se podaci o prosečnim mesečnim minimalnim i maksimalnim temperaturama, prosečnom mesečnom vazдушnom pritisku i relativnoj vlažnosti vazduha.

Klimatološki podaci potrebni za proračun su:

- srednja maksimalna mesečna temperatura (°C),
- srednja minimalna mesečna temperatura (°C),
- vazdušni pritisak (kPa) i
- relativna vlažnost vazduha (%).

Ovi ulazni podaci su neophodni radi dobijanja prosečnih mesečnih uslova u kojima se koriste vozila. Pomoću njih se ocenjuje uticaj hladnog starta na emisiju vozila, kao i klima uređaja, i to kako u cilju hlađenja tokom leta (toplijih meseci), tako i grejanja tokom zime, ali i smanjenja vlažnosti vazduha (preko cele godine).

Potrošnja ili količina utrošenog pogonskog goriva je jedan od pokazatelja transportnih aktivnosti. Koristi se kao kontrolni pokazatelj za utvrđivanje i eventualnu korekciju prosečnog godišnjeg pređenog puta pojedinih kategorija vozila. Prosečna potrošnja goriva predstavlja meru efikasnosti iskorišćenja goriva kao odnos između pređenog puta i količine utrošenog goriva. S obzirom da je utrošeno gorivo značajan činilac u zagađenju vazduha veliki broj država je uveo stroga ograničenja koja se odnose na potrošnju goriva.

Softverskim alatom COPERT 5 izračunava se potrošnja energije, a ne potrošnja pogonskog goriva da bi se olakšalo izračunavanje potrošnje energije za nove tipove vozila (vozila na hibridni pogon – plug-in vozila sa pogonom na benzin i hibridna vozila sa pogonom na dizel; vozila na električni pogon – baterije i električna energija; gorive ćelije (N2) i električni pogon).

Pristup u modelu COPERT 5 podrazumeva da se za vozilo u softver unose sledeći podaci: tip vozila, brzina vozila (km/h), primarna potrošnja goriva (TJ), primarni energetski sadržaj goriva (MJ/kg), korišćena mešavina goriva, udeo energije u mešavini goriva (%). Modelom COPERT 5 upoređuje se statistička i proračunata potrošnja energije, modifikuju se ulazni podaci (npr. pređeni put vozila) i ponavlja se postupak izračunavanja količine emitovanih zagađujućih materija.

Izvor podataka za određivanje merodavne veličine nacionalnog voznog parka čine podaci o svim nacionalnim vozilima (izuzimajući vozni park vojske i policije) koji se nalaze u bazi tj. evidenciji registrovanih vozila. Da bi podaci iz evidencije registrovanih vozila mogli da se koriste za proračun prema modelu COPERT 5 potrebno je postojeću kategorizaciju vozila prilagoditi kategorizaciji vozila definisanoj u ovom modelu.

Izvori koji su obrađeni u cilju prikupljanja podataka o aktivnostima vozila na prostoru istraživanja su sledeći:

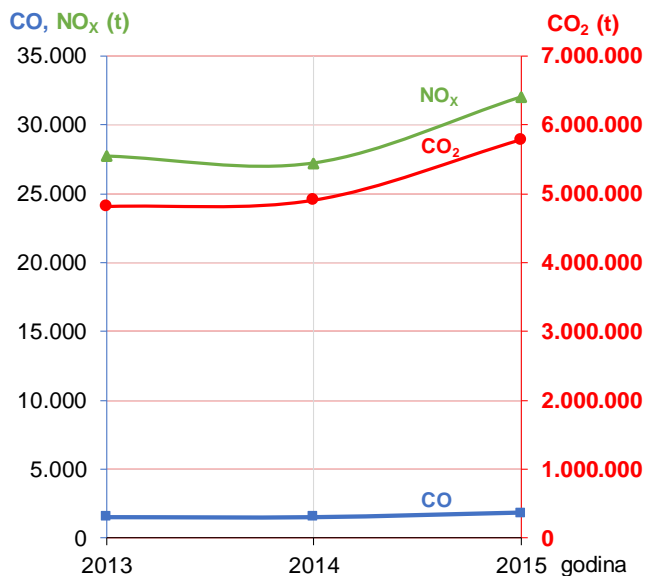
- a) anketa korisnika putničkih automobila sprovedena u toku 2017. godine;
- b) redovno istraživanje sprovedeno 2013. i 2016. godine u transportnim preduzećima za prevoz putnika (gradski i međugradski autobusi) i za prevoz robe (dostavna i teretna vozila);
- c) prosečan godišnji dnevni saobraćaj na putevima prvog i drugog reda R. Srbije u periodu 2013-2015.g.

Svi navedeni i raspoloživi podaci su korišćeni u smislu dobijanja što pouzdanije ocene, na prvom mestu, merodavnog broja vozila na putnoj mreži R. Srbije, a zatim i ostvarenog pređenog puta tih vozila. Vrednosti određenih ulaznih podataka, za koje ne postoji evidencija, odnosno nisu dobijene putem istraživanja usvojene su prema preporukama projekta [5]. Prema ovom projektu vrednost prosečne dužine putovanja treba da bude u intervalu od 8 do 15 km, s tim da se u nedostatku podataka usvaja vrednost 12,4 km, koja predstavlja prosečnu dužinu putovanja u državama članicama EU.

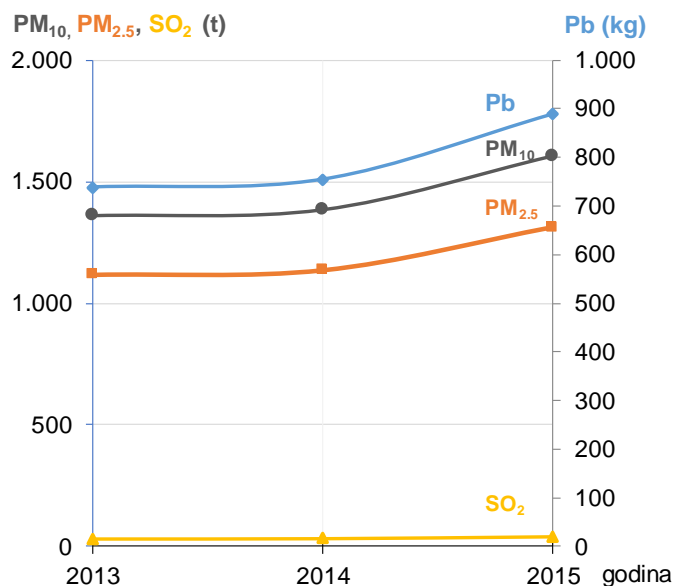


### 3. EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA NACIONALNOG VOZNOG PARKA

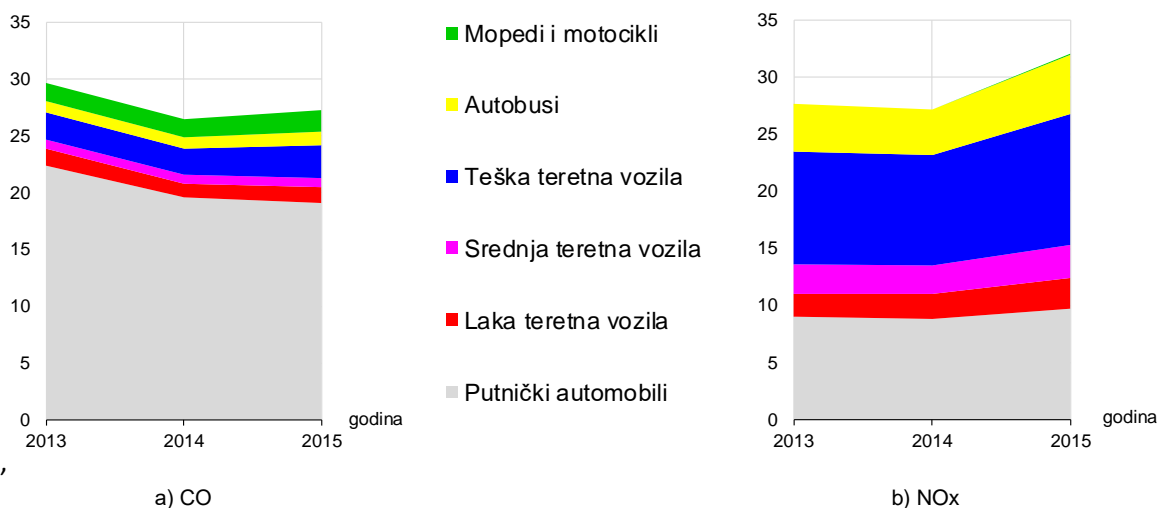
Ukupna emisija zagađujućih materija nacionalnog voznog parka prikazana je na Slikama 1. i 2. Putnička vozila najviše utiču na emisiju CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i Pb, dok komercijalna vozila imaju najveće učešće u emisiji NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>10</sub> (Slika 3. - Slika 5.).



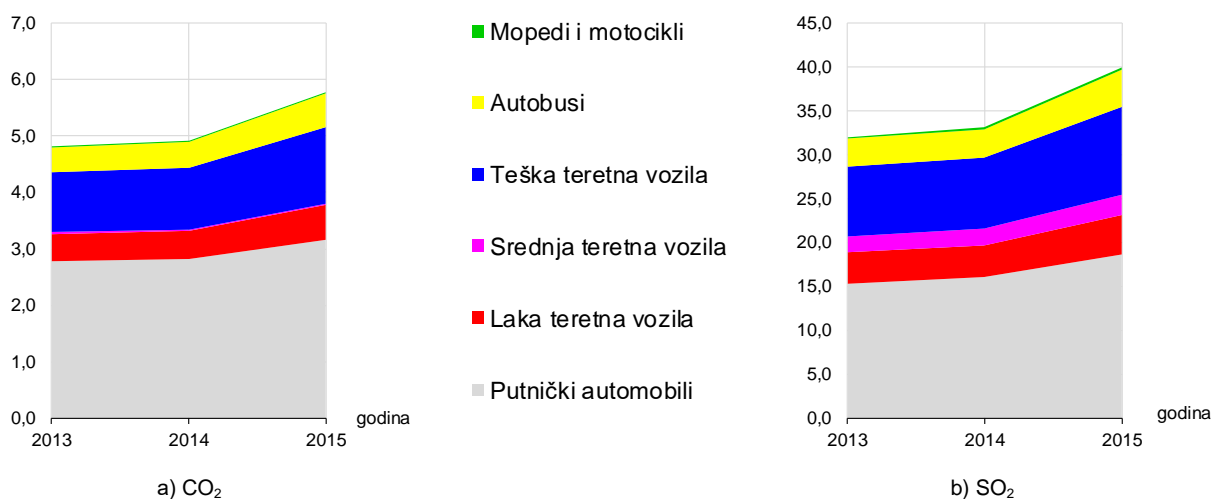
**Slika 1.** Ukupna emisija ugljen monoksida (CO), azotnih oksida (NO<sub>x</sub>) i ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) 2013-2015.g. [t]



**Slika 2.** Ukupna emisija suspendovanih čestica (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>) i olova (Pb), 2013-2015.g. [t]



**Slika 3.** Kumulativna emisija po kategorijama vozila 2013-2015.g.: a) ugljen - monoksida (CO) [10<sup>3</sup> t] i b) azotnih oksida (NO<sub>x</sub>) [10<sup>3</sup> t]



**Slika 4.** Kumulativna emisija po kategorijama vozila 2013-2015.g.: a) ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) [10<sup>6</sup> t] i b) sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>) [kg]



**Slika 5.** Kumulativna emisija po kategorijama vozila 2013-2015.g.: a) suspendovanih čestica do 2,5 μm (PM<sub>2.5</sub>) [t] i b) suspendovanih čestica do 10 μm (PM<sub>10</sub>) [t]

#### **4. EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA NA DEONICAMA DRŽAVNIH PUTEVA I I II REDA**

U ovom radu predstavljeni su rezultati Studije o proceni emisija zagađujućih materija u atmosferu od saobraćaja na državnim putevima I i II reda za period 2013-2015. godine [1].

Za proračun emisije izduvnih gasova korišćeni su podaci o voznom parku Republike Srbije i emisioni faktori iz softverskog alata COPERT 5.

Za sve državne puteve (preko 100 puteva) i deonice (preko 1.000 deonica), za svaku godinu posmatranog perioda, 2013, 2014 i 2015. godinu, izračunata je količina emitovanih zagađujućih materija.

Za proračun su korišćeni sledeći podaci:

- prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS) po kategorijama vozila po deonicama,
- dužina deonice,
- prosečna brzina kretanja vozila na deonici i
- jedinična emisija zagađivača po kategorijama vozila (g/km).

Na osnovu raspoloživih podataka o dužinama deonica i PGDS-a određen je ukupan pređeni put po kategorijama vozila (u autokilometrima) i deonicama. Prosečna brzina kretanja vozila na deonicama je izračunata na osnovu raspoloživih časovnih brzina kretanja vozila očitanih na brojačima saobraćaja. Jedinična emisija zagađivača je izražena u gramima po autokilometru po kategorijama vozila (putnički automobil, autobus, lako teretno vozilo, srednje teretno vozilo, teško teretno vozilo, autovoz - skup vozila). Za određivanje jedinične emisije korišćen je softverski alat COPERT 5 i struktura voznog parka Republike Srbije u 2013, 2014. i 2015. godini.

Ukupna emisija zagađivača na deonici u toku godine predstavlja proizvod jedinične emisije po pređenom autokilometru i ukupnog broja autokilometara po kategorijama vozila.

Ukupna emisija zagađujućih materija na državnim putevima I i II reda, po kategorijama vozila, u periodu 2013-2015.g. prikazana je u tabeli 1.

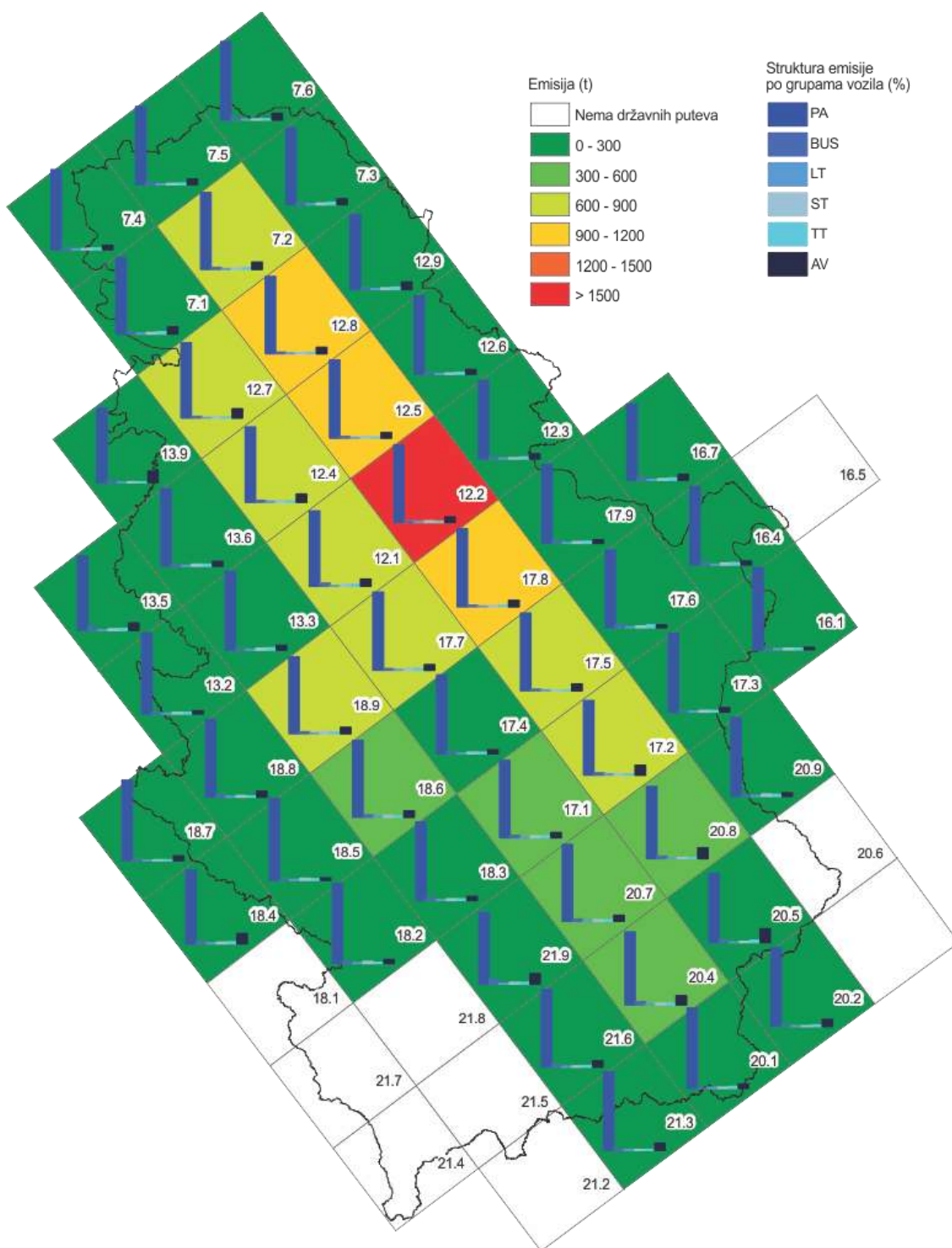
Tabela 1. Ukupna emisija zagađujućih materija na državnim putevima I i II reda u periodu 2013-2015.g.

		2013.g.	%	2014.g.	%	2015.g.	%
CO (t)	PA	15,494.05	87.43	13,257.21	86.50	14,932.66	86.16
	BUS	303.96	1.71	261.43	1.71	364.89	2.11
	LT	150.74	0.85	124.93	0.82	160.44	0.93
	ST	286.49	1.62	248.09	1.62	296.92	1.71
	TT	251.88	1.42	210.10	1.37	299.76	1.73
	AV	1,234.05	6.96	1,224.39	7.99	1,276.54	7.37
	<b>Ukupno</b>	<b>17,721.07</b>	<b>100</b>	<b>15,326.15</b>	<b>100</b>	<b>17,331.20</b>	<b>100</b>
VOC (t)	PA	3,885.32	89.07	3,026.69	87.99	3,786.72	88.75
	BUS	72.12	1.65	56.65	1.65	78.71	1.84
	LT	24.78	0.57	17.98	0.52	24.91	0.58
	ST	106.63	2.44	92.96	2.70	109.62	2.57
	TT	68.73	1.58	53.22	1.55	73.19	1.72
	AV	204.73	4.69	192.36	5.59	193.80	4.54
	<b>Ukupno</b>	<b>4,362.32</b>	<b>100</b>	<b>3,439.86</b>	<b>100</b>	<b>4,266.95</b>	<b>100</b>
NMVOC (t)	PA	3,748.06	89.74	2,914.44	88.73	3,662.77	89.47
	BUS	62.81	1.50	48.00	1.46	67.08	1.64
	LT	23.92	0.57	17.33	0.53	24.12	0.59
	ST	102.33	2.45	89.22	2.72	105.17	2.57
	TT	61.73	1.48	47.70	1.45	65.41	1.60
	AV	177.82	4.26	167.93	5.11	169.28	4.13
	<b>Ukupno</b>	<b>4,176.67</b>	<b>100</b>	<b>3,284.61</b>	<b>100</b>	<b>4,093.83</b>	<b>100</b>
CH <sub>4</sub> (t)	PA	137.26	73.94	112.26	72.31	123.95	71.60
	BUS	9.31	5.01	8.66	5.58	11.64	6.72
	LT	0.86	0.47	0.65	0.42	0.78	0.45
	ST	4.30	2.32	3.74	2.41	4.45	2.57
	TT	7.01	3.77	5.52	3.55	7.78	4.50
	AV	26.91	14.50	24.43	15.74	24.52	14.17
	<b>Ukupno</b>	<b>185.64</b>	<b>100</b>	<b>155.25</b>	<b>100</b>	<b>173.13</b>	<b>100</b>
NO <sub>x</sub> (t)	PA	7,992.67	46.19	7,090.09	45.11	8,282.76	45.42
	BUS	1,441.15	8.33	1,177.36	7.49	1,646.63	9.03
	LT	167.90	0.97	173.42	1.10	242.82	1.33
	ST	1,143.68	6.61	997.13	6.34	1,204.59	6.61
	TT	1,102.39	6.37	915.20	5.82	1,309.50	7.18
	AV	5,454.68	31.53	5,365.39	34.13	5,548.09	30.43
	<b>Ukupno</b>	<b>17,302.48</b>	<b>100</b>	<b>15,718.59</b>	<b>100</b>	<b>18,234.38</b>	<b>100</b>
NO (t)	PA	7,137.82	46.63	6,250.51	45.28	7,215.18	45.34
	BUS	1,268.78	8.29	1,034.84	7.50	1,446.86	9.09
	LT	130.42	0.85	129.83	0.94	177.99	1.12
	ST	1,013.56	6.62	882.77	6.39	1,065.55	6.70
	TT	972.69	6.35	806.58	5.84	1,151.99	7.24
	AV	4,783.61	31.25	4,699.60	34.04	4,856.52	30.82
	<b>Ukupno</b>	<b>15,306.88</b>	<b>100</b>	<b>13,804.12</b>	<b>100</b>	<b>15,914.09</b>	<b>100</b>
NO <sub>2</sub> (t)	PA	854.85	42.84	839.58	43.85	1,067.58	46.01
	BUS	172.38	8.64	142.52	7.44	199.77	8.61
	LT	37.48	1.88	43.59	2.28	64.83	2.79
	ST	130.12	6.52	114.37	5.97	139.04	5.99
	TT	129.70	6.50	108.62	5.67	157.51	6.79
	AV	671.07	33.63	665.78	34.78	691.57	29.81
	<b>Ukupno</b>	<b>1,995.60</b>	<b>100</b>	<b>1,914.47</b>	<b>100</b>	<b>2,320.29</b>	<b>100</b>
N <sub>2</sub> O (t)	PA	25.92	50.17	23.76	48.12	28.72	47.68
	BUS	2.23	4.32	2.13	4.30	3.07	5.10
	LT	0.54	1.04	0.53	1.08	0.76	1.27
	ST	5.18	10.02	4.37	8.86	5.18	8.61
	TT	3.28	6.35	2.81	5.69	4.03	6.69
	AV	14.51	28.09	15.78	31.95	18.47	30.67
	<b>Ukupno</b>	<b>51.66</b>	<b>100</b>	<b>49.38</b>	<b>100</b>	<b>60.24</b>	<b>100</b>
NH <sub>3</sub> (t)	PA	222.96	97.49	209.45	97.51	248.21	97.37
	BUS	0.40	0.17	0.38	0.18	0.56	0.22
	LT	1.40	0.61	0.84	0.39	1.18	0.46
	ST	0.85	0.37	0.80	0.37	1.00	0.39
	TT	0.56	0.24	0.53	0.25	0.80	0.31
	AV	2.55	1.11	2.79	1.30	3.17	1.24
	<b>Ukupno</b>	<b>228.71</b>	<b>100</b>	<b>214.80</b>	<b>100</b>	<b>254.92</b>	<b>100</b>
PM <sub>2.5</sub> (t)	PA	276.09	48.56	256.49	49.30	310.85	50.71
	BUS	40.11	7.05	31.46	6.05	44.15	7.20
	LT	18.65	3.28	18.17	3.49	23.44	3.82
	ST	42.59	7.49	36.10	6.94	43.01	7.02
	TT	33.58	5.91	27.22	5.23	37.98	6.20
	AV	157.56	27.71	150.80	28.99	153.56	25.05
	<b>Ukupno</b>	<b>568.58</b>	<b>100</b>	<b>520.24</b>	<b>100</b>	<b>612.98</b>	<b>100</b>
PM <sub>10</sub> (t)	PA	336.66	50.94	310.98	51.40	342.11	52.22
	BUS	44.31	6.70	35.13	5.81	40.17	6.13
	LT	20.38	3.08	19.79	3.27	22.48	3.43
	ST	47.59	7.20	40.53	6.70	43.38	6.62
	TT	37.03	5.60	30.18	4.99	33.52	5.12
	AV	174.98	26.47	168.39	27.83	173.47	26.48
	<b>Ukupno</b>	<b>660.94</b>	<b>100</b>	<b>605.01</b>	<b>100</b>	<b>655.13</b>	<b>100</b>
PM (t)	PA	387.50	52.47	358.12	52.77	434.49	54.02
	BUS	46.83	6.34	37.41	5.51	52.58	6.54
	LT	21.85	2.96	21.19	3.12	27.70	3.44
	ST	50.21	6.80	42.92	6.32	51.46	6.40
	TT	39.02	5.28	31.95	4.71	45.15	5.61
	AV	193.17	26.15	187.08	27.57	192.99	23.99
	<b>Ukupno</b>	<b>738.58</b>	<b>100</b>	<b>678.66</b>	<b>100</b>	<b>804.37</b>	<b>100</b>
BC (t)	PA	133.24	47.31	127.33	48.66	156.52	50.44
	BUS	20.94	7.44	16.54	6.32	23.22	7.48
	LT	10.72	3.81	10.72	4.10	13.91	4.48
	ST	19.63	6.97	16.70	6.38	19.92	6.42
	TT	16.51	5.86	13.50	5.16	18.95	6.11
	AV	80.56	28.61	76.89	29.39	77.77	25.06
	<b>Ukupno</b>	<b>281.61</b>	<b>100</b>	<b>261.67</b>	<b>100</b>	<b>310.29</b>	<b>100</b>
OM (t)	PA	56.00	41.03	49.86	41.68	58.13	42.52
	BUS	11.22	8.22	8.31	6.95	11.60	8.49
	LT	4.92	3.60	4.61	3.86	5.65	4.13
	ST	14.10	10.33	11.68	9.77	13.71	10.03
	TT	10.49	7.68	8.20	6.86	10.99	8.04
	AV	39.77	29.13	36.95	30.89	36.64	26.80
	<b>Ukupno</b>	<b>136.50</b>	<b>100</b>	<b>119.62</b>	<b>100</b>	<b>136.72</b>	<b>100</b>
FC (TJ)	PA	21,817.72	62.24	20,536.70	61.35	25,028.40	61.79
	BUS	2,073.31	5.91	1,873.08	5.60	2,645.42	6.53
	LT	567.65	1.62	551.98	1.65	776.89	1.92
	ST	1,341.26	3.83	1,220.26	3.65	1,510.14	3.73
	TT	1,365.35	3.89	1,189.01	3.55	1,783.20	4.40
	AV	7,891.43	22.51	8,103.94	24.21	8,760.46	21.63
	<b>Ukupno</b>	<b>35,056.73</b>	<b>100</b>	<b>33,474.97</b>	<b>100</b>	<b>40,504.51</b>	<b>100</b>
CO <sub>2</sub> (t)	PA	1,536,634.20	61.13	1,449,798.53	60.29	1,769,202.49	60.77
	BUS	152,594.27	6.07	137,812.73	5.73	194,754.07	6.69
	LT	41,559.61	1.65	40,582.44	1.69	57,112.42	1.96
	ST	99,082.13	3.94	90,113.47	3.75	111,522.66	3.83
	TT	100,869.11	4.01	87,841.10	3.65	131,738.71	4.52
	AV	583,000.46	23.19	598,699.95	24.90	647,201.86	22.23
	<b>Ukupno</b>	<b>2,513,739.78</b>	<b>100</b>	<b>2,404,848.22</b>	<b>100</b>	<b>2,911,532.21</b>	<b>100</b>
SO <sub>2</sub> (t)	PA	0.009	56.80	0.009	56.18	0.011	56.65
	BUS	0.001	6.67	0.001	6.24	0.001	7.75
	LT	0.000	1.86	0.000	1.87	0.000	2.15
	ST	0.001	4.39	0.001	4.14	0.001	4.19
	TT	0.001	4.47	0.001	4.04	0.001	4.95
	AV	0.004	25.62	0.004	27.52	0.005	24.30
	<b>Ukupno</b>	<b>0.016</b>	<b>100</b>	<b>0.016</b>	<b>100</b>	<b>0.019</b>	<b>100</b>
Pb (kg)	PA	163.22	65.64	144.59	64.47	175.58	64.18
	BUS	12.97	5.22	11.21	5.00	15.85	5.79
	LT	4.61	1.86	4.27	1.90	6.04	2.21
	ST	16.05	6.45	14.14	6.30	17.50	6.40
	TT	10.75	4.32	9.16	4.09	13.98	5.11
	AV	41.05	16.51	40.89	18.23	44.63	16.31
	<b>Ukupno</b>	<b>248.65</b>	<b>100</b>	<b>224.27</b>	<b>100</b>	<b>273.57</b>	<b>100</b>
Cd (kg)	PA	0.87	66.21	0.78	65.00	0.95	65.02
	BUS	0.06	4.62	0.05	4.41	0.07	5.14
	LT	0.02	1.85	0.02	1.87	0.03	2.18
	ST	0.07	5.46	0.06	5.28	0.08	5.39
	TT	0.05	3.77	0.04	3.54	0.06	4.43
	AV	0.24	18.09	0.24	19.90	0.26	17.85
	<b>Ukupno</b>	<b>1.31</b>	<b>100</b>	<b>1.20</b>	<b>100</b>	<b>1.45</b>	<b>100</b>
Cu (kg)	PA	1,304.18	65.61	1,152.37	64.45	1,399.18	64.10
	BUS	105.92	5.33	91.43	5.11	129.25	5.92
	LT	36.86	1.85	34.08	1.91	48.19	2.21
	ST	131.73	6.63	115.94	6.48	143.53	6.57
	TT	87.88	4.42	74.85	4.19	114.20	5.23
	AV	321.31	16.16	319.29	17.86	348.62	15.97
	<b>Ukupno</b>	<b>1,987.87</b>	<b>100</b>	<b>1,787.97</b>	<b>100</b>	<b>2,182.95</b>	

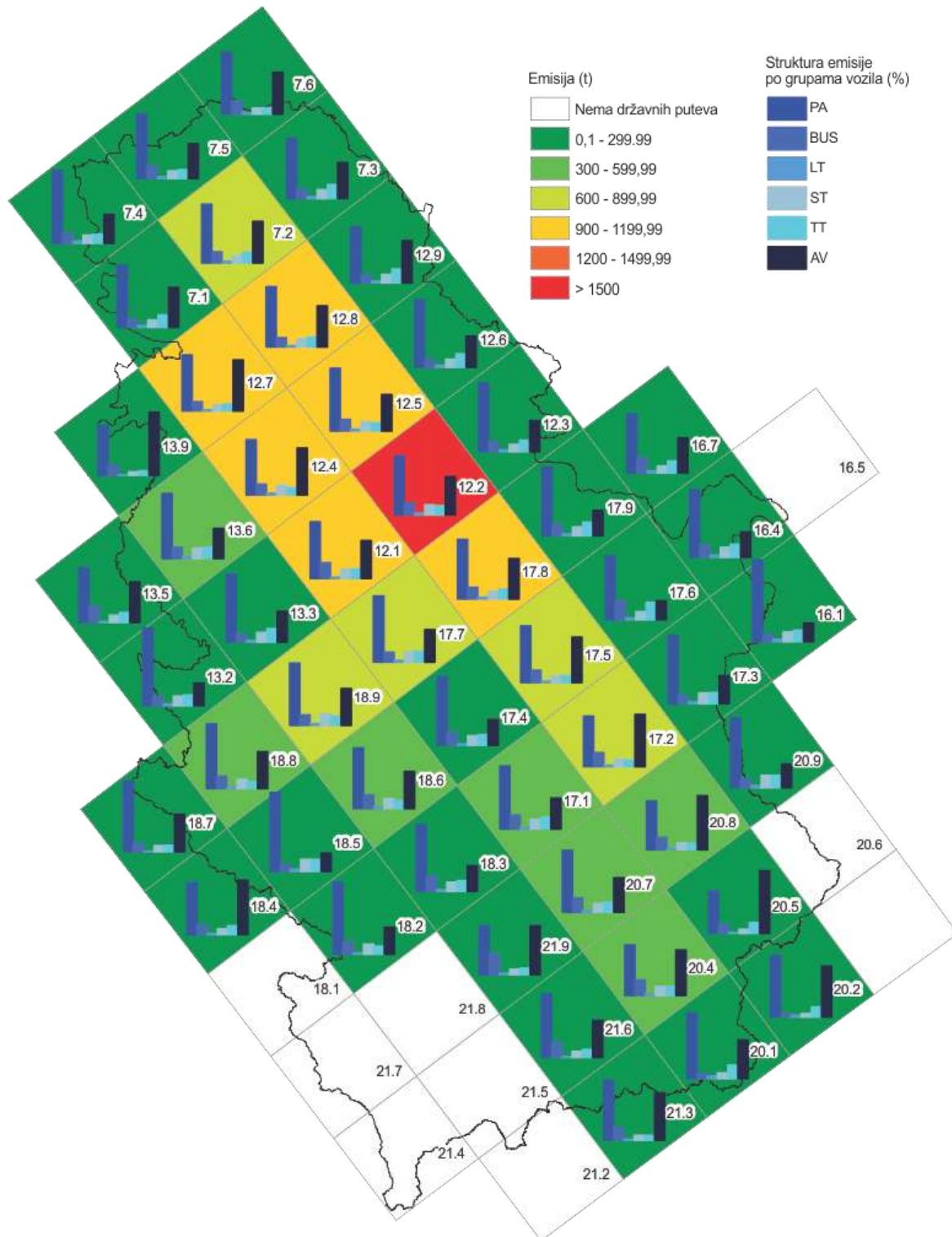
## 5. PROSTORNA RASPODELA PO KVADRATIMA EMEP MREŽE

Na osnovu izračunatih emisija zagađujućih materija po deonicama i pripadnosti deonica odgovarajućim kvadratima izrađuje se prostorna raspodela po kvadratima mreže Programa Evropskog monitoringa i evaluacije (EMEP).

Nivo emisije tri izabrana zagađivača po kvadratima EMEP mreže u 2015. godini prikazani su na narednim slikama (Slika 6. - Slika 8.). Najveća emisija zagađivača je u kvadratima u kojima je velika dužina putne mreže i velika vrednost PGDS-a (kvadrati 12.2, 12.1., 12.7, 12.8 i dr.)

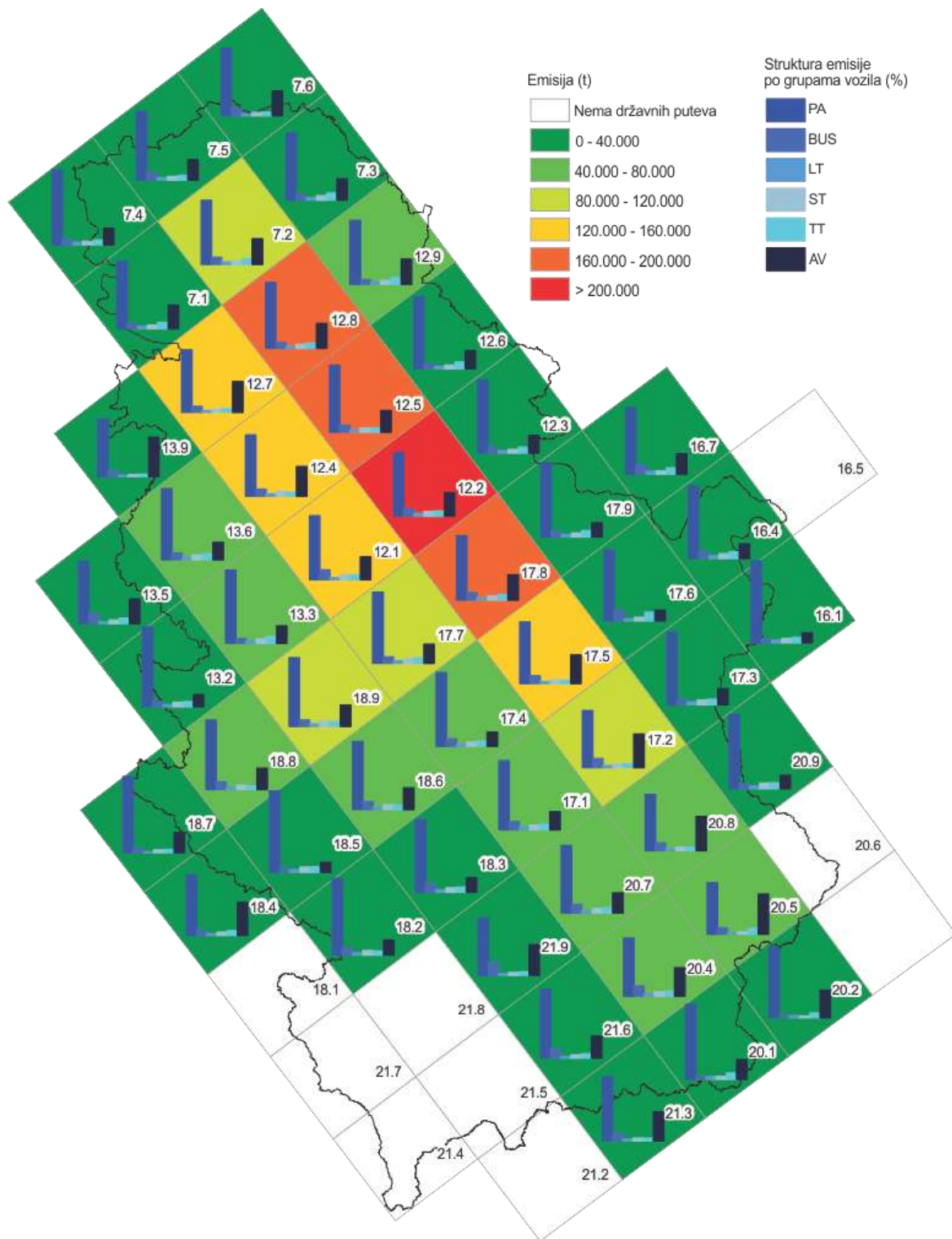


Slika 6. Emisija CO po kvadratima mreže, 2015.g.



Slika 7. Emisija NO<sub>x</sub> po kvadratima mreže, 2015.g.





Slika 8. Emisija CO<sub>2</sub> po kvadratima mreže, 2015.g.

## 6. ZAKLJUČAK

Za izračunavanje količina emitovanih zagađujućih materija u ovoj studiji korišćen je model i softverski alat Evropske agencije za životnu sredinu - COPERT 5.

Za potrebe proračuna emisije prikupljeni su i sistematizovani podaci o voznom parku, pređenom putu vozila, klimatološki podaci i drugi elementi neophodni za proračun. Za posmatrani period predstavljena je struktura voznog parka i prosečan godišnji pređeni put po kategorijama vozila. Na kraju su, kao rezultat korišćenja modela COPERT 5, prikazane količine emitovanih zagađujućih materija koje potiču od drumskog saobraćaja na nacionalnom nivou za period od 2013. do 2015. godine, kao i količine emitovanih zagađujućih materija na putevima prvog i drugog reda u 2013., 2014. i 2015. godini, što je prikazano i u kvadratima EMEP mreže.

U zavisnosti od kvaliteta i preciznosti ulaznih podataka zavisi i nivo kvaliteta rezultata proračuna. Rezultati proračuna mogu da posluže kao osnova za modeliranje različitih scenarija promene strukture voznog parka, transportne politike, načina korišćenja puteva i vozila i efekata tih promena na životnu sredinu i uticaj tih promena na politiku oporezivanja posedovanja i korišćenja puteva i vozila, kako na nacionalnom tako i na lokalnom nivou.

Osnovni efekat primene rezultata ove studije treba da bude stvaranje uslova za smanjenje količina emitovanih zagađujućih materija za realizaciju određene količine transportnog rada, a u cilju smanjenja nepovoljnog uticaja vozila na životnu sredinu.

### Literatura

- [1] Manojlović, A., Momčilović, V., Milović, M., Trifunović, J. (2018) Studija o proceni emisija zagađujućih materija u atmosferu od saobraćaja na državnim putevima I i II reda za period 2013-2015. godine, Intico d.o.o., Beograd
- [2] Ntziachristos, L. et al., (2008) European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with TREMOVE and COPERT - Final Report
- [3] INSIA-UPM, 2002. SETISMO: Estudio del Sector Transporte en Espana, Desarrollo y Aplicacion de Modelos de Analisis de las Condiciones para un Incremento Sostenible de la Movilidad, Madrid, Spain: Instituto Universitario de Investigacion del Automovil (INSIA), Universidad Politecnica de Madrid (UPM)
- [4] EEA, (2009). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009 - Technical guidance to prepare national emission inventories, Copenhagen
- [5] Final Report European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forcaste of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with TREMOVE and COPERT, Thessaloniki, july 2008.