



## **ЗБОРНИК РАДОВА**

**7. научно-стручни скуп “Пут и животна средина”**

Врњачка Бања, 24-26 мај 2023.

## **PROCEEDINGS**

**The 7th Scientific-Expert Meeting “Road and Environment”**

Vrnjaska Banja, Serbia, May 24-26, 2023.

Издавач

Српско друштво за путеве “Via Vita”

Булевар Пека Дапчевића 45, 11000 Београд

За издавача

Душан Савковић, дипл. инж. грађ.

Уредници

Ванредни професор др Игор Јокановић, дипл. инж. грађ.

Ђорђе Митровић, дипл. инж. грађ.

Графички дизајн

Омнибус, Београд

Тираж

120

ISBN 978-86-88541-16-9

# **ЗБОРНИК РАДОВА**

**7. научно-стручни скуп “Пут и животна средина”**  
Врњачка Бања, 24-26 мај 2023.

# **PROCEEDINGS**

The 7th Scientific-Expert Meeting “Road and Environment”  
Vrnjacka Banja, Serbia, May 24-26, 2023.

Српско друштво за путеве “Via Vita”  
Београд, 2023. година

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

502.17:625.7/.8(082)(0.034.2)  
502.17:656.1(082)(0.034.2)  
625.7:551.583(082)(0.034.2)

**НАУЧНО-стручни скуп “Пут и животна средина” (7 ; 2023 ; Врњачка Бања)**

Зборник радова [Електронски извор] = Proceedings / 7. научно-стручни скуп “Пут и животна средина”, Врњачка Бања, 24-26 мај 2023. = The 7th Scientific-Expert Meeting “Road and Environment” Vrnjaska Banja, Serbia, May 24-26, 2023. ; уредници Игор Јокановић, Ђорђе Митровић. - Београд : Српско друштво за путеве Via Vita, 2023 (Београд : Омнибус).

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа. - Тираж 120. - Уводна реч / Ђорђе Митровић, Игор Јокановић. - Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-86-88541-16-9

а) Путеви -- Животна средина -- Зборници б) Друмски саобраћај -- Животна средина -- Зборници в) Путеви -- Климатски утицај -- Зборници

COBISS.SR-ID 116051209

# САДРЖАЈ

## ТЕМА 1 / Регулатива и међународна сарадња

### LEGISLATION AND INTERNATIONAL COOPERATION

#### ASPEKTI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U OKVIRU BAZA PODATAKA O MOSTOVIMA U REPUBLICI SRBIJI

ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE FRAMEWORK OF THE DATABASE ON BRIDGES IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Snežana Mašović, Borislav Lazić, Nikola Tanasić, Dragan Mašović ... 1

#### JEDNAKI NA PUTU: RODNA RAVNOPRAVNOST I SAOBRAĆAJ U REPUBLICI SRBIJI

EQUALITY ON THE WAY: GENDER EQUALITY AND TRAFFIC IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Ana Pavlović ... 13

## ТЕМА 2 / Утицаји пута и саобраћаја на окружење

### ROAD AND TRAFFIC IMPACTS ON ENVIRONMENT

#### UTICAJ I TRETMAN OTPADNIH VODA OPTEREĆENIH BETONSKIM MULJEM

IMPACT OF WASTEWATER LOADED WITH CONCRETE MUD AND THEIR TREATMENT

Maida Muratović, Marko Ilić ... 19

#### POSTAVLJANJE EKO-PRELAZA NA SAOBRAĆAJNICAMA U PREDJELIMA OČUVANE PRIRODE

CONSTRUCTION OF ECO-CROSSING ON TRAFFIC ROADS IN AREAS OF PRESERVED NATURE

Elma Šukurica, Jovana Đukanović ... 28

#### PRORAČUN SMANJENJA EKVIVALENTNOG UGLJEN-DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>e) PRIMENOM TERMOSTABILNE GEOMREŽE NA PRIMERU GLAVNOG PROJEKTA DP IB REDA BR.12 DEONICA ŽABALJ - ZRENJANIN

CALCULATION OF THE REDUCTION OF EQUIVALENT CARBON-DIOXIDE (CO<sub>2</sub>e) USING THERMOSTABLE GEOGRID ON THE EXAMPLE OF THE MAIN PROJECT OF S.R. IB ORDER NO. 12 SECTION ŽABALJ - ZRENJANIN

Dragan Stojnić, Marija Bakrač ... 38

#### FAUNA INVERTEBRATA U PRIVREMENIM VODENIM STANIŠTIMA NA PUTEVIMA U SRBIJI

FAUNA OF INVERTEBRATES IN TEMPORARY AQUATIC HABITATS ON ROADS IN SERBIA

Mihajlo Stanković ... 51

SISTEM ZA MERENJE KVALITETA VAZDUHA SA LoRa RADIO VEZOM AIR QUALITY MEASUREMENT SYSTEM WITH LoRa RADIO CONNECTION Milan Stojanović, Ljubomir Vračar, Ilija Neden Dimitriu ...	62
ПАМЕТНИ GRADOVI - KONCEPT I UTICAJI NA ŽIVOTNU SREDINU SMART CITIES - CONCEPT AND ENVIRONMENTAL IMPACTS Srđan Nedeljković, Igor Jokanović, Milica Pavić ...	71
ПОТЕНЦИЈАЛ ПРИМЕНЕ „МИКРО“ ВОЗИЛА У СМАЊЕЊУ ЕКОЛОШКОГ ЗАГАЂЕЊА THE POTENTIAL OF APPLICATION OF "MICRO" VEHICLES IN REDUCING ENVIRONMENTAL POLLUTION Јелица Комарица, Драженко Главић, Марина Миленковић ...	82
ГЕОМЕТРИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ ТРАСЕ КАО ПАРАМЕТАР ПРОСТОРНЕ УСКЛАЂЕНОСТИ ПУТА СА НЈЕГОВОМ НЕПОСРЕДНОМ ОКОЛИНОМ GEOMETRICAL ROAD ALIGNMENT SHAPING AS A PARAMETER OF ITS SPATIAL HARMONIZATION WITH THE CLOSE ENVIRONMENT Sanja Fric, Dejan Gavran, Vladan Ilić, Filip Trpčevski, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić, Nikola Milovanović ...	94
УТИЦАЈ ПРОМЕНЕ НАГИБА КОСИНЕ ТРУПА ПУТА НА ПОВРШИНУ ЕКСПРОПРИЈАЦИЈЕ И КУБАТУРУ МАТЕРИЈАЛА ЗА ИЗРАДУ НАСИПА IMPACT OF ROAD EMBANKMENT SLOPE CHANGE ON LAND ACQUISITION AND EARTHWORKS VOLUME Vladan Ilić, Dejan Gavran, Sanja Fric, Filip Trpčevski, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić, Nikola Milovanović...	103
ИСКУСТВА ПРИМЕНЕ И СПРОВОЂЕЊА МЕРА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У ТОКУ ИЗГРАДЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ АУТОПУТЕВА EXPERIENCES OF APPLICATION AND IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL PROTECTION MEASURES DURING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF HIGHWAYS Владан Тасић ...	115
АУТОМАТИЗАЦИЈА ОБРАДЕ ПОДАТАКА И ПРАЋЕЊА СТАЊА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ТОКОМ ИЗГРАДЊЕ АУТО-ПУТА „ПОЈАТЕ-ПРЕЛЈИНА“ AUTOMATION OF DATA PROCESSING AND MONITORING OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT DURING THE CONSTRUCTION OF THE "POJATE-PRELJINA" HIGHWAY Nemanja Jevtić ...	127
АНАЛИЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА (LCA) АСФАЛТНИХ КОЛОВОЗА СА САДРЖАЈЕМ БАКАРНЕ И ЧЕЛИЧНЕ ЗГУРЕ LIFE CYCLE ANALYSIS (LCA) OF ASPHALT LAYERS CONTAINING COPPER AND STEEL SLAG Jelena Đorđević, Goran Mladenović ...	133

ACTIVE AND PASSIVE FACING SYSTEMS FOR REINFORCED SOIL STRUCTURES AND THEIR SUSTAINABLE POSITIVE EFFECTS IN REDUCING CO2 EMISSIONS IN BRIDGE ABUTMENTS Victor Poberezhnyi, Marija Bakrac, Thomas Hasslacher ...	144
PRAĆENJE STANJA ŽIVOTNE SREDINE U ZONI UTICAJA PUTA – OBAVEZE I FAKTIČKO STANJE ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE ROAD INFLUENCE ZONE - OBLIGATIONS AND ACTUAL STATUS Mimoza Jeličić, Uroš Milinčić, Ana Momčilović, Gorica Aleksić ...	152
STRATEŠKE KARTE BUKE AGLOMERACIJE NOVI SAD AGGLOMERATION OF NOVI SAD STRATEGIC NOISE MAPS Dejan Todorović, Milica Raičković, Tamara Vuković ...	159
INSTRUMENT ZA TERENSKA MERENJA AKUSTIČKIH KARAKTERISTIKA BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE INSTRUMENT FOR FIELD MEASUREMENTS OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF NOISE PROTECTION BARRIERS Dejan Todorović, Mirjana Mihajlović, Milica Raičković, Iva Salom ...	171
ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE I BAZA PODATAKA O PUTEVIMA ENVIRONMENTAL PROTECTION AND THE ROAD DATABASE Snežana Radulović Jevremović, Nada Dragović, Mimoza Jeličić ...	182
UTICAJ DRUMSKOG SAOBRAĆAJA AUTOPUTEM A4 NA IZLOŽENOST BUCI STANOVNIŠTVA U NASELJENOM MESTU THE EFFECT OF ROAD TRAFFIC ON THE A4 HIGHWAY ON THE NOISE EXPOSURE OF THE POPULATION IN THE SETTLEMENTS Momir Prašćević, Darko Mihajlov, Aleksandar Gajicki ...	189
UTICAJ IMPLEMENTACIJE RAMP METERINGA I PROMENLJIVOG OGRANIČENJA BRZINE NA EMISIJU ŠTETNIH GASOVA THE IMPLEMENTATION EFFECTS OF RAMP METERING AND VARIABLE SPEED LIMITS ON THE GREENHOUSE EMISSIONS Marijo Vidas, Vladan Tubić, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Nemanja Stepanović ...	199
UGROŽAVANJE I ZAŠTITA VODNIH RESURSA, BUNARA „IVKOVE VODENICE“ ZA SNABDEVANJE DIMITROVGRADA, REKE NIŠAVE I ŠIREG SLIVNOG PODRUČJA, IZGRADNJOM AUTO PUTA E80 - NIŠ - PROSEK / BUGARSKA GRANICA - DEONICA OD KM 99+833 DO KM 101+584.002 J. Despotović, M. Vasiljević, A. Đukić, B. Babić ...	206
УРБАНА МОБИЛНОСТ КАО МУЛТИДИСЦИПЛИНАРНИ ПРИСТУП УНАПРЕЂЕЊУ КВАЛИТЕТА ЖИВОТА У ГРАДОВИМА URBAN MOBILITY AS A MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO IMPROVING THE QUALITY OF LIFE IN CITIES Јелена Кртенић, Александар Милентијевић, Валбона Самарџија ...	212

**ТЕМА 3 / Утицаји климатских промена и других фактора на саобраћај и путну инфраструктуру**

IMPACTS OF CLIMATE CHANGES AND OTHER FACTORS ON TRAFFIC AND ROAD INFRASTRUCTURE

**PRIMENA FUZZY LOGIKE I GIS-A U ODREĐIVANJU PRIORITETA ZA SPROVOĐENJE MERA ZAŠTITE SAOBRAĆAJNICA OD BUJIČNIH POPLAVA**

APPLICATION OF FUZZY LOGIC AND GIS IN DETERMINING PRIORITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF PROTECTION MEASURES AGAINST TORRENTIAL FLOODS ON ROADS

Ivan Novković, Slavoljub Dragičević, Stanimir Kostadinov, Miroljub Milinčić, Jovana Munjas ... 212

**ТЕМА 4 / Управљање ресурсима у путној привреди**

RESOURCE MANAGEMENT IN INFRASTRUCTURE

**UTICAJ CIRKULARNE EKONOMIJE U PUTNOM SEKTORU NA GLOBALNE CILJEVE SA ASPEKTA KLIMATSKIH PROMENA**

IMPACT OD CIRKULAR ECONOMY IN THE ROAD SECTOR ON GLOBAL GOALS FROM THE ASPECT OF CLIMATE CHANGE

Milica Pavić, Igor Jokanović ... 220

**METODOLOGIJA ZA FORMIRANJE I RAZVOJ BAZE PODATAKA O POTPORNIM KONSTRUKCIJAMA**

METHODOLOGY FOR THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE DATABASE OF RETAINING STRUCTURES

Mirjana Vukičević, Snežana Mašović, Rade Hajdin, Sanja Jocković, Miloš Marjanović, Veljko Pujević, Nikola Obradović ... 231

**РЕШЕЊЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ СТАБИЛИЗОВАЊЕМ И УНАПРЕЂЕЊЕМ ЛОКАЛНОГ МАТЕРИЈАЛА УЗ ТРАСУ „БРЗЕ“ МАГИСТРАЛЕ НА ДЕОНИЦИ ОБИЛАЗНИЦЕ ОКО РУМЕ**

PAVEMENT STRUCTURE SOLUTION BY STABILIZING AND IMPROVING LOCAL MATERIAL ALONG THE ROUTE OF THE "FAST" HIGHWAY ROAD ON THE SECTION OF THE RUMA BYPASS

Душица Дрндарски ... 238

**ASPHALT REINFORCEMENT – A PROVEN ECONOMIC & ECOLOGICAL ASPHALT REHABILITATION METHOD**

Andreas Elsing, Thomas Hasslacher, Suzana Stefanovic ... 249

**OPRAVDANOST PRIMENE RESTRIKTIVNOG REŽIMA PARKIRANJA U PERIFERNIM ZONAMA: STUDIJA SLUČAJA GRADA NIŠA**

JUSTIFICATION OF THE APPLICATION OF RESTRICTIVE PARKING REGIME IN PERIPHERAL ZONES: CASE STUDY OF THE CITY OF NIŠ

Vladimir Čuljković, Jelena Simičević, Marko Vukojević ... 261



PROJEKTOVANJE MOSTOVA PREMA ZAHTEVIMA ŽIVOTNE SREDINE DESIGN OF BRIDGES ACCORDING TO ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS Stefan Ž. Mitrović, Snežana Mašović ...	269
UTICAJ PROSTORNE I VREMENSKE OPTIMIZACIJE RASPOREDA ZEMLJANIH MASA NA STANJE ŽIVOTNE SREDINE EARTH MASS ALLOCATION OPTIMIZATION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENT Nikola Milovanović, Dejan Gavran, Sanja Fric, Vladan Ilić, Filip Trpčevski, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić ...	279



## Уводна реч

У данашње време сведоци смо значајних промена стања животне средине насталих као последице разноврсних људских активности. Разумљива је тежња људског рода да користи доступне ресурсе и знања у циљу побољшавања стандарда живљења. Међутим, често се губи из вида да примењена решења доводе до поремећаја равнотеже екосистема услед експлоатације необновљивих природних ресурса, емисија загађујућих материја у воду, тло и атмосферу, као и трајних геоморфолошких промена. Неопходно је да динамичан технолошки развој буде праћен одговарајућим активностима којима ће се наведени утицаји свести у подношљиве оквире. Један од кључних показатеља достигнутог нивоа стандарда у друштвеној заједници је стање инфраструктуре. Путна мрежа и припадајући саобраћај, као један од инфраструктурних система, нису изузети из овог процеса. Изградња, само присуство, експлоатација и одржавање путева имају за последицу заузимање, односно пренамену простора, пресецање комуникација, фрагментацију екосистема, коришћење воде и минералних ресурса, као и значајне геоморфолошке и хидролошке промене средине, емисије загађујућих материја у ваздух, водена станишта и тло, као и буку.

Имајући у виду претходне чињенице, Српско друштво за путеве, Грађевински факултет у Београду и Институт за путеве су, на иницијативу поч. мр Милана Вељковића, дипл. грађ. инж., асистента на Грађевинском факултету и пионира у области истраживања утицаја буке од саобраћаја на животну средину, организовали Први југословенски научно стручни скуп Пут и животна средина 1994. године. Одражавајући скроман обим путоградње у нашој земљи с краја прошлог и првих година овог века, на овом, као и на наредна три скупа, који су организовани на четири године, најзаступљенији су били радови из области еколошког законодавства, израде студија о процени утицаја путева на животну средину и приказ страних искустава.

После једанаестогодишње паузе, 2017. је настављена традиција окупљања стручњака који се баве најразличитијим аспектима утицаја животне средине на путну привреду. Седми научно стручни скуп се одржава у време врло интензивне изградње, обнављања и модернизације путне мреже у Србији, па су актуелне теме које се тичу утицаја у фази изградње, примена нових технолошких решења са акцентом на еколошке погодности и прикупљања и израде база података за еколошке факторе изложене утицајима пута и саобраћаја. Очекујемо да ће овогодишњи Скуп бити од користи стручњацима у стицању нових искустава и проналажењу оптималних решења у остваривању циљева заштите животне средине у свим фазама животног циклуса путева.

Копредседници Научног одбора

Ђорђе Митровић  
Игор Јокановић



## ASPEKTI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U OKVIRU BAZA PODATAKA O MOSTOVIMA U REPUBLICI SRBIJI

Mašović Snežana<sup>1</sup>, Borislav Lazić<sup>2</sup>, Rade Hajdin<sup>3</sup>, Nikola Tanasić<sup>4</sup>, Dragan Mašović<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Bulevar krača Aleksandra 73, Beograd, Srbija [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs),

<sup>2</sup> Pro-Inženjering, Bulevar Zorana Đinđića 50/3, Novi Beograd, Srbija [lazic@pro-inzenjering.com](mailto:lazic@pro-inzenjering.com),

<sup>3</sup> Infrastructure Management Consultants Ltd. (IMC), Bellerivestrasse 209, 8008 Zürich, Switzerland [Rade.Hajdin@imc-ch.com](mailto:Rade.Hajdin@imc-ch.com),

<sup>4</sup> Infrastructure Management Consultants GmbH Mannheim, Landsknechtweg 28, 68163 Mannheim, Germany, [Nikola.Tanasic@imc-de.com](mailto:Nikola.Tanasic@imc-de.com)

<sup>5</sup> CRBC SERBIA OGRANAK BEOGRAD UŽIČKA 58A Srbija, [draganmasovic@gmail.com](mailto:draganmasovic@gmail.com)

**Rezime:** U republici Srbiji postoji Baza podataka o mostovima još od devedesetih godina prethodnog veka. Ova baza je u nadležnosti JP Putevi Srbije pod čijom inicijativom je izvršena revizija podataka iz baze i, u okviru projekta: **Ažuriranje metodologije za pregled i vrednovanje stanja mostova i izrada novih aplikacija za upravljanje bazom podataka o mostovima**, izrađena je nova metodologija na kojoj je zasnova tekuća verzija ove baze. U radu je opisano novo tehničko rešenje baze podataka o mostovima koje je primenjeno kroz novu Software-sku aplikaciju Baze podataka o mostovima. Prvobitna verzija baze je sadržala segmente, koji, na žalost, nisu aktivirani a odnose se na preduzete mere održavanja i odgovarajuće troškove. Predviđeno je da se ovi segmenti popunjavaju sukcesivno u narednom periodu. Kako u vreme nastanka baze (rane devedesete godine prošlog veka) aspekt zaštite životne sredine nije bio u dovoljnoj meri zastupljen, kako u okviru projektovanja, izgradnje ili tokom eksploatacije objekata, postojeća baza nije tretirala ova pitanja. Tokom daljeg razvoja baze predviđa se da se i ova problematika uzme u obzir.

**Ključne reči:** baza podataka, mostovi, rizik, zaštita životne sredine

## ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE FRAMEWORK OF THE DATABASE ON BRIDGES IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Mašović Snežana<sup>1</sup>, Borislav Lazić<sup>2</sup>, Rade Hajdin<sup>3</sup>, Nikola Tanasić<sup>4</sup>, Dragan Mašović<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Bulevar krača Aleksandra 73, Beograd, Srbija [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs),

<sup>2</sup> Pro-Inženjering, Bulevar Zorana Đinđića 50/3, Novi Beograd, Srbija [lazic@pro-inzenjering.com](mailto:lazic@pro-inzenjering.com),

<sup>3</sup> Infrastructure Management Consultants Ltd. (IMC), Bellerivestrasse 209, 8008 Zürich, Switzerland [Rade.Hajdin@imc-ch.com](mailto:Rade.Hajdin@imc-ch.com),

<sup>4</sup> Infrastructure Management Consultants GmbH Mannheim, Landsknechtweg 28, 68163 Mannheim, Germany, [Nikola.Tanasic@imc-de.com](mailto:Nikola.Tanasic@imc-de.com)

<sup>5</sup> CRBC SERBIA OGRANAK BEOGRAD UŽIČKA 58A Srbija, [draganmasovic@gmail.com](mailto:draganmasovic@gmail.com)

**Abstract:** In the Republic of Serbia, the Bridge Database existed since the nineties of the previous century. This database is under the jurisdiction of PE Roads of Serbia that initiates the data revision and, as part of the project: **Updating the methodology for the review and evaluation of the state of bridges and the development of new applications for the management of the bridge database**, a new methodology was created on which it is based current version of this database. The paper describes a new technical solution of the bridge database, which was implemented through the new Bridge Database software application. The original version of the database contained segments, which, unfortunately, have not been activated and refer to the maintenance measures taken and the corresponding costs. It is planned that these segments will be filled successively in the coming period. Since, at the time of the creation of the base (early nineties of the last century), the aspect of environmental protection was not sufficiently represented, both within the design, construction and exploitation of facilities, the existing base did not deal with these issues. During the further development of the database, it is expected that this issue will be taken into account.

**Keywords:** database, bridges, risk, environmental protection

---

<sup>1</sup> Snežana Mašović: [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Baza podataka o mostovima je osmišljena zbirka podataka o mostovima određene putne mreže. U Republici Srbiji je razvijena verzija SR-01 1988., zatim je 1990. ušla u upotrebu verzija SR-02, a kasnije 1998. verzija SR-03. 2012 [1,2]. U bazi se aktivira segment **Nosivost mosta**, a na osnovu tadašnjeg metodološkog rešenja [3-5]. Nabrojane verzije baze su razvijene kroz originalni istraživači projekat urađen u Institutu za puteve na osnovu dostupnih saznanja o sadržaju sličnih baza u razvijenim zemljama. Iako je navedeno rešenje verifikovano višegodišnjom praksom upotrebe unetih podataka iz baze, novo rešenje, nakon revizije postojećeg, uvodi određene izmjene i dopune kako u okviru podataka inventara tako i u okviru evaluacije i vrednovanja mostova po nekoliko parametara. Adekvatno zasnovana baza podataka je preduslov za uvođenje savremenog sistema upravljanja mostovima.

Pored restrukturiranja postojećih podataka u bazi, što će, zahvaljujući novom korisničkom interfejsu, značajno olakšati korišćenje podataka iz baze za potrebe JP Putevi Srbije kao i, u skladu sa politikom transparentnosti i dostupnosti podataka, različitim korisnicima (na više nivoa). Nivoi pristupa bazi podataka korisničkih priručnika će biti definisani posebnim ograničenjima uz aplikaciju baze.

Ovaj rad detaljno opisuje novo metodološko rešenje, kako u okviru već postojećih segmenata baze podataka, tako i u svrhu uspostavljanja novih segmenata koji su predviđeni kao ažuriranje - unapređenje metodologije za pregled i ocjenu (vrednovanje) stanja mostova. Takođe je sačinjen rečnik baze podataka mosta, obogaćen skicama, kako bi korisnici baze, ali i inspektori koji pregledaju i ocenjuju mostove lakše koristili. Rečnik je u svemu saglasan sa pojmovnikom prikazanom u literaturi [6].

U prethodnoj, kao i u tekućoj verziji rešenja pitanje zaštite sredine nije posebno razmatrano. Međutim u skladu sa najnovijim saznanjima iz ove oblasti, kao i sve većem broju naučnih radova posvećenih ovoj problematici u narednom periodu je preporučljivo da se podaci o inventaru na nivou pojedinačnog mosta prošire podacima o biodiverzitetu na lokaciji mosta. Takođe da se uporedo sa podacima o održavanju mostova, uvrste i podaci o parametrima koji utiču na životnu sredinu radi izbora odgovarajućih mera održavanja mostova koji će u optimalnoj meri biti u skladu sa zaštitom životne sredine.

## 2. SEGMENTI BAZE

Na nivou pojedinačnog mosta informacije su grupisane u segmente. Predviđeni su sledeći segmenti:

1. inventar;
2. podaci o stanju;
3. podaci o nosivosti;
4. podaci o planiranim i izvedenim radovima;
5. evidenciju prelaska vanrednih tereta;
6. ostali podaci.

Od predviđenih segmenata samo su segmenti 1 - Inventar; 2 - Podaci o stanju i 3 - Podaci o nosivosti bili delimično popunjeni usled nedostatka resursa. Kako podaci o nosivosti iziskuju statičku kontrolu ugroženih elemenata mosta ovaj se segment pounjava sporo i uglavnom prema posebnim zahtevima.

### 2.1. Inventar

Inventar je skup podataka kvazistatičkog karaktera (uslovno nepromenljivog karaktera), pri čemu je za svaki most, dodeljuje ID broj, otvara dosijue i unose određeni podaci inventara. Postoje sljedeće grupe podataka o inventaru:

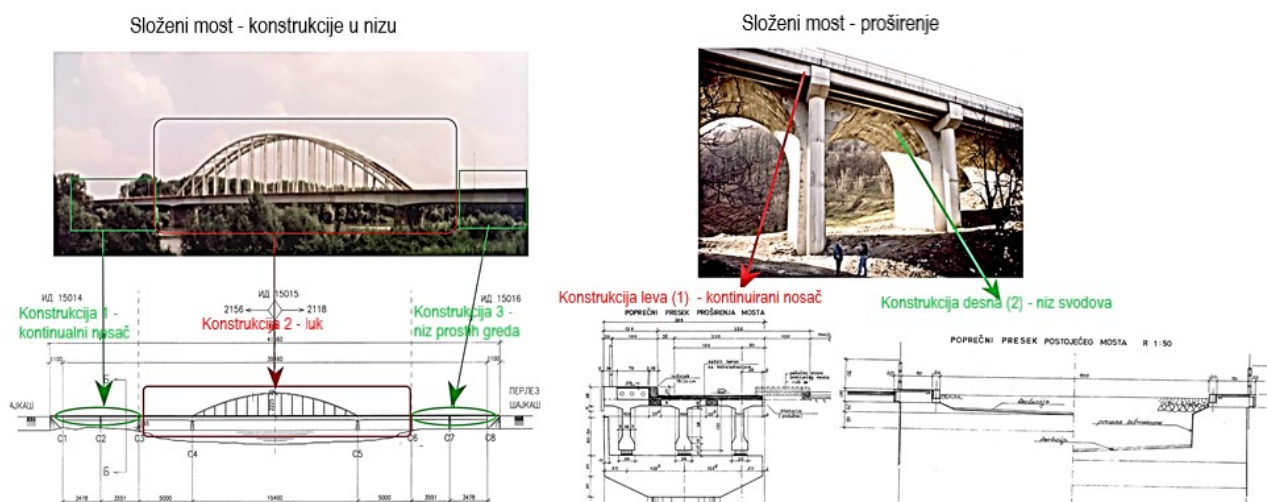
- o lokaciji mosta (vrsta i broj puteva, stacionaža...);
- o geometriji mosta (rasponi, širina kolovoza i pješačkih staza...);
- o konstrukciji (statički sistem);
- o pratećim sadržajima (ograde, ivičnjaci...)
- o odgovornostima i nadležnostima (projektant, izvođač, nadzor, održavanje)
- o drugim važnim činjenicama:
  1. Naziv mosta
  2. Namena mosta
  3. Vrsta i naziv prepreke
  4. Vrste saobraćaja na mostu
  5. Stacionaže početka, sredine i kraja mosta (km)
  6. GPS X, Y I Z koordinate sredine mosta

Radi što ujednačenijem upisu ovih podataka pripremljeni su predefinisani odgovori za pojedine parameter iako je predviđena mogućnost unos u formi slobodnog teksta ako ni jedan od ponuđenih odgovora ne odgovara stanju na terenu. Rečnik baze podataka, priložen metodološkom rešenju baze podataka obogaćen skicama

značajno olakša adekvatan unos. Takođe je, novom softwear-skom aplikacijom, predviđeno da se unese grafička dokumentacija i/ili fotodokumentacija sa pregleda.

Često se na istoj lokaciji, preko iste prepreke, nalazi više međusobno nezavisnih konstrukcija koje koriste zajedničke srednje stubove na mestima gde se jedna završava i počinje druga (u podužnom smislu) ili, se u poprečnom smislu, nalazi više samostalnih konstrukcija pod zajedničkom saobraćajnom površinom, definisan je pojam složenog mosta. Svaka od konstrukcija koje čine složeni most ima svoj **ID** imajući u vidu da konstrukcije mogu biti i različitih statičkih sistema ili različitih poprečnih preseka (slika 1.). Složeni most takođe ima svoj **ID**, međutim, bez posebnih opisa ili ocjena, već samo predstavljajući skup svih konstrukcija koje čine jedan most.

Kod konstrukcija u nizu postoji problem definisanja krajnjih stubova i ostalih nosećih elemenata koji povezuju most i nasip. Naime, most je povezan sa ostatkom kolovoza upravo preko krajnjih stubova i seta nosećih elemenata (krila, prelaznih ploča, nasipa i šljunčanih klinova), dok neki od središnjih konstrukcija u nizu nemaju vezu sa nasipima na krajevima mosta. U tom smislu, međukonstrukcije u nizu nemaju krajnje stupove kao što se obično definiše za mostove. Dakle, most ima dva krajnja stuba, dok konstrukcija ne mora imati krajnji stub koji ga povezuje sa nasipom. Konačno stanje složenog mosta se sada izvodi iz stanja svih konstrukcija koje ga sačinjavaju i to kao najgore stanje među konstitutivnim konstrukcijama.



**Slika 1.** Primeri složenih mostova

Source: (Baza podataka o mostovima foto dokumentacija - adaptirano)

### 2.1.1. Struktura inventarskih podataka

Inventarski podaci su grupirani u četiri jedinice:

#### 1. Osnovni inventarni podaci o mostu:

- Naziv mosta;
- Datum registracije mosta;
- Kategorija puta na kojem se most nalazi;
- Ukupna dužina mosta i ukupna širina mosta;
- Tip mosta/Konfiguracija mosta (broj konstrukcija u uzdužnom pravcu/ Broj objekata u poprečnom pravcu);
- Naziv prepreke / Vrsta prepreke;
- Otvori mostova (m);
- Slobodna visina ispod mosta u zavisnosti od objekta premošćavanja;
- Vrste saobraćaja na mostu;
- Lokacija mosta / Karakteristike mikroklimе na lokaciji mosta;
- PGDS (vozila/dan);
- Mogućnost zaobilaznja prepreke - slobodan tekst;
- Odeljenje zaštite i održavanja/Kompanija zadužena za održavanje/Opština.

#### 2. Inventar saobraćajnog profila mosta:

- Osnovne informacije o putu u zoni mosta;
- Geometrija puta na mostu / Geometrija mosta;
- Podaci o kolovozu na mostu;
- Ivičnjak na mostu / Pešačka (radna) staza na mostu;
- Ograda za pješake / Zaštitna ograda za vozila;

- Saobraćajna signalizacija i saobraćajna oprema na mostu.
3. Inventarski podaci o konstrukciji/konstrukcijama mosta:
- Statički sistem konstrukcije
  - Rasponi kolovozne konstrukcije
  - Tip poprečnog preseka kolovozne konstrukcije
  - Materijal kolovozne konstrukcije
  - Geološki profil
  - Temelji krajnjih stubova
  - Temelji srednjih stubova
  - Opis krajnjih stubova
  - Opis srednjih stubova
  - Opis svoda
  - Opis luka
  - Opis nadlučnog zida
  - Opis vješaljki
  - Opis pilona
  - Opis kosih zatega
  - Opis užeta (kod visećih mosta)
  - Materijal substrukture
  - Način izgradnje
  - Podaci o odgovornostima i nadležnostima (projektant, izvođač, nadzor)
4. Inventar opreme mosta:
- Dilatacione sprave na mostu;
  - Hidroizolacija;
  - Ležišta;
  - Zaštita od korozije;
  - Drenaža na mostu.

### 2.1.2. Kategorija mosta

Kategorija mosta se definiše karakterističnim celim brojem od 1 do 5 (označen kao KM). Ovaj parametar je izveden iz tri podatka koji predstavljaju kvazi-inventarske podatke (prefiks 'kvazi' treba shvatiti kao mogućnost da se podaci mogu promijeniti tokom radnog veka mosta kao rezultat promena u zakonskim i podzakonskim aktima [ 8 -13] na osnovu kojih se klasifikuju određeni parametri, kao i promene intenziteta saobraćaja na mostu (promene PGDS). Elementi na osnovu kojih je opisana kategorija mosta su:

1. Kategorija puta na kojem se nalazi most;
2. PGDS (prosječni godišnji dnevni saobraćaj);
3. Vrsta prepreke.

Skala za svaki od ovih parametara ima 5 gradacija koje su precizno definisane u okviru metodologije a u skladu sa zakonskim i podzakonskim aktima, dok je u tabeli 1 prikazana kombinacija ocena za određivanje kategorije mosta.

**Tabela 1. Određivanje kategorije mosta**

Opis	Kategorija mosta (KM)	Kombinacija oceana parametara
Most od izuzetnog značaja	1	Bilo koji parametar ocenjen ocenom 5 ili bar dva parametra ocenjeno ocenom 4
Most od velikog značaja	2	Samo jedan parametar ocenjen ocenom 4 ili sva tri parametra ocenjena ocenom 3
Most srednjeg značaja	3	Maksimalno dva parametra ocenjena ocenom 3
Most manjeg značaja	4	Najveća ocena bilo kog parametra je 2 2
Most malog značaja	5	Svi parametri ocevni ocenom 1

Izvor: (Tehničko rešenje projekta ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova)

Na osnovu ovako određene kategorije mosta, u kombinaciji sa ocenama elemenata mosta utvrđenim tokom pregleda, moguće je donijeti odluke o potrebnim mjerama, uzimajući u obzir rizik u pogledu posljedica ako most ugrožava saobraćaj na ili ispod mosta. Shodno tome veći se značaj daje mostovima kod kojih su posljedice otkaza veće. Na primjer, most na nekategorisanom putu, koji je u veoma lošem stanju, ugrožava saobraćaj na putu ispod mosta, a samim tim se povećava značaj ovog mosta.



## 2.2. Ocene stanja mosta

### 2.2.1. Indikatori stanja konstrukcije mosta

Spisak elemenata konstrukcije koji se ocenju je: 1. temelji krajnjih stubova, 2. temelji srednjih stubova, 3. krajnji stubovi sa anđeoskim krilima, 4. srednji stubovi ili piloni, 5. ploča i konzole, 6. glavni nosač superstrukture, 7. poprečni nosač, 8. spregovi 9. luk ili svod 10. nadlučni zid 11. vešaljka 12. noseće uže (viseći most) 13. kose zatege i 14. ležišta. Ovaj je spisak generički obzirom da most obično poseduje veći broj elemenata istog tipa, dok pojedini elementi ne postoje zavisno od statičkog sistema. Ocene se kreću na skali 1-5 pri čemu 1 označava najbolje stanje (kao novo), dok 5 označava da je element u kritičnom stanju sa velikom verovatnoćom loma. Ukoliko most ima više elemenata istog tipa ocena za taj element je najgora od ocena dodeljenim pojedinačnim elementima tog tipa. Npr. ako postoji više srednjih stubova ocena za srednji stub je određena ocenom stuba koji je u najlošijem stanju. Ove ocene, obzirom da se određuju na bazi vizuelnog pregleda mogu biti subjektivne te je zato neophodno dokumentovati datu ocenu fotografijom koja se takođe prilaže u bazu. Tabela 2 služi kao pomoću pri ocenjivanju elemenata konstrukcije.

**Tabela 2.** Uputstvo za dodeljivanje ocena nosećim elementima konstrukcije

Element/grupa elemenata	Opisna ocena / Opis stanja	Numerička vrednost
Elementi konstrukcije (za svaki od prvih 13 pobrojanih elemenata)	Dobro / nema vidljivih oštećenja elemenata ili element ne postoji	1
	Prihvatljivo / Uočavaju se simptomi procesa ugrožavanja na mestima koja nisu izložena značajnim naprezanjima (van osetljivih zona)	2
	Nepovoljno / Simptomi nepovoljnih procesa u kritičnim zonama elementa	3
	Veoma loše / Aktivan nepovoljni proces u kritičnim zonama elementa sa mogućnošću smanjenja nosivosti elementa	4
	Kritično / Velika verovatnoća gubitka nosivosti elementa	5
Ležišta	Dobro / nema vidljivih oštećenja elemenata ili ležišta ne postoje	1
	Prihvatljivo / Početne pojave korozije delova elemenata ležišta	2
	Nepovoljno / Značajna korozija elemenata ležišta	3
	Vrlo loše / Pogoršanje opšteg stanja sa pretnjom daljeg negativnog razvoja	4
	Kritično / Zaglavljenost, prestanak funkcije, teška oštećenja sa posledicamama na rasponskoj konstrukciji.	5

Pri davanju ocena potrebno je odgovarajuća inženjerska procena imajući u vidu da se ocene samih elemenata direktno preslikavaju na ocenu stanja konstrukcije u pogledu nosivosti. Ovo podrazumeva da su učesnici u pregledu mostovskih konstrukcija upoznati sa statičkim radom različitih statičkih sistema mostova radi identifikacije kritičnih zona elemenata, kao i razumevanja sadejstva elemenata konstrukcije. Očito je da ocene mogu biti subjektivne pa je zato neophodno odgovarajuće iskustvo stručnog tima za inspekciju mosta. Vođa tima bi svakako morao biti licencirani master inženjer konstruktivnog modula Građevinskog fakulteta sa minimalno 3 godine iskustva u pregledu mostova.

### 2.2.2. Indikatori daljeg propadanja konstrukcije mosta

Među elementima koji se pregledaju i ocenjuju su i elementi koji ukazuju na mogućnost daljeg propadanja konstrukcije. Radi se uglavnom o zamenjivim elementima opreme mosta. U ovu grupu su uključena i ležišta iako se njihova ocena već vrednuje u oceni nosivosti konstrukcije. To i proizilazi iz njihove dvojne funkcije nosivosti, kao elemenata koji prenose opterećenja, i artikulacije, kao elemenata koji omogućavaju pomeranje konstrukcije. Ostali elementi su: 1 - Dilatacione sprave; 2 – Kolovoz; 3 – Hidroizolacija; 4 - Sistem za odvodnjavanje; 5 - Vodotok ili područje ispod mosta; 6 – Instalacije.

Element 'Hidroizolacija' nije direktno dostupna vizuelnom pregledu, ali se na osnovu inženjerske procene može i ovom elementu dati ocena, uglavnom na osnovu pojava procurivanja kroz kolovoznu ploču. Ocena hidroizolacije je blisko vezana sa ocenom kolovoznog zastora. Detaljna uputstva za formiranje ocena poledinih elemenata se nalazi u [7,17].

Zajednička ocena daljeg propadanja konstrukcije, označena kao DP, se određuje prema tabeli 3.

**Tabela 3. Uputstvo za formiranje indikatora daljeg propadanja konstrukcije mosta**

Opis	Ocena	Kombinacija ocena
Malo verovatno značajnije propadanje do sledećeg pregleda	1	Svi elementi ocenjeni sa 1
Propadanje će se nastaviti na sličan način kao od predhodnog pregleda	2	Najveća ocena među elementima je 2
Propadanje će se intenzivirati	3	Maksimalna ocena među elementima 3 i najviše tri elementa ima ocenu 3.
Veoma loša prognoza	4	Najveće ocena je 4 i ima samo jedna ocena 4, ili četiri elmenta ima ocenu 3.
Kritično po pitanju daljeg propadanja konstrukcije	5	Jedna ocena je 5 ili bar dva elementa imaju ocenu 4.

### 2.2.3. Indikatori bezbednosti saobraćaja

Među elementima koji se pregledaju i ocenjuju su i elementi koji ukazuju na bezbednost saobraćaja na ili ispod mosta. Radi se o elementima saobraćajne opreme, elementima veze mosta i puta na nasipu i eventualnih pratećih elemenata. Pojedini elementi su već ocenjeni u okviru indikatora daljeg propadanja (npr. dilatacione sprave), što je posledica njihove višestruke uloge. Međutim procenjene količine za popravku se iskazuju u okviru zapisnika o pregledu Indikatora bezbednosti saobraćaja. Ima ukupno 13 elemenata: 1 - Geometrija mosta; 2 - Dilatacione sprave; 3 – Kolovoz; 4 - Sistem za odvodnjavanje; 5 - Pešačke staze; 6 - Slobodno stojeća krila; 7 – Klinovi; 8 – Prelazne ploče; 9 – Kegle ili propušteni nasip; 10 – Signalizacija; 11 – Ograde; 12 – Ivičnjaci; 13 - Instalacije. Od značaja je primetiti da elementi "Klinovi" i "Prelazne ploče" nisu dostupni vizuelnom pregledu, već se ocena izvodi iz gotovo identičnog opisa oštećenja. Tako da su te dve ocene u tesnoj vezi (mogu se računati kao jedna jer su uglavnom identične). Ovim elementi se može pridružiti i ocena "Kegle/propušten nasip", te se od ova tri elementa formira jedinstvena ocena (izborom najveće od datih ocena). Na taj način je ukupan broj ocena (ne elemenata) sveden na deset. Od ovih deset (10) ocena formira se indikator Bezbednosti saobraćaja (BS) prema tabeli 4.

**Tabela 4. Uputstvo za formiranje indikatora bezbednosti saobraćaja**

Opis	Ocena	Kombinacija ocena
Bezbednosti saobraćaja zadovoljavajuća	1	Svi elementi ocenjeni sa 1
Bezbednost saobraćaja u manjoj meri ugrožena	2	Najveća ocena među elementima je 2
Bezbednost saobraćaja se ne može garantovati	3	Najveća među ocenama je 3 i ima manje od tri ocene 3
Bezbednost saobraćaja ugrožena u većoj meri	4	Najveća među ocenama je 4 i ima samo jedna ocena 4, ili su četiri elementa ocenjena sa 3
Kritično po pitanju daljeg propadanja konstrukcije	5	Jedna ocena je 5 ili dve ocene su 4, ili je sedam ocena je 3

### 2.3. Segment Nosivost

Detalje u vezi sa proračunim nosivosti mostova se mogu naći u Uputstvu za primenu pravilnika o utvrđivanju nosivosti postojećih mostova na državnim putevima sa komentarima [3-5]. Novo pripremljeni formulari se nalaze u prilogu ovog izveštaja i ono sadrže sledeće grupe podataka (u sličnoj strukturi kako je bila predviđena i u prethodnoj verziji baze). Tako se unose opšti podaci o mostu, nakon čega slede sledeće grupe podataka:

- Povod za proveru nosivosti mosta
- Popis oštećenih elemenata sa ocenama stanja
- Popis računskih šema opterećenja sa kojima je vršena provera nosivosti
- Popis proveranih i kritičnih elemenata i za svaki kritični element u odgovarajućem broju (kritičnih) nakon čega se u bazu unose sledeći podaci:
  1. Statički uticaji u kritičnim elementima
  2. Primenjen metod kontrole kritičnijh elemenata
  3. Karakteristike preseka kritičnih elemenata
  4. Kvalitet materijala kritičnih elemenata
  5. Primenjeni koeficijenti sigurnosti, odnosno primenjeni dopušteni naponi (inventarski i radni)
- Po svakom kritičnom elementu se zatim unosi:
  1. Inventarska i radna nosivost o

## 2. Inventarski i radni faktor nosivosti.

Podaci koje je ovde potrebno upisati su rezultat kontrolnog statičkog proračuna, u svemu prema ###. Treba imati u vidu da su elementi konstrukcije (za koje se vrši provera nosivosti) u inventaru, kao i u pregledima prikazani u generičkoj formi, ne vodeći računa o broju elemenata u sklopu konstrukcije mosta (npr. veći broj glavnih, poprečnih nosača i slično), a kako pravilnik ne daje instrukcije kako postupiti u tom slučaju, neophodno je da ukoliko ima više elemenata koji pripadaju istom generičkom opisu izvršiti kontrolu za svaki od njih na kome su uočena oštećenja. Za ovo je neophodan dodatni sistematski pregled neposredno pre vršenja kontrole nosivosti. Nakon kontrolnog statičkog proračuna u bazu se unose podaci koji odgovaraju onom elementu, iz grupe elemenata koji imaju isti generički opis, sa najmanjim inventarskim i/ili radnim faktorom nosivosti. Radna i/ili inventarska otpornost se određuje na osnovu dimenzija preseka i karakteristika materijala. Ukoliko se kontrola vrši prema dopuštenim naponima dobijaju se za svaki oblik naprezanja (presečne sile) dve vrednosti otpornosti: inventarska i radna.

Konačno se od više kontrolisanih generičkih elemenata identifikuje onaj sa najmanjim faktorima nosivosti kao merodavni i na osnovu rezultata tog elementa se upisuju:

- Inventarska dozvoljena težina vozila i odgovarajuće osovinsko opterećenje;
- Radna dozvoljena težina vozila i osovinsko opterećenje.

Organizacija koja je vršila kontrolu nosivosti predlaže radove na mostu radi uspostavljanja adekvatne nosivosti kao sastavni deo izveštaja, koji se unosi u bazu.

### 2.4. Segment: Ocena ugroženosti od prirodnih nepogoda na nivou pojedinačnog mosta

Ovaj segment se nalazi u početnoj fazi razvoja i za sada pokriva unos podataka radi ocene ugroženosti od poplava.

#### 2.4.1. Dopunski podaci o mikrolokaciji

Za ovu grupu podataka je poželjno koristiti hidrološke, hidrotehničke i geološke podloge kako bi se procenila izloženost poplavama:

- Zabeležena visina velike vode i njen povratni period kao i mogućnost dopiranja vode do ležišta superstrukture
- Istorijat poplava sa maksimalnim nivoima vode
- Rečno korito i tip rečnog tla
- Opis rečnog korita i rečnog dna
- Mogućnost i pojava nagomilavanja nanosa.

Uz istorijat poplava, neophodno je navesti godinu, a zatim u slobodnom tekstu dati procenu magnitude (npr. 50-to godišnja voda), da li je voda prešla preko konstrukcije, eventualna oštećenja prilaznih saobraćajnica, trajanje poplave i slično. Zapisi ovog tipa se dopunjavaju nakon svake poplave.

#### 2.4.2. Dopunski podaci o konstrukciji mosta

Radi ocene ugroženosti mosta od poplava potrebni je izvršiti dopune inventarskih listova. Ove dopune se obavljaju periodično, odnosno kontrolišu pri sistematskom pregledu mosta, ili se upisuju pri specijalističkom pregledu [14], koji ima za cilj ocenu ugroženosti od poplava. Kao potpuno nov podatak unosi se broj raspona. Numeracija stubova se obavlja u pravcu rasta stacionaže. Nakon toga je potrebno za svaki stub mosta ukuljučivo i krajnje stubove popuniti tabelu za dopunu inventarskih podataka o konstrukciji mosta radi ocene ugroženosti od poplava. U ove podatke spadaju:

- Broj stuba i opis stuba
- Veza stuba sa superstrukturom i tip ležišta
- Vrsta i dubina fundiranja i tip tla u temeljnoj spojnici
- Zaštitne mere protiv štetnog delovanja vode

#### 2.4.3. Dopunski podaci u okviru pregleda

Među pregledanim elementima: temelji krajnjih i srednjih stubova, krajnji i srednji stubovi, područje ispod mosta, kegle i klinovi/pristupni nasip, pored godine pregleda, ocena i opis dopunjuje se spisakom mogućih oštećenja i konstatuje se da li je uočeno štetno delovanje vode i/ili prateće posledice. Pomenuti spisak je dat u formi izbora sa liste i/ili komentara i predstavlja dopunu već unetih ocena ovih elemenata sa stanovišta ugroženosti od poplava. Konstatuje se da li postoje oštećenja na superstrukтури ili opremi mosta koja su uzrokovana sleganjima ili drugim oštećenjima temelja nastalih podlokavanjem.

#### 2.4.4. Predlog mera radi zaštite od poplava

Iako se segment baze nalazi tek u začetku, odnosno relativno malo postojećih podataka se može iskoristiti za njegovo popunjavanje, predviđeno je da se prema kataloškim odrednicama predlože mere kako radi dopunjavanja postojećih podataka tako i radi postavljanja mere zaštite od poplava. Ovde treba imati u vidu da je predviđeno da se može izabrati više mera istovremeno.

#### 2.5. Segment: Evidentiranje specijalnog transporta

U skladu sa zakonskim aktima [15,16] podnosioci zahteva za vanredni prevoz dostavljaju podatke koje je potrebno evidentirati u bazi, kako bi se olakšalo i ubrzalo izdavanje dozvola.

Predviđeno je da se podaci o vanrednom prevozu, na osnovu već izdatih dozvola, implementiraju u bazu. Nakon toga, se za svaki naredni zahtev ažuriraju/dodaju. Radi evidentiranja specijalnih transporta predviđeno je da se u bazu unose sledeći podaci:

- Podnosilac zahteva za specijalni transport
- Datum podnošenja zahteva
- Broj zahteva
- Specifikacija specijalnog transporta:
  1. Vršilac kontrole
  2. Datum izdavanja dozvole
  3. Važenje dozvole.

### 3. PREDLOG MERA NA BAZI RIZIKA

Kombinacija ocene stanja konstrukcije (SK) i kategorije mosta (KM) ukazuje na rizik od otkaza konstrukcije. Na taj način se iskazuje prioritet u održavanju konstrukcije. U slučaju složenih mostova usvaja se kao stanje mosta najgora među ocena stanja pojedinačne konstrukcije. Ova kombinacija je prikazana matricom rizika na slici 2.

	SK	1	2	3	4	5
KM						
1						
2						
3						
4						
5						

**Slika 2.** Matrica rizika konstrukcije mosta

Source: (Mašović, S.; Lazić, B.; Tanasić, N.; Hajdin, R. (2019). Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova (Radna verzija). Beograd, Srbija. 106 p)

Kombinacija ocene indikatora daljeg propadanja konstrukcije (DP) i kategorije mosta (KM), prikazana je matricom rizika na Slici 3, ukazuje na rizik u smislu daljeg propadanja konstrukcije mosta. Na taj način se iskazuje prioritet u održavanju elemenata koji utiču na nastavak propadanja konstrukcije.

	DP	1	2	3	4	5
KM						
1						
2						
3						
4						
5						

**Slika 3.** Matrica rizika daljeg propadanja mosta

Source: (Mašović, S.; Lazić, B.; Tanasić, N.; Hajdin, R. (2019). Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova (Radna verzija). Beograd, Srbija. 106 p)










Kombinacija indikatora bezbednosti saobraćaja (BS) i kategorije mosta (KM) ukazuje na rizik po odvijanje saobraćaja. Na taj način se iskazuje prioritet u održavanju elemenata koji utiču na bezbednost saobraćaja. Ova kombinacija je prikazana matricom rizika na slici 4.

	BS	1	2	3	4	5
KM						
1						
2						
3						
4						
5						

Slika 4. Matrica rizika bezbednosti saobraćaja

Source: (Mašović, S.; Lazić, B.; Tanasić, N.; Hajdin, R. (2019). Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova (Radna verzija). Beograd, Srbija. 106 p)

Uz osnovne inventarske podatke o mostu prikazuju se datumi utvrđenog: 1 - stanja konstrukcije; 2 - indikatora propadanja; 3 - bezbednosti saobraćaja, uz odgovarajuće oznake u bojama prema slici 5.

Indikatori	Stanje konstrukcije	Indikacija daljeg propadanja	Bezbednost saobraćaja
<b>Generička mera održavanja</b>			
Izbor između redovnog održavanja i pojačanog redovnog održavanja			
Izbor između pojačanog redovnog održavanja, investicionog održavanja i planiranja sanacije			
Neophodna sanacija			

Slika 5. Prikaz predloga mera na bazi rizika

Source: (Mašović, S.; Lazić, B.; Tanasić, N.; Hajdin, R. (2019). Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova (Radna verzija). Beograd, Srbija. 106 p)

U sklopu projekta "Ažuriranje metodologije za pregled i vrednovanje stanja mostova i izrada novih aplikacija za upravljanje bazom podataka o mostovima" izrađena je i softverska aplikacija potpuno usaglašena sa opisanom metodologijem. Prethodno je izvršena konverzija ocena iz prethodne verzije na novi način ocenjivanja, tako da svi elementi imaju ocene na skali 1 do 5.

#### 4. DALJI RAZVOJ BAZE PODATAKA I EFEKTI NA ŽIVOTNU SREDINU

Baza podataka o mostovima, kao uređen skup podataka o već postojećim konstrukcijama je prevashodno formirana radi određivanja optimalne politike održavanja. Ona se naravno može i treba razvijati uvođenjem parametara vezanim za zaštitu životne sredine. Za sada podaci prikupljeni u bazi mogu pomoći u izboru adekvatnih mera održavanja koje će imati što manji nepoželjan efekat na životnu sredinu. Podatke koje je potrebno implementirati pri daljem razvoju baze je treba formulisati u skladu sa Zakonom o zaštiti životne sredine [18].

Kako je baza formirana kao sredstvo za odlučivanje o optimalnoj politici održavanja mostova, sa aspekta zaštite životne sredine, učinjen je iskorak već u tekućoj verziji kroz segment **Ocena ugroženosti od prirodnih nepogoda na nivou pojedinačnog mosta**, koji treba da sadrži podatke od interesa za ugrožavanje životne sredine u smislu erozije rečnog dna i zaštite biodiverziteta u konkretnom rečnom dobru.

Tokom životnog veka mostovske konstrukcije sprovode se različite mere održavanja koje tokom sprovođenja utiču na životnu sredinu u okolini posmatranog objekta. Već i sami podaci o lokaciji mosta u okviru segmenta baze **Inventar** uazuje na potencijalne efekte na životnu sredinu. Pored toga predlaže se da se u okviru inventara uvrste i podaci o biodiverzitetu u neposrednoj okolini mosta.

Tokom izgradnje ali i sanacija, rekonstrukcija i ostalih mera održavanja mostova (npr. zamena asfaltnog zastora) ostvaruje se određen uticaj na kvalitet vazduha i klimu. Ovo se dešava usled sagorevanja goriva (za građevinsku opremu, generatore, transportna vozila) kao i ostalih građevinskih radova, (iskopavanje, bušenje i vađenje kamena i drobljenje, erozija vjetrom i prašina s puta). Ključni uticaj nastaje usled prašine i emisije ugljen dioksida od sagorevanja goriva teške opreme tokom perioda izvođenja radova. Nakon izgradnje ili mere održavanja, ovi efekti se vraćaju na normalan (postojeći) nivo u regionu. Prašina i efekti sagorevanja mogu uzrokovati preseljenje životinja i ptica iz područja oko gradilišta. Pored ovoga tokom dužeg vremenskog perioda, postojanje mosta (kao i puta na kome se on nalazi) povećava se obim saobraćaja, što takođe dovodi do veće emisije ugljen-dioksida u tom području. Međutim, s druge strane to će smanjiti ukupnu potrošnju goriva eliminirajući potrebu da se vozi dužim obilaznim putem, a količina emisija u cijelom regionu će se smanjiti. U slučaju da se rečnim transportom upravlja trajektom, tada će se nakon izgradnje mosta eliminisati potrošnja goriva za povezanu vožnju trajekta. Drugi faktor koji potencijalno utiče na kvalitet vazduha je oslobađanje zagađivača vazduha tokom hemijskih izlivanja.

Izgradnja mosta i puta može prouzrokovati nestabilnost kosina, ovisno o nagibu terena, teksturi i vlažnosti materijala, te vegetacijskom pokrivaču. Poremećaj terena duž puta može biti uzrokovano habanjem kolovoza te taloženjem produkata ovog habanja što u dužem periodu kasnije može utjecati na rast vegetacije. Izgradnja često dovodi do uklanjanje vegetacije, čime se izlaže tlo i povećava vjerovatnoća erozije tla. Zbijanje tla rezultira smanjenjem poroznosti i povećanjem nasipne gustine tla, a takođe može uzrokovati promjenu rasta vegetacije. Prolijevanja i curenja tokom svih faza izvođenja i eksploatacije mogu rezultirati izmjenom hemijskih i fizičkih svojstava tla, što zauzvrat može utjecati na vegetaciju, površinske vode i kvalitet podzemnih voda.

Po pitanju kvaliteta vode u vezi sa projektom mosta što obuhvata potencijalno ispuštanje materijala i/ili hemikalija u riječni tok, prvenstveno tokom izgradnje. Ako tokom izgradnje/sanacije mosta otpadne deo ili materijal, nizvodno od mosta je efekat najveći. Efekat je uglavnom kratkotrajan vezano za trajanje izvođenja radova. Mogu se koristiti različite građevinske tehnike da se minimizira ili eliminiira mogućnost velikog i stalnog zagađivanja ovog tipa. Vreme izvođenja radova je moguće izabrati da se izbegnu kritični periodi za okolni biodiverzitet. Sa time u vezi trebalo bi u bazu podataka uvrstiti i okolni biodiverzitet kao kvazi-stalni podatak. Do zagađenja može doći u celom životnom veku mosta kako u vidu erozije obala tako i usled curenja sa kolovoza ukoliko nije adekvatno rešen drenažni sistem. S tim u vidu potrebno je adekvatno održavanje drenažnog sistema mosta, kao i njegova eventualna zamena u zatvoreni drenažni sistem na mostu. Svi ovde pobrojani parametri su već iskazani u okviru parametara daljeg propadanja (DP) kao: kolovoz, sistem za odvodnjavanje, vodotok i područje ispod mosta i instalacije (kako one u funkciji mosta tako i komunalne infrastrukture koja se prevodi preko mosta. Stanje ovih parametara je moguće povezati sa efektima na okolinu samog mosta.

Parametri bezbednosti saobraćaja se takođe oslikavaju na životnu sredinu, naročito u vodi opasnosti usled emisija gasova ili curenja opasnih materija koje se prevoze određenom deonicom na kojij je most. Ovo se naročito može povezati sa izdavanjem dozvola za specijalni transport gde prevoznici pri podnošenju zahteva dostavljaju i podatke o tipu tereta (pored podataka o gabaritima i težini vozila).

Povećani nivoi buke u okolini mosta treba očekivati tokom njegovog izvođenja. Buka tokom izgradnje/sanacije izaziva premeštanje životinja i ptica iz područja oko mosta. Buka je pitanje koje je prisutno tokom čitavog eksploatacionog veka mosta, ali će verovatno biti najintenzivnije tokom izgradnje, što je relativno kratkotrajno aktivnost. Buka tokom ovog perioda bila bi povezana sa vrstom teške opreme tokom izgradnje, kao i uslova životne sredine (prisustvo vegetacije). Iz ovog razloga potrebno je razmotriti potrebu za postavljanjem i održavanjem bukobrana na mostu koje treba zatim uvesti u inventar opreme mosta.

Pojedinim postojećim mostovima je potrebno ojačanje za nove uslove saobraćaja, što iziskuje korišćenja velikih količina materijalnih i energetskih resursa, proizvođači emisije gasa i čvrstog otpada. U skorije vreme značajan broj naučnih radova [19-26] se bavi procenom životnog ciklusa mostova kroz analizu mogućih mera odražavanja/ojačanja često pomoću Eco-indicator 99 [20] da bi se smanjili ukupni negativni uticaji na životnu sredinu u okolini mosta.

Ovo bi bilo nemoguće ostvariti bez adekvatne, dobro strukturirane baze podataka koju bi u narednom periodu trebalo obogatiti parametrima za ocenu potencijalnog ugrožavanja životne sredine. Istraživanja u ovom smeru su neophodna i preporuka je autora da se nastavi rad na implementiranju potrebnih parametara i indikatora efekata radova na postojećim mostovima na životnu sredinu. Ovo bi takođe trebalo povezati sa potencijalnim obilascima koji proističu iz nemogućnosti upotrebe mosta za vreme izvođenja radova na održavanju koje svakako dovodi do povećanog zagađenja na drugim saobraćajnicama kojima se ostvaruje obilazak.

## 5. ZAKLJUČAK

U okviru projekta "Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova" sagledan je celokupan dosadašnji višegodišnji rad na izradi, unapređenju i popunjavanju Baze podataka o mostovima u Srbiji. Tokom rada sa bazom javio se ne mali broj dilema u vezi ispravnog popunjavanja podataka

koji su mahom proistekli iz određenih nedostataka u osnovnom metodološkom rešenju na kome je baza zasnovana. Uočeno je da pojedini statički sistemi nisu tretirani na pravi način, što je ispravljeno u ovom novom metodološkom rešenju, iako je zastupljenost takvih statičkih sistema u ukupnom broju mostova nevelika. Prvobitno opredeljenje da se tretiraju pojedine konstrukcije koje sačinjavaju most, dovelo je do problema i ad hok rešenja po pitanju složenih mostova. U novoj verziji baze ovaj je problem detaljno razmatran i predloženo je rešenje za obradu mostova koji sadrže više konstrukcija, kako bi se oni mogli adekvatno tretirati. Izvršene su i korekcije po pitanju inventarskih podataka, kako bi se mogli na ispravan način uneti podaci za mostove statičkih sistema koji nisu bili razmatrani u prethodnoj metodologiji. Uveden je novi parametar Kategorija Mosta, koji indirektno ukazuje na značaj mosta, u smislu veličine posledica koje bi bile izazvane ukoliko dođe do parcijalnog ili totalnog kolapsa mosta. Ocenjivanje je znatno pojednostavljeno, posebno se ocenjuju elementi koji su deo konstrukcije mosta i zbirna ocena se iskazuje parametrom koji je nazvan Stanje Konstrukcije (SK). Druga grupa elemenata koja iskazuje jedinstvenu ocenu kao Dalje Propadanje (DP), ima značaj za planiranje održavanja. Treća grupa elemenata, čija ocena je prikazana kao Bezbednost Saobraćaja (BS), ukazuje na potrebu za radovima odražavanja koji će obezbediti zadovoljavajuću bezbednost odvijanja saobraćaja, i nije direktno vezana sa stanjem konstrukcija/konstrukcije mosta. Ovi radovi se češće izvršavaju, bez intervencija na samoj konstrukciji/konstrukcijama mosta, te se odvajanje ocena i zapisnika može smatrati značajnim unapređenjem postojeće metodologije. Dostupnost i preglednost baze omogućuje njeno intenzivnije korišćenje. Predlaže se održavanje kurseva i obuke radi upotrebe i ažuriranja podataka u bazi, rada sa aplikacijom baze i slično. Povretne informacije sa ovih kurseva, daće uvid u probleme koje su korisnici baze primetili, pa se na adekvatan način mogu korigovati, kroz buduće ugovore u smislu održavanja baze. U skladu sa savremenim istraživanjima u oblasti zaštite životne sredine potrebno je u bazu implementirati i podatke kojima se može vrednovati i uticaj postojećih mostova (koji su upisani u bazu) na potencijalno zagađenje kao i mogućnosti primene odgovarajućih mera za smanjenje istog. Ovaj posao zahteva kontinuirano praćenje saznanja iz oblasti zaštite životne sredine i uspostavljanje i ponderisanje odgovarajućih parametara kako bi se mogli adekvatno implementirati u Bazu podataka o mostovima.

## Zahvale

Autori se zahvaljuju na podršci javnom preduzeću „Putevi Srbije“ koje je iniciralo rad na projektu „Ažuriranje metodologije za pregled i vrednovanje stanja mostova i izrada novih aplikacija za upravljanje bazom podataka o mostovima“ i pružanju uvida u postojeće podatke Baze Podataka o Mostovima. Posebno želimo da se zahvalimo g. M. Veljoviću i pokojnom g. D. Bebiću na razmeni stručnosti i praktičnog iskustva u vezi sa inspekcijama i održavanjem mostova. Takođe se zahvaljujemo kompaniji Infrastructure Analytics iz Beograda koja je izradila aplikaciju nove baze podataka o mostovima na bazi opisanog tehničkog rešenja čime je verifikovana mogućnost implementacije ovog rešenja.

## Literatura

- [1] Institut za puteve, a.d.-Beograd. (1998). *Tehničko rešenje Baze podataka o mostovima (Knjiga 1)*. Beograd: Institut za puteve, a.d.- Beograd, Srbija. 117 p.
- [2] Institut za puteve, a.d.-Beograd. (1998). *Tehničko rešenje Baze podataka o mostovima (Knjiga 2)*. Beograd: Institut za puteve, a.d.- Beograd, Srbija. 148 p.
- [3] Institut za puteve, a.d.- Beograd (1998.); PRO – INŽENJERING d.o.o. Beograd (2012): *Tehničko rešenje baze podataka o mostovima (Knjiga 3)*. PRO – INŽENJERING d.o.o. Beograd, Srbija. 112 p.
- [4] PRO – INŽENJERING d.o.o. Beograd (2012): *Pravilnik o utvrđivanju nosivosti postojećih mostova na državnim putevima (Nacr. rev2)*. Beograd, Srbija. 12 p.
- [5] PRO – INŽENJERING d.o.o. Beograd (2012): *Uputstvo za primenu pravilnika o utvrđivanju nosivosti postojećih mostova na državnim putevima sa komentarima*. Beograd, Srbija. 24 p.
- [6] Pržulj M. : *Mostovi : Udruženje "Izgradnja"* Beograd. (2014), Srbija. 719 p.
- [7] Mašović, S.; Lazić, B.; Tanasić, N.; Hajdin, R. (2019). *Ažuriranje-unapređenje metodologije za pregled i vrednovanje (ocenu) stanja mostova (Radna verzija)*. Beograd, Srbija. 106 p
- [8] Uredba o kategorizaciji državnih puteva ("Sl. glasnik RS", br. 105/2013 i 119/2013)
- [9] Uredba o kriterijumima za kategorizaciju javnih puteva : "Službeni glasnik RS", 2019. br. 38
- [10] Uredba o kategorizaciji železničkih pruga koja pripada javnoj železničkoj infrastrukturi. Beograd : "Službeni glasnik RS", 2019. br. 50.
- [11] Uredba o kategorizaciji međunarodnih i međunarodnih vodnih puteva. Beograd : "Službeni glasnik RS", 2016. br. 109.
- [12] Pravilnik o kategorizaciji vodnih puteva za plovidbu plovila za rekreaciju . Beograd : "Službeni glasnik RS", 2019. br. 23.
- [13] Pravilnik o kategorizaciji državnih vodnih puteva. Beograd : "Službeni glasnik RS", 2013. br. 115.

- [14]Pravilnik o radovima na redovnom održavanju javnih puteva. (2020). (15). Beograd: "Službeni glasnik RS". Br. 20
- [15]Pravilnik o Uslovima Za Izdavanje Dozvole Za Vanredni Prevoz. Beograd : „Službeni glasnik RS”, 2019. 6. Beograd, Srbija. 7 p.
- [16]Pravilnik o Načinu Obavljanja Vanrednog Prevoza. Beograd : „Službeni glasnik RS”, 2019.6. Beograd, Srbija. 5 p.
- [17]Mašović, S.; Lazić B.; Hajdin R. ; Tanasić, N. 2020. Novo tehničko rešenje baze podataka o mostovima u Republici Srbiji, Put i saobraćaj LXVI, 4/2020: 19-34.
- [18]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, 14/2016, 76/2018, 95/2018 - dr. zakon i 95/2018 - dr. zakon"
- [19]Pang, B., Yang, P., Wang, Y. et al. 2015.Life cycle environmental impact assessment of a bridge with different strengthening schemes. Int J Life Cycle Assess 20, 1300–1311. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0936-1>
- [20]Goedkoop M. J.; Spriensma R.; 2001.The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. PRé Consultants b.v., Amersfoort, The Netherlands, Goedkoop M, Spriensma R (2000) The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment—methodology report. Available at: [www.pre.nl](http://www.pre.nl)
- [21]Hammervold J, Reenaas M, Brattebø H (2009) Environmental effects-life cycle assessment of bridges. SubProject 2 (SP2), ETSI Project (Stage 2), Norwegian University of Science and Technology, Norway
- [22]Hammervold J, Reenaas M, Brattebø H (2013) Environmental life cycle assessment of bridges. J Bridg Eng 18(2):153–161
- [23]Horvath A, Hendrickson C (1998) Steel versus steel-reinforced concrete bridges: environmental assessment. J Infrastruct Syst 4(3):111–117
- [24]Čokić M.; petronijević P.; Todorović M. S.; Pecić N.(2015) Analiza vezane energije i emisije CO<sup>2</sup> pri izvođenju mostovske konstrukcije sa stanovišta održivosti. GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE 58 (2015) 2 (3-20), doi:10.5937/grmk1502003C
- [25] Lounis Z, Daigle L (2007) Environmental benefits of life cycle design of concrete bridges. Proceedings of the 3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich, Switzerland, August 27-29, 2007, pp 1–6
- [26]Zhang Y. (2008): Ecologically based LCA—an approach for quantifying the role of natural capital in product life cycles. The Ohio State University, the United States of America



# JEDNAKI NA PUTU: RODNA RAVNOPRAVNOST I SAOBRAĆAJ U REPUBLICI SRBIJI

Ana Pavlović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arup, [ana.pavlovic@arup.com](mailto:ana.pavlovic@arup.com)

**Rezime:** Saobraćajna infrastruktura, odnosno njena dostupnost i stepen razvoja, imaju značajan uticaj na zajednice, definišući način na koji se njeni članovi kreću i pristupaju uslugama i ustanovama. Žene i muškarci na različite načine doživljavaju ove uticaje, što je preduslovljeno različitim faktorima, od podele posla u domaćinstvu i van njega, preko osećaja bezbednosti i sigurnosti, do tradicionalnih uloga u društvu i porodici koje, u manjoj ili većoj meri, i dalje prevladavaju. Planiranje i sprovođenje projekata saobraćajne infrastrukture uzimajući u obzir rodnu ravnopravnost, ne samo što pozitivno utiču na nezavisnost i sigurnost žena prilikom njenog korišćenja, već doprinose većoj uključenosti žena u drugim životnim aspektima, kao što su obrazovanje i zapošljavanje. Predmet ovog rada je analiza trenutne situacije kada je u pitanju nacionalna regulativa u oblasti planiranja saobraćaja u Republici Srbiji, sa aspekta rodne ravnopravnosti. Cilj analize je da utvrdi poziciju nacionalne regulative u Srbiji u odnosu na dobru međunarodnu praksu.

**Ključne reči:** rodna ravnopravnost, diskriminacija, planiranje saobraćaja, dobra međunarodna praksa

## EQUALITY ON THE WAY: GENDER EQUALITY AND TRAFFIC IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Ana Pavlovic

<sup>1</sup>Arup, [ana.pavlovic@arup.com](mailto:ana.pavlovic@arup.com)

**Abstract:** Transport infrastructure, its availability and the level of development, have a significant impact on communities, defining the way in which its members move and access services and institutions. Women and men experience these impacts in different ways, which is conditioned by different factors, from the division of work inside and outside the household, through the feeling of safety and security, to traditional roles in society and family which, to a lesser or greater extent, still prevail. Planning and implementation of transport infrastructure projects taking into account gender equality not only positively affects the independence and safety of women, but also contributes to greater involvement of women in other aspects of life, such as education and employment. The subject of this work is the analysis of the current situation when it comes to national regulations in the field of traffic planning in the Republic of Serbia from the aspect of gender equality. The goal of the analysis is to determine the position of the national regulation in Serbia in relation to good international practice.

**Keywords:** gender equality, discrimination, traffic planning, good international practice

### 1. UVOD

Saobraćajna infrastruktura igra važnu ulogu u oblikovanju mobilnosti i pristupa uslugama i institucijama za zajednice. Ona je ključna komponenta modernih društava, jer olakšava kretanje ljudi i robe, povezujući pojedince sa osnovnim uslugama, institucijama i ekonomskim prilikama. Dostupnost i nivo razvoja saobraćajne infrastrukture može značajno uticati na razvoj same zajednice. Na primer, neadekvatna transportna infrastruktura može ograničiti pristup zdravstvenoj zaštiti, obrazovanju i mogućnostima za zapošljavanje, posebno za one koji žive u ruralnim područjima. Nasuprot tome, dobro planirana i razvijena transportna infrastruktura može poboljšati mobilnost, povezanost i pristupačnost, doprinoseći ekonomskom rastu i socijalnoj inkluziji.

Međutim, ovi uticaji nemaju podjednak značaj za muškarce i žene, što je preduslovljeno različitim faktorima, od podele posla u domaćinstvu i van njega, preko osećaja bezbednosti i sigurnosti, do tradicionalnih uloga u društvu i porodici koje, u manjoj ili većoj meri, i dalje prevladavaju. Zanimljivo je da potreba i iskustava žena u planiranju i implementaciji projekata saobraćajne infrastrukture može rezultirati uskraćivanjem mogućnosti za žene i dalje produbiti rodne nejednakosti. S druge strane, uključivanje principa rodne ravnopravnosti u planiranje i sprovođenje projekata saobraćajne infrastrukture može imati pozitivan uticaj na nezavisnost, bezbednost i njihovo osnaživanje u obrazovanju i zapošljavanju.

---

<sup>1</sup> Ana Pavlović, [ana.pavlovic@arup.com](mailto:ana.pavlovic@arup.com)

Ovaj rad ima za cilj da analizira aktuelnu nacionalnu regulativu u Republici Srbiji u oblasti planiranja saobraćaja iz perspektive rodne ravnopravnosti. Cilj je da se proceni položaj Republike Srbije u odnosu na dobru međunarodnu praksu i identifikuju oblasti za unapređenje. Nalazi ove analize mogu doprineti razvoju politika i praksi koje promovišu rodnu ravnopravnost u sektoru saobraćaja, što dovodi do inkluzivnijeg i održivijeg društva.

## **2. PREGLED LITERATURE**

Razmatranje potreba i iskustava žena prilikom planiranja i sprovođenja projekata saobraćajne infrastrukture važan je aspekt promovisanja rodne ravnopravnosti i socijalne inkluzije i kao takav prepoznat je različitim međunarodnim dokumentima i propisima, a u nastavku teksta pomenuta su neka od onih koje smatramo ključnim.

### **2.1. Rodna ravnopravnost i saobraćaj u sistemu Ujedinjenih nacija**

Jedan od Ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih Nacija (SDG) je osiguravanje univerzalnog pristupa bezbednim, pristupačnim i održivim transportnim sistemima za sve do 2030. godine, sa posebnim fokusom na potrebe žena i ugroženog stanovništva. SDG 5 se odnosi na postizanje rodne ravnopravnosti i osnaživanje svih žena i devojčica. Međutim, princip rodne ravnopravnosti relevantan je za sve ciljeve održivog razvoja uključujući i SDG 9 koji ima za cilj izgradnju otporne infrastrukture, promovisanje održive industrijalizacije i podsticanje inovacija.

Program Ujedinjenih nacija za naselja (UN Habitat) razvio je Priručnik za rodnu ravnopravnost i socijalnu inkluziju (GESI), kao alat za usmeravanje prostornih planera i donosioca odluka prilikom kreiranja javnog prostora, a sa ciljem uključivanja ovih principa u planiranje, razvoj i upravljanje javnim prostorima.

Nadovezujući se na odredbe prethodnog plana koji je bio na snazi do 2020. godine, Globalni plan za Deceniju akcije za bezbednost na putevima 2021-2030 usvojen je sa ciljem smanjenja stope smrtnosti u saobraćajnim nezgodama za 50%. Globalni plan je razvijen od strane Svetske zdravstvene organizacije (WHO), u saradnji sa Regionalnim komisijama Ujedinjenih nacija, drugim partnerima i zainteresovanim stranama. Plan sadrži niz preporuka kako bi se postavljeni cilj dostigao, a prvenstvena namena mu je da služi kao nacrt u kreiranju nacionalnih planova. Preporučene akcije se tiču podsticanja multi modalnog transporta i planiranja korišćenja zemljišta, bezbednosti putne infrastrukture, bezbednosti vozila, bezbednog korišćenja puteva i reagovanja nakon saobraćajnih nezgoda. Planom se prepoznaje da se pitanja bezbednosti na putevima različito primenjuju na muškarce i žene iz različitih fizičkih, bihevioralnih i društvenih razloga, te da politike koje regulišu pitanja saobraćaja moraju imati za cilj da obezbede okruženje koje omogućava i muškarcima i ženama sigurnu i pristupačnu mobilnost i učešće u saobraćaju bez diskriminacija.

Pored toga, Svetska zdravstvena organizacija razvila je Program bezbednih gradova i javnih prostora, sa ciljem sprečavanja i pružanja odgovora na rodno zasnovano nasilje i uznemiravanje kroz pružanje smernica za planiranje bezbednih i inkluzivnih javnih prostora.

Agencija Ujedinjenih nacija za rodnu ravnopravnost i osnaživanje žena (UN Women) igra značajnu ulogu u promovisanju principa rodne ravnopravnosti u svim oblastima života, uključujući i u saobraćaju. Pored UN Women, i druge agencije Ujedinjenih nacija svojim radom utiču na stvaranje sigurnijeg i pristupačnijeg sistema saobraćaja za sve, poput Odeljenja Ujedinjenih nacija za ekonomska i socijalna pitanja (UNDESA) i Programa Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP).

### **2.2. Rodna ravnopravnost i saobraćaj u Evropskoj uniji**

Strategija za rodnu ravnopravnost Evropske unije 2020. – 2025. sadrži niz ciljeva i mera pomoću kojih se teži značajnom napretku u domenu rodne ravnopravnosti do 2025. godine. Između ostalog, ovi ciljevi i mere uzimaju u obzir rodne dimenzije u specifičnim sektorima kao što je saobraćaj, i to u svim fazama planiranja i sprovođenja politika.

Evropski institut za rodnu ravnopravnost (EIGE), od svog osnivanja 2010. godine, radi na promovisanju principa rodne ravnopravnosti na teritoriji Evropske unije, kroz sprovođenje istraživanja, pružanje smernica i podržavanje razvoja politika u svim sektorima. Kada je u pitanju saobraćaj, EIGE je objavio nekoliko studija

(npr. Učešće žena u sektoru saobraćaja, Integrisanje pitanja rodne ravnopravnosti u planiranje saobraćaja i politike) o pitanju rodne ravnopravnosti i bezbednosti žena u saobraćaju, koje takođe sadrže praktične preporuke za kreiranje politika.

Evropski sistem za praćenje i informisanje o istraživanju i inovacijama (TRIMIS) prikuplja i analizira podatke o rodnoj ravnopravnosti u sektoru saobraćaja, uključujući informacije o obrascima zapošljavanja, ponašanju na putu i bezbednosti u saobraćaju. EIGE takođe vodi bazu podataka o rodnoj ravnopravnosti, koja integriše sve statističke podatke iz različitih sektora, uključujući saobraćaj.

Kada je u pitanju drumski saobraćaj, Transportna politika Evropske unije ima za cilj promovisanje efikasnog prevoza putnika i robe i obezbeđivanja fer tržišnih uslova između transportnih operatera. Ovim je obuhvaćeno i stvaranje održivih, bezbednih i efikasnih transportnih sistema širom Evrope.

Evropski parlament i Evropska komisija igraju važnu ulogu u promovisanju rodne ravnopravnosti u saobraćaju u Evropskoj uniji. Iako dokumenta usvojena od strane ova dva tela nisu pravno obavezujuća za države članice, ona postavljaju važne smernice u oblikovanju nacionalnih i regionalnih politika.

## **2.4 Rodna ravnopravnost i saobraćaj u međunarodnim finansijskim institucijama**

Međunarodne finansijske institucije imaju značajnu ulogu u projektima saobraćajne infrastrukture u zemljama u razvoju, zbog čega je važno razmotriti u kojoj su meri pitanja rodne ravnopravnosti uključena u njihove programe i politike kojima se vodi planiranje i sprovođenje ovih projekata.

Svetska banka usvojila je Strategiju rodne ravnopravnosti za period 2016. – 2023, kako bi osigurala da projekti i programi finansirani od strane ove institucije promovišu principe rodne ravnopravnosti i osnaživanja žena. Strategija se fokusira na tri glavne oblasti: (i) rodnu ravnopravnost u pristupu obrazovanju i osnovnim uslugama, (ii) promovisanje poslova i ekonomskih mogućnosti za žene i (iii) osnaživanje ženskog glasa i delovanja. Politikom rodne ravnopravnosti, Svetska banka je okarakterisala ovaj princip kao osnovni razvojni cilj svakog projekta u čijem finansiranju učestvuje. Sa istim ciljem, Evropska banka za obnovu i razvoj usvojila je Strategiju za promovisanje rodne ravnopravnosti za period 2021. – 2025. Ovim dokumentom, EBRD teži uključivanju rodni pitanja u sve svoje aktivnosti, uključujući finansiranje projekata saobraćajne infrastrukture. Politika prepoznaje da je rodna ravnopravnost od suštinskog značaja za održivi razvoj i da je ekonomsko osnaživanje žena ključno za postizanje ovog cilja.

Svetska banka pruža smernice za uključivanje rodni pitanja u projekte drumskog saobraćaja setom preporuka pod nazivom Rodna ravnopravnost i drumski saobraćaj: operativne smernice i preporuke. Evropska banka za obnovu i razvoj svojim Priručnikom za pitanja rodne ravnopravnosti na infrastrukturnim projektima na sličan način promoviše inkluzivno planiranje saobraćaja koje uzima u obzir rodno zasnovano nasilje i uznemiravanje, kao i adekvatno uključivanje žena u sve faze projekta.

EBRD i Svetska banka, u skladu sa svojim zahtevima za zaštitu životne sredine i društveno-ekonomskih pitanja (EBRD Performance Requirements and WB/IFC Performance Standards) predviđaju identifikovanje i ublažavanje potencijalnih negativnih uticaja projekata u čijem finansiranju učestvuju, što uključuje i rodno specifične uticaje.

Druge međunarodne finansijske institucije, poput Međunarodne finansijske korporacije, Azijske razvojne banke ili Afričke razvojne banke, takođe imaju usvojene politike i strategije kojima se promoviše princip rodne ravnopravnosti u razvoju i implementaciji projekata.

### 3. DOBRA MEĐUNARODNA PRAKSA I REGULATIVA U REPUBLICI SRBIJI

Prethodno opisani zahtevi i smernice deo su onoga što se smatra dobrom međunarodnom praksom kada je u pitanju uključivanje principa rodne ravnopravnosti u planiranje i sprovođenje projekata saobraćajne infrastrukture. U narednom poglavlju analiziraćemo regulativu u Republici Srbiji po pitanju nekoliko tačaka koje smo identifikovali kao ključne elemente dobre međunarodne prakse.

#### 3.1. Princip rodne ravnopravnosti u krovnim dokumentima

Dobra je međunarodna praksa imati usvojen krovni dokument, poput politike ili strategije, kako bi se osiguralo razmatranje pitanja rodne ravnopravnosti u projektima saobraćajne infrastrukture. Takvim dokumentom se pružaju smernice za integraciju ovih pitanja u ceo projektni ciklus, od planiranja i projektovanja do izgradnje i puštanja u rad.

Iako u Republici Srbiji ne postoji zaseban dokument koji se bavi pitanjem odnosa rodne ravnopravnosti i planiranjem i sprovođenjem projekata saobraćajne infrastrukture, za period od 2021. do 2030. godine usvojena je Strategija rodne ravnopravnosti koja prepoznaje rodnu ravnopravnost kao preduslov za razvoj društva. Strategijom su utvrđena četiri cilja i to (i) smanjen rodni jaz u ekonomiji, nauci i obrazovanju kao preduslov i podsticaj socio-ekonomskog razvoja društva, (ii) obezbeđene jednake mogućnosti za ostvarivanje i zaštitu ljudskih prava kao pretpostavka razvoja i bezbednog društva, (iii) uspostavljena pristupačna i sveobuhvatna zdravstvena zaštita i obezbeđena socijalna sigurnost, (iv) uspostavljen celovit i funkcionalan sistem za kreiranje i sprovođenje rodno odgovornih javnih politika i budžeta. Radi ostvarivanja ciljeva i planiranih mera, usvojen je Akcioni plan za 2022. i 2023. godinu, a koji bliže definiše mere za ostvarivanje prethodno pomenutih ciljeva. Među njima nema mera koje se tiču planiranja i sprovođenja projekata saobraćajne infrastrukture.

Pored toga, Republika Srbija aktivno se angažuje kako bi uskladila svoje domaće politike sa globalnim sporazumima i konvencijama, kao što su Ciljevi održivog razvoja Ujedinjenih nacija.

#### 3.2. Postojanje koordinacionog tela

Koordinaciono telo koje obezbeđuje uključivanje rodniha pitanja u različite politike, programe i aktivnosti, smatra se ključnom ulogom koja obezbeđuje da se na efikasan način odgovori na potrebe kako žena, tako i muškaraca. Koordinaciono telo pruža smernice i podršku kreatorima politika i drugim zainteresovanim stranama, kako bi im pomogli da integrišu perspektivu rodne ravnopravnosti u svoj rad.

Koordinaciono telo za rodnu ravnopravnost u Republici Srbiji osnovano je 2014. godine i predstavlja nacionalni mehanizam za koordinisanje rada organa državne uprave i drugih institucija, sa ciljem unapređenja položaja žena u Republici Srbiji. Može se reći da je rodno odgovorno budžetiranje jedan od glavnih fokusa Koordinacionog tela.

Pored toga, u Republici Srbiji deluju i agencije Ujedinjenih nacija, poput Programa Ujedinjenih nacija za razvoj, Kancelarije Ujedinjenih nacija za projektne usluge i Agencije Ujedinjenih nacija za rodnu ravnopravnost i osnaživanje žena, kao i druge međunarodne organizacije, koje u saradnji sa Vladom Republike Srbije, organizacijama civilnog društva i drugim zainteresovanim stranama rade na promovisanju principa rodne ravnopravnosti kroz svoje projekte. Takav je i projekat Integrisanje rodniha pitanja u sektor saobraćaja u Republici Srbiji sproveden je od strane Programa Ujedinjenih nacija za razvoj, u saradnji sa Ministarstvom građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture.

#### 3.3. Procena uticaja

Politikama međunarodnih finansijskih institucija zahteva se integrisana procena uticaja na životnu sredinu i društveno-ekonomska pitanja prilikom sprovođenja projekata saobraćajne infrastrukture, što uključuje i uticaje na pitanja rodne ravnopravnosti i pitanja bezbednosti žena i rodno-zasnovanog nasilja.

Iako u nacionalnom zakonodavnom okviru Republike Srbije postoje određeni zahtevi za pripremu dokumenata, procena i planova koji pružaju informacije o uticajima na životnu sredinu i društveno-ekonomska pitanja, ne može se smatrati da oni u potpunosti odgovaraju propisima međunarodnih finansijskih institucija. Oni se uglavnom tiču propisanih standarda u oblasti zaštite životne sredine i očuvanja

kulturne baštine, dok je društveno-ekonomska komponenta, zajedno sa principom rodne ravnopravnosti, u velikoj meri zanemarena.

### 3.4. Projektna rešenja

Dobra međunarodna praksa nalaže integrisanje principa rodne ravnopravnosti u fazi projektovanja saobraćajne infrastrukture, kako bi se kreirala održiva putna mreža, koja zadovoljava različite potrebe svih svojih korisnika. Poseban se akcenat pri tome stavlja na osiguranje pristupa i kreiranje bezbednog okruženja za sve. Neka od najčešće razmatranih pitanja su:

- adekvatno osvetljenje,
- izbegavanje uskih prolaza,
- jasna vidljivost putnih prelaza,
- postavljanje nadzornih kamera i obezbeđenja,
- postavljanje tastera za hitne slučajeve,
- pozicioniranje komercijalnih objekata,
- pristupačnost prolaza, nadvožnjaka i dr. kolicima, itd.

Kada je u pitanju nacionalna regulativa u Republici Srbiji, postoji nekoliko zakonskih akata koji regulišu planiranje i projektovanje putne infrastrukture, uključujući:

- 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, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020 i 52/2021): ovim zakonom se uređuje planiranje i izgradnja objekata i infrastrukture, uključujući putnu infrastrukturu. On utvrđuje procedure i uslove za dobijanje građevinskih dozvola i obezbeđuje da se građevinske aktivnosti izvode u skladu sa tehničkim i bezbednosnim propisima.
- Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018 - dr. zakon): ovaj zakon definiše status javnih puteva, uspostavlja pravni okvir za njihovim upravljanjem i reguliše pitanja planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja javnih puteva.

Uz to, postoje tehničke smernice i standardi koji definišu tehničke uslove za izgradnju puteva, uključujući standarde projektovanja i standarde za izgradnju bezbedne putne infrastrukture. Međutim, navedeni zakoni i smernice se ne bave posebno pitanjima rodne ravnopravnosti, ili rodno zasnovanim nasiljem u planiranju i projektovanju projekata putne infrastrukture u Republici Srbiji.

### 3.5. Angažovanje zainteresovanih strana

Politike međunarodnih finansijskih institucija zahtevaju da se projekti osmišljavaju i sprovode na transparentan i participativan način, uz doprinos lokalnih zajednica i zainteresovanih strana. Ovakvim pristupom se, između ostalog, osigurava da se potrebe i brige žena uzmu u obzir tokom sprovođenja projekata saobraćajne infrastrukture. Sastavni deo ovakvog angažovanja čine svrsishodne konsultacije, objavljivanje informacija i uspostavljanje delotvornog žalbenog mehanizma, kojim se zainteresovanim stranama omogućava da iznesu svoje prigovore.

U skladu sa zakonodavnim okvirom Republike Srbije konsultacije sa zainteresovanim stranama se sprovode prilikom usvajanja prostornih planova, kao i planova generalne i detaljne regulacije i njihovih izmena. Zakon o pravu na pristup informacijama omogućava svim zainteresovanim stranama da pošalju upit o projektu. Iako je zainteresovanim stranama u svakom trenutku omogućeno da posegnu za pravnim lekom, ne postoje zakonske odredbe kojima se investitor obavezuje da zainteresovanim stranama obezbedi mehanizam za pritužbe.

### 3.6. Praćenje podataka

Vođenje statistike i praćenje relevantnih parametara koji se odnose na pitanja rodne ravnopravnosti je od ključnog značaja za identifikaciju trendova i nedostataka u postojećim politikama i praksama u svim sektorima, uključujući i sektor saobraćaja. Od suštinske je važnosti prikupljanje i analiza podataka i relevantnih parametara za muškarce i žene, jer to pomaže u razvijanju politika i adekvatno reagovanje zasnovano na dokazima, a sa ciljem promovisanja rodne ravnopravnosti i poboljšanja bezbednosti i dostupnosti saobraćaja za sve.

Koordinaciono telo za rodnu ravnopravnost pokrenulo je inicijativu za definisanje Indeksa rodne ravnopravnosti za Republiku Srbiju, po uzoru na onaj razvijen od strane Evropskog instituta za rodnu ravnopravnost i uz njihovu podršku. Na ovaj način prati se trenutno stanje u državi u 6 domena: rada, znanja, vremena, moći i domenu zdravlja. Iako je princip rodne ravnopravnosti u saobraćaju jedan od ključnih faktora koji određuje dostupnost ovih usluga i mogućnost uključivanja na tržište rada, ovo pitanje se ne razmatra prilikom definisanja indeksa rodne ravnopravnosti.

Koordinaciono telo za rodnu ravnopravnost prati rodnu statistiku na nivou Republike Srbije. Ovi podaci obuhvataju osnovne statističke informacije poput broja stanovnika i zaposlenih, podatke o članicama i članovima Vlade i narodnim poslanicima, kao i slične podatke na nivou nižih administrativnih jedinica.

Uz podršku Svetske banke, 2019. godine realizovan je projekat Rodna ravnopravnost u saobraćaju u Srbiji za potrebe Koordinacionog tela za rodnu ravnopravnost i Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture. Glavni cilj projekta je bio da pruži uvid u činjenično stanje u Republici Srbiji kada je u pitanju rodna ravnopravnost u saobraćaju, čime se omogućilo izrađivanje adekvatnih mera kako bi se osiguralo razmatranje ovog pitanja u planiranju i projektovanju objekata putne infrastrukture.

### 3. ZAKLJUČAK

U poslednjih nekoliko godina ostvaren je značajan napredak u promovisanju rodne ravnopravnosti u Republici Srbiji, posebno od osnivanja Koordinacionog tela za rodnu ravnopravnost. Koordinaciono telo za rodnu ravnopravnost prepoznalo je nedostatke postojećih politika i praksi i pristupilo izradi izveštaja o Rodnoj ravnopravnosti u saobraćaju u Srbiji. Ovo se smatra važnim korakom ka približavanju međunarodnim standardima kada je u pitanju rodna ravnopravnost u sektoru saobraćaja.

Na osnovu pregleda nacionalnog zakonodavnog okvira u Republici Srbiji, može se zaključiti da je samo delimično usklađen sa zahtevima dobre međunarodne prakse. Iako postoje mehanizmi za procenjivanje uticaja projekata i angažovanje za zainteresovanim stranama, kao i zahtevi za projektovanje i izgradnju puteva u skladu sa tehničkim i bezbednosnim propisima, pitanje rodne ravnopravnosti nije integralni deo ni jednog od ovih aspekata.

#### Literatura

- [1] EBRD (2019) Environmental and Social Policy (on-line) available at: <https://www.ebrd.com/news/publications/policies/environmental-and-social-policy-esp.html> (March 2023)
- [2] UN (2015) Sustainable Development Goals (on-line) available at: <https://sdgs.un.org/goals> (March 2023)
- [3] WB/IFC (2012) Environmental and Social Performance Standards (on-line) available at [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/24e6bfc3-5de3-444d-be9b-226188c95454/PS\\_English\\_2012\\_Full-Documents.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jkV-X6h](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/24e6bfc3-5de3-444d-be9b-226188c95454/PS_English_2012_Full-Documents.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jkV-X6h) (March 2023)
- [4] WHO (2021) Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021 – 2030 (on-line) available at <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030> (March 2023)

# UTICAJ I TRETMAN OTPADNIH VODA OPTEREĆENIH BETONSKIM MULJEM

**Maida Muratović<sup>1</sup> Marko Ilić**

<sup>1</sup>E3 Consulting

**Rezime:** Projekti putne infrastrukture posebno zahtijevaju organizaciju djelatnosti i objekata koji imaju značajan uticaj na životnu sredinu. U cilju definisanja mjera zaštite životne sredine i sprječavanja mogućih uticaja, prvi korak predstavlja identifikacija izvora zagađenja. Kada je riječ o realizaciji gorenavedenih projekata, jedan od najznačajnijih uticaja predstavlja nastajanje otpadnih voda u fazi izgradnje.

Stoga, u ovom radu akcenat je stavljen na otpadne vode koje nastaju tokom izvođenja betonskih radova. U radnom procesu betoniranja objekata nastaje betonski mulj i otpadne vode koje su opterećene betonom. Poznato je da voda u kontaktu sa betonom može da poveća svoju pH vrijednost, koja se ispoljava kroz agresivnost na okolinu.

Kako bi se kroz konkretan primjer prezentovali uticaji i načini tretmana otpadnih voda i mulja koji nastaje u procesu spravljenja betona, u ovom radu će biti prikazani izazovi i rješenja implementirana na projektu izgradnje auto-puta „Princeza Ksenija“ u Crnoj Gori.

**Ključne riječi:** otpadne vode, pH vrijednost, betonski mulj, uticaj, mjere zaštite, monitoring

## IMPACT OF WASTEWATER LOADED WITH CONCRETE MUD AND THEIR TREATMENT

**Maida Muratovic<sup>1</sup> Marko Ilic**

<sup>1</sup>E3 Consulting

**Abstract:** Road infrastructure projects especially require the organization of activities and facilities that have a significant impact on the environment. In order to define environmental protection measures and prevent possible impacts, the first step is the identification of the source of pollution. When it comes to the implementation of the above-mentioned projects, one of the most significant impacts is the generation of wastewater during the construction phase.

Therefore, the emphasis is placed on wastewater generated during the execution of concrete works. In the work process of concreting buildings, concrete mud and wastewater are generated. These wastewater is loaded with concrete. It is known that water in contact with concrete can increase its pH value, which manifests itself through aggressiveness towards the environment.

In order to present through an example the effects and ways of treating wastewater and mud generated in the process of making concrete, this document will present challenges and solutions implemented during the project of construction of the highway "Princeza Ksenija" in Montenegro.

**Keywords:** wastewater, pH value, concrete mud, impact, protection measures, monitoring

---

<sup>1</sup> E-mail: maida.muratovic@e3consulting.co.me

## 1. UVOD

U svakom radu u oblasti zaštite životne sredine, najprije se treba odrediti izvor zagađenja, odnosno neophodno je znati izvor zagađenja kao i način na koji se to zagađenje stvara. Dalje, neophodno je utvrditi sastav zagađivača i na koji način ono djeluje na životnu sredinu. Pored navedenog, u cilju sagledavanja kompletne slike uticaja zagađivača na životnu sredinu, jako je važno utvrditi organizaciju rada i tehnologiju proizvodnje koja uzrokuje zagađenje. Sve ovo omogućava da se precizno utvrdi uzrok zagađenja.

Kada su u pitanju građevinske aktivnosti, uticaji na životnu sredinu mogu biti ostvareni na mnogo načina i iz više izvora. Kako je nakon vode, beton najrasprostranjenija supstanca na planeti tj. najprimjenjivaniji materijal u građevinarstvu, jasno je da je on jedan od ključnih izvora zagađenja životne sredine. Njegov uticaj se ogleda na sve segmente životne sredine, a najviše vode i biodiverzitet.

Konkretno kada su u pitanju otpadne vode koje nastaju tokom betonskih radova, uzroci zagađenja mogu biti aditivi, veziva (cement), svježi (nevezani) beton ili sva tri elementa zajedno. Stoga, potrebno je poznavati karakteristike veziva i aditiva koji se koriste u procesu spravljenja betona, kao i njihov sastav. Ono što je opšte poznato jeste da se kod vode, nakon interakcije sa betonom, može povećati pH vrijednost, i kao takva ona može ostvariti značajne negativne uticaje na životnu sredinu.

Stoga, u ovom radu je detaljno opisana problematika voda koje su opterećene betonskim muljem (u daljem tekstu: betonske vode), kao i konkretna rješenja za adekvatan i bezbjedan tretman ovih voda. Dat je pregled implementiranih rješenja prilikom izgradnje auto-puta „Princeza Ksenija“, a koja su po prvi put primjenjivana u Crnoj Gori. Ovaj projekat je sa aspekta uticaja na životnu sredinu do sada najkompleksniji projekat koji je realizovan u Crnoj Gori. Složenost projekta i njegovih uticaja proističe iz karakteristika trase auto-puta sa jedne strane i karakteristika prostora kroz koji polazi sa druge strane. Radi se o trasi koja prolazi kroz veoma složene geološke i reljefne uslove sa više klimatskih tipova od blage mediteranske klime do veoma oštih zima sa snijegom, kontinentalne planinske klime. U ovim izuzetno složenim i teškim uslovima projektovana je rijetko komplikovana trasa auto-puta koja se sastoji pretežno od tunela i mostova (58%).

Posebna pažnja na ovom projektu je posvećena kontroli i zaštiti voda, a razlog tome je što trasa prolazi kroz dva riječna sliva - rijeke Tare i rijeke Morače, čija je voda kvaliteta A klase.

## 2. NASTANAK BETONSKIH VODA I NJIHOV SASTAV

### 2.1 Izvori nastanka betonskih voda

Kada je riječ o nastajanju otpadnih betonskih voda, poznato je da iste nastaju tokom izvođenja brojnih građevinskih aktivnosti zbog široke primjene betona i vode u građevinarstvu. Međutim, određene građevinske aktivnosti produkuju znatno veće količine voda koje su opterećene betonskim muljem, i to: izgradnja puteva, mostova, tunela, obaloutvrda, pristaništa itd. Stoga, u ovom radu je analizirano nastajanje, uticaji i tretman ovih voda tokom realizacije najvećeg infrastrukturnog projekta u istoriji Crne Gore, izgradnje auto-puta „Princeza Ksenija“.

U odnosu složenih geoloških i hidroloških uslova i kompleksnosti navedenog projekta ostvaruju se brojni pritisci na životnu sredinu. Jedan od dominantnijih zagađivača su bile i otpadne vode nastale tokom izgradnje 16 dvocjevnih tunela. Osim izgradnje tunela, izvor nastanka betonskih voda prilikom izgradnje auto-puta „Princeza Ksenija“ bili su: čišćenje i održavanje postrojenja za proizvodnju betona i prateće opreme, izgradnja betonskih podloga za instalaciju kampova i postrojenja, betonski radovi na izgradnji mostova, vijadukata i odvodnih kalana.

Za izgradnju navedenih konstrukcija je korišteno:

- prskani beton – torket;
- liveni armirani beton;
- cementna pasta;
- cementni malter;
- cementno mlijeko;
- prefabrikovane betonske konstrukcije.



## 2.2 Sastav betonskih voda

Beton je materijal koji se koristi u građevinarstvu, a sastoji se od čvrste, kemijski inertne određene supstance, poznate kao agregat (obično napravljen od različitih vrsta pijeska i šljunka), koji je zajedno povezan vezivom i vodom. Najčešće se koristi mineralno vezivo, i to cement.

Mineralna veziva su materijali u praškastom stanju koji pomiješani sa vodom vežu i očvršćavaju pod vodom (hidraulična veziva) ili na vazduhu (vazdušna veziva). Glavne komponente od kojih se sastoji većina mineralnih veziva su bazični CaO koji ima bazna svojstva, uz nešto MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, te izrazito kisela komponenta SiO<sub>2</sub>.

**Tabela 1.** Glavne komponente mineralnih veziva

Hemijsko jedinjenje	Hemijska formula
Kalcijum-oksidi	CaO
Magnezijum-oksidi	MgO
Aluminijum-oksidi	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Gvožđe-oksidi	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Silicijum-oksidi	SiO <sub>2</sub>
Vodonik-dioksidi	H <sub>2</sub> O

U toku procesa pečenja cementnog klinkera, ovi oksidi reaguju jedan s drugim i grade nova jedinjenja. Stoga, betonske vode mogu biti opterećene jedinjenjima kao što su SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO-SiO<sub>2</sub>, CaO-SiO<sub>2</sub>. Ova jedinjenja označena su kao čvrste baze. S tim u vezi, ukoliko ostvare kontakt sa vodom, kod takvih voda dolazi do povećanja pH vrijednosti, što za posljedicu ima ostvarivanje brojnih negativnih uticaja na životnu sredinu koji su opisani u nastavku.

## 3. UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

Kako je već navedeno, vode opterećene betonom imaju povećanu pH vrijednost i takve vode ostvaruju raznovrsne negativne uticaje na različite segmente životne sredine. Pored ovog, betonske vode ostvaruju i uticaje na fizičke karakteristike životne sredine. Sve ovo dovodi do narušavanja prirodno uspostavljene ravnoteže u određenom ekosistemu, što za posljedicu može imati jako narušene prirodne karakteristike određene lokacije.

Takođe, u cilju bezbjednog ispuštanja otpadnih voda u recipijent, zakonskom procedurom<sup>2</sup> je jasno definisana granična vrijednost pH u otpadnim vodama (i iznosi od 6,5 do 9).

U nastavku slijedi prikaz najbitnijih negativnih uticaja ovih voda na životnu sredinu.

### 3.1. Uticaj na kvalitet voda

U prirodnim vodama, pH vrijednost je u prvom redu funkcija karbonatnog sistema koji je sačinjen od ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), ugljene kiseline (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), bikarbonatnog jona (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i karbonatnog jona (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Na pH vrijednost mogu uticati:

- huminske supstance koje mijenjaju karbonatnu ravnotežu,
- biološka aktivnost flore i faune,
- soli koje hidrolizuju, kao i
- vještački insertovane kisele ili bazne supstance kakav je i beton.

Ukoliko betonska voda dospjeje u kontakt sa površinskim vodama, postoji velika vjerovatnoća da će se i pH vrijednost tog vodotoka povećati. Ovo je direktno u zavisnosti od pH vrijednosti betonske vode, kao i od količine betonske vode koja dospjejeva u taj vodotok.

<sup>2</sup> Pravilnik o kvalitetu i sanitarno-tehničkim uslovima za ispuštanje otpadnih voda, načinu i postupku ispitivanja kvaliteta otpadnih voda i sadržaju izvještaja o utvrđenom kvalitetu otpadnih voda ("Službeni list Crne Gore", br. 056/19 od 04.10.2019).

Negativni uticaji betonske vode na vodotok se prvenstveno ogledaju u promjeni pH vrijednosti, čime se narušava prirodna ravnoteža u vodotoku. Ovo dalje može dovesti do ograničene upotrebe prirodne vode u određenom obimu, bilo od strane ljudi ili vrsta faune, usljed smanjenja kvaliteta tog vodotoka.

Zbog gorenavedenih uticaja pH na hemijska i biološka svojstva vode, kontrola pH vrijednosti je veoma značajna.

### **3.2. Uticaj na biotop i biocenozu**

Diverzitet vrsta u određenom vodotoku je usko povezan sa kvalitetom voda i njenom pH vrijednošću. Pod direktnim ili indirektnim uticajem betonskih voda, može doći do znatnih promjena u strukturi biodiverziteta, što je uzrokovano promjenama uslova biotopa i narušenim kvalitetom voda.

Po pravilu, dolazi do smanjenja diverziteta vrsta ili do smanjenja brojnosti unutar vrste. Pokretna fauna, kao što je ihtiofauna (ribe) se sele u nezagađena područja, dok u ekstremnim slučajevima, usljed prisustva ogromne količine suspendovanih materija koje su dospjele betonskim vodama, dolazi do uginuća ribljih vrsta. Takođe, može doći do situacije da se fauna koja je karakteristična za određenu lokaciju zamijeni onom koja je otpornija na uslove narušene životne sredine, što se takođe smatra negativnom konsekvencom.

Prisustvo sitnih čestica (suspendovanih u vodi) čije je porijeklo od betona i betoniranja dovodi do taloženja istih u dublje slojeve pijeska i šljunka, njihovog vezivanja u čvrste konglomerate koji onemogućavaju razvoj stigoritrona (živi svijet u pijesku i šljunku). Opšte je poznato da je, za hiporeički intersticijal (stigoritron), mnogo važniji sastav čestica pijeska nego hemijski sastav vode. Poremećaji strukture podloge, usljed taloženja čestica na dnu riječnog korita, znatno mijenjaju strukturu biocenoze. Ove čestice mogu dovesti do potpunog zatvaranja donjih slojeva (betoniranja) i/ili onemogućavanja cirkulacije kiseonika što dalje onemogućava razvoj i opstanak živih bića. Takođe, zbog poremećenosti podloge za alge, uz povećanu mutnoću, može doći do izmjena bentosnih zajednica (fitobentos i zoobentos).

U slučaju dospijevanja velike količine betonskih voda u prirodni vodotok, može doći do situacije da betonom budu zahvaćena šumska stabla i vegetacija oko tog vodotoka, pri čemu riparijalna flora može biti u velikom obimu degradirana.

### **3.3. Uticaj na ljude**

Uticaj betonskih voda na ljude je u direktnoj vezi sa gorenavedenim uticajima.

Naime, nakon što betonske vode dospiju u prirodni vodotok, postoji velika vjerovatnoća da će se i pH vrijednost tog vodotoka povećati, što dovodi do pogoršanja kvaliteta vode, narušavanja prirodne ravnoteža u vodotoku, kao i do promjena u diverzitetu vrsta. Ovo dalje može dovesti do ograničene dostupne količine pijaće vode, smanjene mogućnosti upotrebe ovakvih voda za kupanje, sportske aktivnosti i rekreaciju, smanjene mogućnosti za bavljenje turizmom i slično.

Takođe, ozbiljan uticaj predstavlja i smanjenje ekonomske dobiti za stanovništvo čiji su glavni izvori prihoda za život ribarstvo, stočarstvo i poljoprivreda, usljed smanjenja diverziteta vrsta (prvenstveno faune) kao i nemogućnosti upotrebe ovakve vode za pojenje stoke, nalivanje usjeva i ostale aktivnosti.

## **4. IMPLEMENTIRANA RJEŠENJA**

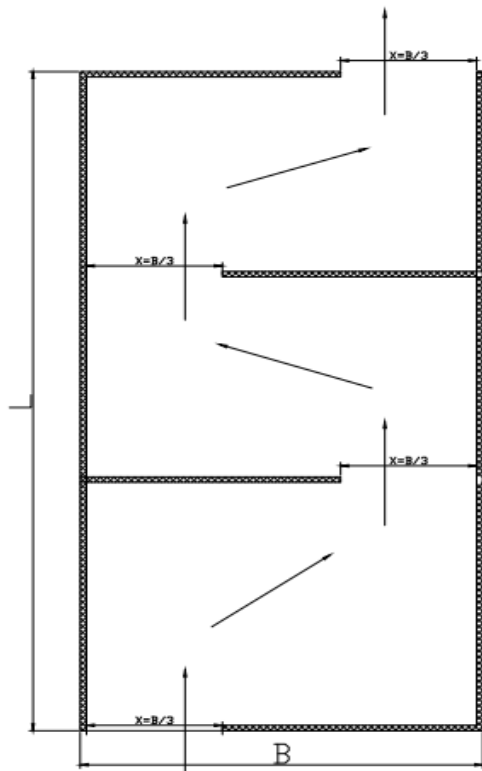
Tokom izgradnje tunela na auto-putu, a shodno uslovima na terenu, svaki lokalitet je posmatran posebno. Naime, na osnovu utvrđenih karakteristika same lokacije, primijenjeno je više rješenja za zaštitu voda, pojedinačno ili u kombinaciji.

Kako se glavni uticaj betonskih voda ogleda kroz povećanu pH vrijednost i prisustvo suspendovanih čestica, pristupilo se izradi i implementaciji tehničkih rješenja za ublažavanje ove vrste uticaja. U nastavku su prikazana primijenjena tehnička rješenja na projektu izgradnje auto-puta.

#### 4.1. Izgradnja sedimentacionih bazena

Primarna mjera prečišćavanja otpadnih betonskih voda bila je izgradnja sedimentacionih bazena – taložnika. Svrha ovih bazena je da prikupe otpadne vode koje su se stvarale tokom izgradnje tunela i uklone suspendovane čestice iz otpadnih voda i to metodom sedimentacije. Ovom metodom se indirektno, kroz smanjenje količine betonskog mulja, takođe postiže smanjenje pH vrijednosti u otpadnim vodama. Na izlazu tunela instalirani su sedimentacioni bazeni sa dvije, a najčešće 3 pregrade. Nakon sedimentacionog bazena, izbistrena voda prolazi kroz separator ulja i masti, u cilju dodatnog prečišćavanja. Izdvojeni mulj se dalje može reciklirati.

Šematski prikaz sedimentacionog bazena dat je na slici 1.



Strelicama na crtežu aproksimativno je prikazan pravac kretanja vode  
 On drawing, with arrow keys is shown approximately direction of the water.  
 Odnos duzine i sirine : L:B =5:2  
 Ratio between length and width : L:B =5:2

**Slika 1. Tehnološka šema sedimentacionog bazena**

Izvor: E3 Consulting

#### 4.2. Dilucija betonskih voda

Dilucija betonskih voda predstavlja najjednostavniji, najbezbjedniji i najjeftiniji metod za smanjenje koncentracije pH vrijednosti u vodi. Pogodan je za tretman otpadnih voda malog kapaciteta, a podrazumijeva razblaživanje otpadnih voda sa izvorskim, potočnim vodama većeg kapaciteta kao i podzemnim vodama (iz tunela i njihove okoline).

Kako je za ovu vrstu metode ključna blizina vodnih tijela, na gradilištu auto-puta je ista korišćena na nekoliko lokacija. Nakon analize i odabira prihvatljive lokacije za primjenu ove metode, vrši se određivanje važnog faktora - protoka vode (Q) koja se koristi za razblaživanje. Za određivanje protoka vode za vodna tijela u zoni tunela korišten je Thompsonov preliv.



**Slika 2.** Thompsonov preliv na Jabučkom potoku  
Izvor: E3 Consulting

Kod primjene ove metode, neophodno je da zapremina otpadnih voda i vode iz potoka bude u razmjeri 0,5:1 pa do maksimalno 1:1, da bi se postigle granične vrijednosti pH.

Međutim, pored svih navedenih prednosti ove metode, glavni nedostatak je taj da je uslovljena prisustvom, blizinom i kapacitetom vodotoka. Kako bi se uklonio jedan od nedostataka ove metode, pristupilo se pronalaženju rješenja koje će obezbijediti dovoljne kapacitete za razblaživanje tokom sušnog perioda, kada je vodostaj potoka nizak. Tehničko rješenje je podrazumijevalo zahvatanje viška podzemne vode iz tunela i skladištenje u rezervoarima do njene upotrebe. Na ovaj način je riješen nedostatak u smislu nedovoljnog kapaciteta vodotoka tokom ljetnjih mjeseci, čime je obezbijedena kontinuirana primjena ove metode.

U cilju dokazivanja efikasnosti ove metode i dalje primjene, potrebno je izvršiti testno mjerenje pH vrijednosti i to na dvije lokacije:

1. na mjestu nastanka otpadnih voda;
2. na mjestu ispusta otpadnih voda nakon razblaživanja.

Na više lokacija, u zoni gradilišta auto-puta, su odrađena interna testna mjerenja pH vrijednosti. Rezultati su pokazali da su dvije lokacije ispunjavale sve uslove za primjenu ove metode. Dok je za četiri lokacije utvrđeno da ova metoda nije pogona iz više razloga (mali kapacitete vodotoka, visoka koncentracija pH vrijednosti, velika količina otpadnih voda), te su stoga uključene i druge metode opisane u nastavku.

### **4.3. Neutralizacija pH vrijednosti doziranjem hlorovodonične kiseline**

U slučajevima kada prethodno opisane metode nijesu davale željeni rezultat, što znači da je pH vrijednost i dalje iznosila  $>9$ , vršila se neutralizacija pH vrijednosti korišćenjem određenih supstanci. Ova metoda podrazumijeva doziranje određene količine kiseline.

Kako bi se ova metoda primijenila na efikasan i bezbjedan način potrebno je utvrditi osnovna tri parametra i to:

1. zapreminu zagađene vode,
2. pH vrijednost zagađene vode, i
3. količinu kiseline koja se koristi za neutralizaciju.

U cilju implementacije ovog rješenja na gradilištu auto-puta, instalirana je potrebna oprema na određenim sedimentacionim bazenima. Naime, shodno količini zagađene vode instaliran je plastični rezervoar zapremine  $5\text{m}^3$ .

Kako bi se utvrdila pH vrijednost otpadne vode izvršeno je više laboratorijskih mjerenja koja su pokazala da pH vrijednosti otpadnih voda obično iznosi 11.

U cilju pravilnog doziranja kiseline (HCl) u otpadnim vodama, odrađena su laboratorijska mjerenja od strane akreditovane laboratorije „Centar za ekotoksikološka ispitivanja“ (CETI) iz Podgorice. Rezultati navedenih istraživanja su prikazani u narednoj tabeli.

**Tabela 2. Rezultati istraživanja laboratorije CETI**

Broj protokola		286/04	
Vrsta uzorka		Otpadne vode iz radnog procesa u tunelu	
Parametri	Jedinica	Rezultat analize	Oznaka metode
pH vrijednost		11,0±0,4	MEST EN ISO 10523:2013
Količina 1N HCl za postizanje pH 8,0	ml/l	3,6	HA-AA
Sadržaj hlorida u neutralizovanom uzorku (pH 8,0)	mg/l	116	ISO 9297:1989

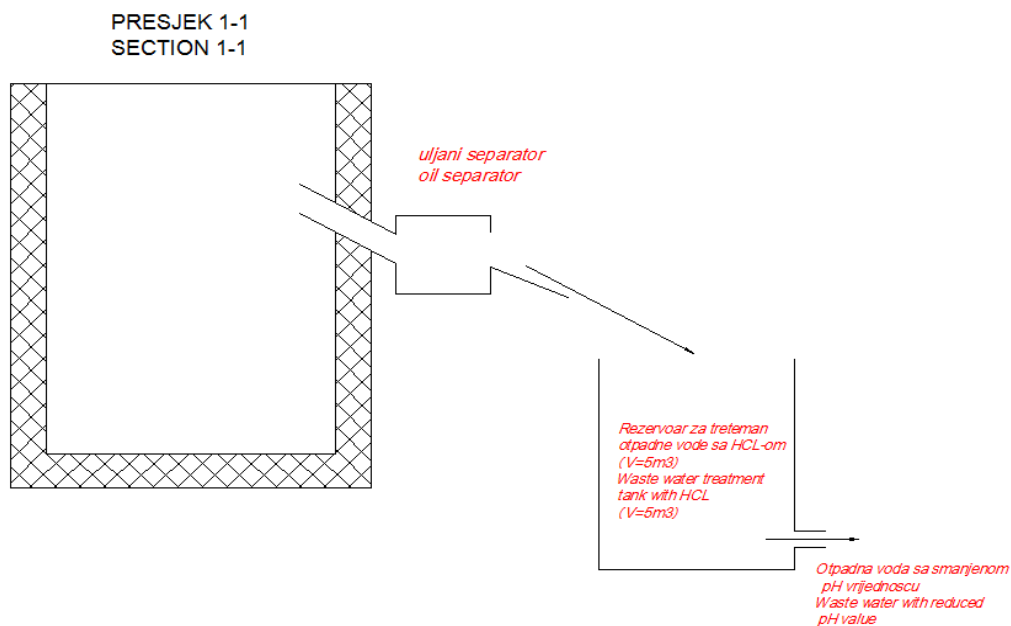
Prema istraživanjima akreditovane laboratorije, za 1 l otpadne vode iz procesa betoniranja potrebno je 3,6 ml/l HCl da se neutralizuje pH, pri čemu hloridi u tretiranoj vodi dosežu vrijednost od 116 mg/l. Prema tumačenju navedenih laboratorijskih rezultata, 3,6 ml/l odnosi se na 1 N HCl.

Kada se ova vrijednost izražava na čistoj kiselini, to znači da je potrebno 0,13 kg HCl za neutralizaciju 1 m<sup>3</sup> zagađene vode. Dakle, zaključeno je da je za 5m<sup>3</sup> zagađene vode potrebno je 0,65 kg HCl.

Nakon svih odrađenih istraživanja, metoda neutralizacije je primijenjena na terenu. Direktni tretman otpadnih voda vršio se sa hlorovodoničnom kiselinom i to periodično. Kada se ispuni plastični rezervoar, koji je postavljen ispod sedimentacionog bazena a u kojem je tretirana voda, ta tretirana voda se ispušta preko ispusta koji je ugrađen na dnu rezervoara, i to nakon što se utvrdi da je njena pH vrijednost u dozvoljenim granicama.

Sami proces tretmana vode, odnosno unošenja HCl-a u otpadnu vodu, neophodno je obavljati kapavcem (ravnomjernim ukapavanjem u mlaz otpadne vode prije nego što ona bude u plastičnom rezervoaru) kako bi se obezbijedilo ravnomjerno i dobro miješanje. Pokazalo se da miješanje treba da bude ravnomjerno u odnosu na ukupnu masu otpadne vode koja se tretira, kako bi se dobio potreban efekat.

Šematski prikaz Sistema za neutralizaciju pH vrijednosti dat je na slici 3.



**Slika 3. Tehnološka šema tretmana otpadne vode sa HCl-om**  
Izvor: E3 Consulting

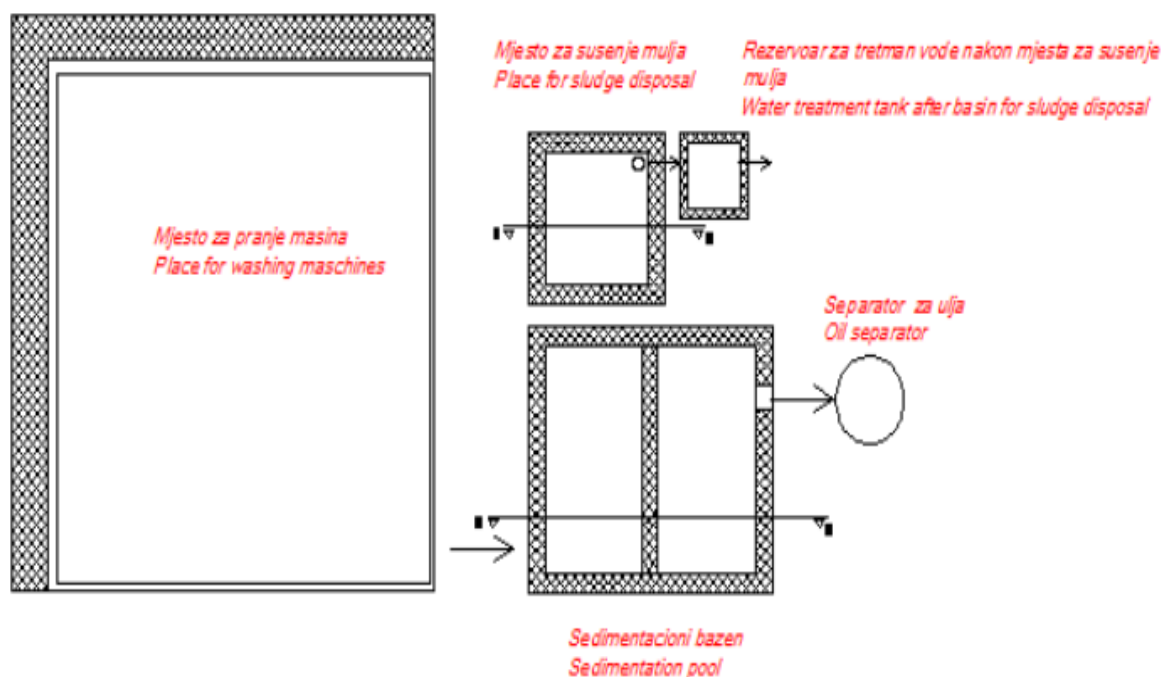
#### 4.4. Izgradnja mjesta za pranje miksera

S obzirom da je na projektu korišćena brojna mašinerija duž cijelog gradilišta određena su i izgrađena posebna mjesta za pranje miksera i ostalih građevinskih mašina. Mjesta za pranje miksera rađena su tako da betonska platforma ima nagib od 2% ka instaliranom sedimentacionom bazenu.

Kako je i navedeno, sedimentacioni bazen ima ulogu sedimentacije cementnog mulja koji nastaje prilikom pranja miksera. Nakon procesa sedimentacije, otpadna voda prolazi kroz separator za ulja i masti, u slučaju da je tokom pranja mašina došlo do spiranja naftnih derivata i maziva. Dalje se prečišćena voda vraća u proces proizvodnje betona, budući da su projektom bila predviđena postrojenja zatvorenog tipa.

Preostali mulj se prebacuje u bazen za mulj, gdje se vrši proces sušenja – dehidracije mulja. Betonska podloga ove komponente takođe treba da bude pod nagibom (2%), sa izgrađenom pregradom koja će vršiti drenažu ocjedne vode. Ocjedne vode koje nastaju tokom dehidracije mulja, a koje zadovoljavaju standardne kvaliteta mogu se ispuštati u prirodni recipijent ili se vratiti u sedimentacioni bazen, pošto se radi o malim količinama. Osušeni mulj je pogodan za reciklažu.

Šematski prikaz mjesta za pranje miksera dat je na slici 4.



**Slika 4.** Tehnološka šema mjesta za pranje miksera  
Izvor: E3 Consulting

Pored navedenih implementiranih tehničkih rješenja, a u cilju ublažavanja uticaja betonskih voda, primjenjivale su se mjere i preporuke date u projektnoj i tehničkoj dokumentaciji, i to:

- neophodno je da svi betonski radovi budu "izolovani" od izvora vode;
- strogo je zabranjeno ispiranje/pranje miksera za prevoz betona, pumpi za beton i druge opreme koja se koristi za obradu betona u rijekama, potocima ili izdanima, kako ne bi došlo do zagađenja vodnih tijela i povećanja pH vrijednosti, odnosno ugrožavanja staništa;
- neophodna je redovna kontrola pH vrijednosti prije ispuštanja otpadne vode u recipijent.

Kako bi se potvrdila efikasnost primijenjenih metoda i pratilo stanje otpadnih voda na terenu, uspostavljen je monitoring program koji je podrazumijevao interna mjerenja ključnih parametara (na dnevnoj bazi), kao i mjerenja od strane akreditovanih laboratorija (na mjesečnom i kvartalnom nivou).

Rezultati monitoringa su potvrdili efikasnost svih primijenjenih metoda, čime je ostvaren cilj – očuvanje životne sredine projektnog područja.

## 5. ZAKLJUČAK

Shodno obimu i složenosti radova na izgradnji auto-puta kao i uslovima životne sredine kroz koju trasa prolazi, ključni izazov je bio očuvanje životne sredine u što većoj mjeri. Poseban izazov je predstavljala zaštita rijeka Tare i Morače, kao jednih od najvećih i najčistijih rijeka u Crnoj Gori. Iz tog razloga je posebna pažnja posvećena pronalaženju i primjeni adekvatnih rješenja u cilju kontrole i zaštite ovih površinskih voda.

Shodno tome, poznato je da je beton jedan od ključnih zagađivača tokom građevinskih aktivnosti na izgradnji putne infrastrukture. Stoga je i na projektu auto-puta predstavljao jedan od glavnih izvora zagađenja vodotoka, kao i ostalih segmenta životne sredine.

S tim u vezi, osmišljeno je, prilagođeno uslovima na terenu i primijenjeno nekoliko kompleksnih tehnologija i mjera koje su uticaj betonskih voda na vodotoke smanjili na najmanju moguću mjeru. Može se zaključiti da su primijenjena rješenja, prema svim analizama i rezultatima monitoringa, ostvarili efekte zaštite vodotoka, više nego na bilo kom drugom projektu u Crnoj Gori.

## Zahvale

Veliku zahvalnost dugujemo prof. dr Mihailu Buriću, koji je omogućio potrebnu dokumentaciju za izradu ovog naučnog rada.

## Literatura

- [1] Bušatlić, I.; Bušatlić N.; Merdić N.; Haračić N. 2020. *Osnove hemije i tehnologije portland cementa*. Štamparija Fojnica d.d., Fojnica. 8-17
- [2] Šerbula, S., Ristić, A., Manasijević, S., Dolić, N., Davitkov, N. (2014) - pH vrednosti i koncentracije ukupnog suvog ostatka i suspendovanih materija u otpadnim vodama Rudnika bakra Majdanpek. *Zaštita Materijala* 55 (2014) broj 3. 330-331.
- [3] Konzorcium Inter project - Entasis d.o.o., *Elaborat procjene uticaja auto puta na životnu sredinu dionica Smokovac-Mateševo*, Podgorica 2015.
- [4] E3 Consulting d.o.o., *Organization of treatments and pH value control in the wastewater of the highway Bar – Boljare, section Smokovac – Mateševo*, Podgorica 2018.

## POSTAVLJANJE EKO-PRELAZA NA SAOBRAĆAJNICAMA U PREDJELIMA OČUVANE PRIRODE

**Autori: Elma Šukurica<sup>1</sup>, Jovana Đukanović**

<sup>1</sup> E3 Consulting d.o.o., email: [elma.sukurica@e3consulting.co.me](mailto:elma.sukurica@e3consulting.co.me)

**Rezime:** Realizacijom projekta „Rekonstrukcija i modernizacija magistralnog puta M-18 Podgorica-Danilovgrad“, koji je finansiran od strane EBRD banke, izvršena je nadogradnja i rekonstrukcija dionice u dužini od 15 km. Na ovom projektu, koji je obuhvatao: proširenje puta sa 2 na 4 trake, rekonstrukciju mostova, izgradnju novih kružnih raskrsnica i postavljanje sistema za odvođenje atmosferskih voda, posebna pažnja je posvećena zaštiti životne sredine. Kako se dionica puta nalazi unutar ključnog područja biodiverziteta, u toku pripreme projekta realizovane su brojne studije o stanju biodiverziteta, a sve u skladu sa domaćim i međunarodnim standardima u oblasti životne sredine. U toku izgradnje realizovane su brojne mjere zaštite životne sredine, a neka od njih jeste ugradnja eko-prelaza za životinje koji će omogućiti bezbjedan prelaz životinja sa jedne na drugu stranu puta. To su alternativni prelazi preko ili ispod velikih saobraćajnica, u predjelima očuvane prirode, koji imaju za cilj da što manje poremete način života divljih životinja i spriječe njihovo istrebljenje, tj. da doprinesu očuvanju vrsta. Osim ovoga, na razdjelnom ostrvu ostavljeni su i ograđeni otvori kako bi životinje imale dovoljno prirodne svjetlosti. Cilj ovog referata je da se prikaže da je, uz prilagođavanje projektnog rješenja, sačuvana ekološka vrijednost projektnog područja, te da ovaj primjer prilagođavanja puta njegovom životnom prostoru predstavlja uspješnu kampanju u podizanju ekološke svijesti.

**Ključne riječi:** dionica, mjere zaštite životne sredine, eko-prolazi, ograđeni otvori, zaštita životinja.

**Authors: Elma Sukurica<sup>2</sup>, Jovana Djukanovic**

<sup>1</sup> E3 Consulting LCC, email: [elma.sukurica@e3consulting.co.me](mailto:elma.sukurica@e3consulting.co.me)

**Abstract:** With the implementation of the project "Reconstruction and modernization of the main road M-18 Podgorica-Danilovgrad", which was financed by the EBRD, an upgrade and reconstruction of the 15 km long section was carried out. In this project, which included: widening of the road from 2 to 4 lanes, reconstruction of bridges, construction of new roundabouts and installation of water drainage systems, special attention was paid to environmental protection. As the section of the road is located within a key biodiversity area, during the preparation of the project numerous biodiversity studies have been carried out, all in accordance with domestic and international standards in the field of environment. During construction, numerous environmental protection measures were implemented, and one of them is the construction of an eco-crossing for animals that will enable the safe crossing of animals from one side of the road to the other. These are alternative crossings over or under major roads, in areas of preserved nature, which aim to disrupt the way of life of wild animals as little as possible and prevent their extermination, i.e., to contribute to species conservation. In addition to this, fenced openings are left on the dividing island so that the animals have enough natural light. The goal of this report is to show that, with the adaptation of the project solution, the ecological value of the project area was preserved, and that this example of adapting the road to its living space represents a successful campaign in raising environmental awareness.

**Keywords:** section, environmental protection measures, eco-passages, fenced openings, animal protection.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [elma.sukurica@e3consulting.co.me](mailto:elma.sukurica@e3consulting.co.me)

<sup>2</sup> Author in charge of correspondence: [elma.sukurica@e3consulting.co.me](mailto:elma.sukurica@e3consulting.co.me)



## 1 UVOD

Evropska banka za obnovu i razvoj (EBRD) dala je kredit crnogorskoj Upravi za saobraćaj (UZS) za rekonstrukciju i modernizaciju tri zasebne dionice, mreže glavnih puteva u Crnoj Gori, koje imaju ukupnu dužinu od oko 51,5 km. Projekat je podijeljen u tri glavne tranše, pri čemu se jedna odnosi na rekonstrukciju i modernizaciju dijela puta Danilovgrad - Podgorica (oko 15 km).

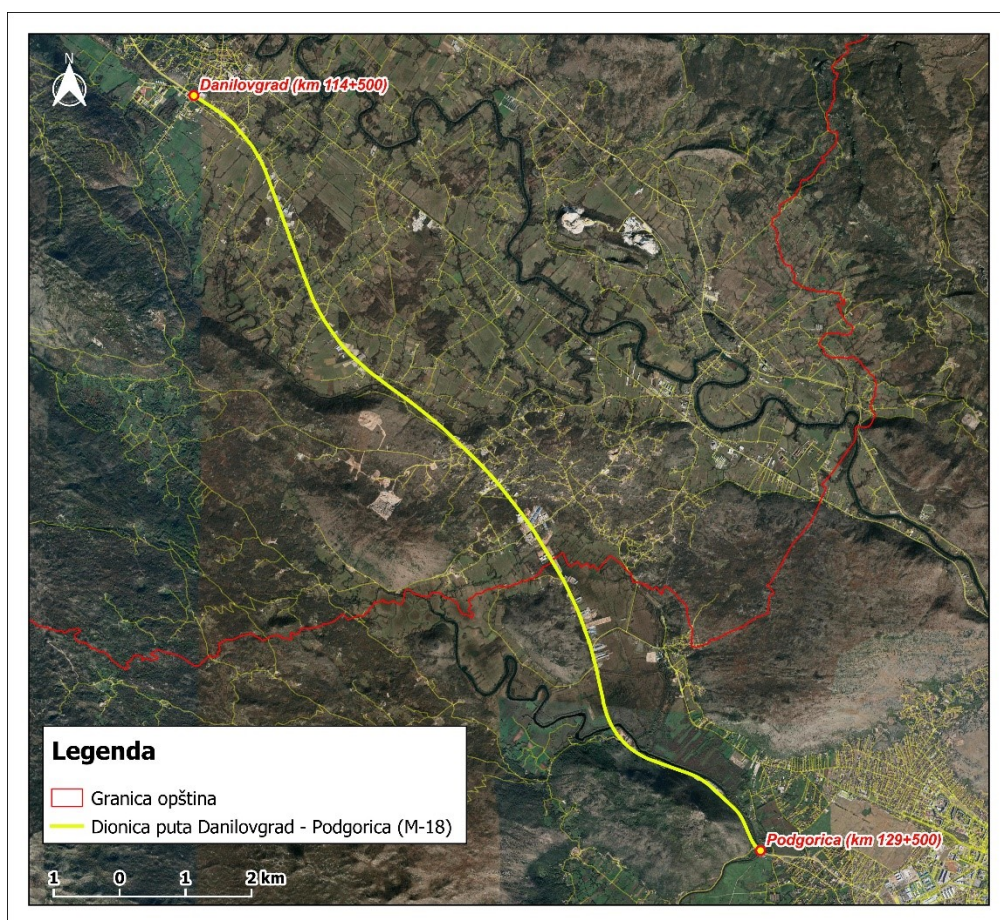
Ovaj projekat je kategorizovan kao investicija kategorije „A“ od strane Banke budući da modernizacija ove dionice puta uključuje proširenje puta sa dvije na četiri vozne trake, dužine od oko 15 km. Takođe, projektom je predviđena izgradnja: kružnih raskrsnica, trotoara, razdjelnog ostrva, autobuskih stajališta, rekonstrukcija postojećih mostova i paralelna izgradnja novih mostova. Pored toga zahtijevao se i otkup zemljišta, što je imalo za rezultat ekonomsko raseljavanje i vrlo ograničeno fizičko raseljavanje. Stoga, Banka je zahtijevala sprovođenje procesa Procjene uticaja na životnu sredinu i društveno okruženje (ESIA) sa pripremom u skladu sa smjernicama i pravilima Evropske banke za obnovu i razvoj i javnim objavljivanjem izvještaja, uključujući i Elaborat procjene uticaja na životnu sredinu (EIA), urađen prema nacionalnoj zakonskoj regulativi.

Dionicu Danilovgrad-Podgorica, karakterisao je veliki saobraćajni protok i učestale saobraćajne nezgode, a takođe postojao je i veliki rizik od poplava na nekoliko lokacija duž ove trase puta. S tim u vezi, projekat je imao za cilj poboljšanje saobraćajnog protoka (čime se smanjuje vrijeme putovanja) i sigurnosti na putu (za vozače, pješake i životinje), kao i unaprjeđenje odvodnjavanja puta u cilju smanjenja rizika od poplava.

## 2 OPIS LOKACIJE

Magistralni put M-18 nalazi se u centralnom regionu Crne Gore i prostire se u pravcu jug - sjeverozapad. Prolazi kroz dvije opštine (Danilovgrad i Podgorica) i povezuje 11 glavnih naselja. Ovo područje predstavlja industrijsku zonu opštine Danilovgrad, u kojoj se nalazi veći broj privrednih subjekata koji posluju na nacionalnom i internacionalnom nivou. Trasa prelazi preko 5 vodotokova i 2,5 ha zemljišta uključuje osjetljivija staništa, prvenstveno povezana sa povremenim ili stalnim vodotokovima, kao i sa povremeno vlažnim livadama i obalnim šumskim koridorima koji su sa njima povezani.

U vrijeme prije početka izvođenja radova, trasa puta je prolazila kroz rubove predložene ključne oblasti biodiverziteta (KBA) Zete. U međuvremenu, Vlada Crne Gore je 18. decembra 2020. godine, (*"Službeni list CG", br. 69/2019*) proglasila zaštićeno prirodno dobro Park prirode „Rijeka Zeta“. Nakon donešene odluke, utvrđeno je da trasa puta prolazi kroz II i III zonu zaštite Parka prirode „Rijeka Zeta“.



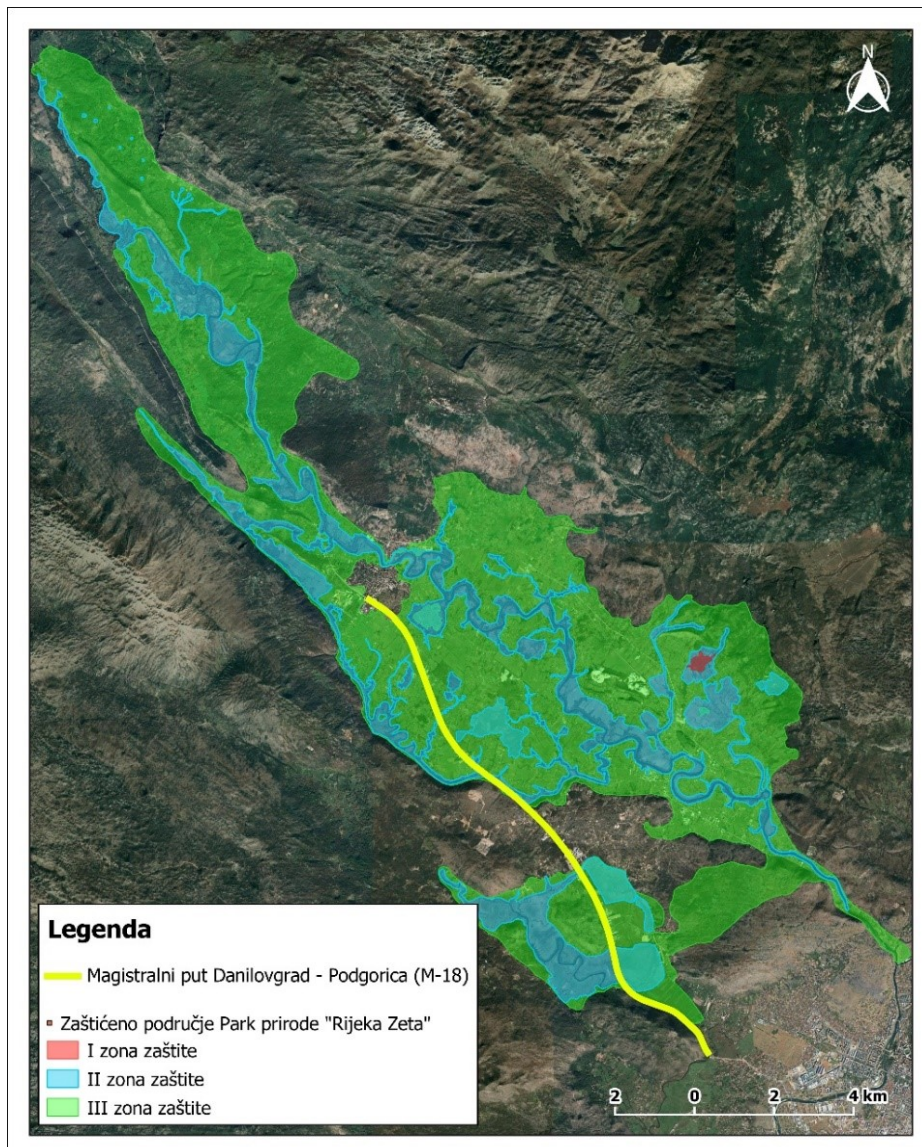
Slika 1. Magistralni put M-18 Danilovgrad - Podgorica  
Izvor: E3 Consulting

### 2.1 Zaštićeno područje Park prirode „Rijeka Zeta“

Prvo i jedino zaštićeno prirodno dobro na projektnom području je dolina rijeke Zete. Radi se o parku prirode koji obuhvata basen rijeke Zete i rijeke Matice. Park je regionalnog karaktera jer obuhvata dio teritorije opštine Danilovgrad i glavnog grada Podgorica. Površina parka prirode „Rijeka Zeta“ iznosi 119,85 km<sup>2</sup> od čega 80,8% je u okviru opštine Danilovgrad, a 19,2% pripada teritoriji Glavnog grada Podgorica. Glavne vrijednosti parka su vodeni ekosistemi i to rijeka Zeta sa pritokama, izvori sa lijeve i desne strane rijeke Zete, močvara Moromiš i ostaci nizijskih šuma. U okviru Parka prirode određuju se tri zone zaštite:

- zona zaštite I - u ovom parku prirode iznosi 0,15 km<sup>2</sup> i odnosi se na močvaru Moromiš.
- zona zaštite II - je aktivni režim zaštite i ukupne površine je 27,54 km<sup>2</sup>,

- zona zaštite III - područje projekta najvećim dijelom prolazi kroz zonu zaštite III – režim održivog korišćenja u ovom parku prirode iznosi 92,16 km<sup>2</sup> i odnosi se na dolinu Zete, Mareze i Matice (Sitnice).



**Slika 2.** Zaštićeno područje u odnosu na rekonstruisani dio magistralnog puta M-18  
Izvor: E3 Consulting

Značaj biodiverziteta opštine Danilovgrad prepoznat je i na međunarodnom nivou. Širi prostor basena rijeke Zete prepoznat je od strane BirdLife-a i IUCN kao područje od značaja za očuvanje biodiverziteta (KBA). Takođe ovaj prostor je 2019. godine predstavljen kao SPA "Bjelopavlička ravnica" tj. Specijalno zaštićeno područje shodno Direktivi o pticama. Na ovaj način prostor Bjelopavličke ravnice je postao potencijalni dio evropske ekološke mreže NATURA 2000.

Ključna oblast biodiverziteta koja je pod uticajem projekta zauzima površinu od oko 53 ha. Međutim, kumulativno gledano ova površina predstavlja manje od 0,3% ukupne površine KBA od 21.040 ha. Ključna oblast biodiverziteta Zete je značajna zbog prisustva nekoliko vrsta faune na predmetnoj lokaciji, što uključuje sisare (Evropska vidra *Lutra Lutra* i slijepi miševi); vodozemce (Albanska vodena žaba *Pelophylax shqipericus* - VU); ribe (Mekousna pastrmka *Salmo obtusirostris* – EN; i Evropska jegulja - *Anguilla Anguilla* – CR su zabilježeni u neposrednoj blizini). Brojni značajni beskičmenjaci, uključujući endemske slatkovodne puževe i bjelonoge rakove (*Austroptamobius pallipes* - EN), takođe su zabilježeni u vodotocima.

### 3 ZAKONODAVNI OKVIR U POGLEDU ŽIVOTNE SREDINE

Zakonom o zaštiti prirode („Službeni list Crne Gore“, br. 54/16) definisane su opšte mjere za zaštitu i očuvanje prirode; zaštitu prirodnih dobara; održivo korišćenje prirodnih resursa i prirodnih dobara, kao i kontrolu korišćenja istih. Prema članu 76 Zakona o zaštiti prirode, javni putevi, drugi putevi i drugi objekti moraju biti izgrađeni na način da se smanji negativan uticaj na migratorne puteve divljih životinja i omogući siguran prolaz divljih životinja na odgovarajućim udaljenostima. Ovo podrazumijeva izgradnju ekoloških mostova, prelaza i prolaza, tunela, propusta, kanala, sigurnosnih objekata, objekata za regulisanje smjera kretanja, prolaza za ribe i nasipa na objektima i njihovoj okolini.

Pravilnik o mjerama zaštite i načinu održavanja propusta za divlje životinje („Službeni list Crne Gore“, br. 80/10) utvrđuje mjere zaštite i način održavanja posebnih tehničko-tehnoloških rješenja koja omogućavaju nesmetan i siguran prolaz divljih životinja. Članovi ovog Pravilnika koji su relevantni za izgradnju prelaza za životinje propisuju sljedeće:

- *Prelazi za vodozemce i gmizavce* predstavljaju tunele sa usmjerivačima kretanja ka otvoru na oba kraja. Otvor prelaza može biti kružnog, pravougaonog ili eliptičnog oblika, čiji prečnik varira u odnosu na dužinu tunela, tako što se minimalne vrijednosti prečnika kreću od 0,4 do 1,2 m, odnosno, od 0,4 x 0,4 m do 1,2 x 1,0 m (širina puta visina) ako je prelaz dugačak od 10 do 40 m. Usmjerivači kretanja postavljaju se na rub tunela vertikalno, minimalne visine od 50 cm;
- *Prelazi za male divlje životinje* (lasica, jež, vidra, jazavac, lisica, zec, itd.) mogu biti isključivo podzemni prelazi, okruglog ili pravougaonog oblika čije se dimenzije prilagođavaju vrsti životinje kojoj su namijenjeni. Na obje strane prelaza postavlja se zaštitna ograda, koja sprječava životinjama prilaz na saobraćajnicu i čija dužina iznosi najmanje 100 m;
- *Prelazi za krupne divlje životinje* (divlja svinja, srna, i dr.) mogu biti nadzemni i podzemni, u zavisnosti od visinske predispozicije saobraćajnica. Minimalne dimenzije nadzemnih prelaza iznose 10 do 20 m, na koje se postavlja zaštitna ograda sa obje strane prelaza, od drvenih oblica ili vertikalnih drvenih letvi (paneli), minimalne visine od 1,4 m, koja eliminiše ili smanjuje negativne uticaje buke i svjetlosnih snopova sa saobraćajnice i sprječava pad životinja.
- *Ribljim stazama* se uspostavlja ponovna komunikacija između vodenih tokova rijeke, ili između jezera i rijeka ukoliko je prirodni prolazak prekinut izgradnjom brane. Riblja staza se sastoji od niza niskih stepenica (kaskadnog oblika), koje se završavaju sa druge strane brane. Dužina riblje staze zavisi od tipa i visine brane koju treba zaobići. Riblje staze imaju odmorišta, odnosno nekoliko dubljih bazena gdje se ribe zadržavaju prije nastavka migracije, a na pregradama između kaskada moraju postojati cik-cak otvori kroz koje riba prolazi.

S obzirom na to da trasa puta Danilovgrad - Podgorica prolazi kroz područje koje je od velike važnosti za životinjski svijet, kako bi se obezbijedio siguran prolazak životinja sa jedne strane puta na drugu, projektom je definisana izgradnja prelaza za životinje.

### 4. IZGRADNJA PRELAZA ZA ŽIVOTINJE

**Prelaz za divlje životinje, nadvožnjak za divlje životinje, zeleni most ili ekodukt** su alternativni prelazi preko ili ispod velikih saobraćajnica, u predjelima očuvane prirode, koji imaju za cilj da što manje remete način života divljih životinja i spriječe njihovo istrebljenje, tj. da doprinesu očuvanju vrsta.

Usljed ubrzanog razvoja i izgradnje infrastrukture, dolazi do presijecanja/fragmentacije staništa prirodnih ekosistema što ima za posljedicu podjelu životinjske populacije i narušavanje bezbjednosti životinja. Gubitkom pristupa velikim površinama njihovog životnog prostora otežava mnogim životinjama da traže hranu, pronadu parove i prenose svoje genetsko naslijeđe.

Prelazak životinja preko magistralnih puteva može stvoriti opasnosti po njihov život. Prema nekim procjenama, automobilski sudari ubiju više od milion životinja svakog dana, što ih čini vodećim uzrokom smrti mnogih vrsta beskičmenjaka. Samo u Sjedinjenim Državama godišnje se dogodi više od milion automobilskih nesreća koje uključuju divlje životinje, što godišnje iziskuje više od 8 milijardi dolara medicinskih troškova i popravki vozila. Kako su ljudi postali svjesniji ovih opasnosti, postepeno je prihvaćena jedna strategija za njihovo ublažavanje koja se odnosi na izgradnju prelaza (preko ili ispod velikih saobraćajnica) koji su projektovani samo za životinje. Oni se mogu graditi u mnogim oblicima, u zavisnosti od vrste i geografskih karakteristika zemljišta. Najčešći oblici prelaska divljih životinja su **mostovi i nadvožnjaci, tuneli, vijadukti i propusti**. Kada se uspješno realizuje izgradnja eko-prelaza, oni mogu u

velikoj mjeri smanjiti vjerovatnoću sudara životinja i automobila, obezbijediti siguran koridor za tranzit životinja i pomoći u smanjenju ekološkog uticaja autoputeva ponovnim povezivanjem životinjskih staništa.

#### 4.1. Izgradnja eko-prelaza u svijetu

Koncept "zelenih mostova" je prvi put razvijen u **Francuskoj** 1950-ih. Mostovi za divlje životinje u Ujedinjenom Kraljevstvu obično su prekriveni autohtonom vegetacijom raznih vrsta biljaka, kako bi izgledali kao prirodni dio pejzaža i pomogli da životinje prođu sa jedne strane puta na drugu. Prijelazi se često rade u kombinaciji sa ogradom na autoputu, strateški postavljenom na jednoj ili obje strane ulaza, kako bi se divlje životinje usmjerile prema koridoru.

Zatim, njihova izgradnja počela je i u **Holandiji**, gdje je izgrađeno više od 600 prelaza za zaštitu jazavaca, losova i drugih sisara. Holandanci su izgradili najduži prelaz za životinje na svijetu, *Natuurbrug Zanderij Crailoo* - nadvožnjak koji se proteže više od 800 m dužine i 50 metara širine. Eko-prelazi za divlje životinje mogu se naći i u Australiji, Kanadi, SAD i drugim dijelovima svijeta.



**Slika 3.** Ekodukt *Natuurbrug Zanderij Crailoo*,  
Holandija  
Izvor: Google Chrome



**Slika 4.** Nacionalni park Banff, Kanada  
Izvor: ekoblog.info

Jedan od najstarijih **američkih** eko-prelaza bio je izgrađen u Dejvisu u Kaliforniji, u blizini glavnog grada Sakramenta. Godine 1995. lokalna uprava je izgradila tunel širine 15 centimetara (6 inča) ili „ekodukt“ da bi omogućio žabama da prođu ispod Pole Line Road-a prema močvarnom području na drugoj strani.

U **Kanadi** između 1996. i 2016. godine izgrađena su 44 prelaza — šest mostova i 38 podvožnjaka — kako bi divlje životinje prolazile preko Trans-Kanadskog autoputa, najdužeg puta u zemlji, koji dijeli park prirode na dva dijela. Za to vrijeme, zvaničnici parka su dokumentovali više od 150.000 prelazaka sisara kao što su losovi (*Cervus canadensis* i *Alces alces*), crni medvjed (*Ursus americanus*), puma (*Puma concolor*) i medvjedi grizli (*Ursus arctos*). Studije su pokazale da su prelazi posebno pomogli medvjedima da održe dovoljno širok izbor partnera, da stabilizuju svoj genetski tok. Pored toga, ublažavanje je doprinijelo smanjenju saobraćajnih nesreća za 80% koji uključuju divlje životinje. Ove statistike otkrivaju puni obim korisnih efekata koji mogu proizaći iz savjesnog nastojanja da se principi očuvanja integrišu u izgradnju autoputeva.

U dijelovima Queenslanda, **Australija**, populacija koala (*Phascolarctos cinereus*) opadala je alarmantnom brzinom u posljednjih nekoliko decenija. Prema vladinom izvještaju, automobilske nesreće bile su među vodećim uzrocima smrti koala u jugoistočnom Queenslandu između 1997. i 2011. godine. U periodu između 2010. i 2013. godine vlada države Queensland izgradila je nekoliko prelaza za divlje životinje. Neki prelazi su bili modifikacija postojećih odvodnih tunela ispod puteva.

Posljednjih godina u zapadnim Sjedinjenim Državama izgrađeno je nekoliko prelaza za životinje. Od 2000. godine, Arizona je izgradila najmanje 20 koridora, uključujući 17 podvožnjaka. Njihova izgradnja dovela je do 90-postotnog smanjenja nesreća na autoputu vezanih za divlje životinje u jednom dijelu centralne Arizone

poznatom po migrirajućoj populaciji losova. Godine 2018. vlasti države Washington radile su na mostu za divlje životinje koji se proteže na Interstate 90, koji je nedavno proširen na šest traka.

U našem regionu, pasarele su zastupljene u **Sloveniji**, a počele su da se grade i u drugim zemljama kao što su: Makedonija, Rumunija, Mađarska, Češka, Slovačka i dr.

U **Srbiji** još uvijek nema ovako upečatljivih zelenih mostova. Međutim, na svim infrastrukturnim projektima koji se trenutno izvode rade se Studije o procjeni uticaja na životnu sredinu u okviru kojih se vodi računa o kretanju životinja tj. predviđaju se prelazi za divlje životinje u vidu mostova, propusta, tunela, vijadukta.

U **Hrvatskoj** je od 2007. godine (kada je uveden Pravilnik), izgrađeno nekoliko zelenih mostova. Takođe, tamo su izgrađeni mnogi vijadukti, a tunele su učinili dužim nego što je prvobitno planirano kako bi ostavili dovoljno prostora za divlje životinje.



**Slika 5. Zeleni most, Slovenija**  
Izvor: balkangreenenergynews.com



**Slika 6. Ekodukt Lipnik, Češka**  
Izvor: balkangreenenergynews.com

#### 4.2. Postavljanje eko-prelaza na magistralnom putu Danilovgrad - Podgorica (M-18), Crna Gora

Prilikom istraživanja koje je rađeno za potrebe izrade Elaborata o procjeni uticaja na životnu sredinu i društvena pitanja (ESIA), utvrđeno je da na dionici puta M-18 strada oko 1000 jedinki godišnje, i to: jazavaca, ježeve, kuna, zmija, kornjača i žaba.

Na putnom pravcu M-18 Danilovgrad - Podgorica, čija je rekonstrukcija završena u julu 2022. godine, izgrađeni su prvi **eko-prelazi** za divlje životinje u Crnoj Gori. Eko-prolazi se nalaze ispod magistrale, i sadrže dodatne otvore za propust svjetlosti. Pored ovih propusta, izgrađeni su i **parapetni zidovi ili usmjerivači** koji usmjeravaju životinje da uđu/izađu iz propusta. Takođe, postavljeni su na strani nasipa u svrhu da spriječe životinje da pređu magistralni put i usmjere ih da uđu u otvor propusta.

Kako bi se obezbijedila zaštita ugroženih životinjskih vrsta na vrhovima kosina usjeka i zasjeke postavljene su guste **zaštitne mreže** visine 50 cm, koje su na razmacima od maksimalno 2 m pričvršćene čeličnim sidrima. Mreže su od pocinkovane čelične žice prečnika 3 mm, sa pravougaonim i šestougaonim otvorima od 5 do 10 cm.

Duž magistralnog puta M-18 na dionici Danilovgrad - Podgorica, izgrađeni su prelazi za životinje na sljedećim lokacijama:

##### Lokacija 1 – od profila 215 (km 117+803.890) do profila 229 (km 118+015.420)

Na ovom potezu postavljeni su usmjerivači u vidu zidova debljine  $d=30\text{cm}$  i visine  $h=110\text{cm}$ , po obodu kanala za odvod atmosferskih voda do pločastog propusta, kao i lijevo i desno od ulaza i izlaza iz propusta. Dimenzije propusta su  $5.0 \times 4.5$  metara. Dodavanjem uzdignutih platoa po unutrašnjem obodu duž cijelog pločastog propusta omogućio se prolaz kopnenih životinja (gdje je najučestalija vrsta tzv. barska kornjača - *Emys orbicularis*).

**Lokacija 2 – od profila 319 (km 119+375.720) do profila 346 (km 119+789.430)**

I na ovoj lokaciji postavljeni su usmjerivači u vidu zidova debljine  $d=30\text{cm}$  i visine  $h=110\text{cm}$ , po obodu kanala za odvod atmosferskih voda do pločastog propusta, kao i lijevo i desno od ulaza i izlaza iz propusta.

**Lokacija 3 – od profila 446 (km 121+215.990) do profila 477 (km 121+807.130)**

Budući da je na ovoj lokaciji tokom ranijih godina zabilježen znatni procenat stradanja jedinki šumske kornjače (*Testudo hermanni*) prilikom prelaska trase puta, postavljene su barijere u vidu guste zaštitne mreže veličine oko  $10\times 10\text{cm}$ , pričvršćene stubovima od čeličnih cijevi visine  $50\text{cm}$ , po ivicama škarpe sa obje strane bulevara.

**Lokacija 4 – od profila 704 (km 125+249.110) do profila 760 (km 126+100.630)**

Na ovom potezu projektovana su tri nova pločasta propusta svijetlog otvora širine  $2\text{m}$  i visine  $1.5\text{m}$  na, sa usmjerivačima u vidu parapetnih zidova debljine  $d=30\text{cm}$  i visine  $h=110\text{cm}$ , po obje strane.



**Slika 7. Izgradnja eko-prelaza za životinje**  
Izvor: E3 Consulting

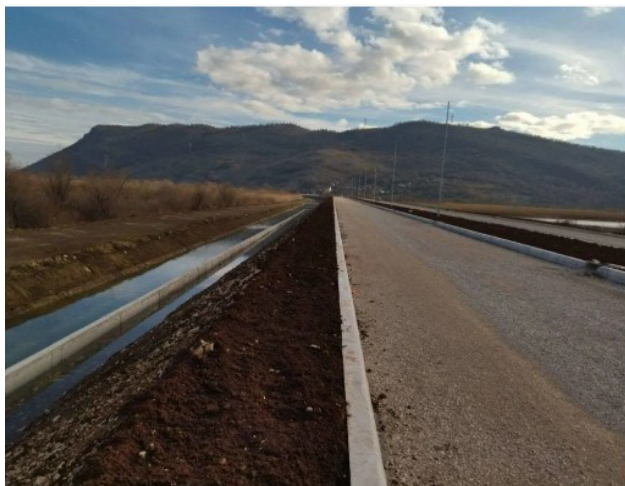


**Slika 8. Izgradnja prelaza za žabe i manje životinje**  
Izvor: E3 Consulting



**Slika 9. Izgradnja otvora za svjetlost na prolazima za životinje**  
Izvor: E3 Consulting





**Slika 10.** Parapetni zidovi ili usmjerivači  
Izvor: *ekoportal.me*



**Slika 11.** Propust za životinje i za propuštanje potoka  
Izvor: *ekoportal.me*

## 5. ZAKLJUČAK

Putna infrastruktura predstavlja važnu tačku interakcije između ljudi i divljeg svijeta zbog svoje veličine i naglašenog položaja u prirodnom okruženju. U nastojanju da se izgradi najefikasniji, najekonomičniji i najbezbedniji transportni sistem, infrastruktura često prolazi kroz netaknute teritorije koje su u velikom broju slučajeva utočište živog svijeta, a ponekad i važni centri biodiverziteta nekog područja. Kao posljedica izgradnje, neminovni su ekološki efekti koji dovode do kratkoročnih i dugoročnih izmjena u kvalitetu staništa, a time i sastavu životnih zajednica. Najvažniji negativni efekti izgradnje saobraćajnica na životinje ogleda se kroz gubitak i fragmentaciju staništa. Iz tog razloga, kako bi se ublažili negativni uticaji izgradnje infrastrukturnih objekata u predjelima očuvane prirode sve češće se postavljaju eko-prelazi za životinje.

I pored toga što je Crna Gora donijela *Pravilnik o mjerama zaštite i načinu održavanja prelaza za divlje životinje* još 2010. godine, na osnovu *Zakona o zaštiti prirode*, prvi eko-prelazi izgrađeni su 2022. godine na magistralnom putu M-18, dionici Danilovgrad - Podgorica. Razlog zašto se na prve prelaze za životinje čekalo gotovo 10 godina, jeste njihova vrlo skupa izgradnja.

Dugoročno posmatrano, izgradnja prelaza za životinje u predjelima očuvane prirode je opravdana iz više razloga. Pored zaštite životinja, ovim prelazima štite se i ljudi, jer se broj sudara vozila sa divljim životinjama znatno smanjuje, a istovremeno smanjeni su i troškovi popravki automobila kao posljedice sudara sa životinjama, koji su prema procjenama iznosili više hiljada eura godišnje.

Cilj ovog referata je da se prikaže da je, uz prilagođavanje projektnog rješenja, sačuvana ekološka vrijednost projektnog područja, te da ovaj primjer prilagođavanja puta njegovom životnom prostoru predstavlja uspješnu kampanju u podizanju ekološke svijesti.

Takođe, veoma je važno da kretanje životinja postane dio prostornog planiranja i strateških dokumenata, jer na kraju briga o životinjama pravo je mjerilo koliko je jedno društvo napredovalo.



## Literatura

- [1] Medix d.o.o. 2019. *Elaborat procjene uticaja rekonstrukcije magistralnog puta M-18 dionica Podgorica – Danilovgrad na životnu sredinu*. Podgorica.
- [2] E3 Consulting d.o.o. 2019. *Dodatak procjeni uticaja na životnu sredinu i društveno okruženje*. Projekat rekonstrukcije magistralnih puteva i modernizacija dionice Danilovgrad – Podgorica. Podgorica.
- [3] Bemax d.o.o. 2021. Magistralni put M-18 Danilovgrad – Podgorica. *Akcionni plan biodiverziteta*. Podgorica.
- [4] Zakon o zaštiti prirode („Službeni list Crne Gore“, br. 54/16).
- [5] Pravilnik o mjerama zaštite i načinu održavanja propusta za divlje životinje („Službeni list Crne Gore“, br. 80/10).
- [6] Vuković A., Čabarkapa A. 2022. Put ili prepreka. Dostupno na: <https://www.ecoport.me/mlade-ekoreporterke-anja-i-andela-se-predstavljaju-radom-put-ili-prepreka/>
- [7] Wildlife Crossings (on-line), dostupno na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/wildlife-crossings/>

## PRORAČUN SMANJENJA EKVIVALENTNOG UGLJEN-DIOKSIDA (CO<sub>2e</sub>) PRIMENOM TERMOSTABILNE GEOMREŽE NA PRIMERU GLAVNOG PROJEKTA DP IB REDA BR.12 DEONICA ŽABALJ - ZRENJANIN

**Dragan Stojnić<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institut za puteve a.d. Beograd – Odsek za kolovozne konstrukcije, d.stojnic@highway.rs,

**Marija Bakrač<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> GEOESTETIKA d.o.o. Beograd, mbakrac@geoestetika.rs

**Rezime:** Svaka rehabilitacija asfaltnog kolovoza osim benefita u smislu sigurnosti, komfora i brzine za korisnike ima i svoju negativnu stranu tj. nepovoljne uticaje na životnu sredinu. Neki od ovih uticaja kao što su emisije ekvivalentnog ugljen-dioksida se ne mogu ograničiti samo na neposredno okruženje na kom se radovi izvode već su globalni. Kako bi se porast srednje temperature na Zemlji izazvan upravo povećanim emisijama CO<sub>2e</sub> ograničio na ispod 2°C, a u skladu sa međunarodno preuzetim obavezama Srbije, neophodno je da sve industrije uključujući i građevinarstvo daju svoj maksimalni doprinos. Kada govorimo o rehabilitaciji asfaltanih zastora jedan od mogućih načina da se u velikoj meri smanji emisija CO<sub>2e</sub> je primena termostabilnih geomreža za armiranje asfalta. Osnovni efekat koji se primenom geomreža za armiranje asfalta postiže je produženje trajnosti novog asfaltnog zastora uz smanjenje troškova održavanja. Prema podacima proizvođača mreža za armiranje asfalta i odlaganje pojave reflektovanih pukotina trajnost novog asfaltnog sloja povećava se 3-4 puta. U radu je data detaljna analiza postignutih ušteda ekvivalentnog ugljen-dioksida kao i finansijski benefiti primene geomreže HaTelit C 40/17 prilikom rehabilitacije kolovoza na projektu: Pojačano održavanje državnog puta IB reda br.12 Žabalj-Zrenjanin.

**Ključne reči:** ekvivalentni ugljen-dioksid, CO<sub>2e</sub>, asfaltni kolovoz, rehabilitacija, životni vek, termostabilna mreža

## CALCULATION OF THE REDUCTION OF EQUIVALENT CARBON-DIOXIDE (CO<sub>2e</sub>) USING THERMOSTABLE GEOGRID ON THE EXAMPLE OF THE MAIN PROJECT OF S.R. IB ORDER NO. 12 SECTION ŽABALJ - ZRENJANIN

**Dragan Stojnić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institut za puteve a.d. Beograd – Odsek za kolovozne konstrukcije, email – Arial, Font 10, Ukošeno

**Marija Bakrač<sup>4</sup>**

<sup>2</sup> GEOESTETIKA d.o.o. Beograd, mbakrac@geoestetika.rs

**Abstract:** Every asphalt pavement rehabilitation, apart from benefits in terms of safety, comfort and speed for users, also has its negative side, i.e. adverse effects on the environment. Some of these impacts, such as carbon dioxide equivalent emissions, cannot be limited to the immediate environment where the works are carried out, but are global. In order to limit the increase in the average temperature on Earth caused by increased CO<sub>2e</sub> emissions to below 2°C, and in accordance with Serbia's internationally accepted obligations, it is necessary that all industries, including construction, give their maximum contribution. When we talk about the rehabilitation of asphalt pavements, one of the possible ways to greatly reduce CO<sub>2e</sub> emissions is the application of thermostable geogrids for asphalt reinforcement. The main effect achieved by the application of geogrids for asphalt reinforcement is the extension of the durability of the new asphalt layer while reducing maintenance costs. According to the manufacturer's data, the durability of the new asphalt layer increases by 3-4 times. The paper provides a detailed analysis of the achieved carbon dioxide equivalent savings, as well as the financial benefits of the application of the HaTelit C 40/17 geogrid during the rehabilitation of the pavement on the project: Enhanced maintenance of State Road IB order no.12 Žabalj-Zrenjanin.

**Keywords:** equivalent carbon dioxide, CO<sub>2e</sub>, asphalt pavement, rehabilitation, lifetime, thermostable geogrid

---

<sup>1</sup> Dragan Stojnić: d.stojnic@highway.rs

## 1. UVOD

IPCC - International Panel on Climate Change je radno telo UN za analizu klimatskih promena baziranu na raspoloživim naučnim dostignućima. IPCC je definisao kumulativnu rezervu (budžet) količine CO<sub>2</sub>e koju imamo na raspolaganju do prekoračenja granice zagrevanja od 1.5°C, i ovaj budžet je 1.01.2018. iznosio 570Gt. Iako je od 2010. primetan pad stope rasta godišnjih emisija gasova staklene bašte (sa 2.1% na 1.3% godišnje) on je 2019. iznosio 59Gt (1). Iako je videti da će preostali budžet iz 2018. biti iscrpljen pre 2030. godine.

Namera autora je, da na primeru jednog konkretnog projekta - Pojačano održavanje državnog puta IB reda br.12 deonica Žabalj-Zrenjanin, izvrše procenu postignutog nivoa smanjenja emisija ekvivalentnog ugljen dioksida, kao i postignutog nivoa smanjenja troškova. Obzirom da se radi o značajnim vrednostima ušteda, autori se nadaju da će predstavljena analiza poslužiti kao putokaz kako projektantima prilikom izbora projektnih rešenja tako i investitorima prilikom definisanja projektnih zadataka ili uslova na tenderima.

Ekvivalentni ugljen-dioksid predstavlja zbirni uticaj ugljen-dioksida, metana, azot suboksida i drugih gasova koji usporavaju izlaz sunčeve toplote kroz atmosferski omotač. Otud naziv gasovi staklene bašte. Emisija CO<sub>2</sub>e računa se po principu kompletnog životnog veka proizvoda (cradle to grave), počev od dobijanja sirovine pa do odlaganja proizvoda na deponiju ili njegovog uništenja, odnosno do momenta kada emisija CO<sub>2</sub>e vezana za taj proizvod ili delatnost ne prestane.

1.5°C je povećanje srednje globalne temperature vazduha iznad kopna i mora u odnosu na predindustrijski nivo (1850.-1900.) izazvano samo dejstvom čoveka.

## 2. ARMIRANJE ASFALTA - MEHANIZAM DELOVANJA I OČEKIVANI EFEKTI

Povećanje trajnosti novih asfaltnih slojeva ugradnjom geomreža pomoću kojih se usporava napredovanje pukotina iz postojećih asfaltnih slojeva u nove primenjuje se već više decenija u svetu, a već dve decenije i kod nas. Prva test deonica u organizaciji Instituta za puteve iz Beograda, bila je u Bulevaru Mira u Beogradu, 2003. godine.

Prilikom održavanja putne mreže, standardni način podrazumeva struganje oštećenog asfalta u debljini 4-5cm, prskanje bitumenskom emulzijom i nanošenje novog sloja asfalta iste debljine. Ovaj proces potrebno je ponavljati, u proseku na 3 do 5 godina, obzirom da je očekivana brzina napredovanja pukotina iz donjeg u gornji sloj ~1-1.5 cm godišnje.

Ukoliko se na kontaktu starog i novog sloja asfalta ugradi sloj geomreže ona će prihvatiti deo napona zatezanja, distribuirati ih na veću površinu i time smanjiti brzinu napredovanja pukotina u novi sloj asfalta. Ukoliko posmatramo geomreže od poliestera PET, njihova primena dala je odlične rezultate iz više razloga. PET ima sličan koeficijent termičkog širenja kao bitumen tako da sloj geomreže ugradjen između dva asfaltna sloja ne izaziva dodatne napone na kontaktu sa njima. Odnos termičkih koeficijenata betona i armature je 1, asfalta i PET geomreže je 4, dok ovaj odnos u slučaju asfalta i staklene mreže iznosi 130, što pod dejstvom dnevnih i sezonskih promena temperature neminovno dovodi do odvajanja staklene mreže od asfaltnih slojeva. Kako bi prionljivost svih slojeva u "sendviču" bila što bolja, a time njihovo sadejstvo homogenije, idealno je da PET geomreža ima na sebi premaz sa visokim procentom bitumena.

Sasvim je razumljivo da se za bitumen ništa ne lepi bolje od bitumena. De Bondt (2) je u svojim istraživanjima uveo pojam "krutosti spoja" ili "bond stiffnes" koju je odredjivao testovima čupanja geomreže iz kernova i za koju je dokazao da ima odlučujući uticaj na rezultate koji se ugradnjom geomreže postižu. Najveću vrednost "krutosti veze" u njegovim istraživanjima imala je PET geomreža sa tankim netkanim geotekstilom i premazom sa > 65% bitumena. Iako ne postoji opšte priznat, a još manje standardizovan način dimenzionisanja slojeva kolovozne konstrukcije uz primenu geomreža, jasno je da je njena čvrstoća na zatezanje od velikog značaja. Tokom ugradnje geomreže neminovno dolazi do oštećenja koja uzrokuju pad inicijalne čvrstoće na zatezanje. Gubitak čvrstoće na zatezanje pri ugradnji značajno je manji kod poliesterskih geomreža prvenstveno zbog njihove fleksibilnosti, koja posebno dolazi do izražaja pri ugradnji na struganoj podlozi. Izduženje pri kidanju PET geomreža iznosi ~12%.

Gubitak početne čvrstoće na zatezanje, tj. oštećenje pri ugradnji odredjuje se prema standardu SRPS EN ISO 10722:2020. godine. Prilikom korišćenja rezultata ispitivanja po ovom standardu potrebno je povesti

računa o godini usvajanja standarda jer je do značajne promene interpretacije rezultata došlo 2019. godine. Početna čvrstoća na zatezanje je čvrstoća na zatezanje određena prema SRPS EN ISO 10319:2016 na neoštećenom uzorku geomreže.

Na projektu pojačanog održavanja državnog puta IB reda br.12, na deonici Žabalj-Zrenjanin, korišćena je poliesterska geomreža sa vrlo tankim netkanim polipropilenskim geotekstilom i bitumenskim premazom sa min. 65% bitumena. Preostala čvrstoća na zatezanje ove mreže nakon ispitivanja prema SRPS EN ISO 10722:2020 iznosi min.80% početne.

Iskustva sa ugradnjom ove geomreže za armiranje asfalta, kao i laboratorijska ispitivanja na njom armiranim uzorcima, dokazala su da je očekivano produženje trajanja novog asfaltnog sloja 3-4 puta veće u odnosu na isti sloj bez mreže (Montestruque at al. 2004.) (3). Za potrebe ove analize i poredjenje emisije CO<sub>2</sub>e kod klasičnog načina rehabilitacije asfaltnih zastora i rehabilitacije uz primenu HaTelit C 40/17 geomreže usvajamo 3 kao nižu vrednost faktora produženja veka trajanja.

### 3. STANJE DEONICE I PROJEKTNO REŠENJE

Projektno rešenje poboljšanja na državnom putu IB reda, broj puta 12 (ranije M-7), deonica Kać-Zrenjanin zasnovano je na utvrđenom stanju kolovoza, periodu dalje eksploatacije (10 godina) za koji se kolovoz želeo osposobiti, odnosno na rezultatima analiza i proračuna. Saobraćajno opterećenje od  $7.1 \times 10^6$  standardnih osovina od 80 kN je merodavno opterećenje i predstavlja osnovu za dalju analizu.

Prilikom razrade projektnog rešenja poboljšanja postojećeg kolovoza analizirana su rešenja sa/bez primene antipukotinskog sloja, koji štiti (usporava) pojavu budućih oštećenja (reflektovanih pukotina iz cementom stabilizovanog sloja) u nove asfaltne slojeve. Uvažavajući zahteve za optimalnim i najekonomičnijim uslovima građenja, primena antipukotinskog sloja (termostabilna armaturna mreža), se pokazalo kao racionalnije rešenje (zamena 11 cm postojećih asfaltnih slojeva), imajući u vidu da rešenje bez primene armaturne mreže zahteva zamenu min 15 cm postojećih asfaltnih slojeva.

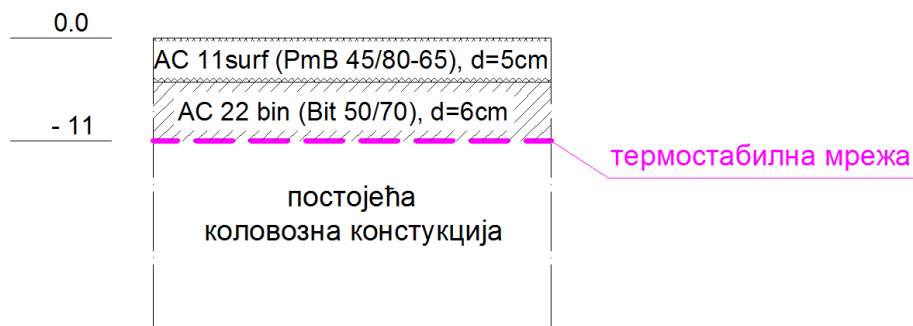
Osnovni kriterijum za proračun trajnosti kolovozne konstrukcije je horizontalna dilatacija zatezanja u donjem vlaknu bitumenom vezanih slojeva ( $Epsilon_{BNS}$ ). Provera trajnosti vrši se poređenjem stvarne dilatacije ( $Epsilon_{BNS}$ ) od opterećenja koje se ponavlja sa dopuštenom dilatacijom ( $Epsilon_{DOPUŠTENO}$ ). Primena armaturne mreže dovodi do uvećanja dopuštene horizontalne dilatacije zatezanja ( $Epsilon_6$ ) asfaltnog uzorka nakon  $10^6$  ciklusa ponavljanja opterećenja za 15-30%, što rezultuje većom trajnošću asfaltnog sloja (2-3 puta). Proračun dopuštene dilatacije zatezanja baziran je na konceptu LCPC-SETRA laboratorije.

Na osnovu uradjenih analiza definisani su radovi na popravci postojećeg kolovoza na bazi sledećih potreba i zahteva:

- da se uradi popravka sistema za odvodnjavanje jer njihova funkcionalnost bitno utiče na trajnost kolovozne konstrukcije
- da se izvrši korekcija poprečne i podužne ravnosti kolovozne površine
- **da se obezbedi izrada antipukotinskog sloja radu sprečavanja reflektovanja pukotina iz cementom stabilizovanog sloja u novi asfaltni sloj**
- da se obezbedi izrada habajućeg sloja odgovarajuće makroteksture i otpornosti na pojavu kolotruga

Projektom predvidjeni radovi na postojećoj kolovoznoj konstrukciji sastojali su se od njenog uklanjanja struganjem u debljini od 11cm, pripreme podloge tj. saniranja pukotina i postavljanja termostabilne PET geomreže u cilju odlaganja reflektovanja pukotina. Izrada novih slojeva kolovozne konstrukcije podrazumevala je:

- izradu bitumeniziranog nosećeg sloja AC 22 bin (Bit 50/70) i
- izradu habajućeg sloja od asfalt betona AC 11 surf (PmB 45/80-65)

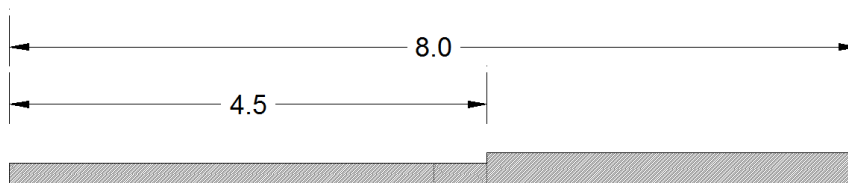


**Slika 1:** Poprečni profil projektog rešenja kolovozne konstrukcije

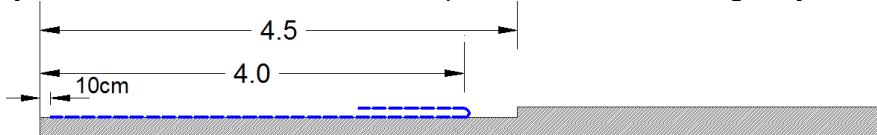
Termostabilna PET geomreža postavljena je na struganoj podlozi na koju je prethodno nanosena bitumenska emulzija KN 60 u količini od 900g/m<sup>2</sup>. Do potrebne količine emulzije došlo se probama na licu mesta, i prilagodjavanjem uslovima podloge i vremenskim uslovima tokom ugradnje. Termostabilna geomreža ugradjivana je odmah preko sveže bitumenske emulzije, dok je bitumenizirani noseći sloj polagan na otparenu podlogu, tehnološki u svemu na uobičajeni način. Geomreža je polagana u širini od 7.8m dok je po 10cm do buduće ivice kolovoza ostavljeno nepokriveno mrežom.

Postupak izvođenja radova podrazumevao je:

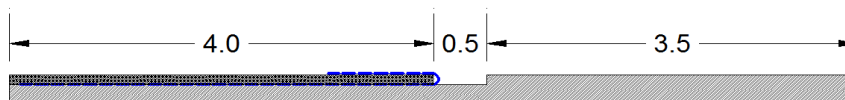
1. struganje postojećih asfaltnih slojeva u širini ~4m.



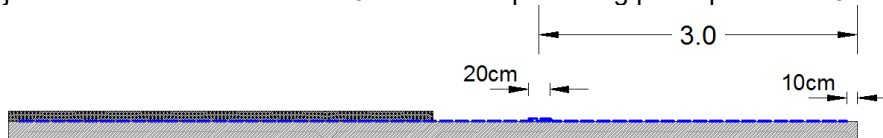
2. Postavljanje termostabilne mreže širine 5m na podlozi širine 4m, uz osiguranje slobodnih 1m mreže.



3. Izradu bitumeniziranog nosećeg sloja prema projektu na širini ~4m, uz osiguranje slobodnih 1m mreže.



4. Struganje postojećih asfaltnih slojeva u širini 3.5m.
5. Postavljanje termostabilne mreže širine 3m uz izradu podužnog preklopa širine 20cm.



6. Izradu bitumeniziranog nosećeg sloja na preostaloj širini kolovoza sloja prema projektu.
7. Izradu habajućeg sloja prema projektu.

#### 4. FUNKCIONALNO STANJE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

##### 4.1 Vizuelni pregled deonice - Mart 2023. godina

Radi uvida u stanje površine asfaltnog zastora sa aspekta oštećenosti izvršen je vizuelni pregled predmetne deonice tokom marta meseca 2023. godine (6 godina nakon ugradnje). Na narednim slikama prikazano je stanje površine asfaltnog zastora.



*Slika 2: Vizuelno stanje površine asfaltnog zastora*

## 5. UPOREDNI TROŠKOVI IZGRADNJE

Uparedni troškovi poboljšanja dati su u tabeli na slici 3. Cene materijala i ugradnje preuzete su iz Cenovnika radova na održavanju puteva grada Pančeva iz 2014. godine (5) dok je cena geomreže data na osnovu cenovnika proizvođača iz perioda izvođenja radova 2017. godine.

Uparedni troškovi nisu obuhvatili cene dodatnih projektnih rešenja, tenderskih postupaka, izbora izvođača i formiranja gradilišta kao ni zastoje u saobraćaju i sa tim vezane direktne i indirektne troškove. Ovi troškovi uvećali bi ukupnu cenu rehabilitacije bez upotrebe geomreže.

Troškovi poboljšanja iz 2017. godine prema projektovanoj i izvedenoj varijanti poboljšanja tj. 5cm AB 11 + 6cm BNS 22 + PET geomreža iznosili su 3.797.564 EUR dok su troškovi vezani za alternativnu varijantu bez geomreže tj. 5cm AB 11 + 10cm BNS 22 procenjeni na 4.539.600 EUR. Evidentno je da se već u startu primenom geomreže obezbeđuje finansijska ušteda od min 16%. Kada se uzmu u obzir i uštede tokom održavanja za period od 20 godina, varijanta sa primenom geomreže povoljnija je za 27%.

procena troškova poboljšanja					
Kač-Zrenjanin: 8m x 24211m=193688m <sup>2</sup> =194.000m <sup>2</sup>					
pozicija	referentna vrednost	cena	količina	ukupno sa mrezom	ukupno bez mreze
struganje d=11cm (0.13 EUR/1cm/m <sup>2</sup> )	194.000 m <sup>2</sup>	1.,43 EUR/m <sup>2</sup>		277.420 EUR	
struganje d=15cm (0.13 EUR/1cm/m <sup>2</sup> )	194.000 m <sup>2</sup>	1,95 EUR/m <sup>2</sup>			378.300 EUR
AB 22, d=6cm (25x6=150kg/m <sup>2</sup> )	194.000 m <sup>2</sup>	49,10 EUR/t	29.100 t	1.428.810 EUR	
AB 22, d=10cm (25x10=250kg/m <sup>2</sup> )	194.000 m <sup>2</sup>	49,10 EUR/t	48.500 t		2.381.350 EUR
AB 11, d=5cm (25x5=125kg/m <sup>2</sup> )	194.000 m <sup>2</sup>	54,20 EUR/t	24.250 t	1.314.350 EUR	1.314.350 EUR
mašinsko ugradjivanje asfalta (sa emulzijom, prskanjem...)	53.350 t	6,40 EUR/t		341.440 EUR	
mašinsko ugradjivanje asfalta (sa emulzijom, prskanjem...)	72.750 t	6,40 EUR/t			465.600 EUR
ugradnja HaTelit C 40/17 geomreže					
materijal	194.000x1.1=213.400	1,63 EUR/m <sup>2</sup>		348.000 EUR	
dodatna bitumenska emulzija 0.6kg/n	194.000 m <sup>2</sup>	0,64 EUR/kg	116.400 kg	74.496 EUR	
bobcat (833m <sup>2</sup> /h)	194.000 m <sup>2</sup>	17 EUR/h	233 h	3.961 EUR	
transport duž deonice	194.000 m <sup>2</sup>	23 EUR/h	233 h	5.359 EUR	
radna snaga 4-radnika		4 EUR/h	4x233=932 h	3.728 EUR	
ukupno materijal i rad				3.797.564 EUR	4.539.600 EUR
ušteda ostvarena izabranom metodom rehabilitacije					16%

Slika 3: Poredjenje troškova poboljšanja/izgradnje

## 6. EKONOMSKO VREDNOVANJE VARIJANTNIH REŠENJA KOLOVOZA

### 6.1 Preventivno održavanje

Za potrebe rada a kako bi se lakše mogla sagledati ekonomičnost analiziranih projektnih rešenja (sa/bez primene armaturne mreže), sprovedeno je ekonomsko vrednovanje varijantnih rešenja za nivo investicionih troškova (troškovi izgradnje) i troškova održavanja prema datom scenariju, poznatije kao Life Cycle Cost Analysis (LCCA), odnosno ekonomska analiza investicionih troškova u toku odabranog ciklusa eksploatacije kolovozne konstrukcije.

U ekonomskoj analizi varijantnih rešenja uključeni su izračunati troškovi izgradnje i troškovi održavanja prema datom scenariju. Ekonomska analiza investicionih troškova zasniva se na - Life Cycle Cost Analysis (LCCA). Za potrebe ovog projekta sračunat je ekvivalentni uniformni godišnji trošak EUAC korišćenjem jednačine:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^N RC_k \left[ \frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right]$$

$$EUAC = NPV \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Gde je:

i - realna kamatna stopa (diskontna stopa = 5%, inflacija = 0%)

n - period eksploatacije (20 godina)

IC - troškovi u početnoj fazi (poboljšanja/izgradnje)

RC - troškovi rehabilitacije

NPV - neto sadašnja vrednost

EUAC - ekonomski uniformni godišnji trošak

Poređenje ukupnih troškova koje generišu varijanta rešenja, posmatrane su u dužem periodu eksploatacije nego što je njihov životni vek utvrđen projektom. Taj referentni period eksploatacije, koji bi ukazao na optimum i razlike u ukupnim troškovima (građenje+održavanje), procenjen je na 20 godina. Primenjeni postupci preventivnog održavanja prilikom analize su:

- obrada (zalivanje) pukotina
- presvlačenje/zamena kolovoznog zastora

## 6.2 Scenario održavanja

Scenario održavanja istraživan je kroz strategije održavanja svakog varijantnog rešenja, pod pretpostavkom da svako od njih ispuni postavljene zahteve i uslove. U analizi troškova održavanja varijantnih rešenja kolovozne konstrukcije (sa/bez armaturene mreže) korišćena je pretpostavka da će tokom perioda eksploatacije (20 godina) biti delimično narušena strukturna nosivost kolovoza, pa je neophodno izvršiti zamenu habajućeg sloja i pojačanje kolovozne konstrukcije u definisanom vremenskom intervalu. Primena privremenih mera za sprečavanje pojave oštećenja ili njihovog prirasta (zalivanje pukotina i lokalne popravke), u međuintervalima mogu produžiti životni vek kolovoznog zastora od 5 do 6 godina.

Razrada scenarija preventivnog održavanja izvršena je u skladu sa konceptom razvijenim u evropskim zemljama (9, 10). Treba napomenuti da predmetni scenario preventivnog održavanja nije verifikovan na konkretnim uslovima u regionu, imajući u vidu da ti podaci nisu dostupni. S tim u vezi, usvojen je kriterijum koji u slučaju upotrebe mreže usporava propagaciju pukotina kroz asfaltne slojeve za 50-60%. Scenario održavanja varijantnih rešenja kolovozne konstrukcije vozne trake sa prikazom nivoa efikasnosti poboljšanja komfora vožnje (nizak-žuto, srednji-narandžasto i visok-zeleno) prikazan je u narednoj tabeli.



**Tabela 1: Scenario održavanja varijantnih rešenja - sa upotrebom armaturne mreže**

Godina eksploatacije	Pozicija	jed. mere	debljina (cm)	Površina (%)	jed.cena (€/1cm/m <sup>2</sup> )	Cena (€/m <sup>2</sup> )	Troškovi rehabilitacije
<b>Sa upotrebom armaturne mreže</b>							
4	zalivanje linijskih pukotina	m <sup>2</sup>	-	5	0.40	0.02	0.02
8	zalivanje linijskih pukotina		-	10	0.40	0.04	0.03
12	zalivanje linijskih pukotina		-	20	0.40	0.08	0.04
12	struganje asfaltnog sloja		5	30	0.13	0.20	0.11
12	izrada sloja AB 11 (B 50/70)		5	30	1.30	1.95	1.09
16	zalivanje linijskih pukotina		-	20	0.40	0.08	0.04
20	struganje asfaltnog sloja		8	50	0.13	0.52	0.20
20	izrada sloja BNS 22 (B 50/70)		6	50	1.18	3.54	1.33
20	izrada sloja AB 11 (B 50/70)		5	50	1.30	3.25	1.23
						RC Σ (€/m <sup>2</sup> )	4.07
						IC (€/m <sup>2</sup> )	19.58
						NPV (€/m <sup>2</sup> )	23.65
						<b>EUAC (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>1.90</b>

**Tabela 2: Scenario održavanja varijantnih rešenja - bez upotrebe armaturne mreže**

Godina eksploatacije	Pozicija	jed. mere	debljina (cm)	Površina (%)	jed.cena (€/1cm/m <sup>2</sup> )	Cena (€/m <sup>2</sup> )	Troškovi rehabilitacije
<b>Bez upotrebe armaturne mreže</b>							
4	zalivanje linijskih pukotina	m <sup>2</sup>	-	10	0.40	0.04	0.03
8	zalivanje linijskih pukotina		-	30	0.40	0.12	0.08
12	zalivanje linijskih pukotina		-	20	0.40	0.08	0.04
12	struganje asfaltnog sloja		5	80	0.13	0.52	0.29
12	izrada sloja AB 11 (B 50/70)		5	80	1.30	5.20	2.90
16	zalivanje linijskih pukotina		-	40	0.40	0.16	0.07
20	struganje asfaltnog sloja		8	100	0.13	1.04	0.39
20	izrada sloja BNS 22 (B 50/70)		6	100	1.18	7.07	2.66
20	izrada sloja AB 11 (B 50/70)		5	100	1.30	6.50	2.45
						RC Σ (€/m <sup>2</sup> )	8.93
						IC (€/m <sup>2</sup> )	23.40
						NPV (€/m <sup>2</sup> )	32.33
						<b>EUAC (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2.59</b>

Na osnovu ekonomske analize (troškovi izgradnje + scenario održavanja u periodu od 20 godina), za slučaj diskontne (kamatne) stope od 5%, isplativije rešenje sa upotrebom armaturne mreže (ostvarena je ušteda od 27%).

## 7. OBRAČUN EMISIJA CO<sub>2e</sub> I POSTIGNUTE UŠTEDE

### 7.1 Usporedna rešenja i ulazne vrednosti emisija

Projektom je, u cilju postizanja traženog upotrebnoog veka novih asfaltnih slojeva, predviđena ugradnja termostabilne mreže za odlaganje pojave reflektovanja pukotina iz starih u nove slojeve asfalta. Debljine novih asfaltnih slojeva iznosile su 6 cm za bitumenizirani noseći sloj i 5cm za habajući sloj od asfalt betona.

Procena emisija radjena je za sam postupak poboljšanja kao i za održavanje deonice tokom 20 godina, planirano u skladu sa opisanim scenarijima održavanja.

Vrednosti ugljeničnih otisaka asfalta i bitumenske emulzije preuzete su iz ICE baze podataka verzija 3.0 (4) iz 2019. godine koja je javno raspoloživa, besplatna i takva bi trebalo i da ostane. Ovo je unapredjena i dopunjena verzija biblioteke "A BSRIA GUIDE, The Inventory of Carbon and Energy" objavljene od strane Univerziteta Bath. Unapredjenje biblioteke podataka iz 2011. radjeno je uglavnom na osnovu EPD (Environmental Product Declaration) dokumentacije tj. na osnovu Deklaracija o uticaju na životnu sredinu za različite materijale obzirom da je sve više proizvođača koji poseduju EPD za svoje proizvode. Radi se o dokumentu treće strane koji sadrži ne samo podatke o emisijama CO<sub>2e</sub> već i brojne druge informacije vezane za uticaj proizvoda na životnu sredinu.

Dok ICE DB V 3.0 daje vrednosti emisija ekvivalentnog ugljendioksida za materijale za tzv. Period od "kolevke do kapije" tj. obuhvata emisije vezane za ekstrakciju i proizvodnju sirovina, njihov transport, proizvodnju samog materijala i njegovo skladištenje do momenta otpreme iz fabrike, novije EPD deklaracije daju podatke o emisijama CO<sub>2e</sub> za tzv. period "od kolevke do groba" tj. vrednosti emisija do momenta reciklaže ili odlaganja na deponiju otpada. Vrednost ugljeničnog otiska za PET geomrežu dobijena je od proizvođača na osnovu raspoloživog EPD dokumenta (6). Osim standardne PET geomreže koja je upotrebljena na projektu, postoji i verzija termostabilne PET geomreže u potpunosti proizvedene od recikliranih PET flaša.

Ovako proizvedena PET vlakna imaju za 4.3kg niže emisije CO<sub>2e</sub> od standardnih nerecikliranih vlakana pa su i uticaji takve geomreže na okolinu manji. Proizvodnja materijala od reciklirane sirovine uklapa se u težnje za što većim obuhvatom cirkularne ekonomije. Obračuni emisija ekvivalentnog ugljendioksida usled transporta geomreže, kao i transporta asfaltne mešavine dati su na osnovu preporuka iz Guidelines for Measuring and Managing CO<sub>2</sub> Emission from Freight Transport Operations (11). Udaljenost fabrike za proizvodnju geomreže je 1600 km, dok se asfaltna baza izvođača VOJPUT iz Subotice nalazila u Srbobranu čija je prosečna udaljenost do mesta ugradnje 50 km.

Emisije generisane radom finišera i valjaka date su na osnovu informacija o učinku i potrošnji goriva dobijenih od izvođača. Tako je kao prosečan učinak finišera uzeta vrednost od 180 t/h dok je prosečna potrošnja goriva za finišer ~20 l/h, a za valjak 7 l/h. Podaci o emisijama prilikom sagorevanja dizel goriva dati su na osnovu publikacije DEFRA Podaci o emisijama CO<sub>2e</sub> za dizel koje daje vlada Velike Britanije za 2021 (12).

### 7.2 Bilansi CO<sub>2e</sub> za usporedna rešenja

U tabeli prikazanoj na slici 5 dat je obračun emisija ekvivalentnog ugljendioksida za projektom razmatrano rešenje bez termostabilne geomreže kao i za primenjeno rešenje sa geomrežom ugradjenom na struganoj podlozi uz smanjenje debljine BNS-a.

U tabeli se mogu naći vrednosti emisija po m<sup>2</sup> kolovoza koje važe za projektovanu debljinu novih asfaltnih slojeva od 11 tj. od 15 cm. Vrednosti emisija date su i za kompletnu deonicu dužine nešto više od 24km i širinu kolovoza od 8m.

Primenjena varijanta poboljšanja koja je obuhvatala i ugradnju PET geomreže čvrstoće na zatezanje od 50kN/m u oba pravca, sa vrlo tankim PP geotekstilom i premazom sa min 65% bitumena značila je i smanjenje emisija CO<sub>2e</sub> od min 20%.

procena emisija CO <sub>2</sub> e tokom poboljšanja					
površina za rehabilitaciju = 194.000 m <sup>2</sup>					
debljina asfaltnih slojeva + geomreža = 11cm (6+5)					
debljina asfaltnih slojeva bez geomreže = 15cm (10+5)					
		utrošak materijala	CO <sub>2</sub> e (kg) / kg materijala	CO <sub>2</sub> e kg/m <sup>2</sup> bez mreže	CO <sub>2</sub> e kg/m <sup>2</sup> sa mrežom
1	asfalt (25kg/cm)	275 kg/m <sup>2</sup>	0,056		15,4
	asfalt (25kg/cm)	375 kg/m <sup>2</sup>	0,056	21	
2	bitumenska emulzija (60%)	0,18 kg/m <sup>2</sup>	0,222	0.04	
2'	bitumenska emulzija (60%)	0,54 kg/m <sup>2</sup>	0,222		0,12
3	HaTelit C 40/17	0,27 kg/m <sup>2</sup>	4,85		1,31
ukupne emisije CO <sub>2</sub> e (od materijala) po rehabilitaciji cele deonice				4082 t	3265 t
4	transport mreže (1600km)	16,5 t	62g/t/km		1,64 t
5	transport asfalta (50km)	53.350 t	62g/t/km		165,40 t
5'	transport asfalta (50km)	72.750 t	62g/t/km	225,50 t	
6	finišer (180t/h)	296h	54,12 kg/h		16 t
6'	finišer (180t/h)	404h	54,12 kg/h	21,86 t	
7	valjak (7l/h)		18,94 kg/h	7,65 t	5,60 t
ukupne emisije CO <sub>2</sub> e (od transporta i ugradnje)				255 t	188,64 t
ukupne emisije CO <sub>2</sub> e				4337 t	3454 t
ušteda emisija CO <sub>2</sub> e ostvarena izabranom metodom rehabilitacije					20%
napomena: 2,706 kgCO <sub>2</sub> e/l emisije za dizel, potrošnja finišera 20 l/h					

Slika 4: Bilansi CO<sub>2</sub>e za uporedna rešenja tokom poboljšanja

Autori su takodje izvršili procenu emisija gasova staklene bašte tokom održavanja deonice u periodu od 20 godina za obe varijante poboljšanja razmatrane projektom. Procenjeni bilansi emisija za period održavanja dati su u tabeli na slici 6. Tokom perioda održavanja primenjeno rešenje obezbedjuje smanjenje emisija CO<sub>2</sub>e od min 53%.

procena emisija CO <sub>2e</sub> tokom održavanja u periodu od 20 god.					
površina za održavanje = 194.000 m <sup>2</sup>					
debljina asfaltnih slojeva + geomreža = 11cm (6+5)					
debljina asfaltnih slojeva bez geomreže = 15cm (10+5)					
		utrošak materijala	CO <sub>2e</sub> (kg) / kg materijala	CO <sub>2e</sub> (t) bez mreže	CO <sub>2e</sub> (t) sa mrežom
1	asfalt sa mrežom (25kg/cm)	33.950 t	0.056		1.901
2	transport asfalta (50km)	33.950 t	62g/t/km		105,25 t
3	finišer (180t/h)	188,60 h	54,12 kg/h		10,21 t
4	valjak (7l/h)	188,60 h	18,94 kg/h		3,57 t
5	asfalt bez mreže (25kg/cm)	72.750 t	0.056	4.074	
6	transport asfalta (50km)	72.750 t	62g/t/km	225,50	
7	finišer (180t/h)	404 h	54,12 kg/h	21,86	
8	valjak (7l/h)	404 h	18,94 kg/h	7,65	
9	bitumenska emulzija (80% površine)	27.936 kg	0.222		6.2
10	bitumenska emulzija (180% površine)	62.856 kg	0.222	13.95	
11	ukupne emisije CO <sub>2e</sub> tokom održavanja deonice			4.343 t	2.026 t
12	ušteta emisija CO <sub>2e</sub> ostvarena izabranom metodom rehabilitacije				53%

**Slika 5: Bilansi CO<sub>2e</sub> od održavanja**

Autori napominju da se vrednosti smanjenja emisija od ~60% mogu naći u literaturi. Ovako visoke vrednosti smanjenja emisija CO<sub>2e</sub> dobijaju se prilikom poredjenja emisija po godini trajnosti za varijantu sa geomrežom + sloj asfalta određene debljine i varijantu sa istom debljinom asfaltnih slojeva bez geomreže. Smatra se da primena PET geomreže povećava trajnost asfaltnih slojeva za min 3 puta, što je potvrđeno obimnim laboratorijskim ispitivanjima kao i brojnim iskustvima iz prakse.

Obračun uštede CO<sub>2e</sub> za rešenje primenjeno na projektu Žabalj - Zrenjanin bi po ovoj metodologiji dao smanjenje emisija za 63%, što bi bilo u potpunosti u skladu sa literaturom. Ovakav obračun za deonicu Žabalj - Zrenjanin dat je u tabeli na slici 7.

procena emisija CO <sub>2</sub> e					
površina za rehabilitaciju = 194.000 m <sup>2</sup>					
debljina asfaltnih slojeva = 11cm (6+5)					
		utrošak materijala	CO <sub>2</sub> e (kg) / kg materijala	CO <sub>2</sub> e kg/m <sup>2</sup> bez mreže	CO <sub>2</sub> e kg/m <sup>2</sup> sa mrežom
1	asfalt (25kg/cm)	275 kg/m <sup>2</sup>	0.056	15.4	15.4
2	bitumenska emulzija (60%)	0.18 kg/m <sup>2</sup>	0.222	0.04	
2'	bitumenska emulzija (60%)	0.54 kg/m <sup>2</sup>	0.222		0.12
3	HaTelit C 40/17	0.27 kg/m <sup>2</sup>	4.85		1.31
4	transport mreže				0.03
5	ukupne emisije CO <sub>2</sub> e (od materijala) po rehabilitaciji cele deonice			2995 t	3271 t
6	očekivana trajnost rehabilitacije			7 god	21 god
7	emisije po godini trajnosti (faktor poboljšanja 3)			428 t	156 t
ušteda emisija CO <sub>2</sub> e ostvarena izabranom metodom rehabilitacije					63%

Slika 6: Bilansi CO<sub>2e</sub> sa produženjem trajnosti od 3 puta

## 8. ZAKLJUČAK

Na konkretnom projektu rehabilitacije kolovoza, u okviru pojačanog održavanja deonice od Žablja do Zrenjanina, jasno se mogu videti ekološke i ekonomske prednosti upotrebe termostabilne geomreže od poliestera sa tankim netkanim geotekstilom i premazom sa visokim sadržajem bitumena namenjene za armiranje asfalta i odlaganje pojave reflektovanja pukotina. Primenjena tehnologija izvođenja radova nije ni posebno zahtevna ni nova, a predmetna deonica bila je, pre rehabilitacije, u stanju koje je karakteristično za mnoge saobraćajnice u zemlji. Ukoliko imamo na umu da termostabilne PET geomreže pre svega imaju uticaja na produženje upotrebnoog veka novih asfaltnih slojeva kod presvlačenja kolovoza, mogućnost njihove upotrebe trebalo bi razmotriti u svim slučajevima kada pukotine u asfaltu nisu rezultat nedovoljne nosivosti nevezanih slojeva kolovozne konstrukcije.

Sveobuhvatnija primena tehnologije armiranja asfalta donela bi u finansijskom smislu benefite koji bi se vrlo brzo mogli osetiti kroz povećanje površine saobraćajnica obnovljenih sa istim izdvojenim sredstvima. Umesto svakih 100km novih zastora bez mreže imali bismo više od 120km novih asfaltnih zastora armiranih PET mrežom, i to 120km na kojim u narednih 20 godina ne bi bilo zastoja u saobraćaju uzrokovanih asfaltiranjem ili bi ih bilo u znatno manjoj meri. Finansijski benefiti u kombinaciji sa značajno smanjenim nepovoljnim uticajima na životnu sredinu su dovoljno dobar razlog da izbor ove tehnologije ne bude isključivo u rukama bolje obaveštenih projektanata. Najveći interes za njenu primenu trebalo bi da pokažu investitori kao i ministarstva za građevinarstvo i za ekologiju, kao i da preduzmu korake iz njihove nadležnosti kako bi se benefiti postignuti na projektu koji je predmet ovog rada preslikali na što više sličnih putnih deonica.

## Literatura

- [1] M. Pathak, R. Slade, P.R. Shukla, J. Skea, R. Pichs-Madruga, D. Ürge-Vorsatz, 2022: Technical Summary. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.002.
- [2] Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays, Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands; De Bondt, A.H., (1999)
- [3] Montestruque G.E., Rodrigues R.M., Nods M., Elsing A., (2004), Stop of reflective crack propagation with the use of PET geogrid as asphalt overlay reinforcement, Proceedings of the Fifth International, RILEM Conference, Limoges, France.
- [4] ICE DB V 3.0, <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>
- [5] [http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2014\\_08/t08\\_0043.htm](http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2014_08/t08_0043.htm)
- [6] EPD-HUESKER-134-EN
- [7] Maintenance methods and strategies, Technical Committee D.2 – Road Pavement, PIARC 2013R08EN
- [8] 1 Economic Evaluation of Long-Life Pavements - Phase 1, OECD 2005
- [9] French design manual for pavement structures-Guide technique, May 1997, LCPC and SETRA
- [10] Maintenance methods and strategies, Technical Committee D.2 - Road Pavement
- [11] Guidelines for Measuring and Managing CO2 Emission from Freight Transport Operations - Issue 1 / March 2011 – ECTA
- [12] <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>

# FAUNA INVERTEBRATA U PRIVREMENIM VODENIM STANIŠTIMA NA PUTEVIMA U SRBIJI

Stanković Mihajlo

Pokret gorana Sremska Mitrovica, E-mail: [trogloxen@gmail.com](mailto:trogloxen@gmail.com)

**Rezime:** U periodu 1990.-2022. godina u privremenim vodenim površinama u udubljenjima na putevima ukupno je zabeleženo 12 grupa beskičmenjaka sa determinisana 34 taksona. Nađeni organizmi pripadaju redu Arthropoda klasa Arachnida i Insecta i podklasa Crustacea. U klasi Arachnida determinisan je podred Hydrachnidae sa rodovima (*Neumania* sp., *Hydrachna* sp., *Arrenurus* sp., *Mideopsia* sp.). Klasa Insecta ima 21 takson iz reda Coleoptera (*Gyrinus* sp., *Agabus* sp., *Cybister* sp., *Dytiscus* sp., *Elminidae*), Diptera (*Culicidae*, *Tabanidae*, *Pericoma* sp., *Dixa* sp., *Chironomus* sp., *Tipula* sp., *Stratiomys* sp., *Odontomyia* sp.), Odonata (*Calopteryx* sp.; *Libelulidae*, *Gomphidae*), Hemiptera (*Heteroptera*: *Nepa cinerea*, *Gerris* sp., *Sigara* sp., *Notonecta glauca*, *Hydrometra stagnorum*). Podred Crustacea ima 9 taksona raspoređenih u klasu Malacostraca red: Isopoda (*Asselus aquaticus*); Amphipoda (*Gammarus balcanicus*, *G. fossarum*), Brachiopoda (podklasa Anostraca (*Chirocephalus* sp.) i Notostraca (*Triops cancriformes*), Ostracoda (*Candona* sp., *Eucypris* sp.), podklasa Copepoda (*Cyclops* sp.) i Cladocera (*Daphnia* sp.). Ukupno 19 taksona su amfibijski a 12 taksona su semiakvatični koji vodu koriste u stadijumu jajeta i larve. Ovakva vodena staništa naseljavaju organizmi koje zovemo "živi fosili" poput *Chirocephalus* sp., *Triops cancriformes*. Prisustvo ovih grupa invertebrata u ovim čisto antropogenim staništima ukazuje na njihove evolutivne adaptivne sposobnosti da žive i u takvim neprirodnim sredinama.

**Ključne reči:** fauna invertebrata, privremena vodena staništa, putevi, Srbija

## FAUNA OF INVERTEBRATES IN TEMPORARY AQUATIC HABITATS ON ROADS IN SERBIA

Stanković Mihajlo

Pokret gorana Sremska Mitrovica, E-mail: [trogloxen@gmail.com](mailto:trogloxen@gmail.com)

**Abstract:** In the period 1990-2022. years, a total of 12 groups of invertebrates with 34 determined taxa were recorded in temporary water bodies in road depressions. The organisms found belong to the order Arthropoda, classes Arachnida and Insecta and subclass Crustacea. In the class Arachnida, the suborder Hydrachnidae with genera (*Neumania* sp., *Hydrachna* sp., *Arrenurus* sp., *Mideopsia* sp.) is determined. The class Insecta has 21 taxa from the order Coleoptera (*Gyrinus* sp., *Agabus* sp., *Cybister* sp., *Dytiscus* sp., *Elminidae*), Diptera (*Culicidae*, *Tabanidae*, *Pericoma* sp., *Dixa* sp., *Chironomus* sp., *Tipula* sp., *Stratiomys* sp., *Odontomyia* sp.), Odonata (*Calopteryx* sp.; *Libelulidae*, *Gomphidae*), Hemiptera (*Heteroptera*: *Nepa cinerea*, *Gerris* sp., *Sigara* sp., *Notonecta glauca*, *Hydrometra stagnorum*). The suborder Crustacea has 9 taxa distributed in the class Malacostraca order: Isopoda (*Asselus aquaticus*); Amphipoda (*Gammarus balcanicus*, *G. fossarum*), Brachiopoda (subclass Anostraca (*Chirocephalus* sp.) and Notostraca (*Triops cancriformes*), Ostracoda (*Candona* sp., *Eucypris* sp.), subclass Copepoda (*Cyclops* sp.) and Cladocera (*Daphnia* sp.). A total of 19 taxa are amphibious and 12 taxa are semiaquatic that use the aquatic environment in the egg and larval stages. Such aquatic habitats are inhabited by organisms that we call "living fossils" such as *Chirocephalus* sp., *Triops cancriformes*. The presence of these groups of invertebrates in these purely anthropogenic habitats indicates their evolutionary adaptive abilities to live in such unnatural environments.

**Key words:** invertebrate fauna, temporary water habitats, roads, Serbia

### UVOD

Po definiciji put, cesta ili drum je deo zemljišta, najčešće traka, koji je pripremljen za odvijanje saobraćaja i koji povezuje dve destinacije. U najširem smislu, putem se smatra svaka površina na kojoj se odvija saobraćaj. Putna mreža u Republici Srbiji ima 16.380,954 km državnih puteva I i II reda, od toga auto-puteva 937,309 km (podaci do juna 2022.god.) (<https://www.putevi-srbije.rs>).

Prema značaju za saobraćaj putevi se dele na auto-puteve, brze puteve (ekspres puteve), magistralne puteve, regionalne puteve, lokalne puteve, ulice u naselju i nekategorisane puteve. Privremena vodena staništa na putevima mogu nastati na asfaltnim i nekategorisanim (zemljanim) putevima, čija se geneza razlikuje i koje ćemo sada objasniti, jer je bitno za razumevanje nastanka ovakvih staništa.

Nastanak udubljenja tzv. „rupa“ u asfaltu je čest deformitet puteva na koje utiču razni faktori. Bitumen ima nizak hemijski afinitet (sklonost ka sjedinjavanju) sa agregatima, dok agregati imaju visok afinitet prema vodi. Iz tog razloga lepljenje bitumena za agregat može biti ozbiljno ugroženo kada se voda zadržava na površini agregata. Prisustvo vode na međi između bitumena i agregata je glavni uzrok stvaranja rupa i pojava pukotina i deformacije drumskih kolovoza. Klasični asfaltni putevi sastavljeni su od: asfaltnih slojeva – zastor (habajući i vezivni sloj) i gornje podloge (najčešće bitumeniziranih materijala – BNS); gornje podloge nevezanog agregata (drobljeni kameni agregat); donje podloge od nevezanog agregata (peskovito-šljunkoviti ili peskoviti materijali, u nedostatku ovih materijala primenjuje se drobljeni kameni agregat) i posteljice ili planuma (sloj na vrhu postojećeg nasipa ili useka). Sve sitnije pukotine i oštećenja koja tokom ostalih godišnjih doba nastaju kao posledica nesavršene prvobitne izrade, ali i redovne eksploatacije, tokom najhladnijeg godišnjeg doba isplivaju na videlo i dobiju dramatičnije razmere. Razlog tome su svakako niske temperature, zadržavanje vode u njima koja tokom čestih mrazeva mrzne i proširuje oštećenu površinu. Problem znatno pogoršava nanošenje soli koja pored snega i leda, razara i komponente od kojih je sačinjena pokrivka puta. Sam princip nastajanja rupa je sledeći: Prvo oštećene asfaltnog zastora, koje vodi do rupe na asfaltu, je pukotina. Vremenom, dolazi do delovanja vode koja u početku ispunjava pukotinu, zatim dolazi do ispunjavanja nevezanog materijala iz slojeva ispod asfaltnog. U tom otvoru kolovoza ispod asfaltnog sloja, dolazi do akumulacije vode i to dovodi do opadanja nosivosti slojeva na kolovozu a samim tim i do gubitka neophodnog oslonca za asfaltni sloj. Sam kolovoz slabi i dolazi do nastanka novih pukotina, njihovog otvaranja i omogućavanja vodi da prodre još dublje. Sve to dovodi do daljeg slabljenja nosivosti, koje vodi do potpunog razaranja kolovoza. Rupe na asfaltu najčešće nastaju zbog vlage, dejstva ciklusa mržnjenja i otapanja, velikog prometa saobraćaja, nedovoljne nosivosti u podlozi ili kombinovanog dejstva navedenih faktora. Pored toga što spoljni atmosferski uticaji i saobraćaj utiču na pojavu rupa na putu, drugi razlozi su i nepravilna i neodgovarajuća upotreba materijala, kao i samo izvođenje radova (Cvetanović, A., Banić, B., 2008).

Nekategorisani (zemljani) putevi su najčešće zaravnjene površine (samo poravnata) površina zemlje u cilju omogućavanja lakšeg kretanja saobraćaja. Najčešće nemaju nikakve pripremljene podloge a ni posebno uređenu okolinu. Kod nekategorisanih puteva (zemljani) ta udubljenja u podlozi su lokve, kolotrazi i sl., nastaju prolaskom točkova kroz mekanu (vlažnu) podlogu. Veličina i dubina ovih udubljenja zavisi od pedološkog sastava, dubine zemljišta, procentualnog učešća glinenih komponenti i prisutne geološke podloge i sl. Ekološki gledano staništa na ovakvim putevima su najpribližnija onim prirodnim.

Cilj ovog rada je da se prikažu organizmi koji su naselili ovakva poluprirodna antropogena staništa na našim putevima.

## **MATERIJAL I METODE RADA**

Organizmi su sakupljani standardnom hidrobiološkom opremom koja je zavisila od grupe organizama (mrežice sa raznim veličinama okaca, pipete, pincete, ....). sakupljeni material je fiksiran u 96 % etanolu, etiketiran i tako prenet u radnu prostoriju gde je pregledan preko binookularne lupe. Tokom obrade materijala svi primerci su determinisani do roda ili vrste, osim kod podreda Anisoptera i Polyphaga i reda Diptera gde je deo determinacije bio do porodice. Svi nađeni organizmi pripadaju redu Arthropoda.

Deteminacija je urađena prema sledećoj literaturi: Kerovec, M., (1986), Bechyně, J., (1988), Reitter, E., (1908), Mamaev, M. B., (1972).

## **REZULTATI SA DISKUSIJOM**

U periodu 1990.-2022. godina u privremenim vodenim površinama formirane u udubljenjima na putevima ukupno je zabeleženo 12 različitih grupa beskičmenjaka sa determinisanih 34 taksona (27 rodova i 7 vrsta).



Pregled zabeleženih taksona po sistematskim grupama u periodu 1990.-2022. godina:

Phylum: Arthropoda  
Subphylum: Chericerata  
Classes: Arachnida  
Ordo: Trombidiformes  
Subordo: Hydrachnidia  
Genus: **Neumani**  
          **Hydrachna**  
          **Arremuris**  
          **Mideopsia**  
Subphylum: Crustacea  
Classes: Malacostraca  
Ordo: Isopoda  
Fam. Aselidae  
Species: **Aselus aquaticus**  
Ordo: Amphipoda  
Fam. Gammaridae  
Species: **Gammarus balcanicus**  
          **Gammarus fosarum**  
Classes: Branchipoda  
Subclasses: Anostraca  
Genus: **Chirocephalus sp.**  
Subclasses: Notostraca  
Fam. Triopsidae  
Species: **Triops canciformis**  
Classes: Ostracoda  
Fam. Candonidae  
Genus: **Candona**  
Fam. Cyprinidae  
Genus: **Eucypris**  
Subclasses: Copepoda  
Fam. Cyclopoidae  
Genus: **Cyclops**  
Classes: Branchiopoda  
Subordo: Cladocera  
Fam. Daphniidae  
Genus: **Daphnia**

Classes: Insecta  
Ordo: Coleoptera  
Subordo: Adephaga  
Fam. Gyrinidae  
Genus: **Gyrinus**  
Fam. Dytiscidae  
Genus: **Agabus**  
          **Cybister**  
          **Dytiscus**  
Subordo: Polyphaga  
Fam. Elmidae  
Ordo: Diptera  
Fam. Psychodidae  
Genus: **Pericoma**  
Fam. Culicidae  
Fam. Chironomidae  
Genus: **Chironomus**  
Fam. Tipulidae  
Genus: **Tipula**  
Fam. Tabanidae  
Genus: **Tabanus**  
Fam. Stratiomyidae  
Genus: **Stratimys**  
          **Odontomyia**  
Fam. Dixidae  
Genus: **Dixa**  
Ordo: Odonata  
Subordo: Anisoptera  
Fam. Libellulidae  
Fam. Gomphidae  
Subordo: Zygoptera  
Fam. Calopterygidae  
Genus: **Calopteryx**  
Ordo: Hemiptera  
Subordo: Heteroptera  
Fam. Nepidae  
Species: **Nepa cinerea**  
Fam. Gerridae  
Genus: **Gerris**  
Fam. Notonectidae  
Species: **Notonecta glauca**  
Fam. Hydromeridae  
Species: **Hydrometra stagnorum**  
Fam. Corixidae  
Genus: **Sigara**

U materijalu red Arthropoda zastupljen je sa klasom Arachnida i Insecta, kao i sa podklasom Crustacea.

Iz klase Arachnida iz podreda Hydrachnidae determinisana su četiri roda (*Neumania sp.*, *Hydrachna sp.*, *Arrenurus sp.*, *Mideopsia sp.*). Podred Hydrachnidae (Slika 1) su najstarije kopnene životinje koje udišu atmosferski kiseonik a koje su sekundarno naselile vodenu sredinu. Ovo su sitni organizmi čije larve i juvenilni primerci su paraziti u drugim životinjama, dok su odrasle jedinke slobodnoživeće. Naseljavaju sporotekuće muljevite vode (Kerovec, M., 1986).



Slika 1./ Figure 1. Hydrachnidae

U podredu Crustacea (Slika 2) ukupno je determinisano devet taksona (5 rodova i 4 vrste) raspoređenih u klasu Malacostraca [red Isopoda (*Asellus aquaticus*), Amphipoda (*Gammarus balcanicus*, *G. fossarum*)], Brachiopoda [podklasa Anostraca (*Chirocephalus sp.*), Notostraca (*Triops cancriformes*)] klasa Ostracoda (*Candona sp.*, *Eucypris sp.*) kao i podklasa Copepoda [(*Cyclops sp.*) i Cladocera (*Daphnia sp.*)]. Od Crustacea najčešće nalaženi taksoni su: *Asellus aquaticus*, *Gammarus balcanicus*, *Cyclops sp.* i *Daphnia sp.*, koje se skoro redovno nalaze u lokvama i kolotrazima na zemljanim putevima širom Srbije. Taksoni poput *Asellus aquaticus* i *Gammarus balcanicus* nam ukazuju na jače organsko opterećenje u vodi koje može da potiče od opalog lišća ili drugih biljaka koje trule u vodi (Kerovec, M., 1986). Za područje Vojvodine pored navedena ova četiri taksona karakteristična je pojava i anostraka *Chirocephalus sp.*, u kolotrazima jer one naseljavaju mutne efemerne vode sa mali ili bez makrovegetacije (Petrov, et al., 2007) od marta do najkasnije juna. U vodenim staništima koja se formiraju na asfaltnim putevima ako se na dnu formirao fini sloj sitnog mulja debljine i samo par milimetara mogu se naći brojni primerci ostrakoda, čija ljuštura zbog mekane podloge odoleva pritisku tokom prelaska točkova preko njih. Ostrakode su evolutivno stara grupa koja je razvila sposobnost preživljavanja van vode u isušenim lokvama formiranjem tzv „ trajnih kapsula ” i u takvom stanju mogu da žive godinama (i do 100 godina) u stanju mirovanja a kad se pojavi voda kapsula se otvara i organizam nastavlja sa životim funkcijama kao da se ništa nije ni dogodilo.

Slika 2. Predstavnici podroda Crustacea u privremenim vodenim staništima na putuevima  
Figure 2. Representatives of the subgenus Crustacea in temporary water habitats on roads



*Asellus aquaticus*



Ostracoda



*Gammarus fossarum*



*Cyclops sp.*

*Daphnia sp.*

Klasa Insecta ima ukupno 21 takson iz reda Coleoptera (*Gyrinus sp.*, *Agabus sp.*, *Cybister sp.*, *Dytiscus sp.*, *Elmidae*), Diptera (*Culicidae*, *Tabanidae*, *Pericoma sp.*, *Dixa sp.*, *Chironomus sp.*, *Tipula sp.*, *Stratiomys sp.*, *Odontomyia sp.*), Odonata (*Calopteryx sp.*; *Libellulidae*, *Gomphidae*), Hemiptera (*Heteroptera*- *Nepa cinerea*, *Gerris sp.*, *Sigara sp.*, *Notonecta glauca*, *Hydrometra stagnorum*).

Kod coleoptera (Slika 3) larveni i imago stadijum nađen je kod Fam. *Elmidae* i roda *Dytiscus sp.*, dok je kod roda *Gyrinus sp.*, *Agabus sp.* i *Cybister sp.*, nađen samo imago stadijum. Prema ekološkim zahtevima svi zabeleženi taksoni naseljavaju sporotekuće i stajaće vode sa razvijenom vegetacijom (Kerovec, M., 1986). Mi smo ih nalazili u privremenim vodenim staništima na zemljanim putevima u kolotrazima i lokvama kao pojedinačni primerci, osim roda *Gyrinus sp.* čiji imago se javlja u većim ili manjim grupama kako brzo i haotično pliva po površini vode. Napominjemo da su svi ovi taksoni u imago stadijumu dobri letači tako da mogu leteti iz lokve u lokvu ili neku drugu akvatoriju. Ovi tvrdokrilci nalaženi su kako u Vojvodini tako i u brdsko-planinskom delu zemlje.

Slika 3. Predstavnici coleoptera u privremenim vodenim staništima na putevima  
Figure 3. Representatives of coleoptera in temporary water habitats on roads



*Gyrinus sp.*



*Agabus sp.*



*Dytiscus sp.* (larva)



*Cybister sp.*



Fam. *Elmidae* (larva)



*sp.*, *Stratiomys sp.*, i *Odontomyia sp.* nalažene su u lokvama na zemljanim putevima koja su bila obično u zaseni od visoke vegetacije ili šume sa dobro formiranim muljem na dnu.

Kod odonata (Slika 5) su nalaženi samo larveni oblici isključivo u kolotrazima na zemljanim putevima kao pojedinačni primerci. Potvrda da se u ovakvoj sredini odvija potpuni ciklus razvića su nađene egzuvije i adulni primerci u okolini na vegetaciji pored puteva ili kako lete oko. Najčešće su nalažene larve *Calopteryx sp.* kako u Vojvodini tako i u brdsko-planinskom delu, dok je samo u malom broju slučaja i to u većim lokvama i kolotrazima na šumskim putevima gde se formirao muljeviti sediment na dnu i retka močvarna vegetacija su nađene larve taksona iz Fam. *Libellulidae*, *Gomphidae*.

Od heteroptera (Slika 6) najčešće su nalaženi taksoni *Nepa cinerea*, *Gerris sp.* i *Notonecta glauca*, u skoro svim lokvama na zemljanim putevima od kojih su *Gerris sp.* i *Notonecta glauca* uvek bili dominantni naročito u onim sa dobro razvijenim slojem mulja. Napominjemo da su *Gerris sp.* i *Notonecta glauca* dobri letači tako da se mogu letenjem prebacivati iz lokve u lokvu ili neku drugu akvatoriju. Zapaženo je na terenu da tamo gde ima larvi vodozemaca (punoglavaca) obično ima i mnogo više heteroptera. Ove vodene stenice su redovni stanovnici vodenih staništa na zemljanim putevima a samo u nekoliko slučajeva smo imali beleženje *Gerris sp.* na površini vode lokve na asfaltnim putevima s tim da smatramo da su tu samo privremeno možda sletele dok ne stignu do odgovarajuće akvatorije i to se obično događa na putevima koji prolaze pored reka, kanala, močvare, jezera i sl. Takson *Hydrometra stagnorum* je beležen kako u ravnici tako i u brdsko-planinskom delu uglavnom na zemljanim putevima u zaseni od visoke vegetacije ili šume. Tamo gde put prolazi pored potoka ili planinske reke u brdsko-planinskom delu imali smo par nalaza taksona iz roda *Sigara sp.*

Slika 4. Predstavnici diptera u privremenim vodenim staništima na putuevima  
Figure 4. Representatives of diptera in temporary water habitats on roads



Fam. *Tabanidae* (larva)



Fam. *Culicidae* (larva)



Fam. *Chironomidae* (larva)



*Tipula sp.* (larva)



*Stratiomys sp.* (larva)

Slika 5. Predstavnici odonata u privremenim vodenim staništima na putuevima  
Figure 5. Representatives of odonata in temporary water habitats on roads



*Calopteryx sp.* (larva)



Fam. *Libellulidae* (larva)



Fam. *Gomphidae* (larva)

Slika 6. Predstavnici heteroptera u privremenim vodenim staništima na putevima  
Figure 4. Representatives of heteroptera in temporary water habitats on roads



*Gerris sp.*



*Notonecta glauca*



*Nepa cinerea*



*Sigara sp.*



*Hydrometra stagnorum*

Pojedini organizmi vodenu sredinu koriste kao svoj životni prostor i njih je 19 taksona, dok za druge organizme je samo deo životnog prostora najčešće samo u stadijumu jajeta i larve i njih je 12 taksona. U tim privremenim vodenim staništima nalaženi su kako adultni tako i larveni oblici. Ukupan pregled nađenih organizama po kategorijama puteva i razvojnim stadijumima predstavljen je u tabeli 2.

Tabela 2. Pregled nađenih organizama po kategorijama puteva i razvojnim stadijumima  
Table 2. Overview of organisms found by road categories and developmental stages

Taxon	Kategorija puta				Taxon	Kategorija puta			
	Asfaltni		Nekategorisani			Asfaltni		Nekategorisani	
	larva	imago	larva	imago		larva	imago	larva	imago
<i>Neumani sp</i>				+	<i>Elmidae</i>			+	+
<i>Hydrachna sp</i>				+	<i>Pericoma sp</i>			+	
<i>Arremuris sp</i>				+	<i>Culicidae</i>			+	
<i>Mideopsia sp</i>				+	<i>Chironomus sp</i>			+	
<i>Asellus aquaticus</i>				+	<i>Tipula sp</i>			+	
<i>Gammarus balcanus</i>				+	<i>Tabanus sp</i>			+	
<i>Gammarus fosarum</i>				+	<i>Stratymis sp</i>			+	
<i>Chirocephalus sp</i>				+	<i>Odontomyia sp</i>			+	
<i>Triops cancriformis</i>				+	<i>Dixa sp</i>			+	
<i>Candona sp</i>		+		+	<i>Libellulidae</i>			+	
<i>Eucypris sp</i>		+		+	<i>Gomphidae</i>			+	+
<i>Cyclops sp</i>		+		+	<i>Calopteryx sp</i>			+	+
<i>Daphnia sp</i>				+	<i>Nepa cinerea</i>				+
<i>Gyrinus sp</i>				+	<i>Gerris sp</i>				+
<i>Agabus sp</i>				+	<i>Notonecta glauca</i>				+
<i>Cybostrera sp</i>				+	<i>Hydrometra strigorum</i>				+
<i>Dytiscus sp</i>			+	+	<i>Sigara sp</i>				+

Najzastupljenije grupe u privremenim vodenim staništima na nekategorisanim (zemljanim) putevima su *Isopoda*, *Amphipoda*, *Ostracoda*, *Heteroptera*, *Coleoptera* i *Diptera*, a na asfaltnim putevima *Ostracoda* i *Copepoda*. Kada su u pitanju asfaltni putevi najveći broj nalaza je bio na putevima između manjih mesta i gradova, gde je i najčešće veća skoncentrisanost tzv. „rupa“ na asfaltu. Geografski gledano broj i raznovrsnost nalaza generalno idući od severa ka jugu se znatno razlikuje. U ravničarskom delu (Vojvodini) najveći broj nalaza je na zemljanim putevima naročito u Sremu i Bačkoj, dok na asfaltnim putevima najveći broj nalaza je bio u Istočnoj, Jugoistočnoj i Zapadnoj Srbiji. Ovakva privremena vodena staništa naseljavaju i organizmi koje zovemo živi fosili kao što su *Chirocephalus sp.*, *Triops cancriformis* i *Ostracoda* (Slika 7). Takson *Triops cancriformis* je bentosni organizam, nađen na dva lokaliteta na zemljanom putu u SRP Zasavica (2020.) i Debelom brdu (1994.), koji se hrani zarivajući se u sediment dna u potrazi za detritusom i raznim organizmima. Njihova jaja leže u tlu, gde mogu da prežive mnogo godina. Otporna su na jaku sušu i ekstremne temperature (Takahashi, F., 1994). U naučno-popularnoj literaturi *T. cancriformis* se pominje kao „živi fosil“ i „najstarija životinja na svetu“ (Zierold, et al., 2007), s obzirom da se starost fosila sličnih današnjim triopsima procenjuje na 298.9–252.2 miliona godina (Gand et al., 1997; Kelber, 1999).

Slika 7. Pretstavnici iz grupe „živi fosil“  
Figure 7. Representatives from the "living fossil" group



Chirocephalus sp.

Triops cancriformes

Ostracoda

## ZAKLJUČAK

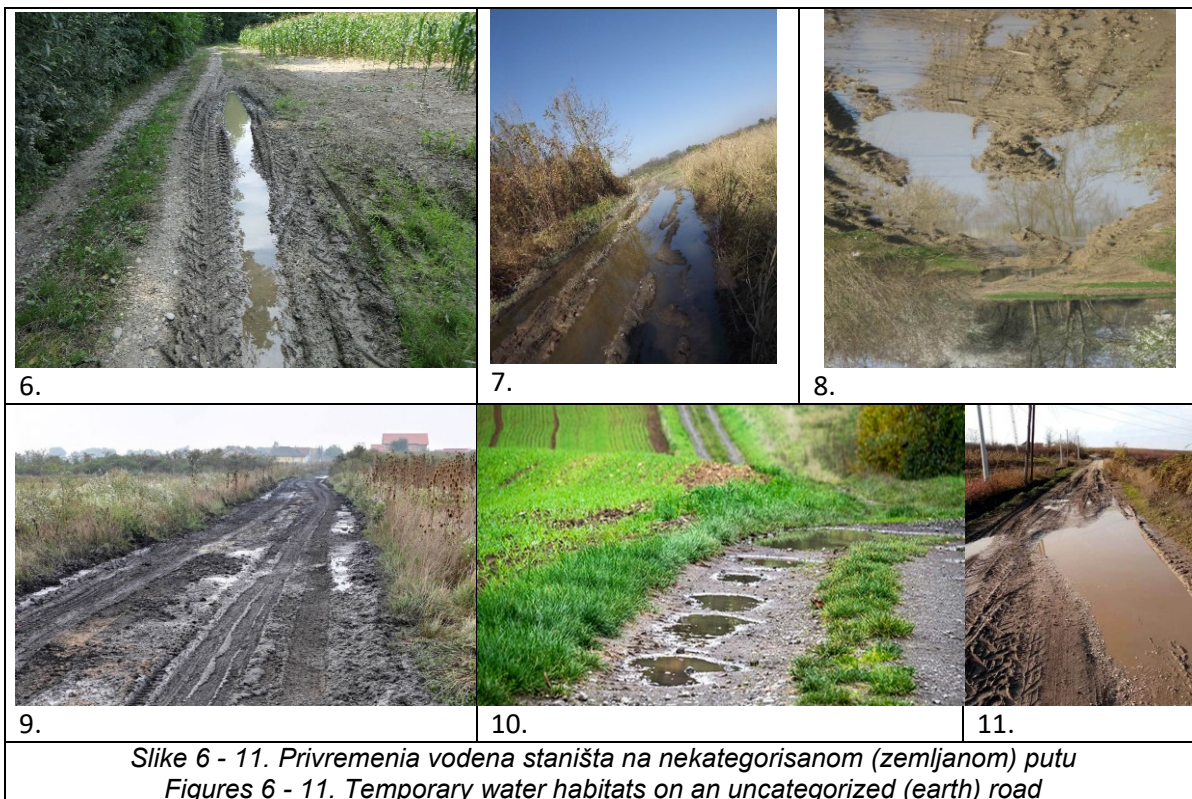
Iako su ovo čisto antropogena staništa prisustvo ovih grupa invertebrata u njima, ukazuje na njihove adaptivne sposobnosti da žive i u takvim sredinama. U periodu 1990.-2022. godina u privremenim vodenim površinama formirane u udubljenjima na putevima ukupno je zabeleženo 12 različitih grupa beskičmenjaka sa determinisanih 34 taksona (27 rodova i 7 vrsta). Od Crustacea najčešće nalaženi taksoni su: *Asselus aquaticus*, *Gammarus balcanicus*, *Cyclops sp.* i *Daphnia sp.*, koje se skoro redovno nalaze u lokvama i kolotrazima na zemljanim putevima širom Srbije. U klasi Insecta ukupno je zabeležen 21 takson iz reda Coleoptera (*Gyrinus sp.*, *Agabus sp.*, *Cybister sp.*, *Dytiscus sp.*, *Elminidae*), Diptera (*Culicidae*, *Tabanidae*, *Pericoma sp.*, *Dixa sp.*, *Chironomus sp.*, *Tipula sp.*, *Stratiomys sp.*, *Odontomyia sp.*), Odonata (*Calopteryx sp.*; *Libellulidae*, *Gomphidae*), Hemiptera (*Heteroptera*- *Nepa cinerea*, *Gerris sp.*, *Sigara sp.* *Notonecta glauca*, *Hydrometra stagnorum*). Pojedini organizmi vodenu sredinu koriste kao svoj životni prostor i njih je 19 taksona, dok za druge organizme je samo deo životnog prostora najčešće samo u stadijumu jajeta i larve i njih je 12 taksona. U tim privremenim vodenim staništima nalaženi su kako adultni tako i larveni oblici. Kada su u pitanju asfaltni putevi najveći broj nalaza je bio na putevima između manjih mesta i gradova, gde je i najčešće veća skoncentrisanost tzv. „rupa“ na asfaltu. Geografski gledano broj i raznovrsnost nalaza generalno idući od severa ka jugu se znatno razlikuje. U ravničarskom delu (Vojvodini) najveći broj nalaza je na zemljanim putevima naročito u Sremu i Bačkoj, dok na asfaltnim putevima najveći broj nalaza je bio u Istočnoj, Jugoistočnoj i Zapadnoj Srbiji. Ovakva privremena vodena staništa naseljavaju i organizmi koje zovemo *živi fosili* kao što su *Chirocephalus sp.*, *Triops cancriformes*, koji su bentosni organizam koji se hrani zarivajući se u sediment dna u potrazi za detritusom i raznim organizmima. Kao evolutivno najstarije kopnene životinje koje udišu kiseonik su Hydrachnidae koje su sekundarno naselile vodenu sredinu, dok su Ostrakode evolutivno stara grupa vodenih organizama koja je razvila sposobnost preživljavanja van vode u isušanim lokvama formiranjem tzv. „trajnih kapsula“ i u takvom stanju mogu da žive godinama (i do 100 godina) u stanju mirovanja a kad se pojavi voda kapsula se otvara i organizam nastavlja sa životim funkcijama kao da se ništa nije ni dogodilo. U naučno-popularnoj literaturi se „živi fosil“ pominju kao i „najstarije životinje na svetu“, s obzirom da se starost fosila sličnih današnjim procenjuje na 300–500 miliona godina.

## LITERATURA

1. Bechyně, J., (1988): Welcher Käfer ist das, Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sch Verlagshandlung Stuttgart, 102-109 pp.
2. Cvetanović, A., Banić, B., (2008): Priručnik za radnike iz puteva, Akademska misao, Beograd.
3. Gand, G., Garric, J., Lapeyrie, J. (1997). Triopsids biocenoses from the Permian of the Lodeve basin (France). *Geobios*, 30: 673–700.
4. Kelber, K. P. (1999): *Triops cancriformis* (Crustacea, Notostraca): Ein bemerkenswertes Fossil aus der Trias Mitteleuropas. In: Hauschke, N., Wilde, V. (Hrsg.): Trias. Eine ganz andere Welt. Mitteleuropa im frühen Erdmittelalter. S. 383–394; (Pfeil), München.
5. Kerovec, M., (1986): Priručnik za upoznavanje beskralješnjaka naših voda, SNL-Posebno izdanje, Grafički zavod Hrvatske, 46-114 str.
6. Мамаев, М. Б., (1972): Определитель нацекомых по личинкам пособие льяучимелеп, Просвещение-Москва,
7. Petrov, B., Miličić, D., Karan-Žnidarić, T., (2007): Branhiopodni i ostrakodni rakovi Specijalnog rezervata prirode Zasavica (Crustacea: Branhiopoda, Ostracoda), Zbornik radova Naučno-stručnog skupa Zasavica 2007, Sremska Mitrovica, 153-157 str.
8. Reitter, E., (1908): Die Käfer des Deutschen Reiches. Band 4, GNU Free Documentation License Version 1.2, 238-249;260-261 pp
9. Takahashi, F. (1994). Use of the tadpole shrimp (*Triops spp.*) as a biological agent to control paddy weeds in Japan. *Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia*. FFTC, Taipei: 128–138.
10. Zierold, T., Hanfling, B., Gómez, A. (2007). Recent evolution of alternative reproductive modes in the 'living fossil' *Triops cancriformis*. *BMC Evolutionary Biology*, 7: 161.







## SISTEM ZA MERENJE KVALITETA VAZDUHA SA LoRa RADIO VEZOM

**Milan Stojanović<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu, milan.stojanovic@elfak.ni.ac.rs

**Ljubomir Vračar<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu, ljubomir.vracar@elfak.ni.ac.rs

**Ilija Neden Dimitriju<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd, ilija.nedendimitriju@putevi-srbije.rs

**Rezime:** Emisija mnogih gasova doprinosi globalnom zagrevanju i kvalitetu vazduha. Jedan od primarnih izvora zagađenja vazduha u urbanim sredinama, gde trenutno živi 50 % svetske populacije, su izduvni gasovi vozila. Emisija gasova ima negativan uticaj na zdravlje ljudi. Održivi urbani dizajn se zasniva na razvoju pametnih struktura u gradovima kako bi se smanjila koncentracija toksičnih gasova. Visok nivo koncentracije različitih toksičnih i opasnih gasova naročito je prisutan u saobraćajnim gužvama i tunelima. U radu je predstavljen sistem za merenje kvaliteta vazduha opremljen različitim senzorima. To uključuje senzore za merenje, vlažnosti vazduha, temperature, vazdušnog pritiska i koncentracije ugljen-monoksida (CO) i azot-dioksida (NO<sub>2</sub>). Procesiranje se vrši mikrokontrolerom, a prenos podataka radio modulom dalekog dometa (LoRa) čija je frekvencija 868 MHz. Navedeni parametri mereni su na svakih pet minuta u toku nekoliko dana. Dobijeni podaci pokazuju da je ovaj sistem adekvatan za merenje vremenskih uslova i emisije gasova u saobraćaju.

**Ključne reči:** emisija gasova, merenje kvaliteta vazduha, senzori, LoRa

## AIR QUALITY MEASUREMENT SYSTEM WITH LoRa RADIO CONNECTION

**Milan Stojanovic<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Electronic Engineering University of Nis, Serbia, milan.stojanovic@elfak.ni.ac.rs

**Ljubomir Vracar<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Faculty of Electronic Engineering University of Nis, Serbia, ljubomir.vracar@elfak.ni.ac.rs

**Ilija Neden Dimitriju<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Public Enterprise Roads of Serbia, Belgrade, Serbia, ilija.neden-dimitriju@putevi-srbije.rs

**Abstract:** The emission of many gases contributes to global warming, and air quality. Vehicular exhaust is the primary source of air pollution in urban areas, where 50 % of the world's population currently lives. The emission of gases has a negative impact on human health. Sustainable urban design is based on the integration of intelligent structures in cities to reduce the concentration of toxic gasses. An especially high-level concentration of various toxic and dangerous gases is present in traffic jams and tunnels. This paper presents a monitoring system equipped with different sensors. It includes, air humidity, temperature, air pressure sensor, and chemical sensors for the concentration of carbon monoxide (CO) and nitride dioxide (NO<sub>2</sub>) measurements. The processing unit is the microcontroller, and the data are transmitted by long-range (LoRa) modules whose frequency is 868 MHz. The noted parameters were measured every five minutes, during the several days. The obtained data show that the presented system is adequate for weather parameters and gas emissions in traffic measurement.

**Keywords:** gas emission, air quality measurement, sensors, LoRa

### 1. UVOD

Efekat staklene bašte i emisija drugih toksičnih gasova u atmosferi privlači pažnju ljudi poslednjih godina, što zbog globalnog zagrevanja i otopljanja tako i zbog sve češćih i intenzivnijih prirodnih katastrofa. Mnogi gasovi doprinose ovim negativnim posledicama, a jedan od primarnih uzroka je emisija ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) koja nastaje sagorevanjem fosilnih goriva. Više od polovine svetske populacije trenutno živi u gradskim sredinama gde izduvni gasovi vozila postaju jedan od glavnih uzročnika zagađenja vazduha. Potrebno je pronaći rešenje kako bi se smanjila emisija gasova u gradovima zato što se u njima proizvodi neproporcionalna količina gasova u poređenju sa površinama na kojima se oni prostiru. Poslednjih godina je posebna pažnja usmerena ka dizajniranju, razvoju i upravljanju održivih gradskih sredina odnosno pametnih gradova. To uključuje i odluke i propise lokalnih vlasti koje imaju za cilj da minimizuju emisiju gasova [1]. Društvena ekološka svest raste, ali su potrebna efikasna rešenja za smanjenje emisije gasova u transportnom sektoru.

U radu [2], predloženo je rešenje za smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, koju emituju vozila dostave, dobijeno *software*-skom simulacijom.

Primarni zagađivači vazduha koje emituju motori prilikom sagorevanja fosilnih goriva, uz CO<sub>2</sub>, su ugljen-monoksid (CO), ugljovodonik (HC), sumpor-dioksidi (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), azot-monoksid (NO), azot-dioksidi (NO<sub>2</sub>) i druge čestice materije (PM). Izduvni gasovi vozila takođe sadrže organski ugljenik (OC) i elementarni ugljenik (EC) koji imaju negativan uticaj na vidljivost. Uz to, HC i oksidi azota učestvuju u procesu oštećenja ozonskog omotača. Ovi gasovi i zagađivači imaju negativan uticaj na zdravlje ljudi i oštećuju respiratorni i kardio-vaskularni sistem. Emisija gasova koja nastaje u saobraćaju uglavnom zavisi od rastojanja koja vozila prelaze (veća rastojanja veća emisija) i od brzine kretanja. Takođe, značajan uticaj na emisiju ima i tip vozila, tačnije karakteristike vozila kao što su masa vozila, vrsta goriva, zapremina motora, oblik vozila (aerodinamičnost) i tehnologija kontrole emisije koju vozilo poseduje.

Različiti toksični gasovi i opasne materije mogu imati naročito visoke nivoe koncentracija u tunelima. Ove supstance se teško raspršuju i ozbiljno ugrožavaju bezbednost vozača i pešaka u tunelima, kao i radnika održavanja. Tuneli su deo putne infrastrukture kojima se omogućava odvijanje saobraćaja ispod površine zemlje ili vode kao i u brdovitim predelima. Zato što je unutrašnjost tunela polu-zatvoren prostor, sistemi za praćenje koncentracije gasova i sistemi za ventilaciju imaju veoma bitnu ulogu u njima.

Međutim, često je teško realizovati sisteme za praćenje zagađenosti vazduha u tunelima, u pogledu napajanja tih sistema i prenosa dobijenih podataka. U ovom radu je predstavljen jednostavan sistem za merenje vremenskih uslova (temperature, vlažnosti vazduha i vazdušnog pritiska) kao i koncentracije gasova (CO i NO<sub>2</sub>), koji je pogodan za upotrebu kako napolju tako i u zatvorenim ili polu-zatvorenim prostorima kao što su tuneli. Jedinica za procesiranje izmerenih vrednosti je mikrokontroler, a prenos podataka se vrši radio modulom dalekog dometa (LoRa) na frekvenciji 868 MHz.

## 2. MERENJE NIVOVA ZAGAĐENOSTI I PRENOS PODATAKA

Posedovanje podataka o saobraćaju u realnom vremenu omogućava razvoj različitih servisa: detekcija i smanjenje zakrčenja, mreža dinamičke kontrole saobraćaja, napredni informacioni servis i smanjenje potrošnje goriva i emisije zagađenja. Model procene emisije CO<sub>2</sub> iz saobraćaja, koji se posmatra kao količina proizvedenog gasa po vozilu po jedinici rastojanja, predstavljen je u radu [3].

Pouzdan sistem za merenje kvaliteta vazduha može da obezbedi rana upozorenja i prevenciju nezgoda u tunelima. Sa druge strane, neadekvatna ventilacija u tunelima dovodi do povećane koncentracije zagađivača vazduha nastalih usled prolaska vozila. Analiza prostorno-vremenske raspodele toksičnih gasova, kao i korelacija između koncentracije zagađenja i vidljivosti opisana je u radu [4]. Na osnovu dobijenih podataka određuje se dizajn sistema za ventilaciju i rad ventilacije u dugačkim tunelima. U radu [5] su opisane karakteristike koncentracija zagađivača vazduha proizvedenih od stane vozila unutar i izvan tunela. Rezultati dobijeni merenjem pokazuju da su koncentracije zagađujućih materija veće tokom dana (naročito u jutarnjim časovima pri povećanom intenzitetu saobraćaja), a niže noću, što je povezano sa stanjem saobraćaja u tunelu. Pored toga, niže koncentracije zagađivača (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) unutar tunela su veće od onih izvan tunela.

Različite metode žičanog i bežičnog prenosa podataka u tunelima predstavljene su u radu [6]. Spoljni signal makro bazne stanice ne može da pokrije unutrašnjost tunela zbog slabljenja signala usled same arhitekture tunela. U radu [7] prikazan je dizajn inovativnog i sveobuhvatnog inteligentnog sistema za praćenje koncentracije gasova u tunelima, zasnovan na arhitekturi mikroservisa.

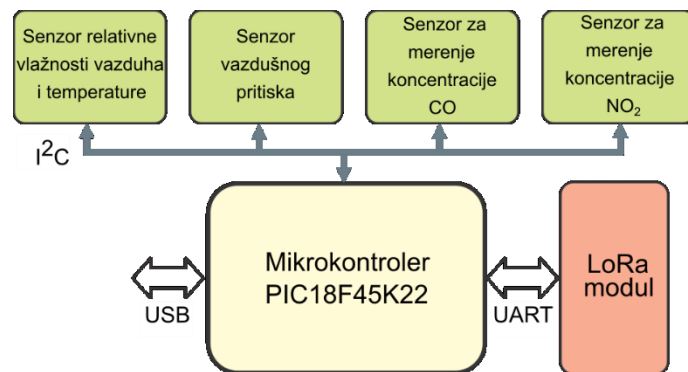
Količina podataka koji se dobijaju merenjem i koje treba poslati (izražena u bajtovima) značajno raste sa porastom broja upotrebljenih senzora (senzorskih čvorova) u sistemu za merenje i nadzor. „Internet stvari“ (*Internet of Things* - IoT) se koriste u sistemima za nadzor i održavanje tunela da bi se obezbedilo merenje sa više senzora, a takođe i pouzdan prenos podataka. Potrošnja energije senzora treba da bude što je moguće manja kako bi se ostvarila ušteda ljudskih i materijalnih resursa za zamenu baterija. Prostiranje signala u bežičnim komunikacijama takođe zavisi od oblika tunela. Zbog kompleksnosti tunelskog okruženja, teško je pronaći kompromis između niske potrošnje energije i široke pokrivenosti prenosa signala sa tradicionalnim IoT tehnologijama.

Inteligentni transportni sistemi su skup informacionih i komunikacionih tehnologija, koje mogu poslužiti kao izvor informacija o saobraćaju. Centralna tema ovih sistema je prikupljanje podataka o stanju saobraćaja koji se mogu prikupljati u realnom vremenu i koristiti za praćenje i kontrolu saobraćaja.

Prenos podataka sa senzorskih čvorova korišćenjem LoRa modula postaje sve češće korišćena metoda umrežavanja u tunelima. LoRa tehnologija omogućava širok opseg pokrivenosti i manju potrošnju energije nego IoT tehnologije, i takođe nudi mogućnost povezivanja većeg broja senzorskih čvorova. Podaci dobijeni na senzorskom čvoru se procesiraju i šalju do baze stanice, a zatim se sa bazne stanice šalju na server. Jedan primer distribuirane mreže za merenje CO<sub>2</sub> je predstavljen u radu [8]. Senzorski čvorovi u sklopu opisanog sistema sadrže i svetlosnu signalizaciju koja se koristi kao indikator za uključivanje ventilacije, i takođe podatke dobijene merenjem šalje do centralnog čvora korišćenjem LoRa modula. Arhitektura sistema LoRa servera i korisničke aplikacije, je predstavljena u radu [9]. Ovaj sistem pokazuje dobru mrežnu pokrivenost i nisku potrošnju energije (pouzdan rad do 592 h sa baterijom kapaciteta 3000 mAh).

### 3. DIZAJN SISTEMA ZA MERENJE KVALITETA VAZDUHA

Sistem za merenje kvaliteta vazduha koji je predstavljen u ovom radu, i čija je blok šema predstavljena na slici 1, je baziran na mikrokontroleru PIC18F45K22 [10], koji je integrisan na razvojnoj štampanoj ploči. Ovaj 8-bitni mikrokontroler je proizvod Microchip-a i pripada seriji mikrokontrolera visokih performansi. Drugi razlog njegovog korišćenja je dostupnost na tržištu i niska cena. Razvojna ploča na kojoj je smešten poseduje univerzalni serijski interfejs (USB) kojim se može povezati sa računarnom ili laptop-om. Sistem sadrži pet senzora koji su integrisani na četiri odvojene štampane ploče. To su senzor relativne vlažnosti vazduha i temperature, senzor vazdušnog pritiska, senzor za merenje koncentracije CO i senzor za merenje koncentracije NO<sub>2</sub>. Podaci dobijeni merenjem se nakon obrade šalju bežičnom vezom korišćenjem LoRa modula.



Slika 1. Blok šema sistema za merenje kvaliteta vazduha

#### 3.1. Senzori

Merenje relativne vlažnosti vazduha i temperature vrši se korišćenjem senzora HIH6130 [11]. Unutar senzora su integrisane dve veoma precizne fabrički kalibrisane senzorske komponente za merenje relativne vlažnosti vazduha u opsegu od 10 do 90 % i temperature u opsegu od 0 do 50 °C. Odlikuje se visokom pouzdanošću i dugotrajnom stabilnošću, visokim odnosom signal-sum, visokom preciznošću i malom potrošnjom energije tokom rada. To ga čini pogodnim za primenu u meteorološkim stanicama koje rade na baterijskom napajanju, termostata i regulatorima, klima uređajima, sistemima za grejanje i ventilaciju i drugim sličnim aplikacijama.

Senzor vazdušnog pritiska ICP 10100 [12] je realizovan u MEMS (mikro-elektro-mehanički sistem) tehnologiji, sa opsegom rada od 30 do 110 kPa, i preciznošću od  $\pm 1$  Pa. Male dimenzije i niska potrošnja energije (1,3  $\mu$ A u modu niske potrošnje) ga čine odgovarajućim izborom u prenosivim uređajima za merenje i IoT uređajima sa baterijskim napajanjem.

Koncentracije CO i NO<sub>2</sub> se mere korišćenjem senzora 3SP\_CO\_1000 i 3SP\_NO2\_20, integrisanim na odvojenim štampanim pločama. Ovi senzori pripadaju grupi elektrohemijskih senzora sa niskom potrošnjom energije. Jačina struje na izlazu senzora je direktno proporcionalna koncentraciji merenog gasa [13, 14]. Senzori su kalibrisani tokom procesa proizvodnje tako da je koeficijent proporcionalnosti između izlazne struje i koncentracije gasa poznat pre početka merenja. Izlazna struja se konvertuje u napon korišćenjem transimpedansnog pojačavača koji se meri 12-bitnim analogno-digitalnim konvertorom.

Svi korišćeni senzori se na mikrokontroler povezuju preko ekspanzione štampane ploče, a njihova konfiguracija i čitanje izmerenih vrednosti vrši se preko I<sup>2</sup>C komunikacije.

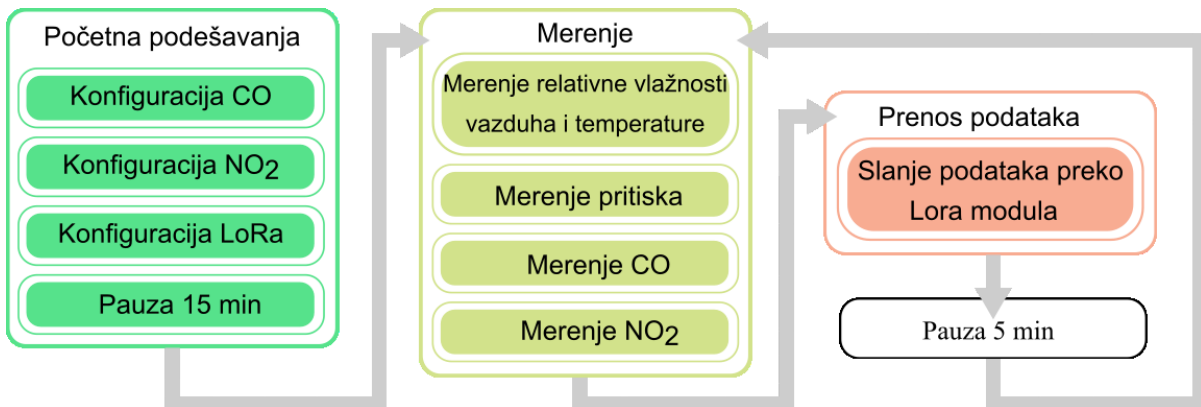
### 3.2. LoRa radio modul

LoRa je radio modul dalekog dometa koji može da radi i kao prijemnik i kao predajnik. Ovaj modul pruža mogućnost slanja podataka na rastojanju do 15 km. Zbog dalekog dometa i niske potrošnje energije, LoRa moduli se često koriste u senzorskim čvorovima sistema za merenje. Snaga signala koji emituje predajnik se može podešavati u zavisnosti od rastojanja između predajnika i prijemnika, čime se ostvaruje dodatna ušteda potrošnje energije. Komunikacije zasnovana na LoRa komunikaciji se može iskoristiti za prenos podataka u sistemima za nadzor saobraćaja kao što su parkinzi [15], detektori protoka saobraćaja [16], meteorološke stanice na putevima i u tunelima. Niska potrošnja energije redukuje potrebu za čestom zamenom baterija što je od izuzetne važnosti za senzorske sisteme u kojima je održavanje samog sistema otežano, kao što je gradski saobraćaj, mostovi i tuneli.

Na tržištu su dostupne različite verzije LoRa modula, a u okviru opisanog sistema je iskorišćen Microchip-ov modul RN2483 [17]. Ovaj modul poseduje dve antene, za prenos signala na frekvencijama od 868 MHz (korišćena frekvencija) i 434 MHz. Konfiguracija modula od strane mikrokontrolera i razmena podata za slanje i prijem se vrši putem univerzalne serijske komunikacije (UART).

### 4. PRINCIP RADA I REZULTATI MERENJA KVALITETA VAZDUHA

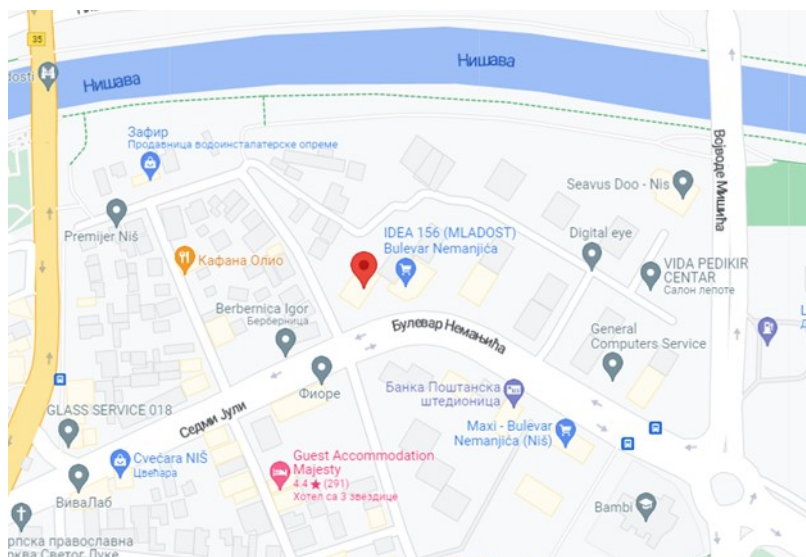
Algoritam rada sistema prikazan je na slici 2. Nakon prvog pokretanja tj. uključivanja sistema vrši se konfiguracija gasnih senzora i LoRa modula. Zatim je potrebno sačekati 15 min kako bi se na sensorima završilo podešavanje referentnih naponskih nivoa i time stvorili ulovi za merenje.



Slika 2. Algoritam rada sistema za merenje kvaliteta vazduha

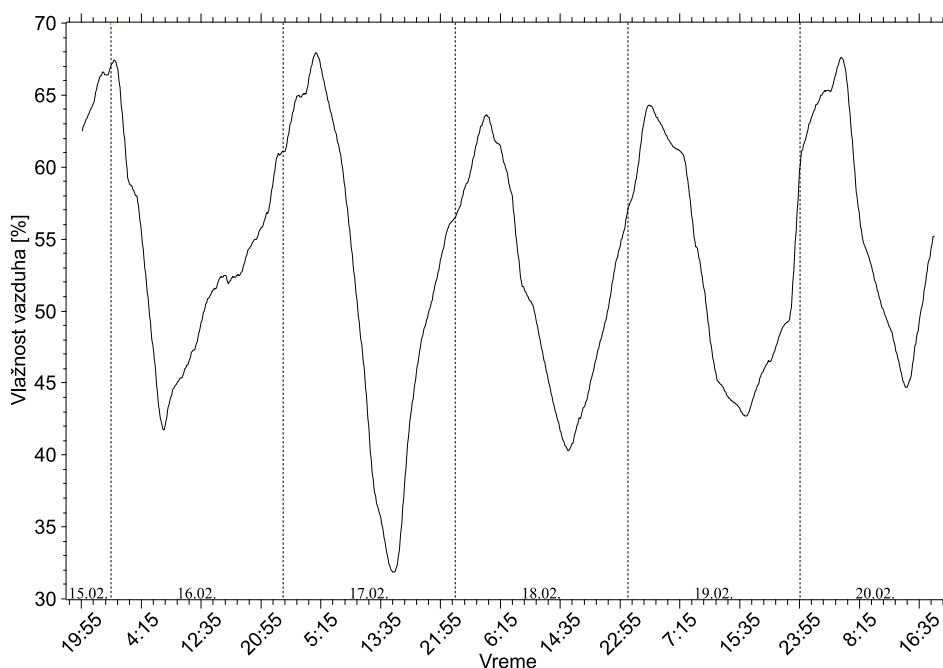
Proces merenja sastoji se od očitavanja vrednosti sa senzora i njihove obrade, odnosno konverzije u paket koji se prosleđuje LoRa modulu. Zatim se vrši slanje pripremljenog paketa nakon čega se pravi pauza od 5 min. Trajanje pauze je izabrano proizvoljno kako bi se u kontinuitetu pratila promena koncentracije gasova. Treba naglasiti da se povećanjem pauze između dva uzastopna merenja može povećati trajanje baterije (u slučaju da se sistem napaja na taj način), ali se time smanjuje preciznost praćenja promene merenih gasova u vazduhu.

Merenja su vršena u gradu Nišu, na adresi Bulevar Nemanjića 1 (slika 3), na sedmom spratu stambene zgrade. Ova lokacija je izabrana zbog toga što predstavlja jednu od prometnijih saobraćajnica u gradu. Proces akvizicije podataka je započet 15. februara u 20 h, a završen 20. februara 2023. god. u isto vreme.



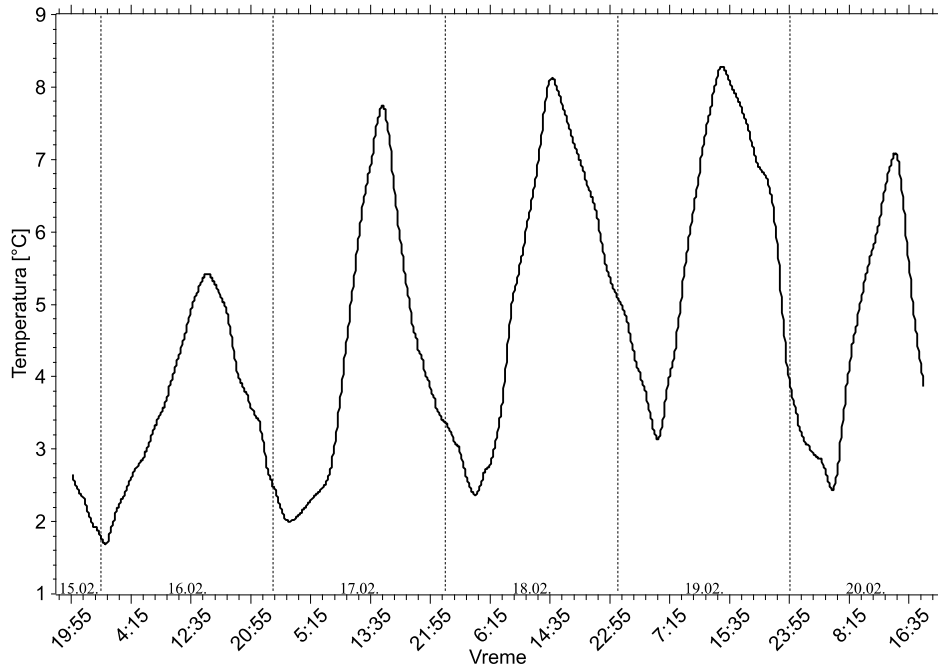
**Slika 3.** Lokacija sistema tokom merenja

U nastavku su prikazani rezultati merenja, odnosno mereni parametri vremenskih uslova kao i koncentracije CO i NO<sub>2</sub> za prikazanu lokaciju u datom vremenskom periodu. Na slici 4 je prikazana promena relativne vlažnosti vazduha u toku vremena.

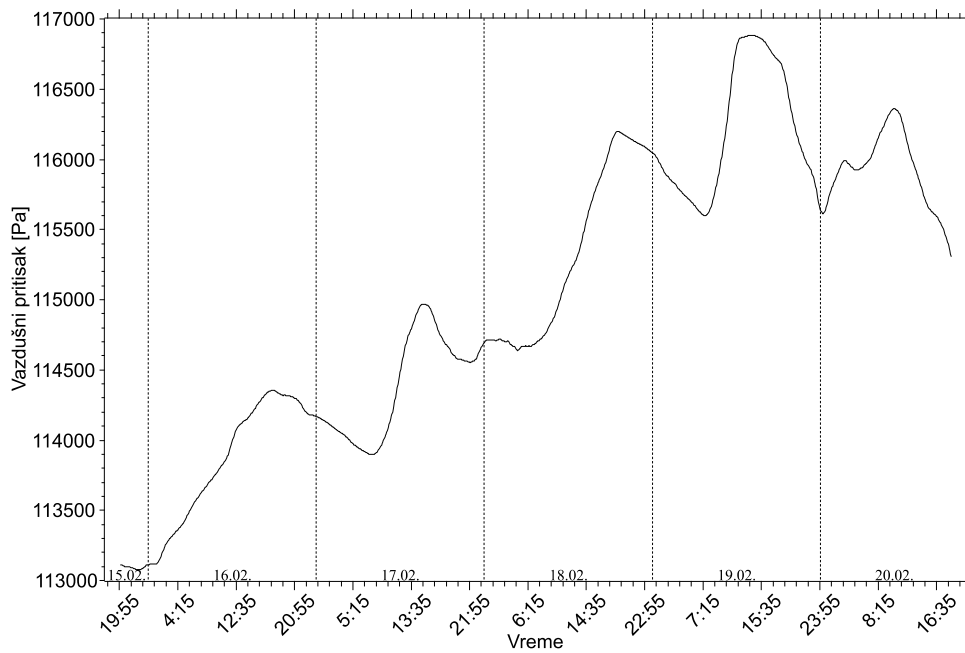


**Slika 4.** Izmerene vrednosti promene relativne vlažnosti vazduha

Na slici 5 se može videti promena temperature, a na slici 6 promena vazdušnog pritiska za pomenuti period merenja.

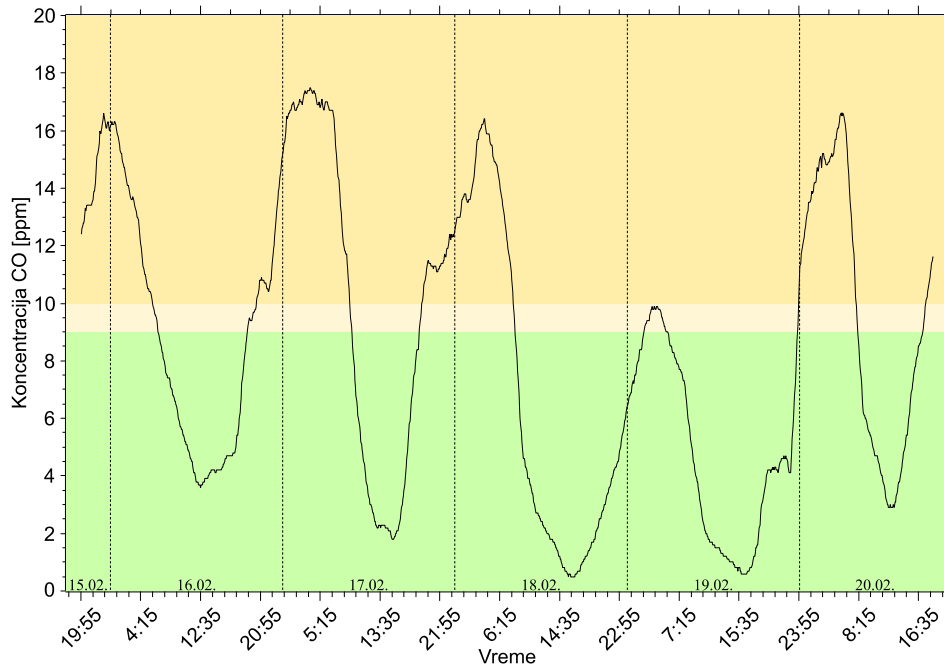


**Slika 5.** Izmerene vrednosti promene temperature

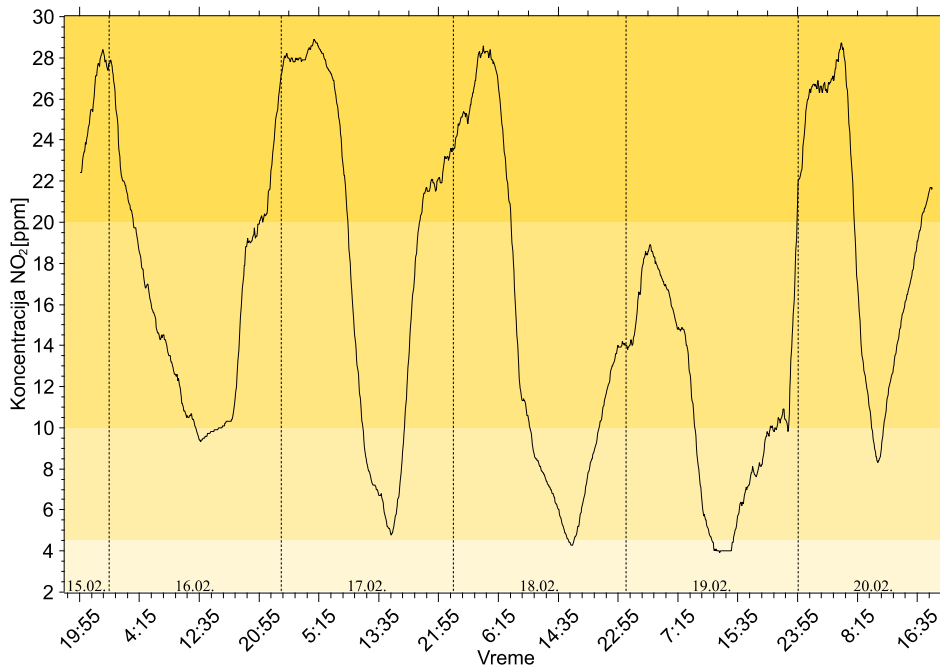


**Slika 6.** Izmerene vrednosti promene vazdušnog pritiska

Na slikama 7 i 8 su prikazane promene merenih parametara koji pokazuju stepen zagađenost vazduha, odnosno koncentracije CO i NO<sub>2</sub>.



**Slika 7.** Izmerene vrednosti promene koncentracije CO u vazduhu



**Slika 8.** Izmerene vrednosti promene koncentracije NO<sub>2</sub> u vazduhu



## 5. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

U vremenskom period kada je vršeno merenje, temperatura se menjala u opsegu od jedan do devet stepeni na Celzijusovoj skali, što je u skladu sa podacima koji se mogu dobiti sa zvaničnih meteoroloških stanica. Najviše temperature su zabeležene tokom poslepodnevnih časova dok je najhladnije bilo tokom ranih jutarnjih sati. S obzirom da postoji poklapanje između izmerenih i zvanično dostupnih vrednosti, ovi rezultati se mogu iskoristiti kao potvrda da sistem pouzdano radi.

Relativna vlažnost vazduha se menjala u opsegu od 30 do 70 % pri čemu su najveće vrednosti vlažnosti vazduha izmerene pri najnižim temperaturama i obrnuto. Dnevne promene vazdušnog pritiska takođe zavisi od doba dana, a na petodnevnom nivou je vrednost pritiska bila u opsegu od 113 do 117 kPa.

Kada su u pitanju parametri zagađenosti vazduha, odnosno koncentracije CO i NO<sub>2</sub> njihov nivo se takođe menjao u zavisnosti od doba dana. Koncentracija CO je bila najveća u kasnim večernjim ili ranim jutarnjim satima, a na lokaciji merenja je njena vrednost bila do 18 ppm. Izmerene vrednosti koncentracije se mogu posmatrati u okviru tri nivoa. Za koncentracije manje od 9 ppm može se smatrati da vazduh nije zagađen. Drugi značajan opseg je od 9 do 10 ppm što maksimalna preporučena vrednost za zatvorene prostorije. Treba obratiti pažnju na koncentracije veće od 10 ppm jer se pri tim vrednostima vazduh smatra zagađenim i može imati negativan uticaj na zdravlje ljudi [18].

Maksimalne, a i minimalne vrednosti koncentracije NO<sub>2</sub> su izmerene u istom delu dana kada i maksimalne i minimalne vrednosti koncentracije CO, pri čemu su izmerene vrednosti u opsegu do 30 ppm. Već pri koncentraciji od 5 ppm NO<sub>2</sub> se može osetiti putem čula mirisa. Izloženost pri koncentraciji od 10 ppm može dovesti do iritacije grla i sluzokože nosa, dok koncentracija od 20 ppm može izazvati iritaciju oka [19].

Koncentracija merenih gasova se menja u zavisnosti od saobraćajnog toka, broja vozila u saobraćaju koja emituju gasove. Takođe, treba uzeti u obzir da lokalna ložišta emituju značajne količine ovih gasove. Dobijene vrednosti ne treba uzeti kao stoprocentno tačne. Sistem se nalazi na terasi koja je delimično zatvorena tako da nema neometanog protoka vazduha. Sa druge strane, zbog visine na kojoj se on nalazi, raspršivanje gasova usled vetra i drugih vremenskih uslova je neizbežno. Da bi se dobila preciznija zavisnost koncentracije gasova od broja vozila u saobraćaju sistem za merenje treba postaviti bliže kolovozu i odrediti broj vozila u saobraćaju. Međutim, dobijeni rezultati pokazuju da se ovakav sistem može iskoristiti za pouzdano merenje vremenskih uslova i kvaliteta vazduha. Naš budući rad baziraće se na razvoju detektora vozila i njegovoj integraciji sa prikazanim sistemom, kako bi se dobila zavisnost zagađenosti vazduha od broja vozila koja učestvuju u saobraćaju.

### Literatura

- [1] Grote, M., Williams, I., Preston J., Kemp, S. 2016. Including congestion effects in urban road traffic CO<sub>2</sub> emissions modelling: Do Local Government Authorities have the right options?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 43. 95-106.
- [2] Khakifirooz, M., Fathi, M. (2021). CO<sub>2</sub> Emission through Road Gradient and Real-Time Traffic Monitoring for Vehicle Routing Problems. 12th International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEEES-12).
- [3] Bilotta, S., Paolo, N. 2022. Estimating CO<sub>2</sub> Emissions from IoT Traffic Flow Sensors and Reconstruction, *MDPI Sensors*, 22(9). 3382.
- [4] Chao Q., Jianxun C., Yanbin L., Zhongjie Z. 2019. Monitoring and analysis of the operational environment in an extra-long highway tunnel with longitudinal ventilation, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83. 475-484.
- [5] Zhou, R., Wang, S., Shi, C., Wang, W., Zhao, H., Liu, R., Chen, L., Zhou B. 2014. Study on the Traffic Air Pollution inside and outside a Road Tunnel in Shanghai, China. *PLOS ONE* 9(11).
- [6] Zhu, J., Yanyan, D., Jiancheng, Z., Feng, G., Quanli L., Bin L., Jianqing W. 2022. Review on Tunnel Communication Technology, *MDPI Sustainability*, 14(18). 11451.
- [7] Liu, Q., Lu, G., Huang, J., Bai, D. (2020). Development of tunnel intelligent monitoring and early warning system based on micro-service architecture: the case of AnPing tunnel. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 11. 1404-1425.
- [8] Toschke, Y., Lusmoeller, J., Otte, L., Schmidt, J., Meyer, S., Tessmer, A., Brockmann, C., Ahuis, M., Hüer, E., Kirberger, C., Berben, D. 2022. Distributed LoRa based CO<sub>2</sub> monitoring network – A standalone open source system for contagion prevention by controlled ventilation, *HardwareX*, 11.
- [9] Zhu, G., Zhao, H., Liu, Z., Shi, C. (2020). Design and Implementation of Tunnel Environment Monitoring System Based on LoRa. *International Conference on Internet of Things as a Service*. 621-638.
- [10] 28/40/44-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers with XLP Technology. Dostupno na: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>

- [11] Honeywell Humidicon™ Digital Humidity/Temperature Sensors HIH6100 Series. Dostupno na: <https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/siot/es-mx/products/sensors/humidity-with-temperature-sensors/honeywell-humidicon-hih6100-series/documents/sps-siot-humidicon-hih6100-series-product-sheet-009059-6-en-ciid-142165.pdf>
- [12] High Accuracy, Low Power, Waterproof Barometric Pressure and Temperature Sensor IC, Dostupno na: [https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2018/01/DS-000186-ICP-101xx-v1.2.pdf?ref\\_disty=digikey](https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2018/01/DS-000186-ICP-101xx-v1.2.pdf?ref_disty=digikey).
- [13] 3SP\_CO\_1000 Package 110-109, SPEC SENSORS, Dostupno na: [http://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/04/3SP\\_CO\\_1000-C-Package-110-109.pdf](http://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/04/3SP_CO_1000-C-Package-110-109.pdf)
- [14] 3SP\_NO2\_5F P Package 110-507, SPEC SENSORS, Dostupno na: [https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/10/3SP\\_NO2\\_5F-P-Package-110-507.pdf](https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2016/10/3SP_NO2_5F-P-Package-110-507.pdf)
- [15] Kodali, R. K., Borra, K. Y., Sharan, S. G. N., Domma, H. J. (2018). An IoT Based Smart Parking System Using LoRa. International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC). 1510-1513.
- [16] Asiain, D., Antolín, D. 2021. LoRa-Based Traffic Flow Detection for Smart-Road. MDPI Sensors, 21(2), 338.
- [17] RN2483, Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module, Dostupno na: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/RN2483-Low-Power-Long-Range-LoRa-Technology-Transceiver-Module-DS50002346F.pdf>
- [18] Effects Of Carbon Monoxide Exposure On The Human Body, Dostupno na: <https://choosesanford.com/effects-of-carbon-monoxide-on-the-human-body/>
- [19] Nitrogen dioxide - NO<sub>2</sub>, Dostupno na: <https://en.gazdetect.com/gas-information/no2-nitrogen-dioxide-detector/>

## PAMETNI GRADOVI - KONCEPT I UTICAJI NA ŽIVOTNU SREDINU

**Srđan Nedeljković, dipl.građ.inž.<sup>1</sup>**

**dr Igor Jakanović, dipl.građ.inž.**

**Milica Pavić, master građ.inž.**

*Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica*

*srdjanzeleni@gmail.com, jakanovici@gf.uns.ac.rs, pavic953@gmail.com*

**Rezime:** *Pametni grad podrazumeva urbano područje koje koristi informacione i komunikacione tehnologije, poslovne modele i rešenja kako bi se unapredila operativna efikasnost, razmena informacija sa javnošću i poboljšanje kvaliteta usluga i dobrobiti građana. U okviru koncepta, stari način razmišljanja - izgradnja puteva i ulica ili druge infrastrukture i povećanje njihovog kapaciteta rešice potrebe mobilnosti, zamenjuje se novim - iskoristiti različita rešenja za optimizaciju korišćenja i učinka postojeće infrastrukture i saobraćajnih sistema. Glavni aspekt pametne mobilnosti je mogućnost povezivanja. U radu se, nakon prikaza osnovnih karakteristika pametnih gradova, kroz analizu primera iz prakse ukazuje na pozitivne i negativne strane ovakvog tipa urbane organizacije po pitanju životne sredine.*

**Ključne reči:** *infrastruktura, mobilnost, pametni grad, povezivanje, saobraćajni sistemi*

## SMART CITIES - CONCEPT AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

**Srđan Nedeljković, B.Civil Eng.**

**Igor Jakanović, B.Civil Eng., Ph.D.**

**Milica Pavić, Master Civil Eng.**

*University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, Subotica*

**Abstract:** *A smart city implies an urban area that utilizes information and communication technologies, business models and solutions to improve operational efficiency, information exchange with the public, and improve the quality of services and the well-being of citizens. Within the concept, the old way of thinking - building roads and streets or other infrastructure and increasing their capacity will solve mobility needs, is being replaced by a new one - take advantage of different solutions to optimize the use and performance of existing infrastructure and transport systems. A major aspect of smart mobility is connectivity. After the presentation of the basic characteristics of smart cities, the paper points out the positive and negative aspects of this type of urban organization in terms of the environment through the analysis of examples from practice.*

**Keywords:** *infrastructure, mobility, smart city, connectivity, transport systems*

### 1. UVOD

Gradovi su početkom ovog veka doživeli izuzetnu stopu rasta, a ukupna svetska populacija je u 2011. godini premašila 7 milijardi. Više od 50% svetske populacije živi u urbanim sredinama, a procena je da će do 2050. godine to biti i preko 70%. Pri tome je ovaj udeo u evropskim gradovima oko 65%, a u SAD oko 80% [1]. Sa koncentracijom od preko 80% svetskih privrednih aktivnosti, gradovi milionima ljudi nude socijalnu mobilnost i ekonomski prosperitet udruživanjem kreativnih, inovativnih i obrazovanih pojedinaca i organizacija. Uprkos zajedničkom delovanju faktora koji dovode do kreativnosti, inovacija, privrednog razvoja, društvenog blagostanja i dobrobiti zajednice, gradovi mogu doživeti i nesrazmerne nivoe zagađenja vazduha i vode, enormne nivoe buke, zagađenje čvrstim otpadom, fekalnu kontaminaciju, zagađenje opasnim otpadom, gubitak biodiverziteta, zauzimanje površina visokog rizika, degradaciju kulturnog nasleđa, povećanje nejednakosti, porast gladi i uvećane stope koncentrisanog siromaštva.

Porastom koncentracije gradskog stanovništva savremeni grad ne samo da se širi, već raste i u visinu. Savremeni urbanizam traži nova prostorna rešenja na osnovama „slobodne gradnje”, pametnog rasporeda stambenih i poslovnih objekata različite spratnosti, ispravnog korišćenja karakterističnih crta lokalnog reljefa. Grad, njegovi stanovnici i njegovo okruženje, kao sistem urbanizovanih i slobodnih prostora, se ne sme razmatrati parcijalno, već u celosti, kroz odnos grada i njegove prigradske prirodne i izmenjene prirodne sredine.

---

<sup>1</sup> Srđan Nedeljković: srdjanzeleni@gmail.com

Ubrzana urbanizacija gradu približava okolna naselja i sela, koja i sama u međuvremenu postaju manji gradovi (manje urbane sredine). Urbanizacija kao realni proces ima svoje negativne posledice. Uporedo sa nizom društvenih i ekonomskih problema, urbanizacija često doprinosi i stvaranju ekoloških, a neretko i zdravstvenih problema, koji često narušavaju opstanak gradskog stanovništva. Ovi problemi se mogu grupisati po parovima: čist vazduh - zagađen vazduh, čista voda - zagađena voda, akustički optimum - akustički maksimum, mikroklima - nedostatak klimatskog komfora, ozelenjena teritorija - manjak ili odsustvo zelenila i sl. Veliki grad poseduje gotovo sve komponente prirodne sredine: vazduh, biljke, zemljište, reljef, hidrografsku mrežu, podzemne vode, stensku podlogu i klimu. Međutim, fizički uslovi u velikim gradovima su lošiji od onih u malim. Samim tim, stanovništvo velikih gradova je, i pored prednosti i mogućnosti koje donose gradski sadržaji, izloženo izuzetno velikim problemima. Nedostatak stanova, škola, bolnica, zelenih površina, teškoće u saobraćaju, zagađenost vazduha i vode, visoki nivoi buke, haotičnost uličnog kretanja, izazivaju negativne psihosocijalne posledice po stanovnike gradova, a sve su veće i traumatične posledice velike gustine naseljenosti.

Haotična, neplanska izgradnja brojnih objekata i neprestano uvećanje spratnosti zgrada, dovode do porasta cene građevinskog zemljišta. Dolazi do pojave snažnih vetrova u „betonskim klisurama”, gde retko ili nikada ne dospeva sunčev zrak. Prenaseljenost i ugrožavanje životne sredine u velikim gradovima su dostigli kritične razmere i sve je češće protivljenje izgradnji novih industrijskih pogona, masovnih stambenih kompleksa i dr. Uvećanje broja motornih vozila takođe doprinosi zagađenju životne sredine. Život u gradovima postaje sve složeniji zbog sve češćih saobraćajnih zastoja i smanjenja brzine kretanja duž glavnih gradskih saobraćajnica. Zagađenje vazduha, buka, saobraćajni udesi, nezaposlenost, otuđenost mladih, delikvencija, alkoholizam, narkomanija i druge nevolje su sve češće prisutni. Imajući to u vidu, čovečanstvo mora biti više zainteresovano za ravnomeran razmeštaj i razvoj gradova.

Savremena izgradnja gradova je obeležena masovnošću i industrijalizacijom, te stoga projektanti i urbanisti dobijaju novu ulogu dizajnera životnog okruženja, odnosno mesta za rad, stanovanje, odmor i rekreaciju. Često je ovaj process obeležen (ili žigosan) zahtevima visoke komercijalizacije i enormnog profita. U takvim uslovima, a sa težnjom dostizanja koncepta održivog razvoja, sve više na značaju dobijaju socijalni aspekti planiranja i projektovanja gradova. Takođe se sve više govori o održivom planiranju i projektovanju, odnosno o tendenciji da se tehnologija projektovanja usaglasi sa ekonomskim, ekološkim i društvenim funkcijama gradskog naselja.

Primena različitih sistema u pametnim gradovima, između ostalog, ima veliki potencijal pozitivnog uticaja na životnu sredinu i kao takav privlači sve veće interesovanje u toku poslednje decenije. U pametnom gradu, kvalitet života stanovnika se poboljšava korišćenjem inovativnih tehnologija u različitim oblastima, kao što su energetska efikasnost, komunikacione tehnologije i saobraćaj. Potreba za pametnim gradovima je naglašena sve većim porastom broja stanovnika i širenjem obuhvata urbanizacije, koji su barijere za postizanje održivog urbanog razvoja. Održivost je prepoznata kao jedan od glavnih pokretača pametnog grada, čiji je cilj suzbijanje potrošnje resursa suočenih sa klimatskim pritiscima u eri masovnog urbanog razvoja. Održivi transportni sistem je suštinska komponenta održivog razvoja urbane infrastrukture. Iako je brza urbanizacija izazvala ogroman pritisak na sisteme gradskog prevoza, nekoliko inovativnih transportnih tehnologija može pomoći gradskim vlastima da postignu ili se približe konceptu održivog urbanog razvoja.

Jedan od glavnih preduslova za dostizanja koncepta održivog razvoja u gradovima je da isti moraju da koriste značajno manje količine energije kako bi se, između ostalog, dostigli agresivni ciljevi za smanjenje emisije gasova staklene bašte postavljeni od strane velikog broja država širom sveta radi ispunjenja dogovora postignutih kroz različite međunarodne sporazume tokom nekoliko poslednjih decenija. Ovaj rad upravo ukazuje na načine kako pametni gradovi mogu da smanje emisije gasova staklene bašte i analizira pametan saobraćaj i transport u pametnim gradovima.

## **2. KONCEPT PAMETNIH GRADOVA**

Termin pametni grad se prvi put u teoriji i praksi pojavio krajem XX veka [2] sa uvođenjem novih tehnologija i komunikacija u upravljanje urbanim sredinama. Kao koncept u nastajanju, njegova definicija se i dalje stalno menja i revidira. Jedna od definicija koja se često koristi za sveobuhvatni opis koncepta ukazuje da je pametni grad složen, međusobno povezan sistem koji primenjuje nove tehnologije za efikasnije upravljanje širokim spektrom gradskih usluga, kao što su javni i privatni transportni sistemi, energetske i vodni resursi, planovi civilne zaštite, vitalnost javnih i komercijalnih prostora, obaveštavanje o incidentima itd. [2].

Ključna pitanja koja su se kontinuirano javljala u vezi sa konstantnim ubrzanjem priliva stanovnika u gradove, njihovim širenjem i pokušajima što bolje organizacije života su u stvari glavni domen u okviru koncepta pametnih gradova. Iskustvo je pokazalo da je kod gradova koji usvoje pametne tehnologije i koriste pametne strategije za njihovu primenu moguće očekivati poboljšanje kvaliteta života stanovnika i ostvarivanje leaderske pozicije na globalnoj sceni. Prelazak u pametnije gradove se već dešava na mnogim mestima širom sveta. U budućnosti će globalna „raspoloživost“ pametnih gradova rasti što pokazuje koliko ozbiljno svetske urbane sredine shvataju tranziciju ka pametnim gradovima. Tokom narednih godina bi svet trebalo da postane svedok nastajanja mnoštva pametnih gradova i inovacija u upravljanju gradskim uslugama.

Koncept pametnog grada je zasnovan na četiri osnovne ideje:

- ekološka i energetska pitanja;
- fluidna komunikacija između aktera u urbanom tkivu - građani, preduzeća, institucije;
- zajedničko korišćenje dobara i usluga, uz aktivno učešće korisnika u njihovom osmišljavanju i razvoju;
- integracija modernih informacionih i komunikacionih tehnologija (IKT), robotike i pametnih transportnih sistema i promena ponašanja i načina korišćenja od strane građana.

Pametni gradovi uobičajeno poseduju sledeće karakteristike i mogućnosti:

- uređaje koji snimaju saobraćajne tokove u realnom vremenu kako bi informisali vozače radi boljeg planiranja svojih putanja kretanja i olakšali odluke o urbanom razvoju (politike urbanizacije, raspored i proširenje puteva, itd.);
- uređaje koji u realnom vremenu prikazuju zauzetost javnih parkirališta i mesta za iznajmljivanje automobila i bicikala radi optimizacije protoka saobraćaja, korišćenja prostora i transportnih sredstava;
- geolociranje vozila javnog prevoza u realnom vremenu za preciznu procenu i praćenje rasporeda, kako i obaveštavanje korisnika o dostupnosti;
- uređaje koji mere popunjenost kontejnera za smeće da bi se optimizovalo sakupljanje;
- merenje nivoa zagađenja u realnom vremenu kako bi se upozorilo stanovništvo i poboljšale javne politike po tom pitanju;
- tehnologije za identifikaciju i upozoravanje na opasnosti (poplave, požari, oluje, uragani) kako bi se uspostavili odgovarajući mehanizmi prevencije i reagovanja (npr. preventivne evakuacije, službe hitnih intervencija, službe pomoći, itd.);
- urbani video nadzor kao podrška sistemu bezbednosti u gradskim sredinama.

Sasvim je jasno da je pametni grad u velikoj meri oslonjen na korišćenje IKT za poboljšanje kvaliteta urbanih usluga sa ciljem da se olakša organizacija grada. Istovremeno, neprekidan napredak različitih tehnologija utiče na poboljšanje sopstvenog funkcionisanja i stvara nove mogućnosti korišćenja i pogodnosti za građane, preduzeća i javne usluge. Pametni grad uključuje i podatke prikupljene od građana. Ovi podaci se obrađuju i analiziraju kako bi se osigurala podrška praćenju i upravljanju saobraćajnim i transportnim sistemima, elektranama, sistemima vodosnabdevanja, upravljanju otpadom i dr. Prikadno je istaći i koncept Internet of Things (IoT) zbog njegove stalne upotrebe u pametnim gradovima, jer pruža visoku replikabilnost, skalabilnost, interoperabilnost i održivost, što daje priliku da se ujedine i iskuse rešenja koja su potrebna bilo kojoj zajednici u svojoj oblasti, a to je moguće zahvaljujući IKT. Važno je imati na umu da je većina trenutno digitalizovanih gradova, prethodno imala adekvatnu IKT infrastrukturu, tako omogućavajući razvoj naprednih modela za gradove u nastajanju i zemlje u razvoju.

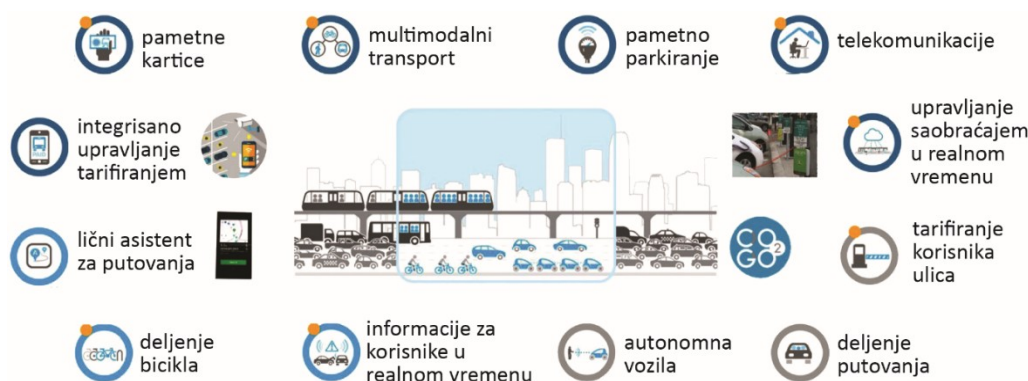
Kroz korišćenje tehnologije u upravljanju pametnim gradovima pokušava se postići optimizacija efikasnosti gradskih operacija, kao i usluga i povezivanje sa građanima. Jedan od izazova pametnih gradova je da iskoriste prednosti novih digitalnih tehnologija za poboljšanje svakodnevnog života. U tom kontekstu, održivi razvoj i priroda igraju veoma važnu ulogu u kvalitetu života u gradu. Rad na poboljšanju kvaliteta života građana uz istovremeno očuvanje životne sredine predstavlja izazov. Ekologija postaje stvarna briga, a mnogi gradovi se kreću ka modelu urbanog razvoja gde se „pametno“ susreće sa održivim. Gradovi sutrašnjice će kombinovati više savremenih tehnologija kako bi pružili bolji ekološki aspekt života.

Ciljevi korišćenja tehnologije u pametnim gradovima moraju biti rasprostranjenost i dostupnost boljeg kvaliteta života za sve, te stoga treba početi sa primenom rešenja koja su besplatna ili pristupačna, široko rasprostranjena i koja pozitivno utiču na širu sliku samog grada. U središtu pametnih gradova se nalazi održivost izvora energije i očuvanje kvaliteta životne sredine. Pametna tehnologija treba da se iskoristi kako bi se očuvale vodene i zelene površine u gradu i unapredila energetska održivost u sredinama sa sve većim brojem stanovnika jer je cilj da domicilno stanovništvo i stanovništvo koje se doseljava u grad ima prijatno okruženje za život i rad. Dakle, pametni grad ne treba shvatiti kao urbanu sredinu opremljenu tehnologijom, već grad koji uspeva da iskoristi tehnologiju da unapredi kvalitet života.

Saobraćaj je jedna od glavnih oblasti u kojoj se razvijaju i ispituju rešenja za pametne gradove, zbog uticaja koji saobraćaj ima na gradske zajednice. Pod saobraćajem se podrazumeva prevoz ljudi, transport robe i usluga, trgovina korišćenjem različitih vidova (drumski, vazdušni i vodni saobraćaj), infrastruktura koja omogućava saobraćaj, učesnike u saobraćaju, njegov učinak na privredu - dakle, u velikoj meri saobraćaj oblikuje život u gradu. Saobraćaj i urbanizacija su neraskidivo povezani, pri čemu problemi koji se tiču održivosti urbanizacije stvaraju probleme održivosti saobraćaja u gradskim sredinama i obratno. Stoga inicijative koje žele da sprovedu ideju pametnog grada obavezno moraju rešiti i probleme saobraćaja.

### 3. MOBILNOST U PAMETNIM GRADOVIMA I UTICAJI NA ŽIVOTNU SREDINU

Na Slici 1. se vidi da se pametni saobraćaj, odnosno pametna mobilnost sastoji od različitih digitalnih rešenja usmerenih na optimizaciju potražnje i ponude u kretanju ljudi i dobara. Dostupnost različitih podataka iz prošlosti i u realnom vremenu, uz pomoć IKT, omogućava optimizaciju vremena putovanja, što rezultira smanjenjem korišćenja prostora, zagušenja na ulicama, saobraćajnih udesa i emisije štetnih gasova.



Slika 1. Koncept pametne mobilnosti [3]

Pametna mobilnost se može posmatrati kao okvir koji čine infrastruktura i učesnici. Ovaj okvir prati situaciju u saobraćaju u realnom vremenu i omogućava analizu podataka koje prikupljaju različite vrste senzora. Time se mogu uočiti poteškoće, ali, što je još važnije - ovi podaci se mogu iskoristiti za prediktivnu analitiku i preduprediti kasniji problemi. Upotrebna vrednost ovog znanja ogleda se u smanjenju troškova, boljem planiranju, manjem uticaju na životnu sredinu, što sve zajedno doprinosi boljem kvalitetu života u gradu. U okviru pametne mobilnosti postoje različiti sistemi od kojih se nekoliko ističe u domenu ispunjenja ciljeva održivog razvoja.

Čest problem za vozače u gradu je parkiranje tokom radnog vremena ili u kasnim satima. Potraga za slobodnim parking prostorom ne samo da je dosadna, ona takođe izaziva saobraćajne gužve, aktivno doprinosi zagađenju vazduha i utiče na raspoloženje vozača i putnika. Inteligentni sistemi za parkiranje mogu ponuditi rešenje za ovaj problem. Sistem pametnog parkiranja se odnosi na upotrebu podataka prikupljenih iz senzora koji se nalaze na parkiralištima ili u specijalnim vozilima. Vozila koja napuštaju parking mesta se automatski identifikuju. Ti podaci pružaju uvid u situaciju na određenim parkiranjima, a korisnici se obaveštavaju o slobodnim kapacitetima za parkiranje. Ovde je posebno važno to što učesnik u saobraćaju ne mora da vozi sve do parkinga kako bi tek pošto stigne shvatio da je mesto popunjeno. Već prilikom uključanja u saobraćaj algoritam koji obrađuje podatke pokazao bi preko mobilne aplikacije vozaču kuda da se uputi. Koristeći prikupljene podatke, sistem vrši nekoliko funkcija: smanjuje vreme i gorivo koje vozači utroše tražeći slobodno mesto za parkiranje, smanjuje gužvu na ulicama, prikuplja informacije o broju slobodnih parking mesta na određenim lokacijama i potom šalje te podatke vozačima, što smanjuje emisiju štetnih gasova.

Sistem za procenu i predikciju saobraćaja obuhvata širok skup procesa koji prate, analiziraju i kontrolišu tok saobraćaja i poboljšavaju trenutnu situaciju. Kako bi sistem inteligentnog saobraćaja mogao funkcionisati, neophodno je da prikuplja veliku količinu podataka, poželjno u realnom vremenu i iz različitih izvora, što bi omogućilo donošenje relevantnih odluka. U ovom slučaju je neophodna upotreba prediktivne analitike. Sistemi javnog prevoza takođe mogu imati koristi od ove vrste razmene podataka. Povezani senzori su u stanju da identifikuju trendove u vožnji i u zavisnosti od perioda dana, tako da mogu prilagoditi kapacitet vozila i frekvenciju u skladu sa tim. Dodatno, sami korisnici javnog prevoza upotrebom mobilnih aplikacija za validaciju karata omogućavaju informisanje dispečera javnog saobraćaja o popunjenosti vozila i potrebnom

broju vozila na određenoj liniji i/ili području. Povratna informacija ka korisnicima, osim klasičnog podatka o broju stanica i vremenu dolaska vozila, bi obezbedila saznanje o popunjenosti vozila javnog prevoza koji pristiže na stanicu i mogućnost izbora u vezi sa nastavkom putovanja.

Paradigma "mobilnost kao usluga" (*Mobility as a Service - MaaS*) predstavlja napredak u odnosu na prethodna dva sistema, jer predstavlja suštinsku promenu modela, od ličnih automobila se prelazi na model prevoza koji se pruža kao usluga (uz kombinovanje javnog gradskog prevoza, autonomnih vozila, povezanih vozila, električnih vozila, deljenje vozila i vožnji). Složenost ove paradigme iziskuje postojanje pametnih telefona, velike količine podataka, saradnju prevoznika i mobilnih operatera, ali i fizičku, infrastrukturnu podršku koja će omogućiti razmenu podataka. Ovom razmenom se stiče uvid u obrasce kretanja, što doprinosi optimizaciji infrastrukturne mreže, pa samim tim i dovodi do efikasnijeg kretanja sa manjim troškovima, a posredno većoj ekološkoj bezbednosti [4].

Inteligentni sistem saobraćajne signalizacije može pomoći u smanjenju zagađenja vazduha u gradu. Fleksibilno se prilagođava protoku saobraćaja kako bi se sprečile saobraćajne gužve na preopterećenim delovima gradske putne mreže. Saobraćajne kamere i senzori postavljeni u kolovoznim površinama mogu da ažuriraju faze svetlosne signalizacije u realnom vremenu prenosom podataka o saobraćaju na centralizovanu platformu za upravljanje. Takav sistem ima direktan uticaj na zagušenja i emisiju štetnih gasova.

Pametna ulična rasveta je takođe sastavni deo grada sutrašnjice. Moderni uređaji mogu da skladište energiju i mudro je koriste podešavanjem nivoa osvetljenosti na osnovu broja ljudi i vozila koji prolaze kroz područje. Tokom npr. kasnih sati, osvetljenost se može povećati kada se ljudi približavaju pešačkim prelazima i/ili autobuskim stanicama. Takođe, može se odmah uputiti signal gradskim službama kada je potrebna zamena svetlosnih tela, kako bi se tehničar za održavanje uputio na teren.

Konačno, još jedan primer kako tehnologija može da upravlja u gradu je tretman komunalnog otpada. U mnogim gradovima organizovanje sakupljanja smeća postaje veliki problem. Danas, većina kompanija za prikupljanje gradskog otpada i dalje uklanja otpad prema nefleksibilnim, dugoročnim rasporedima i rutama. Međutim, integracijom IoT aplikacija i senzora sa kontejnerima, optimizovane rute se mogu definisati na dnevnoj bazi [2].

Glavni aspekt pametne mobilnosti je mogućnost povezivanja [5]. Zahvaljujući povezivanju i velikoj količini podataka, korisnici mogu da prenose različite informacije o saobraćaju u realnom vremenu, a administratori sistema mogu istovremeno da vrše dinamičko upravljanje, kao i da odmah prenesu podatke vezane za mobilnost korisnicima mobilnih aplikacija, kako bi se osiguralo pametno, lako i jednostavno putovanje. Preduslov je da građani treba da znaju kako mogu koristiti mobilne aplikacije i da razumeju da je osnovna upotrebna vrednost tih aplikacija brže se prevesti od jedne do druge lokacije. Takođe, sigurnost korišćenja podataka i bezbednost ličnih podataka korisnika u svakom momentu moraju biti osigurani. Popularizacija i ohrabivanje korišćenja pametnih rešenja od strane građana tokom njihovog kretanja kroz grad je još jedan od bitnih uslova koji bi se mogao zadovoljiti objašnjavanjem konkretnih prednosti.

#### 4. PRIMERI IZ PRAKSE PAMETNIH GRADOVA U SVETU

Kao što se može zaključiti, ono što grad zaista čini pametnim sa aspekta saobraćajne infrastrukture i kretanja jesu njegove operacije upravljanja saobraćajem. U nastavku se daje prikaz nekoliko primera iz prakse u gradovima koji se iz perspektive upravljanja saobraćajem i saobraćajnom infrastrukturom smatraju najpametnijim na svetu.

##### 4.1. Šenžen, Kina

Treći najnaseljeniji grad u Kini, Šenžen (*Shenzhen*) je takođe poznat kao kineska Silicijumska dolina zbog svog naprednog razvoja tehnologije. Šenžen je uspeo da usvoji korišćenje veštačke inteligencije i tehnologiju obrade i korišćenje velikih količina podataka u različitim sektorima, pa i u saobraćaju i transportu. Upravljanje saobraćajem takođe obuhvata Šenžen metro koji je četvrti po dužini na svetu [6].

Grad Šenžen osigurava ravnotežu između brzo rastuće populacije i njegove potrebe za mobilnošću. Sektor informacionih tehnologija je odigrao veliku ulogu kada je u pitanju pametno upravljanje saobraćajem i značajno pomogao u naporima da se poboljša nivo saobraćajnih usluga u gradu. Više od 20.000 video kamera je instalirano radi nadgledanja saobraćaja na gradskoj putnoj mreži i pomoći u uspešnom upravljanju

operacijama. Upotrebom ovih tehnika (Slika 2) se može dobiti daleko tačnija slika o uslovima u saobraćaju, a i svest vozača o saobraćajnoj situaciji je takođe značajno poboljšana. Sistem funkcioniše centralno, tako da su poznate sve informacije u datom trenutku o saobraćaju u gradu, bilo da se radi o putu, autobusu ili metrou. Ključni statistički podaci nisu ograničeni na dnevne brojke, već na nedeljne, mesečne i godišnje kako bi se identifikovali obrasci i predvideli nivoi saobraćaja za naredna 24 sata ili narednu nedelju, a sve zahvaljujući video analitici velikih podataka [6].



**Slika 2.** Javni prostor pametnog grada Šenžena: 1 - stanovnik koji se vozi iznajmljenim biciklom prolazi pored e-policijske stanice; 2 - nadzorna kamera na gradskom trgu; 3 - štand podrške pametnoj zajednici; 4 - javni prikaz komercijalnih informacija [7]

Jedna od skorašnjih tehnoloških inovacija koja pomaže da se stanovnici ovog grada održavaju u pokretu sa zadovoljavajućim nivoom usluge je integracija sa projektom naplate putarine unutar Kine sa slobodnim protokom saobraćaja. Ranije je bilo neophodno zaustavljanje na naplatnoj stanici, a sada se koristi tehnologija slobodnog protoka i vozila se ne moraju zaustavljati na naplatnoj stanici. Računi se automatski dele između operatera i vozača, pri tome štedeći vreme, smanjujući redove, a samim tim i emisiju ugljeničnih i azotnih jedinjenja što se pokazalo veoma povoljno kada je životna sredina u pitanju.

Šenžen koristi tehnologiju veštačke inteligencije da doda inteligentne elemente svom sistemu za praćenje saobraćajnih kamera. Ranije su kamere korišćene samo u svrhe nadgledanja bez razumevanja šta se dešava na putnoj mreži. Sada, zahvaljujući primeni veštačke inteligencije i korišćenjem algoritama za učenje/treniranje i prepoznavanje, uređaji razumeju šta se dešava, npr. na jednoj lokaciji se dogodi saobraćajni udes, na drugoj zagušenje i sl. Dok kamere automatski otkrivaju ove neplanirane događaje i odmah obaveštavaju kontrolni centar, hitne službe se uzbuđavaju i kreću u intervenciju mnogo brže, određene situacije na mreži se rešavaju preddefinisanim algoritmima ili pojedinačnim komandama, tako da je ceo proces efikasniji. Što se tiče samih korisnika, građani Šenžena mogu da preuzmu aplikaciju koja sadrži sve aktuelne informacije o saobraćaju, od nivoa gužve do metroa, taksi usluga, pa čak i da rezervišu parking mesto. Ceo sistem ima veliku ulogu u zaštiti životne sredine iz ugla smanjenja emisije štetnih gasova.

#### 4.2. Pert, Zapadna Australija

Ono što grad Pert (*Perth*) čini najpametnijim gradom Australije je pametna strategija i predvidivo putovanje. Ova „pametna“ strategija je zahtevala ciljano zapošljavanje u okviru upravljačkog tima sa iskustvom u svetskim gradovima i iskustvom u upravljanju zagušenjima kako bi se snimali glavni potezi gradske mreže, a vozači informisali o alternativnim delovima gradske mreže bez saobraćajnih gužvi. U osnovi ove strategije je bio razvoj potpuno novog, savremenog, multifunkcionalnog, višestruko istreniranog operativnog centra putne mreže (*Road Network Operations Centre - RNOC*) koji ima veliki uticaj kada je, osim organizacije i upravljanja saobraćajem i transportom, u pitanju i zaštita životne sredine. RNOC (Slika 3) je namenski izgrađen objekat, dizajniran da optimizuje bezbednost putne mreže, performanse i upravljanje zagušenjima. RNOC omogućava blisku saradnju sa ekipama koje prve reaguju u upravljanju operacijama u realnom vremenu, hitnim incidentima i različitim događajima na putnoj mreži [6].



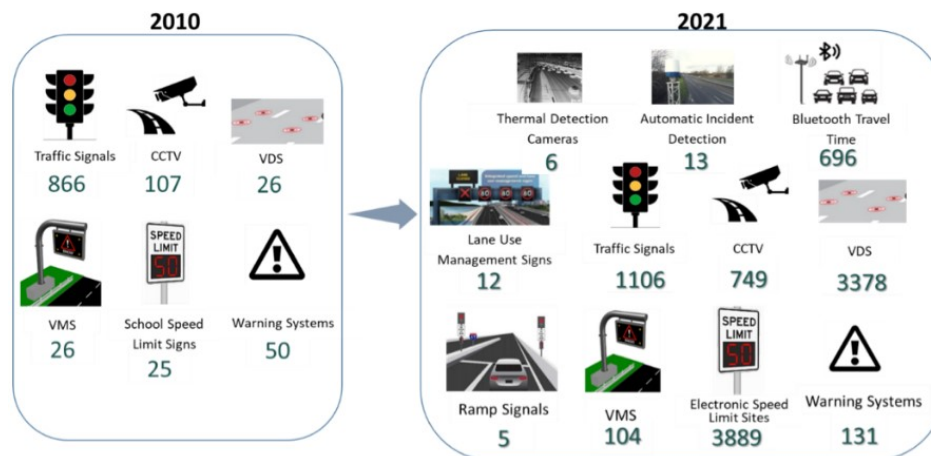


Slika 3. Operativni centar putne mreže RNOC u Pertu [8]

Korišćenje ovog operativnog centra je, zajedno sa ciljanim investicijama za podršku pametnijim analizama podataka, donela smanjenje troškova zagušenja na mreži državnih puteva u Pertu, a samim tim je smanjena i emisija štetnih gasova. Ključ ovog uspeha je bila sposobnost merenja pokazatelja učinka i mogućnost višedimenzionalne analize 29 državnih puteva u realnom vremenu kao podrške ciljanim operacijama i investicijama. Kroz razvoj sistema prikupljanja i kontrole podataka u kombinaciji sa IKT uređajima, pametna infrastruktura se značajno povećala u poslednjih 10 godina. Pri tome je uvećanje eksponencijalno u poslednje tri godine sa nizom novousvojenih tehnologija koje su primenjene na prvom pametnom autoputu koji koristi sisteme za upravljanje zagušenjima putem elektronskih znakova za upravljanje korišćenjem traka, signalima na koordinisanim rampama i otkrivanje zaustavljenih vozila putem radara (prvi u Australiji). U Pertu se kontinuirano razvijaju pametni sistemi i obučava osoblje sa ciljem pretvaranja informacija u inteligenciju radi podrške informisanom neprekidnom donošenju odluka koje će podržati viziju koja se odnosi na savršena predvidiva putovanja [6].

### 4.3. Moskva, Rusija

Centar za kontrolu saobraćaja u Moskvi (*Moscow*) je danas moćan tehnološki centar, koji primenjuje najsavremenije informacione tehnologije za upravljanje saobraćajem. Od 2011. godine je razvijen inteligentni transportni sistem (Slika 4), zahvaljujući kome se ne samo posmatra protok saobraćaja u realnom vremenu, već i prognoziraju saobraćajne situacije, regulišu transportni tokovi i prati situacija sa važnim objektima saobraćajne infrastrukture. Moskovski centar za kontrolu saobraćaja upravlja sistemom koji kontroliše više od 40.000 semafora, 185 informacionih ekrana, više od 3.000 foto i video kamera za praćenje kršenja saobraćajnih pravila i 3.900 senzora.



Slika 4. Moskva - implementacija pametnih tehnologija [9]

Digitalni bliznac Moskve je prototip pravog grada, na osnovu kojeg je moguće analizirati realno stanje na putevima, odgovore na moguće promene i spoljne uticaje. To je tačan odraz grada u digitalnom carstvu u skladu sa raspoloživim informacijama koje dolaze od različitih senzora, sistema za praćenje i brojača učesnika u saobraćaju. U Moskvi funkcioniše dinamički transportni model, koji omogućava da se u realnom vremenu proceni situacija u drumskom saobraćaju, naprave kratkoročne prognoze i neprekidno obaveštavaju stanovnici. Moskovljani dobijaju SMS poruke i obaveštenja na svoje pametne telefone o

promenama u sistemu javnog prevoza i saobraćajnoj situaciji. Distribucija informacija je definisana na osnovu načina ponašanja u kretanju, profila i situacione pozicije određene osobe. Više od 4,5 miliona stanovnika Moskve dobija ove informacije.

Sve usluge transporta i upravljanja saobraćajem Moskve gravitiraju ka međusobnoj integraciji tako da se korisnici osećaju prijatno koristeći ih. Da bi rešila zadatak, Moskva je prihvatila MaaS koncept mobilnosti. Objedinjene su sve transportne usluge putem kojih je moguće definisati multimodalne rute, iznajmljivati taksi vozila, rezervirati automobile, dobiti informacije o dolascima autobusa i tramvaja u realnom vremenu i proveriti raspoloživi kapacitet javnog prevoza.

Moskva se pridržava i međunarodnog koncepta Vision Zero, koji pomaže u uspostavljanju mera za povećanje bezbednosti saobraćaja. Na osnovu ovog koncepta je planirana bezbedna putna i saobraćajna infrastruktura. U proteklih 10 godina reorganizovan je saobraćaj na 80% putne i ulične mreže u Moskvi. Osim poboljšanja stanja u domenu bezbednosti saobraćaja, ovo je dovelo i do smanjenja zagađenja u glavnom gradu Rusije, ali i u njegovoj okolini [6].

#### 4.4. Las Vegas, SAD

Brzo rastuća populacija Las Vegasa (*Las Vegas*) se bori sa saobraćajnim zagušenjima, što u proseku rezultira sa preko 2.600 dolara godišnje po vozaču u gubitku plata, udesima, povećanju potrošnje goriva i habanju vozila. U širem smislu, gradsko područje se moralo suočiti sa povećanom emisijom gasova iz vozila, uticajem gasova sa efektom staklene bašte i značajnim količinama čvrstih čestica u vazduhu. Usled toga grad je izložen velikim ekonomskim gubicima zbog kašnjenja, povećanja troškova osiguranja, zdravlja stanovništva, troškova goriva, pa čak i preseljenja preduzeća zbog neefikasnog putovanja u gradu. Zbog toga je opredeljenje da se modeliranje saobraćaja i veštačka inteligencija iskoriste za praćenje i upravljanje saobraćajnom infrastrukturom. Kao jedan od lidera u primeni koncepta pametnog grada, Las Vegas ulaže u širok spektar pametnih rešenja. Grad je dao značajan prioritet ulaganju u inteligentne transportne sisteme (ITS) kako bi poboljšao efikasnost i bezbednost na putevima širom regiona.

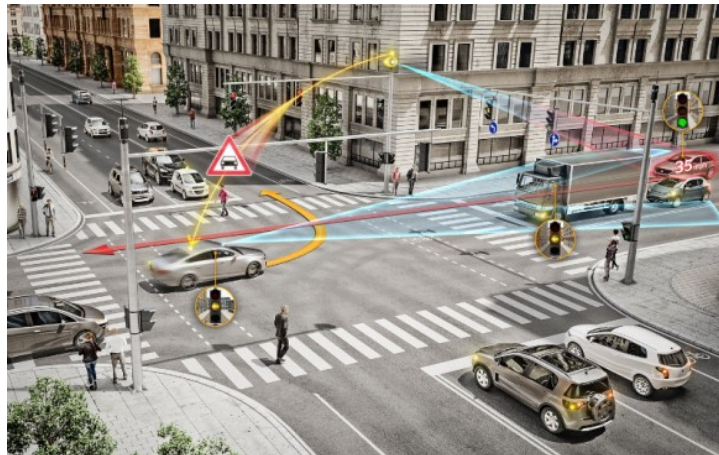
Strateški okvir [10] koji je usvojen kao vizija za ovaj pametan grad obuhvata:

- Mobilnost - Bezbedan i efikasan transport ljudi i roba širom grada Las Vegasa je kritičan, posebno sa aspekta saobraćajne infrastrukture koju prati sve veći broj stanovništva. Projekti fokusirani na mobilnost pokrivaju niz tehnologija i aplikacije koje povezuju resurse i sisteme širom grada sa ciljem da se povećaju bezbednost na putu i olakša kretanje;
- Infrastruktura - Povećanje korisnosti, komunikacija i transportnih sredstava kao što su primena kablova sa optičkim vlaknima i postavljanje bežične mreže na čitavoj teritoriji grada igraju bitnu ulogu kada je reč o povezivanju građana sa gradskim službama;
- Analiza podataka - Grad se prvenstveno fokusira na prednosti modernih tehnologija, tj. na prikupljene informacije na teritoriji grada. Regionalno raspoređeni senzori i telekomunikaciona oprema će pomoći u analizi podataka kako bi se pružilo više efikasne gradske službe kada je saobraćaj u pitanju;
- Dogoročno planiranje - Aplikacija Smart Vegas je kreirana kako bi povezala stanovnike Las Vegasa sa preduzećima, turistima i ostalim stanovništvom. Pametni projekti koji se odnose na pametan saobraćaj grade modernu svest zajednice i prenose informacije o gradskim uslugama kao i saobraćaju u Las Vegasu stanovnicima, turistima i preduzećima. Sve informacije se prate putem aplikacije Smart Vegas.

Sistem upravljanja saobraćajem primenjen u i oko Las Vegasa je više od tehnološkog napretka, on je i poslovni model koji vodi privatni sektor. Investirano je oko 4 miliona dolara za digitalno ubrzanje i time omogućena realizacija projekta Blackjack. Sistem upravljanja saobraćajem poseduje jedinstvenu kombinaciju klasičnih i naprednih načina kontrole i upravljanja saobraćajem. Obezbeđena je podrška za povezana i autonomna vozila, pružajući osnovu za buduće upravljanje saobraćajem i integrisano multimodalno upravljanje. Odabrane raskrsnice (Slika 5) su takođe opremljene Lidar tehnologijom koja omogućava detaljnu procenu ponašanja pešaka na raskrsnicama uključujući stvarno vreme potrebno za prelazak ulice i broj pešaka koji čekaju da pređu. Ovo je suštinska komponenta u upravljanju mobilnošću koja vodi ka poboljšanju pravičnosti u utvrđivanju mogućih aktivnosti kretanja. Umesto da pretpostavi prosečnu brzinu hoda za sve pešake, sistem može prilagoditi vreme faze pešaka karakteristikama pojedinačnog pešaka.

Takođe, svaka raskrsnica je opremljena namenskom komunikacijom kratkog dometa (*Dedicated Short-Range Communications - DSRC*), bežičnim primopredajnicima koji omogućavaju komunikaciju vozilo-vozilo i vozilo-infrastruktura. Uređaji su takođe sposobni da podrže i nove standarde za komunikaciju između

mobilnih vozila i infrastrukture. Ovo omogućava inženjerima za saobraćajnu signalizaciju i upravljačima transporta različite slučajevne upotrebe za poboljšanje bezbednosti, održivosti i korisničkog iskustva.



Slika 5. Pametna raskrsnica u Las Vegasu [11]

Ono što je započelo kao igra u saobraćaju i transportu, brzo se pretvorilo u strategiju ekonomskog razvoja i zaštite životne sredine kako bi se poboljšala reputacija Las Vegasa kao jedne od vodećih svetskih turističkih destinacija.

#### 4.5. Dubai, Ujedinjeni Arapski Emirati

Ministarstvo energetike i infrastrukture u Dubaiju (*Dubai*) je razvilo računarsku podršku koja služi kao osnova za dugoročne odluke vezane za upravljanje imovinom (materijalnom i nematerijalnom), kao saobraćajem i bezbednošću. Računarski program je prvobitno instaliran 2012. godine u Ministarstvu i od tada se razvijao. Omogućeno je skladištenje, analiza i obrada informacija koje se odnose na geometriju puteva, inventar imovine i njeno stanje, kolovoz i njegovo stanje, nagibe kosina i njihovo stanje, informacije o saobraćaju (obim i klasifikacija), udese i dnevne neočekivane događaje. Sve informacije mogu biti grafički povezane i predstavljene pošto je svaki pojedinačni podatak povezan preko geografskih referenci dobijenih globalnim sistemom pozicioniranja i merenjem dužine/rastojanja. Sistem može da proizvodi izveštaje i GIS slojeve za predstavljanje podataka, a takođe može da se izveze na kontrolnu tablu radi prikaza informacija [6].

Predviđanje, podržano računarskim programima, je omogućeno kroz korišćenje različitih alata veštačke inteligencije koji sami uče iz procesa periodičnog prikupljanja podataka. Postoji i mobilna aplikacija koja beleži i sinhronizuje bazu podataka događaja (proizvedeno usled neočekivanih događaja na putevima), preglede mostova itd. Što se tiče komponenti za upravljanje saobraćajem, koriste se različite tehnologije koje prikupljaju informacije za podršku sistemu. Ove tehnologije se razlikuju u skladu sa prirodom prikupljenih podataka. Npr. za pešačke staze i kolovozne trake se koriste vozila visokih performansi za snimanje inventara i geometrije pomoću fotogrametrije [6]. Pored toga, drugi tip vozila se koristi za prikupljanje podataka o stanju kolovoza (kao što su laserski profilometri, laserske kamere za skeniranje i deflektometri), koji su neophodni za predviđanje stanja kolovoza i predviđanje aktivnosti održavanja i upravljanja.



Slika 6. Koncept pametnog sistema za praćenje brzine u Dubaiju [12]

Automatske stanice za brojanje vozila i senzori ugrađeni u kolovoz (Slika 6) pružaju trenutne i istorijske informacije o vozilima koja koriste mrežu, obezbeđujući veoma korisne parametre za upravljanje saobraćajem i predviđanje ponašanja, kao i za definisanje intervencija po pitanju održavanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Ideja pametnih gradova je upravljati svim sredstvima jedne urbane sredine radi unapređenja kvaliteta života građana i pravovremene procene učinkovitosti rešenja koja se primenjuju u gradu. Ovime se postiže bolja komunikacija između građana i gradskih vlasti, što dovodi do bolje koordinacije i ispunjenja potreba stanovnika. Osnovne oblasti primene koncepata i rešenja pametnih gradova jesu zdravstvo, školstvo, upravljanje vodom, otpadom, komunalnim uslugama, prevoznim sredstvima i saobraćajnom infrastrukturom.

Moć velike količine podataka u kontekstu pametnog saobraćaja od velikog je značaja za sprečavanje problema i uvođenje trendova koji će poboljšati saobraćaj i korisničko iskustvo u pametnom gradu. Suština velike količine podataka u ovom smislu jeste izgraditi dovoljno pouzdan sistem, zasnovan na istorijskim i trenutnim podacima, koji pruža informacije o sadašnjem i budućem stanju na saobraćajnicama. Da bi ovo bilo moguće, potrebni su fini mehanizmi obrade podataka koji bi podržali akcije upravljanja, ali i raspoloživost i obučenost iskusnog kadra koji će umeti da donesu zaključke na osnovu dobijenih informacija.

Podaci moraju da budu u službi celokupne zajednice, a naročito u kontekstu pametnih gradova, čiji je osnovni zadatak dobrobit svih stanovnika grada. U ovom smislu, veliki podaci mogu biti od značajne pomoći, jer će ukazati na oblasti koje se mogu unaprediti, ali i doneti korist u materijalnom smislu. Sredstva koja su uštedena mogla bi se iskoristiti za dalje unapređenje života u gradu. Pored toga, time će biti unapređena i ekološka bezbednost, pošto će bolji kvalitet saobraćaja, kao i tehnološka rešenja koja ciljaju manji utrošak energije, pomoći da se dostignu ciljevi predviđeni ekološkim standardima.

U smislu poboljšanja stanja životne sredine u urbanim sredinama, iskustvo pokazuje da je najbolje primeniti pametne tehnologije za gradove srednje veličine koji još nisu potpuno razvijeni, ali sadrže sve ključne komponente potrebne za realizaciju. Bitan aspekt su ulaganja u fazi planiranja i izgradnje. Gradovi u fazi razvoja imaju jednostavnu infrastrukturu i pružaju više prostora za izgradnju kvalitetnije gradske baze. Pametne tehnologije mogu primeniti i manji gradovi, ali neće imati mnogo koristi od iste jer ne mogu da iskoriste puni potencijal pošto nivo razvoja i korišćenja gradskih sistema ne zahteva mogućnosti naprednih tehnologija. Veliki gradovi mogu primeniti pametne tehnologije sa velikim potencijalom uspeha, ali zbog postojanja komplikovane infrastrukture i usluga koje obezbeđuju sama realizacija je izuzetno zahtevna, dugotrajna i skupa.

Konačno, svaki pametan grad mora imati i „hrabre i vešte“ stanovnike koji će koristiti savremene tehnologije i pogodnosti koje pametni grad obezbeđuje kako je planirano. Generalno, postoji potreba za podizanjem svesti među ljudima o štetnom uticaju zagađenja životne sredine na sve, kao i svih prednosti modernih tehnoloških rešenja jer, ponovićemo još jednom, pametni grad ne treba shvatiti kao urbanu sredinu opremljenu tehnologijom, već grad koji uspeva da iskoristi tehnologiju da unapredi kvalitet života.

## Literatura

- [1] 2016. *Pathways to Urban Sustainability: Challenges and Opportunities for the United States*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, D.C. USA. 192 p.
- [2] Drajić, D. 2018. *Pametni gradovi*. Akademska misao Beograd. 109 p.
- [3] Khanna, K.; Udhani, K.; Kothari, D.; Shah, K.; Gohil, V.; Chaudhari, A. 2015. *Exploring City Smartness*. Delhi. India.
- [4] Chourabi, H.; Gil-Garcia J. R.; Pardo T.A.; Scholl H.J.; Walker S.; Nahon K. (2012). Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. 45th Hawaii International Conference on System Sciences. 2289-2297.
- [5] Pinna, F.; Masala, F.; Garau, C. 2017. Urban Policies and Mobility Trends in Italian Smart Cities, *Sustainability* 9(4): 494.
- [6] Three more smart cities in traffic management: Las Vegas, Dubai, Shenzhen. (on-line) dostupno na: <https://www.intertraffic.com/news/traffic-management/three-more-smart-cities-in-traffic-management-las-vegas-dubai-and-shenzhen> (25.02.2023)
- [7] Richard, H. (2019). The State of Smart Cities in China: The Case of Shenzhen, *Energies*, 12(22): 4375

- [8] (on-line) dostupno na: [https://live-production.wcms.abc-cdn.net.au/07868882361ee9536657b4c2e9e0524d?impolicy=wcms\\_crop\\_resize&cropH=562&cropW=1000&xPos=0&yPos=0&width=862&height=485](https://live-production.wcms.abc-cdn.net.au/07868882361ee9536657b4c2e9e0524d?impolicy=wcms_crop_resize&cropH=562&cropW=1000&xPos=0&yPos=0&width=862&height=485) (25.02.2023)
- [9] (on-line) dostupno na: <https://assets-prd.raicore.com/-/media/project/rai-amsterdam/intertraffic/news/2021/10-years.png?rev=00117fff69014c7f8ba2b2207710eebe&extension=webp&hash=54B79EBD6716DF40A9EA5895379A9B97> (25.02.2023)
- [10] Smart Vegas, A Forward-focused Plan. (on-line) dostupno na: <https://files.lasvegasnevada.gov/innovate-vegas/Smart-Vegas-A-Forward-Focused-Plan.pdf> (25.02.2023)
- [11] Continental contributes Intelligent Intersection Technology to Smart Cities for Safer Roads. (on-line) dostupno na: <https://www.continental.com/en-us/press/press-releases/continental-contributes-intelligent-intersection-technology-to-smart-cities-for-safer-roads/> (25.02.2023)
- [12] Abouelhamd, I.; Radwan, I.; Abed O. (2020). Conceptual Development Solutions for Traffic Jams & Accidents in Dubai City. (on-line) dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/341488748\\_Conceptual\\_Development\\_Solutions\\_for\\_Traffic\\_Jams\\_Accidents\\_in\\_Dubai\\_City](https://www.researchgate.net/publication/341488748_Conceptual_Development_Solutions_for_Traffic_Jams_Accidents_in_Dubai_City) (25.02.2023)

## ПОТЕНЦИЈАЛ ПРИМЕНЕ „МИКРО“ ВОЗИЛА У СМАЊЕЊУ ЕКОЛОШКОГ ЗАГАЂЕЊА

**Јелица Комарица<sup>1</sup>, маг. инж. саобр.**

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, j.komarica@sf.bg.ac.rs

**др Драженко Главич, дипл. инж. саобр.**

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, drazen@sf.bg.ac.rs

**др Марина Миленковић, дипл. инж. саобр.**

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Резиме:** Све већа урбанизација градова током година, за последицу има константан пораст степена моторизације који све чешће представља узрок настанка саобраћајног загушења. Поред многобројних негативних ефеката којима доприноси загушење у саобраћају, друмски саобраћај има низ негативних утицаја на животну средину. Повећана емисија загађујућих материја и емисија буке од стране моторних возила, доприносе смањењу квалитета ваздуха, а самим тим и квалитета живота свих становника. Једно од могућих решења проблема еколошког загађења градова јесте употреба возила микромобилности. Микромобилност, као релативно нов концепт мобилности, подразумева употребу малих превозних средстава која имају нулту емисију и не емитују буку. Резултати досадашњих истраживања указују да употреба „микро“ возила може значајно допринети смањењу еколошког загађења, узимајући у обзир њихове карактеристике и врсту погона уз помоћ ког се крећу. Имајући у виду претходно наведено, циљ овог рада јесте анализа утицаја возила микромобилности на животну средину као и анализа фактора који утичу на прихватљивост употребе овог вида мобилности од стране јавности. Резултати истраживања указују да возила микромобилности могу имати значајан потенцијал у смањењу еколошког загађења, при чему могу утицати и на промену видовне расподеле кретања. Свеобухватна анализа утицаја возила микромобилности приказана у раду, може представљати корисну основу за доношење одлука приликом дефинисања стратегија за смањење загађења животне средине.

**Кључне речи:** друмски саобраћај, загађење животне средине, возила микромобилности, прихватљивост од стране јавности, видовна расподела.

## THE POTENTIAL OF APPLICATION OF "MICRO" VEHICLES IN REDUCING ENVIRONMENTAL POLLUTION

**Jelica Komarica<sup>1</sup>, M.Sc. T.E.**

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, j.komarica@sf.bg.ac.rs

**Draženko Glavić, Ph.D. T.E.**

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, drazen@sf.bg.ac.rs

**Marina Milenković, Ph.D. T.E.**

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** The increasing urbanization of cities over the years has resulted in a constant increase in the degree of motorization, which is increasingly the cause of traffic congestion. In addition to numerous negative effects caused by traffic congestion, road traffic has a number of negative effects on the environment. The increased emission of polluting substances and the emission of noise by motor vehicles contribute to the reduction of air quality, and therefore the quality of life of all residents. One of the possible solutions to the problem of environmental pollution in cities is the use of micromobility vehicles. Micromobility, as a relatively new concept of mobility, implies the use of small vehicles that have zero emissions and do not emit noise. The results of previous research indicate that the use of „micro“ vehicles can significantly contribute to the reduction of environmental pollution, taking into account their characteristics and the type of drive they use. Bearing in mind the above, the goal of this work is to analyze the impact of micromobility vehicles on the environment, as well as the analysis of factors that influence the acceptability of the use of this type of mobility by the public. The results of the research indicate that micromobility vehicles can have significant potential in reducing environmental pollution, while they can also influence the change in modal shift. A comprehensive analysis of the impact of micromobility vehicles presented in the paper can be a useful basis for decision-making when defining strategies for reducing environmental pollution.

**Key words:** road traffic, environmental pollution, micromobility vehicles, acceptability by the public, modal shift.

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: j.komarica@sf.bg.ac.rs

## 1. УВОД

Многи градови, а нарочите урбане зоне, суочавају се са проблемом саобраћајног загушења и њеним негативним утицајима. Поред многобројних негативних ефеката са економског и друштвеног аспекта, попут дужег времена путовања, повећаног ризика од настанка саобраћајних незгода, повећања трошкова горива и амортизације возила, саобраћајно загушење има значајан утицај на животну средину. Повећана употреба путничких аутомобила са унутрашњим сагоревањем и њихов све већи број, доприносе зависности од фосилних горива и емисија издувних гасова. Већина емисија гасова стаклене баште из транспорта чине емисије угљен-диоксида ( $\text{CO}_2$ ) које су резултат сагоревања горива на бази нафте, попут бензина и дизел горива, у моторима са унутрашњим сагоревањем (EPA, 2020). Према извештају USEPA (2022) концентрација  $\text{CO}_2$  у укупној емисији гасова стаклене баште у Сједињеним Америчким Државама (САД) у 2020. години износила је 78,8%, док је концентрација  $\text{CH}_4$  била 10,9%, а  $\text{N}_2\text{O}$  7,1%. Остали гасови су учествовали са уделом од 3,2%. Узимајући у обзир ову поделу, емисије из транспортног сектора су чиниле највећи део (27,2%) укупних емисија гасова стаклене баште у САД у 2020. Са друге стране, посматрајући градове у Европи, од 2014. до 2020. године, нешто мање од две трећине свих пријављених прекорачења стандарда квалитета ваздуха било је повезано са већим интензитетом саобраћаја у урбаним срединама и у близини главних саобраћајница, најчешће због емисије азотних оксида ( $\text{NO}_x$ ). Друмски саобраћај је био кључни извор загађења ваздуха у западној и северној Европи, у шест земаља, и то Аустрији, Данској, Финској, Холандији, Португалу и Уједињеном Краљевству, које су истакле друмски саобраћај као једини извор прекорачења поменутих стандарда (EEE, 2023).

Светска здравствена организација (WHO) је такође истакла да у главне узроке загађења животне средине спадају поред моторних возила са унутрашњим сагоревањем, системи за производњу електричне енергије, термо системи стамбених јединица, индустријски системи и спаљивање пољопривредног отпада. Предвиђено је да ће се емисије штетних гасова стаклене баште, који настају као последица транспорта, готово једва смањити до 2030. године (Sánchez Vicente, 2015). Загађујуће честице које се емитују у већим концентрацијама, услед транспорта, су  $\text{NO}_x$  и  $\text{PM}_{2.5}$  и могу бити врло штетне по јавно здравље (Mueller et al., 2021). Према проценама, до 2050. године, чак 68% светске популације биће концентрисано у урбаним срединама, док ће се захтеви за превозом удвостручити. У Републици Србији је према годишњем извештају Агенције за заштиту животне средине (СЕПА, 2022) за 2021. годину, друмски саобраћај имао удео од 38% у укупним емисијама азотних оксида, док је удео саобраћаја у емисијама  $\text{PM}_{2.5}$  честица износио 8%. Београд, главни град и уједно један од већих градова Европе, током 2021. године, имао је прекомерно загађен ваздух, углавном због повећаних концентрација  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  и  $\text{NO}_2$  честица од стране друмског саобраћаја. Будући да друмски саобраћај узрокује тако важан део емисија у урбаним срединама и да су економски губици због загушења значајни, градови се суочавају са изазовом дизајнирања транспортних политика како би се смањили екстерни ефекти загађења и саобраћајног загушења (Cornago et al., 2019).

Деценијама уназад, предлагане су различите стратегије за смањење емисије загађујућих материја, међу којима су прерасподела намене површина, промовисање енергетски ефикаснијих и еколошки одрживих возила (Inturri et al., 2017). С тим у вези, употреба возила микромобилности се неретко предлаже као један од могућих решења за смањење еколошког загађења од стране многих истраживача, имајући у виду њихове карактеристике попут нулте емисије и решавање проблема „првог и последњег километра“. Микромобилност карактерише употреба малих, лаких превозних средстава за мобилност, намењених за превоз једне или две особе. Два главна представника овог вида мобилности су електрични бицикли и електрични тротинети који су доживели експанзију у последњих неколико година. Иако ова возила карактерише нулта емисија полутаната приликом кретања, важно је сагледати њихов утицај на животну средину са свих аспеката, од самог процеса производње, употребе па и саме рециклаже (Zhang и др., 2001; Felipe-Falgas и др., 2022). Такође, многа истраживања указују да промена вида превоза „микро“ возилима на електро погон може допринети смањењу загађења животне средине уколико иста замењују кретања возилима која емитују највише загађујућих материја (Moreau et al., 2020; Reck et al., 2022).

Имајући у виду наведено, циљ овог рада јесте да се изврши анализа утицаја возила микромобилности на животну средину као и анализа фактора који утичу на прихватљивост употребе овог вида мобилности од стране јавности. Фокус је на разумевању ставова корисника „микро“ возила и оних који то нису, по питању загађења животне средине у Београду, изазване возилима у друмском саобраћају. Допринос овог рада, огледа се у свеобухватној анализи која може представљати корисну основу за доношење одлука приликом дефинисања стратегија за смањење загађења животне средине.

## 2. МИКРО ВОЗИЛА И ЕКОЛОШКО ЗАГАЂЕЊЕ

### 2.1. Микромобилност и „микро“ возила

Просторно ширење градова, са неизбежним повећањем саобраћајног загушења са једне стране, и све већом потребом за путовањем са друге, условило је појаву различитих видова транспорта са идејом балансирања захтева корисника и понуде саобраћајног система. Микромобилност, као један од њих, представља релативно нов концепт мобилности у оквиру транспортног система. Заснива се на употреби малих превозних средстава за мобилност, намењених за превоз једне или две особе или за прелазак „последњег километра“. Поред два главна представника (е-тротинета и е-бицикала), у возила микромобилности могу се уврстити електрични скутери са седиштем (е-мопед), самобалансирајућа плоча - хаверборд (hoverboard), електрични скејтборд, електрични ролери итд. Ова возила омогућавају лакше кретање кроз градове, поготово у условима саобраћајног загушења, пружајући корисницима флексибилну услугу, у складу са њиховим потребама.

Карактеристике „микро“ возила (Табела 1), које уједно представљају и њихову предност у односу на остале видове превоза, су ниска цена, мале димензије, мале тежине, специфична брзина, добра управљивост итд. чиме се намећу као погодна решења за прелазак „првог“ и „последњег“ километра. Због својих карактеристика, не захтевају велика улагања по питању инфраструктуре, имајући у виду да се ова возила могу кретати бицикличким тракама на мрежи саобраћајница.

Табела 1. Карактеристике „микро“ возила

Тип возила	Брзина [km/h]	Домет [km]	Тежина [kg]	Носивост [kg]
Е – бицикл	од 32 до 45	од 25 до 55	25	130
Е – тротинет	од 15 до 40	од 25 до 40	11	од 100 до 120
Е – скутер са седиштем	од 30 до 45	од 25 до 50	од 15 до 25	100
Е - скејтборд	од 15 до 45	од 20 до 32	од 6.8 до 12.8	од 90 до 150
Хаверборд	од 10 до 13	од 16 до 24	од 8 до 14	од 55 до 100

Извор: (SAE International, 2019)

Електрични тротинет, представља најчешће коришћени тип возила микромобилности, поготово на кратким удаљеностима. У том смислу, ова возила могу представљати адекватну алтернативу путничким аутомобилима који се све више користе за путовање на краћим удаљеностима (до 3 km). Поред наведеног, додатна предност ових возила јесу њихови мањи и подесиви габарити што их чини прилагодљивим за возила јавног превоза и на тај начин им је омогућена реализација мултимодалних путовања, што није случај са е-бициклима. У поређењу са е-тротинетима, е-бицикли су погодан тип „микро“ возила за кретање на већим дистанцама, узимајући у обзир услове возње, карактеристике терена и брзину кретања. Такође, постојање опције изнајмљивања ових возила даје корисницима алтернативу коришћења овог вида превоза, без улагања. Систем дељених електричних „микро“ возила представља вид флексибилног јавног градског транспорта путника доступан корисницима у простору и времену као јавна услуга, у којем корисник своју транспортну потребу реализује сам, оптимизирајући транспортни процес. Разликују се две могућности изнајмљивања „микро“ возила. Први начин подразумева да су возила доступна на самоуслужним станицама широм дефинисаног подручја 24 часа дневно, 7 дана у недељи и могу се вратити на било коју станицу након изнајмљивања. Други начин подразумева да су возила доступна на било којој локацији у дефинисаном подручју, а не само на станицама изнајмљивања. Могу се резервисати и откључати путем телефонског позива и паркирати било где у граду након изнајмљивања.

Поред наведеног, најзначајнија карактеристика „микро“ возила на електрични погон односи се на њихову еколошку ефикасност. Иако укупни производни процес (пре свега производња батерије) негативно утиче на животну средину, свеобухватни утицај на животну средину „микро“ возила у односу на возила са унутрашњим сагоревањем је вишеструко мањи. „Микро“ возила на електро-погон имају нулту емисију и значајна смањења емисије CO<sub>2</sub> потенцијално се могу постићи ако се путовања која се обављају путничким аутомобилима, реализују овим возилима. Међутим, неопходно је јасно сагледати и извор електричне енергије „микро“ возила.

### 2.2. Потенцијално решење еколошког загађења

Еколошка корист од возила микромобилности је да не емитују или су им ограничене директне емисије CO<sub>2</sub> у ваздух, када се посматрају из перспективе „од резервоара до точка“ и да емитују релативно мање других аерозагађивача у односу на возила са „СУС“ мотором (Milakis et al., 2020). Другим речима,



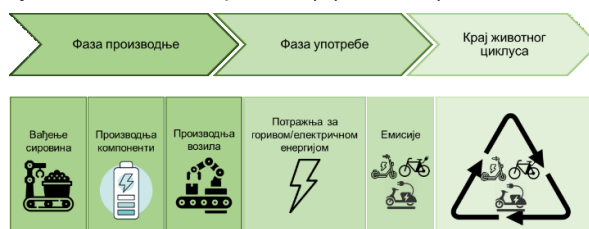
ова возила не емитују загађујуће материје из издувне цеви електро-мотора, што их чини одрживим и еколошки прихватљивијим у односу на остале видове превоза (путнички аутомобил, јавни превоз итд.), чему сведоче истраживања приказана у наставку.

Zhang и др. (2001) су спровели истраживање утицаја електричних бицикала, као потенцијалне замене за бензинске моторе, на животну средину у Шангају (Кина), путем LCA (Life Cycle Assessment) анализе. Резултати истраживања су указали да е-бицикл нема боље перформансе од мотоцикла са свих аспеката животне средине, али да троши знатно мање енергије од мотоцикла током свог животног циклуса и емитује мање GWP честица у ваздух, а мање загађујућих материја BOD, COD, DS и HC у воду. Слично томе, употребом LCA анализе, Luo и др. (2019) су у САД спровели истраживање које се базирало на компаративној анализи утицаја дељених е-бицикала које је неопходно при завршетку коришћења вратити на станицу за то намењену, и е-бицикала које при завршетку путовања корисник може оставити било где унутар дефинисане зоне. Резултати указују да е-бицикли без дефинисаних станица имају фактор емисије гасова стаклене баште CO<sub>2</sub> за 82% веће у односу на систем е-бицикала базираних на станицама. Разлог томе, наводи се сакупљање и дистрибуција дељених е-бицикала који чини 36% и 73% емисија полутаната код система е-бицикала базираних на станицама и система без станица, респективно. Као главни закључак, аутори су навели да би најмање 34% путовања путничким аутомобилом требало заменити дељеним е-бициклима да би се постигло смањење емисије GHG. Поред наведеног, Bishop и др. (2011) су у свом истраживању испитивали еколошке перформансе у фази употребе електричних тротинета у Уједињеном Краљевству. Резултати спроведеног истраживања указују да електрични тротинети могу постићи „нула“ угљен-диоксида еквивалентне емисије (гасови стаклене баште, GHG) када се користи електрична енергија из обновљивих извора. Међутим, Moreau и др. (2020) су спровели истраживање упоређивањем утицаја дељених електричних тротинета на животну средину у Бриселу и дошли су до закључка да би електрични тротинети били погодно еколошко решење у односу на остале видове превоза, уколико би њихов животни век био минимум 9,5 месеци, јер би у супротном њихово коришћење узроковали идентичну вредност емисија CO<sub>2</sub> као и остали видови превоза које су корисници заменили е-тротинетима. Још једна студија коју је спровео (Hwang, 2010) на Тајвану, указује да употреба е-тротинета има позитиван утицај на смањење емисије CO<sub>2</sub> у поређењу са возилима са СУС моторима, сугеришући да би додатне користи за животну средину имала употреба овог вида превоза уместо путничких аутомобила.

Насупрот поменутиим студијама, Wortmann и др. (2021) су у својој студији у Берлину истраживали утицај е-мопеда на животну средину у односу на путничке аутомобиле. Њихова студија се састојала из три сценарија који су се односили на моделирање флоте возила од 2.500, 10.000 и 50.000 дељених е-мопеда, респективно. Резултати указују да први сценарио нуди најмањи утицај на животну средину по километру без обзира на извор електричне енергије. Када се величина флоте повећа на 10.000, ове емисије се благо повећавају за 2,6% у просеку. За 50.000 возила ова вредност расте за 20,1% у поређењу са првим сценаријем. Са само обновљивим извором енергије, заједничке флоте добијају додатне предности због смањења емисије током периода коришћења, посебно у погледу потенцијала глобалног загревања и еутрофикације.

### 2.2.1. Животни циклус „микро“ возила

Иако поменута „микро“ возила на електрини погон немају емисију из издувних цеви (или је у знатно мањим количинама у односу на СУС моторе), то није довољан доказ о њиховом утицају на животну средину. С тога, уз фазу употребе ових возила, неопходно је извршити анализу њиховог утицаја укључујући материјал од којих се производе, енергију коју користе, као и њихов животни век. Имајући у виду да је један од најефикаснијих инструмената за процену утицаја „микро“ возила са електричним погоном на животну средину, тзв. LCA (Life Cycle Assessment), у наставку ће бити више речи о потенцијалу истог у квантификацији ефеката поменутих возила. Животни циклус LCA, дакле, разматра све животне фазе, од вађења сировина, производње, транспорта и употребе до краја животног века возила (рециклирање у циљу обнављања сировина) (Слика 1).



Слика 1. Животни циклус „микро“ возила на електрични погон

С тим у вези, Hollingsworth и др. (2019) у својој студији наводе да су главни материјали и компоненте е-тротинета алуминијумски оквир, челичне делове, литијум-јонску батерију, електрични мотор и гуме са цевима, који укупно чине 89% укупне масе скутера. Такође, е-тротинети се могу производити и од рециклираних материјала (Moreau и др. 2020).

Упоредном анализом животног циклуса е-бицикала и мотоцикала са мотором на безин, аутори Zhang и др. (2001) су дошли до резултата да 61% емисија настаје услед процеса производње материјала и батерија када су у питању емисије из воде, које укључују чврсте материје, растворене чврсте материје и тешке метале. Насупрот томе, оперативне емисије у ваздуху система е-бицикала су 91,1% од укупних, услед производње електричне енергије из угља, док је тај проценат код мотоцикала 99,0%. Слично томе, (Felipe-Falgas и др., 2022) су извршили компаративну анализу утицаја на животну средину од стране е-тротинета, е-бицикла и е-мопеда у Барселони. Резултати њихових истраживања указују да је е-тротинет једно од најмање штетних возила у погледу емисије CO<sub>2</sub>, при чему 92% CO<sub>2</sub> емитовано из његовог животног циклуса потиче од фазе производње и фазе која се односи на крај животног циклуса, док је фаза употребе допринела само 8% емисије истог. Са друге стране, дељени електрични мопеди су после е-тротинета, емитовали загађујуће материје CO<sub>2</sub> који се односе на услугу дељења са 48%. Слично томе, емисије CO<sub>2</sub> емитоване од стране дељених бицикала чине 55% укупне емисије.

Schelte и др. (2021) су у свом истраживању утврдили да је потенцијал глобалног загревања (GWP) дељених е-мопеда 20g CO<sub>2</sub>-eq./pkm у најбољем сценарију, када се пуне соларном енергијом, а батерије мењају са комбија на електро погон. Са друге стране, у најгорем сценарију који подразумева 40% краћи век трајања е-мопеда и замену батерије са комбија на дизел погон, уз пуњење батерије мешавином електричне енергије, резултира GWP-ом од 58g CO<sub>2</sub>-eq./pkm. У првом случају, GWP-ом доминира фаза употребе, посебно мешавина електричне енергије за пуњење батерије е-мопеда, учесталост замене батерија и тип возила који се користи за замену батерија. Поред фазе употребе, производња е-мопеда, посебно алуминијумских делова и батерије, је важан фактор утицаја на животну средину. Насупрот овим резултатима, Hollingsworth и др. (2019) су својим истраживањем утицаја е-тротинета на животну средину дошли до закључка да су негативни утицаји на животну средину који се односе на пуњење е-тротинета мали у односу на материјале и процес производње е-тротинета и утицаје повезане са транспортом тротинета до станице за пуњење преко ноћи. Применом Монте Карло анализе, резултати указују да је просечна вредност утицаја глобалног загревања у оквиру животног циклуса 202g CO<sub>2</sub>-eq./pkm, од којих фаза производње и материјали е-тротинета чине 50%, након чега следи свакодневно прикупљање е-тротинета због пуњења батерије, са 43% утицаја. Још једна студија коју си спровели (Finke et al., 2020) указује да фаза производње и материјали е-тротинета заузимају 63% укупних емисија, са просечним GWP од 77g CO<sub>2</sub>-eq./pkm. Затим 1% емисија је од транспорта и 35% од фазе употребе. У фази употребе, 11% GWP долази од електричне енергије за пуњење батерија, 13% од пуњења батерија са комбија на дизел погон и 4% од батерије за замену (1,5 батерија по тротинету).

Батерије које се користе у е-бициклима могу имати значајан утицај на животну средину, што и потврђује студија спроведена у Кини од стране Liu и др. (2020). Наиме, циљ њихове студије односио се на упоредну анализу утицаја оловних и литијум-јонских батерија е-бицикала. Резултати су показали да су обрада и прерада материјала и фазе коришћења батерија били главни процеси који су утицали на укупне еколошке перформансе. Фазе производње и транспорта батерија су имале занемарљив утицај на животну средину, док би рециклажа батерија могла повећати еколошке предности батерија. Такође, резултати упоредном анализом указују да литијум-јонске батерије имају боље перформансе по питању утицаја на животну средину.

### 2.2.3. Еколошки утицај „микро“ возила на видовну расподелу кретања

Претходно приказана истраживања дала су допринос бољем разумевању утицаја микровозила на животну средину, узимајући у обзир читав животно циклус возила на електро-погон. Међутим, ниједна од поменутих студија се није бавила утицајем ових возила на транспортни сектор. Да би се проценио тај утицај, и утврдио значај ових возила као еколошки прихватљивог вида превоза, неопходно је узети у обзир који од видова превоза „мењају“ микровозила у видовној расподели. Разлог томе, јесте различити еколошки утицај који ће се знатно разликовати уколико употреба „микро“ возила замени пешачење и путнички аутомобил. Дакле, глобални утицај микромобилности на животну средину на крају зависи и од тога који вид превоза „микро“ возила замењују. Имајући то у виду, Табела 2 указује да су возила на електрични погон у већини студија заменила кретања пешице, а затим јавни превоз. Путнички аутомобили и даље остају доминантан вид кретања, са најмањим процентом преласка са истих на једно од „микро“ возила на електрични погон.

Табела 2. Утицај „микро“ возила на видовну расподелу

Аутори	Град/Држава	„Микро“ возило	Метод	Резултати
(Christoforou et al., 2021)	Париз (Француска)	Е-тротинети	Stated Preference	Е-тротинети су заменили 72% кретања која су се реализовала пешице и јавним превозом.
(Moreau et al., 2020)	Брисел (Белгија)	Дељени е-тротинети и лични е-тротинети	Stated Preference	Дељени и лични е-тротинети су заменили 29,2% и 30,2% кретања јавним превозом, 26,7% и 28,4% путничким аутомобилом, 26,1% и 21,1% пешачењем, респективно.
(Reck et al., 2022)	Цирих (Швајцарска)	Дељени е-тротинети	Revealed Preference	Дељени е-тротинети су заменили 51% кретања пешице, 19% јавним превозом и 12% путничким аутомобилом.
(Fukushige et al., 2021)	Сакраменто (Калифорнија)	Дељени е-бицикли	Revealed Preference	Дељени е-бицикли су заменили 33% кретања пешице, 20% путничким аутомобилима, 5% јавним превозом.
(Winslott Hiselius & Svenssona, 2014)	Шведска	Е-бицикл	Revealed Preference	Е-бицикли су заменили кретања путничким аутомобилом 47-67%, пешачење 3-12% и 4-16% јавним превозом.
(Cherry et al., 2016)	Кунминг (Кина)	Е-бицикл	Revealed Preference	Е-бицикли су заменили 50% путовања јавним превозом и 10% путовања путничким аутомобилом.
(Aguilera-García et al., 2021)	Шпанија	Дељени е-мопед	Revealed Preference	Дељени е-мопед је заменио 44.7-55.4% путовања јавним превозом и 14.3%-26.3% путничким аутомобилом.

Како би се утврдио утицај возила на количину емисија полутаната, неопходни су фактори емисије конвенционалних возила и „микро“ возила на електро погон, како би се упоредиле емисије којима доприносе „микро“ возила и возила која су у видовној расподели заменила. Имајући у виду да је у већини случајева пешачење, вид кретања који је највише замењен употребом „микро“ возила, евидентно је да ће емисије полутаната у том случају бити у порасту. Са друге стране, Reck и др. (2022) указује на то да лични е-тротинети и е-бицикли емитују мање CO<sub>2</sub> од вида превоза које замењују, док дељени е-тротинети и е-бицикли емитују више CO<sub>2</sub> од вида превоза које замењују (Табела 2), што потврђује и студија коју су спровели Moreau и др. (2020).

### 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

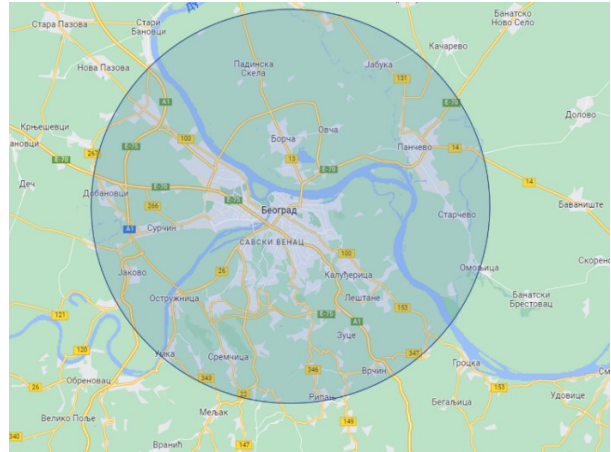
#### 3.1. Подручје истраживања

Доступни подаци о попису становништа из 2022. године, указују да број становника у широј околини Београда износи 1.685.563, при чему се може закључити да је дошло до пораста броја становника за 1,55%, односно за 26.123 становника у односу на попис из 2011. године. Услед недостатка осталих података, према попису становништва из 2011. године, број становника у Београду износи 1.166.763, док у широј околини живи 1.659.440 који генеришу око 3,1 милиона кретања по дану. Највећи број кретања обави се јавним превозом (47,9%), затим приватним аутомобилом (25,7%) и пешачењем (23,8%). Превоз бициклом или мотором обавља само 1,3% суграђана. Систем јавног градског превоза у Београду, састоји се од аутобуског, тролејбуског и трамвајског подсистема. У ужој градској зони аутобуски подсистем учествује са 44%, док трамваји учествују са 2%, тројбуси са 1,3% и железница са 0,5% (Beograd Smartplan, 2017). Према подацима из 2018. године, систем јавног превоза има дванаест трамвајских линија, седам тролејбуских и осамдесет шест аутобуских линија, укупне дужине мреже је 1.509km, а укупан возни парк има 1.198 возила. Укупна дужина бициклистичких стаза тренутно износи само 100km. Бициклистичка инфраструктура у овом граду није довољно развијена, а Београд нема развијен заједнички систем е-бицикала и е-тротинета.

Имајући у виду наведено, предмет истраживања овог рада је шире подручје града Београда, и то радијус од 20km од Трг-а Славија који се налази у ужем центру града. Како се возила микромобилности највише примењују у централној градској зони, подручје истраживања је обухватало циљну ужу централну зону, укључујући и остале делове ширег подручја Београда, са циљем да се подстакну и остали корисници да пређу на употребу еколошки прихватљивијих возила као што су „микро“ возила. Подручје истраживања обухватало је територију свих београдских општина, сем општина Гроцка, Лазаревац и Младеновац. На наредним сликама (Слика 2 – 3) приказана је макро и микро локација предметне зоне истраживања.



Слика 2. Макролокација истраживања (радијус од 20 km)



Слика 3. Микролокација истраживања (радијус од 20 km)

### 3.2. Прикупљање података и статистичка анализа

Подаци о ставовима корисника прикупљени су употребом анкете у временском периоду од децембра 2022. године до јануара 2023. Упитник је послат појединим предузећима и факултетима, као и студентима, пензионерима и организацијама незапослених у Београду ради добијања репрезентативног узорка. Циљну групу су чинили становници Београда, узимајући у обзир становнике централне зоне Београда али и оне који то нису. Анкета је прослеђена становницима и корисницима територије града, обухватајући 20 km од кружног тока на Тргу Славија. Након што су из укупног узорка уклоњени некомплетни упитници са нелогичним одговорима, валидан узорак коришћен у даљој анализи чинио је 134 испитаника. Нелогичност је утврђена контролним питањима.

У циљу добијања меродавних резултата истраживања, циљну групу чинили су испитаници који су имали прилику да сагледају и суоче се са проблемима еколошког загађења на територији града Београда. Током истраживања, испитаницима нису предочене никакве додатне информације по питању проблема еколошког загађења. Испитаници су давали одговоре на постављена питања само на основу личних перцепција еколошких проблема од стране друмских возила на територији Београда.

На почетку упитника, испитаницима је била истакнута општа дефиниција микромобилности, као једна од могућих мера за решавање проблема еколошког загађења уз дефинисање постојећих типова „микро“ возила коју ова мера подразумева. На тај начин, испитаници су били упознати са термином микромобилности као и основним карактеристикама „микро“ возила. Упитник је комбиновао питања о јавним преференцијама (Revealed preference), о стварном понашању корисника приликом кретања и питања о исказаним преференцијама (Stated preference), како би се анализирале преференције корисника по питању примене „микро“ возила. Упитник је подељен у три дела. Први део је садржао питања о социо-демографским и економским карактеристикама корисника, док се други део фокусирао на ставове корисника по питању загађења животне средине. Трећи део је имао за циљ да се утврде ставови корисника у погледу примене „микро“ возила, узимајући у обзир и испитанике који користе, али и испитанике који не користе овај вид превоза. Сва питања у упитнику су била затвореног типа.

У самом упитнику испитаници су најпре упитани о ставу да ли је неопходно предузети одређене мере по питању смањења загађења животне средине који потиче од моторних возила у друмском саобраћају, при чему за испитанике који су имали негативан став, нису постављена даља питања, имајући у виду то да еколошко загађење у том случају није препознато као проблем. Затим је питање о употреби возила микромобилности делило испитанике, приликом постављања даљих питања, на оне који користе и оне који не користе „микро“ возила. На тај начин су сагледане карактеристике кретања корисника „микро“ возила, док су са друге стране испитани ставови испитаника по питању личних преференција у погледу њихове примене.

Подаци су анализирани коришћењем софтвера IBM SPSS 22. IBM SPSS 22 је систем за свеобухватну анализу података. Имајући у виду функције IBM SPSS 22 софтвера, у овом раду су коришћене стандардне методе дескриптивне статистике.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ

За потребе овог истраживања прикупљен је узорак од 134 испитаника. У овом узорку било је дупло више мушкараца (67,9%) него жена (32,1%). Када је реч о старосној категорији, најзаступљенија категорија су испитаници од 18 до 25 година (34,3%). Следе они старости од 26-35 година (25,4%) и они од 36-45 година (17,9%). Највећи проценат испитаника је стално запослен (61,9%). Што се тиче просечних месечних личних примања, већина испитаника је имала приход који је мањи од 250€ (23,9%), а следе они са месечним личним примањима од 501-750€ (18,7%). Имајући у виду чињеницу да су у узорку заступљене све категорије корисника по демографским и социо-економским карактеристикама и да су у складу са подацима Републичког завода за статистику, може се закључити да карактеристике узорка одговарају општим карактеристикама београдског становништва. На пример, према извештају Републичког завода за статистику просечна примања у Београду за 2021. годину била су око 800€, а у овом истраживању је већина испитаника имала приход од 500-750€ (18,7%).

На основу Табеле 3 може се приметити да су путнички аутомобил (4,2%), јавни превоз (3,6%) и кретање пешице (3,6%) најзаступљенији вид кретања приликом свакодневног одласка на посао. Кретања у остале сврхе имају највећу заступљеност истих категорија са расподелом кретања који чине путнички аутомобил (3,3%), јавни превоз (2,6%) и пешице (3,6%), док су остале категорије у видовној расподели занемарљиве. Међутим, видови кретања који се никада не користе од стране испитаника са сврхом одласка на посао и у остале сврхе, укључују доминатно учешће (респективно) мотоцикл/мопед (11,0%;10,7%), електричног бицикла (11,4%;11,2%), електричног тротинета (11,3%;11,0%) и категорије остало (10,4%;9,2%) у видовној расподели. Посматрајући све категорије учесталости кретања (свакодневно, неколико пута недељно, неколико пута месечно и неколико пута годишње) са сврхом одласка на посао, може се уочити да је најдоминантнији вид превоза путнички аутомобил (4,2%;1,6%;2,1%;1,9% респективно), а затим кретање јавним превозом (3,6%;2,3%;1,6%;1,1%; респективно) и пешице (3,6%; 2,3%; 1,6%;1,1% респективно), док су најмање заступљени видови кретања мотоцикл/мопед, електрични бицикл и електрични тротинет. Слична видовна расподела се уочава и код осталих сврха кретања са истом учесталосту видовна, па је тако и овде најдоминантнији вид кретања путнички аутомобил (3,3%;3,7%;3,4%;1,3% респективно), затим кретање пешице (3,6%;4,4%;2,2%;0,9% респективно), а потом и јавни превоз (2,6%;2,8%;2,0%;2,4% респективно), док су најмање заступљени видови кретања мотоцикл/мопед, електрични бицикл и електрични тротинет. Овај резултат је логичан имајући у виду чињеницу да је у последњих неколико година дошло до повећања стопе моторизације и транспортних захтева које остварују путнички аутомобили. Међутим, због недовољне развијености бициклистичке инфраструктуре, недостатка закона о е-скутерима и неразвијеног заједничког система е-бицикла и е-скутера у Београду, постоји ограничен потенцијал ових видова транспорта, при чему је и њихово учешће у видовној расподели занемарљиво.

Табела 3. Видовна расподела кретања по учесталости

Учесталост употребе вида превоза у зависности од сврхе	Свакодневно		Неколико пута недељно		Неколико пута месечно		Неколико пута годишње		Никада	
	Посао	Остало	Посао	Остало	Посао	Остало	Посао	Остало	Посао	Остало
<b>Путнички аутомобил</b>	4,2%	3,3%	1,6%	3,7%	2,1%	3,4%	1,9%	1,3%	2,7%	0,8%
<b>Мотоцикл/мопед</b>	0,2%	0,1%	0,7%	0,7%	0,5%	0,6%	0,2%	0,5%	11,0%	10,7%
<b>Јавни превоз</b>	3,6%	2,6%	2,3%	2,8%	1,5%	2,0%	2,2%	2,4%	2,8%	2,7%
<b>Бицикл</b>	0,3%	0,3%	0,7%	0,9%	0,7%	1,6%	1,5%	2,0%	9,2%	7,7%
<b>Електрични бицикл</b>	0,2%	/	0,7%	0,6%	0,3%	0,5%	/	0,3%	11,4%	11,2%
<b>Електрични тротинет</b>	0,1%	/	0,7%	0,7%	0,2%	0,4%	0,3%	0,5%	11,3%	11,0%
<b>Пешице</b>	3,6%	3,6%	2,3%	4,4%	1,6%	2,2%	1,1%	0,9%	3,8%	1,3%
<b>Остало</b>	0,2%	0,4%	0,7%	0,8%	0,5%	1,0%	0,7%	1,0%	10,4%	9,2%

Табела 4 приказује ставове испитаника по питању утицаја друмског саобраћаја на загађење животне средине, узимајући у обзир буку и загађујуће материје (полутанте) које емитују друмска возила. Резултати указују да у оба случаја највише испитаника сматра да друмски саобраћај у веома великој мери утиче на загађење животне средине (41,4% и 35,1% респективно). То указује на свест испитаника који своја кретања реализују у Београду где је потврђено да друмски саобраћај емитује 46% загађујућих честица у ваздух (СЕПА, 2022).

**Табела 4. Ставови испитаника о загађењу животне средине од стране саобраћаја**

Интензитет загађења	Емисије буке	Емисије загађујућих честица (CO, CO <sub>2</sub> , NOx, PM <sub>2.5</sub> итд.)
У веома великој мери	41,4%	35,1%
У великој мери	23,3%	20,1%
У средњој мери	25,6%	16,4%
У малој мери	4,5%	17,9%
У веома малој мери	5,3%	10,4%

Имајући у виду приказане ставове испитаника по питању загађења животне средине од стране друмског саобраћаја, испитаницима је постављено питање „Да ли сматрате да је неопходно предузети одређене мере по питању смањења загађења животне средине који потиче од моторних возила у друмском саобраћају?“. Од укупног броја испитаника, 79% сматра да је неопходно предузети одређене мере, док 21% сматра да мере нису неопходне. Испитаници који су таквог става и мишљења да није потребно предузети одређене мере за смањење загађења животне средине од стране друмских возила, нису даље разматрани у истраживању.

Посматрајући узорак испитаника који су става да је неопходно предузети одређене мере за смањење загађења животне средине, њих 15% користи један од понуђених типова „микро“ возила (електрични бицикл (10;53%), електрични тротинет (8;42%) и електрични скутер (1;5%)), док преосталих 85% испитаника не користи ова возила за реализовање својих кретања.

Како би се испитао евентуални утицај еколошких бенефита којима би допринела употреба „микро“ возила у односу на возила са СУС мотором, извршена је анализа потенцијалних разлога употребе микро возила која је приказана на Графикону 1. На основу ранга значајности, може се закључити да је најзначајнији разлог употребе ових возила краће време путовања (56,3%), а да је подједнаког интензитета, најмање значајан утицај безбедности приликом путовања. Међутим, посматрајући утицај еколошких бенефита, може се уочити да он представља доминантан разлог по рангу „значајан“ и „средње значајан“ за употребу ових возила и уједно по тим критеријумима има највећи проценат одговора (37,5% и 31,3% респективно).



**Графикон 1. Ставови испитаника о разлозима употребе „микро“ возила**

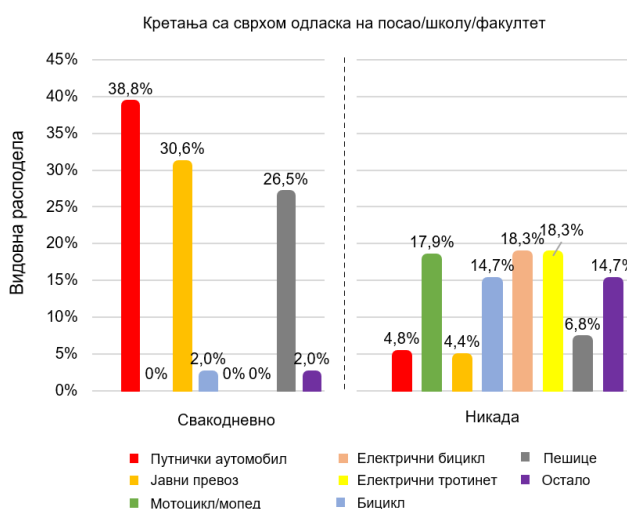
Ставови испитаника који не користе возила „микро“ мобилности, а сматрају да је неопходно предузети мере за смањење загађења животне средине, су од кључног значаја. С тога, у Табели 5 су приказани процентуално одговори испитаника у зависности од понуђених разлога за њихово не коришћење. Највећи број испитаника се изјаснио да је највећи разлог за не коришћење „микро“ возила непостојање/неадекватна инфраструктура (38,9%), потом (не)безбедност корисника „микро“ возила (27,8%) и цена „микро“ возила (25,6%).

**Табела 5. Ставови испитаника о разлозима не коришћења „микро“ возила**

Понуђени одговори (разлози)	Ставови испитаника (%)
Непостојање/неадекватна инфраструктура за кретање „микро“ возила	38,9%
(Не)Безбедност корисника возила микробилности	27,8%
Цена возила микробилности	25,6%
Неповољан тип терена	3,3%
Недефинисана законска регулатива	4,4%

Имајући у виду да сви наведени разлози, сем типа терена, могу бити прилагођени, односно дефинисани, циљ даље анализе био је да се утврди да ли би испитаници променили став по питању употребе „микро“ возила, ако би наведени разлози (сем типа терена) били дефинисани, уз давање значаја еколошких бенефита „микро“ возила. На основу постављеног питања о промени става везаног за употребу „микро“ возила уз дефинисање горе поменутих разлога и еколошког значаја истих, 75% испитаника је променило свој став и прихватило да под наведеним условима користи „микро“ возила, док је преосталих 25% остало при првобитном ставу.

У циљу могуће процене еколошког утицаја „микро“ возила на загађење животне средине, на наредним графиконима (Графикони 2 – 3) су приказане првобитне видовне расподеле кретања испитаника по сврхама, који су променили свој став и прихватили да користе „микро“ возила током својих кретања. Издвојене су две учесталости кретања, свакодневно и никада како би било могуће сагледати које су категорије возила испитаници доминантно користили пре промене става, а које категорије нису никада користили, стављајући фокус на електричне тротинете и електричне бицикле.



**Графикон 2. Компаративна анализа учесталости кретања са сврхом одласка на посао/школу/факултет**



**Графикон 3. Компаративна анализа учесталости кретања у остале сврхе (рекреација/забава/посета)**

На Графиконима 2 – 3 је могуће уочити да су испитаници који су променили свој став, у највећем проценту користили путнички аутомобил у обе сврхе тј. одлазак на посао/школу/факултет и у остале сврхе (38,8% и 34,2% респективно), за реализацију својих кретања. Затим, када су у питању свакодневна кретања са сврхом одласка на посао/школу/факултет највећи број кретања је реализован јавним превозом (30,6%), а потом пешице (26,5%), уз занемарљив проценат кретања бициклом и осталим видовима (по 2,0%), и без реализованих кретања електричним бициклима и тротинетима. Слична је расподела и код свакодневних кретања у остале сврхе, с тим да је поред путничког аутомобила подједнако доминантан вид кретања пешице (34,2%), а потом јавни превоз (26,3%). Са друге стране, видови кретања који никада нису коришћени за реализовање кретања у обе анализиране сврхе, доминантно представљају неке од видова „микро“ возила и то електрични бицикл и електрични тротинет, као и бицикл који је еколошки и најприхватљивији.

Имајући у виду претходно наведено, може се доћи до закључка да уколико би испитаници користили „микро“ возила у замену за путнички аутомобил (узимајући у обзир да је циљ промене њиховог става био са еколошког аспекта) који уједно и емитује највише загађујућих материја, значајно би допринели смањењу еколошког загађења животне средине. Са друге стране, ако би корисници своја кретања која реализују пешице, заменили „микро“ возилима, тиме би се утицало на повећање еколошког загађења и самим тим примена ових возила не би представљала адекватно решење за смањење загађења животне средине.

На питање „Којим „микро“ возилом бисте реализовали своја путовања?“, 68,6% испитаника је одговорило да би то био електрични бицикл, затим електрични тротинет (14,3%), електрични скутер (15,7%) и хаверборд (1,4%). Са друге стране, када су у питању сврхе кретања, важно је истаћи да би 56,8% испитаника своја кретања „микро“ возилима реализовала са сврхом одласка на посао/школу/факултет, док би 43,2% испитаника своја кретања истим реализовало у остале сврхе (рекреација/забава/посета).

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

Саобраћајно загушење деценијама уназад представља проблем многих урбаних зона како са друштвеног и економског, тако и са еколошког аспекта. Све већа употреба возила са СУС мотором, за последицу има све веће загађење животне средине, емитовањем загађујућих честица и буке. С тим у вези, употреба возила микромобилности се неретко предлаже као један од могућих решења за смањење еколошког загађења од стране многих истраживача.

На основу прегледа релевантне литературе из анализиране стручне области, могло се доћи до закључка да „микро“ возила могу имати значајан потенцијал у смањењу еколошког загађења, што може зависити од неколико главних фактора. Наиме, уколико се у обзир узму само емисије издувних гасова из „микро“ возила на електро-погон у односу на емисије из возила са СУС мотором, може се закључити да су „микро“ возила у потпуности еколошки прихватљив вид превоза, с обзиром да имају нулту емисију или је та емисија ограничена до прихватљивих вредности. У поређењу са тим, возила са СУС мотором попут путничких аутомобила, возила јавног превоза, мотоцикала итд. представљају главне еколошке загађиваче без обзира на утицаје попут брзине кретања, врсте горива, старости возила, ЕУРО типа мотора, итд. који могу допринети емитовању веће, односно мање количине загађујућих материја у ваздух. Међутим, употреба „микро“ возила представља само једну фазу животног циклуса истих, док се у обзир морају узети и фазе као што су производња и крај животног циклуса (рециклажа) како би се на свеобухватан начин проценио утицај „микро“ возила на животну средину. С тим у вези, многи истраживачи су посматрајући различите категорије „микро“ возила дошли до сличних закључака, и то да ће поменута возила бити еколошки прихватљива уколико електрична енергија потиче из обновљивих извора, такође, наводи се и материјал од којег су произведена возила као веома значајан фактор који може допринети позитивном еколошком утицају. Поред наведеног, значајан утицај има и материјал од ког је произведена батерија, па и сам животни век возила. Посматрајући дељену мобилност, у обзир се узима и погон на који се крећу возила која служе за замену и пуњење батерија одговарајућом енергијом. Такође, да би се у потпуности одредио утицај и утврдио значај „микро“ возила као еколошки прихватљивог вида превоза, неопходно је узети у обзир који од видова превоза „мењају“ микро возила у видовној расподели. Разлог томе, јесте различити еколошки утицај који ће се знатно разликовати уколико употреба „микро“ возила замени пешачење или путнички аутомобил. У том случају, ако „микро“ возила замене пешачење, емисија загађујућих материја ће се повећати, и тада она неће представљати адекватно решење, што није случај приликом замене са путничким аутомобилима.

Резултати спроведеног истраживања, указују да је став испитаника по питању употребе возила микромобилности у циљу смањења загађења животне средине позитиван и да су као значајне разлоге за њихову употребу навели еколошке бенефите. Са друге стране, проценат испитаника који не користи „микро“ возила за своја кретања спреман је да прихвати кретање овим видом мобилности уколико би разлози због којих их првобитно не користи били испуњени, имајући у виду еколошке бенефите ових возила. Овако добијени резултати, могу представљати корисну основу уз дефинисање правца будућих истраживања по питању употребе „микро“ возила са еколошког аспекта уместо постојећих видова кретања. На тај начин би се дошло до прецизнијих резултата колико нови вид мобилности може допринети смањењу загађења животне средине.

## Литература

- Aguilera-García, Á., Gomez, J., Sobrino, N., & Díaz, J. J. V. (2021). Moped scooter sharing: Citizens' perceptions, users' behavior, and implications for urban mobility. *Sustainability (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/su13126886>
- Bishop, J. D. K., Doucette, R. T., Robinson, D., Mills, B., & McCulloch, M. D. (2011). Investigating the technical, economic and environmental performance of electric vehicles in the real-world: A case study using electric scooters. *Journal of Power Sources*, 196(23), 10094–10104. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2011.08.021>
- Cherry, C. R., Yang, H., Jones, L. R., & He, M. (2016). Dynamics of electric bike ownership and use in Kunming, China. *Transport Policy*, 45, 127–135. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2015.09.007>
- Christoforou, Z., Gioldasis, C., de Bortoli, A., & Seidowsky, R. (2021). Who is using e-scooters and how? Evidence from Paris. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102708>
- Cornago, E., Dimitropoulos, A., & Oueslati, W. (2019). EVALUATING THE IMPACT OF URBAN ROAD PRICING ON THE USE OF GREEN TRANSPORT MODES: THE CASE OF MILAN-ENVIRONMENT WORKING PAPER N° 143. [www.oecd.org/environment/workingpapers.htm](http://www.oecd.org/environment/workingpapers.htm)



- EEE (European Environment Agency). (2023). Emissions from road traffic and domestic heating behind breaches of EU air quality standards across Europe — European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/highlights/emissions-from-road-traffic-and>
- EPA. (2020). Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- European Bank for Reconstruction and Development (ERBD). (2017) Belgrade Smartplan (Report No170524).
- Felipe-Falgas, P., Madrid-Lopez, C., & Marquet, O. (2022). Assessing Environmental Performance of Micromobility Using LCA and Self-Reported Modal Change: The Case of Shared E-Bikes, E-Scooters, and E-Mopeds in Barcelona. *Sustainability (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/su14074139>
- Finke, S., Semih Severengiz, D.-I., Wendt, N., & Schelte, N. (2020). Life Cycle Assessment on the Mobility Service E-Scooter Sharing. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS46250.2020.9111817>
- Fukushige, T., Fitch, D. T., & Handy, S. (2021). Factors influencing dock-less E-bike-share mode substitution: Evidence from Sacramento, California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 99, 102990. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102990>
- Hollingsworth, J., Copeland, B., & Johnson, J. X. (2019). Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters You may also like Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>
- Hwang, J. J. (2010). Sustainable transport strategy for promoting zero-emission electric scooters in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1390–1399. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.014>
- Inturri, G., Ignaccolo, M., Le Pira, M., Capri, S., & Giuffrida, N. (2017). Influence of Accessibility, Land Use and Transport Policies on the Transport Energy Dependence of a City. *Transportation Research Procedia*, 25, 3273–3285. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.165>
- Liu, W., Liu, H., Liu, W., & Cui, Z. (2020). Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110596>
- Luo, H., Kou, Z., Zhao, F., & Cai, H. (2019). Comparative life cycle assessment of station-based and dock-less bike sharing systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 180–189. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.003>
- Milakis, D., Gebhardt, L., Ehebrecht, D., & Lenz, B. (2020). Is micro-mobility sustainable? An overview of implications for accessibility, air pollution, safety, physical activity and subjective wellbeing.
- Moreau, H., de Meux, L. de J., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C., & Achten, W. M. J. (2020). Dockless e-scooter: A green solution for mobility? Comparative case study between dockless e-scooters, displaced transport, and personal e-scooters. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/SU12051803>
- Mueller, N., Daher, C., Rojas-Rueda, D., Delgado, L., Vicioso, H., Gascon, M., Marquet, O., Vert, C., Martin, I., & Nieuwenhuijsen, M. (2021). Integrating health indicators into urban and transport planning: A narrative literature review and participatory process. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 235. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEH.2021.113772>
- Reck, D. J., Martin, H., & Axhausen, K. W. (2022). Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.103134>
- SAE International. (2019). SAE J3194TM TAXONOMY & CLASSIFICATION OF POWERED MICROMOBILITY VEHICLES POWERED MICROMOBILITY VEHICLE. [https://www.sae.org/standards/content/j3194\\_201911/](https://www.sae.org/standards/content/j3194_201911/)
- Sánchez Vicente, A. (2015). Evaluating 15 years of transport and environmental policy integration — TERM 2015: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe.
- Schelte, N., Severengiz, S., Schünemann, J., Finke, S., Bauer, O., & Metzen, M. (2021). Life cycle assessment on electric moped scooter sharing. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/SU13158297>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2022). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2020. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/us-ghg-inventory-2022-main-text.pdf>
- Winslott Hiselius, L., & Svensson, Å. (2014). Could the increased use of e-bikes (pedelecs) in Sweden contribute to a more sustainable transport system? <https://doi.org/10.3846/enviro.2014.119>
- Wortmann, C., Syré, A. M., Grahle, A., & Göhlich, D. (2021). Analysis of electric moped scooter sharing in berlin: A technical, economic and environmental perspective. *World Electric Vehicle Journal*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/wevj12030096>
- Zhang, C., Wang, C., Sullivan, J., Han, W., & Schuetzle, D. (2001). Life cycle assessment of electric bike application in Shanghai. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2001-01-3727>
- СЕПА Република Србија, М. заштите животне средине (Агенција за заштиту животне средине). (2022). Годишњи извештај о стању квалитета ваздуха у Републици Србији 2021. године. [http://www.sepa.gov.rs/download/Vazduh\\_2021.pdf](http://www.sepa.gov.rs/download/Vazduh_2021.pdf)

# GEOMETRIJSKO OBLIKOVANJE TRASE KAO PARAMETAR PROSTORNE USKLAĐENOSTI PUTA SA NJEGOVOM NEPOSREDNOM OKOLINOM

**Doc. dr Sanja Fric<sup>1</sup>, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

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

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

**Doc. dr Vladan Ilić, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Filip Trpčevski, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Stefan Vranjevac, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Miloš Lukić, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)

**Nikola Milovanović, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)

**Rezime:** Pojam geometrijskog oblikovanja podrazumeva proces skladnog komponovanja projektnih elemenata sa osnovnim ciljem da se ostvari prostorna slika puta koja u vizuelnom smislu ostavlja pozitivan utisak i vozačima uliva osećaj sigurnosti i predvidljivosti. S obzirom da se u vidnom polju vozača istovremeno nalazi više geometrijskih oblika koji zajedno definišu trasu puta u prostoru, neophodno je voditi računa o optičkim svojstvima svakog elementa. Harmonični odnosi se postižu samo kod usklađenih elemenata trase puta kroz sve projekcije puta (situacioni plan, podužni profil i poprečni profil). U radu će biti prikazane osnovne zahtevi i preporuke koji mogu pomoći da se još u početnim fazama projektovanja postignu optimalni odnosi koji značajno doprinose skladnom uklapanju puta u postojeću okolinu.

**Ključne reči:** geometrijsko oblikovanje, predvidljivost, usklađenost elemenata, okolina puta

## GEOMETRICAL ROAD ALIGNMENT SHAPING AS A PARAMETER OF ITS SPATIAL HARMONIZATION WITH THE CLOSE ENVIRONMENT

**Abstract:** The concept of geometric design implies the process of harmonious composition of design elements with the main goal of creating a spatial image of the road that visually leaves a positive impression and gives drivers a sense of security and predictability. Given that the driver's vision field contains several geometric shapes that together define the route of the road in space, it is necessary to take into account the optical properties of each element. Harmonic relationships are achieved only with coordinated elements of the road route through all road projections (horizontal and vertical alignment and transverse profile). The paper will present the basic requirements and recommendations that can help to achieve optimal relationships in the initial stages of design, which significantly contribute to the harmonious road fit into the existing environment.

**Key words:** geometrical shaping, predictability, road parameters harmonization, road environment

### 1. UVOD

Savremeni pristup projektovanju puteva, pored poštovanja tehničkih standarda, propisa i pravila struke, mora uzeti u obzir i estetske kriterijume koji proističu iz jedinstva puta i okoline i koji nesporno utiču na doživljaj puta od strane njegovih neposrednih korisnika. Jedinstvo puta i okoline se pre svega ogleda u dostizanju prostorne usklađenosti sve tri putne projekcije – normalnog poprečnog profila, situacionog plana i podužnog profila.

Istorijski gledano, prvi začeci prostornog trasiranja i oblikovanja puteva potiču od početka tridesetih godina prošlog veka, gde se mora izdvojiti doprinos H.Lorenza kroz njegovo, za inženjere delo od izuzetnog značaja, "Trasiranje i oblikovanje puteva i autoputeva". Opravdano se smatra da je upravo Lorenz postavio začetke principa "projektovanja puteva po meri čoveka", odnosno stavljanje neposrednih korisnika puta u fokus definisanja projektantskih standarda. Naime, tada je, sagledavajući

uzroke dešavanja saobraćajnih nezgoda, prepoznat značaj doživljaja puta i njegove okoline sa pozicije oka vozača a potom i njegovih reakcija na sve nadražaje koje tokom vožnje prima od puta i njegovog neposrednog okruženja [1].

U radu će biti dat osvrt na ključne karakteristike optičkog vođenja trase, sa akcentom na sadejstvo sve tri projekcije koje, poštujući bazične preporuke, mogu dovesti do jedinstva konstrukcije, oblika i funkcije puta.

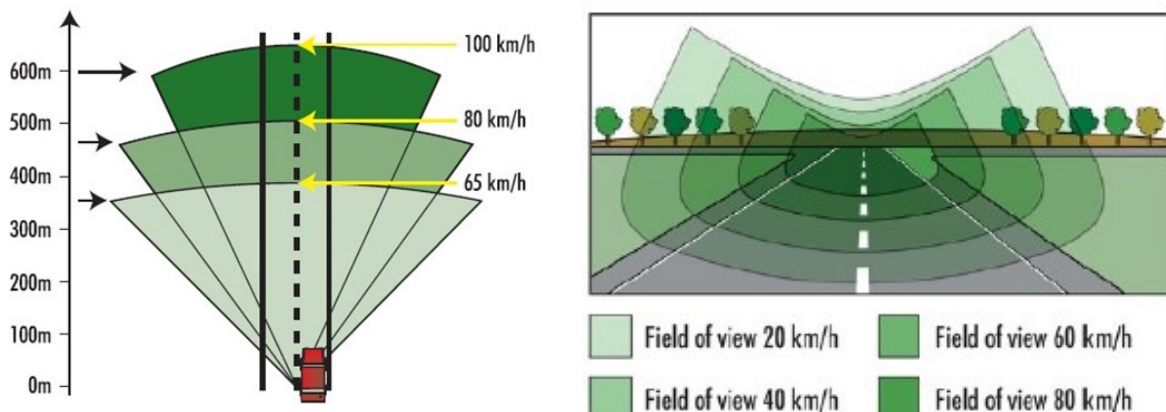
## 2. PSIHOFIZIČKI ČINIOCI VOZAČA

U smislu jedinstva puta i okoline, geometrijsko oblikovanje trase trebalo bi da predstavlja skladnu kompoziciju različitih elemenata situacionog plana i podužnog profila puta, koja bi kao takva vozaču odavala osećaj prepoznatljivosti, sigurnosti i u krajnjoj liniji, udobnosti u vožnji.

Ono što danas zovemo “samoobjašnjavajućim putevima” dobrim delom počiva upravo na principima skladnog geometrijskog oblikovanja. Međutim, opravdano se može postaviti pitanje šta uopšte podrazumeva termin “samoobjašnjavajući put”. Može se reći da je to put gde će vozač tokom vožnje sam blagovremeno razumeti šta je to što se od njega tokom procesa vožnje traži i da će nakon prerade te informacije doneti odluku u daljem postupanju koja neće ugroziti njegovu bezbednost ali i bezbednost ostalih učesnika u saobraćaju.

Tokom vožnje, vozač svoj dojam puta stvara na prostornoj osnovi koju formiraju strukturne linije puta – linija kolovoza, kosine useka, elementi zaštitne opreme, inženjerske konstrukcije (npr. potporni zidovi), markacija kolovoza i sl.

Od svih psihofizičkih činioca koji mogu uticati na vozača, vidno polje se svakako izdvaja kao najvažnije. Ono ima svoju širinu i dubinu koja se ne menja ako se vozilo ne kreće. Međutim, njegova širina i dubina, zajedno sa sadržajima u vidnom polju vozača se menjaju zajedno sa kretanjem vozila [1]. Kao važan polazni parameter u optičkom trasiranju tako se izdvaja međuzavisnost između brzine kretanja i širine vidnog polja vozača – što je brzina kretanja veća, širina vidnog polja se smanjuje a promena sadržaja u vidnom polju vozača se prilagođava toj promeni. Takođe, s obzirom da su navedeni paramteri tokom kretanja promenljivi, u konkretnim terenskim ograničenjima treba odrediti koju širinu i dubinu vidnog polja zahtevati kao apsolutni minimum a koju kao optimalnu, kada za to postoje prostorne mogućnosti.



**Slika 1.** Međuzavisnost širine vidnog polja i brzine kretanja

Bazirajući se na osnovim karakteristikama širine i dubine vidnog polja, slede i zahtevi o minimalnim dužinama zaustavne, zahtevane, raspoložive i preticajne preglednosti. Ipak, treba imati u vidu da npr. čak i kod puteva sa fizički razdvojenim kolovozima (autoputevi i tzv. brze saobraćajnice), pri ostvarenim malim dužinama preglednosti vozaču odaju isti utisak sa aspekta preglednosti kao putevi sa zajedničkim kolovozom po smeru [1,2].

Takođe, treba imati u vidu da prostorni doživlja trase puta nije jednoravanski problem – svaki projektni element puta koji se sagledava sa pozicije oka vozača je u jednu ruku poremećen, kako zbog

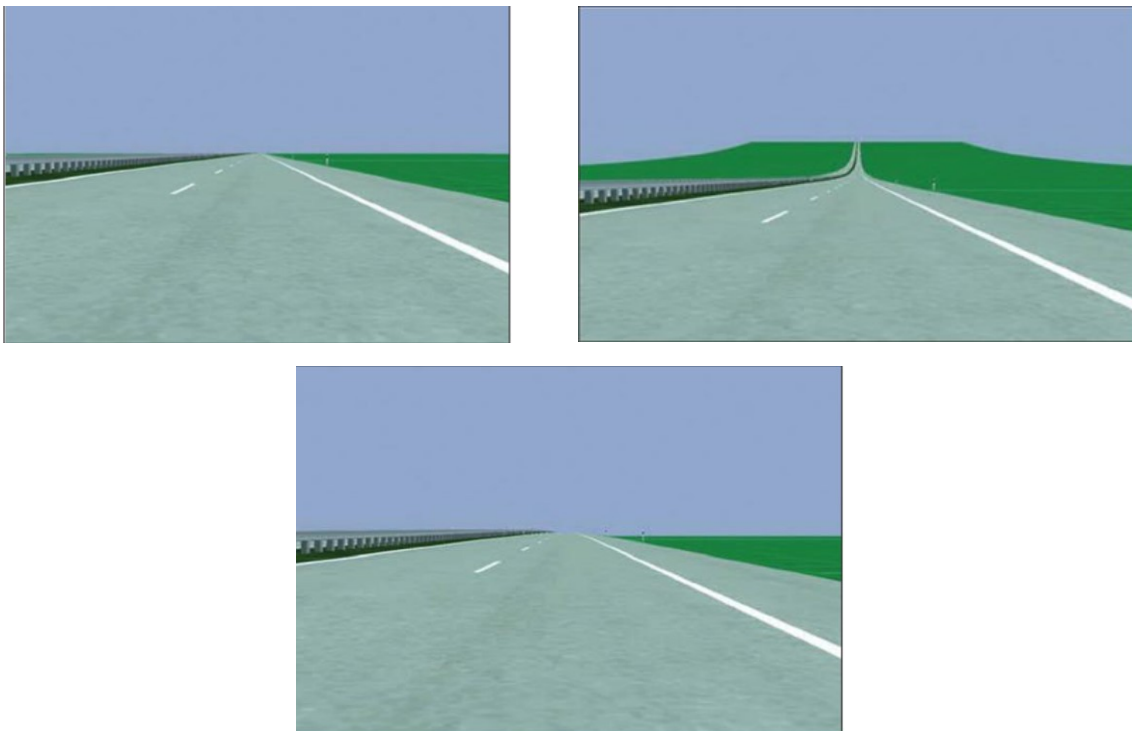
neprekidne promene ugla gledanja (kada se projektna osovina sastoji od niza "S" krivina), tako i zbog dubinskog skraćanja (npr. prilikom upotrebe dugačkih pravaca u definisanju projektne osovine).

Upravo iz sagledavanja ovog višeravanskog problema, mogu se izvesti ključne preporuke za skladno komponovanje projektnih elemenata puta u dve projekcije (situacionom planu i podužnom profilu), odnosno ključne preporuke za **internu harmoniju** putnih elemenata [2].

### 3. INTERNA HARMONIJA PUTNIH ELEMENATA

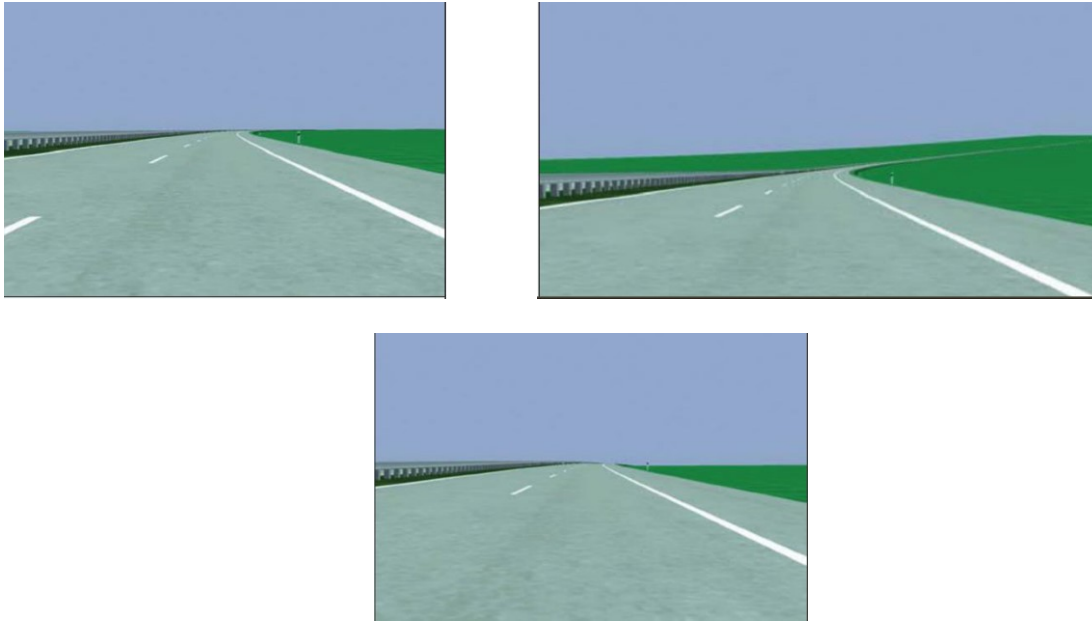
Analizirajući ponašanje vozača kroz set psiho-fizičkih činioca koji se pre svega baziraju na ljudskim čulima, mogu se izvesti sledeće preporuke za dostizanje tzv. interne harmonije:

– Problem dubinskog skraćanja (suženja) trase se može rešiti izbegavanjem pravca prilikom definisanja projektne osovine. Poseban problem predstavlja činjenica da vozač prilikom kretanja po pravom putu, ima problem sa shvatanjem odnosa veličina-odstojanje, odnosno prepoznatim fenomenom Ponzo iluzije. Razlog zbog koga, prilikom kretanja na dugačkim pravcima, rastojanja u daljini doživljavamo kao veća od tih istih rastojanja u neposrednoj blizini je zato što odnose tumačimo po principu linearne perspektive - čini se da što se više udaljavaju od nas paralelne linije se više međusobno približavaju (npr. ivice kolovoza). Ovaj fenomen na dugačkim pravcima za posledicu može imati neodgovarajuću procenu i reakciju vozača. Takođe, uzimajući navedeno u obzir, na pravcu ne možemo na pravi način oceniti odstojanje i brzinu kretanja vozila u daljini. Pored monotonije vožnje, u ovome leži i osnovna preporuka da se pravac koristi samo kao pomoćno sredstvo u trasiranju ili u specifičnim situacijama u cilju poštovanja pojedinih fiksni i prostorni ograničenja [1,2].



**Slika 2.** Primena pravca kao projektnog elementa puta (podužni nagib const., konkavna i konveksna vertikalna krivina) [4]

– Kružne krivine pružaju daleko veće mogućnosti za pravilni prostorni doživljaj trase, uz neophodan uslov da njihova dužina bude dovoljna za shvatanje njihove zakrivljenosti, prilikom kretanja pretpostavljenom računskom brzinom. Iz ovog uslova sledi ograničenje o minimalnoj dužini kružnog luka za 2 sekunde vožnje, odnosno maksimalnoj u zavisnosti od shvatljive vizure preglednosti.

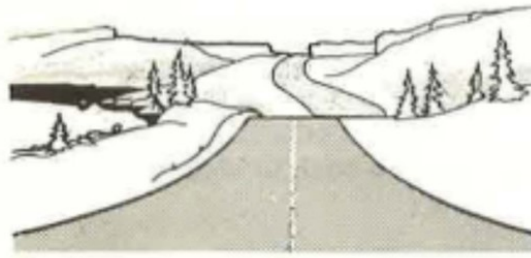


**Slika 3.** *Primena kružne krivine kao projektnog elementa puta (podužni nagib const., konkavna i konveksna vertikalna krivina) [4]*

- Klotoida kao ravnopravan element u trasiranju svakako stvara najpovoljnije optičke efekte i zato se u njenoj primeni mora težiti estetskom kriterijumu pri definisanju njenog parametra, odnosno njene dužine. U tom smislu, najpovoljnija likovna rešenja postižu se pri odnosu  $L_p : D_k : L_p = 1 : 1 : 1$ , sa  $R/3 \leq A \leq R$ .
- Ljudski organizam praktično ne detektuje nagibe nivelete ispod vrednosti  $i_n = 3\%$ . Tek nakon ove vrednosti organizam doživljava pad ili uspon i zato na dugačkim pravcima treba izbegavati veće uspone, kako ne bi došlo do tzv. "efekta zida" i opet do pojave Ponzovih iluzija. Jedan od načina da se ovo izbegne je primena "S" krive na usponima većim od 3%.
- Vertikalne krivine, kao i horizontalne, deluju prirodno samo ako imaju adekvatnu dužinu. Zaobljenja koja su zbog malih radijusa ( $R_v$ ) ili male oštrote ugla ( $\Delta i_n$ ) izvedena na kratkom potezu, vizuelno se doživljavaju kao nasilni, odnosno nagli prelomi u vertikalnom smislu. Najčešći optički promašaji u ovom smislu se dešavaju kod primene čestih preloma nivelete i neadekvatnih dužina vertikalnih krivina. Sa druge strane, konveksni prelomi nivelete u pravcu, mogu u potpunosti da sakriju zakrivljenost trase koja sledi [2].



**Slika 4.** *Primena neadekvatnog radijusa vertikalne krivine [4]*

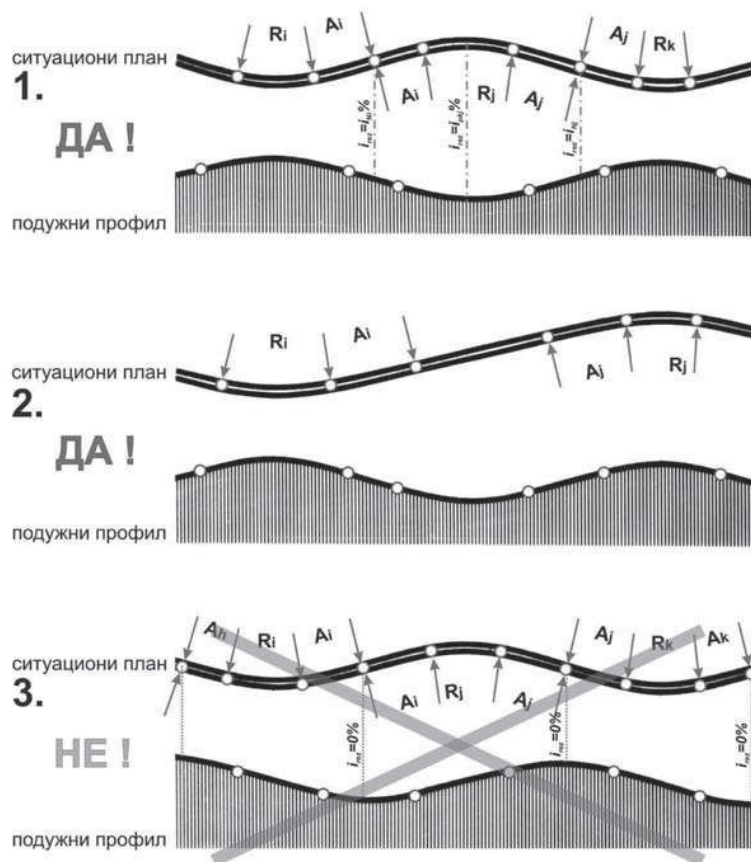


**Slika 5.** Sakrivena zakrivljenost trase konveksnim prelomom u pravcu [5]

– Usklađivanje elemenata horizontalne i vertikalne geometrije puta: Da bi ukupna predstava projektovanog puta bila harmonična, nije dovoljno da unutar svake projekcije postoji skladan odnos primenjenih projektnih elemenata. Da bi se došlo do konačnog cilja, a to je jedinstvo puta i okoline, neophodno je da budu usaglašeni i međusobni odnosi putnih projekcija. To znači da se interna koordinacija elemenata situacionog plana mora vršiti uz jednovremeno sagledanje uticaja vertikalne projekcije i obrnuto.

U skladu sa preporukama iz važećih standarda, povoljan prostorni tok trase puta se postiže uz primenu radijusa vertikalnih krivina koje su 8-10 puta veće od primenjenih radijusa horizontalnih krivina [3].

Samo u slučajevima ravničarskih opruženih trasa daljinskih puteva (npr. autoputevi) prostorna slika puta zavisi pre svega od elemenata situacionog plana puta, oblikovanja eventualnih objekata i oblikovanja putnog pojasa. Razlog tome leži pre svega u blagim podužnim nagibima i malim oštrinama preloma nivelete. U svim drugim okolnostima presudan činilac su položaj preloma nivelete u odnosu na situacioni plan puta kao i primenjene vertikalne krivine. Zato se može smatrati da su upravo ti parametri presudni za skladno definisanje prostorne slike puta.



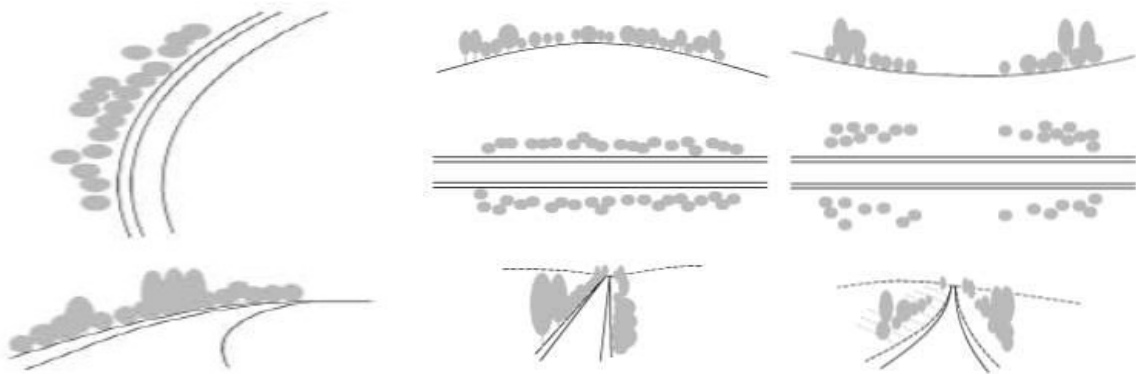
**Slika 6.** Principi usklađivanja horizontalne i vertikalne projekcije puta [2]

#### 4. EKSTERNA HARMONIJA PUTA I NJEGOVE OKOLINE

Čak i pri velikim brzinama kretanja, čovek je u mogućnosti da, nekad u manjoj, nekad u većoj meri, registruje različite sadržaje u okolini puta, ubrajajući u to i prateće elemente kolovoza, zaštitnu opremu puta, elemente saobraćajne signalizacije i opreme. Oblikovanje ovih objekata i sadržaja, a naročito njihovo uklapanje u okolinu puta, prevashodno utiču na na lični doživljaj vozača i konsekventno, njegovo ponašanje tokom vožnje [2].

Upravo ta činjenica sama po sebi nameće neophodnost ozbiljnog pristupa oblikovanju svih objekata unutar putnog pojasa, sa ciljem da se stvori osećaj prirodnog uklapanja puta u njegovu neposrednu okolinu. Ovaj zadatak je svakako složen kako zbog različitih uticaja i uslova koji se javljaju istovremeno, tako i zbog odgovornosti koju prati proces redefinisanja i izmena postojećeg prirodnog okruženja.

Tako projektantski zadatak, uporedo sa poštovanjem principa interne harmonije putnih elemenata, podrazumeva i poštovanje principa eksterne harmonije, odnosno primenu najprikladnijih rešenja za uklapanje puta i putnih objekata u okolni pejzaž. Za uspešno uklapanje puta u pejzaž potrebno je da se pored geometrijskog oblikovanja konturnih linija putnog pojasa, primene i adekvatna rešenja njegovog oplemenjivanja zelenilom, u skladu sa neposrednom okolinom ali poštujući i osnovne principe koji proističu iz zahteva optike puta (preglednost pre svega).



**Slika 7.** Pejzažno oblikovanje konturnih linija puta (krivina, konveksna vertikalna krivina i konkavna vertikalna krivina) [6]

Sa stanovišta eksterne harmonije od izuzetnog značaja je i prilagođavanje puta morfološkim oblicima i karakteristikama terena u kojem se put gradi, kako se ne bi javili ožiljci terena i uopšteno utisak o nasilnom polaganju trase kroz nasleđene morfološke oblike.



**Slika 8.** Primeri neuspešnog uklapanja puta u postojeći teren [privatna arhiva]



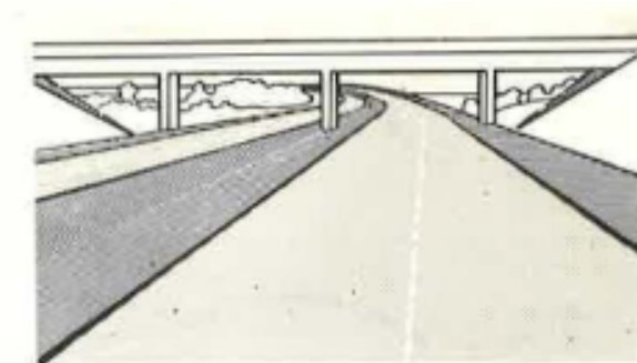
**Slika 9.** Primeri neuspešnog uklapanja puta u postojeći teren [7]

Različitim zasadima se, kada je to neophodno, donekle mogu ublažiti posledice narušavanja likovne ravnoteže prirodne sredine koja nastaje nasilnim intervencijama u terenu (duboki useci, visoki nasipi, pozajmišta materijala, kamenolomi i sl.), što može jednim delom doprineti i geotehničkoj stabilizaciji terena.

Zelenilo se može iskoristiti i kao dragoceno pomoćno sredstvo optičkog vođenja trase, čime se direktno utiče na percepciju vozača. Takođe, zeleni zasadi mogu doprineti i smanjenju zasenjivanja farovima, smanjenju nivoa buke, ublaženju dejstva mraza i vetra itd.

Kada su u pitanju putni objekti (mostovi, tuneli, potporni zidovi i sl.), pored svoje primarne uloge koja proističe iz građevinskog rešenja putnog objekta, imaju i izraženu estetsku dimenziju koja ravnopravno učestvuje u formiranju celokupne prostorne slike puta. Samim tim, svaki primenjeni inženjerski objekat i inženjerska konstrukcija mora da se dodatno proveriti i sa stanovišta doživljaja prostorne slike puta i njegove okoline u celini [2].

Kada su u pitanju mostovi, neophodno je da most pre svega bude u potpunosti prilagođen toku trase u sve tri projekcije. Vozači ne bi trebalo da doživljavaju mostovske konstrukcije kao prepreku ili veštački objekat na trasi, već pre svega kao logičan nastavak trase puta u kome dominiraju skladni likovni odnosi. Jedna od preporuka je da se nadvožnjaci, kad god to konstruktivni uslovi dozvoljavaju, izvode sa maksimalnim svetlim otvorom, dok se kod mostova mora voditi računa o komponovanju elemenata situacionog plana i podužnog profila koji dozvoljavaju punu preglednost na trasi.



**Slika 10.** Primer neuspešnog rešenja uklapanja nadvožnjaka u postojeći teren [5]



Sa druge strane, potporni zidovi mogu se prilagoditi prirodnoj sredini ako prilikom njihovog oblikovanja izbegavamo oštre linije, neprihvatljivo veliku visinu i primenjujemo delikatnu obradu njihovih vidnih površina. Potporni zidovi u kombinaciji sa zelenilom, mogu biti iskorišćeni i za poboljšanje uslova optičkog vođenja trase.



*Slika 11. Neadekvatno uklapanje potpornog zida u postojeći teren [7]*

Oblikovanju tunelskih portala se nažalost ne pridaje dovoljno pažnje, što je verovatno jednim delom zaostalo iz prakse oblikovanja železničkih tunela. Primenjuju se uglavnom izrazito gruba rešenja, koja i po obliku i po završnoj obradi izrazito odskaču od estetskih karakteristika prirodne sredine u kojoj se nalaze.



*Slika 12. Uspešno uklapanje portala tunela u okolni pejzaž – tunel Engelberg [8]*

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznetih stavova i primera, može se svakako konstatovati da prostorno trasiranje i oblikovanje puteva predstavlja jedan od najvažnijih koraka u procesu projektovanja, imajući u vidu pre svega da se upravo u tim aktivnostima objedinjavaju sadejstvo funkcije puta, njegove konstrukcije i oblika.

U radu je opisan metodološki pristup koji u početnim fazama projektovanja može doprineti poboljšanju likovnih i estetskih karakteristika trase, koje posledično mogu imati i bitan značaj na bezbednost i udobnost vožnje u toku eksploatacije novoprojektovanog puta.

## LITERATURA

1. H.Lorenz: "Trasiranje i oblikovanje puteva i autoputeva", Građevinska knjiga, Beograd, 1980.
2. V.Andjus: "Prostorno oblikovanje puteva i sigurnost vožnje", IV Jugoslovenski simpozijum sa međunarodnim učešćem "prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 98", Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Institut za saobraćaj, Novi Sad, 1998.
3. "Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja treba da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta" (Sl.glasnik 50/2011)
4. Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, RAA, Ausgabe 2008.
5. E.H.Geissler: "A Three-Dimensional Approach to Highway Alignment Design", Department of Highways, Ontario, Canada
6. "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji". Poglavlje 7. Put i životna sredina, Beograd 2012.
7. Preuzeto sa interneta: <https://koridorisrbije.rs/sr-lat/foto-galerija>
8. Preuzeto sa interneta: <https://de.wikipedia.org/wiki/Engelbergtunnel>

## UTICAJ PROMENE NAGIBA KOSINE TRUPA PUTA NA POVRŠINU EKSPROPRIJACIJE I KUBATURU MATERIJALA ZA IZRADU NASIPA

**Doc. dr 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)

**Istraživač-saradnik 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)

**Istraživač-saradnik 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)

**Asis. Miloš Lukić, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)

**Nikola Milovanović, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)

**Rezime:** Izbor optimalnog nagiba kosine trupa puta, naročito na deonicama sa visokim nasipima ili dubokim usecima, jedan je od najtežih zadataka za projektanta puta. Iako se, zbog sve većih troškova eksproprijacije i ograničenog slobodnog prostora, uvek teži što većem nagibu kosina, ograničavajući faktor predstavljaju inženjersko-geološke karakteristike terena na kome se gradi put i dimenzije samog objekta, pre svega projektovana visina nasipa, odnosno dubina useka. Na kosinama većeg nagiba se, osim problema obezbeđenja stabilnosti, često javlja pitanje zaštite od erozije i očuvanja vegetacionog pokrivača. U radu je na primeru idealizovanog nasipa fundiranog na kontinualnim padinama terena različitih nagiba pokazano kako promena nagiba kosine utiče na veličinu površine eksproprijacije i kubature materijala potrebnog za gradnju nasipa. Posebno je analizirana primena potpornih zidova za skraćanje kosina i smanjenje površine eksproprijacije, kao i geosintetika za izradu potpornih zidova od armirane zemlje. Poređenjem zidova od armirane zemlje i konvencionalnih betonskih potpornih zidova, pokazano je da su sa aspekta troškova i brzine gradnje, uticaja na životnu sredinu i uklapanja u postojeću prirodnu okolinu, potporni zidovi od armirane zemlje znatno prihvatljivije rešenje. Takođe, primenom potpornih zidova od armirane zemlje za izgradnju rampi denivelisanih raskrsnica, površina eksproprijacije smanjuje se od 1.5 do 2 puta, a kubature materijala za nasipe za više od 80%.

**Ključne reči:** nagib kosine, površina eksproprijacija, kubatura nasipa, vegetacioni pokrivač, potporni zidovi, geosintetici.

## IMPACT OF ROAD EMBANKMENT SLOPE CHANGE ON LAND ACQUISITION AND EARTHWORKS VOLUME

**Abstract:** The road embankment slope, especially on the road sections on high fills or in deep cuts, represents one of the most challenging tasks for road designer. Due to ever-increasing expropriation costs and limited available space, the steeper possible embankment slope is always welcome. But the limiting factors are local geology, geotechnical characteristics of the slopes to be constructed, as well as shapes and grades of slopes in concern. Besides providing for the mechanical stability, erosion control and preservation of vegetation cover must be considered, especially on steep slopes. This paper presents example of a virtual embankment constructed on uniform terrain surface with variable grades and discusses how the slope intensity affects the area to be acquisitioned and earthwork volumes. The paper also discusses deployment of walls and reinforced earth as a radical solution for reducing slope dimensions. By comparing reinforced earth and conventional concrete retaining walls, it was shown that, from the aspect of costs and speed of construction, environmental impact and compatibility with the existing natural environment, reinforced earth retaining walls are a much more acceptable solution. In addition, by applying reinforced earth retaining walls as interchange ramps embankment support, expropriated surface is reduced by 1.5 to 2 time, and the volumes of fill material by more than 80%.

**Keywords:** slope, land acquisition, earthworks volume, vegetation cover, retaining walls, geosynthetics.

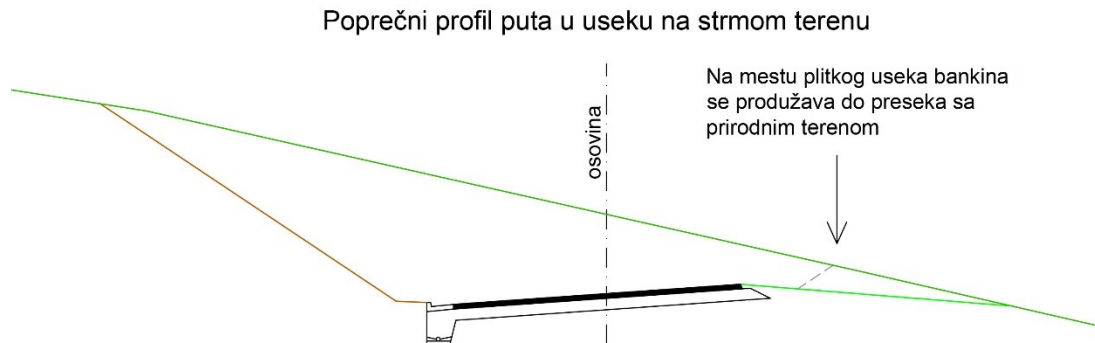
---

<sup>1</sup> Vladan Ilić: [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Za stabilnost trupa puta, kao i cele putne konstrukcije, pravilno projektovane i izvedene kosine igraju vrlo značajnu ulogu. Takođe, pitanje nagiba kosine usko je vezano i za pejzažno uklapanje trupa puta u okolni teren, kao i celokupni vizuelni doživljaj putnog prostora s pozicije oka vozača. Štaviše, oblikovanje putnih kosina, njihova dužina i nagib direktno utiču na površinu ekspropisanog zemljišta i kubature materijala za izradu nasipa, odnosno kubature materijala iskopanog u useku, što predstavlja ekonomski i egzistencijalni problem od presudne važnosti za životnu sredinu područja kroz koje se prostire put.

Pored zadovoljenja uslova stabilnosti, prilikom oblikovanja kosina, treba poštovati i dodatne preporuke definisane u domaćim standardima [L.1]. Generalno pravilo je da manjim visinama trupa puta, kada je  $h_k \leq 2.00\text{m}$ , odgovaraju blaži nagibi kosina. S tim u vezi, u prostoru najprirodnije deluju one trase čije kosine umesto jednolikog nagiba imaju jednake dužine, što zahteva mnogo veće angažovanje od strane izvođača radova. Primenom nesimetričnih nagiba kosina poboljšava se optičko vođenje u oštrijim krivinama u useku, tako što se na unutrašnjoj strani krivine nagib kosine ublaži, a na spoljašnjoj strani krivine nagib poveća. Na padinskim trasama sa većim nagibima terena plitki nasipi i useci, koji se obično javljaju na jednom kraju profila trupa puta, najbolje se uklapaju u teren ako se bankina, odnosno kruna puta s niže strane, samo proširi do prirodnih kosina (Slika 1).



**Slika 1.** Produženje bankine do preseka sa terenom u plitkom useku na strmijem terenu

Najpoželjniji nagibi kosina sa likovnog aspekta i estetskog utiska geometrije trupa puta su  $1:n \leq 1:2$ . Takođe, nagib kosina od 1:2 u našim klimatskim uslovima najpogodniji je za nasipe od sitnozrnog koherentnog materijala (razne vrste gline) i od nekoherentnog materijala, tj. mekih stenskih masa kao što su fliš, lapor i druge stene sedimentnog porekla. Ako se nasip gradi od lošeg zemljanog materijala veće stišljivosti, prema dosadašnjim iskustvima iz prakse, za preporuku je da se ne ide sa nagibom kosina strmijim od 1:3. Za nasipe od kamenog materijala preporučeni nagib je 1:1.5, a ako su takvi nasipi ojačani kamenom oblogom, njihove kosine mogu imati i nagib od 1:1. Na kontaktu kosine sa prirodnim terenom izvodi se zaobljenje sa tangentom veličine 2.00 do 3.00 [m] (Slika 2). Pored nagiba, bitan parametar je visina nasipa, odnosno dubina useka, od kojeg direktno zavisi dužina same kosine i površina eksproprijacije. Što je kosina duža, više je podložna riziku od pojava nestabilnosti izazvanih procesom erozije.

Visina kosine	$h \geq 2,0 \text{ m}$	$h < 2,0 \text{ m}$ ( $< 1,5$ ako je $n=2$ )
PUT NA NASIPU		
PUT U USEKU		
Stand. nagib	1 : 1,5 (1:2)	$k = 3,0 \text{ m}$
Nagib kosine	1 : n	$k = 2 n$
Duž. tangenti	3,0 m	1,5 h

**Slika 2.** Oblikovanje kosina i uklapanje puta u okolni teren (Izvor: L.1)

Najstrmiji nagib sa gledišta održavanja travnatog pokrivača je 1:1.5. U nedavno sprovedenim istraživanjima [L.2] na Pijemontskom platou, odnosno, visoravni između Apalačkih planina i Atlantskog okena na jugoistoku SAD-a, testirano je kako višegodišnje trave sa dubokim korenjem utiču na smanjenje erozije i stabilizaciju kosina. Testirane biljke sađene su na kosinama nagiba od 25° do 30°, koji je nešto blaži od nagiba 1:1.5 (33.7°). Od svih testiranih biljaka za stabilizaciju kosina najbolje se pokazao vetiver. Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) je vrsta višegodišnje trave sa dubokim korenovim sistemom koja, za razliku od ostalih trava, raste na dole, stvarajući gusti splet korenja u zemlji, što ga čini idealnim za sprečavanje erozije i stabilizaciju tla. Koreni vetivera rastu u velikim grozdovima pod zemljom. Biljka je živopisne zelene boje, raste ravno i vertikalno i pripada porodici trava *Poaceae*. U našem klimatskom području se vetiver, koji potiče iz Indije, Indonezije i Šri Lanke, još uvek smatra egzotičnom biljnom vrstom.

Za stabilizaciju kosina i zaštitu od erozije za sve objekte linijske saobraćajne infrastrukture opšteprihvaćena je primena geosintetika, od kojih se na putnim objektima najviše koriste geotekstili, geogridovi, geomreže i geomembrane. Posebnu pažnju zahtevaju područja navoza na prilazu mostovskim konstrukcijama, gde se često javljaju i nasipi visine preko 6.0 [m]. Za stabilizaciju kosina trupa puta na tim prilaznim konstrukcijama u poslednjoj deceniji sve više se koriste trodimenzionalna saća ili 3D geosintetici u formi ćelija (Slika 3), najčešće heksagonalnog oblika, koje se polažu preko kosina, pune zemljanim materijalom i kasnije zatravljaju. Primenom ovih 3D geoćelija moguće je zasaditi i održati travnati pokrivač i na kosinama nagiba strmijeg od 1:1, tačnije čak do nagiba od 70°, prema katalogima pojedinih proizvođača ovih materijala [L.3].



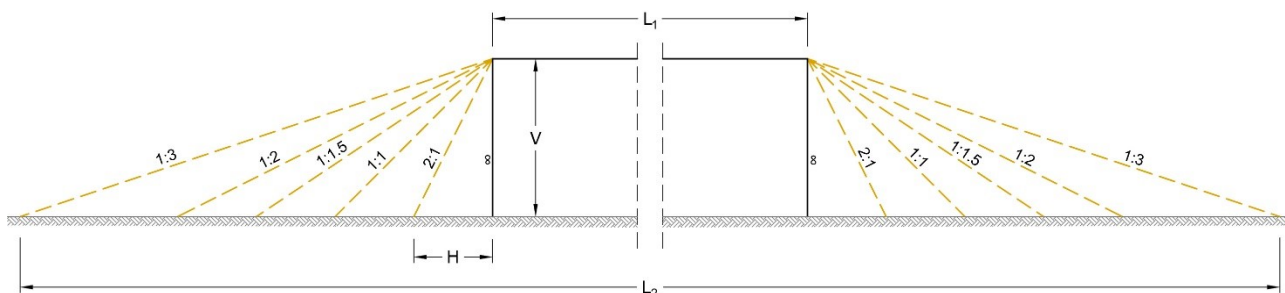
**Slika 3.** Stabilizacija kosina na prilaznoj konstrukciji mosta primenom trodimenzionalnih saća (Izvor: L.4)

Za stabilnost i dugotrajnost kosina stabilizovanih biljnim zasadima od ključne važnosti je redovno održavanje i mehaničko obrezivanje (šišanje) u predviđenim rokovima, pre svega zbog sprečavanja nekontrolisanog rasta agresivnih višegodišnjih vrsta (ostruga, grabić, gavez). Primena herbicida umesto mehaničkog obrezivanja za uništavanje brzorastućih i agresivnih vrsta na površinama kosina dosada se nije pokazala kao dobro rešenje, pre svega zbog zagađenja zemljišta, što potvrđuju i konkretna istraživanja [L.5].

## 2. ODNOS NAGIBA KOSINE I POVRŠINE EKSPROPRIJACIJE

Nagib kosina direktno utiče na veličinu eksproprijacije, odnosno, na razmeru ukupne planirane investicije za izgradnju ili rekonstrukciju puta. Na Slici 4 prikazan je reprezentativni primer trupa puta u nasipu sa različitim

nagibima kosina u rasponu od 1:3 do  $\infty$  (vertikalna kosina od 90°). Visina nasipa je označena sa  $V$ , širina krune puta na nivou planuma sa  $L_1$ , a širina kontaktne površine baze nasipa sa prirodnim tlom, tj. potrebna širina eksproprijisanog zemljišta, sa  $L_2$ . Posmatran je samo idealizovan slučaj kada je površina planuma puta horizontalna, kao i teren na kome se nasip gradi. Naravno, u praksi u širinu pojasa eksproprijacije puta ulaze svi fizički elementi prostorne strukture profila puta od segmentnih i/ili zaštitnih kanala za odvodnju, preko pratećih nekategorisanih poljskih i/ili šumskih puteva, do saobraćajne i putne opreme i ograde kod autoputa. U Tabeli 1 i na dijagramu na Slici 5 pokazano je kako smanjenje nagiba kosine utiče na širenje baze nasipa  $L_2$ , odnosno na uvećanje površine eksproprijacije i kubature nasipa za deonicu puta proizvodnje dužine  $S$ .

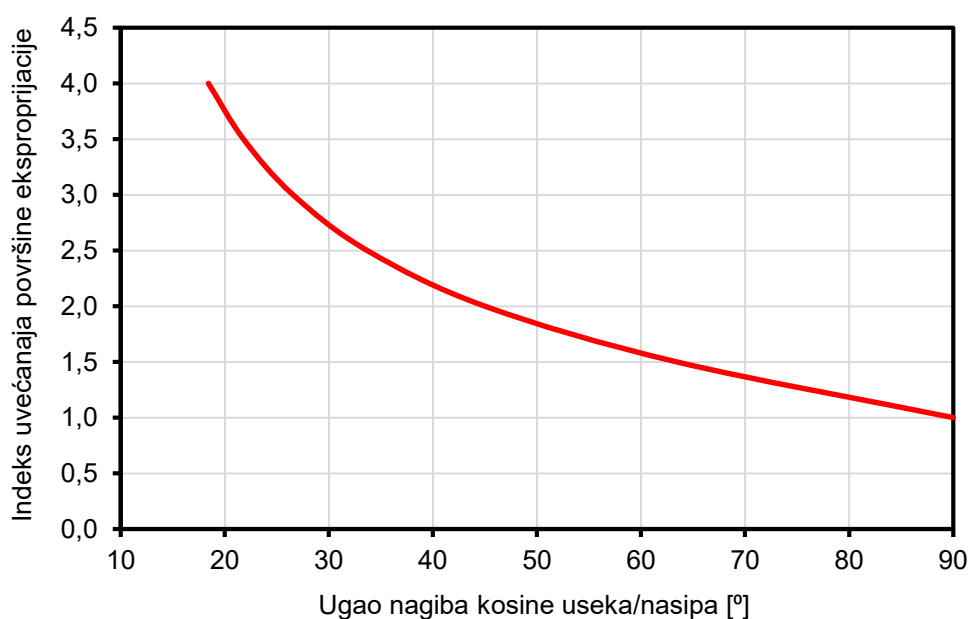


**Slika 4.** Rast površine eksproprijacije sa smanjenjem nagiba kosina na primeru idealizovanog nasipa

**Tabela 1.** Indeksi uvećanja površine eksproprijacije i kubature nasipa sa smanjenjem nagiba kosine

Nagib kosine		Dužina baze $L_2 [x L_1]$	Površina nasipa $F [x L_1 * V]$	Kubatura nasipa dužine $S [x S * L_1 * V]$	Površina eksproprijacije nasipa dužine $S [x L_1]$
Odnos V:H	Ugao [°]				
$\infty$	90.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2:1	63.43	1.50	1.25	1.25	1.50
1:1	45.00	2.00	1.50	1.50	2.00
1:1.5	33.69	2.50	1.75	1.75	2.50
1:2	26.57	3.00	2.00	2.00	3.00
1:2.5	21.80	3.50	2.25	2.25	3.50
1:3	18.43	4.00	2.50	2.50	4.00

**Zavisnost nagiba kosine nasipa i površine eksproprijacije**



**Slika 5.** Dijagram zavisnosti nagiba kosine nasipa i površine eksproprijacije - idealizovan slučaj

Iz Tabele 1 jasno se zaključuje da u prezentovanom slučaju idealizovanog nasipa površina eksproprijacije raste sa istim faktorom uvećanja kao i širina baze tog nasipa  $L_2$ . Takođe, iz iste tabele, vidi se da kubatura materijala za izradu idealizovanog nasipa raste sa istim faktorom kao i površina tog nasipa u poprečnom profilu puta.

Ako se identična analiza uradi za slučaj kada nagib terena na kome se gradi nasip nije horizontalan, dobijaju se još veći odnosi između širine planuma  $L_1$  i širine baze idealizovanog nasipa  $L_2$ , odnosno širine pojasa eksproprijacije. Naime, kao što se vidi u Tabeli 2, sa povećanjem nagiba terena i smanjenjem nagiba kosine, sve više raste širina baze nasipa  $L_2$ , a samim tim i površina eksproprijacije. Proračun je urađen za tri različita nagiba terena od 10 [%], 20 [%] i 30 [%].

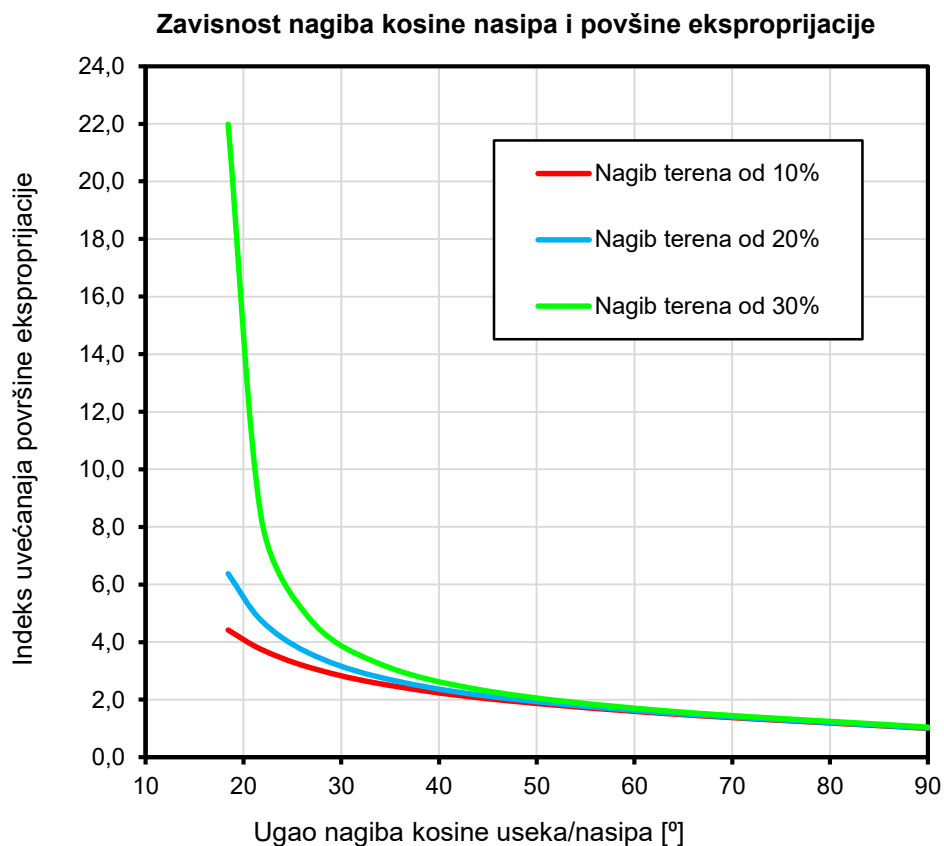
**Tabela 2.** Indeksi uvećanja površine eksproprijacije i kubature nasipa za različite nagibe kosina i prirodnog terena na kome se gradi idealizovani nasip

Nagib terena	Nagib kosine		Dužina baze $L_2$ [ $x L_1$ ]	Površina nasipa $F$ [ $x L_1 \cdot V$ ]	Kubatura nasipa dužine $S$ [ $x S \cdot L_1 \cdot V$ ]	Površina eksproprijacije nasipa dužine $S$ [ $x L_1$ ]
	Odnos V:H	Ugao [°]				
10%	$\infty$	90.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2:1	63.43	1.51	1.26	1.26	1.51
	1:1	45.00	2.03	1.52	1.52	2.03
	1:1.5	33.69	2.57	1.80	1.80	2.57
	1:2	26.57	3.14	2.09	2.09	3.14
	1:2.5	21.80	3.75	2.41	2.41	3.75
	1:3	18.43	4.42	2.76	2.76	4.42
20%	$\infty$	90.00	1.02	1.00	1.00	1.02
	2:1	63.43	1.55	1.27	1.27	1.55
	1:1	45.00	2.12	1.58	1.58	2.12
	1:1.5	33.69	2.80	1.96	1.96	2.80
	1:2	26.57	3.64	2.43	2.43	3.64
	1:2.5	21.80	4.76	3.07	3.07	4.76
	1:3	18.43	6.37	4.00	4.00	6.37
30%	$\infty$	90.00	1.04	1.00	1.00	1.04
	2:1	63.43	1.60	1.30	1.30	1.60
	1:1	45.00	2.29	1.70	1.70	2.29
	1:1.5	33.69	3.27	2.28	2.28	3.27
	1:2	26.57	4.89	3.27	3.27	4.89
	1:2.5	21.80	8.35	5.40	5.40	8.35
	1:3	18.43	21.98	13.87	13.87	21.98

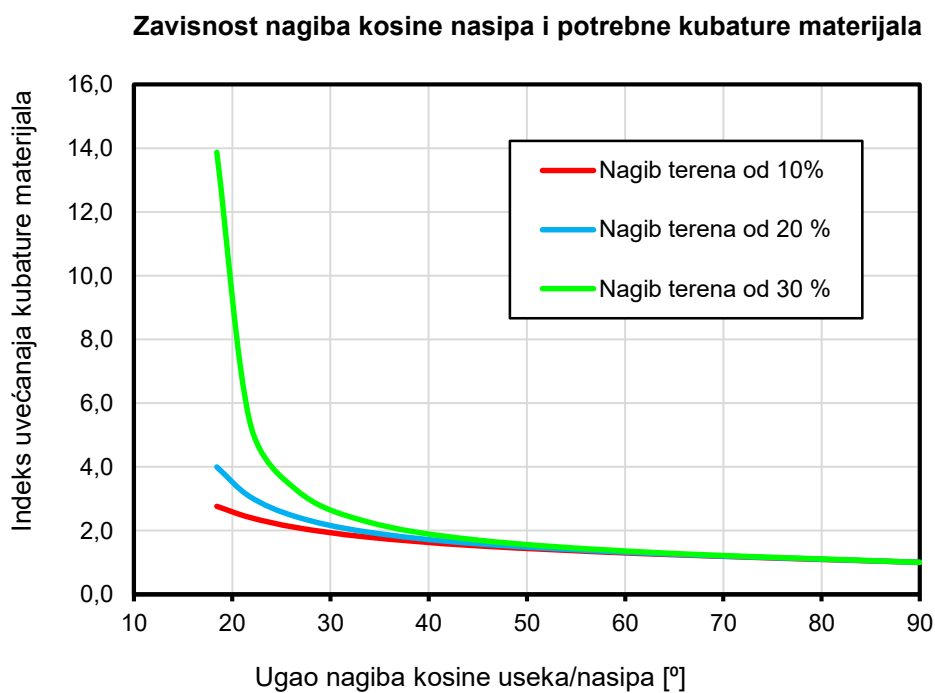
Sa povećanjem nagiba terena, kod nasipa sa manjim nagibima kosina ( $< 1:2$ , odnosno  $< 26[^\circ]$ ), te kosine postaju sve više "paralelne" sa terenom, a njihovi preseki sa linijom terena (nožice nasipa) sve dalji od osovine puta. To dalje, kao što se vidi na dijagramu na Slici 6, za posledicu ima naglo uvećanje površine eksproprijacije. Sve do nagiba kosine od 1:1.2 (ili  $40 [^\circ]$ ) povećanje nagiba terena do 30 [%], pod uslovom da je teren kontinualan, tj. linija terena ravna, ne utiče mnogo na rast površine eskproprijacije. Drugim rečima, ako se nasipi izvode od kvalitetnijeg kamenitog materijala sa nagibima kosina do 1:1.2, ili se primenjuju neke dodatne metode za armiranje nasipa i stabilizaciju kosina (geosinetetici), promena nagiba prirodnih padina do 30 [%] usled varijacija u topografiji terena ne utiče osetno na povećane površine eksproprijacije.

Sličan zaključak može se usvojiti i ako se za iste analizirane nagibe terena posmatra porast kubatura materijala potrebnog za izradu nasipa sa različitim nagibima kosina. Što je nagib terena veći i nagib kosina nasipa blaži, brže raste površina poprečnog profila nasipa, odnosno kubatura materijala koji je potrebno obezbediti i ugraditi. Međutim, indeksi uvećanja kubature materijala nasipa rastu sporijim intenzitetom u odnosu na indekse

uvećanja površine eksproprijacije kada se uporede nasipi istih karakteristika, odnosno nagiba kosina, što se može videti na dijagramu sa Slike 7.



**Slika 6.** Dijagram zavisnosti nagiba kosine nasipa i površine eksproprijacije za različite nagibe terena

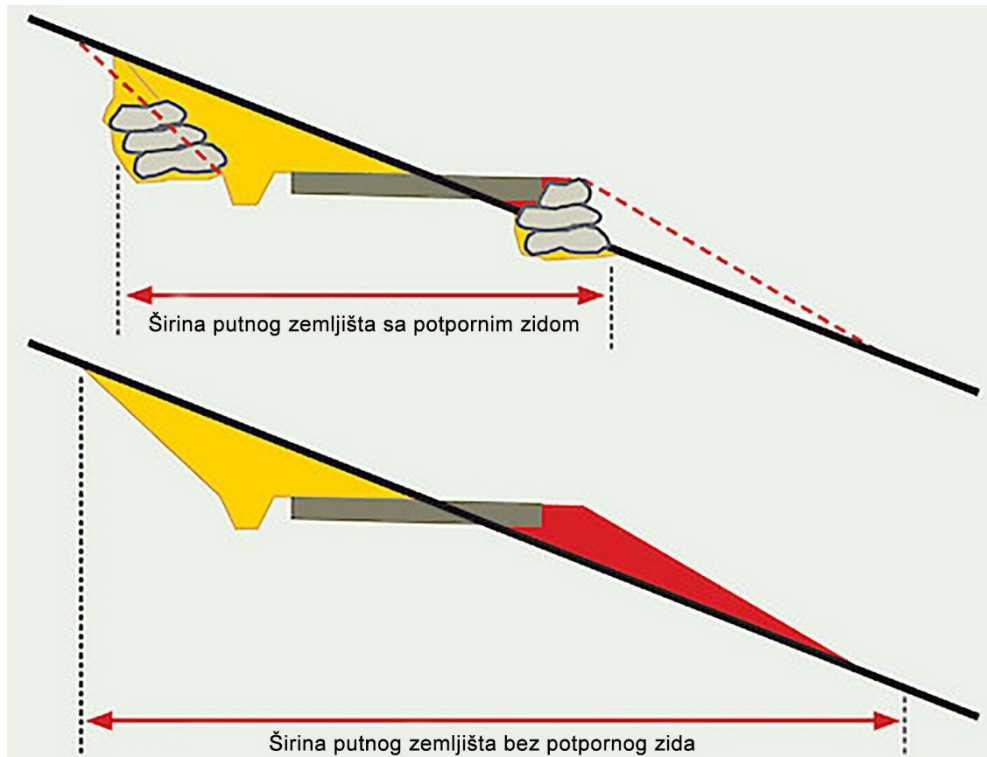


**Slika 7.** Dijagram zavisnosti nagiba kosine nasipa i potrebne kubature materijala za različite nagibe terena



### 3. PRIMENA POTPORNIH ZIDOVA ZA SMANJENJE POVRŠINE EKSPROPRIJACIJE

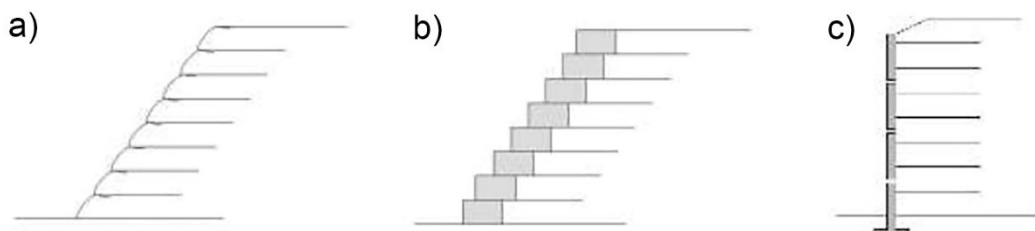
Primenom potpornih zidova na deonicama sa strmijim padinama terena mogu se značajno skratiti kosine, odnosno suziti širina putnog zemljišta (Slika 8). Izgradnjom potpornih zidova, osim povećane stabilnosti trupa puta, značajno se smanjuje potrebna površina eksproprijacije. Upravo iz tog razloga, ovakav vid vođenja trase puta u brdovitim i planinskim terenima, veoma često se primenjuje u zemljama sa izrazito visokim cenama zemljišta kao što su Japan i Švajcarska, gde je često jeftinije izgraditi potporne zidove i skratiti dužine kosina, nego isplatiti vlasnicima parcela uvećane površine zauzetog zemljišta. Pored geotehničkih i inženjersko-geoloških razloga, odluka o izboru tipa rešenja - da li graditi potporne zidove ili samo produžiti kosine do preseka sa prirodnim terenom - treba biti donesena na osnovu detaljnije tehno-ekonomske studije urađene za vreme izrade idejnog projekta.



**Slika 8.** *Primenom potpornih zidova smanjuje se širina putnog zemljišta i površina eksproprijacije (Izvor: L. 6)*

### 4. PRIMENA GEOSINTETIKA ZA STABILIZACIJU I ZAŠTITU KOSINA OD EROZIJE

Ako su planirani nagibi kosina veći od nagiba koje dozvoljavaju mehaničke karakteristike neojčanog (nearmiranog) zemljišta, za ojačavanje kosina u takvim slučajevima koriste se geosintetici. Ojačavanje kosina primenjuje se obično kod gradnje novih ili proširivanja postojećih nasipa, kao i pri sanacijama oštećenih i urušenih kosina. S obzirom na veće dozvoljene nagibe, ojačane kosine mogu da služe i kao alternativno rešenje potpornim konstrukcijama, čime mogu da se uštede značajne površine eksproprijisanog zemljišta. Tu se, za poboljšanje mehaničkih karakteristika tla prilikom armiranja kosina, odnosno, izradu potpornih konstrukcija od armiranog tla, koristi visoka zatezna čvrstoća geosintetika (Slika 9).

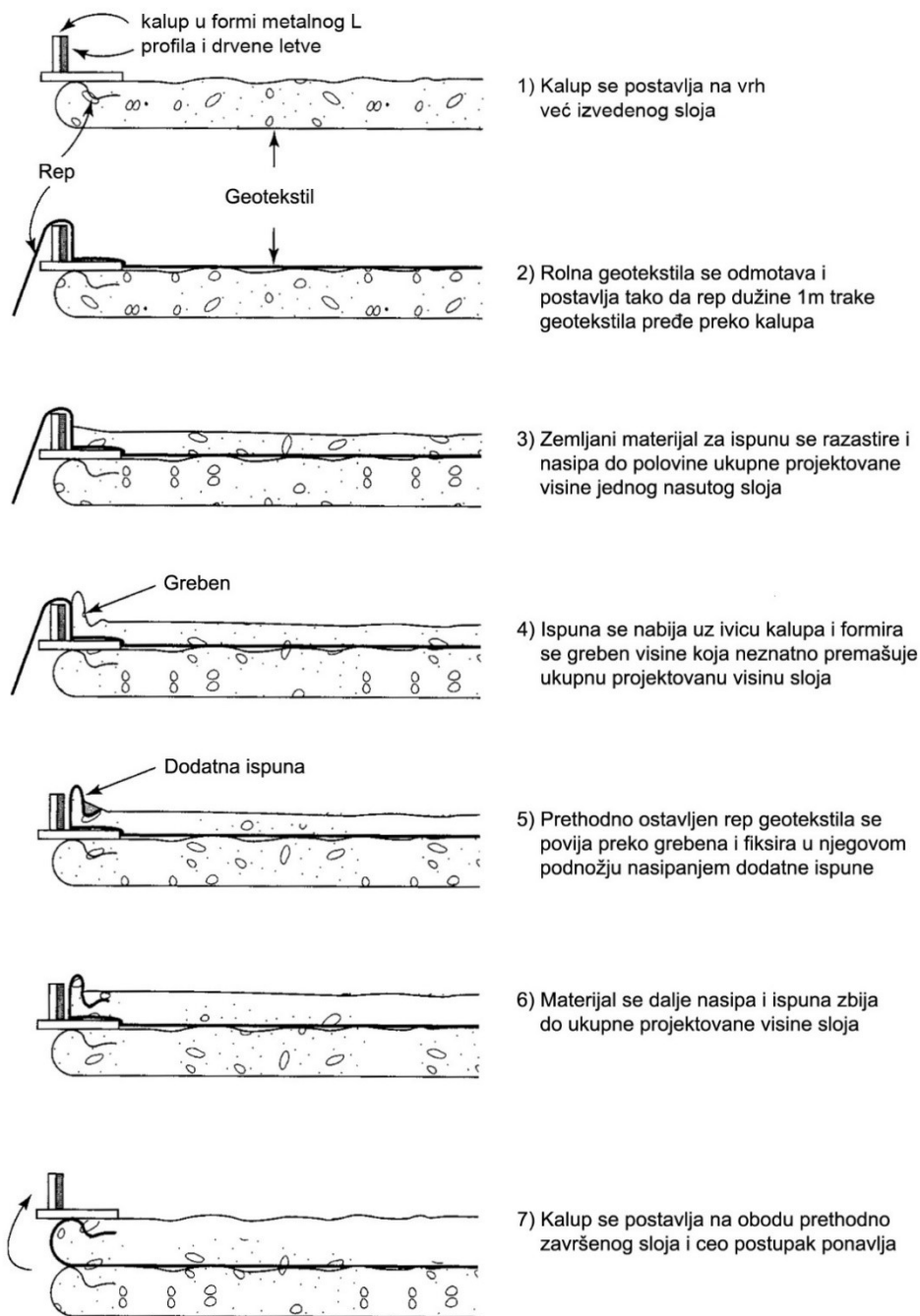


**Slika 9.** *Primeri armiranja kosina primenom armaturnog geosintetika: a) armirana kosina sa mekim čelom, uz pomoć uvijanja, b) armirana kosina sa zaštitom čela uz pomoć fleksibilnih elemenata (gabiona), c) potporna konstrukcija od armiranog tla sa zaštitom čela uz pomoć krutih elemenata (Izvor: L. 7)*

Ovoj grupi geotehničkih objekata, koja se u literaturi često naziva i „mehanički stabilizovano tlo“ ili na engleskom „mechanically stabilized earth - MSE“, pripadaju i sve vrste zidova od armirane zemlje - MSE zidova sa kojima je moguće izvesti stabilne kosina nasipa u nagibu do 70 [°]. Zbog njihove sve masovnije primene u putogradnji, posebno će se analizirati izgradnja potpornih zidova od armirane zemlje i njihov uticaj na površinu ekspanzije i životnu sredinu, u poređenju sa klasičnim armirano betonskim (AB) potpornim zidovima.

#### 4.1 Gradnja potpornih zidova od armirane zemlje

Na funkcionalnost svih vrsta zidova od armirane zemlje najviše utiče način njihovog izvođenja. Početni korak u tom procesu je priprema odgovarajuće podloge na koju se oslanja zid, uklanjanjem slabonosivih i stišljivih površinskih slojeva zemljišta. Ova vrsta zidova obično nema betonske stope na svom dnu i prvi sloj geotekstila postavlja se direktno na zbijeno noseće tlo. Sam proces izvođenja ovih zidova sastoji se iz niza koraka koji se ciklično ponavljaju kao što je prikazano na Slici 10. Pri dimezionisanju MSE zidova obavezno se proveravaju unutrašnja stabilnost, stabilnost na preturanje i klizanje i granična nosivost temeljnog tla.

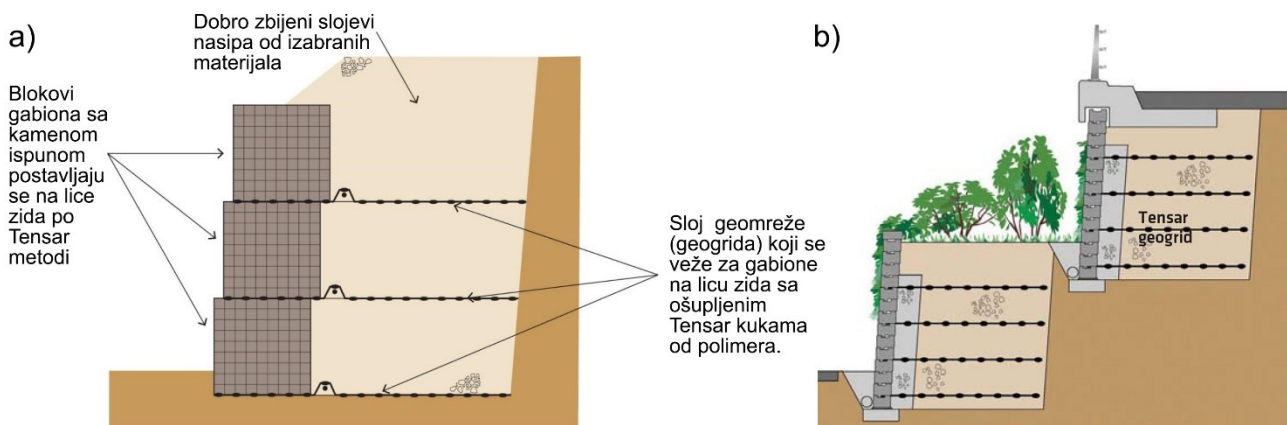


**Slika 10.** Fazna izrada slojeva obmotanih geotekstilom pri izgradnji zidova od armirane zemlje (Izvor: L.8)

Skoro isti princip armiranja koji je prikazan na prethodnoj slici može se, pored geotekstila, primeniti i na zidove armirane geomrežama. Ipak, kod zidova armiranih geomrežama, koji predstavljaju većinu među zidovima armiranih geosinteticima izgrađenih u poslednje dve decenije, češće se koristi nešto drugačija metoda gradnje. U suštini, postupak izrade i polaganja geosintetika ostaje isti kao na **Slici 10**, s tim što su komadi geomreža koji se koriste za armiranje nešto uži od geotekstilnih. Osnovna razlika između ove dve metode gradnje jeste korišćenje prefabrikovanih betonskih segmenata, koji prekrivaju lica zidova armiranih geomrežama, tako što se posebnim kukama kače za spoljašnje krajeve geomreža (**Slika 11**). Samim tim, nema potrebe za formiranjem ivičnih grebena od nasute ispune kao kod zidova armiranih geotekstilom, jer se u ovom slučaju kraj geomreže vezuje za lice budućeg zida, odnosno, ne postoji slobodan "rep" koji bi trebalo povijati i vraćati nazad u ispunu. Pored ovakvog rešenja obrade lica zida, zidovi od armirane zemlje mogu imati kao lice zida složene gabione (**Slika 12a**), ili armirano-betonske blokove (**Slika 12b**). U tom slučaju spoljni krajevi geosintetika fiksiraju se tako što se uvlače kao ispuna između redova gabiona ili betonskih blokova. Sam proces izvođenja je jednostavan i znatno brži u odnosu na izvođenje klasičnih betonskih zidova iste visine, a ukupno trajanje gradnje pre svega zavisi od dimenzija projektovanog zida.



**Slika 11.** Potporni zid od armirane zemlje sa licem od prefabrikovanih betonskih elemenata (Izvor: L.9)

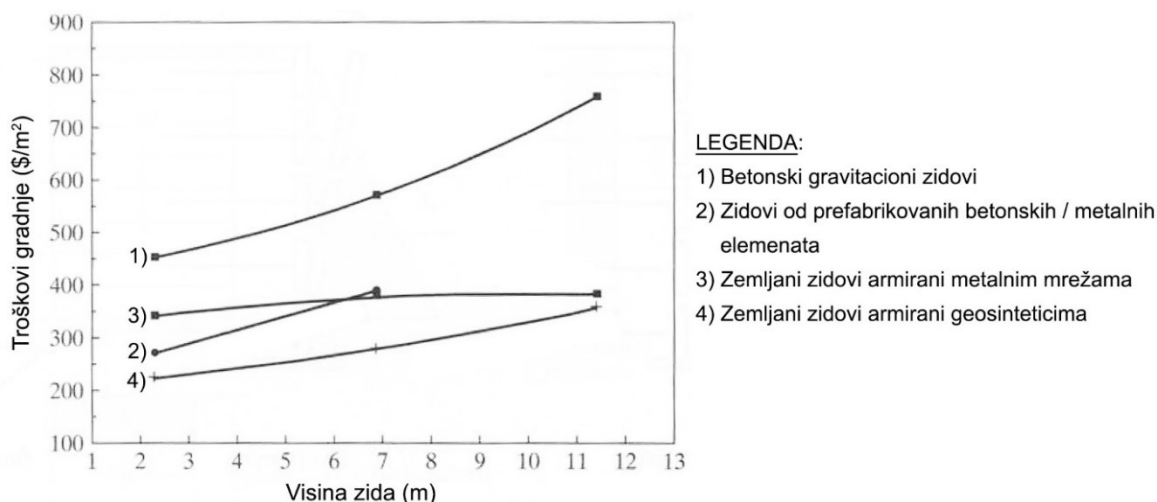


**Slika 12.** Obrada lica zidova od armirane zemlje postavljanjem: a) blokova gabiona ili b) armirano-betonskih blokova (Izvor: L. 10)

## 4.2 Uporedna analiza betonskih potpornih i zidova od armirane zemlje pri izradi visokih nasipa

Za skraćanje dužine kosina kod visokih nasipa, a samim tim i površine eksproprijacije, mogu se primeniti kako klasični betonski potporni, tako i zidovi od armirane zemlje. U zavisnosti od primenjenog rešenja razlikuju se složenost i troškovi izvođenja, troškovi eksploatacije, životni vek objekta kao i njihov uticaj na životnu sredinu. Ovde treba odmah istaći da se visoki nasipi kao geotehničko rešenje po pravilu primenjuju kada je podtlo na kome se grade ti nasipi povoljnih geomehaničkih karakteristika, tj. kada je tlo izgrađeno od stabilnih stenskih masa. Visoki nasipi mogu se graditi i u nepovoljnim uslovima, odnosno na slabonosivom tlu, ali to uvek povlači sa sobom mnogo složenije uslove gradnje i primenu niza rešenja za sprečavanje klizanja kosina, uključujući i duboko temeljenje na šipovima do slojeva tla veće nosivosti. Ipak, u ovom radu će, zbog češće gradnje visokih nasipa na dobrosivom tlu, uporedna analiza primene betonskih potpornih i zidova od armirane zemlje podrazumevati da se ti nasipi grade na podtlu dobre nosivosti.

Troškovi izvođenja, kako betonskih tako i zidova od armirane zemlje, zavise pre svega od dimenzija tih zidova i vrste korišćenog materijala. Od svih vrsta geosinetetika, za izradu zidova od armirane zemlje najčešće se koriste geomreže i geogridovi. Troškovi izrade zidova armiranih geogridovima niži su za 25-50% u odnosu na klasične potporne AB zidove. Sa povećanjem visine zida, ova razlika u troškovima postaje još veća u korist zidova od armirane zemlje, jer betonski potporni zidovi moraju imati značajno veće dimenzije i masivniju konstrukciju, da bi zadržali istu nosivost sa porastom njihove visine. Tako na primer, prema podacima iz SAD-a, sa porastom visine masivnog betonskog zida od 2 [m] do 12 [m] njegova cena raste sa 450 \$/m<sup>2</sup> na 800 \$/m<sup>2</sup>, dok u slučaju zidova armiranih geomrežama cena ide od 200 \$/m<sup>2</sup> do 400 \$/m<sup>2</sup>. Pri tome je rast cena gradnje zidova od armirane zemlje, sa povećanjem njihove visine, približno linearan, što se vidi i na dijagramu na **Slici 13** (kriva br. 4)).



**Slika 13.** Porast cene gradnje u zavisnosti od visine za različite vrste potpornih zidova u SAD (Izvor: L.11)

Troškovi održavanja i eksploatacije MSE zidova takođe su niži od AB zidova iste visine. Na osnovu istraživanja i studija u SAD [L.8], uočeno je da su zidovi od armirane zemlje otporniji na klimatske promene i delovanje atmosferilija u poređenju sa AB zidovima, zato što je kod AB zidova znatno veća površina betona izložena atmosferskim uticajima. Dodatna prednost MSE zidova je što se oni ne fundiraju na dubokim temeljima, što znatno olakšava eventualne sanacije ili rekonstrukcije.

Od početka 21. veka na teritoriji SAD-a urađen je veći broj obimnijih naučnih studija u kojima se poredi uticaj geotehničkih objekata, a među njima i potpornih zidova, na životnu sredinu. Većina ovih studija [L.8, L12] kao rezultat istraživanja ima isti zaključak, a to je da zidovi od armirane zemlje (MSE) izazivaju višestruko manje negativnih uticaja na okolinu u poređenju sa betonskim potpornim zidovima. U studijama je pokazano da su projektovane emisije gasova staklene bašte, pre svega ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), i ukupna potrebna energija za gradnju potpornih konstrukcija istih dimenzija, drastično niži kod MSE zidova u odnosu na sve vrste masivnih gravitacionih i AB potpornih zidova. Osnovni razlog za ovakve rezultate istraživanja leži u činjenici da se za gradnju MSE zidova koristi značajno manja količina betona, armature i metalnih elemenata konstrukcije, u poređenju sa konvencionalnim AB potpornim zidovima. Veliki doprinos zaštiti životne sredine ostvaruje se kroz značajno redukovanu površinu eksproprijacije i kubature materijala korištenih za gradnju. Naime, primenom potpornih zidova od armirane zemlje za izradu nasipa na kojima se oslanjaju rampe denivelisanih raskrsnica, površina eksproprijacije smanjuje se od 1.5 do 2 puta, a kubature materijala za nasipe za više od 80%.

Uklapanje visokih potpornih zidova u postojeći teren i prirodne oblike lokalne sredine uvek predstavlja veliki izazov, kako zbog dimenzija samih objekata, tako i zbog karakteristika materijala od kojih su ti zidovi izgrađeni. Zbog ukupnog vizuelnog utiska i estetskog doživljaja putnog objekta, treba maksimalno težiti da se što više umanjí doživljaj grubog sukoba sa postojećim oblicima terena i prirodnim padinama. Kod potpornih zidova od armirane zemlje to je lakše izvesti zbog dodatnih mogućnosti obrade površine prefabrikovanih blokova ili elemenata koji formiraju lice potpornog zida. Pažljivim kombinovanjem tipskih elemenata različite teksture graviranih površina i boja elemenata prilagođenih ambijentu lokalne sredine, moguće je, pored uštede površine eksproprijacije i materijala za nasipe, dobiti vizuelno dopadljiva i estetski mnogo prihvatljivija rešenja u poređenju sa sivim jednoličnim površinama klasičnih betonskih zidova. Sa estetskog i likovnog stanovišta, primena MSE zidova pokazala se naročito uspešnom prilikom pejzažnog uređenja i oblikovanja lica oporaca mostovskih konstrukcija i kosina rampi denivelisanih raskrsnica u skućenim prostornim uslovima (**Slika 14**).



**Slika 13.** Primeri estetski uspešnog uklapanja MSE zidova na putnim objektima u postojeće prirodne oblike i ambijentalnu sredinu (Izvor: L.9 i L.12)

## 5. ZAKLJUČAK

Pitanje nagiba kosina nasipa ili useka puta direktno je vezano za veličinu potrebne površine eksproprijacije i neophodnih kubatura nasutog ili iskopanog materijala, odnosno, posledično i za veličinu ukupne investicije po km novoizgrađenog putnog pravca. Sa povećanjem dužine deonice puta na visokim nasipima (ili u dubokim usecima), ovo pitanje sve više dobija na značaju. Stoga je u ovom radu najviše pažnje posvećeno odnosu između promene nagiba kosina nasipa i uvećanja površine eksproprijacije, odnosno kubature materijala.

Granični nagib kosina za održanje travnatog vegetacionog pokrivača u našim klimatskim uslovima je 1:1.5, izuzev, ako se površine kosina prethodno ne stabilizuju geosinteticima trodimenzionalne strukture (geočelijama), koji formiraju stabilnu podlogu za usađivanje busenova travnatog pokrivača sve do nagiba od 70°. Rezultati inostranih istraživanja pokazali su da se biljka vetiver najuspešnije održava na kosinama strmijih nagiba od 1:2, zahvaljujući duboko razvijenom korenovom sistemu koji se širi ispod površine kosine.

Na primeru poprečnog profila trupa puta na idealizovanom nasipu, koji se oslanja na ravan teren različitog nagiba, pokazano je da za kosine nagiba strmijeg od 1:1.2 (ili 40 [°]) povećanje nagiba padina terena do

30 [%], ne utiče na rast površine eksproprijacije. To zapravo znači da inženjeri uvek trebaju težiti da projektuju nasipe sa kosinama nagiba strmijeg od 1:1.2, kako promena nagiba prirodnih padina terena (do 30 [%]) ispod baze nasipa, usled varijacija u topografiji terena, ne bi značajno uticala na povećane površine eksproprijacije. Kada je na raspolaganju kvalitetniji kameniti materijal za izradu nasipa, i kada je podtlo ispod baze nasipa dogovarajuće nosivosti, to nije previše težak zadatak. Međutim, pošto kvalitetan materijal za izradu visokih nasipa najčešće nije lako dostupan, ili je postojeći materijal u lokalnim pozajmištima "problematičnog" kvaliteta, da bi se ova ideja realizovala u praksi inženjeri su primorani da koriste razne vrste geosintetika za armiranje nasipa i stabilizaciju kosina, ili da grade klasične potporne zidove. Zato je u drugoj polovini rada najviše pažnje posvećeno zidovima od armirane zemlje (MSE) i njihovim karakteristikama u poređenju sa konvencionalnim betonskim i AB potpornim zidovima.

Osnovna prednost MSE zidova sa obrađenim licem, bilo slaganjem gabiona ili prefabrikovanih betonskih elemenata, je brža gradnja i manja cena po m<sup>2</sup> površine za istu visinu zida u odnosu na tradicionalne betonske potporne zidove. Takođe, zbog manjeg utroška cementa, betona i čelika za njihovu gradnju, oni su ekološki znatno prihvatljivije rešenje u odnosu na sve vrste masivnih gravitacionih i AB potpornih zidova, pre svega u pogledu ukupne emitovane količine ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) i utrošene energije tokom gradnje. Pažljivim izborom tipa prefabrikovanih elemenata za oblaganje lica MSE zidova, tačnije njihove boje i teksture površine, mogu se postići veoma skladna rešenja koja su likovno dobro uklopljena u postojeću sredinu. Shodno tome, sa aspekta estetskog doživljaja i pejzažnog uređenja trupa puta, zidovi od armirane zemlje (MSE) često su za putnike vizuelno mnogo ugodniji od monotonog utiska koji na njih ostavljaju sive jednolične površine klasičnih betonskih potpornih zidova. Primenom MSE potpornih zidova značajno se smanjuju površine eksproprijacije i kubature materijala, naročito pri izgradnji rampi denivelisanih raskrsnica u skućenim prostornim uslovima.

## Literatura

- [1] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta. (2011). S. glasnik R. Srbije, br. 50/2011, (on-line) dostupno na: [https://www.putevi.srbije.rs/images/pdf/regulativa/Pravilnik\\_o\\_uslovima\\_koje\\_sa\\_aspekta\\_bezbednosti\\_saobraćaja\\_moraju\\_da\\_ispunjavaju\\_putni\\_objekti.pdf](https://www.putevi.srbije.rs/images/pdf/regulativa/Pravilnik_o_uslovima_koje_sa_aspekta_bezbednosti_saobraćaja_moraju_da_ispunjavaju_putni_objekti.pdf) (10.02.2023)
- [2] Asima, H.; Niedzinski, V.; O'Donnell, F.C.; Montgomery, J. 2022. Comparison of Vegetation Types for Prevention of Erosion and Shallow Slope Failure on Steep Slopes in the Southeastern USA. Land 2022, 11, 1739. <https://doi.org/10.3390/land11101739>
- [3] ABG - creative geosynthetic engineering, Earth Retaining Wall System, Webwall Geocell, (2023). (on-line) available at: <https://www.abg-geosynthetics.com/products/geocells/webwall-geocell/> (12.02.2023)
- [4] Presto Geosystems - Plan, Partner & Build (2023). (on-line) available at: [https://www.prestogeo.com/gallery\\_presto/applications/roads-highways/?page\\_num=2&type=casestudy](https://www.prestogeo.com/gallery_presto/applications/roads-highways/?page_num=2&type=casestudy) (1.03.2023)
- [5] Parsakhoo, A.; Hosseini, S.A.; Pourmajidian, M.R. 2009. Plants canopy coverage at the edge of main communications network in Hyrcanian forests. Journal of Ecology and Natural Environment, 1(2): 37-44. <http://www.academicjournals.org/JENE>
- [6] NZ Forest Road Engineering Manual (2023). Stabilizing cut and fill slopes during construction, (on-line) available at: <https://docs.nzfoa.org.nz/live/nz-forest-road-engineering-manual/5-road-and-landing-construction/5.10-stabilising-cut-and-fill-slopes-during-construction/> (11.02.2023)
- [7] Konstruktivni elementi puta - 8, Zemljani radovi - 8.1. (2012). SRDM - Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji. (on-line) dostupno na: [https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik\\_za\\_projektovanje\\_puteva/SRDM8-1-zemljani-radovi\(120430-srb-konacna\).pdf](https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/harmonizacija/prirucnik_za_projektovanje_puteva/SRDM8-1-zemljani-radovi(120430-srb-konacna).pdf) (20.02.2023)
- [8] Koerner, R.M. 2012. *Designing with Geosynthetics - 6th Edition Vol. 1*. Xlibris Corporation, USA. 526 p.
- [9] Reinforced Earth, Mechanically Stabilized Earth (MSE) Retaining Walls. (2023). (on-line) available at: <https://reinforcedearth.com/projects/architectural-gallery/> (17.02.2023)
- [10] Tensar, Reinforced Soil Retaining Walls & Slopes. (2023). (on-line) available at: <https://www.tensar.co.uk/applications/earth-retaining-walls-reinforced-slopes> (18.02.2023)
- [11] Koerner, R. M.; Koerner, J.; Soong, T.-Y. (2001). Earth Retaining Wall Costs in the USA. In Proceedings of the Geosynthetics Conference 2001, Portland, OR, IFAI Publishers, 2001. pp. 483-506.
- [12] Berg, R.R.; Christopher, R. B.; Samtani, C.N. (2009). Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Volume I, Report No. FHWA-NHI-10-024, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington, D.C.

# ИСКУСТВА ПРИМЕНЕ И СПРОВОЂЕЊА МЕРА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У ТОКУ ИЗГРАДЊЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ АУТОПУТЕВА

Владан Тасић<sup>1</sup>, дипл.инж.хидрогеол.

**Резиме:** Закључци који произилазе из Студије о процени утицаја на животну средину и Акционог плана за ублажавање утицаја на животну средину, дефинисали су потребу да се у току извођења радова на изградњи аутопутева а касније и у фази њихове експлоатације, прати и анализира стање чинилаца животне средине а за које је доказано да могу бити изложени негативним утицајима. Извођач радова мора да поштује смернице из Студије о процени утицаја на животну средину. Исто тако, Извођач мора да изради акциони план за управљање животном средином у који ће уврстити предлоге који се тичу реализације, управљања и праћења предложених компоненти пројекта који се тичу животне средине. Ради се о Плану управљања животном средином, који Извођач подноси на одобрење Инвеститору и Надзорном органу, и то у року од месец дана од доласка на градилиште. Тај План, у који је Извођач унео радне детаље својих предлога, треба да је у складу са захтевима Акционог плана за ублажавање утицаја на животну средину.

Новим Законом о путевима «Сл. Гласник Републике Србије» бр. 41/2018 од 31.05.2018. је одређено да се управљање државним путевима поверава ЈП „Путеви Србије“ (раније Републичка дирекција за путеве). Предузеће ангажовано на одржавању аутопутева, према Плану одржавања државних путева, одржава подужне и попречне елементе аутопутева, уређује зелене површине у путном земљишту, примењује мере за уклањање снега и леда на коловозу итд., чиме ублажава утицај на животну средину. Круцијално је питање ко наставља да прати параметре животне средине у фази експлоатације (узорковања и испитивања земљишта, подземне и површинске воде праћење квалитета ваздуха и мерење нивоа буке), које су предвиђене Студијама о процени утицаја на животну средину.

**Кључне речи:** Студија о процени утицаја на животну средину, Акциони план за ублажавање утицаја на животну средину, План управљања животном средином, Извођач, Надзорни орган, одржавање аутопутева, мониторинг, Инвеститор.

## ENGLISH

# EXPERIENCES OF APPLICATION AND IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL PROTECTION MEASURES DURING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF HIGHWAYS

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 Management 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.

With the new Law on Roads „Official Gazette of the Republic of Serbia“ no. 41/2018 from 31.05.2018. it was determined that the management of state roads is entrusted to JP „Roads of Serbia“ (formerly the Republic Directorate for Roads). Company engaged in highway maintenance, according to the National Road Maintenance Plan, it maintains the longitudinal and transverse elements of the highway, arranges green areas in road land, implements measures to remove snow and ice on the roadway, etc., thus mitigating the impact on the environment. The crucial question is who continues to monitor the environmental parameters in the exploitation phase (sampling and testing of soil, underground and surface water, air quality monitoring and noise level measurement), which are provided for in the Environmental Impact Assessment Studies.

**Key words:** Environmental Impact Assessment (EIA), Environmental Mitigation Action Plan (EMAP), Environmental Management Plan (EMP), Contractor, Engineer for approval, highway maintenance, monitoring, Employer.

<sup>1</sup> Институт за путеве ад Београд, v.tasic@highway.rs

## УВОД

На основу сагледавања постојећег стања истражног простора и Процене утицаја новопроектованих саобраћајница на животну средину, могу се дефинисати чиниоци животне средине, за које је потребно испитивати параметре дефинисане Уредбом о дозвољеним граничним вредностима (ГВ), Уредбом о индикаторима буке, Уредбом о мерењима емисија загађујућих материја у ваздух и Правилником о методама мерења буке.

Досадашња искуства проистекла израдама Студија процене утицаја на животну средину за новопроектоване саобраћајнице, показују да одговарајућих мерења која дефинишу постојеће стање животне средине - земљишта, површинских и подземних вода, ваздуха, буке и ако их има, најчешће нису адекватна. То је донекле и разумљиво с обзиром да се ради о линијским објектима на углавном новим нетакнутим подручјима, која су и у смислу праћења постојећег стања животне средине, неиспитана. Резултати ових мерења би били референтни приликом мониторинга животне средине у току изградње и експлоатације будућих објеката. Осим тога, често се дешава да се нове саобраћајнице пројектују тако да на појединим деоницама представљају проширење постојећих саобраћајница, што даје шансу да можда и постоје нека ранија испитивања а која могу бити корисна.

Поједини обрађивачи Студија процене утицаја на животну средину су у претходном периоду вршили мерења „0“ стања земљишта и буке, али резултати ових мерења постају упитни с обзиром на околност неизвесног будућег почетка изградње деоница саобраћајница. Неопходно би било да се у наредном периоду изградње аутопутева, приликом уговарања истих, укључе и мерења постојећег „нултог“ стања параметара животне средине (бука, загађење ваздуха, загађење вода и загађење земљишта), не само пре почетка радова на изградњи, већ и по окончању свих радова на изградњи и затварања градилишта односно кампа а непосредно пре пуштања у рад саобраћајница.

## ЧИНИОЦИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ КОЈИ СЕ ПРАТЕ

Извођач радова мора да поштује смернице из Студије о процени утицаја на животну средину. Исто тако, Извођач радова је у обавези да изради Извођачев План управљања животном средином и социјалним питањима, који у року од месец дана од доласка на градилиште мора да поднесе на одобрење Инвеститору и Надзорном органу.

Извођач радова мора да има међу својим особљем на градилишту током трајања уговора, једног именованог службеника, квалификованог за промовисање и одржавање доброг управљања животном средином током изградње а посебно за спровођење Плана управљања животном средином. Овај службеник мора да има овлашћења да издаје упутства и да предузима мере предострожности, како би се спречила штета по животну средину укључујући али без ограничења, успостављање еколошки добре радне праксе и обуку особља и радника за њено спровођење.

Бука као један од параметара који дефинише постојеће стање животне средине, мери се, рачуна и оцењује у складу са Уредбом о индикаторима буке, граничним вредностима, методама за оцењивање индикатора буке, узнемиравања и штетних ефеката буке у животној средини („Сл. гласник РС“ бр. 75/10 - 96).

За мерење нивоа буке потребно је користити опрему која може да пружи увид у комплетне резултате мерења. Процедура мерења у свему мора поштовати Правилник о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке („Сл. гласник РС“, бр. 72/10 - 96). Извештај о извршеном мерењу потписује одговорно стручно лице.

Ваздух, такође параметар који дефинише постојеће стање животне средине, мери се и оцењује у циљу утврђивања дугорочних трендова загађења ваздуха. Поред тога, резултати праћења квалитета ваздуха служе као основа за процењивање опасности по здравље људи и у испитивању посебних жалби грађана, као и за прибављање података при измени и допуни просторних планова.

На почетку реализације програма мониторинга, препоручује се мерење концентрација угљенмоноксида (СО) и азотдиоксида (NO<sub>2</sub>). Уколико резултати мерења укажу на прекорачење ГВ (Уредба о условима за мониторинг и захтевима за квалитет ваздуха („Сл. гласник РС“, бр. 11/10; 75/10 и 63/13, прилог 10, одељак Б), неопходно је листу полутаната проширити мерењем концентрација азотмоноксида (NO), сумпордиоксида (SO<sub>2</sub>), угљоводоника (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) и чврстих честица (PM10).

За свако мерно место се мере и следећи метеоролошки показатељи:

- атмосферски притисак,
- температура ваздуха,



- влажност ваздуха,
- ветар (смер и брзина),
- облачност са врстом облака и висином базе,
- појава падавина,
- видљивост,
- инсолација.

Вода је параметар животне средине, чију угроженост дефинишу:

- за површинске воде то су рН, концентрација раствореног кисеоника у води, отпадне материје, замућеност, концентрација органских једињења и минералних уља;
- за подземне воде то су: геолошко - хидрогеолошки фактор (ниво подземне воде, динамика и количина подземне воде), физичко - хемијски и хемијски (квалитет подземне воде);
- за отпадне воде то су: рН вредност, ХПК, БПК<sub>5</sub>, укупни неоргански азот, нитрити, нитрати, амонијак изражен преко азота, сулфиди, сулфати, хлориди, флуориди, минерална уља, укупни фосфор итд.

Анализа резултата и закључци се изводе на основу:

- Правилника о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода (Сл. гласник РС, бр. 74/2011);
- Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање (Сл. гласник РС, бр. 50/2012, Прилог I);
- Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Службени гласник РС“ бр.67/2011, 48/2012, 67/2011, 1/2016).

### Земљиште

Параметри који су меродавни за утврђивање угрожености земљишта јесу рН, концентрација тешких метала, уља и органских супстанци.

Земљиште у близини прометних саобраћајница се испитује на садржај опасних и штетних материја, а у случају потребе испитује се нарушеност хемијских и биолошких својстава.

Опасне и штетне материје на основу Уредбе о граничним вредностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту („Сл. гласник РС“ бр. 30/2018 и бр. 64/2019) су:

- кадмијум,
- олово,
- жива,
- арсен,
- хром,
- никл и
- флуор;

док су штетне

- бакар,
- цинк и
- бор.

### **ПРОГРАМ МЕРЕЊА**

Изградња саобраћајнице је активност коју одликује сложена временска и просторна динамика радова што отежава избор места, начин и учесталости мерења утврђених параметара. Уколико се у процесу извођења радова и праћења стања животне средине региструју повећања негативних утицаја, неопходно је повећање обима истраживања, како би се добили поуздани подаци о угрожености, узроцима таквог повећања, као и неопходним мерама које је потребно предузети, како би се негативни утицаји елиминисали или свели на законски прописане вредности. Уколико се због појаве нових околности јави потреба за одређивањем нових параметара мониторинга, параметре за квантификацију новонасталих

стања и локације нових места за узорковање, одредиће надлежна инспекцијска служба за заштиту животне средине.

Законска регулатива Р Србије предвиђа Уредбама и Правилницима методе, услове и програме праћења квалитета параметара животне средине.

### Бука

У току градње долази до повећања нивоа буке услед превоза терета тешким теретним возилима (одвожење и довожење материјала) и употребе грађевинске механизације. Ови извори буке су привременог карактера и трају до завршетка грађевинских радова.

У фази извођења радова нивое буке је потребно контролисати по потреби тј. уколико се појаве жалбе грађана на прекомерни ниво буке у тренутку извођења радова. Правилник о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке („Сл. гласник РС“, бр. 72/10-96) дефинише између осталих и методе мерења, избор мерних места, временски интервал мерења и референтно време.

У оквиру мониторинга буке у току извођења радова, обавезно је:

- извршити мерења нултог стања,
- извршити мерења највиших нивоа (пикова) буке у току грађења,
- уколико се при извођењу радова значајније прекораче границе дозвољених нивоа буке, у договору са власником објекта предузимају се потребне мере заштите.

За све последице које проистекну из повишеног нивоа буке у фази извођења радова одговоран је Извођач.

### Ваздух

Мониторинг загађења ваздуха у фази изградње саобраћајнице укључује утврђивање утицаја на квалитет ваздуха у тренутку извођења грађевинских радова, који се одвијају у близини настањених подручја. У случају да градилиште буде постављено на локацији која је од подручја становања ближа од 400 m, потребно је предвидети стално праћење стања загађености ваздуха. Ако је градилиште даље од 400 m, у случају притужби локалног становништва на тим местима организовати праћење утицаја накнадно. Уредбом о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха („Сл. гласник РС“ бр.11/2010, 75/2010 и 63/2013 - Прилог 10, Одељак Б), утврђују се услови за мониторинг и захтеви квалитета ваздуха.

### Вода

Мониторинг вода у фази изградње саобраћајнице укључује утврђивање утицаја на квалитет вода у тренутку непосредних грађевинских радова који се одвијају у близини водотокова односно водозахвата. Програм мониторинга укључује параметре који су меродавни за утврђивање угрожености површинских и подземних вода. Осим овог мониторинга, потребно је да се у току изградње, обавља и мониторинг отпадних вода из градилишног кампа, с обзиром на боравак већег броја запослених на дужи временски период (колективно становање радника), што подразумева генерисање отпадних вода (комунална отпадна вода) и њено испуштање у реципијент.

Узимање узорка се врши на делу површинског тока низводно и узводно од градилишта. Програм мониторинга се одвија тако да се помоћу њега може утврдити који грађевински радови утичу на квалитет површинских токова. Узорке је потребно узети пред почетак радова, у тренутку када се врши скидање хумуса и када се изводи ископ или насипање земљаног материјала. У случају да се то не уради пред почетак радова, узорке узимати на референтној тачки узводно од градилишта.

У ситуацијама кад резултати мерења и анализа указују на повећање негативних утицаја, неопходно је урадити додатна мерења, утврдити узроке погоршања стања и предузети потребне мере заштите. До тренутка одређивања узрока погоршања стања, могу се одвијати само они радови који не утичу на загађење површинских вода.

За подземне воде динамика мониторинга подземних вода у току фазе изградње је урађена на основу програма извођења радова које је доставио наручилац и који је саставни део документације за израду нацрта мониторинга. Програм мониторинга у току грађења Пројекта, обухвата време припремних радова и време изградње. Мониторинг квалитета подземних вода, подразумева и редовну контролу воде за пиће на градилишту.

Са свим мерењима се почиње један месец пре почетка припремних радова. Мерења основних и индикативних параметара подземних вода би требало изводити бар једном годишње у току грађења и на

крају изградње. Време узимања узорака ће зависити од нивоа подземних вода, од падавина као и др. геолошких и хидрогеолошких односа.

Уредбом о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Службени гласник РС“ бр.67/2011, 48/2012, 67/2011, 1/2016), утврђују се граничне вредности емисије за одређене групе или категорије загађујућих супстанци, и то за:

- технолошке отпадне воде пре њиховог испуштања у јавну канализацију;
- технолошке и друге отпадне воде које се непосредно испуштају у реципијент;
- воде које се после пречишћавања испуштају из система јавне канализације у реципијент и отпадне воде које се из септичке и сабирне јаме испуштају у реципијент.

Испитивања отпадних вода укључити у периодична мерења уз анализе која се обављају на узорцима подземне и површинске воде.

### Земљиште

Мониторинг земљишта подразумева, узимање узорака, мерење и лабораторијску анализу узорака, обраду добијених резултата и извештавање надлежних органа и организација а према Уредби о системском праћењу стања и квалитета земљишта („Службени гласник РС“ бр.88/2020).

Мониторинг земљишта се одвија тако да се њиме може утврдити који грађевински радови утичу на квалитет истог. Узорке је потребно узети пред почетак радова, у тренутку када се врши скидање хумуса и када се изводи ископ или насипање земљаног материјала. У случају да се то не уради тако, узорке узети на референтној тачки која је удаљена од градилишта и манипулативних површина грађевинске механизације најмање 100 m.

У ситуацијама кад резултати мерења и анализа указују на повећање негативних утицаја, неопходно је урадити додатна мерења, утврдити узроке погоршања стања и предузети потребне мере заштите. Често се дешава, то искуство показује, да се повишене концентрације појединих тешких метали (кобалт, никл, хром), налазе у земљишту. Треба направити разлику када је узрок антропоген, а када је то природно стање земљишта. До тренутка одређивања узрока погоршања стања, могу се одвијати само они радови који не утичу на загађење земљишта.

### **МЕРЕ ЗАШТИТЕ**

Мере заштите, којима би се негативне последице на животну средину свеле у прихватљиве оквире, обухватају мноштво активности за сваки од уочених утицаја у току извођења радова. Неке од њих су у оквиру уређења градилишта, затим депоновања и уклањања отпада, мере заштите у случајевима наиласка на археолошка налазишта, решавање проблема социолошких утицаја (отежани приступи имањима) и сл. У даљем тексту, наведене су само оне мере заштите које се односе на чиниоце животне средине чије се вредности параметара анализирају током извођења радова, а у склопу периодичног мониторинга.

### Бука

Као општа мера ублажавања, од Извођача радова се захтева да користи модерну опрему са пригушивачима буке и да се придржава уобичајених радних сати у току дана. У близини насељених места рад са бучном опремом треба ограничити и/или ако се укаже потреба треба користити заклоне, постављање опреме иза природних звучних баријера.

Редовним (периодичним), по потреби ванредним техничким прегледом опреме и возила, осигурати максималну исправност и функционалност у циљу минималне емисије буке и вибрација.

Оно што је искуство након завршетка већине деоница на путном правцу Аутопут Е – 763, свакако је поштовање радног времена од стране Извођача и флексибилност грађана који живе у близини градилишта.

### Ваздух

За време извођења грађевинских радова потребно је спровести низ мера како би се негативни утицаји на квалитет ваздуха свели на минимум:

- у циљу спречавања неконтролисаног разношења грађевинског материјала транспортним возилима, потребно је спроводити чишћење истих пре изласка на јавне површине, као и обавезно прекривање или влажење материјала који се транспортује, како не би дошло до његовог развејавања;

- дуж транспортних веза треба ангажовати цистерне са водом и погодним системом распршивања. Вода се распршује најмање 6 пута на дан дуж читаве трасе, како би се спречило подизање прашине услед кретања камиона, а нарочито по неасфалтираним путевима;
- по сувом и ветровитом времену спроводити редовно влажење површина са којих може доћи до развејавања прашине;
- обезбедити техничку исправност механизације, редовним (по потреби и ванредним) техничким контролама норми емисије штетних гасова;
- приликом извођења радова на тунелу, приликом минирања, обзиром да стенске масе не садрже хемијски штетне састојке, предвиђена је мера заштите емисије минералне прашине која је присутна у повећаном обиму код овакве врсте радова. Мера заштите је поливање водом, интезитет поливања се димензионише на основу концентрације прашине, величине таложних површина, укључујући метеролошке услове као што су температура, влажност, присуство ветра и падавине.

### Земљиште и воде

Грађевински кампови треба да буду смештени даље од свих локалних насеобина људи, организовани на минималној површини потребној за њихово функционисање и то на земљишту које тренутно није продуктивно, ако је то могуће. У сваком случају, при избору локације водити рачуна да то не буде простор са израженим природним вредностима. Кампови морају да имају адекватно водоснабдевање, санитарне услове и све потребне инфраструктурне објекте. Вода којом се грађевински кампови снабдевају не сме да буде загађена арсеном. Кампови морају да имају септичке јаме/дренажне јаме одговарајућег капацитета, тако да могу добро да функционишу током читавог периода коришћења.

Извођач мора да користи такве методе градње и да одржава сва позајмишта, депоније материјала и депоније отпада, тако да се обезбеде стабилност и безбедност радова и свих суседних одлика, да се обезбеди слободно и ефикасно природно и вештачко одводњавање и дренажа и спречи ерозија. Уколико није тако, Надзорни орган и Инвеститор имају овлашћење да забране методе градње односно коришћење било ког позајмишта, депоније материјала или депоније отпада, ако су, по њиховом мишљењу, угрожене стабилност и безбедност радова или било које суседне одлике или ако постоји непрописно ометање природног или вештачког одводњавања и дренаже или ако ће метод или коришћење таквог простора поспешити претерану ерозију.

Позајмишта и каменоломи морају да буду лоцирани, коришћени и затворени у складу са Условима. Отпад мора да буде одложен на одобрене депоније које су припремљене, напуњене и затворене у складу, односно, са захтевима из Услови.

Складишта за расут материјал морају да буду заштићена од утицаја ветра да не би дошло до развејавања, као и заклоњена од падавина.

Прописати забрану паљења отпада на градилишту.

После ископа за радове, Извођач мора да предузме све кораке потребне да се окончају радови на дренажи и заштити косина пре сваке кишне сезоне. Извођач мора одмах, о сопственом трошку, да санира ерозију, нестабилност или таложење наслага од радова који нису у складу са Условима. Извођач такође мора да предузме све кораке потребне да се одводњавање и дренажа заврше пре сваке зимске кишне сезоне на местима ископаним ради позајмљивања материјала. Без обзира на одобрење планиране методе рада, Извођач мора у свако доба да буде одговоран за извођење земљаних радова у складу са Условима, Пројектом и својим радним цртежима.

Возила ангажована за превоз материјала морају да буду отпорна на цурење, како би се избегло или на минимум свело цурење материјала током транспорта. У сваком случају, транспортне везе треба прегледати најмање два пута на дан, како би се искључило евентуално случајно цурење.

Забранити отицање воде која настаје испирањем миксера, јер висока рН вредност такве воде, може деградирати животну средину;

По завршетку радова неопходно је на основу посебних пројеката рекултивације уредити сва позајмишта и депоније, како би се спречило даље деградирање земљишта и побољшао визуелни ефекат.

Приликом затварања градилишта, сво контаминирано земљиште треба ископати и заменити новим слојем земљишта.

Употребљену воду са градилишта сакупити и третирати на одговарајући начин. Отпадне воде не смеју се испустити без претходног третмана.

Градилиште мора бити прописно дренирано (одводњавано). Асфалтиране површине, укључујући и зоне за паркирање возила, радионице и складишта горива, одводњавају се ка сепаратору за воду и уље.

Простор обухваћен пројектом може да задеси ружно време, сезонске климатске промене и јаке снежне падавине. Сматраће се да је Извођач упознат са овим условима и да је формулисао свој програм радова узимајући у обзир могући губитак времена из ових разлога и биће обавеза Извођача да ревидира свој програм радова и појача своје напоре на изградњи по потреби како би обезбедио правовремени завршетак радова испланиран за сваку радну сезону.

Тамо где то наложи Надзорни орган, Извођач мора да успостави вегетацију на косинама насипа, усека или мање искоришћеним позајмиштима и осталим површинама које могу да укључују банке и зелене појасеве, депоније отпадног материјала, депоније грађевинског материјала, каменоломе, приступне стазе, локације постројења, кампове, трагове клизишта, јаруге и обале потока и река. Пре постављања хумуса односно успостављања вегетације на насипима, сав насути материјал који није набијен по захтеваним стандардима, мора да се уклони са бочних косина.

Извођач је одговоран за испоруку довољне количине садног материјала, за обављање посла на поновном успостављању вегетације, такође мора да успостави и води расаднике, по потреби и да направи сопствене аранжмане за набавку резница, калема и семена за садњу.

Извођач мора да обезбеди да његове активности не изазову било какво загађење земљишта или воде загађујућим материјама. Он мора да спроведе физичке и оперативне мере, као што су земљани насипи одговарајућег капацитета око резервоара за складиштење горива, нафте и разређивача, складишта, хватача уља и масти у дренажним системима из радионица, постројења за прање возила и база, простора за поправку и сипање горива, кухиња, успостављање санитарних система за одлагање чврстог и течног отпада, одржавање ових мера у функционалном стању, успостављање процедура за хитно реаговање у случајевима загађења и за смањење прашине, све у складу са редовном добром праксом и на задовољство Надзорног органа и Инвеститора.

Простор за складиштење горива треба да буде најмање на 50 m удаљености од водотока.

Забрањено је складиштење и руковање горивима, уљима и др. опасним материјама у зонама заштите водоизворишта.

Сва отпадна уља, филтери за уља и гориво биће прикупљани и одлагани на сигурним местима.

### Вегетација

Осим уколико је другачије предвиђено у Условима, Извођач мора да обезбеди да се дрвеће, жбуње или вегетација поред воде не обарају или оштећују, осим онога што је потребно раскрчити за извођење радова. Извођач мора да заштити дрвеће и вегетацију од оштећења на задовољство Надзорног органа и Инвеститора.

Извођач је одговоран за прибављање свих потребних дозвола за обарање дрвећа и за уклањање оборених стабала у складу са позитивним прописима. Ниједно дрво не сме бити уклоњено пре претходне сагласности Надзорног органа и Инвеститора.

У случају да дрвеће или друга вегетација који нису назначени за крчење буду оштећени или уништени, Извођач исте мора да поправи или замени о сопственом трошку и на задовољство Надзорног органа и Инвеститора.

Извођач не сме да користи нити дозволи употребу дрвета као горива за кување, загревање простора и воде у свим својим камповима и смештају за живот. Свако дрво тако употребљено мора да буде скупљено на законит начин, а извођач мора по потреби да обезбеди Надзорном органу и Инвеститору примерке релевантних дозвола.

### **ИСКУСТВА НАДЗОРНОГ ОРГАНА**

Током вршења стручног надзора за животну средину на аутопуту Е – 763 Београд - Јужни Јадран, Сектор I од Београда до Љига и Сектор II од Љига до Пожеге, искуства су различита, али је слична свест о заштити животне средине коју поседују учесници у изградњи овако значајних инфраструктурних објеката. На I Сектору Извођач је ШанДонг из Кине („China ShanDong International“), док је на II Сектору Извођач био Азвирт из Азербејџана („AzVirt“). На другој страни, Инвеститор је била држава Србија коју је на Сектору I представљало Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, док су на Сектору II ту улогу имали Коридори Србије. Надзор на I Сектору је поверен

Институту за путеве а.д. Београд, док је на II Сектору, та улога поверена Мостпројекту. Треба истаћи да су Подизвођачи биле фирме из Србије. Следе слике са различитих локација на путном правцу Е - 763.



Слика 1 - Испирање миксера за бетон у канал непосредно пре уливања у реку Лесковицу.



Слика 2 - Пример загађивања реке Лесковице, речне обале и седимента речног дна. Водоток протиче ободом грађевинског кампа – загађење потиче од испирања миксера за бетон у канал који одводи отпадну воду у водоток без сепаратора и пречишћивача.



Слика 3 - Испирање миксера за бетон директно у јаругу на деоници Лајковац – Љиг у непосредној близини моста бр. 16 и тунела „Бранчић“, Сектор I



Слика 4 - Пример импровизације ископа јаме за прање миксера на локацији моста бр. 14, Деоница Лајковац - Љиг



Слика 5 - Пример добре инжењерске праксе у заштити животне средине - Базен са таложником за прање миксера за бетон на градилишној бази једног од Подизвођача радова (Енергопројект – Београд) на деоници Лајковац – Љиг, Сектор I аутопута Е – 763.



Слика 6 - Веома честа појава на свим деоницама изградње аутопута – пример одбацивања вишка бетона после бетонирања објеката на траси аутопута (насип реке Тамнаве у непосредној близини деонице Обреновац - Уб, Сектор I аутопута Е – 763).



Слика 7 - Такође честа појава на деоницама изградње аутопута – пример повишене концентрације прашине у ваздуху услед кретања грађевинске механизације приступним путевима (непосредна близина позајмишта „Провалије“, деоница Обреновац - Уб, Сектор I аутопута Е – 763)

Треба издвојити и најновија искуства Надзорног органа на извођењу радова аутопута Е - 761 Београд - Сарајево, деоница Кузмин – Сремска Рача од km 0 + 000.00 до km 16 + 587.95, са изградњом моста преко реке Саве од km 16 + 587.95 до km 17 + 910.37. Радове на траси и мосту преко реке Саве искључиво изводи турска компанија „Tasyari Construction“.





Слика 8 и 9 - Не тако честа појава на свим деоницама изградње аутопута у Србији – орошавање приступних путева градилишту у зони моста преко реке Саве, деоница Кузмин – Сремска Рача



Слика 10 и 11 - Прописно урађена, заштићена и обележена јама за одлагање вишкова бетона из миксера – деоница аутопута у изградњи Кузмин – Сремска Рача

Осим ових искустава, треба посебно анализирати искуство надзорног органа након завршетка радова и пуштања деонице аутопута у пробни рад. Наиме, ради се о обиласку деонице Сурчин – Обреновац на аутопуту Е – 763 на крају гарантног рока. Деоницу је градила кинеска компанија „СССС“ (China Communications Construction Co.,LTD), док је надзорни орган био Институт за путева а.д. из Београда. Следе неке од фотографија начињене том приликом (новембар 2021. год.), које говоре више од речи.



Слике 12 и 13 - Систем одвођења атмосферске воде са коловоза до ретензија на деоници Сурчин – Обреновац изграђеног аутопута „Милош Велики“.

Стиче се утисак да нема одржавања канала за одвођење воде до ревизија са шахтовима, нема одржавања ретензија које примају атмосферску воду са коловоза, нити је познато да ли је управљач ЈП „Путеви Србије“ ангажовао икога за тај део посла на горе поменутој деоници у пробном периоду (првих годину дана од пуштања саобраћаја на деоници Сурчин – Обреновац, аутопута Е – 763 Београд - Љиг, Сектор I).

## ЗАКЉУЧАК

У претходном поглављу су дати најупечатљивији примери нарушавања животне средине у фази изградње аутопута Е – 763 Београд – Јужни Јадран, Сектори I и II, као и примери добре инжењерске праксе односно примене мера за ублажавање утицаја на животну средину у току изградње на аутопуту Е – 761 Београд – Сарајево, деоница Кузмин – Сремска Рача. Утисак је, да се мера заштите предвиђених пројектном документацијом, а потом и Планом управљања животном средином који је израдио сам Извођач, исти углавном придржавају.

Неопходно је да Надзорни орган за животну средину буде присутан од самог почетка извођења радова, како би уз помоћ именованог службеника испред Извођача радова и који има сва овлашћења, заједнички спроводили смернице Студије о процени утицаја на животну средину и Плана управљања животном средином. Исто тако, пројектна документација која се односи на животну средину, Студија о процену утицаја на животну средину и План управљања животном средином, морају да садрже све мере заштите, као и праћење утицаја изградње саобраћајнице на параметаре животне средине. У случају неадекватне пројектне документације, Надзорни орган нема механизам на основу којег би могао да инсистира на свим мерама заштите и праћењу стања параметара животне средине (земљиште, површинске и подземне воде, ваздух и бука) које треба предузимати у фази изградње и без чије примене нема доброг управљања животном средином током исте.

Осим горе наведеног, мониторинг параметара животне средине након пуштања у рад изграђених деоница на путном правцу Е – 763, за сада се ради само по налогу инспекције Министарства заштите животне средине. Потребно је установити обавезу управљача аутопутевима, да се перманентно спроводи праћење стања животне средине у путном појасу током експлоатације саобраћајница, како је то предвиђено Студијом процене утицаја на животну средину.

## Литература

1. Техничке спецификације - ЈП „Путеви Србије“;
2. Студија о процени утицаја на животну средину, АП Е – 763 Београд – Пожега Сектор II, Љиг – Пожега, деоница 1 Бољковци – Таково, Институт за путеве а.д. Београд;
3. Студија о процени утицаја на животну средину, АП Е – 763 Београд – Пожега, Сектор I Београд – Љиг, деоница 3 Обреновац – Уб, Институт за путеве а.д. Београд;
4. Пројекат заштите животне средине, АП Е – 763 Београд – Пожега, Сектор I Београд – Љиг, деоница 5 Лајковац – Љиг, Институт за путеве а.д. Београд;
5. Студија о процени утицаја на животну средину, АП Е – 763 Београд – Пожега, Сектор I Београд – Љиг, деоница Сурчин – Обреновац, Саобраћајни институт „ЦИП“ Београд;
6. Студија о процени утицаја на животну средину, АП Е – 761 Београд – Сарајево, деоница Кузмин – Сремска Рача, Саобраћајни институт „ЦИП“ Београд;
7. План управљања животном средином (Environmental Management Plan) - АП Е – 763 Београд – Пожега, Сектор I Београд – Љиг, деоница Сурчин – Обреновац, „СССС“ - CHINA COMMUNICATIONS CONSTRUCTION COMPANY LTD;
8. План управљања животном средином (Environmental Management Plan) - АП Е – 761 Београд – Сарајево, деоница Кузмин – Сремска Рача, “TASYAPY”- Турска.

# AUTOMATIZACIJA OBRADE PODATAKA I PRAĆENJA STANJA ŽIVOTNE SREDINE TOKOM IZGRADNJE AUTO-PUTA „POJATE-PRELJINA“

Nemanja Jevtić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arup, [nemanja.jevtic@arup.com](mailto:nemanja.jevtic@arup.com) email

**Rezime:** Rad ima za cilj da predstavi način rešavanja i probleme sa kojima se susrećemo u svakodnevnoj digitalizaciji i automatizaciji podataka. Kako je količina podataka koji se prikupljaju tokom praćenjem stanja medijuma životne sredine veoma velika bilo je potrebno pronaći adekvatan način na koji će se podaci digitalizovati, čuvati i obrađivati. Digitalizacija je proces pretvaranja analognih podataka u digitalni oblik pomoću računara i drugih digitalnih tehnologija. Ovaj proces olakšava skladištenje, distribuciju i analizu podataka. Podaci predstavljaju informacije snimljene i sačuvane na nekoj vrsti digitalnih medija.

U radu će biti predstavljen primer digitalizacije podataka u oblasti zaštite životne sredine tokom izgradnje auto-puta „Pojate – Preljina“ koristeći platformu za skladištenje i vizuelno predstavljanje „d.Hub“.

d.Hub je platforma za transformaciju podataka koja pomaže korisnicima da pojednostave upravljanje podacima kako bi imali bolji uvid u stvarnu situaciju i kako bi lakše donosili odluke u realnom vremenu.

U okviru Arup sistema d.Hub trenutno ima krajnje korisnike iz različitih delova Evrope, tako da njegov trenutni obuhvat pokriva samo ovaj region. Budući da je rešenje zasnovano na *cloud-u*, sposobnost sistema da prati rast potreba korisnika kao i da raste u skladu s tim potrebama ove aplikacije zavisi od AWS (Amazon veb usluge).

**Ključne reči:** automatizacija, auto-put, podaci, životna sredina

## AUTOMATION OF DATA PROCESSING AND MONITORING OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT DURING THE CONSTRUCTION OF THE "POJATE-PRELJINA" HIGHWAY

Nemanja Jevtic<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Arup, [nemanja.jevtic@arup.com](mailto:nemanja.jevtic@arup.com)

**Abstract:** The aim of the paper is to present the way of solving and the problems we encounter in the everyday digitization and automation of data. As the amount of data that is collected during monitoring the state of the environment medium is very large, it was necessary to find an adequate way to digitize, store and process the data.

Digitization is the process of converting analog data into digital form using computers and other digital technologies. This process facilitates the storage, distribution and analysis of data. Data is information recorded and stored on some type of digital media.

The paper will present an example of data digitization in the field of environmental protection during the construction of the "Pojate - Preljina" highway using the "d.Hub" storage and visual presentation platform.

d.Hub is a data transformation platform that helps users simplify data management to gain better insight into the real situation and make real-time decisions more easily.

Within the Arup system, d.Hub currently has end users from different parts of Europe, so its current coverage only covers this region. Being a cloud-based solution, the ability of the system to keep up with the growth of user needs and to grow with those needs of this application depends on AWS (Amazon Web Services).

**Keywords:** automatization, highway, data, environment

### 1. Opis projekta

Arup je konsultantska kuća koja je na projektu izgradnje autoputa E-761 Pojate – Preljina (*Moravski koridor*) angažovana u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine i društveno-ekonomskim aspektima. Cilj je da se osigura da se ekološki i društveni uticaji projekta kontrolišu i minimiziraju, kao i da se ispune obaveze iz ESIA (Environmental and Social Impact Assessment) dokumenta. Takođe, cilj je da se projektnim timovima omogući da razumeju probleme zaštite životne sredine i društveno-ekonomskih pitanja i efikasno implementiraju sisteme kontrole.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [nemanja.jevtic@arup.com](mailto:nemanja.jevtic@arup.com)

Moravski koridor je trasa autoputa duga 112.4 km u regionu Zapadne Morave i spaja Pojata sa Preljinom. Projekat podrazumeva izgradnju same trase autoputa, radove na regulaciji reke Zapadne Morave, zaštitu i premeštanje postojećih komunalnih objekata i izgradnju pridruženih privremenih objekata (kamp, deponije, pozajmišta, asfaltne baze).

Izgradnja je podeljena na tri deonice – sektora:

- Sektor 1 od Pojata do Kruševca, dužine 27,83 km,
- Sektor 2 od Kruševca do Adrana, dužine 59,90 km i
- Sektor 3 od Adrana do Preljine, dužine 30,66 km.



Slika 1 Geografski položaj Moravskog koridora  
Izvor: Project documentation

Projekat ima veliki nacionalni značaj jer povezuje dva najznačajnija puta u zemlji: autoput E-75, odnosno južni krak Koridora 10 i autoput E-763, odnosno auto-put Miloš Veliki.

Projekat je takođe od velikog značaja za region, jer povezuje sve veće opštinske centre: opštine Čičevac i Varvarin, Trstenik, Vrnjačku Banju, grad Kruševac, Kraljevo i Čačak. Vreme utrošeno na putovanje će se smanjiti, a povećaće se bezbednost na putevima i umanjiti stopa saobraćajnih nezgoda.

Projekat podrazumeva izgradnju 11 petlji: Pojate, Čičevac, Kruševac-Istok, Kruševac-Zapad, Velika Drenova, Trstenik, Vrnjačka Banja, Vrba, Kamidžora, Adrani i Preljina. Predviđena je izgradnja 130 putnih objekata: 71 most, 28 nadvožnjaka i podvožnjaka i 31 propust pravougaonog preseka. Na trasi autoputa predviđeni objekti za potrebe korisnika obuhvataju: 3 parkinga - "Moravište", "Donji Koševi" i "Donja Ratina" i odmorište "Mrčajevci".

Auto-put će doprineti privrednom razvoju regiona, kao i razvoju turizma, i povoljno će uticati na ekonomiju kroz zapošljavanje lokalnog stanovništva, kako tokom izgradnje, tako i u operativnoj fazi, kada autoput bude pušten u rad.

Pozitivni efekat umanjenog rizika od poplava kroz radove na regulaciji reke, još jedan je pozitivan uticaj ovog projekta.

## **2. Uspostavljanje monitoringa i prikupljanje podataka**

Tokom izgradnje auto-puta vrši se redovni monitoring stanja životne sredine. Monitoring životne sredine je proces koji uključuje prikupljanje i analizu podataka o različitim faktorima životne sredine. Mesečni monitoring se obično sprovodi kako bi se osiguralo da uslovi životne sredine ostanu u okviru sigurnih, prihvatljivih i dozvoljenih granica.

Na osnovu predviđenog obima posla, sledeći aspekti životne sredine se prate u okviru monitoringa životne sredine:

### **1. Kvalitet vazduha**

Redovno praćenje obuhvata godišnje praćenje kvaliteta vazduha u ključnim tačkama, na osnovu identifikovanih osetljivih receptora i tekućih aktivnosti na lokaciji. Uticaj prašine se redovno prati kako merenjem tako i putem vizuelnih inspekcija.

### **2. Buka i vibracije**

Redovno praćenje podrazumeva mesečno praćenje nivoa buke na svim ključnim mestima gde se izvode radovi i na osnovu identifikovanih osetljivih receptora. Merne tačke na kojima su merenja obavljena u fazi ESIA se revidiraju kako bi bolje odgovarale potrebama Projekta.

### **3. Voda**

Redovno praćenje obuhvata kvartalno praćenje kvaliteta podzemnih i površinskih voda na ključnim tačkama a na osnovu identifikovanih osetljivih receptora, uzvodno i nizvodno od područja uticaja. Dodatno praćenje se preduzima nakon uočenih problema tokom vizuelnih inspekcija/obilaska lokacije.

U slučaju prijavljenih žalbi, sprovodi se vanredni monitoring vazduha, buke i vibracija i vode. Tamo gde nivoi pokazuju značajna prekoračenja, predlažu se dodatne mere ublažavanja i sprovodi se naknadno praćenje radi evidentiranja efikasnosti sprovedenih mera.

Broj prikupljenih podataka i informacija tokom dužeg vremenskog perioda može biti veliki i tako otežati razumevanje stvarnog stanja. Često su laboratorijski rezultati predstavljeni u PDF formatu, koji se ne mogu lako analizirati i tumačiti bez specijalizovanih softverskih alata.

Za efikasnu analizu podataka praćenja stanja životne sredine, od suštinskog je značaja da postoji snažan sistem upravljanja podacima koji može da organizuje i pojednostavi proces analize podataka. Ovakav sistem bi trebalo da omogući laku vizuelizaciju podataka i pretraživanje različitih parametara kako bi pomogao u identifikaciji trendova i obrazaca tokom vremena.

Pored toga, upotreba naprednih analitičkih alata kao što su algoritmi mašinskog učenja i statistički modeli mogu pomoći da se otkriju skriveni odnosi između varijabli životne sredine i identifikuju potencijalni rizici i/ili mogućnosti za poboljšanje stanja.

Dobro osmišljen program praćenja stanja životne sredine sa snažnim okvirom za upravljanje podacima i analizom može pomoći organizacijama da bolje razumeju i upravljaju svojim uticajem na životnu sredinu, minimizuju rizike i održe usklađenost sa regulatornim zahtevima.

Za praćenje vazduha, buke i vibracija i vode, takođe sprovodi se i nulto merenje za lokacije koje prvobitno nisu bile uključene u studije ESIA iz razloga što nisu bile relevantne na osnovu opcija projektovanja koje su bile važeće u vreme ESIA monitoringa. U međuvremenu, projekat je ažuriran i bilo je potrebno proceniti niz novih lokacija i uspostaviti nulto stanje.

Pored toga, vrši se procena na osnovu rezultata nultih merenja i planiranih aktivnosti kako bismo utvrdili da li postoji potreba za budućim periodičnim merenjima odnosno praćenju stanja životne sredine.

### 3. dHub

Veliki broj podataka u prvih nekoliko meseci realizacije projekta dao je celom timu ideju da bi bilo veoma korisno pronaći način odnosno program lakše organizacije, skladištenja i praćenja prikupljenih podataka. Kako je Arup internacionalna kompanija obratili smo se našem digitalnom timu u Španiji kako bi nam pomogli u pronalaženju rešenja. Tim je ranije razvio platformu za čuvanje i predstavljanje različitih podataka. Prednost ove platforme je što se lako modifikuje za različite projekte i na taj način štedi vreme u odnosu na klasično razvijanje baze podataka.

d.Hub je platforma za transformaciju podataka koja pomaže korisnicima da pojednostave upravljanje podacima kako bi imali bolji uvid u stvarnu situaciju i kako bi lakše donosili odluke u realnom vremenu.

Sa razvojem odnosno modifikovanjem ovakve baze podataka javljaju se određena ograničenja ali i prednosti.

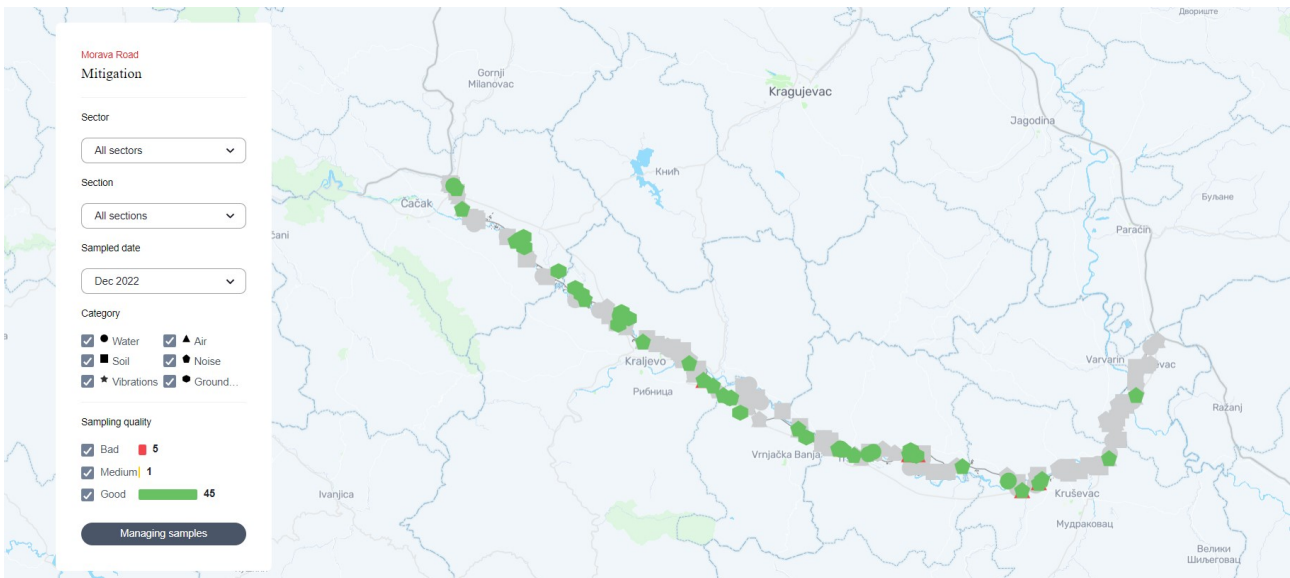
Prednosti su:

1. Platforma je već otklonila većinu „bagova“ koji su se javljali prilikom uspostavljanja baza podataka. Zahvaljujući tome, nismo imali nikakvih problema sa padom sistema, gubitkom podataka ili zastajanjem funkcionisanja baze podataka. Ovo znači da je platforma prošla kroz proces testiranja i otklanjanja grešaka kako bi osigurala stabilno i pouzdano funkcionisanje za svoje korisnike. Bez obzira na to koliko kompleksne baze podataka korisnici imaju, platforma je u stanju da ih podrži bez problema. Kao rezultat toga, korisnici mogu biti sigurni da će platforma uvek raditi na najbolji mogući način i da neće biti izloženi riziku gubitka podataka. S obzirom na to koliko su baze podataka važne za poslovne operacije i odlučivanje, ovo je važna prednost koju platforma nudi.
2. Veća brzina izrade odnosno prilagođavanja baze podataka budućim korisnicima. Na osnovu prethodnih iskustava ovi procesi su trajali i po više godina (u zavisnosti od samih klijenata odnosno njihovih zahteva).
3. Prednost korišćenja platforme je cena izrade modula unutar nje. Kako se baza podataka koristi od strane više različitih korisnika, to dovodi do značajnog smanjenja troškova.
4. Velika prednost je iskustvo programera u poznavanju rada baze podataka. Razumevanje kako baze podataka funkcionišu omogućava programeru da efikasnije prilagode i implementiraju bazu podataka, što može dovesti do boljih performansi i manjeg broja grešaka. Takođe, programer sa poznavanjem baze podataka može brže rešiti probleme koji se pojavljuju u vezi sa samom bazom.

Nedostaci ovakvog sistema:

1. Nefleksibilnost platforme. Platforma je razvijena kao univerzalna i na taj način onemogućuje potpuno prilagođavanje korisnicima. Kad je platforma previše univerzalna, ona može biti ograničena u svojim mogućnostima prilagođavanja korisnicima i njihovim potrebama. Ovo ograničenje može se odraziti na mnogo načina, uključujući ograničene mogućnosti personalizacije, nisku funkcionalnost i nedostatak mogućnosti prilagođavanja korisničkog iskustva.
2. Klijent/korisnik nije uključen u proces modifikacije baze podataka, što ograničava mogućnosti programera da bazu podataka prilagode potrebama korisnika. Umesto da se fokusiraju na stvarne

potrebe korisnika, programeri se oslanjaju na dogovorene zahteve, što često dovodi do lošijeg kvaliteta krajnjeg proizvoda. Ovo je velika prepreka jer ostavlja malo prostora za dodatna ispravljanja koja mogu biti neophodna, a koja iziskuju dodatne troškove. Stoga je važno da programeri uključe klijenta/korisnika tokom procesa modifikacije baze podataka kako bi se osiguralo da se baza podataka prilagođava stvarnim potrebama korisnika. Uključivanje klijenta/korisnika u proces može smanjiti troškove jer se potrebe korisnika rešavaju od samog početka, a ne naknadno. Osim toga, uključivanje klijenta/korisnika tokom modifikacije baze podataka može poboljšati kvalitet proizvoda. Klijent/korisnik će biti u stanju da pruži dragocenu povratnu informaciju o tome šta funkcioniše, a šta ne i šta je potrebno da se unapredi. To može dovesti do bolje usklađenosti sa stvarnim potrebama korisnika, što dovodi do zadovoljnjih korisnika i uspešnijeg proizvoda.

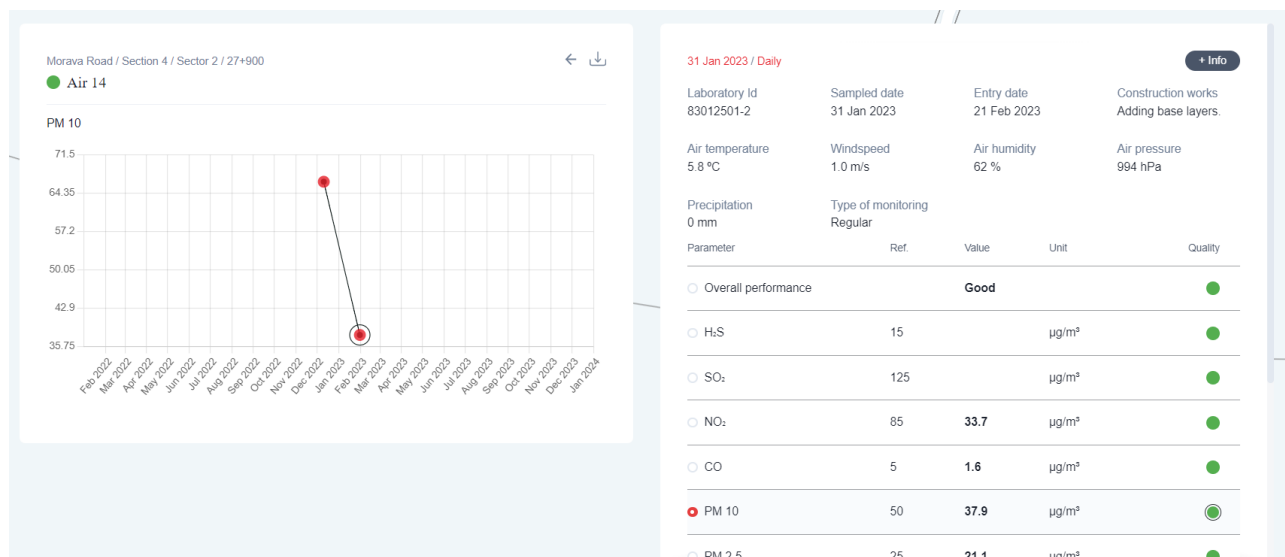


Slika 2 Početna strana nakon logovanja  
Izvor: dHub

Baza podatke omogućava pretraživanje prema različitim kriterijumima kao što su vrsta uzorka, lokacija uzorkovanja, vremenski period uzorkovanja i slično. Ove funkcije pomažu u bržem pronalaženju potrebnih informacija i olakšavaju analizu podataka. Sve ove prednosti čine pretraživanje i sortiranje podataka ključnim alatima za efikasno upravljanje podacima i donošenje pravovremenih odluka na osnovu prikupljenih informacija.

Point	Section	Sector	Km	Category	Sampled date	Entry date	Quality	
Water 13	Sector 2	Section 5	48+100	Water	20 Dec 2022	10 Feb 2023	Good	Edit →
Water 13-1	Sector 2	Section 5	48+100	Water	20 Dec 2022	10 Feb 2023	Good	Edit →
Water 21	Sector 3	Section 8	82+200	Water	20 Dec 2022	10 Feb 2023	Good	Edit →
Water 21-1	Sector 3	Section 8	82+200	Water	20 Dec 2022	10 Feb 2023	Good	Edit →
Air 14	Sector 2	Section 4	27+900	Air	10 Dec 2022	10 Feb 2023	Bad	Edit →
Air 1-05	Sector 2	Section 5	43+100	Air	10 Dec 2022	10 Feb 2023	Bad	Edit →
Air 5-06	Sector 2	Section 5	51+800	Air	10 Dec 2022	10 Feb 2023	Medium	Edit →
Air 13	Sector 1	Section 3	25+730	Air	20 Dec 2022	13 Feb 2023	Bad	Edit →

Slika 3 Mogućnost editovanja svake lokacije  
Izvor: dHub



Slika 4 Informacije o svakom uzorku/parametru  
Izvor: dHub

U okviru svakog uzorka je moguće pratiti trend svakog parametra u vremenskom periodu kada su na toj lokaciji vršena uzorkovanja. Ova vrsta informacija je važna za praćenje promena u kvalitetu uzorkovanog materijala i za identifikaciju potencijalnih problema.

## Zaključak

Neophodno je kvalitetno praćenje stanja životne sredine pri izvođenju većih infrastrukturnih projekata. Često se ovakve lokacije odnosno pojedine deonice nalaze u blizini stambenih naselja i na taj način mogu direktno svojim uticajem ugroziti stanovništvo. S toga je od velike je važnosti da se relevantne informacije vezane za izvođenje ovakvih projekata nađu u bazama podataka kako bi se lakše moglo pratiti stanje životne sredine.

Upotreba baza podataka postaje sve važnija u današnjem svetu, gde količina podataka koje generišu pojedinci i organizacije eksponencijalno raste. Generalno gledano baze podataka nude brojne prednosti organizacijama, uključujući efikasno skladištenje podataka, poboljšano upravljanje podacima, povećanu dostupnost podataka, poboljšani kvalitet podataka i poboljšano donošenje odluka. Koristeći baze podataka, organizacije mogu bolje da iskoriste svoje podatke i steknu uvide koji im pomažu da ostanu konkurentni u svojim industrijama.



# ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCA) ASFALTNIH KOLOVOZA SA SADRŽAJEM BAKARNE I ČELIČNE ZGURE

Jelena Đorđević<sup>1</sup>, Goran Mladenović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru, Zeleni bulevar 35, djordjevic.jelena030@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, emladen@imk.grf.bg.ac.rs

**Rezime:** Veliki industrijski razvoj je poslednjih decenija izazvao nekontrolisano iskorišćavanje prirodnih resursa i degradaciju životne sredine, što je dovelo do zabrinutosti društva za posledice koje utiču na stanje životne sredine.

Izgradnja putne infrastrukture je jedan od glavnih faktora koji doprinose globalnom zagrevanju u oblasti građevinarstva. Procenjeno je da svaki metar izgrađenog puta godišnje izazove emisiju gasova staklene bašte u iznosu od 14,7 kg CO<sub>2</sub>ek, gde su faza ekstrakcije i proizvodnja materijala glavni procesi koji doprinose ukupnoj emisiji ugljenika i potrošnji energije. (1) To je razlog zašto izbor materijala za izradu kolovoznih konstrukcija direktno utiče na lokalno zagađenje i degradaciju životne sredine.

U ovom radu je razmatrana upotreba bakarne i čelične zgure kao delimične zamene prirodnog agregata u asfaltnim mešavinama i analiziran je životni ciklus kolovoznih konstrukcija, napravljenih od pomenutih mešavina.

Eksperimentalna istraživanja su pokazala da upotreba bakarne i čelične zgure u asfaltnim mešavinama dovodi do povećane potrošnje veziva prilikom spravljanja mešavina i do povećavanja transportne mase, što dovodi do povećane potrošnje energije i negativno utiče na globalno zagrevanje i zdravlje ljudi. Međutim, upotreba ovih industrijskih nusproizvoda u asfaltnim mešavinama dovodi do uštede prirodnih agregata i rešava problem deponovanja ovog otpadnog materijala na odlagalištima, što je veoma značajno sa ekološkog aspekta.

**Ključne reči:** bakarna zgura, čelična zgura, LCA, asfaltna mešavina, zaštita životne sredine.

## LIFE CYCLE ANALYSIS (LCA) OF ASPHALT LAYERS CONTAINING COPPER AND STEEL SLAG

Jelena Đorđević<sup>1</sup>, Goran Mladenović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining and Metallurgy in Bor, Zeleni bulevar 35, djordjevic.jelena030@gmail.com

<sup>2</sup> University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, emladen@imk.grf.bg.ac.rs

**Abstract:** In recent decades, large-scale industrial development has caused uncontrolled exploitation of natural resources and environmental degradation, which has led to society's concern about the consequences affecting the state of the environment.

The construction of road infrastructure is one of the main factors contributing to global warming in the construction industry. It has been estimated that each meter of road constructed annually causes greenhouse gas emissions of 14.7 kg CO<sub>2</sub>eq, where the extraction phase and material production are the main processes that contribute to the total carbon emissions and energy consumption. (1) This is the reason why the choice of materials for the construction of pavement structures directly affects local pollution and environmental degradation.

In this paper, the use of copper and steel slag as a partial replacement of natural aggregate in asphalt mixtures was discussed and the life cycle of pavement structures made from the aforementioned mixtures was analyzed.

Experimental research has shown that the use of copper and steel slag in asphalt mixtures leads to increased consumption of binder for preparation of mixtures and to an increase in transport mass, which cause increased energy consumption and negatively affect global warming and human health. However, the use of these industrial by-products in asphalt mixtures leads to the saving of natural aggregates and solves the problem of depositing this waste material in landfills, which is very significant from an environmental point of view.

**Keywords:** copper slag, steel slag, LCA, asphalt mixture, environmental protection.

---

<sup>1</sup> djordjevic.jelena030@gmail.com

<sup>2</sup> emladen@imk.grf.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Brz industrijski razvoj doprinosi velikoj potrošnji prirodnih resursa i zagađenju životne sredine. Različite aktivnosti u toku industrijskih procesa dovode do emitovanja štetnih gasova, koji učestvuju u formiranju prirodnog fenomena – efekta staklene bašte. Gasovi sa efektom staklene bašte apsorbuju jedan deo zračenja Zemlje i time sprečavaju dalji prodor zračenja u atmosferu. Pomenuto zračenje se emituje jednako u svim pravcima i dovodi do zagrevanja Zemlje. Povećanje koncentracije ovih gasova dovodi do energetskog disbalansa u klimatskom sistemu, što konačno rezultuje globalnim zagrevanjem, odnosno povećanjem prosečne temperature Zemlje. Problem globalnog zagrevanja je stvorilo veliku zabrinutost društva, kao i potrebu za sprovođenjem aktivnosti koje neće ugroziti stanje životne sredine.

Analiza životnog ciklusa (Life Cycle Assessment - LCA) je jedan od ključnih alata koji se koristi za analizu uticaja na životnu sredinu postojećih materijala i tehnologija, kao i za razvoj novih i poboljšanje karakteristika postojećih proizvoda. LCA proučava različite vidove uticaja na životnu sredinu tokom celokupnog životnog veka proizvoda od ekstrakcije sirovina, preko proizvodnje, upotrebe i postupanja na kraju životnog ciklusa, recikliranja i konačnog odlaganja tj. „od klevke do groba”.

Poseban problem predstavlja otpad koji nastaje u svim oblastima ljudskih aktivnosti, kako u razvijenim, tako i u zemljama u razvoju. Otpad je ozbiljan ekološki, socijalni i ekonomski problem za sve moderne razvijene ekonomije. Otpad s jedne strane svojim nastajanjem i delovanjem izaziva zagađenje životne sredine, ali sa druge strane otpad predstavlja veliki potencijal kao resurs sekundarnih sirovina i energije. Tretman otpada predstavlja veliki izazov za tehničku struku u cilju razvoja tehnoloških postupaka koji mogu biti prihvatljivi za životnu sredinu.

Jedan od sektora koji doprinosi povećanju negativnih uticaja na životnu sredinu u svetu je građevinska industrija. Najveći deo negativnih uticaja je usmeren na vodu, potrošnju energije, emisiju zagađujućih gasova u atmosferu i eksploataciju prirodnih resursa. Izgradnja i upotreba putne infrastrukture zahteva veliku potrošnju energije, kako u toku proizvodnje sirovina i spravljanja asfaltnih mešavina, tako i za ugradnju mešavina i održavanje saobraćajne infrastrukture. To je razlog zašto se mnogi istraživači bave analizom životnog ciklusa kolovoznih konstrukcija i traže način da inovativnim metodama ili unapređenim postojećim tehnologijama daju doprinos u smanjenju štetnih uticaja na životnu sredinu.

Agregati su glavni materijal koji se koristi za izradu kolovoza. Asfalt beton prosečno sadrži oko 90% agregata, 3% punila, 2% aditiva i 5% veziva, što znači da izgradnja jednog kilometra novog puta zahteva potrošnju oko 30.000 tona agregata. (1) Ova činjenica je još jedan razlog zašto treba ispitati mogućnost upotrebe otpadnih i alternativnih materijala i nusproizvoda kao delimične zamene prirodnih agregata u asfaltnim mešavinama. S jedne strane, time bi se smanjila ekstrakcija i proizvodnja sirovina, došlo bi do smanjenja potrošnje vode, struje i dizela, kao i smanjenja drugih difuznih emisija kao što su buka i prašina. Sa druge strane, smanjilo bi se odlaganje otpada na deponijama, što bi produžilo njihov vek trajanja i rešilo ekološki problem.

Proizvodnja asfaltnog veziva je složen proces koji podrazumeva ekstrakciju, transport i preradu sirove nafte. Svaka od pomenutih faza proizvodnje podrazumeva potrošnju energije i sagorevanje fosilnih goriva, pri čemu dolazi do emisije značajnih količina štetnih gasova.

U ovom radu je razmatrana upotreba bakarne i čelične zgure kao alternativnih materijala koji se mogu koristiti kao delimična zamena prirodnog agregata u asfaltnim mešavinama i uticaj kolovoznih konstrukcija, napravljenih od pomenutih mešavina, na životnu sredinu.

## 2. METODOLOGIJA ANALIZE ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCA)

LCA predstavlja metod i alat za utvrđivanje uticaja industrijskog proizvoda (ili procesa) na životnu sredinu imajući u vidu celokupan životni ciklus proizvoda, odnosno to je proces analize materijala, energije, emisija i otpada koje „produkuje“ proizvod kroz celokupan životni ciklus od nastanka, tj. počevši od resursa i eksploatacije materijala, pa do konačnog odlaganja.

LCA analizira sve i/ili više faza životnog ciklusa proizvoda, uzima u obzir različite uticaje tih faza na životnu sredinu i prirodne resurse, ocenjuje, analizira i interpretira rezultate. Na ovaj način, LCA pomaže kompanijama da odluče do kog nivoa je potrebno baviti se problematikom zaštite životne sredine u procesu odlučivanja o karakteristikama proizvoda, odnosno o vrstama usluga koje kompanija vrši.

Kroz ovaj postupak analize se takođe identifikuju i svi koraci ili procesi između različitih faza i za svaki od tih koraka se definišu ulazi (materijali, resursi i energija) i izlazi (emisije u vodu, vazduh i čvrsti otpad) koji se uzimaju u obzir pri definisanju uticaja.

Identifikacija stanja životne sredine koja rezultira usled uticaja određenih ulaza, odnosno izlaza se ocenjuje kroz studiju ocene uticaja životnog ciklusa. Na osnovu ove studije se dobija opšta slika uticaja posmatranog sistema proizvoda ili usluga na životnu sredinu.

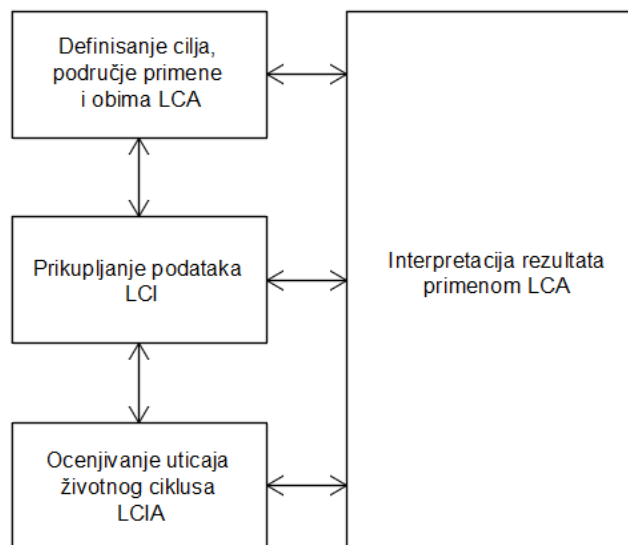
LCA predstavlja iterativni proces koji se sastoji iz četiri faze:

Faza I – definisanje cilja, područja primene i obima LCA;

Faza II – prikupljanje podataka – LCI (Life Cycle Inventory);

Faza III - ocenjivanja uticaja životnog ciklusa – LCIA (Life Cycle Impact Assessment);

Faza IV - interpretacije rezultata primene LCA.



Slika 1. Faze ocenjivanja životnog ciklusa (2)

## 2.1. Definisanje cilja, područje primene i obima LCA

U prvoj fazi neophodno je odrediti cilj, područje primene i obim analize, tj. predmet analize u zavisnosti od vrste proizvoda čiji se životni vek ispituje. Definisanjem cilja određuju se primene LCA, razlozi za izradu studije i korisnici kojima treba dostaviti rezultate studije. Predmet studije obuhvata jasno definisane funkcije proizvoda, funkcionalnu jedinicu, strukturu sistema proizvoda koji se ispituje i granice sistema proizvoda.

U slučaju analize kolovoznih konstrukcija sa alternativnim materijalima, u ovoj fazi je potrebno definisati krajnji cilj analize. To je zapravo ispitivanje na koji način alternativni materijali utiču na emitovanje štetnih gasova i degradaciju životne sredine. Potrebno je navesti dužinu i širinu deonice koja se ispituje, debljinu i sastav kolovozne konstrukcije, kao i broj mešavina ili scenarija koji su obuhvaćeni analizom. U ovoj fazi se definišu i procesi koji su predmet analize u toku životnog veka kolovozne konstrukcije, što predstavlja obim ispitivanja.

## 2.2. Prikupljanje podataka LCI

Ova faza podrazumeva prikupljanje podataka i proračune radi kvantitativnog iskazivanja odgovarajućih ulaza i izlaza sistema proizvoda. Podaci koji se obrađuju i učestvuju u procesu podrazumevaju upotrebu sirovina, kao i emisije u vazduh, vodu i zemljište.

Dakle, kroz analizu unetih podataka životnog veka kolovozne konstrukcije, energetske resursi i potrošnja materijala u toku izgradnje, održavanja i tretiranja na kraju životnog veka kolovoza, definisani su i kvantifikovani u formi ekoloških jedinica.

### 2.3. Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa LCIA

Faza ocenjivanja uticaja životnog ciklusa bavi se analizom povezanosti ulaza i izlaza sa uticajima na životnu sredinu. Postupak ocenjivanja uticaja životnog ciklusa obuhvata svrstavanje podataka u kategorije uticaja (klasifikacija), preračunavanje podataka u kategoriju uticaja (karakterizacija), poređenje dobijenih vrednosti sa poznatim jediničnim uticajima na životnu sredinu, radi sagledavanja njihovog značaja (normalizacija) i objedinjavanje rezultata u jedinstvenu ocenu, u specifičnim slučajevima radi komparacije preprojektovanog i postojećeg proizvoda (dodela težinskih koeficijenata, ponderisanje).

### 2.4. Interpretacije rezultata primene LCA

Četvrta faza je sistematski postupak za identifikovanje, proveru, kvalifikovanje i ocenjivanje informacija dobijenih na osnovu rezultata analize životnog ciklusa i/ili ocenjivanja uticaja životnog ciklusa sistema proizvoda. Rezultati interpretacije se daju u obliku zaključaka i preporuka donosiocima odluka, a u skladu sa ciljem i predmetom studije.

## 3. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA ASFALJNIH KOLOVOZA SA SADRŽAJEM BAKARNE ZGURE

Bakarna zgura u Srbiji je jedan od nusproizvoda koji se deponuje u velikim količinama u blizini proizvodnog procesa u Boru i kao otpad čije se količine svakodnevno povećavaju na odlagalištima stvara veliki ekološki problem. Jedan od načina rešavanja ovog problema je mogućnost korišćenja bakarne zgure kao delimične zamene prirodnog agregata u asfaltnim mešavinama. Dosadašnja ispitivanja su pokazala da su fizičko-mehaničke karakteristike ovog materijala povoljne za primenu zgure kao agregata. Takođe, rezultati ispitivanja asfaltnih mešavina sa dodatkom bakarne zgure su ohrabrujući i ostavljaju prostor za detaljnijom analizom upotrebe ovog alternativnog materijala u kolovoznim konstrukcijama. Kako bi se u potpunosti sagledala mogućnost primene bakarne zgure u asfaltnim mešavinama, neophodno je analizirati i životni ciklus kolovozne konstrukcije sa ovim materijalom i proveriti uticaje na životnu sredinu. Još uvek se niko od istraživača iz kompanije Serbia Zijin Copper (nekadašnji Rudarsko-topioničarski basen Bor) nije bavio ispitivanjem bakarne zgure u pogledu uticaja na životni ciklus (Life Cycle Assessment – LCA) asfaltnih mešavina sa ovim materijalom. Međutim, istraživači u svetu se bave ovom temom i već su došli do određenih rezultata.

Diana Movilla-Quesada i ostali autori (3) istraživali su asfaltne mešavine sa različitim sadržajem industrijskih nusproizvoda (bakarna zgura i celulozni pepeo), kao i sa dodatkom polietilen tereftalata (PET) i najlonskih vlakana. Analiza životnog ciklusa ovih mešavina bazirala se na fazi proizvodnje i fazi ugradnje pomenutih mešavina, čiji je sastav prikazan u tabeli 1.

**Tabela 1.** *Procentualno učešće alternativnih materijala u asfaltnim mešavinama*

Asfaltna Mešavina	Agregat (%)	Bitumen (%)	Tip materijala	(%)
M1	100.00	5.20	Krečnjak	-
M2	85.00	5.20	Bakarna šljaka	15.00
M3	100.00	5.20	PET	14.00
M4	94.00	5.20	Celulozni pepeo	6.00
M5	100.00	4.68	Najlonska vlakna	0.52

Izvor: (3)

Laboratorijski projektovan i kalibrisan sistem za merenje gasova pomoću senzora, korišćen je za upoređivanje emisije metana (CH<sub>4</sub>), ugljen monoksida (CO) i ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) kontrolne mešavine (M1) sa mešavinama koje sadrže alternativne materijale (M2, M3, M4, M5).

Dobijeni rezultati pokazuju u kojoj meri alternativni materijali, kao sastavni delovi asfaltnih mešavina, utiču na količinu emitovanih gasova, a samim tim i na životnu sredinu. Emisija metana za asfaltne mešavine napravljene od polimernih materijala, tj. od PET i najlonskih vlakana se povećava u odnosu na kontrolnu mešavinu za 21% i 14% respektivno. Nasuprot tome, istaživanja su pokazala da asfaltne mešavine sa bakarnom zgurom i celuloznom pepelom emituju 12% manje metana od kontrolne mešavine. Takođe, upotreba bakarne zgure i celuloznog pepela kao delimične zamene prirodnog agregata u mešavinama smanjuje emisiju gasova staklene bašte u fazi proizvodnje mešavina za 15% i doprinosi stvaranju fotohemijskog ozona za kraći vremenski period. Ispitivanja emisije ugljen dioksida predmetnih asfaltnih mešavina pokazuju značajno povećanje kod svih mešavina, 26% i 44,5% za mešavine sa sadržajem celuloznog pepela i bakarne zgure i 130% i 53% za mešavine sa PET materijalom i najlonskim vlaknima respektivno. Kao razlog povećanja emisije

CO<sub>2</sub> u asfaltnim mešavinama sa bakarnom zgurom navodi se činjenica da se potroši više energije prilikom spravljanja ove mešavine u odnosu na kontrolnu zbog absorpcije veće količine bitumenskog veziva kod zgure kao zamenjujućeg agregata. Količina ugljen monoksida koji se emituje u fazi proizvodnje analiziranih mešavina je bez značajnih promena u poređenju sa kontrolnom mešavinom.

#### **4. ANALIZA ŽIVOTNOG CIKLUSA ASFALTNIH KOLOVOZA SA SADRŽAJEM ČELIČNE ZGURE**

Nusproizvod koji se dobija u procesu proizvodnje čelika jeste čelična zgura. Godišnja proizvodnja u svetu ovog otpadnog industrijskog materijala je oko 130 miliona tona. (4) Najveći deo čelične zgure se odlaže na deponijama, što predstavlja veliki ekološki problem koji je naveo mnoge istraživače da ispituju mogućnost upotrebe čelične zgure kao alternativnog materijala u različitim sferama.

Veoma bitna primena ovog materijala je upotreba u izgradnji puteva, gde se čelična zgura često koristi kao materijal za stabilizaciju tla. Osim u površinskim slojevima tla, granulirana zgura iz visokih peći uspešno se primenjuje i kao vezivo pri stabilizaciji dubljih slojeva tla, u slučaju slabe nosivosti tla na kojem je planirana gradnja inženjerskih građevina. Prema statističkim podacima, jedna od najučestalijih primena jeste u nevezanim mešavinama za donji stroj puteva ili kao agregat u asfaltnim mešavinama. (5)

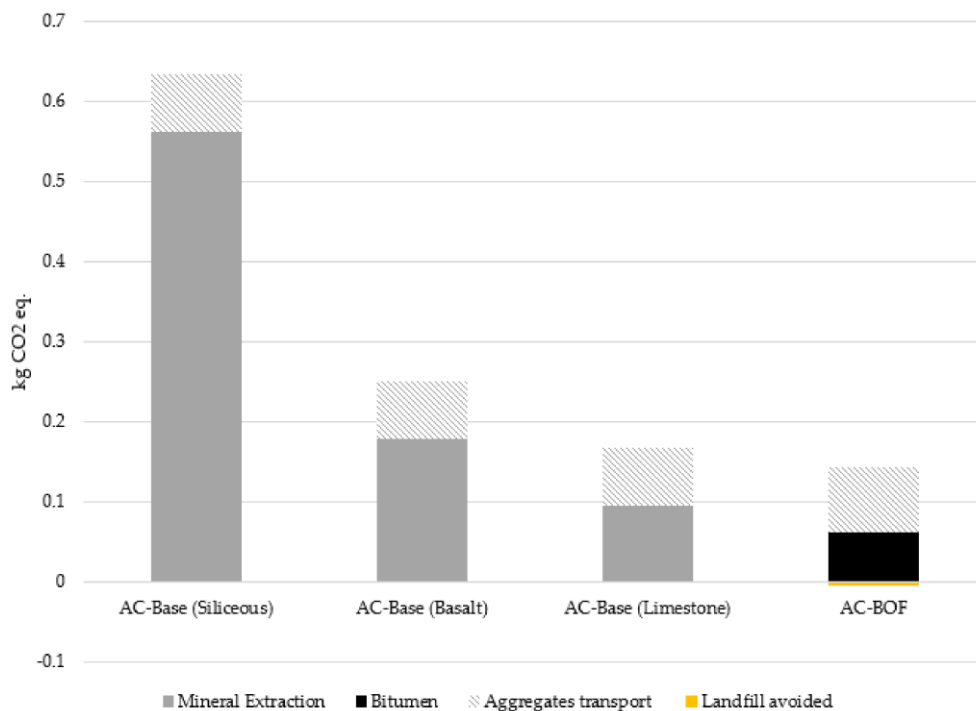
Mnoge laboratorijske analize su pokazale da primena čelične zgure u asfaltnim mešavinama može poboljšati otpornost na klizanje, mehanička svojstva i otpornost na stvaranje kolotruga. Neke studije pokazuju da mešanje krečnjaka i čelične zgure, kao krupnog agregata, asfaltnoj mešavini obezbeđuje visoku otpornost na plastičnu deformaciju, otpornost na zamor i trajnost.

Marina Díaz-Piloneta sa grupom autora (1) istraživala je upotrebu neobrađene čelične zgure iz visokih peći kao alternative prirodnim agregatima u površinskim slojevima asfaltnih kolovoza. Izvršena je analiza uslova koje agregati treba da ispune kada se koriste za spravljanje asfaltnih mešavina, ispitivanje četiri asfaltna mešavina i analiza životnog ciklusa kolovoza spravljenih od tih mešavina. Tri mešavine za izradnju puta su sadržale različite vrste agregata, tj. krečnjak, silikatni i bazaltni agregat (AC-Base), a u četvrtoj je izvršena zamena 15% krupne frakcije krečnjaka sa čeličnom zgurom iz visokih peći (AC-BOF).

Predmetne mešavine sadržale su bitumen 50/70 kao vezivni materijal. Minimalni sadržaj veziva za površinske slojeve asfaltnih kolovoza, prema španskim standardima, iznosi 4,5%. Optimalni sadržaj bitumena koji je usvojen za analizirane mešavine u ovoj studiji je 4,96% za AC-Base i 5,27% za AC-BOF. Može se zaključiti da upotreba čelične zgure zahteva malo veću količinu bitumena zbog veće poroznosti materijala.

Analiza životnog ciklusa je sprovedena za kolovozne konstrukcije za mala i srednja saobraćajna opterećenja za jediničnu površinu od 1 m<sup>2</sup>. Razmatrani radni vek bio je 20 godina, a metodologija ispitivanja je zasnovana na standardu ISO 14040. (9) Podaci prikupljeni za životni ciklus analizirani su u softveru SimaPro v8. (10) Istraživanja su obuhvatala analizu „od klevke do kapije“, koja je uzela u obzir fazu proizvodnje sirovina, transport i ugradnju mešavina.

Na osnovu unetih podataka i pretpostavki, dobijeni su rezultati potencijala globalnog zagrevanja, koji su prikazani na slici 2.



**Slika 2.** Uporedni potencijal globalnog zagrevanja za različite scenarije (1)

U poređenju sa razmatranim prirodnim agregatima, primena čelične zgure omogućava smanjenje emisije CO<sub>2</sub>eq. Uvođenje čelične zgure u asfaltnu mešavinu kao krupnog agregata umesto krečnjaka, doprinosi smanjenju emisije ugljenika za više od 14%, dok u slučaju upotrebe čelične zgure umesto silicijumskog agregata dovodi do smanjenja emisije ugljenika za približno 78%. Ovaj rezultat je implicirao zaključak da primena mešavine na bazi čelične zgure dovodi do uštede od 0.5 kg CO<sub>2</sub>eq po m<sup>2</sup> površine kolovoza. (1)

Faza sa najvećim negativnim uticajem na životnu sredinu je ekstrakcija mineralnog materijala, a u slučaju čelične zgure, to je transportna udaljenost, što zbog lokacija deponija koje su uslovljene metalurškim procesom, što zbog velike gustine zgure (oko 3 t/m<sup>3</sup>), tako da je transport odlučujući faktor u ponovnoj upotrebi čelične zgure.

Panos Georgiou (6) je kroz svoj istraživački rad analizirao uticaje alternativnih materijala na životnu sredinu u habajućim slojevima kolovoznih konstrukcija. Ispitivao je upotrebu čelične zgure iz elektrolučnih peći i recikliranog asfalta sa različitim procentualnim sadržajima u asfaltnim mešavinama po toplom postupku. Uticaji na životnu sredinu ovih mešavina sagledani su od „kolevke do kapije“ i obuhvatili su ekstrakciju i proizvodnju sirovina, transport, rad postrojenja za spravljanje mešavina i ugradnju.

Referentna mešavina je spravljena od prirodnog agregata (granit i krečnjački pesak) nominalne maksimalne veličine zrna 12,5 mm. Sa referentnom mešavinom su upoređivane asfaltna mešavina po toplom postupku WMA\_25RA, WMA\_40RA i WMA\_50RA, koje respektivno sadrže 25%, 40% i 50% recikliranog asfalta i čeličnu zguru iz elektrolučnih peći, kao zamenu prirodnog krupnog agregata.

Uticaj na životnu sredinu pomenutih asfaltnih mešavina razmatran je korišćenjem programa PaLATE (11), alata za analizu životnog ciklusa koji je prilagođen za procenu uticaja kolovoznih konstrukcija. Rezultati PaLATE su se odnosili na inventar životnog ciklusa (energija, potrošnja vode, emisije i generisani opasan otpad) i na procenu uticaja na životni ciklus. Analizirano je više scenarija sa pomenutim mešavinama, kako bi se na što bolji način sagledale pogodnosti upotrebe alternativnih materijala u pogledu očuvanja životne sredine.

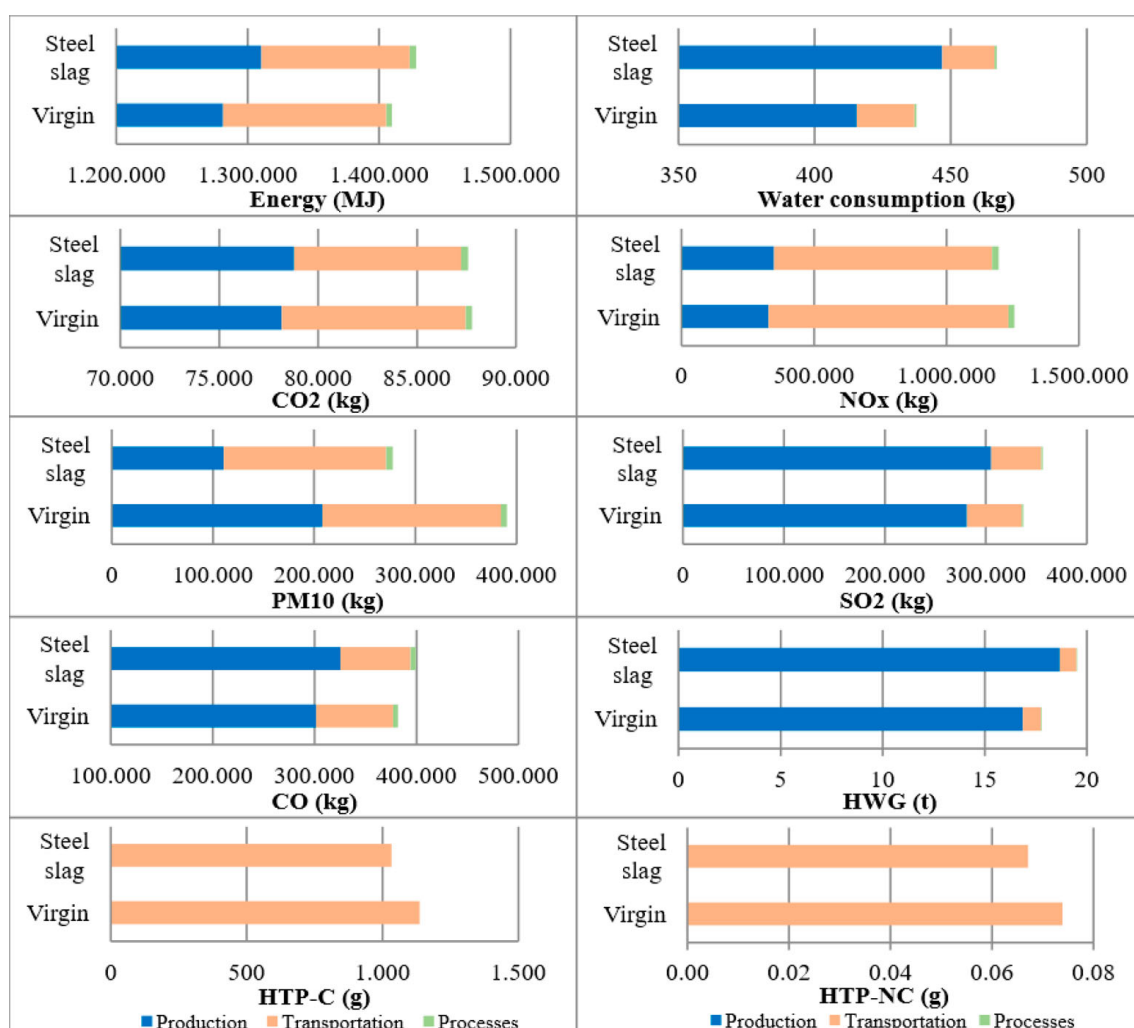
U prvom scenariju se sagledavao energetski potencijal proizvodnih postrojenja, tj. mogućnost zamene dizel goriva prirodnim gasom prilikom rada postrojenja i proizvodnje asfaltnih mešavina po toplom postupku (WMA). U tabeli 2 prikazani su rezultati prvog scenarija koji se odnose na iskorišćene energente.

**Tabela 2. Rezultati prvog scenarija**

Kategorije uticaja	Dizel (fired)	Prirodni gas (fired)	% smanjenja u kategorijama uticaja pri prelasku sa dizela na prirodni gas
Energy (MJ)	1,428,069	1,409,771	-1.4%
CO <sub>2</sub> (kg)	89,135	87,780	-1.7%
NO <sub>x</sub> (kg)	1,295,351	1,256,574	-10.6%
SO <sub>2</sub> (kg)	371,129	337,087	-10.8%
CO (kg)	556,334	381,770	-36.7%

Izvor: (6)

U drugom scenariju su se razmatrali uticaji na životnu sredinu nastali usled zamene prvobitnih agregata čeličnom zgurom u asfaltnim mešavinama. Rezultati scenarija dva prikazani su na slici 3 i odnose se na analizu potrošnje energije, potrošnju vode, emisije CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10, potencijal toksičnosti za ljude HTP (kancerogeni i nekancerogeni), SO<sub>2</sub>, CO i stvarnog opasnog otpada HWG. Prilikom obrade podataka, razmatrana su proizvodna postrojenja koja rade na prirodan gas.



**Slika 3. Rezultat scenarija 2 (6)**

Rezultati ovog scenarija pokazali su uticaje proizvodnje agregata, transporta i ugradnje asfaltnih mešavina na životnu sredinu. Analizom je dokazano da se upotrebom asfaltnih mešavina sa sadržajem čelične zgure dobijaju povoljniji uticaji, koji se odnose na Nox, PM10, HTP-C i HTP-NC. Nasuprot tome, potrošnja energije i vode je bila veća, kao i nepovoljni uticaji SO<sub>2</sub>, CO i HWG. Rezultati emisije CO<sub>2</sub> su približno jednaki za obe mešavine. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da najveći uticaj na životnu sredinu ima proizvodnja materijala (oko 61%), nešto manje transport (oko 38%), dok je uticaj ugradnje asfaltnih mešavina gotovo zanemarljiv (oko 1%).

Treći scenario se odnosio na uporednu analizu referentne asfaltne mešavine po vrućem postupku (HMA) i tri mešavine sa sadržajem čelične zgure kao zamene prirodnog krupnoznoagregata i 25%, 40% i 50% recikliranog asfalta spravljene na temperaturi predviđenoj za vruće asfaltne mešavine. Kombinovana upotreba čelične zgure i recikliranog asfalta u asfaltnim mešavinama pokazala je značajne rezultate u ekološkom pogledu. Primećeno je smanjenje od 16%, 28% i 35% u potrošnji energije za mešavine sa 25%, 40% i 50% recikliranog asfalta, respektivno. Takođe, uočeno je smanjenje emisije gasova staklene bašte, potrošnje vode i stvaranja otpada, kao i potencijala toksičnosti za ljude. Ove prednosti, koje se generalno povećavaju sa većim sadržajem recikliranog asfalta, proizilaze iz manjih zahteva za eksploataciju sirovina, proizvodnje bitumena i snabdevanje resursima.

Četvrti scenario je sličan trećem. Razlika je u smanjenoj temperaturi izrade mešavina sa alternativnim materijalima, a temperatura je bila prilagođena asfaltnim mešavinama po toplom postupku. Snižavanjem temperature proizvodnje mešavina sa čeličnom zgurom i recikliranim asfaltom za 30°C, negativni uticaji na životnu sredinu su dodatno smanjeni za 3%, što ukazuje na to da pozitivni efekti upotrebe čelične zgure i recikliranog asfalta u asfaltnim mešavinama, kao alternativnog materijala, daleko premašuju benefite postignute smanjivanjem temperature proizvodnje mešavina.

Sveobuhvatni zaključak autora je bio da je mešavina po toplom postupku sa sadržajem čelične zgure i 50% recikliranog asfalta najprihvatljivija u poređenju sa referentnom mešavinom i daje najviše pozitivnih efekata.

Bonoli je sa grupom autora (7), takođe istraživala asfaltne mešavine sa sadržajem recikliranog asfalta i čelične zgure. Ispitane su dve eksperimentalne asfaltne mešavine sa različitim sastavom:

1. 35% RAP i 16% čelične zgure (MixW1) - za habajući sloj,
2. 45% RAP i 15% čelične zgure (MixB1) - za vezni sloj.

Pomenute eksperimentalne mešavine su upoređivane sa kontrolnim mešavinama za habajući (MixW0) i vezni sloj (MixB0).

Asfaltne mešavine za habajući sloj (MixW0 i MixW1) su sadržale 6% bitumena, a mešavine za vezni sloj (MixB0 i MixB1) su bile spravljene sa 5% bitumena. U asfaltnim mešavinama koje sadrže RAP i čeličnu zgurom, pomenuti procenti su uključivali i sadržaj ostarelog bitumena u RAP-u. Sadržaj ostarelog bitumena u mešavinama za habajući sloj (MixW1) bio je 3,85%, a u mešavinama za vezni sloj 3,30%. Uključivanje recikliranog materijala u spravljanje mešavina zahtevalo je upotrebu aditiva za recikliranje, kojim se poboljšavaju svojstva prijanjanja, termička osetljivost, viskozitet i obradivost mešavina.

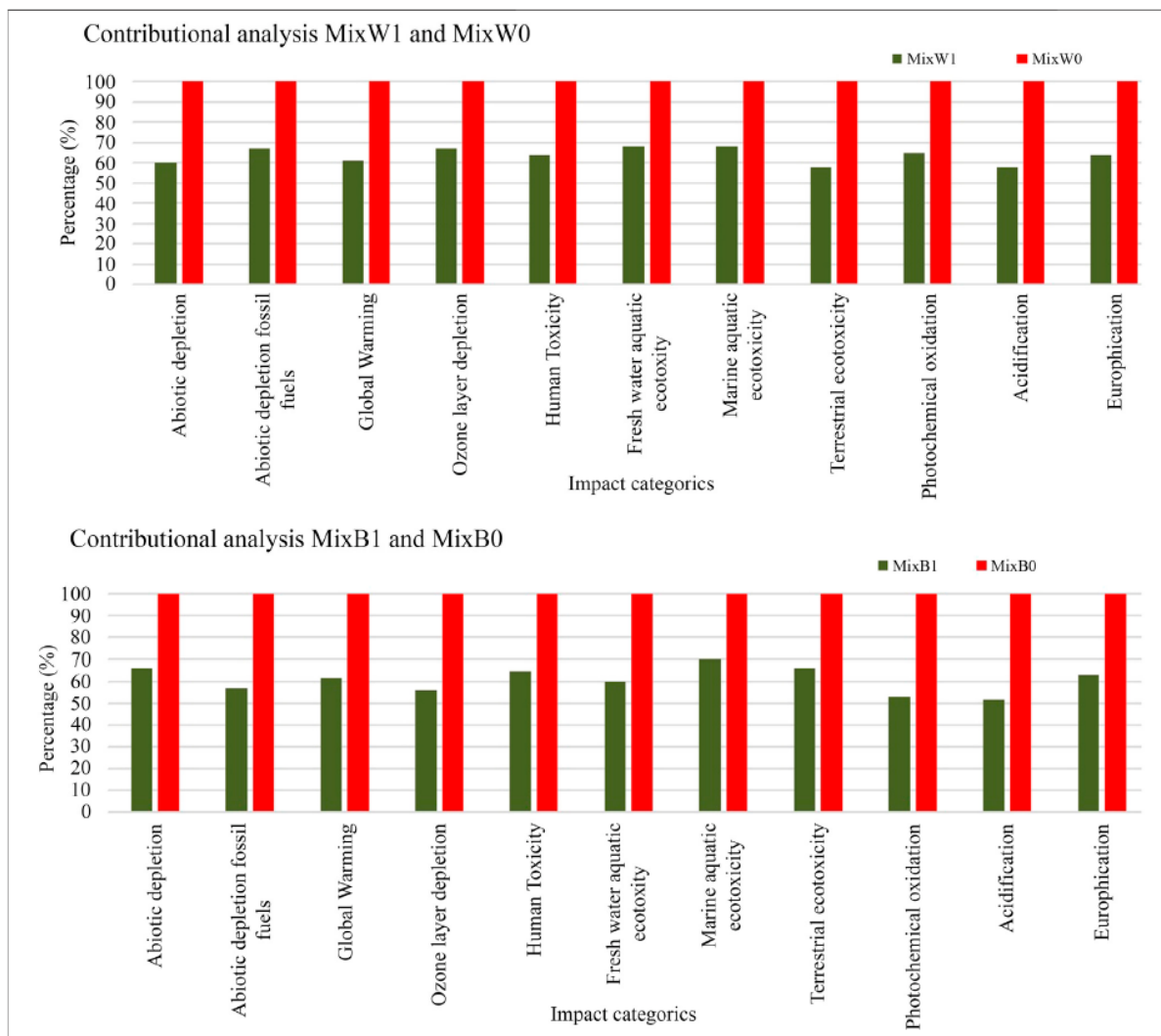
Analiza životnog ciklusa je vršena na deonici sporednog prigradskog puta dužine 1km i širine 10,5m, a debljine habajućeg sloja 4 cm i veznog sloja 6 cm. Obim ispitivanja je bio "od klevke do kapije", što obuhvata kompletan proces proizvodnje i ugradnje asfaltnih mešavina. Analizom nije bilo obuhvaćeno konačno odlaganje i reciklaža asfalta na kraju životnog ciklusa kolovozne konstrukcije. Analiza životnog ciklusa rađena je u softveru SimaPro. Ovim analitičkim alatom procenjeni su sledeći uticaji: abiotsko iscrpljivanje, acidifikacija, eutrofikacija, potencijal globalnog zagrevanja, oštećenje ozonskog omotača i fotohemijska oksidacija.

**Tabela 3. Uticaj na životnu sredinu mešavina MixW0, MixW1, MixB0, MixB1**

Kategorija uticaja	Jedinica mere	Ukupno			
		MixW0	MixW1	MixB0	MixB1
Potencijal globalnog zagrevanja	kg CO <sub>2</sub> eq.	7.51E + 04	4.60E + 04	9.37E + 04	5.80E + 04
Ljudska toksičnost	kg 1.4 – DB eq.	2.86E + 04	1.82E + 04	4.02E + 04	2.62E + 04
Zakiseljavanje	kg SO <sub>2</sub> eq.	5.30E + 02	3.09E + 02	6.36E + 02	3.35E + 02
Eutrofikacija	kg PO <sub>4</sub> eq.	1.30E + 02	8.31E + 01	1.73E + 02	1.09E + 02
Eko toksičnost	kg 1.4 – DB eq.	2.30E + 03	1.53E + 03	2.33E + 03	1.55E + 03
Fotohemijska oksidacija	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.61E + 01	1.53E + 01	3.25E + 01	1.72E + 01
Oštećenje ozonskog omotača	kg CFC - 11 eq.	4.74E - 02	3.18E - 02	5.97E - 02	3.39E - 02
Abiotsko iscrpljivanje	kg Sb eq.	2.44E - 01	1.45E - 01	2.23E - 01	1.49E - 01
Abiotsko iscrpljivanje fosilnih goriva	MJ	3.74E + 06	2.52E + 06	4.73E + 06	2.73E + 06

Izvor: (7)





**Slika 4.** Analiza doprinosa recikliranog asfalta RAP i čelične zgure u asfaltnim mešavinama (7)

Rezultati studije su pokazali da upotreba recikliranog asfalta i čelične zgure u asfaltnim mešavinama za izgradnju 1 km prigradskog puta, smanjuje sadržaj čistog bitumena za 2,15% za habajući sloj i 1,7% za vezni sloj. Upotreba ovih alternativnih materijala omogućila je uštedu 438 tona prirodnog agregata i 18,2 tone čistog bitumena za habajući sloj, kao i 826,2 tona prirodnog agregata i 22,1 tonu prirodnog bitumena za vezni sloj. Pored uštede prirodnih resursa, upotreba recikliranog asfalta i čelične zgure povoljno utiče na sve kategorije uticaja na životnu sredinu (slika 4 i tabela 3), što ostavlja prostor za detaljnija istraživanja i rešavanja problema zaštite životne sredine. (7)

Jinzhong Liu (8) se u svojoj studiji, pored otpornosti na vlagu asfaltnih mešavina sa sadržajem čelične zgure, bavio i analizom životnog ciklusa pomenutih mešavina. Analizirao je deonicu magistralnog puta u Nanjingu, Kina, dužine 1 km, širine 20 m sa debljinom asfaltnog zastora od 4 cm. Istraživanja su obuhvatala proizvodnju sirovina, odnosno eksploataciju i drobljenje agregata, kao i nabavku čelične zgure sa deponije železare. Kako je čelična zgura korišćena kao čvrsti otpad, proces topljenja, koji je deo proizvodnog procesa čelične zgure, nije bio uključen u analizu životnog ciklusa. Takođe, predmet istraživanja su bili transport i spravljanje asfaltnih mešavina, dok faza ugradnje asfaltnih mešavina, faze eksploatacije i održavanja, kao i kraj životnog veka kolovozne konstrukcije nisu razmatrani u ovoj studiji zbog nedostataka pouzdanih podataka.

Za potrebe ispitivanja napravljeno je šest mešavina, od kojih su tri dvofrakcijske asfaltnih mešavina (SMA-13) sa maksimalnom nominalnom veličinom zrna 13,2 mm i sadržajem čelične zgure 0%, 50% i 100%, kao zamene prirodnog drobljenog agregata veličine zrna veće od 2,36 mm. Preostale tri mešavine su asfaltni betoni (AC-13) sa istim sadržajem čelične zgure, kao i u prethodno pomenutim mešavinama.

Eksperimentalne mešavine su sadržale čeličnu zguru iz visokih peći koja je prethodno bila deponovana bar šest meseci na odlagalištu uz povremeno vlaženje. Uslov koji je ovaj materijal morao da ispuni, kako bi bio korišćen za spravljanje asfaltnih mešavina je bio da sadržaj CaO bude manji od 3%.

Na osnovu svih neophodnih podataka o materijalima, potrošenoj energiji i transportnim udaljenostima, analiza životnog ciklusa je izvršena u softveru SimaPro. Ovim alatom je izvršena kvantifikacija uticaja emisije gasova staklene bašte, uticaja radijacije, ozonskog omotača, klimatskih promena, ekotoksičnosti, kancerogenih uticaja i acidifikacije/eutrofikacije.

Rezultati su pokazali da je proizvodnja asfalta stvorila najveći deo ukupnih uticaja, okvirno između 46% i 85% i oni se odnose na uticaj stvaranja ozona na zdravlje ljudi, uticaj stvaranja ozona na kopnene ekosisteme, stratosferska oštećenja ozona, formiranje finih čestica, zakiseljavanje zemlje i kancerogenu toksičnost na ljude. (8) Transport čelične šljake je imao najveći negativni uticaj na ekotoksičnost kopna i iznosio je 46%-68% od ukupnih uticaja. (8)

**Tabela 4. Rezultati analize životnog ciklusa asfaltnih mešavina za nekoliko scenarija**

Kategorija uticaja	Jedinica mere	Tip kolovozne konstrukcije					
		A	B	C	D	E	F
Oštećenje ozona stratosfere	kg CFC11 eq	0.08	0.09	0.10	0.09	0.11	0.12
Jonizirajuće zračenje	kBq Co-60 eq	2611.30	2972.44	3399.00	25,726.39	28,333.40	30,954.15
Formiranje ozona, zdravlje ljudi	kg NOx eq	280.11	303.74	332.74	315.28	350.83	386.81
Formiranje finih čestica	kg PM <sub>2.5</sub> eq	147.58	157.51	170.84	171.25	187.08	203.68
Formiranje ozona, kopneni ekosistemi	kg NOx eq	291.69	316.49	346.94	328.69	365.95	403.71
Zakiseljavanje zemljišta	kg SO <sub>2</sub> eq	384.18	422.95	470.90	450.68	508.07	567.44
Slatkovodna eutrofikacija	kg P eq	3.51	4.18	4.91	6.22	7.34	8.44
Eutrofikacija mora	kg N eq	0.35	0.41	0.48	1.02	1.16	1.30
Ekotoksičnost zemljišta	kg 1,4 - DCB	264,256.48	420,215.00	576,170.87	357,059.26	562,808.57	761,442.93
Slatkovodna ekotoksičnost	kg 1,4 - DCB	566.02	734.78	910.44	2253.69	2625.80	2992.52
Morska ekotoksičnost	kg 1,4 - DCB	1017.08	1340.04	1675.58	3381.07	4011.97	4632.85
Ljudska kancerogena toksičnost	kg 1,4 - DCB	2904.11	3402.64	3954.05	4179.76	4945.58	5707.37
Ljudska nekancerogena toksičnost	kg 1,4 - DCB	17,438.44	23,681.09	30,107.31	80,567.78	94,359.42	107,935.06

Izvor: (8)

U tabeli 4 prikazani su rezultati analize životnog ciklusa asfaltnih mešavina AC13-0%, AC13-50%, AC13-100%, SMA 13-0%, SMA 13-50%, SMA 13-100%, koje su označene A, B, C, D, E, F respektivno.

## 5. ZAKLJUČAK

U naučnim studijama se navodi da su ekstrakcija sirovina, transport i spravljanje asfaltnih mešavina faze u kojima je zabeležena najveća potrošnja energije i emisije štetnih gasova. To je razlog zašto mnogi istraživači pokušavaju da uključe alternativne materijale u proizvodnju asfaltnih mešavina, kako bi smanjili potrošnju prirodnih resursa i negativne uticaje na životnu sredinu.

Industrijski nusproizvodi, kao što su bakarna i čelična zgura, stvaraju veliki ekološki problem u našoj zemlji zbog deponovanja i zato bi njihova primena kao alternativnih materijala u izgradnji putne infrastrukture bila od

velikog značaja. Naučni radovi pokazuju da je njihova upotreba moguća u proizvodnji asfaltnih mešavina, gde ovi materijali kao delimična zamena prirodnih agregata, omogućavaju dobre fizičko-mehaničke karakteristike mešavina i doprinose uštedi prirodnih materijala. Najpovoljniji rezultati sa aspekta smanjenja emisije gasova staklene bašte, dobijeni su kada se prilikom izgradnje kolovozne konstrukcije koristila asfaltna mešavina sa bakarnom ili čeličnom zgurom, kao delimičnom zamenom prirodnog agregata, u kombinaciji sa recikliranim asfaltom. Korišćenje zgure u asfaltnim mešavinama u određenom procentu umesto prirodnih agregata zahteva veću količinu bitumena zbog veće poroznosti zgure, što predstavlja negativan uticaj ovog materijala. Međutim, ovaj problem se može rešiti dodavanjem recikliranog asfaltnog materijala, koji u sebi sadrži i određenu količinu bitumena, koji može nadomestiti dodatni bitumen koji zahteva zgurom.

Upotreba ovih alternativnih materijala, pored rešavanja problema njihovog deponovanja i uštede prirodnih resursa, doprinela je i smanjenju potrošnje energije jer se preskače faza ekstrakcije sirovina, koja izaziva najveću količinu emisije štetnih gasova u toku životnog ciklusa kolovozne konstrukcije.

Ova zapažanja u naučnim studijama su ohrabrujuća i otvaraju mogućnost ispitivanja upotrebe nusproizvoda iz naše zemlje kao potencijalnog materijala za proizvodnju asfaltnih mešavina.

## Zahvale

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, evidencioni broj ugovora je 451-03-47/2023-01/ 200052.

## Literatura

- [1] Díaz-Piloneta, M.; Terrados-Cristos, M.; Álvarez-Cabal, J.V.; Vergara-González, E. 2003. *Comprehensive Analysis of Steel Slag as Aggregate for Road Construction: Experimental Testing and Environmental Impact Assessment*. *Materials* 14, 3587.
- [2] ISO 14040, *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*, Second edition 2006-07-01.
- [3] Movilla-Quesada, D.; Lagos-Varas, M.; Raposeiras, A.C.; Muñoz-Cáceres, O.; Andrés-Valeri, V.C.; Aguilar-Vidal, C. 2021. *Analysis of Greenhouse Gas Emissions and the Environmental Impact of the Production of Asphalt Mixes Modified with Recycled Materials*. *Sustainability* 13, 8081.
- [4] Pedro S. Humbert, Joao Castro-Gomes, 2019. *CO2 activated steel slag-based materials: A review*, *Journal of Cleaner Production* 208: 448-457.
- [5] Amir Džananović, Nazim Manić, 2018. *Mogućnost upotrebe zgure visoke peći kao agregata u betonu*, *GRAĐEVINSKI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE* 61, 3: 67-78.
- [6] Panos Georgiou, Andreas Loizos. 2021. *Environmental assessment of warm mix asphalt incorporating steel slag and high reclaimed asphalt for wearing courses: a case study*, *Road Materials and Pavement Design*, 22:sup1, S662-S671;
- [7] Bonoli A, Degli Esposti A and Magrini C, 2020. *A Case Study of Industrial Symbiosis to Reduce GHG Emissions: Performance Analysis and LCA of Asphalt Concretes Made with RAP Aggregates and Steel Slags*, *Frontiers in Materials*, 7:572955.
- [8] Jinzhou Liu, Weicheng Wang, Yuchen Wang, Xingye Zhou, Shuyi Wang, Qi Liu, Bin Yu, 2023. *Towards the sustainable utilization of steel slag in asphalt pavements: A case study of moisture resistance and life cycle assessment*, *Case Studies in Construction Materials* 18, e01722.
- [9] ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework
- [10] [www.simapro.com](http://www.simapro.com) (02.12.2022.)
- [11] PaLATE. <http://faculty.ce.berkeley.edu/horvath/palate.html> (02.12.2022.)

# ACTIVE AND PASSIVE FACING SYSTEMS FOR REINFORCED SOIL STRUCTURES AND THEIR SUSTAINABLE POSITIVE EFFECTS IN REDUCING CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN BRIDGE ABUTMENTS

Victor Poberezhnyi<sup>1</sup>, Marija Bakrac<sup>2</sup>, Thomas Hasslacher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HUESKER Synthetic GmbH, Germany

<sup>2</sup> Geoestetika, Serbia

**Abstract:** Facing elements of Geosynthetic Reinforced Structures can be constructed in various front-end design systems such as concrete and concrete blocks, gabions, curved steel mesh as lost formwork and much more. Further distinction is to be made between passive facing elements which do not support the load transfer of the construction's dead load and traffic load and further active wall systems, which take loads from the structure. The developments regarding GRS were initiated by contracting companies to create a suitable system for the application on large-scale surfaces with low maintenance intensity and intervals. The methodology of the connection and anchor elements within an active GRS system needs to be thoughtfully designed. Such walls contain huge cost savings compared to conventional wing walls and bridge abutments made of concrete, steel, and the requirement of numerous skilled workers on site. The recently experienced price increases for concrete and steel have further amplified the economic advantages of GRS. Apart from the economic perspective there are positive effects regarding life cycle assessment and environmental impact as well. These effects will be further described in this paper based on the life cycle assessment (LCA) of project along Bundesautobahn A3 (BAB A3).

**Keywords:** Geosynthetic Reinforced Structures, Facings, Bridge Abutment, Life Cycle Assessment

## 1. Introduction

Retaining structures are usually constructed to support soil masses laterally so that the soil can be retained at different levels with various face angles (e.g., up to 90°.) Depending on the face angles, one could distinguish such retaining structures as steep slopes and retaining walls. If a retaining structure serves as a bridge abutment (i.e., a substructure at the ends of a bridge span whereon a superstructure rests or contacts), it should not only support a soil mass laterally but also carry vertical loads applied from the superstructure (Figure 1.)

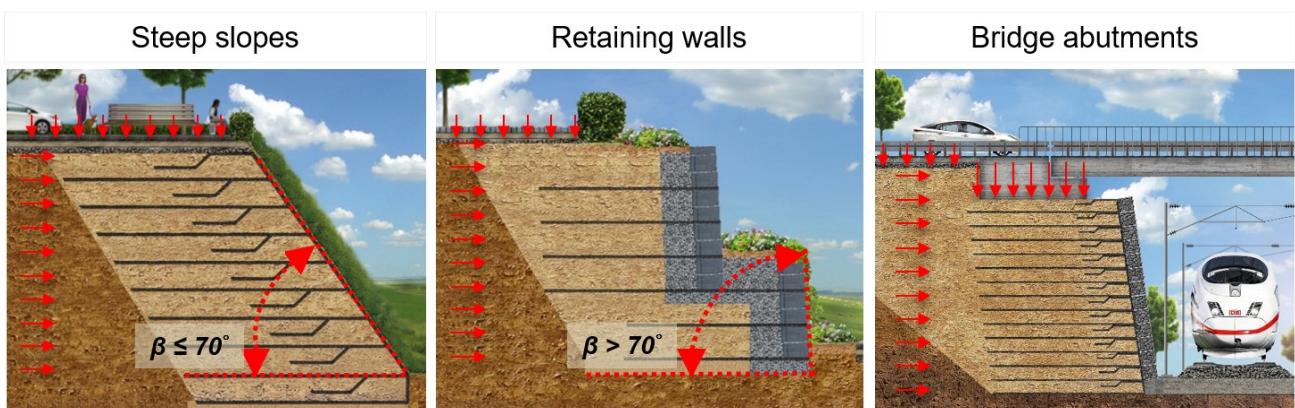


Figure 1. Main types of geosynthetic reinforced retaining structures

According to BS 8006 [1], retaining structures with face angles within 20° of the vertical are defined as slopes. BS 8006 [1] states that "The angle of the slope will have some influence on the method of analysis to be employed, but most importantly will determine the type of facing to be employed and the method of construction to be used [...] It is usually necessary to provide some form of facing for steep slopes to enable anchorage of the reinforcement in the active zone and to provide erosion protection".

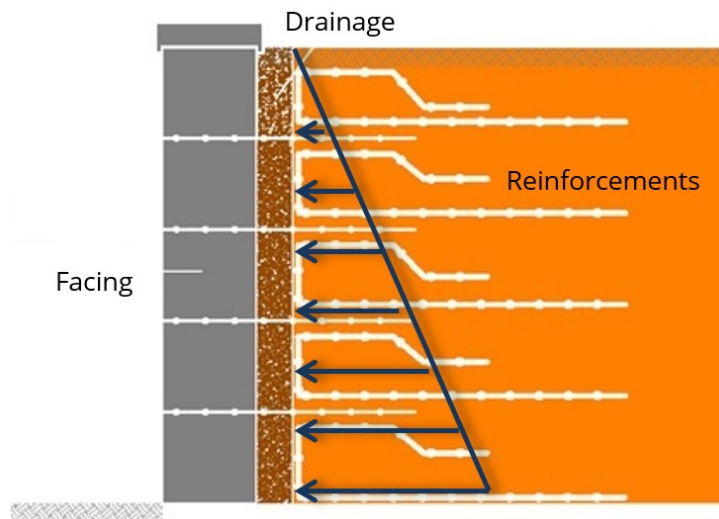
<sup>1</sup>Victor Poberezhnyi: poberezhnyi@HUESKER.de

## 2. Concept of active and passive facing systems

One could divide facing systems into two major groups (i.e., passive and active facing systems) based on the influence of the facing elements on the stability and serviceability of a geosynthetic reinforced retaining structure. The efficacy and safety of each system depend on several factors, e.g., subsoil conditions, construction schedule, etc. Both systems have their pros and cons, which will be described in this chapter.

### 2.1. Passive facing systems

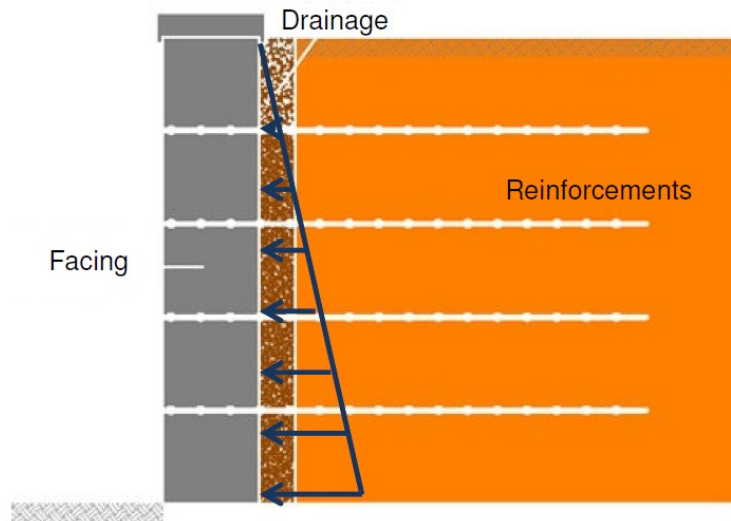
A so-called passive facing requires the fill material to be reinforced by geosynthetics and mostly serves as a protection and architectural part of a geosynthetic reinforced retaining structure. The lateral earth pressure is not transferred to the facing elements but kept by the geosynthetic reinforced soil via wrap-around. A gap between the geosynthetic reinforced soil and the facing elements is therefore created. The only horizontal forces applied to the facing come from the infill (e.g., crushed stone, sand, EPS, lava stone) of the space between the geosynthetic reinforced soil and the facing elements (Figure 2). One could also account for the horizontal forces applied to the facing due to the impact of wind, but typically such impacts can be neglected in the design. Facing elements can be either connected to the geosynthetic reinforced soil, or they can be freestanding.



**Figure 2.** *Passive facing system and typical distribution of lateral earth pressure on the wrap-around*

### 2.2. Active Facing Systems

A so-called active facing serves not only as a protective and an architectural part of a geosynthetic reinforced soil structure but also as an element that withstands a part of the lateral earth pressure. The lateral earth pressure is transferred to the geosynthetic reinforced soil as well as to the facing elements, although reduced by the geosynthetic reinforcement. As no wrap-around of the geosynthetic reinforcement is required, there is no gap between the facing elements and the geosynthetic reinforcement. However, a drainage layer is usually applied behind the facing elements (Figure 3) to minimise the hydrostatical pore pressure acting on the facing. Facing elements are typically anchored to the earth body by the geosynthetic reinforcement.



**Figure 3.** Active facing system and typical distribution of lateral earth pressure on the facing

### 2.3. Pros and cons of passive and active facing systems

Depending on the geological conditions, working schedule, availability of construction materials and economical aspects, either passive or active facing system might be more appropriate. Some of the advantages and disadvantages of both systems can be summarised and are presented in Table 1.

**Table 1.** Advantages and disadvantages of passive and active facing systems

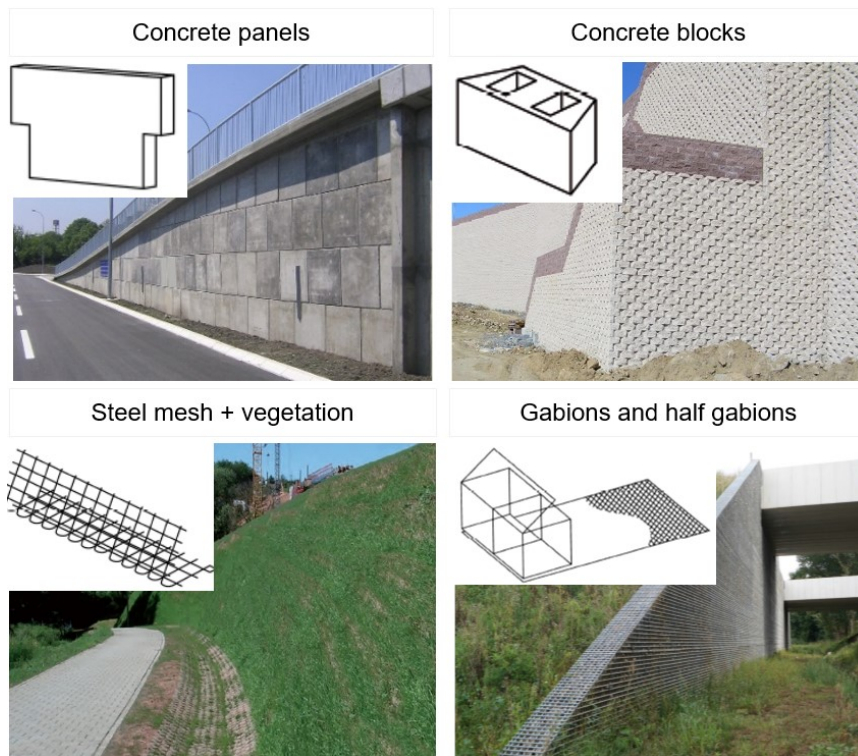
Aspect	Passive facing	Active facing
Sensitivity to geological conditions	Moderate or non-sensitive	Very sensitive
Construction of facing and reinforced soil	Allows simultaneous as well as separate construction of facing and reinforced soil	Must be constructed simultaneously with the reinforced soil

In general, passive facing systems constructed with the geosynthetic wrap-around could be described as more advantageous due to greater robustness and flexibility. Geosynthetic reinforced soil structures with wrap-around are flexible in terms of overall stiffness, hence they permit the absolute and differential settlements without loss of safety. All the settlements might be compensated after the required degree of consolidation of the subsoil has been reached. Therefore, such issues as breakage, cracking or occurrence of differential settlements of the facing elements might be easily avoided even in cases of poor subsoil conditions by allowing a separate construction of the geosynthetic reinforced soil and facing elements. The best performance could be expected if the geosynthetic reinforced soil with wrap-around is constructed first, the subsoil is left to consolidate (i.e., all the excess settlements occur) and then the facing elements are installed.

One should consider that the settlements might take days, months or even years to occur, depending on the intensity of the loading and the permeability of the subsoil. Such solutions as prefabricated vertical drains, stone or sand columns, etc. might be used to accelerate the consolidation of the subsoil.

### 3. Components of facing systems

Both passive and active facing systems can be constructed using various structural and architectural elements such as precast concrete full height or discrete plates, concrete or stone blocks, gabions, steel mesh, vegetation, and others (Figure 4.)



**Figure 4.** Some examples of facing solutions

According to DIN EN 14475 [2], all facing elements are divided into three groups:

- non-deformable (rigid),
- partially deformable,
- deformable (flexible).

Non-deformable facing elements are usually made of precast concrete (e.g., panels or blocks). Partially deformable facing elements are made of steel elements (e.g., wire mesh or gabions filled with rock material). And deformable facing elements are the padded walls with wrap-around geosynthetic reinforcement [3]. Each type of facing elements has different properties in terms of costs, stiffness, strength, architectural appearance, protection against UV-radiation, fire, vandalism, etc. Depending on the type of facing costs of materials, transportation and assembly works may vary significantly starting from the least laborious and least expensive vegetated slopes and finishing by typically more demanding and costly precast concrete blocks or panels. The choice of the facing element type can influence the total price of the structure quite significantly.

Availability of materials on the market, as well as climate conditions, should always be accounted for. The limitations of each system should also be well understood. For instance, vegetated slopes are not recommended to be steeper than 70° due to the issues of the vegetation growth on steep surfaces even in moderate climate conditions.

Similar structural elements such as prefabricated concrete panels can be used in combination with the geosynthetic reinforced retaining structures as both passive and active facings. Full height panels are usually applied as a passive facing (Figure 5), whereas discrete panels are more typical for active facing systems (Figure 6).

Each geosynthetic reinforcement layer is connected to the discrete concrete panels during the assembly, whereas full height panels might require only one or even no connection to the geosynthetic reinforced soil. The sufficient connection strength is to be designed and tested in both cases to ensure the successful long-term performance of the geosynthetic reinforced retaining structure.



**Figure 5.** Full height concrete panels installed as a passive facing (Vrijenburgweg, Netherlands)



**Figure 6.** Discrete concrete panels installed as an active facing (Targu Mures, Romania)

In addition to the different mechanical and aesthetic possibilities of different facing systems, there is another important aspect to consider, namely the sustainability of the facing and the entire retaining structure. The sustainability of different facing types depends on several factors, including the materials used, their durability, their environmental impact, and their maintenance requirements. A proper scientific investigation of the effectiveness of different types of facing in terms of their sustainability is of great interest and importance due to its relevance to current debates. The following chapter is devoted to the general sustainability of geosynthetic reinforced retaining structures.

#### **4. Sustainability of geosynthetic reinforced soil retaining structures**

Besides their cost-effectiveness and durability, MSE walls are also a sustainable option for retaining structures. Geosynthetics have a relatively low environmental impact, can be made from recycled raw materials and can be recycled or reused. Moreover, the use of MSE walls reduces the amount of concrete and steel needed, resulting in lower carbon emissions during the production, transportation, and construction. MSE walls can also be designed with vegetation cover, creating a green wall that improves air quality, reduces urban heat island effects, and provides a habitat for wildlife.

##### **4.1 Life Cycle Assessment (LCA)**



A life cycle assessment and system comparison between geogrid-reinforced and conventional bridge abutments was carried out by FH Münster and KIWA in 2022 [9], using the example of the Stokkumer Strasse overpass bridge over the A3 motorway.

Two abutment designs were considered in this study:

- Conventional reinforced concrete
- Geosynthetic reinforced soil solution

During the planning and execution of the overpass bridge structure geosynthetic-reinforced earth structures were chosen as the design for the bridge abutments. This design offers the benefits of not only a faster and cost-effective construction but can also have advantages over conventional reinforced concrete construction methods in terms of life cycle assessment.

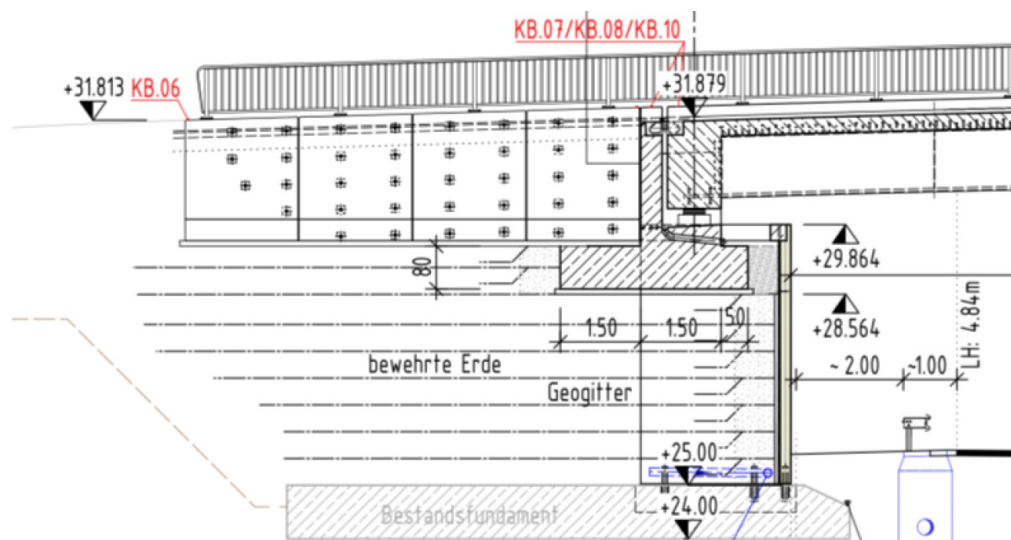
The following questions were addressed in the study on the life cycle assessment of a geosynthetic-reinforced bridge abutment.

- to what extent the geogrid-reinforced bridge abutments can be evaluated as resource-saving or environmentally friendly over their life cycle compared to the conventional bridge abutments, and
- how the recycling of geogrids affects the environmental impact according to EN15804+A2 [10] compared to the state-of-the-art disposal method of thermal recycling.

Both options were considered to be built on a shallow foundation, i.e. no deep foundations such as concrete piles or ground improvement methods such as geosynthetic encased columns were considered in this study. Figure 7 shows a cross section of one of the abutments considered.

Two facing types were used in the executed design as shown in Figure 8, i.e.:

- Half gabion solution filled with granular material (lateral faced)
- Prefabricated concrete panels (front and partially lateral faced)



**Figure 7.** Cross-section of one of the considered abutments

The choice of the concrete panels for the front and partially lateral faced of the abutments was based on the fire resistance requirements of the German highway regulations. A half gabion facing provides a stone look and is less carbon intensive as than concrete solutions.



**Figure 8.** View of one of the considered abutment after completion

The following conclusions can be drawn from the executed comparative study:

- For both abutment designs, the core environmental indicators dominate in the life cycle phases A1 to A3, i.e. for the raw material supply, transport and manufacture of the products.
- Overall, the geosynthetic-reinforced abutment construction shows a CO<sub>2</sub> emission reduction of about 40% compared to the conventionally manufactured abutment construction.
- For manufacturing phases A1 to A3, the CO<sub>2</sub> reduction is approximately 46%.
- The elimination of soil improvers such as the lime-cement mixture would contribute to a further CO<sub>2</sub> savings of about 20% relative to the overall balance of the geosynthetic-reinforced bridge abutment.
- A longer span of the bridge superstructure must be considered for a geosynthetic-reinforced abutment compared to a conventionally manufactured one, resulting in an additional CO<sub>2</sub> emission of about 7,300 kg CO<sub>2</sub> eq. However, this design still reduces the CO<sub>2</sub> emissions for the entire construction, including the superstructure, by approximately 42% in phases A1 to A3 compared to a conventional abutment construction.
- There is potential for CO<sub>2</sub> savings through the reuse of reclaimed geosynthetics. The magnitude depends on the type of processing required for reuse.

#### 4.2 Environmental Product Declaration (EPD)

Environmental product declarations (EPDs) of the geosynthetics used, indicating their total global warming potential, are used to undertake a LCA as described above. They provide standardized information on a product's environmental impact in kg of CO<sub>2</sub> eq. per m<sup>2</sup> over its life cycle and are based on internationally recognized standards, e.g. ISO 14025 [11] and EN 15804+A1 [10]. EPDs can be used in project specifications as a tool for communicating the environmental performance of a product to the project team and stakeholders. They are used to increase transparency and accountability in product selection and promote the use of environmentally sustainable products in project specifications by comparing the environmental performance of different products in the same category, allowing the project team to select products that have lower environmental impact.

Overall, MSE walls provide a sustainable and environmentally friendly option for retaining structures in modern infrastructure projects.

#### 5. Conclusion

The use of geosynthetics as soil reinforcement provides cost-effective, durable and sustainable solutions for infrastructural projects.

A variety of facing types and systems may be utilized together with geosynthetic reinforced soil. Depending on the role of facing in a retaining structure, one could differentiate between the so-called passive and active facing systems. Passive facings are not intended to withstand the lateral earth pressure. Active facings support the soil mass and withstand part of the lateral earth pressure together with the geosynthetic reinforcement. Each system has an application area and limitations depending on the numerous factors that should be considered at the design stage.

There are many different types of facing elements: rigid elements, such as prefabricated concrete plates or blocks, partially deformable steel mesh and gabions, or flexible geosynthetic wrap-around facings. The choice of the type of the facing elements should be based on the features of the local market, purpose and architectural requirements of a retaining structure, limitations and costs of materials and assembly works.

The ecological benefit of geosynthetic reinforced solutions for a motorway bridge abutment over conventional bridge abutments can be significant as presented for the case study Stokkumer Straße in Germany. Within a Life Cycle Assessment (LCA) a CO<sub>2</sub> reduction of more than 46% compared to conventional construction methods was estimated.

## Acknowledgements

The authors liked to thank University of Applied Science FH Münster, KiWa GmbH and HUESKER Synthetic GmbH for the support of the current research shown in this paper and submission of their publication.

## References

- [1] BS 8006-1:2010. 2010. Code of Practice for strengthened/reinforced soils and fills, BSi London, London, UK.
- [2] DIN 14475. 2006. Execution of special geotechnical works (Spezialtief-construction) - reinforced bulk bodies, German Institute for Standardization e.V., Beuth Verlag, Berlin, Germany.
- [3] EBEGO. 2010. Recommendations for the construction and calculation of earth bodies with reinforcements made of geosynthetics, German Geotechnical Society, 2nd edition, Ernst and Son, Berlin, Germany, 2010.
- [4] Silber-Haslachner, T., Šňahničan, J. (2019) Active and passive facing systems for reinforced soil structures, 13. ročník konferencie Geosyntetika, Žilina, Slovakia.
- [5] van Keßel, M.-T., van Duijnen, P.-G., van Eekeren, H., Detert, O. (2015). Development, Mode of Operation and Installation of an Active Wall System for Geogrid-Reinforced Walls, Department of Geosynthetics, Munich, Germany.
- [6] Alexiew, D., Ayasrah, I.M., Abu-Hassan, M. (2013). Geogrid-reinforced walls with almost vertical facings: specific solutions in different environments, Proc. 6th International Conference Geosynthetics Middle East 2013 (GEOME 2013), pp. 69-78, Abu-Dhabi, UAE.
- [7] Leshchinsky, D., Kaliakin, V.N., Ling, H.I. 2000. Alleviating connection load (designs for marginal conditions can be based on straightforward and sound geotechnical engineering), Geotechnical Fabrics Report, USA.
- [8] Koerner, R.M (2019). Geosynthetic reinforced segmental retaining walls, Drexel University/GRI, Proc. 17th PaDOT/ASCE Conf. on Geotechnical Engineering, USA
- [9] FH Münster, KIWA GmbH. 2022. Ökobilanzieller Systemvergleich zwischen geogitterbewehrten und konventionellen Brückenwiderlagern am Beispiel der Brücke Stokkumer Straße zur Überführung der BAB A3 (Project No. P000130622). Berlin/Münster.
- [10] EN 15804+A1. 2014. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction product. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium
- [11] ISO 14025. 2006. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland

## PRAĆENJE STANJA ŽIVOTNE SREDINE U ZONI UTICAJA PUTA – OBAVEZE I FAKTIČKO STANJE

Mimoza Jeličić<sup>1</sup>, Uroš Milinčić<sup>2</sup>, Ana Momčilović<sup>3</sup>, Gorica Aleksić<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>JP „Putevi Srbije”, Beograd Bulevar kralja Aleksandra 282, [mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs](mailto:mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs)

<sup>2</sup>JP „Putevi Srbije”, Beograd Bulevar kralja Aleksandra 282, [uros.milincic@putevi-srbije.rs](mailto:uros.milincic@putevi-srbije.rs)

<sup>3</sup>JP „Putevi Srbije”, Beograd Bulevar kralja Aleksandra 282, [ana.momcilovic@putevi-srbije.rs](mailto:ana.momcilovic@putevi-srbije.rs)

<sup>4</sup>Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6/IV, [gorica.aleksic.milosavljevic@sicjp.co.rs](mailto:gorica.aleksic.milosavljevic@sicjp.co.rs)

**Rezime:** Praćenje stanja životne sredine u zoni uticaja puta predstavlja sistematsko merenje, ispitivanje i ocenjivanje indikatora odnosno praćenje parametara životne sredine (voda, vazduh, zemljište itd). Praćenje i izveštavanje o stanju životne sredine je neophodan uslov za ispunjavanje zakonskih obaveza izveštavanja u skladu sa usvojenom Studijom o proceni uticaja na životnu sredinu za predmetnu deonicu. Monitoring životne sredine se zasniva na primeni usvojenog Plana upravljanja životnom sredinom za deonicu puta. Njime se definiše program merenja u fazi redovne eksploatacije i održavanja za svaki parametar životne sredine posebno, odgovarajuće zakonske osnove koje se odnose na postupke uzorkovanja i merenja, metode izvođenja, lokacije uzorkovanja, vreme i dužinu uzorkovanja. Praćenjem stiče se uvid u stanje životne sredine u zoni uticaja predmetne deonice puta. Monitoring omogućava dobijanje informacija od značaja za preduzimanje odgovarajućih mera zaštite kako bi se sprečila ili smanjila dalja zagađenja životne sredine i uspostavio sistem ranog upozoravanja. U radu je dat prikaz aktivnosti koje se preduzimaju u JP „Putevi Srbije“ sa akcentom na razliku između obaveze izveštavanja koja su usvojene u okviru Studije o proceni uticaja na životnu sredinu i faktičkim stanjem na terenu na osnovu kojih je usaglašen i usvojen Plan monitoringa.

**Ključne reči:** Zaštita životne sredine, uticaj puta na životnu sredinu, praćenje stanja životne sredine, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, monitoring

## ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE ROAD INFLUENCE ZONE - OBLIGATIONS AND ACTUAL STATUS

Mimoza Jeličić<sup>1</sup>, Uroš Milinčić<sup>2</sup>, Ana Momčilović<sup>3</sup>, Gorica Aleksić<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>PE „Roads of Serbia”, Belgrade Bulevar kralja Aleksandra 282, [mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs](mailto:mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs)

<sup>2</sup>PE „Roads of Serbia”, Belgrade Bulevar kralja Aleksandra 282, [uros.milincic@putevi-srbije.rs](mailto:uros.milincic@putevi-srbije.rs)

<sup>3</sup>PE „Roads of Serbia”, Belgrade Bulevar kralja Aleksandra 282, [ana.momcilovic@putevi-srbije.rs](mailto:ana.momcilovic@putevi-srbije.rs)

<sup>4</sup>Traffic Institute CIP, Nemanjina 6/IV, [gorica.aleksic.milosavljevic@sicjp.co.rs](mailto:gorica.aleksic.milosavljevic@sicjp.co.rs)

**Summary:** Monitoring the state of the environment in the road's impact zone is a systematic measurement, examination, and assessment of indicators, i.e., monitoring of environmental parameters (water, air, soil, etc.). Monitoring and reporting on the state of the environment is a necessary condition for fulfilling legal reporting obligations in accordance with the adopted Environmental Impact Assessment Study for the section in question. Environmental monitoring based on the implementation of the adopted Environmental Management Plan for the road section. It defines the measurement program during the regular exploitation and maintenance of each environmental parameter separately, as well as the appropriate legal bases related to sampling and measurement procedures, execution methods, sampling locations, sampling time, and length. Monitoring provides insight into the state of the environment in the zone of influence of the road section in question. Monitoring enables obtaining important information for undertaking appropriate protection measures in order to prevent or reduce further environmental pollution and establish an early warning system. The paper presents the activities undertaken in JP "Roads of Serbia" with an emphasis on the difference between the reporting obligations adopted as part of the Environmental Impact Assessment Study and the current situation on the ground, based on which the Monitoring Plan was agreed and adopted.

**Keywords:** Environmental protection, impact of the road on the environment, monitoring of the state of the environment, Study on environmental impact assessment

### UVOD

Praćenje stanja životne sredine u putnom pojasu predstavlja sistematsko merenje, ispitivanje i ocenjivanje indikatora, odnosno praćenje parametara životne sredine (voda, vazduh, zemljište itd). U svim fazama životnog ciklusa puta koji se sastoji se od: planiranja, projektovanja, izgradnje, eksploatacije, redovnog i periodičnog održavanja, pojačanog održavanja i rekonstrukcija puta sprovodi se i praćenje stanja životne sredine (monitoring). Monitoring obezbeđuje sveobuhvatne informacije koje imaju ključnu ulogu u

prepoznavanju ekološki osetljivih mesta, u preduzimanju i izboru mera ublažavanja uticaja primenom odgovarajućih projektnih i regulacionih rešenja kako bi se sprečila ili smanjila dalja zagađenja životne sredine i uspostavio sistem ranog upozoravanja.

Prema članu 72. Zakona o zaštiti životne sredine („Sl. glasnik RS”, br. 135/04, 36/09, 36/09-dr. zakon, 72/09-dr.zakon, 43/11-odluka US, 14/16, 76/18, 95/18 - dr. zakon i 95/18 - dr. zakon) zagađivač, JP „Putevi Srbije”, je dužan da „prati indikatore emisija, odnosno indikatore uticaja svojih aktivnosti na životnu sredinu, indikatore efikasnosti primenjenih mera prevencije nastanka ili smanjenja nivoa zagađenja”. Isti član Zakona definiše da je „zagađivač dužan da izradi plan obavljanja monitoringa, da vodi redovnu evidenciju o monitoringu i da dostavlja izveštaje, u skladu sa ovim zakonom”. Ovom aktivnošću se pribavljaju informacije potrebne za sprovođenje politike zaštite životne sredine na nivou sektora, izradu zakona, uspostavljanje novih standarda kvaliteta životne sredine i, uopšte, vrednuje napredak ka postizanju postavljenih ciljeva zaštite životne sredine.

Cilj praćenja stanja životne sredine na državnom putu u zoni uticaja predmetne deonice i pripadajućeg saobraćaja je da se:

- utvrdi vid i stepen ugroženosti životne sredine,
- osmotre, uzorkuju i analiziraju zagađujuće materije na karakterističnim mestima i sagleda trenutno stanje životne sredine i značaj degradacije uzrokovane prisustvom i eksploatacijom predmetne deonice puta,
- izradi izveštaj o stanju životne sredine na ovoj deonici koji će dati uvid u trenutno stanje i poslužiti kao putokaz za eventualno predlaganje mera zaštite, odnosno smanjenja uticaja na životnu sredinu.

Praćenje i izveštavanje o stanju životne sredine na državnoj putnoj mreži Republike Srbije je neophodan uslov za ispunjavanje zakonskih obaveza izveštavanja u skladu sa usvojenom Studijom o proceni uticaja na životnu sredinu za predmetnu deonicu.

## **PLAN MONITORINGA - OBAVEZE**

Praćenje stanja životne sredine na državnom putu zasniva se na primeni usvojenog plana upravljanja životnom sredinom za deonicu puta. Pravilno usklađenim monitoringom mogu se sagledati ključni uticaji puta na životnu sredinu. Njime se definiše program merenja u fazi redovne eksploatacije i održavanja za svaki parametar životne sredine posebno, odgovarajući zakonski osnov koji se odnosi na postupke uzorkovanja i merenja, metode izvođenja, lokacije mesta za uzorkovanje, vreme uzorkovanja i vremensku dužinu uzorkovanja. Na osnovu monitoringa mogu da se procene pretnje i registruju pojave novih ekoloških problema. Planiranje, izbor i optimizacija budućih mera zaštite u velikoj meri su olakšani ako postoje materijalne potvrde primenjenih matematičkih modela u vidu rezultata praćenja stanja. U slučaju preduzetih mera ublažavanja uticaja monitoring će pomoći da se vrednuje njihova efektivnost. Podaci dobijeni monitoringom služe kao ulazni parametri za preduzimanje mera i optimizaciju procesa.

Plan monitoringa sadrži:

- Parametre na osnovu kojih se mogu utvrditi štetni uticaji na životnu sredinu. Parametri koje treba pratiti i na osnovu kojih se mogu utvrditi štetni uticaji, se definišu na osnovu zakonske regulative, važećih standarda i tehničkih normi, kao i raspoloživih podataka o stanju životne sredine, identifikacije i kvantifikacije pojedinih izvora zagađenja.
- Mesta, način i učestalost merenja utvrđenih parametara. Definisane mesta, načina i učestalosti merenja utvrđenih parametara treba sprovesti u skladu sa odgovarajućim propisima i standardima. Merenja kvaliteta čimlaca životne sredine mogu da vrše samo akreditovane laboratorije.
- Institucionalne odgovornosti i troškovi. Plan monitoringa navodi i institucionalne odgovornosti, tamo gde je moguće, daje procenjene ili indikativne troškove kako bi se osiguralo adekvatno finansiranje za vođenje monitoringa.

Na osnovu člana 17. Zakona o proceni uticaja na životnu sredinu („Službeni glasnik RS”, broj 135/04 i 36/09) nosilac projekta je dužan da u okviru Studije o proceni uticaja na životnu sredinu, koja prati izradu idejnog projekta puta, uradi i Program monitoringa kojim se određuju okvirni zahtevi za praćenje stanja životne sredine u fazama životnog ciklusa puta. U fazi izrade dokumentacije projekta za građevinsku dozvolu, u sastav projekta tehničkih mera zaštite životne sredine, treba uvrstiti poglavlje Plan praćenja stanja životne sredine, u potpunosti usaglašeno sa Studijom o proceni uticaja na životnu sredinu. To poglavlje sadrži detaljno opisan plan i program aktivnosti sa precizno navedenim mestima i dinamikom uzorkovanja/osmatranja, predmer i predračun radova (terenskih i laboratorijskih), kao i podatke o stanju

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

životne sredine pre početka izvođenja građevinskih radova (nulto stanje pre izgradnje). Izuzetno, Plan monitoringa može da se uradi bez izveštaja o nultom stanju, ali u tom slučaju treba naglasiti obavezu izvođača radova da pre nego što pristupi realizaciji građevinskih aktivnosti izvrši sva Planom predviđena merenja koja će dati prikaz stanja životne sredine na lokaciji budućeg objekta.

Monitoring može da se realizuje kao trajan ili povremen proces, u kraćim i dužim vremenskim intervalima. Trajno praćenje stanja, po pravilu se primenjuje u fazi redovne eksploatacije na saobraćajnim deonicama koje imaju veliko saobraćajno opterećenje, a samim tim i veće količine zagađujućih materija koje se emituju u životnu sredinu. Treba imati u vidu da količina emitovanih materija nije obavezno i uslov pojave visokih imisija. Treba uzeti u obzir mobilnost polutanata. Karakterističan je primer emisija materija oteklih sa kolovoza u površinske vode koja se javlja tek pri nastanku atmosferskih padavina, a značajna je samo u prvih 15 do 30 minuta od početka ove pojave. Suprotno tome, materije koje dospevaju u zemljište, u zavisnosti od njegovih pedoloških i geo hemijskih karakteristika, imaju slabu pokretljivost i kod njih može biti izražen efekat akumulacije.

Informacije dobijene praćenjem stanja omogućuju pravovremeno reagovanje na pojavu prekoračenja najvećih dozvoljenih koncentracija polutanata u sredini. Kratkotrajni monitoring se odnosi pre svega na fazu izgradnje i rekonstrukcije puta i njegovo trajanje se usklađuje sa periodom izvođenja građevinskih radova. Monitoring ograničenog trajanja primenjuje se za rešavanje konkretnih problema, na primer kada treba ispitati efekte novog rešenja zaštite, ili tipa ublažavanja uticaja na opitnoj deonici.

Bez obzira na vid primenjenog monitoringa, obavezno je registrovanje ekoloških parametara neposredno pre početka aktivnosti koje dovode do promena u životnoj sredini, tzv. nultog stanja. U slučaju izgradnje nove deonice to znači da se prikupljaju parametri stanja neposredno pred početak radova i zatim kada su svi radovi okončani i dobijena upotrebna dozvola, ali eksploatacija nije započela. Na taj način se dobijaju dva referentna stanja od kojih prvo služi za opažanje promena tokom izvođenja građevinskih radova, a drugo za promene nastale realizacijom saobraćaja i redovnog održavanja. U slučaju putnih pravaca koji su u eksploataciji, nulto stanje (uslovno rečeno) podrazumeva podatke prikupljene na mestu, dovoljno udaljenom od trase posmatrane deonice puta, da nije izloženo uticajima saobraćaja, a sa karakteristikama (sastav zemljišta, fizičke i hemijske karakteristike voda, meteorološki parametri, blizina stanovanja i dr.) približnim onim na mestu gde će se pratiti stanje tokom dalje eksploatacije puta.

## **INDIKATORI PRAĆENJA STANJA**

Ključnu ulogu u postupku praćenja stanja nekog procesa na životnu sredinu ima izbor indikatora. Koncept ekološkog monitoringa zahteva korišćenje odgovarajućih indikatora koji pomažu da se objektivno registruju promene tokom vremena na posmatranom području. Iskustvo govori da uticaji koji su predmet intenzivnijeg i raznovrsnijeg praćenja stanja po pravilu imaju najpouzdanije i najbolje definisane indikatore. Takav je slučaj sa zagađenjem vazduha i bukom. Dobro definisani indikatori treba da iskažu merljive fizičke veličine, koje se uklapaju u definisane procedure prikupljanja i obrade podataka, kao i da se izražavaju u standardnim (međunarodnim) jedinicama. Treba da budu lako primenljive na različitim infrastrukturnim objektima i prenosive na međunarodnom nivou. Oni treba da omoguće i lakše modelovanje uticaja.

Za pravilno odabrane indikatore se smatraju oni koji imaju veliku mogućnost predviđanja posledica pojave na koju se odnose. Svaki indikator treba da ima samo jednu namenu. Indikatori treba da budu definisani tako da su razumljivi nestručnoj javnosti, da su usaglašeni sa uobičajenom praksom, lako primenjivi i imaju jasno definisane granične vrednosti. U cilju optimizacije troškova treba izbegavati međusobno zavisne indikatore, a od takvih odabrati onaj čiji su troškovi praćenja najmanji.

Generalno posmatrano, transport, kao izvor zagađenja i drugih negativnih promena u životnoj sredini, ima neke specifičnosti. Pre svega to se odnosi na prostornu rasprostranjenost izvora zagađenja. Dok industrijski objekti i energetska postrojenja u suštini predstavljaju tačkaste izvore, putevi su linijski, a mreža puteva je površinski izvor, jer obuhvata celu društvenu zajednicu, gde god su prisutni putevi. Motorna vozila su, pojedinačno, mali izvori zagađenja u poređenju sa prethodno navedenim tehnološkim parkovima, ali male emisije pomnožene sa brojem izvora koji se meri stotinama hiljada čine da se transport nalazi u vrhu zagađivača. Druga specifičnost proističe iz samog prisustva puteva kao objekata koji zauzimaju velike površine. Putevi se grade na površinama koje su prethodno uglavnom pripadale prirodnim ekosistemima, a koje, izgradnjom bespovratno nestaju. Saglasno ovim karakteristikama došlo se do specifičnosti indikatora, a samim tim i postupaka u praćenju stanja životne sredine.

Kvalitet vazduha i uticaji na klimatske promene su, svakako najznačajniji indikator zagađenja. Kod praćenja stanja je teško razdvojiti emisije iz pojedinačnih izvora, pa se monitoring vezan za drumski saobraćaj usmerava na praćenje koncentracija čvrstih čestica u zoni uticaja, a kada se prate ostali zagađivači, to je u funkciji utvrđivanja zakonitosti radi formiranja i provere matematičkih modela. Zbog velikih varijacija u koncentracijama tokom vremena, zbog promenljivih meteoroloških uslova neophodno je da se monitoring izvodi kontinualno, tokom dugog vremenskog perioda, ne kraćeg od godinu dana. Da bi se umanjili troškovi treba osmisliti što jednostavniji sistem, sa praćenjem najmanjeg broja parametara koji će dati valjane rezultate, a pritom biti energetski nezahtevan.

Drugi indikator ugroženosti životne sredine je buka. Karakteristika buke kao zagađivača je njeno postojanje isključivo tokom trajanja emisije, što znači da naknadni monitoring, kada nema izvora zagađenja, nije moguć. Iz tog razloga utvrđivanje graničnih vrednosti emisije ima smisla samo u toku realizacije saobraćaja, što uslovljava i specifičnosti monitoringa.

Monitoring otpada i njegovo stavljanje u zakonske okvire je vrlo značajno jer se na taj način ukazuje šansa za trajno rešavanje problema odlaganja komunalnog i građevinskog otpada na nepropisnim mestima i formiranje niza divljih deponija u putnom pojasu što predstavlja veliki problem na putnoj mreži Srbije. Ova pojava, za razliku od ostalih, je izraženija kod saobraćajnica nižeg reda, a karakteriše je mala količina deponovanog materijala na lokacijama ponaosob, ali i veliki broj samih deponija.

Od vremena institucionalizovanja zaštite životne sredine kod nas, prisutno je značajno posvećivanje pažnje zagađenju površinskih i podzemnih hidropotencijala atmosferskim vodama oteklim sa kolovoznih površina. Pošto pouzdana zaštita od ovog uticaja zahteva primenu sistema kontrolisanog odvođenja voda iz putnog pojasa, ovaj uslov u značajnoj meri poskupljuje putnu konstrukciju. Monitoring na postojećoj mreži bio bi od ključnog značaja za utvrđivanje opravdanosti projektovanja ovih sistema. Prisustvo florida u vodama oteklim sa kolovoza, kao posledica zimskog održavanja putne mreže, je čest predmet monitoringa.

Zemljište kao sredina izložena uticajima emisija iz saobraćaja u geohemijskom smislu predstavlja tako složen sistem da su u stručnoj praksi vrlo retki primenjivi modeli koji simuliraju uticaje puta i saobraćaja na ovaj ekološki potencijal. Iz tog razloga praćenje koncentracija zagađujućih materija može biti od ključnog značaja za sagledanje rizika i pravovremeno delovanje u cilju remedijacije. Karakteristika ovog vida zagađivanja je spora promena stanja i mali prečnik dejstva, pa je takvim uslovima moguće prilagoditi sistem praćenja stanja. Drugi, ne manje značajan vid monitoringa predstavlja praćenje promena konfiguracije terena poremećenog pomeranjima zemljanih masa pri izradi trupa saobraćajnica i izgradnjom pratećih konstrukcija. Najbolji način za otkrivanje pojave spiranja humusa, osulina, odrona i klizišta je vizuelna detekcija.

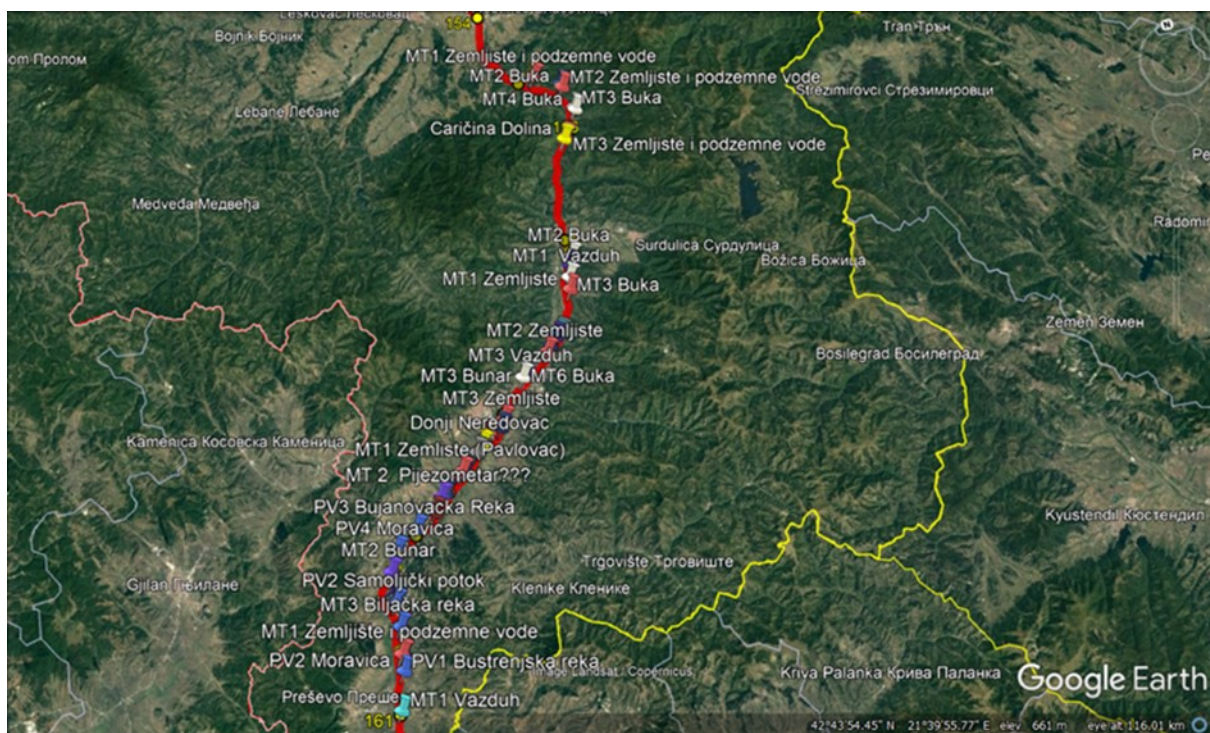
Put i saobraćaj nesumnjivo izazivaju negativne posledice na živi svet koji ih okružuje. One se manifestuju kroz gubitak habitata usled zauzimanja površina, ograničenje kretanja životinja zbog efekta prepreke koji izaziva put kao linijski objekat, stradanje životinja prilikom prelaska puta usled naletanja na učesnike u saobraćaju, uznemiravanje usled buke, svetlosti farova, strujanja vazduha i emisije zagađujućih materija. Ovi uticaji kroz efekat sinergije, pored opadanja populacije, dovode do fragmentacije odnosno smanjenja areala i formiranja izolovanih ekoloških ostrva. Monitoring se svodi na evidenciju stradalih primeraka faune i opažanje fizičkih promena na postojećoj vegetaciji.

## FAKTIČKO STANJE I REZULTATI ISPITIVANJA

U okviru Sektora za strategiju, projektovanje i razvoj, Odeljenja za zaštitu životne sredine tokom 2022. godine sprovedena je izrada pet Studija praćenje stanja životne sredine odnosno plana monitoringa za sledeće deonice:

1. Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Gornje polje – Caričina Dolina
2. Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Vladičin Han – Donji Neradovac
3. Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Donji Neradovac – Levosoje
4. Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Levosoje – Bukurevac
5. Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Bukurevac – Severna Makedonija

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs



Slika 1. Lokacije za uzorkovanje

Zbog izmena koje su nastale u glavnim projektima tokom izgradnje, izvršene su izmene Planova monitoringa za deonice predviđene za praćenje stanja životne sredine tokom 2022. godine. Utvrđeno je da je na deonicama Gornje Polje – Caričina Dolina, Vladičin Han – Donji Neradovac i Donji Neradovac – Levosoje usvojen sistem kontrolisanog odvođenja atmosferskih voda sa kolovoza i putnog zemljišta. Ovo za posledicu ima značajno manje prisustvo zagađujućih materija u okolnom zemljištu, površinskim i podzemnim vodama. Iz tog razloga je Izvršiocu monitoringa predloženo da smanji broj uzoraka tla, podzemne i površinske vode i usmeri ih na deonice sa slobodnim ispuštanjem atmosferskih voda sa kolovoznih površina a da ispitivanja usmeri na sedimente i efluente na karakterističnim separatorima i taložnicima. Na deonicama sa slobodnim ispuštanjem atmosferskih voda iz putnog zemljišta vršena je analiza sedimenata u prirodnim recipijentima na mestima ispusta. Pošto je broj izgrađenih konstrukcija za zaštitu od buke različit u odnosu na stanje iz Projekata za građevinsku dozvolu (ranije Glavnog projekta), izvršena je preraspodela mernih mesta, da bi se dobila realna slika efektivnosti svih izgrađenih zidova. Gde god je to moguće, uzorkovanje je vršeno na odsecima puta na kojima se postojeća saobraćajnica koristi kao jedna kolovozna traka novoizgrađenog autoputa. Pošto je u praksi potvrđeno da su promene koncentracija zagađujućih materija u tlu podložne sporim promenama, višekratno uzorkovanje, zahtevano Studijom o proceni uticaja (sezonsko, periodično) zamenjeno je jednokratnim uzorkovanjem i izborom većeg broja mernih mesta. Predloženo je i značajno redukovanje uzorkovanja prirodnih tokova na mestima prijema voda oteklih sa kolovoza (koje je zahtevano Studijom), jer do promena koncentracija zagađujućih materija u površinskim vodama usled emisija sa putnog zemljišta dolazi isključivo u početnom 15-minutnom intervalu tokom padavina. U skladu sa iznetim predlozima i ispravkama i faktičkim stanjem, izmenjen je plan monitoringa i date su inovirane lokacije za uzorkovanje.

U radu su predstavljeni rezultati Studije o praćenju stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonice Gornje Polje - Caričina Dolina u okviru koje je definisan program praćenja stanja životne sredine. Merenja u svrhu praćenja prisustva indikatora zagađenja zemljišta koja potiču od saobraćaja su vršena u okviru putnog pojasa na rastojanju od 2 m od ivice kolovoza pa do ograde autoputa. Lokacije se određuju u odnosu na mikroklimatske, topografske i hidrološke karakteristike terena, osobine i namenu zemljišta i prisustvo i tip vegetacije, a po obilasku terena. Uzet je kompozitni uzorak zemljišta sa dubine od 0 do 30 cm. S obzirom da na lokacijama sa kojih su uzeti uzorci dominira saobraćaj, preko graničnih vrednosti su: kadmijum (Cd) – delimično poreklom iz matičnog supstrata, delimično antropogenim putem, nikel (Ni) – pretpostavlja se da je geohemijskog porekla (od matičnog supstrata) i cink (Zn) – može biti od otcicaja sa saobraćajnicama, habanja guma, motornih ulja.



Upoređujući rezultate ispitivanja uzoraka površinskih voda sa graničnim vrednostima propisanim Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 50/12) može se zaključiti sledeće: Rezultati fizičko-hemijskih analiza kvaliteta vode reke Južne Morave nizvodno od autoputa (Uzorak 1108260102) pokazuju da od II klase kvaliteta odstupaju rastvoreni kiseonik, zasićenje kiseonikom, gvožđe i mangan. Uzorak površinske vode reke Južne Morave odgovara klasi V za parametre rastvoreni kiseonik i zasićenje kiseonikom a za parametre gvožđe i mangan odgovara klasi III. Ostali ispitivani parametri ispunjavaju uslove II klase.

Analiza uzoraka podzemne vode pokazala je da koncentracije svih ispitivanih parametara ne prelaze remedijacione vrednosti definisane Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje („Sl. Glasnik RS”, br. 50/12) i Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu („Sl. glasnik RS”, br.30/18 i 64/19).

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja uzorka sedimenta, može se zaključiti da vrednosti analiziranih parametara odgovaraju ciljnim vrednostima, u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 50/12). Koncentracije zagađujućih materija u sedimentu su na nivou prirodnog fona. Sedimenti mogu biti dislocirani bez posebnih mera zaštite.

Cilj osnovnog programa praćenja kvaliteta vazduha jeste utvrđivanje dugoročnih trendova aerozagađenja da bi se utvrdio stepen poboljšanja ili pogoršanja kvaliteta vazduha u naseljenim mestima duž koridora. Analizirani su parametri: ugljen monoksid, azot dioksid, sumpor dioksid, suspendovane čestice PM<sub>10</sub>, suspendovane čestice PM<sub>2.5</sub> i benzen. Uzorkovanje je vršeno u okviru 24h. Na osnovu rezultata merenja koncentracije zagađujućih materija u ambijentalnom vazduhu može se zaključiti da ne prelaze granične vrednosti definisane Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima za kvalitet vazduha („Sl. glasnik RS”, br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013).

Sistematsko praćenje nivoa saobraćajne buke i njeno dokumentovanje veoma je bitno za utvrđivanje njenog negativnog uticaja na životnu sredinu i stanovništvo, kao i za planiranje i izvođenje mera za zaštitu od buke. Merenje je vršeno na 6 mernih mesta koja prema Uredbi o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini („Sl. glasnik RS”, br. 75/10) pripadaju Zoni 5 (Gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zona duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica).

*Tabela br. 1 Analiza rezultata merenja nivoa buke na deonici Gornje Polje – Caričina Dolina u periodu od 16.08. do 19.08.2022. godine*

Merna tačka	Referentni vremenski interval				
	DAN 1 [dB(A)]	DAN 2 [dB(A)]	VEČE [dB(A)]	NOĆ 1 [dB(A)]	NOĆ 2 [dB(A)]
MT 01	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	<b>PRELAZI</b>	<b>PRELAZI</b>
MT 02	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 03	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	<b>PRELAZI</b>	<b>PRELAZI</b>
MT 04	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	<b>PRELAZI</b>	<b>PRELAZI</b>
MT 05	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	<b>PRELAZI</b>
MT 06	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	<b>PRELAZI</b>	<b>PRELAZI</b>

*Izvor: Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Gornje Polje – Caričina Dolina*

Granične vrednosti indikatora buke u pomenutoj zoni na otvorenom prostoru su za dan i veče 65 dB(A), a za noć 55 dB(A). Analizom rezultata merenja može se zaključiti da do prekoračenja graničnih vrednosti dolazi tokom noći u letnjem periodu godine .

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

Tabela br. 2 Analiza rezultata merenja nivoa buke na deonici Gornje Polje – Caričina Dolina u periodu od 10.10. do 14.10.2022. godine

Merna tačka	Referentni vremenski interval				
	DAN 1	DAN 2	VEČE	NOĆ 1	NOĆ 2
	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
MT 01	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 02	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 03	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 04	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 05	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI
MT 06	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI	NE PRELAZI

Izvor: Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Gornje Polje – Caričina Dolina

## ZAKLJUČAK

U sveobuhvatnom postupku zaštite životne sredine na državnim putevima I i II reda, ključno mesto pripada monitoringu. Plan monitoringa definiše program monitoringa za svaku komponentu životne sredine posebno, odgovarajuće zakonske osnove koje se odnose na postupke uzorkovanja i monitoringa, metode izvođenja monitoringa, lokacije mesta za uzorkovanje, vreme uzorkovanja i vremensku dužinu uzorkovanja i trajanje monitoringa. Od svih aktivnosti monitoring zahteva najveće troškove, ali obezbeđuje i temeljna znanja koja imaju ključnu ulogu u prepoznavanju ekološki ranjivih mesta i u izboru mera ublažavanja uticaja primenom odgovarajućih projektnih i regulacionih rešenja.

Pravilno koncipiranim i usvojenim monitoringom mogu se sagledati generalni uticaji puta na životnu sredinu. Praćenjem stanja u dužem vremenskom periodu i poređenjem dobijenih rezultata mogu da se evidentiraju promene i analiziraju trendovi i tako formira sistem pravovremenog upozoravanja na pojavu prekoračenja imisija. Na osnovu monitoringa mogu da se procene pretnje i registruju pojave novih ekoloških problema. Planiranje, izbor i optimizacija budućih mera zaštite u velikoj meri su olakšani ako postoje materijalne potvrde primenjenih matematičkih modela u vidu rezultata praćenja stanja. Podaci dobijeni monitoringom služe kao ulazni parametri za preduzimanje mera zaštite. Informacije koje se pribavljaju monitoringom koriste se za sprovođenje politike zaštite životne sredine na nivou sektora, izradu zakona, uspostavljanje novih standarda kvaliteta životne sredine i, uopšte, vrednuje napredak ka postizanju postavljenih ciljeva zaštite životne sredine. Objavlivanjem rezultata monitoringa pruža mogućnost javnosti da vrednuje rezultate sprovođenja ekološke politike društvene zajednice.

Sledeći koraci u uvođenju monitoringa u stalnu praksu održavanja puteva su formiranje baze podataka o stanju životne sredine, kao i osmišljavanje procedure kojom će se sve informacije vezane za odnos puta i životne sredine, iz bilo kog izvora (izgradnja, održavanje, nadzor, rehabilitacija, pritužbe građana i dr.) arhivirati i obrađivati na jednom mestu. Na taj način će zainteresovani organi i organizacije i javnost steći uvid u sve promene ekoloških parametra tokom celog životnog ciklusa puta.

## LITERATURA:

1. JP „Putevi Srbije”, (2014). Uputstvo za praćenje stanja životne sredine u putnom pojasu na mreži državnih puteva Republike Srbije
2. JP „Putevi Srbije”, Institut za puteve AD, (2015) Plan praćenja stanja životne sredine u zoni uticaja puta na deonici autoputa E – 75 Bujanj Potok - Mali Požarevac
3. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2018) Plan praćenja stanja životne sredine u zoni uticaja puta na deonici autoputa E – 75 Mali Požarevac – Velika Plana
4. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2022). Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Gornje polje – Caričina Dolina
5. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2022). Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Vladičin Han – Donji Neradovac
6. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2022). Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Donji Neradovac – Levosoje
7. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2022). Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Levosoje – Bukurevac
8. JP „Putevi Srbije”, Saobraćajni institut CIP doo, (2022). Studija praćenja stanja životne sredine na državnom putu IA reda broj A1, deonica Bukurevac – Severna Makedonija

## STRATEŠKE KARTE BUKE AGLOMERACIJE NOVI SAD

Mr Dejan Todorović<sup>1</sup>, dipl.inž.el.

<sup>1</sup> *Dirigent Acoustics d.o.o., dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs*

Milica Raičković, mast.inž.elekt. i računar.

*Dirigent Acoustics d.o.o., milica.raickovic@dirigent-acoustics.co.rs*

Tamara Vuković, mast.inž.arh.

*Dirigent Acoustics d.o.o., tamara.vukovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Rezime:** Nadležni organ jedinice lokalne samouprave Grada Novog Sada 2021. godine je raspisao javnu nabavku za prve strateške karte buke za teritoriju aglomeracije Novi Sad. Karte buke su realizovane metodološki i sadržajno u skladu sa važećom zakonskom regulativom Republike Srbije i u skladu sa smernicama iz Direktive EU 2015/996 (CNOSSOS - EU:2015) i Direktive 2002/49/EZ (poznatije kao „European Noise Directive – END“). Drumski saobraćaj, kao dominantan izvor buke u aglomeracijama je posebno analiziran. Prilikom realizacije strateških karata buke posebno je pravljen model drumskog saobraćaja za više od 3.000 putnih deonica, gde je deonica svaki deo saobraćajne infrastrukture između dve raskrsnice, dok su parametri za akustički model duž deonice definisani od tačke do tačke. Deo podataka o saobraćaju je prikupljen i kroz uvid u Saobraćajnu studiju Novog Sada 2029, koja je obuhvatala izradu Transportnog modela Novog Sada – Model NOSTRAM [1], čija je izrada bila predviđena u okviru izrade Generalnog plana Novog Sada do 2029. godine. Kroz proračun obuhvaćeno je više od 70.000 objekata sa ukupno 147.618 stambenih jedinica i 320.346 stanovnika na površini od ukupno 137,96 km<sup>2</sup>. Ovaj strateški dokument je prvi korak u procesu upravljanja bukom i procene efekata buke u životnoj sredini, čiji podaci se koriste kao osnova za izradu akcionih planova zaštite od buke u životnoj sredini kroz koje se propisuju mere za smanjenje buke.

**Ključne reči:** strateške karte buke, aglomeracija, buka u životnoj sredini, zaštita od buke, CNOSSOS - EU

## AGGLOMERATION OF NOVI SAD STRATEGIC NOISE MAPS

Mr Dejan Todorović<sup>1</sup>, MScEE

<sup>1</sup> *Dirigent Acoustics d.o.o., dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs*

Milica Raičković, MScEE

*Dirigent Acoustics d.o.o., milica.raickovic@dirigent-acoustics.co.rs*

Tamara Vuković, MArch

*Dirigent Acoustics d.o.o., tamara.vukovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Abstract:** The local governing unit of the City of Novi Sad issued a public procurement in 2021 for the first strategic noise maps for the territory of the Novi Sad agglomeration. The strategic noise maps were methodologically and in terms of content realized in accordance with the local regulations of the Republic of Serbia that were in effect, as well as the Directive EU 2015/996 (CNOSSOS - EU:2015) and Directive 2002/49/EZ (better known as "European Noise Directive – END") guidelines. Road traffic was specifically analyzed due to it being the dominant noise source in the agglomeration. During the realization of the strategic noise maps a noise model for road traffic was created, with more than 3.000 road sections, where a road section is a part between two road junctions for the entire traffic infrastructure, with parameters for the acoustic model defined from point-to-point along the section. A part of the traffic data was gathered through the Traffic Study of Novi Sad 2029, which encompassed the Transportation Model of Novi Sad – NOSTRAM Model [1], the realization of which was planned as part of the development of General Plan of Novi Sad until 2029. The calculations encompassed more than 70.000 buildings with 147.618 living units and 320.346 inhabitants on a total area of 137,96 km<sup>2</sup>. This strategic document is the first step in noise management and environmental noise assessment, the data of which is used as the basis for action plans for environmental noise protection through which noise reduction measures are defined.

**Keywords:** strategic noise maps, agglomeration, environmental noise, noise control, CNOSSOS - EU

### 1. UVOD

Buka predstavlja jedan od zagađivača životne sredine čiji kumulativni uticaj može imati značajne i dugoročne posledice po ljudsko zdravlje. Istraživanja su utvrdila da kontinualno izlaganje ljudi visokim nivoima buke može imati efekat na povećanje nivoa stresa, slabljenje čula sluha, razvoj mentalnih problema, povećanje rizika od kardiovaskularnih oboljenja i razvoja različitih hroničnih oboljenja [2]. Glavni način rešavanja ovog problema je preduzimanje mera za smanjenje i kontrolisanje nivoa buke. Sa zadatkom smanjenja uticaja buke na životnu sredinu izrađene su brojne studije, norme i standardi, kao i zakonska regulativa kroz koje se definišu dozvoljeni nivoi buke u životnoj sredini, ali i procedure kroz koje je moguće postići željene efekte i smanjenje negativnih posledica. Buka motornog saobraćaja predstavlja jedan od značajnih problema današnjice, posebno unutar

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs

urbanih sredina. Kako bi efikasno uticali na smanjenje negativnog efekta buke, neophodno je imati strateški pristup rešavanju problema i preduzimanju odgovarajućih mera zaštite na adekvatnom nivou. Izrada strateških karata buke može se posmatrati upravo kao prvi takav korak u procesu upravljanja i kontrole buke u životnoj sredini. Usvajanjem prvih strateških i planskih dokumenata vezanih za buku drumskog i železničkog saobraćaja, kao i buku unutar urbanih sredina, realizovane su prve konkretne aktivnosti u domenu zaštite od buke u Republici Srbiji. Jedan od ovih dokumenata čine upravo u ovom radu obrađene Strateške karte buke za aglomeraciju Novi Sad [3], koje prvi put obuhvataju područje Generalnog plana Grada Novog Sada [4] (u daljem tekstu: GUP), a ujedno predstavlja i tek drugi dokument ovog tipa izradjen za celinu aglomeracije na teritoriji države. U ovom radu je izložena metodologija, proces i postupak izrade strateških karata buke, sa fokusom na drumski saobraćaj i njegov uticaj na buku na području aglomeracije Novi Sad.

## 2. METODOLOGIJA I OSNOVE ZA IZRADU STRATEŠKIH KARATA BUKE

Potreba za izradom strateških karata buke za područje aglomeracija definisana je Zakonom o zaštiti od buke u životnoj sredini [5], gde se aglomeracije ujedno definišu kao delovi teritorije sa preko 100.000 stanovnika gde je gustina stanovništva takva da se može smatrati urbanizovanim područjem. Kroz ovaj vid strateškog dokumenta proračunima se procenjuje i prikazuje ukupna izloženost buci koja potiče od drumskog, železničkog i vazdušnog saobraćaja, kao i od industrijskih izvora. Usled toga, neophodno je obuhvatiti sve relevantne puteve, pruge, aerodrome i industrijske lokacije koje imaju uticaj u zoni aglomeracije. Karte buke prikazuju postojeće, prethodno ili predviđeno stanje buke izraženo indikatorima buke u skladu sa Pravilnikom o sadržini i metodama izrade strateških karata buke i načinu njihovog prikazivanja javnosti [6] (u daljem tekstu: Pravilnik), kao i prekoračenje graničnih nivoa buke. Kroz dokument se vrši procena broja ljudi koji su izloženi buci na određenom području, kao i stanova, škola, bolnica i tihih fasada koji su izloženi određenim vrednostima indikatora buke. Karte buke se izrađuju za indikatore buke za period dan-veče-noć ( $L_{den}$ ) i za period noć ( $L_{night}$ ) za sve vidove izvora pojedinačno, kao i svih izvora zajedno. U skladu sa lokalnom regulativom, karte buke se izrađuju za predhodnu kalendarsku godinu, a podaci koji se koriste ne smeju biti stariji od tri godine.

### 2.1. Primenjeni metod za izradu strateških karata buke

Važeći Pravilnik kojim se bliže definiše sadržaj i metodologija izrade strateških karata buke, je poput i drugih zakonskih dokumenata Republike Srbije koji se bave zaštitom od buke, zasnovan na smernicama i direktivama usvojenim od strane Evropske komisije. Direktiva o buci u životnoj sredini (2002/49/EC) (poznata i kao *European Noise Directive*, u daljem tekstu: END) [7], propisuje da se strateške karte buke za sve glavne puteve, železnice, aerodrome i aglomeracije koje utvrđuju izloženost i nivoe buke određenog područja izrađuju na svakih 5 godina. Strateške karte buke se zatim koriste za informisanje javnosti o nivoima buke kojoj su izloženi, kao i za izradu akcionih planova za zaštitu od buke kroz koje se definišu mere i akcije za smanjenje nivoa buke. Za potrebe izrade karata buke za aglomeraciju Novi Sad primenjena je nova zajednička metoda ocenjivanja CNOSSOS - EU:2015 definisana kroz Direktivu EU 2015/996 [8], koja se odnosi na sve strateške karte buke izrađene nakon 31. decembra 2018. godine. Kroz ovaj dokument stavljen je van snage i zamenjen je Prilog II END, i stoga zamenjuje Prilog 1.1 „Metode za ocenjivanje osnovnih indikatora“ iz lokalne Uredbe o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini [9], u kojem se navode prethodne metode ocenjivanja koje je preporučivala EU. CNOSSOS - EU (*Common NOise aSSessment MethOdS*) metod za izradu strateških karata buke je razvijen u periodu od 2009 - 2012 godine od strane Evropske komisije kako bi se stvorio zajednički metodološki okvir za izradu strateških karata buke prema END. Metoda nastaje u cilju poboljšanja efikasnosti implementacije END, ali i zarad obezbeđivanja konzistentnih i uporedivih podataka svih zemalja članica.

#### 2.1.1. Specifičnosti drumskog saobraćaja

Za potrebe izrade strateških karata buke za proračun drumskog saobraćaja, korišćena je metodologija definisana kroz CNOSSOS – EU. U skladu sa ovim metodološkim okvirom, vozila se za potrebe proračuna svrstavaju u jednu od četiri glavne kategorije (sa dve podkategorije) u zavisnosti od njihovih akustičkih karakteristika. Ove kategorije prikazane su u tabeli 1. Buka drumskog saobraćaja se utvrđuje kombinovanjem emisije buke svakog pojedinačnog vozila koje formira saobraćajni tok po definisanim kategorijama. [10]

Za proračun prostiranja buke i za određivanje emisije zvučne snage saobraćajnog toka, potrebno je opisati svaki pojedinačni izvor sa jednim ili više tačkastih izvora koji se kreću. U CNOSSOS - EU metodi, svako vozilo (u skladu sa kategorijom) je predstavljeno jednim tačkastim izvorom. Kao što je prikazano na slici 1, ovaj tačkasti izvor je postavljen 0,05 m iznad površine puta, jer je buka kontakta guma sa podlogom dominantan izvor buke vozila u pokretu. Saobraćajni tok se za potrebe proračuna predstavlja kao linijski izvor, a prilikom

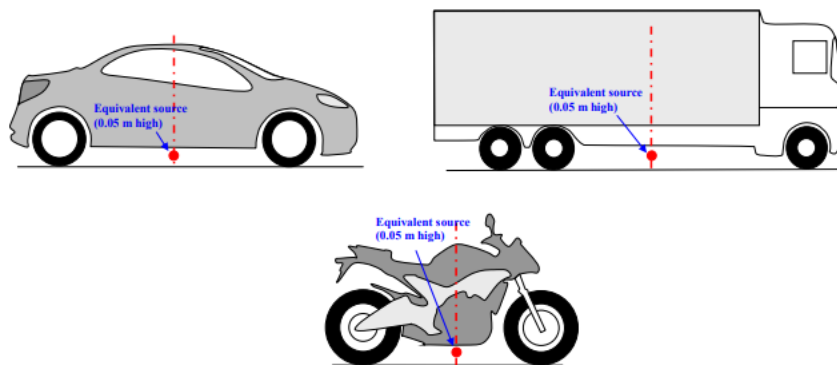
modelovanja puta sa više traka, svaka traka treba da bude predstavljena linijskim izvorom postavljenim u osi trake. Smanjenje broja linijskih izvora može se postići postavljanjem jednog linijskog izvora na svaku spoljnu traku puta ili, u slučaju puta sa dve trake, na sredini samog puta. [10] Duž linijskih izvora se simulira protok saobraćaja pomoću sledećih parametara: broj vozila koji saobraća duž određene deonice puta (po kategoriji i periodu dana), prosečne brzine kretanja vozila na deonici (po kategoriji i periodu dana), karakteristike podloge – habajućeg sloja, prosečnim godišnjim meteorološkim podacima na osnovu kojih se vrše odgovarajuće korekcije, i dr.; a nagib deonice (od tačke do tačke), automatski se proračunava u akustičkom modelu.

**Tabela 1. Četiri glavne kategorije vozila na osnovu CNOSSOS – EU metoda**

Kategorija	Naziv	Opis	Kategorija vozila na osnovu Direktive 2007/46/EC*
1	Laka motorna vozila	Putnički automobili, dostavna vozila ≤ 3.5 tone, terenski automobile, višenamenska vozila uključujući prikolice i kamp prikolice	M1 i N1
2	Srednje teška vozila	Srednje teška vozila, dostavna vozila > 3,5 tone, autobusi, touring automobili, itd. sa dve osovine i duplim montažnim pneumaticima na zadnjoj osovini	M2, M3 i N2, N3
3	Teška vozila	Teška teretna vozila, turing automobili, autobusi, sa tri ili više osovine	M2 i N2 sa prikolicom, M3 i N3
4	Motorni dvotočkaši	4a mopedi, tricikli ili četvorocikli ≤ 50 cc	L1, L2, L6
		4b motocikli, tricikli ili četvorocikli > 50 cc	L3, L4, L5, L7

\* Direktiva 2007/46/EC Evropskog Parlamenta uspostavlja okvir za za odobrenje motornih vozila i njihovih prikolica i sistema, komponenti i posebnih tehničkih jedinica namenjenih za takva vozila

Izvor: (Kephalopoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F., 2012)



**Slika 1.** Lokacija ekvivalentnog tačkastog izvora na lakim vozilima (kategorija 1), srednje teškim i teškim vozilima (kategorije 2 i 3) i dvotočkašima (kategorija 4)

Izvor: (Kephalopoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F., 2012)

## 2.2. Proces izrade strateških karata buke

Prvi i ključni korak u procesu izrade strateških karata buke je definisanje područja za koje se izrađuju karte [11]. Po određivanju prostornog obuhvata, prikupljaju se svi relevantni podaci za područje koje se obrađuje i na osnovu njih se formira akustički model. Ovo podrazumeva informacije o topografiji terena, postojećim objektima (koordinate, visina, površina, namena svakog objekta,...), lokaciji (naseljima, stanovništvu, gustini naseljenosti,...), meteorološkim uslovima (prosečnim godišnjim vrednostima temperature vazduha, vazdušnog pritiska, napona vodene pare, relativne vlažnosti, padavina i vetra), drumskom saobraćaju sa podacima o karakteristikama kolovoza, železničkom saobraćaju sa podacima o karakteristikama pruga, značajnim izvorima industrijske buke, aerodromima koji se nalaze na području aglomeracije, svim sprovedenim merama i programima zaštite od buke i relevantnim dvadesetčetvoročasovnim merenjima buke industrijskih postrojenja obavljenim na teritoriji aglomeracije.

Kako bi se precizno izradio model za proračun nivoa buke za teritoriju aglomeracije, formira se digitalni model terena (DTM) unutar softvera za proračun prostiranja buke na osnovu podataka o koordinatama (x, y i z) za obuhvaćeno područje. Digitalni model terena funkcioniše kao osnova za proračun prostiranja, gde se po njegovom generisanju postavljaju svi objekti koji su potrebni za proračun (zgrade, putevi, pruge, tuneli, mostovi, zelene površine, raskrsnice, kružni tokovi, itd). Pomoću digitalnog modela terena se takođe determiniše slabljenje buke usled konfiguracije i efekta tla. Neophodni su detaljni podaci o svim zgradama smeštenim na teritoriji aglomeracije. Ovo podrazumeva informacije o njihovoj tačnoj poziciji, osnovi, visini, spratnosti i nameni. Spratnost zgrada se u slučaju nedostatka tačnih podataka za svaki pojedinačni objekat, određuju na osnovu visine objekta i prosečne vrednosti visine etaže. Preciznost podataka je od suštinskog

značaja za kvalitetan proračun, kako predstavlja preduslov za određivanje izloženosti stanovništva određenim vrednostima indikatora buke. Objekti se za potrebe izrade strateških karata buke definišu na osnovu njihove pretežne namene i u skladu sa tim su svrstani u jednu od narednih kategorija:

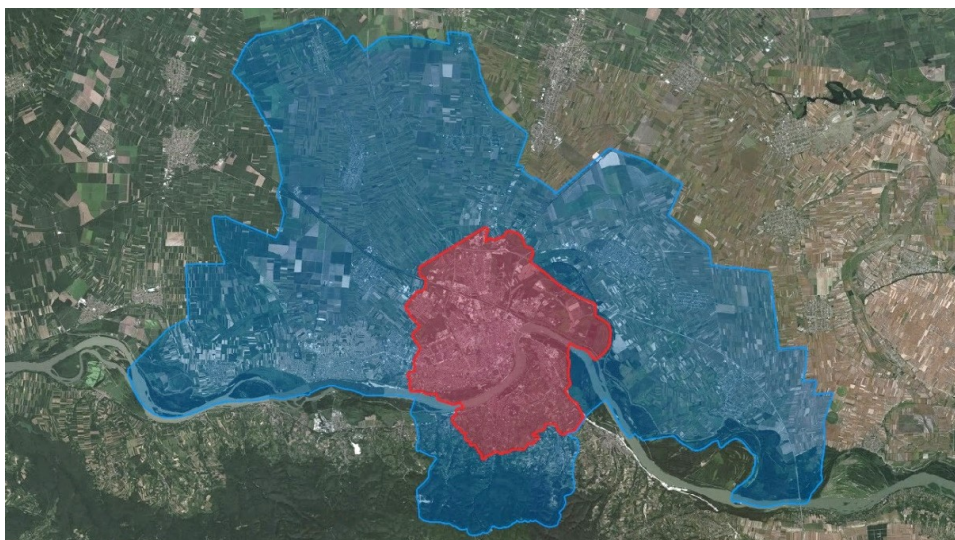
1. Stambeni objekti (u koje su svrstani i hoteli, starački domovi, učenički i studentski domovi, itd.)
2. Objekti nestambene namene (industrijski objekti, trgovinski objekti, poslovni objekti, benzinske stanice, zgrade javnih ustanova, pomoćni objekti, itd.)
3. Obrazovni objekti (osnovne škole, srednje škole i objekti višeg obrazovanja)
4. Objekti predškolskih ustanova
5. Zdravstveni objekti (klinički centri, bolnice, domovi zdravlja i druge zdravstvene ustanove)

Procena izloženosti buci stanovnika aglomeracije vrši se u skladu sa pristupom navedenim u okviru CNOSSOS - EU, odnosno na nivou stambene jedinice, odnosno zgrade, a ne na nivou pojedinca [10]. Pomoću podataka o gustini naseljenosti za definisane prostorne celine i ukupne neto stambene površine pojedinačnog objekta vrši se proračun za raspodelu stanovništva po stambenim jedinicama. Podaci o izvorima buke (drumskom, železničkom i avio saobraćaju, kao i industrijskim izvorima) i svim do tada sprovedenim merama zaštite od buke se zatim implementiraju u proračun sa svim relevantnim podacima potrebnim za precizan i verodostojan proračun. Na osnovu formiranog modela i akustičkih proračuna se zatim generišu strateške karte koje vizuelno prikazuju vrednosti za indikatore buke  $L_{den}$  i  $L_{night}$ , prikazi prekoračenja graničnih vrednosti, kao i procena izloženosti stanovništva, stanova i objekata karakterističnih namena u svemu u skladu sa Pravilnikom.

Za izradu strateških karata buke koriste se posebni računski programi koji moraju da imaju potvrdu da je program u skladu sa metodama iz CNOSSOS - EU:2015 u vidu potvrde rezultata iz ispitnih slučajeva kao što je navedeno u ISO/TR CNOSSOS - EU R 17534-4. Za sve proračune strateških karata buke za teritoriju aglomeracije Novi Sad korišćen je softver SoundPLAN Acoustic Complete, verzija 8.2, koji je validiran i sertifikovan za proračun buke u životnoj sredini. Svako novo izdanje softvera SoundPLAN se testira kako bi se zadržao kontinuitet kvaliteta proračuna i u skladu sa tim se publikuju rezultati test-proračuna koji se porede sa rezultatima test proračuna prethodne verzije čime se dokazuje da su rezultati identični i u potpunosti usklađeni sa CNOSSOS - EU metodologijom proračuna.

### 3. OPIS AGLOMERACIJE

Obuhvat strateških karata buke za područje aglomeracije Novi Sad određen je u saradnji sa nadležnim organom jedinice lokalne samouprave, oslanjajući se na postojeću pravnu i plansku dokumentaciju za područje grada. Granice aglomeracije za koje su izrađene strateške karte buke (uže područje grada prikazano na slici 2) utvrđene su kroz Odluku o određivanju akustičnih zona na teritoriji grada Novog Sada [12] i obuhvata područje GUP-a. Teritorijalni obuhvat projekta zauzima ukupnu površinu od 137,96 km<sup>2</sup> i u celosti obuhvata katastarske opštine Novi Sad I, II, III i IV i Sremsku Kamenicu, kao i delove opština Petrovaradin (10 ha pripada građevinskom rejonu naselja Bukovac), Veternik (Adice i Veternička rampa), Ledinci, Bukovac, Čenej i Futog.



**Slika 2.** Obuhvat teritorije izvan užeg područja Grada Novog Sad (plavo) i unutar užeg područja Grada Novog Sad obuhvaćenog Generalnim planom grada (crveno)  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

Nadmorska visina područja aglomeracije kreće se od 75 m do 238 m, a teritorija Novog Sada može se podeliti na dve celine u pogledu topografije, koje su prostorno razgraničene Dunavom. Kroz proračun strateških karata buke za aglomeraciju Novi Sad obrađeni su podaci za oko 70.000 objekata različitih namena. Podaci o stanovništvu na teritoriji aglomeracije su prikupljeni iz javno dostupnih izvora Republičkog zavoda za statistiku [13] i JKP Infomatike Novi Sad [14], a obrađeni podaci za celokupnu teritoriju aglomeracije dati su u tabeli 2.

**Tabela 2. Podaci o stambenim jedinicama i metarima kvadratnim stambenog prostora koji u proseku stoji na raspolaganju jednom stanovniku za 2021. godinu.**

Prostorni obuhvat	Stambenih prostora	Kolektivno stanovanje	Individualno stanovanje	Stanovnika	Površina st. prostora (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> po stanovniku
Aglomeracija Novi Sad	147 618	122 985	24 633	320 346	8 189 626	25,56

Izvor: (<https://nsinfo.co.rs/cyr/broj-stanovnika-po-mesnim-zajednicama>, 2021)

Meteorološki podaci prikupljeni su iz zvaničnih izveštaja Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije [15, 16]. Pregled dela ovih podataka sa glavne meteorološke stanice Rimski Šančevi br. 1654 prikazan je kroz tabelu 3.

**Tabela 3. Meteorološki podaci za Novi Sad**

Godina	Srednje godišnje vrednosti									
	Vazdušni pritisak (mb)				Temperatura vazduha (°C)				Ekstremi (°C)	
	7	14	21	cp	max	min	amp	cp	max	min
2019	1006.1	1005.7	1005.8	1005.9	19.3	8.2	11.1	13.4	37	-12
2020	1007.7	1007.2	1007.3	1007.4	18.4	7.8	10.6	12.8	35.3	-6.6

Izvor: (RHZ (Republički hidrometeorološki zavod), 2020, 2021)

Kroz strateške karte buke aglomeracije Novi Sad obuhvaćeni su proračuni nivoa buke drumskog saobraćaja, železničkog saobraćaja i industrijskih izvora (uključujući i postrojenja i aktivnosti za koje se izdaje integrisana dozvola), dok proračuni za vazdušni saobraćaj nisu vršeni kako unutar granica zone aglomeracije ne postoji aerodrom koji je u funkciji.

### 3.1. Prethodno sprovedene mere zaštite od buke

Do trenutka procesa realizacije strateških karata buke, kroz Odluku o određivanju akustičnih zona na teritoriji grada Novog Sada [12] definisane su akustičke zone na teritoriji Grada Novog Sada (podaci o zonama dati su u tabeli 4). Takođe, u prethodnih deset godina realizovane su i strateške karte buke za nekoliko manjih obuhvata na teritoriji grada, i to: Limani, Stari Grad (Novi centar i Grbavica), Severni Telep sa okolinom, Centar sa okolinom, Satelit i Novo Naselje, Detelinara i Avijatičarsko naselje, delovi radne zone Sever II, Banatića, Rotkvarije, Salajke, Podbare i Radne zone Sever III. Ove karte buke nisu imale upotrebnu vrednost, jer nisu odgovarale zahtevima Pravilnika.

**Tabela 4. Granične vrednosti indikatora buke akustičkih zona Novog Sada**

Zona	Namena prostora	Nivo buke u dB (A)			Boja zone
		za dan (06 - 18h)	za veče (18-22h)	za noć (22-06h)	
1	Područja za odmor i rekreaciju, bolničke zone i oporavilišta, kulturno-istorijski lokaliteti, veliki parkovi	50	50	40	
2	Turistička područja, kampovi i školske zone	50	50	40	
3	Čisto stambena područja	55	55	45	
4	Poslovno-stambena područja, trgovačko-stambena područja i dečja igrališta	60	60	50	
5	Gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zona duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica	65	65	55	
6	Industrijska, skladišna i servisna područja i transportni terminali bez stambenih zgrada	Na granici ove zone buka ne sme prelaziti graničnu vrednost u zoni sa kojom se graniči			

Izvor: ("Službeni list Grada Novog Sada", br. 54/2015 i 32/2017)

U pogledu prostornih intervencija, do trenutka izrade strateških karata buke postavljeno je nekoliko barijera za zaštitu od buke drumskog saobraćaja. Jedna barijera je smeštena na izlazu sa autoputa E-75 na Temerinski

put u zoni naselja Klisa, dok se pet kraćih barijera nalazi duž Bulevara Evrope u zoni naselja Gornje Livade i one su implementirane u naš model.

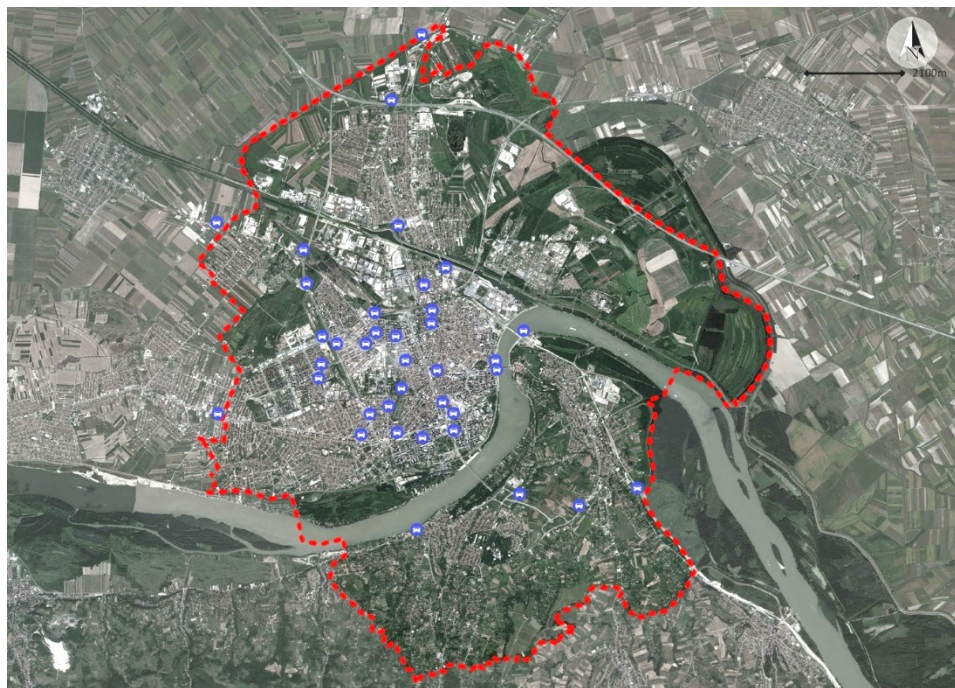
#### 4. DRUMSKI SAOBRAĆAJ I PUTNA MREŽA

Na osnovu GUP-a, za saobraćajnu povezanost aglomeracije, kao značajni saobraćajni tokovi izdvajaju se autoput E-75 (državni put A1, IA reda), državni put IB reda oznake 12, koji preko Novog Sada vodi ka Zrenjaninu i državnoj granici sa Rumunijom i državni put IB reda oznake 21, koji iz Novog Sada preko Rume i Šapca vodi ka Sjenici. Važeći GUP među najznačajnije magistralne saobraćajnice na levoj obali Dunava izdvaja put duž Subotičke pruge od autoputa E-75 do Dunava (sa vezom na most koji se predviđa posle planskog perioda), završetak magistralnog puta M-7 od ulice Partizanske do ulice Kornelija Stankovića (obilaznice oko Almaškog groblja), povezivanje Bulevara Jaše Tomića sa Temerinskom ulicom (ulicom Koste Šokice) i Almaške ulice sa ulicom Marka Miljanova.

Kao relevantni dokument u pogledu podataka vezanih za drumski saobraćaj, korišćena je Saobraćajna studija Grada Novog Sada sa dinamikom uređenja saobraćaja – Novosadski Saobraćajni TRANsportni Model (u daljem tekstu NOSTRAM [1]).



**Slika 3.** Prikaz izohipsi terena sa trasama drumskog saobraćaja u softveru SoundPLAN 8.2.  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

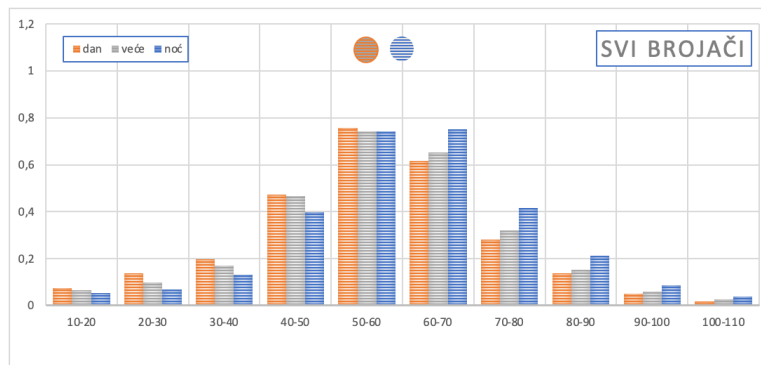


**Slika 4.** Pozicije automatskih merača motornog saobraćaja na teritoriji Novog Sada.  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

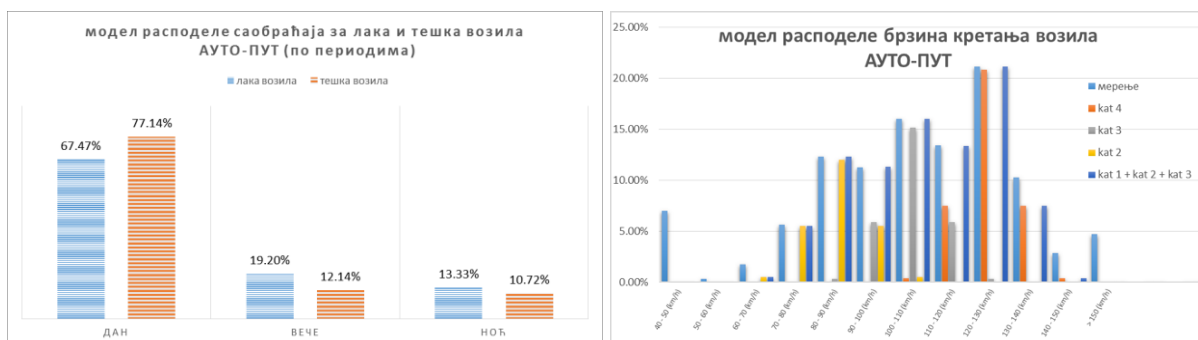


Trase drumskog saobraćaja (slika 3) unutar zone aglomeracije dostavljene su iz zvaničnih baza podataka za teritoriju Novog Sada od strane Gradske uprave za zaštitu životne sredine Grada Novog Sada u ESRI Shape formatu sa definisanim visinskim koordinatama. Ove trase su zatim analizirane i upoređene sa podacima iz NOSTRAM-a, kao i sa postojećim stanjem na terenu. Svaka celina između dve raskrsnice podeljena je i posebno definisana kao putna deonica, a relevantni parametri duž deonica unošeni su od tačke do tačke. Na ovaj način definisane su vrednosti kroz koje se determiniše širina saobraćajnice i broj traka, kao i pozicije mostova, natputnjaka i tunela. Pozicije semafora i kružnih tokova su pojedinačno definisane na osnovu podataka iz zvanične GIS baze podataka za teritoriju Novog Sada. Model izrađen za potrebe proračuna drumskog saobraćaja sadržao je više od 3.000 putnih deonica.

Novi Sad poseduje sistem za automatsko brojanje saobraćaja, uspostavljen na 41 lokaciji. Ovaj sistem prikuplja podatke o broju vozila i bicikala, o kategoriji vozila, brzini kretanja vozila, kao i opšte informacije o datumu, vremenu i temperaturi. Za potrebe izrade strateških karata buke korišćeni su podaci sa brojačkih mesta, izuzimajući brojače koji beleže samo protok biciklističkog saobraćaja. Na slici 4 su prikazane lokacije ovih brojača saobraćaja. Za potrebe proračuna nivoa buke u životnoj sredini koriste se podaci o prosečnom dnevnom (od 06 - 18 sati), večernjem (od 18 – 22 sata) i noćnom (od 22 - 06 sati) saobraćaju. Za izračunavanje dnevnog, večernjeg i noćnog protoka saobraćaja iz celodnevnog ili vršnog, korišćen je poseban algoritam razvijen za potrebe realizacije ovih strateških karata buke. Vrednosti prikupljene sa brojača su korišćeni za normalizaciju podataka iz NOSTRAM-a kako bi se formirao model koji odgovara realnim uslovima saobraćaja u Novom Sadu i u najvećoj meri izbeglo korišćenje aproksimacija. Tipovi vozila definisani su na osnovu CNOSSOS - EU metode kategorizacije tipova vozila. Za potrebe akustičkih proračuna svi parametri intenziteta saobraćaja definisani su po vremenskim intervalima za ove četiri kategorije vozila, pojedinačno za svaku deonicu.



**Dijagram 1. Statistički podaci o broju i brzini kretanja vozila za dan, veče i noć za svih brojača**  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

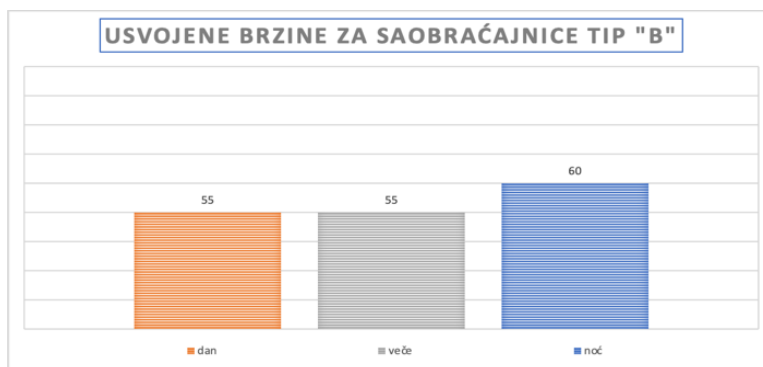


**Dijagram 2. Uspostavljene brzine za saobraćajnice tip "A" - autoput za dan, veče i noć. Laka vozila su vozila kategorije 1, 2 i 4, teška vozila su kategorije 3.**  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

Vrednosti prosečne brzine vozila su u većini slučajeva jednake ili nešto manje od ograničenja brzine na određenoj saobraćajnoj deonici. Ograničenja za većinu deonica se menjaju duž deonice, u zavisnosti od toga da li se na putu nalaze isključenja, ukrštaji (raskrsnice i stanice za gorivo), suženja (mostovi, natputnjaci i tuneli), horizontalne i vertikalne krivine čiji su radijusi manji od minimalnog radijusa za zakonom određenu maksimalnu brzinu na predmetnom putu, naselja, zone škola, usporivači saobraćaja, itd. U proračunu su za svaku deonicu kao polazne korišćene vrednosti ograničenja brzine. Ove vrednosti su na nekim delovima deonica proveravane i terenskim merenjima prosečne brzine vozila. Stanice za merenje broja vozila na teritoriji

Novog Sada, takođe beleže i brzine kretanja vozila i te vrednosti su korišćene u modelu. Podaci sa svih automatskih merača su obrađeni za periode dan, veče i noć pojedinačno, a zbirni rezultati su prikazani na Dijagramu 1 (kružićima je prikazana usvojena vrednost brzine protoka saobraćaja).

Usvojene brzine kretanja vozila po tipu saobraćajnice date su kroz Dijagrame 2 i 3, gde je izvršena podela na Tip „A“ – autoput i Tip „B“ – glavne gradske saobraćajnice na kojima nema brojača saobraćaja. Za magistralne saobraćajnice, kao i ostale gradske saobraćajnice usvojene su brzine kretanja prema podacima o ograničenju brzine kretanja vozila za svaku deonicu.



**Dijagram 3.** Usvojene brzine za saobraćajnice tip "B" za dan, veče i noć  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

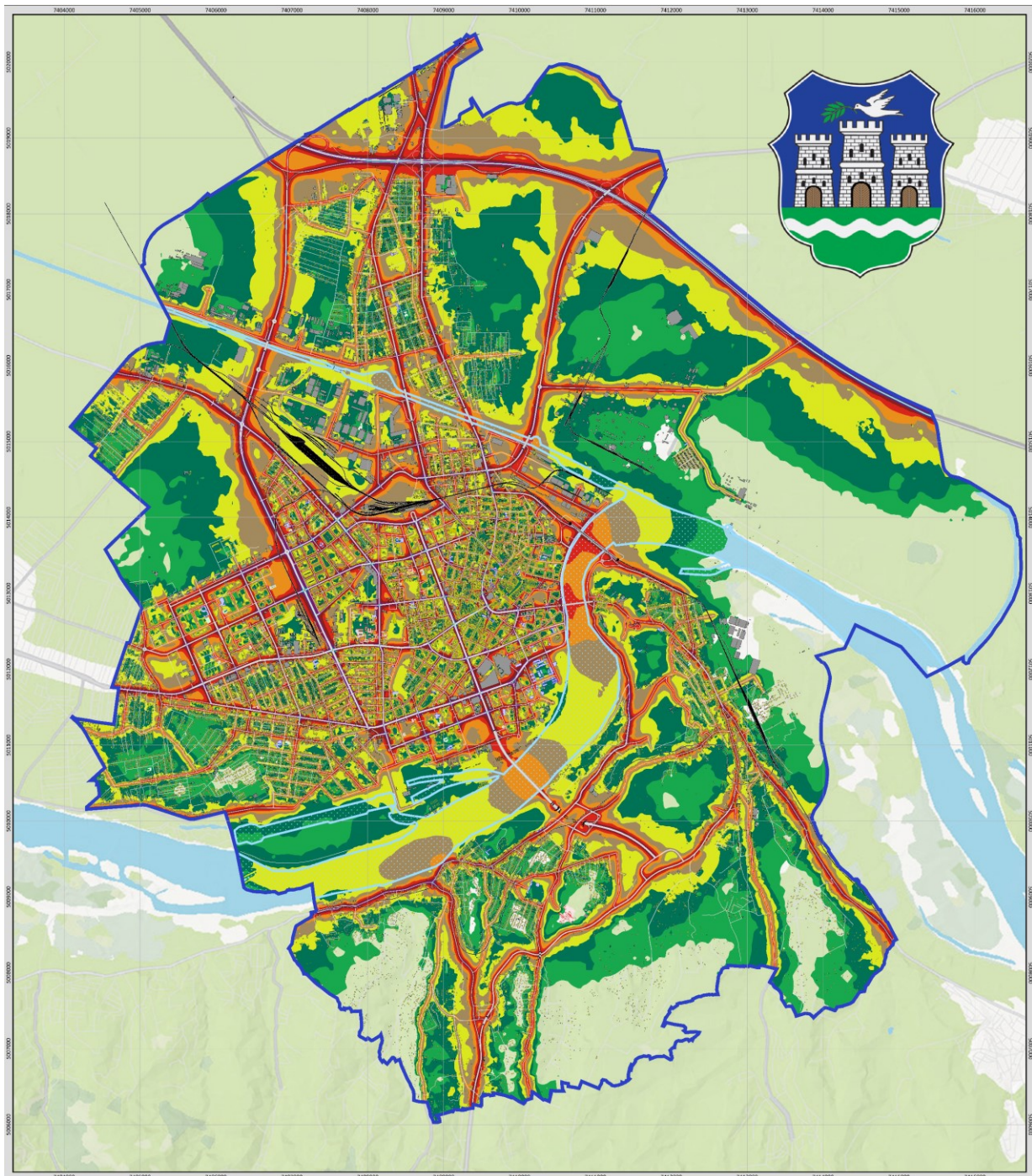
## 5. REZULTATI

Svi prikupljeni podaci uneti su u softver za proračun kako bi se formirali akustički modeli. Probni proračuni manje rezolucije vrše se pre realizacije konačnih proračuna kako bi se proverili parametri proračuna na više nivoa kako bi se prepoznali i uklonili mogući nedostaci. Vizuelni prikaz probnog proračuna dat je na slici 5, gde su uočeni objekti bez rezultata popravljani i uključeni u konačni proračun i na osnovu proračunatih vrednosti indikatora buke je proven saobraćajni model. Nakon nekoliko iteracija probnih proračuna, izvršen je konačni proračun u zahtevanoj rezoluciji za svaki tip izvora buke. Svi proračuni su, u skladu sa END, vršeni uzimajući u obzir direktan zvuk i jednu refleksiju. Kanjon efekat je korišćen za proračun u zonama u kojima se efekat javlja (visoke zgrade u nizu sa obe strane deonice). Konačni proračun za sve izvore buke izvršen je u rasteru 10 m x 10 m, na visini 4 m iznad terena (ukupno 1.300.000 tačaka). Na isti način rađen je i proračun buke na svim prijemnicima na fasadama stambenih, školskih i zdravstvenih objekata (na ukupno 442.500 tačaka). Proračun je realizovan na 6 desktop računara sa ukupno 48 procesorskih jezgara sa prosečnim taktom prilikom izračunavanja od oko 4,2 GHz i trajao je oko 6 dana neprekidno.



**Slika 5.** Prikaz jedne probne iteracije proračuna u softveru SoundPLAN 8.2  
(Boja objekta odgovara nivou buke na najizloženoj fasadi)  
Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

Područje koje je obrađeno kroz strateške karte buke obuhvata ukupnu površinu od 137,96 km<sup>2</sup> sa bafer zonom od 1 km za vršenje proračuna. Proračunom je obuhvaćeno 147.618 stambenih jedinica unutar kojih je smešteno 320.346 stanovnika Novog Sada. Rezultat proračuna predstavljaju karte buke sa vizuelnim prikazom indikatora buke  $L_{den}$  i  $L_{night}$  za drumski saobraćaj, železnički saobraćaj, za industrijske izvore. U skladu sa Pravilnikom, za prikaz karata buke korišćen je kod boja prikazan kroz tabelu 5, a prikaz karte buke za drumski saobraćaj za  $L_{den}$  predstavljen je na slici 6. Na ovaj način prikazani su kumulativni efekti svih izvora zajedno, kao i pojedinačni prikazi za svaki pojedinačni vid izvora buke. Na osnovu ovih proračuna i u skladu sa Odlukom o određivanju akustičkih zona na teritoriji Grada Novog Sada [12], generisane su i konfliktne karte buke. Konfliktne karte predstavljaju vizuelni prikaz prekoračenja graničnih vrednosti indikatora buke za period  $L_{den}$  i  $L_{night}$  za sve posmatrane izvore buke pojedinačno. Prikaz proračuna buke za drumski saobraćaj za period  $L_{den}$  dat je na slici 7.



**Slika 6.** Finalni prikaz karte buke drumskog saobraćaja za period dan-veče-noć ( $L_{den}$ ) za celokupnu teritoriju aglomeracije Novi Sad  
 Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

**Tabela 5. Kod boja za prikaz nivoa buke na kartama**

Nivo buke L/dB(A)	Naziv boje	Oznaka boje prema DIN 6164, Deo 1 T:S:D	Odgovarajuća boja u registru boja
$L \leq 35$	svetlozelena	22,9:2,0:1,3	RAL 6019
$35 < L \leq 40$	zelena	23,0:7,3:3,1	RAL 6018
$40 < L \leq 45$	tamnozeleno	20,8:6,2:5,2	RAL 6016
$45 < L \leq 50$	žuta	24,8:5,9:0,7	RAL 1016
$50 < L \leq 55$	oker	2,8:4,3:2,9	RAL 1011
$55 < L \leq 60$	pastelnonarandžasta	5,1:6,0:1,1	RAL 2003
$60 < L \leq 65$	crvena	7,4:8,6:2,0	RAL 3020 – F81
$65 < L \leq 70$	rubin-crvena	7,8:8,9:3,6	RAL 3003
$70 < L \leq 75$	purpurna	10,3:5,7:3,9	RAL 4006 – F81
$75 < L \leq 80$	svetloplava	17,3:4,4:2,2	RAL 5012
$80 < L$	tamnoplava	17,3:5,7:4,0	RAL 5019

Izvor: ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 80/2010)

**Slika 7. Prikaz konfliktnih karata buke drumskog saobraćaja za period dan-veče-noć ( $L_{den}$ ) za deo teritorije aglomeracije Novi Sad – Crvenom bojom naznačene su područja gde su zabeležena prekoračenja**

Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

Na osnovu akustičkih proračuna izvršena je procena izloženosti stanovništva po opsegu indikatora buke. Utvrđen je broj stanovnika koji je izložen opsezima buke i u tabelama 6 i 7 prikazane su ove vrednosti za sve obrađivane izvore buke pojedinačno i za sve izvore buke zajedno. Izloženost stanovništva u stanovima sa tihom fasadom i stanovima sa posebnom zvučnom izolacijom, kao i broj stanova, bolnica, škola i vrtića koji su izloženi određenim vrednostima indikatora buke takođe su analizirane kroz ovaj projekat. Sve analize vršene su za period  $L_{den}$  i  $L_{night}$  u skladu sa Pravilnikom.

**Tabela 6. Analiza izloženosti stanovništva opsezima buke indikatora  $L_{den}$  za teritoriju aglomeracije Novi Sad**

Opseg indikatora buke $L_{den}$ / dB(A)	Analiza izloženosti stanovništva - $L_{den}$				
	Broj stanovnika izložen opsezima buke indikatora $L_{den}$				
	Drumski saobraćaj	Železnički saobraćaj	Vazdušni saobraćaj	Industrijska područja	Svi izvori buke zajedno
< 55	224985	309480	-	320091	224615
55 - 59	32470	592	-	157	32624
60 - 64	33702	262	-	55	33890
65 - 69	26659	88	-	1	26692
70 - 74	2484	15	-	0	2484
> 75	0	0	-	0	0

Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

**Tabela 7** Analiza izloženosti stanovništva opsezima buke indikatora  $L_{night}$  za teritoriju aglomeracije Novi Sad

Analiza izloženosti stanovništva - $L_{night}$					
Opseg indikatora buke $L_{night}$ / dB(A)	Broj stanovnika izložen opsezima buke indikatora $L_{night}$				
	Drumski saobraćaj	Železnički saobraćaj	Vazdušni saobraćaj	Industrijska područja	Svi izvori buke zajedno
< 45	221560	308394	-	320117	221021
45 - 49	33289	1452	-	119	33621
50 - 54	33669	420	-	33	33821
55 - 59	27909	127	-	35	27956
60 - 64	3868	40	-	0	3876
65 - 69	9	5	-	0	11
> 70	0	0	-	0	0

Izvor: (Strateške karte buke – Grad Novi Sad, 2022)

## 5. ZAKLJUČAK

Buka predstavlja jedan od zagađivača koji značajno utiče na degradaciju kvaliteta života ljudi, posebno u područjima u blizini prometnih saobraćajnica i unutar urbanih sredina. Buka je lokalni problem, a prostiranje buke u životnoj sredini se pokazuje kao kompleksan problem i zahteva visok stepen stručnosti. Jedan od zaključaka CNOSSOS - EU, a i naša iskustva iz prakse pokazuju da relevantni urbanistički planovi razvoja neadekvatno i površno obrađuju buku kao bitan parametar pri projektovanju, osim u izuzetnim slučajevima (npr. zaštita zgrada posebne namene). Usled toga, neophodan je detaljniji pristup na različitim nivoima, posebno kada je reč o planskim i strateškim dokumentima pomoću kojih je moguće obezbediti sveobuhvatniji nivo kontrole i umanjenja nivoa buke. Pokazali smo da su strateške karte buke značajan alat u procesu procene uticaja buke u životnoj sredini, informisanja građana i predstavljaju osnovu za izradu akcionih planova za zaštitu od buke. One usled toga moraju biti pouzdane, jasne i uporedive jedna sa drugom i neophodno je obezbediti konzistentnost kvaliteta njihove izrade [18]. U procesu realizacije Strateških karata buke aglomeracije Novi Sad za 2021 godinu, implementirani su harmonizovani standardi (CNOSSOS - EU) na najvišem nivou, čime je obezbeđen verodostojan prikaz stanja buke na teritoriji aglomeracije. Analizom rezultata prikazanih kroz grafičke i tabelarne priloge, utvrđeno je da su na području Novog Sada zabeležena značajna prekoračenja usvojenih graničnih vrednosti. Kao dominantan izvor buke izdvaja se drumski saobraćaj. Oko 30% građana Novog Sada je izloženo povišenim vrednostima indikatora buke  $L_{den}$ , a 31% povišenim vrednostima indikatora buke  $L_{night}$ . Utvrđeno je da je od ukupnog broja stanovnika na teritoriji aglomeracije koji su izloženi nivoima buke preko granične vrednosti od 55 dB(A) u celodnevnom periodu ( $L_{den}$ ), njih 99,6% je izloženo buci koja proističe od drumskog saobraćaja. U noćnom periodu ( $L_{night}$ ) udeo populacije koji je izložen nivoima buke drumskog saobraćaja preko 45 dB(A) čini 99,4% ukupnog stanovništva izloženog buci svih razmatranih izvora. Kako bi uticali na poboljšanje kvaliteta života i zdravlja građana Novog Sada, neophodno je da se na osnovu rezultata strateških karata buke izrade i akcioni planovi za zaštitu od buke kroz koje bi se propisale adekvatne i ekonomski opravdane mere smanjenja i kontrole buke drumskog saobraćaja pomoću kojih bi se vrednosti indikatora buke u što većoj meri dovele unutar graničnih vrednosti. Neophodno je nastaviti i dosledno sprovoditi i strateške i taktičke mere smanjenja buke u životnoj sredini, koje za cilj imaju poboljšanje kvaliteta života građana, a na koje obavezuje i lokalna i EU regulativa.

## Literatura

- [1] JP "Urbanizam", Zavod za urbanizam, Novi Sad. (2009). Saobraćajna studija Grada Novog Sada sa dinamikom uređenja saobraćaja (NOSTRAM). Knjiga: Osnovna. Novi Sad: JP "Zavod za izgradnju grada", Novi Sad.
- [2] European Environment Agency. (2010). Good practice guide on noise exposure and potential health effects. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union.
- [3] Dirigent Acoustics d.o.o., "Strateške karte buke - Grad Novi Sad," 2022.
- [4] Generalni plan Grada Novog Sada do 2021. godine. ("Službeni list Grada Novog Sada", br. 39/2006 - prečišćen tekst)
- [5] Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 96/2021)
- [6] "Pravilnik o sadržini i metodama izrade strateških karata buke i načinu njihovog prikazivanja javnosti ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 80/2010)
- [7] European Commission. (2002). Directive 2002/49/EC on the assessment and management of environmental noise.
- [8] European Commission. (2015). Commission Directive (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing

- common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council (Text with EEA relevance).
- [9] Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 75/2010)
- [10] Kephelopoulos, S., Paviotti, M., & Anfosso-Lédée, F. (2012). Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Luxemburg: Publications Office of the European Union. doi:10.2788/31776
- [11] Ministarstvo zaštite životne sredine. (2019). Smernice za izradu strateških karata buke u Srbiji. (on-line) available at:  
[http://www.sepa.gov.rs/download/buka/Prirucnik\\_za\\_izradu\\_strateskih\\_karata\\_za\\_aglomeracije.pdf](http://www.sepa.gov.rs/download/buka/Prirucnik_za_izradu_strateskih_karata_za_aglomeracije.pdf)  
(07.03.2023.)
- [12] Odluka o određivanju akustičkih zona na teritoriji Grada Novog Sada ("Službeni list Grada Novog Sada", br. 54/2015 i 32/2017)
- [13] Republički zavod za statistiku. (2012). Popis 2011. (on-line) available at:  
<https://www.stat.gov.rs/oblasti/popis/popis-2011/>  
(07.03.2023.)
- [14] JKP Informatika Novi Sad. (2021). Broj stanovnika po mesnim zajednicama. (on-line) available at:  
<https://nsinfo.co.rs/cyr/broj-stanovnika-po-mesnim-zajednicama>  
(19.11.2021.)
- [15] RHZ (Republički hidrometeorološki zavod). (2020). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2019. Beograd: RHZ (Republički hidrometeorološki zavod).
- [16] RHZ (Republički hidrometeorološki zavod). (2021). Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2020. Beograd: RHZ (Republički hidrometeorološki zavod).
- [17] Conference of European Directors of Roads (CEDER). (2013). Best Practice in Strategic Noise Mapping. CEDR's Secretariat General.

## INSTRUMENT ZA TERENSKA MERENJA AKUSTIČKIH KARAKTERISTIKA BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE

**Mr Dejan Todorović<sup>1</sup>, dipl.inž.el.**

*<sup>1</sup> Dirigent Acoustics d.o.o., dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Mirjana Mihajlović, dipl.inž.el.**

*Dirigent Acoustics d.o.o., mirjana.mihajlovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Milica Raičković, mast.inž.elekt. i računar.**

*Dirigent Acoustics d.o.o., milica.raickovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Dr Iva Salom, dipl.inž.el.**

*Institut Mihajlo Pupin d.o.o., iva.salom@pupin.rs*

**Rezime:** *Efikasan i široko primenjen način smanjenja uticaja buke je postavljanje zvučnih barijera pored puteva i drugih izvora buke. Akustička karakterizacija barijera za zaštitu od buke je preduslov za njihovo puštanje u rad u okviru redovnog tehničkog prijema izvedenog objekta, kao i alatka za proveru akustičkog kvaliteta ranije izvedenih barijera, kako bi se sagledala njihova efikasnost i ocena usklađenosti sa projektom. Zahtevi za karakterizaciju barijera za zaštitu od buke postavljeni su u međunarodnim standardima, koji preciziraju protokole merenja i ocene (EN 1793-5 i EN 1793-6). Napravljen je prototip instrumenta koje zadovoljava merne protokole. Naš prototip se sastoji od mikrofona fiksiranih na devet tačnih lokacija jedan u odnosu na drugi, spojenih na centralizovanu platformu koja vrši simultano generisanje i snimanje zvuka etaloniranog izvora, čuvajući podatke u internoj memoriji. Prototip se testira u Sloveniji, i povratne informacije nam pomažu da sagledamo sve prednosti i nedostatke prototipa, kako bismo razvili pouzdan instrument jednostavan za rukovanje. Inženjersko vreme potrebno za karakterizaciju barijere na svakoj geografskoj lokaciji na kraju projekta biće i do 90% kraće od vremena provedenog korišćenjem postojeće tehnologije, čime se ostvaruje i značajna ušteda i konkurentnost. Tokom realizacije razvoja ovog uređaja, već smo došli do interesantnih rezultata koji su predati za patentne isprave, a kojima će se polje merenja buke na terenu značajno unaprediti.*

**Ključne reči:** *merenje zvučne izolacije, merenje zvučne apsorpcije, buka u životnoj sredini, zaštita od buke, barijere za zaštitu od buke, akustička merenja*

## INSTRUMENT FOR FIELD MEASUREMENTS OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF NOISE PROTECTION BARRIERS

**Mr Dejan Todorović<sup>1</sup>, MScEE**

*<sup>1</sup> Dirigent Acoustics d.o.o., dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Mirjana Mihajlović, MScEE**

*Dirigent Acoustics d.o.o., mirjana.mihajlovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Milica Raičković, MScEE**

*Dirigent Acoustics d.o.o., milica.raickovic@dirigent-acoustics.co.rs*

**Dr Iva Salom, MScEE**

*Institut Mihajlo Pupin d.o.o., iva.salom@pupin.rs*

**Abstract:** *An effective and widely applied way of reducing the impact of noise is the installation of noise barriers next to roads and other sources of noise. Acoustic characterization of barriers for noise protection is a prerequisite for their commissioning as part of the regular technical acceptance of the constructed object, as well as a tool for checking the acoustic quality of previously constructed barriers, in order to assess their efficiency and compliance with the project. Requirements for the characterization of noise protection barriers are defined by international standards, which specify measurement and assessment protocols (EN 1793-5 and EN 1793-6). A prototype of the instrument that meets these measurement protocols was created. Our prototype consists of microphones fixed at nine exact locations in relation to each other, connected to a central platform that simultaneously generates and records the sound of the calibrated source, saving the data in the internal memory. The prototype is being tested in Slovenia, and the feedback helps us to look at all the pros and cons of the prototype, so that we can develop a reliable, easy-to-use instrument. The engineering time needed to characterize the barrier at each geographic location at the end of the project will be up to 90% shorter than the time spent using existing technology, which assures significant savings and competitiveness. During the development of this device, we have already achieved interesting results that have been submitted for patent documents, and which will significantly improve the field of noise measurements in situ.*

**Keywords:** *sound insulation measurement, sound absorption measurement, environmental noise, noise protection, noise protection barriers, acoustic measurements*

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: dejan.todorovic@dirigent-acoustics.co.rs

## 1. UVOD

Zagađenje bukom je postao ozbiljan problem u savremenom svetu koji se odražava kako na psihičko stanje ljudi tako i na njihovo zdravlje, posebno u modernim urbanim sredinama. Prema izveštajima Svetske zdravstvene organizacije – SZO (*World Health Organization – WHO*) [1, 2, 3, 4] buka predstavlja drugi zagađivač čovekove okoline odmah posle zagađenosti vazduha. Stoga se u poslednje vreme sve veća pažnja posvećuje merama zaštite od buke. Saobraćaj je jedan od dominantnih izvora buke, a jedan od najefikasnijih načina zaštite od saobraćajne buke je postavljanje zvučnih barijera duž saobraćajnica. Zvučne barijere moraju obezbediti odgovarajuću zvučnu izolaciju i apsorpciju, a uz to moraju i da zadovolje i dodatne zahteve (kao što je estetsko uklapanje u okolinu), pa se danas posvećuje velika pažnja modelovanju barijera, koje mogu biti napravljene od različitih materijala (beton, opeka, metal, drveće, itd.).

Za realizovane barijere neophodno je potvrditi zahtevane akustičke karakteristike u smislu vrednosti indeksa zvučne izolacije i indeksa refleksije na terenu (in situ). Karakterizacija akustičkih barijera za zaštitu od buke je regulatorni preduslov za primenu bilo kog vida barijere za zaštitu od buke, a zahtevi za njihovu karakterizaciju definisani su međunarodnim standardima, koji preciziraju protokole merenja i procene. Korišćenjem postojećih tehnologija, praćenje protokola je zamorno i dugotrajno. U cilju optimizacije ovog procesa, identifikovali smo sledeće zahteve kao posebno vremenski opterećujuće za inženjere:

- 1) Neophodnost merenja na precizno postavljenih devet pozicija mikrofona za svaku geografsku lokaciju na delu barijere;
- 2) Potreba za povezivanjem laptopa i druge eksterne opreme za snimanje na mikrofoni, i
- 3) Potreba za priključcima za napajanje i povezivanje signala za svu opremu, uključujući i zvučnike (izvor zvuka). Ovo može biti posebno komplikovano kada je u pitanju visoka i duga barijera pod inspekcijom.

Realizovani merni sistem je projektovan za in situ merenja pomenutih karakteristika zvučnih barijera prema standardima EN 1793-5 [5] i EN 1793-6 [6].

## 2. METODOLOŠKE SMERNICE

Merenje akustičkih karakteristika zvučnih barijera je predmet istraživanja u Evropi od početka njihove primene. Istraživanja su intezivirana sa projektom Evropske komisije ADRIENNE [7], koji je trajao u priodu od 1995. do 1997. godine. Na osnovu rezultata dobijenih tokom ovog projekta, uveden je evropski standard [8] i definisane su prve preporuke za in situ merenje akustičkih karakteristika zvučnih barijera: zvučne izolacije (*sound insulation index - SI*) i zvučne refleksije (*reflection index - RI*). Nakon usavršavanja i verifikacija mernih metoda tokom projekta Evropske komisije QUIESST [9] usledile su revizije standarda i merne metode za merenje zvučne izolacije i zvučne refleksije podeljene su u posebne standarde EN 1793-5 i EN 1793-6, koji se i danas primenjuju. Tokom projekta QUISTIM [10] saobraćajnog istraživačkog programa Evropske direkcije za puteve (*Conference of European Directors of Roads - CEDR*), ispitivana su inovativna rešenja zvučnih barijera u cilju efikasnije primene u procesu planiranja, upravljanja, izgradnje i održavanja puteva. Merne metode definisane standardima EN 1793-5 i EN 1793-6 koriste se kako za kvalifikovanje zvučnih barijera na osnovu njihovih akustičkih karakteristika, tako i za proveru usaglašenosti tih karakteristika sa zadatim specifikacijama. Redovnom primenom opisanih metoda može se vršiti provera dugoročne efikasnosti ugrađenih zvučnih barijera.

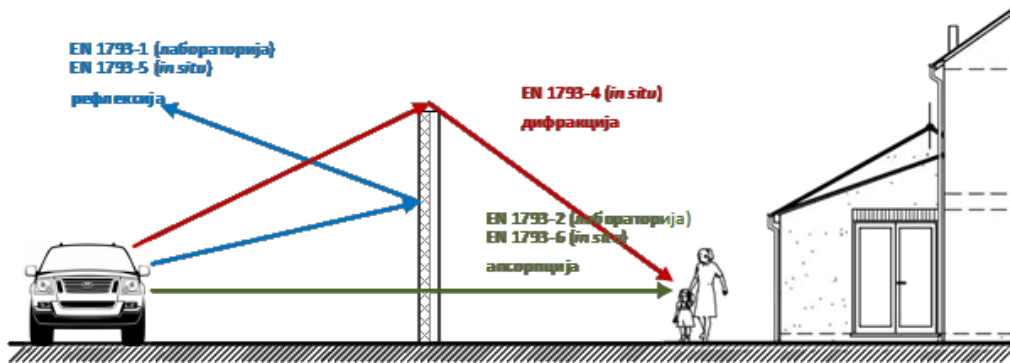
Merne metode definisane standardima EN 1793-5 i EN 1793-6 zasnovane su na usrednjavanju rezultata merenja na istom rastojanju od barijere na različitim pozicijama u odnosu na barijeru za različite uglove incidencije. Rezultati dobijeni ovim metodama nisu direktno poredivi sa rezultatima dobijenim metodama definisanim standardima EN 1793-1 [11] i EN 1793-2 [12], koje se odnose na merenja u laboratorijskim uslovima, pre svega zbog činjenice da se u slučaju in situ metoda koristi usmereno zvučno polje, dok je u slučaju laboratorijskih merenja zvučno polje difuzno. Postojeći sistemi se standardno sastoje od mikrofonskog niza mernih mikrofona u konfiguraciji 3 x 3 rešetke, izvora zvuka, kao i merne opreme, koja podrazumeva generator audio signala i snimač, i/ili laptop računar sa audio karticom.

### 2.1. Metoda za određivanje akustičkih karakteristika zvučnih barijera

Zvučne barijere postavljene duž saobraćajnica moraju da obezbede odgovarajuću zvučnu izolaciju, takvu da zvuk koji prolazi kroz njih nije dominantan u poređenju sa difraktovanim zvukom sa vrha zvučne barijere (slika 1).



Rezultati merenja primenom metoda definisanih standardima EN 1793-5 i EN 1793-6 su vrednosti indeksa zvučne izolacije SI, odnosno indeksa refleksije RI, predstavljeni u trećinsko-oktavnim opsezima u opsegu frekvencija od 100 Hz – 5 kHz, kao i globalne jednobrojne vrednosti dobijene ponderisanjem pojedinačnih vrednosti SI, odnosno RI u različitim frekvencijskim opsezima sa odgovarajućim normalizovanim spektrom buke saobraćaja, definisanim standardom EN 1793-3 [13]. Na slici 1 prikazan je pregled grupe standarda EN 1793 vezanih za određivanje karakteristika zvučnih barijera.

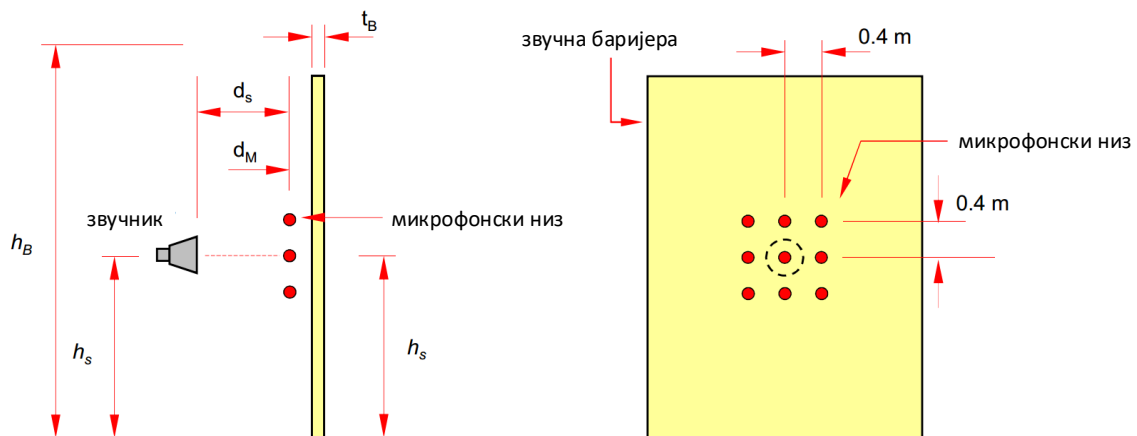


Slika 1. Pregled standarda EN 1793

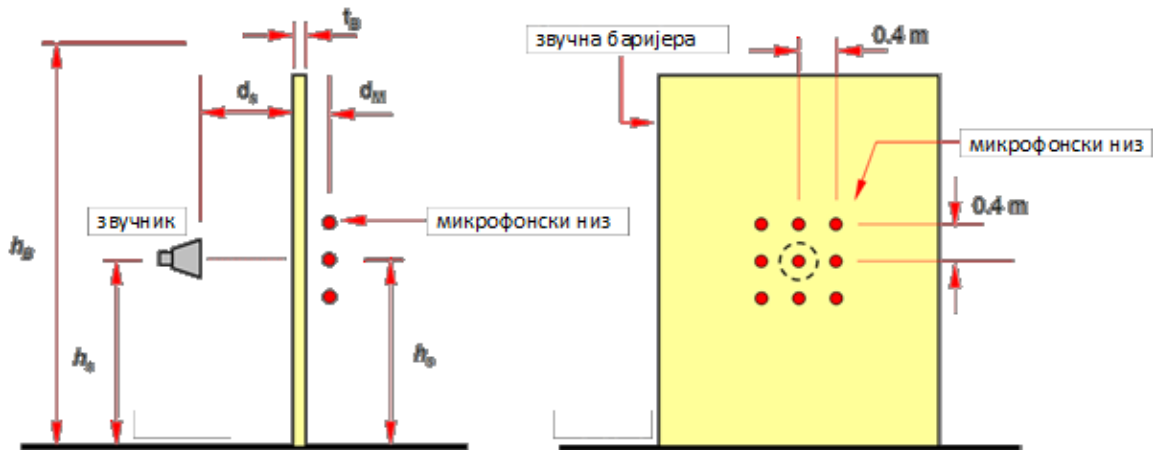
Postavka merenja definisana standardima EN 1793-5 i EN 1793-6 prikazana je na slikama 2 i 3, i uključuje zvučni izvor i mikrofonski niz od 9 mikrofona, raspoređenih u 3 x 3 rešetku, pri čemu je rastojanje između mikrofona  $s = 0,4 \text{ m}$ . Definisani su sledeći parametri:

- rastojanje od zvučnika do barijere:  $d_S$ ,
- rastojanje od mikrofonske rešetke do barijere:  $d_M$ ,
- referentna visina, to jest visina na kojoj je postavljen zvučnik, odnosno centar mikrofonske rešetke  $h_S$ ,
- visina zvučne barijere  $h_B$ ,
- debljina zvučne barijere  $t_B$ .

Primenjuju se merenja impulsnih odziva korišćenjem sine sweep ili MLS (*Maximum Length Sequence*) merne tehnike, kojima se dobija impulсни odziv na osnovu kojeg se vrše izračunavanja. Merenja se vrše u 2 slučaja: u prisustvu barijere i u slobodnom polju, na istom međusobnom rastojanju između zvučnika i mikrofonske rešetke. Izuzetno je bitno obezbediti isti međusobni položaj zvučnika i mikrofonskog niza u oba merenja, preporučena dozvoljena odstupanja su manja od 50 mm [6]. U slučaju određivanja indeksa SI mikrofonski niz je postavljen iza barijere, to jest barijera se nalazi između zvučnika i mikrofonskog niza (slika 2), dok je u slučaju određivanja indeksa RI mikrofonski niz postavljen ispred barijere, to jest između zvučnika i barijere (slika 3).



Slika 2. Postavka merenja prema EN 1793-5



Slika 3. Postavka merenja prema EN 1793-6

Preporučeni parametri u slučaju merenja indeksa RI su:

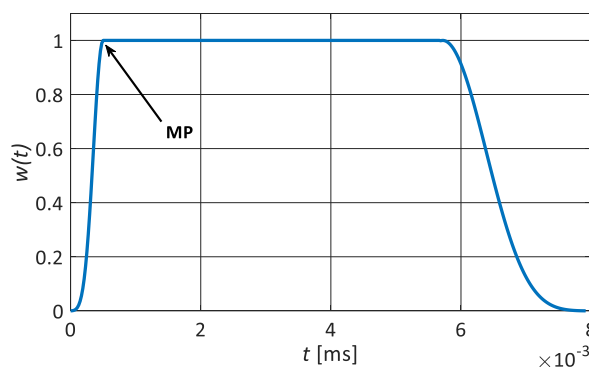
- rastojanje od zvučnika do barijere:  $d_s = 1,50$  m,
- rastojanje od mikrofonske rešetke do barijere:  $d_M = 0,25$  m,

Preporučeni parametri u slučaju merenja indeksa SI su:

- rastojanje od zvučnika do barijere:  $d_s = 1,00$  m,
- rastojanje od mikrofonske rešetke do barijere:  $d_M = 0,25$  m,

Spektralna gustina energije direktnog i transmitovanog, odnosno direktnog i reflektovanog zvuka predstavlja osnovu za proračun indeksa SI, odnosno RI. Pri tome se vrednosti indeksa SI i RI dobijaju kao logaritamski usrednjene vrednosti signala sa 9 mikrofonskih pozicija.

Da bi se dobili što tačniji rezultati merenja, to jest da bi odgovarajuće merenje uključilo samo doprinos odgovarajućeg signala (direktnog, transmitovanog kroz barijeru i reflektovanog od barijere) preporuka je da se sva merenja u cilju određivanja indeksa SI i RI vrše u odsustvu reflektujućih površina. Ipak, nemoguće je izbeći refleksiju od tla. Dodatno prilikom određivanja indeksa SI potrebno je isključiti uticaj difrakcije sa vrha barijere. Iz tog razloga tokom projekta ADRIENNE [7] definisan je poseban vremenski vremenski prozor, takozvani *Adrienne* prozor (slika 4), kojim se odstranjuju svi nepoželjni uticaji na signal za obradu (refleksije i difrakcije).

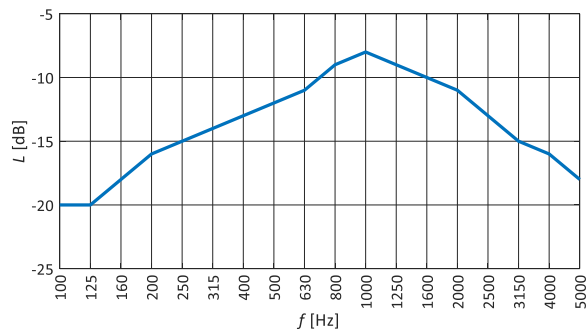


Slika 4. *Adrienne* vremenski prozor

Za određivanje indeksa RI primenjuje se postupak vremenskog oduzimanja tako da se impulsni odziv direktnog talasa u slučaju merenja u slobodnom polju i u prisustvu barijere potpuno poništi. Da bi rezultat postupak ovog oduzimanja bio potpuno poništavanje direktnog zvuka u prisustvu barijere, neophodno je ispuniti pomenuti uslov o što približnijem međusobnom položaju zvučnika i mikrofonske rešetke u oba merenja. *Adrienne* prozor će u ovom slučaju biti pozicioniran tako da dodatno doprinese potiskivanju direktnog zvuka u slučaju merenja u prisustvu barijere. Tačka između prvog i drugog dela *Adrienne* prozora naziva se *Marker Point* – MP. *Adrienne* prozor se pozicionira tako da se tačka MP postavi na 0,2 ms pre nailaska direktnog zvuka.

Trajanje prvog dela je fiksno i iznosi 0,5 ms. Trajanje drugog dela zavisi od trenutka nailaska refleksije od tla i difrakovanog talasa u izmerenim impulsnim odzivima tako da ukupno trajanje *Adrienne* prozora direktno zavisi od visine barijere. Pri tome je trajanje drugog i trećeg dela uvek u odnosu 7 : 3. Maksimalna preporučena ukupna dužina *Adrienne* prozora je 7,9 ms, ukoliko njime nisu obuhvaćene refleksije od tla i difrakovani talas u impulsnom odzivu. Ukupna dužina *Adrienne* prozora ograničava frekvencijski opseg dobijenih rezultata indeksa SI i RI – naniža frekvencija određena je prvom nulom u frekvencijskom odzivu *Adrienne* prozora.

A - ponderisani nivo zvuka normalizovanog spektra buke saobraćaja definisanog standardom EN 1793-3 [13] prikazane je na slici 5.



**Slika 5.** A-ponderisani nivo zvuka normalizovanog spektra buke saobraćaja definisanog standardom EN 1793-3

### 3. PRIKAZ aSTAMIN INSTRUMENTA

Kako bi se zadovoljiti trenutni standardi u pogledu in situ merenja, neophodno je prikupljanje audio podataka na devet precizno definisanih pozicija, pomeranjem jednog mikrofona ili korišćenjem mreže mikrofona 3 x 3. Mikrofoni i izvor zvuka se obično povezuju na strujne utičnice, kao i snimač audio zapisa ili laptop sa zvučnom karticom, a mikrofoni i zvučnik su povezani na mernu opremu žicama.



**Slika 6.** Merni sistem tokom merenja na terenu  
Izvor: (Autori)

Naše rešenje - aSTAMIN (*Automated Sound Transmission and Absorption Measurements In-Situ*), značajno pojednostavljuje metod merenja, jer se generisanje i snimanje audio signala obavlja istovremeno na centralnom modulu, baziranom na XILINX System-on-Chip (SoC) platformi. Ova platforma takođe sadrži GPS modul koji se koristi za označavanje geografske lokacije svakog merenja, kao i meteorološki modul. Merenje se vrši jednostavnim pritiskom na dugme. Signali sa svih mikrofona se snimaju na SD karticu, zajedno sa ostalim podacima (GPS i meteorološkim), dok se pregled i obrada vrši na računaru pokretanjem razvijene

aplikacije. Mikrofonski niz se sastoji od parova MEMS digitalnih mikrofona, koji su se kroz prethodne primene pokazali kao dobar izbor sa zadovoljavajućim karakteristikama.

Na slici 6 prikazan je realizovani merni sistem tokom merenja na terenu. Ključni elementi novorazvijenog uređaja su već predati za patentne isprave. Uređaj će implementirati bežičnu (bluetooth) vezu sa zvučnikom i displej za kontrolu korisničkog interfejsa i prikaz parametara merenja.

### 3.1. Opis hardvera

Razvijeni merni sistem obuhvata sledeće blokove:

1. senzorski blok (mikrofonski niz),
2. zvučni izvor – zvučnik,
3. platformu za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka, sa GPS modulom,
4. napajanje,
5. mehanički nosač mikrofona,
6. blok za obradu (post processing) i korisnički interfejs.

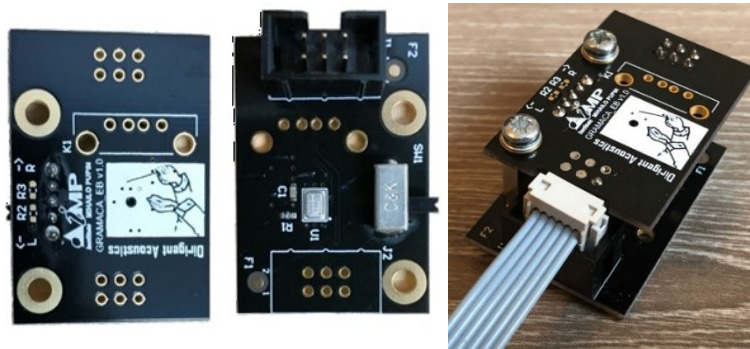
Osnovna uloga senzorskog bloka je odabiranje akustičkog signala i analogno-digitalna konverzija. Mikrofonski niz sastoji se od 9 parova mikrofona u konfiguraciji 3 x 3 rešetke, na rastojanjima od po 0,4 m, kao što je definisano u standardima EN 1793-5 i EN 1793-6. Za konkretnu primenu zahteva se da mikrofoni imaju omnidirekcionu karakteristiku usmerenosti, širok frekventijski odziv, zadovoljavajuću osetljivost, kao i zadovoljavajući odnos signal / šum. Zbog svojih malih dimenzija i otpornosti na smetnje, naročito zbog relativno dugačkih linija od samog mikrofona do modula za akviziciju, korišćeni su digitalni MEMS mikrofoni [14]. Odabrani su omnidirekciono mikrofoni ADMP621 proizvođača TDK InvenSense [15], zbog prihvatljivog odziva u rasponu frekvencija od 100 Hz do 16 kHz, dobrog odnosa signal - šum od 65 dBA i osetljivosti od - 46 dBFS. Blago usmeravanje mikrofona na visokim frekvencijama je razlog korišćenja dva mikrofona u paru, suprotno usmerenih.

Odabrani digitalni MEMS mikrofoni predstavljaju integrisano rešenje koje obuhvata akustički pretvarač, predpojačavač audio signala i sigma-delta konvertor unutar jednog integrisanog kola. Male dimenzije pakovanja digitalnih MEMS mikrofona omogućavaju lako postavljanje komponenti na elektronsku štampanu ploču pomoću mašina za automatsko ulaganje komponentata. Digitalni interfejs ovakvih mikrofona omogućava njihovo direktno povezivanje sa digitalnim integrisanim kolima, kao što su FPGA programabilna integrisana kola, bez potrebe za dodatnim komponentama poput analogno-digitalnog konvertora koji bi bio neophodan pri upotrebi analognih mikrofona. Mikrofoni ovakvog tipa zahtevaju, pored veza sa napajanjem i masom sistema, jedino ulazni signal takta frekvencije između 1 MHz i 3 MHz. Svaki od mikrofona povezan je preko četiri signala tj. signala takta, mase, napajanja i izlaznog signala podataka. Izlazi signala podataka grupe koju čine dva mikrofona multipleksirani su impulsno-širinskom modulacijom, PDM (*Pulse Density Modulation*). Na ovaj način mikrofoni iz iste grupe dele izlazni signal podataka i sinhronišu se na isti ulazni signal takta. Ovakva raspodela konekcija rezultuje smanjenjem fizičkog broja veza sa FPGA programabilnom logikom na polovinu od ukupnog broja implementiranih digitalnih MEMS mikrofona, u ovom slučaju 9. Digitalni MEMS mikrofoni, svaki ponaosob, asemblirani su na jednostavnu elektronsku štampanu ploču, označenu kao EB (*Extension Board*). EB ploča, pored MEMS mikrofona i pasivnih komponenti sadrži i prekidač, kojim se podešava na koju ivicu takta se vrši odabiranje podataka sa MEMS mikrofona iz mikrofonskog para koji su povezani na zajedničke linije. Svaka od ploča realizovana je na takav način da se lako može povezati sa flet kablom za ostvarivanje fizičke veze preko odgovarajućeg konektora. Ovakvom realizacijom omogućena je laka zamena akustičkih senzora u slučaju pojedinačnih otkaza, kao i jednostavne izmene u konfiguraciji senzorskog niza. Elektronska štampana ploča EB sa digitalnim MEMS mikrofonom prikazana je na slici 7 i na istoj slici može se videti kako je mehanički i električno povezan par mikrofona. Na slici 8 prikazano je na koji način su parovi mikrofona povezani na aluminijumski ram, koji čini rešetku. Na istoj slici prikazan je i par mikrofona sa sunderima za zaštitu od vetra.

Zvučni izvor je aktivni prenosni zvučnik *Marshall* zahtevanih karakteristika (nivo zvučnog pritiska veći od 100 dB na rastojanju od 1 m, frekventijski opseg 80 Hz – 8 kHz). Zvučnik je direktno povezan na audio izlaz platforme za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka. U bloku platforme za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka vrši se:

- prikupljanje više digitalnih akustičkih signala u PDM formatu,
- konverzija digitalnih akustičkih signala u zahtevani oblik (PDM signal u PCM signal zahtevane frekvencije odabiranja i bitske rezolucije),
- povezivanje sa GPS modulom,

- povezivanje sa modulom za prikupljanje meteoroloških parametara,
- skladištenje audio zapisa sa svih mikrofona na memorijskom modulu (SD kartica), kao i podataka sa GPS i meteoroloških modula.



Slika 7. Mikrofonski modul  
Izvor: (Autori)

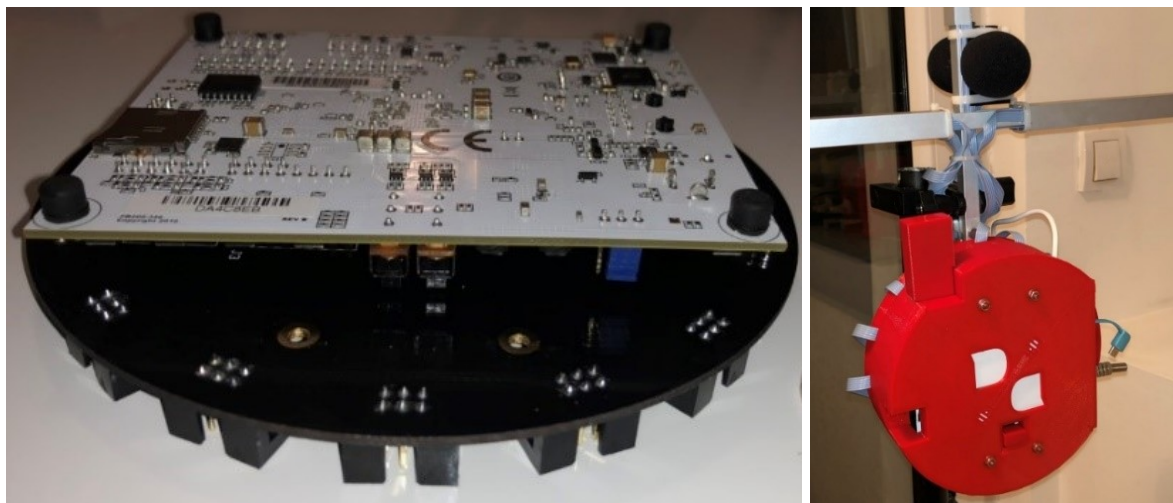


Slika 8. Mikrofonski moduli montirani na rešetku  
Izvor: (Autori)

S obzirom na to da optimalno rešenje problema akvizicije i obrade većeg broja akustičkih signala u realnom vremenu zahteva paralelno procesiranje signala svakog od senzora, za realizaciju je odabrana platforma bazirana na FPGA programabilnoj logici [16, 17, 18, 19, 20, 21]. Pored mogućnosti paralelne obrade velike količine podataka dodatne prednosti programabilne logike ogledaju se u povećanoj pouzdanosti, vremenu izvršenja i maloj potrošnji. Za realizaciju funkcionalnog prototipa iskorišćena je razvojna ploča *Digilent Arty Z7-10* [21], bazirana na AP SoC čipu *Xilinx Zynq-7000* [22], koji uključuje dvojezgrani ARM Cortex A-9 procesor (PS) i FPGA programabilnu logiku iz serije *Xilinx-7* (PL). Glavna prednost ove platforme ne ogleda se samo u ovim njenim pojedinačnim delovima (PS i PL), već i u mogućnosti njihovog zajedničkog funkcionisanja u okviru jednog sistema, uz brzu komunikaciju, ostvarenu pre svega njihovim povezivanjem preko AXI (*Advanced eXtensible Interface*) interfejsa. Akvizicija podataka i deo obrade vrše se u programabilnoj logici (PL), dok se skladištenje podataka vrši na jednom od procesora (PS). Razvojna *Digilent Arty Z7-10* odabrana je jer omogućava povezivanje velikog broja digitalnih I/O signala, kao i dodatnih modula preko Pmod konektora, sadrži interfejs za povezivanje sa mikro SD karticom, a pri tome se odlikuje optimizacijom potrošnje, cene i veličine.

Za povezivanje senzorskog bloka i platforme za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka projektovana je centralna štampana ploča, označena kao CB (*Central Board*), koja pored potrebnih pasivnih komponenata, sadrži konektor za povezivanje sa *Digilent Arty Z7-10* razvojnom pločom, sa jedne strane, i 16 odgovarajućih konektora za povezivanje sa EB pločama preko flet kablova zadatih dužina i sa odgovarajućim konektorima, sa druge strane. Od 16 konektora odabrano je 9 koji se najbolje uklapaju u mehaničku konstrukciju sistema. Na svaki flet kabl povezane su po 2 EB ploče.

Na slici 9 a) prikazana je CB ploča sa sa *Digilent Arty Z7-10* razvojnom pločom. Kućište za platformu za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka, koje je prikazano na istoj slici pod b) projektovano je u softverskom paketu AutoCAD i odštampano pomoću 3D štampača.



**Slika 9.** a) Platforma za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka povezana sa CB pločom  
b) Platforma sa kućištem, montirana na postolje mernog Sistema  
Izvor: (Autori)

GPS modulom se preko UART interfejsa prihvataju podaci u obliku informacija o trenutnom položaju mernog sistema (geografska širina i dužina, i nadmorska visina) i tačnom vremenu. Izabran je *Digilent Pmod GPS* [23] sa preciznošću geografskih koordinata od 3 m. Uređaj je moguće opremiti i meteorološkim modulima, čije podatke merenja je moguće uključiti u algoritam za proračun akustičkih karakteristika merenih zvučnih barijera (na primer, Pmod HYGRO za određivanje temperature i vlažnosti vazduha, kao i Pmod NAV za određivanje atmosferskog pritiska). U uređaju je obezbeđena podrška za ove module.

Za napajanje sistema izabrano je autonomno baterijsko napajanje dovoljno malih dimenzija i težine, u vidu eksterne baterije za punjenje mobilnih telefona sa USB mikro konektorom. Namenjeno je za napajanje samog mikrofonskog niza, kao i određenih modula koji se povezuju na platformu. Ovakvo napajanje obezbeđuje dovoljan broj uzastopnih sesija snimanja, pri čemu je moguće napuniti ili zameniti bateriju po potrebi. Mehanički stalci koji su korišćeni su standardni stalci sa navojem. Na jedan stalak montiran je zvučnik, dok su na drugi montirani platforma za akviziciju, generisanje, obradu i skladištenje podataka i aluminijumska rešetka. Aluminijumska rešetka je projektovna tako da su mikrofoni raspoređeni u konfiguraciji 3 x 3 prema zahtevima iz standarda EN 1793-5 i EN 1793-6.

Blok za obradu (post processing) i korisnički interfejs predstavlja PC računar sa posebno razvijenom aplikacijom u programskom paketu MATLAB, za obradu podataka sa SD kartice i korisničkim interfejsom za prikaz rezultata merenja.

### 3.2. Opis firmvera

FPGA sistemi najčešće se dizajniraju primenom jezika kao što je VHDL (*Very high-speed integrated circuit Hardware Description Language*). Za realizaciju dela sistema u FPGA komponenti (PL) korišćeno je softversko razvojno okruženje *Xilinx Vivado Design Suite*, koje, između ostalog, pruža mogućnost dizajniranja pojedinih delova sistema u vidu IP (*Intellectual Property*) blokova pomoću Vivado HLS softverskog paketa za projektovanje na osnovu algoritama pisanih u nekom od viših programskih jezika, kao što je C/C++. Za realizaciju PS dela sistema korišćeno je *Xilinx SDK* razvojno okruženje za aplikativni razvoj. Analizom zahteva sistema za konkretnu primenu određene su potrebne karakteristike izlaznih audio fajlova: frekvencija odabiranja 48 kHz sa rezolucijom od 24 bita.

U okviru PL dela sistema realizovana je akvizicija podataka sa mikrofona u PDM formatu i konverzija u PCM format. Za manipulisanje podacima koji se vode na blok u kome se vrši konverzija iz PDM formata u PCM format, kao i izlaznim podacima iz tog bloka, kreirani su IP blokovi PDM drajver i PCM drajver u Vivado HLS softverskom paketu. Blok PDM-u-PCM konvertor dobijen je kaskadnim povezivanjem postojećih filtarskih

blokova (*Xilinx* CIC Compiler v4.0 i FIR Compiler v7.2). S obzirom na to da performanse jednog ovakvog sistema (pre svega u smislu ispravne akvizicije podataka u realnom vremenu sa zadatog broja ulaznih signala) zavise od načina na koji se pristupa memoriji, veoma je važno da sistem bude strukturiran tako da se omogući što veći protok podataka uz korišćenje minimalne količine resursa. U ovoj realizaciji zadovoljavajući kvalitet postignut je korišćenjem DMA (*Direct Memory Access*) kontrolera.

Na digitalne MEMS mikrofone dovodi se signal takta frekvencije 3.072 MHz, kojom se vrši odabiranje PDM signala na izlazu iz mikrofona. Akvizicija se vrši paralelno sa svih kanala na uzlaznu/silaznu ivicu signala takta. Jednobitni PDM podaci šalju se na izlaz bloka u vidu dvobitne predstave u komplementu dvojke, prema zahtevu formata ulaza u naredni blok (CIC (*Cascaded Integrator Comb*) filter). Podaci se šalju u strimu, u TDM (*Time-Division Multiplexing*) formatu.

U okviru bloka PDM-u-PCM konvertor vrši se konverzija signala. Ulazni jednobitni PDM signal frekvencije odabiranja 3.072 MHz konvertuje se u 24-bitni 32 kHz PCM signal pa je faktor decimacije 96. Ova konverzija realizovana je u tri koraka: 1) decimacija korišćenjem CIC filtra; 2) filtriranje korišćenjem dva 2:1 HB (*Half Band*) filtra; 3) filtriranje FIR (*Finite Impulse Response*) filtrom propusnikom opsega. S obzirom na to da je sigma-delta modulator u MEMS mikrofona četvrtog reda, CIC decimator je petog reda, sa faktorom decimacije 24, dok su faktori decimacije HB filtera 2.

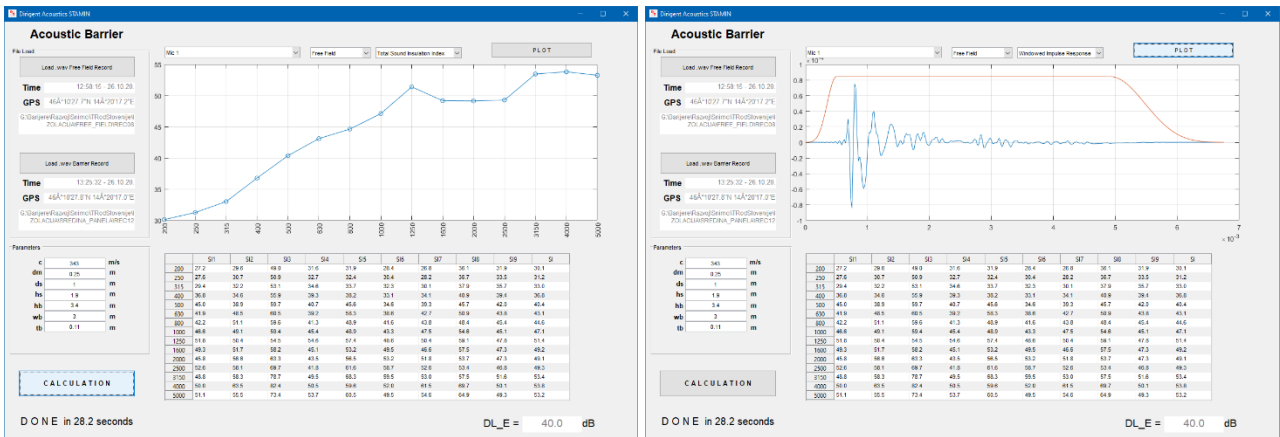
Razvojna ploča *Digilent Arty Z7-10* [21] poseduje mono audio izlaz na 3,5 mm audio konektoru. U IP bloku *Audio\_Stream\_PWM* od audio signala, koji se dovodi na ulaz ovog bloka iz PS dela, generiše se PWM signal, frekvencije 200 kHz, koji se preko Sallen-Key Butterworth-ovog niskopropusnog filtra 4. reda dovodi na audio konektor. Ovaj signal se dalje dovodi na zvučnik. PCM drajver blok realizovan je tako da prima 24-bitne PCM podatke sa više kanala u strimu i slaže ih u vremenski multipleks, kako bi se podaci skladištili na SD kartici u tom obliku.

Za realizaciju PS dela sistema korišćeno je *Xilinx* SDK razvojno okruženje za aplikativni razvoj. Ono je kompatibilno sa *Xilinx* Vivado Design Suite okruženjem iz kog je eksportovana konfiguracija dizajnirane hardverske platforme, kako bi na njoj mogao da se razvija softver. Softver je podeljen na dva dela. Jedan deo softvera bazira se na obradi prekida generisanih po skupljanju određene količine podataka u PCM drajveru. Ovi podaci se dalje smeštaju u bafer i skladište na SD karticu zajedno sa podacima sa GPS i potencijalno drugih modula u fajlovima određene veličine i formata. Na PC računaru, na kome se vrši obrada ovih podataka, napisan je poseban program u C programskom jeziku za izdvajanje pojedinačnih audio zapisa sa svakog od mikrofona, kao i podataka sa dodatnih modula. Drugi deo softvera služi za generisanje pobudnog signala. Pobudni signal je eksponencijalni *sine sweep* (*Exponential Sine Sweep – ESS*) signal u opsegu od  $f_1 = 20$  Hz do  $f_2 = 24$  kHz, trajanja  $T = 2$  s. Ovako generisani ESS signal ponavlja se 16 puta prilikom jednog snimanja, kako bi se urednjavanjem tokom obrade poboljšao odnos signal/šum.

### 3.3. Aplikacije za obradu podataka

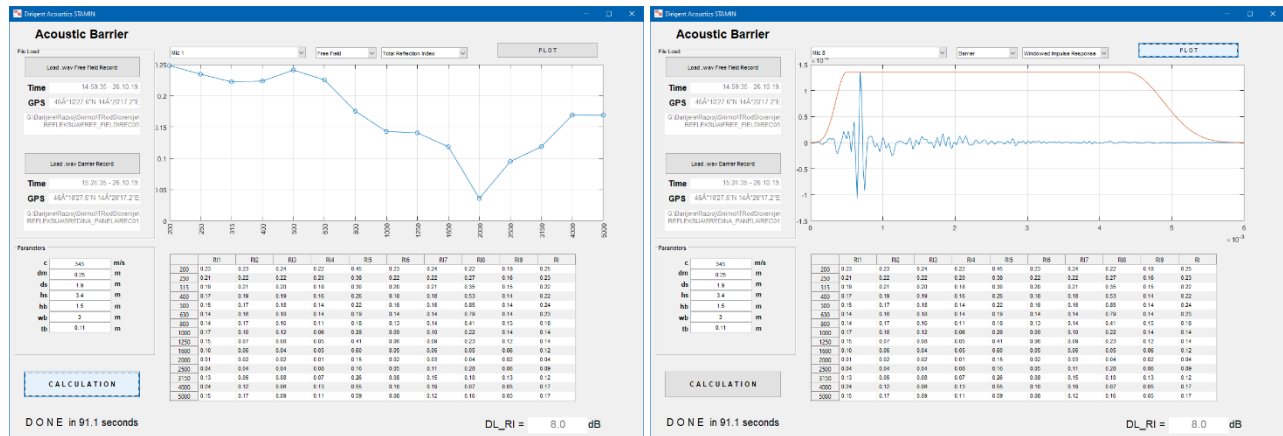
Aplikacije za obradu podataka sa korisničkim interfejsom za prikaz rezultata realizovana je u softverskom paketu MATLAB. Realizovane su dve aplikacije, za indeks SI i za indeks RI, bazirane na metodama proračuna iz standarda EN 1793-5 i EN 1793-6. Za obe aplikacije korisnik unosi putanju do binarnog fajla koji je rezultat merenja u slobodnom prostoru, kao i do binarnog fajla, koji je rezultat merenja u prisustvu barijere (preporuka je da se ovi fajlovi prekopiraju na PC računar sa SD kartice). Tokom učitavanja podataka najpre se pokreće posebno napisan program, za izdvajanje pojedinačnih audio zapisa sa svakog od mikrofona, kao i podataka sa dodatnih (GPS) modula. Zatim se podešavaju parametri postavke merenja (slike 3 i 4) i pokreće se proračun pritiskom na dugme.

Korisnički interfejs SI aplikacije sa rezultatima proračuna prikazan je na slici 10. Korisnički interfejs omogućava prikaz izgleda impulsnih odziva svakog od mikrofona u svakom merenju, indekse SI za svaki od mikrofona pojedinačno, kao i ukupan SI indeks. Na prvoj slici je prikazan rezultat merenja SI indeksa, dok je na drugoj slici prikazan izgled impulsnog odziva u slobodnom prostoru filtriran *Adrienne* vremenskim prozorom.



Slika 10. Korisnički interfejs SI aplikacije i rezultati jednog merenja  
Izvor: (Autori)

Korisnički interfejs RI aplikacije sa rezultatima proračuna prikazan je na slici 11. Na prvoj slici je prikazan rezultat merenja RI indeksa, dok je na drugoj slici prikazan izgled impulsnog odziva refleksije od barijere filtriran Adrienne vremenskim prozorom.



Slika 11. Korisnički interfejs RI aplikacije i rezultati jednog merenja  
Izvor: (Autori)

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen proces razvoja uređaja za merenje akustičkih karakteristika barijera za zaštitu od buke. Imajući u vidu da se broj i ukupna količina barijera u Srbiji, ali i svuda u svetu svakodnevno povećava, kao i potencijalne probleme koji se pojavljuju prilikom tehničkog prijema barijera, jasna je potreba tržišta za ovakvim mernim instrumentima. Uređaj koji razvijamo će doprineti brzini, kvalitetu i ukupnoj efikasnosti tehničkog prijema barijere za zaštitu od buke. Nakon otklanjanja svih potencijalnih problema i opsežnih testiranja i sertifikacije, prototip će ući u serijsku proizvodnju tokom 2024. godine. Već postoji interesovanje potencijalnih klijenata koji će ovaj meri instrument koristiti u svojim svakodnevnim poslovima.

#### Zahvale

Ovaj rad je finansiran od strane Fonda za inovacionu delatnost iz Prepristupnih fondova Evropske unije i budžeta Republike Srbije sa razdela Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u okviru Projekta br. 50499 – *Automated Sound Transmission and Absorption Measurements In-Situ* (aSTAMIN).

#### Literatura

- [1] World Health Organization (WHO). 1999. Guidelines for Community Noise.
- [2] World Health Organization (WHO). 2009. Night Noise Guidelines for Europe.
- [3] World Health Organization (WHO). 2011. Burden of Disease from Environmental Noise – Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe.



- [4] World Health Organization (WHO). 2011. Environmental Noise Guidelines for the Europe Region.
- [5] European Committee for Standardization. 2018. EN 1793-5:2018 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection under direct sound field conditions.
- [6] European Committee for Standardization. 2018. EN 1793-6:2018 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 6: Intrinsic characteristics - In situ values of airborne sound insulation under direct sound field conditions.
- [7] ADRIENNE Project Team. 1998. SMT Project MAT1-CT94049 Final Report.
- [8] European Committee for Standardization. 2003. CEN/TS 1793-5:2003 road traffic noise reducing devices – test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation.
- [9] QUIESST - QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport, FP7/2007-2012. (n.d.). (on-line) available at: <http://quiesst.ait.ac.at/> (08.03.2023.)
- [10] QUISTIM - QUIetness & Economics STimulate Infrastructure Management, CEDR Transnational Road Research Programme 2013 – 2014. (on-line) available at: from <http://www.questim.org/> (08.03.2023.)
- [11] European Committee for Standardization. 2017. EN 1793-1:2017 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption under diffuse sound field conditions.
- [12] European Committee for Standardization. 2018. EN 1793-2:2018 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation under diffuse sound field conditions.
- [13] European Committee for Standardization. 1997. EN 1793-3:1997 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum.
- [14] Von Pflug, P., Krischker, D. 2017. Aspects of the use of mems microphones in phased array systems . InterNoise, Proc.Conference: 5983–5993. Hong Kong.
- [15] InvenSense. 2013. ADMP621 datasheet — Wide Dynamic Range Microphone with PDM Digital Output, Technical Report DS-ADMP621-00. San Jose, CA, USA: InvenSense Inc.
- [16] Tomov, B. G., Jensen, J. A. 2001. A new architecture for a single-chip multichannel beamformer based on a standard FPGA. IEEE Ultrasonics Symposium, 2: 1529-1533. Atlanta, GA.
- [17] Zimmermann, B., & Studer, C. 2010. FPGA-based real-time acoustic camera prototype. Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). Paris, France.
- [18] da Silva, B., Segers, L., Braeken, A., Touhafi, A. 2016. Runtime Reconfigurable Beamforming Architecture for Real-Time Sound-Source Localization. 26th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications. Lausanne, Switzerland.
- [19] da Silva, B., Braeken, A., Touhafi, A. 2018. FPGA-Based Architectures for Acoustic Beamforming with Microphone Arrays: Trends, Challenges and Research Opportunities. Computers.
- [20] Salom, I., Čelebić, V., Milanović, M., Todorović, D., Prezelj, J. 2015. An implementation of beamforming algorithm on FPGA platform with digital microphone array. Audio Engineering Society 138th Convention. Warsaw, Poland.
- [21] Salom, I., Čelebić, V., Čatić, V., Novaković, J., Planić, B., Janić, V., Ralić, M., Todorović, D. (2019). Platform for Realization of Advanced Acoustic Camera. ETRAN 2019, Conf. Proc. Srebrno jezero, Serbia.
- [22] Diligent. Arty Z7 Reference Manual. (on-line) available at: <https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/arty-z7/reference-manual> (15.03.2023.)
- [23] Diligent. Pmod GPS Reference Manual. (on-line) available at: <https://reference.digilentinc.com/reference/pmod/pmodgps/reference-manual> (15.03.2023.)

# ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE I BAZA PODATAKA O PUTEVIMA

Snežana Radulović Jevremović, dipl.građ.inž.<sup>1</sup>

Nada Dragović, dipl.inž.šum.

Mimoza Jeličić, mast.geograf

**Rezime:** *Poslednjih godina svedoci smo intezivne izgradnje putnih pravaca kroz Srbiju. Na svim novoizgrađenim deonicama projektovane su mere zaštite i predviđeno je praćenje uticaja puteva na životnu sredinu. U cilju uspešnog sprovođenja mera i monitoringa nameće se potreba za konsolidovanjem velikog broja i vrste podataka. U okviru JP „Putevi Srbije“ postoji Odeljenje baze podataka koje se bavi poslovima upravljanja, prikupljanja, ažuriranja i analize podataka koji se odnose na puteve, saobraćaj, saobraćajnu signalizaciju i opremu, saobraćajne nezgode, objekte itd.*

*Rad ukazuje na potrebu nadogradnje postojeće baze sa podacima o primenjenim tehničkim merama zaštite životne sredine, zahtevima u pogledu redovnog održavanja i praćenje njihove efikasnosti kroz program monitoringa. Detaljno su predstavljeni svi elementi koje treba uneti u bazu kada su u pitanju tehničke mere zaštite: konstrukcije za zaštitu od buke, separatori za prečišćavanje otpadnih voda sa kolovoza, zaštitne žičane ograde koji su prilagođene određenim životinjskim vrstama i prolazi za životinje. Baza treba da sadrži i podatke o monitoringu za površinske vode, podzemne vode, vazduh, zemljište i nivo buke. U cilju unapređenja zaštite životne sredine, dati su i predlozi o upotrebi podataka koji su već uneti u postojeću bazu i njihovoj nadogradnji.*

**Ključne reči:** *Baze podataka, životna sredina, mere zaštite, monitoring.*

## ENVIRONMENTAL PROTECTION AND THE ROAD DATABASE

Snežana Radulović Jevremović, dipl.građ.inž.

Nada Dragović, dipl.inž.šum.

Mimoza Jeličić, mast.geograf

**Abstract:** *In recent years, we have witnessed the intensive construction of road routes through Serbia. Mitigation plans have been designed on all newly constructed sections and environmental monitoring is foreseen. In order to successfully implement mitigation and monitoring plans, there is a need to consolidate a large number and type of data. Within the PE "Roads of Serbia" there is a Database department responsible for the management, collection, updating and analysis of the data referring to roads, traffic, traffic signage and equipment, traffic accidents, structures, etc.*

*This paper points to the necessity of upgrading the existing database with data based on applied environmental protection measures, requirements regarding regular maintenance and monitoring of their effectiveness through a monitoring plan. All the elements of mitigation plans that should be included in the database are presented in detail: noise protection walls, oil separators used to treat waste water, wire fences that are adapted to certain animal species and wildlife crossings. The database should also contain monitoring data for surface water, groundwater, air, soil and noise level. In order to improve environmental protection, proposals were also made on the use of data already entered in the existing database and their upgrading.*

**Keywords:** *Databases, environment, mitigation plans, monitoring.*

---

<sup>1</sup>Institut za puteve a.d. Beograd, Bulevar Peka Dapčevića 45, [s.radulovicjevremovic@highway.rs](mailto:s.radulovicjevremovic@highway.rs)  
Highway Institute Belgrade, Blvd. Peka Dapčevića 45, [s.radulovicjevremovic@highway.rs](mailto:s.radulovicjevremovic@highway.rs)

## 1. UVOD

Već nekoliko decenija unazad, zaštita životne sredine prisutna je u putogradnji. Prve sveobuhvatne mere zaštite životne sredine zaživele su izgradnjom autoputeva prema Severnoj Makedoniji, Bugarskoj, obilaznice Beograda itd. Poslednjih godina svedoci smo intezivne izgradnje putnih pravaca kroz Srbiju. Na svim novoizgrađenim deonicama predviđene su mere zaštite kao i praćenje uticaja puteva na životnu sredinu. U cilju uspešnog sprovođenja mera i monitoringa nameće se potreba za konsolidovanjem velikog broja i vrste podataka vezanih za ovu problematiku. Radom smo nastojali da prikazemo naše viđenje načina sistematizacije podataka koje treba uneti u postojeći bazu podataka JP „Putevi Srbije“.

## 2. ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE KROZ PROJEKTNU DOKUMENTACIJU

Zakonskom regulativom iz nekoliko oblasti regulisana je zaštita životne sredine kroz sve nivoe projektne dokumentacije. Po izradi Idejnog rešenja i dobijenih Lokacijskih uslova, podnosi se Zahtev o obimu i sadržaju studije procene uticaja na životnu sredinu (za projekte sa Liste I Uredbe o utvrđivanju liste projekata za koje je obavezna procena uticaja i liste projekata za koje se može zahtevati procena uticaja na životnu sredinu) ili Zahteva o potrebi izrade studije procene uticaja na životnu sredinu (za projekte sa Liste II iste Uredbe), Ministarstvu zaštite životne sredine. Ministarstvo donosi rešenje o podnetom zahtevu i ukoliko je potrebno, pristupa se izradi Studije procene uticaja na životnu sredinu. Krajnji rezultat studije, uprošćeno rečeno, su mere zaštite životne sredine i plan praćenja stanja životne sredine (poglavlje 8 i 9 prema obimu i sadržaju studije procene uticaja na životnu sredinu). Ova poglavlja predstavljaju, između ostalog, osnovu za izradu Projekta za građevinsku dozvolu (PGD) i Projekta za izvođenje (PZI). Kroz sve nivoe projektne dokumentacije (IP, PGD, PZI, PIO), Projektom tehničkih mera zaštite životne sredine obrađuju se mere zaštite životne sredine. Neke od njih su sadržane i detaljno obrađene i u drugim projektima kao što je Projekat odvodnjavanja, Projekat saobraćajne signalizacije i opreme, Projekat uređenja putnog pojasa i drugi.

Po izvođenju objekta izrađuje se Projekat izvedenog stanja (PIO), kojim se prikazuju i sve eventualne promene u odnosu na projekat, nastale u toku izvođenja. Konkretno, promene mogu nastati, kada su mere zaštite životne sredine u pitanju, usled naknadne ekspropijacije objekta za koji je bila predviđena zaštita od uticaja buke i da ta konstrukcija za zaštitu nije izvedena ili su joj promenjeni gabariti. Iz tih razloga, jedini validni izvor podataka za formiranje baze podataka o novoizgrađenim objektima i primenjenim merama zaštite životne sredini su, upravo, Projekti izvedenog objekta.

Podizanjem svesti građana u domenu zaštite životne sredine, sve češće se na nivou lokalne samouprave podnose žalbe inspektorima zaštite životne sredine u cilju provere nivoa buke koja potiče od saobraćaja. Ukoliko se merenjem utvrdi da postoji prekoračenje zakonski definisanih graničnih vrednosti nivoa buke, JPPS u određenom roku pokreće izradu neophodne tehničke dokumentacije kako bi se sprovela odgovarajuća zaštita. Mere zaštite životne sredine proistekle na ovaj način, takođe moraju biti evidentirane u bazi.

## 3. BAZA PODATAKA JP „PUTEVI SRBIJE“

U okviru organizacione strukture JPPS-a postoji Sektor za upravljačko informativne sisteme. Ovaj Sektor, u skladu sa Zakonom o putevima, obavlja delatnosti: vođenja evidencije o državnim putevima, označavanja državnih puteva i saobraćajno-tehničkih podataka vezanih za puteve, kao i upravljanje saobraćajem, snimanje saobraćajnog opterećenja i brojanje vozila na državnom putu. U okviru ovog sektora Odeljenje baze podataka bavi se poslovima razvoja i upravljanja bazama podataka u skladu sa najnovijim tehnologijama i savremenom svetskom praksom.

GIS portal JP „Putevi Srbije“ predstavlja web aplikaciju koja omogućava centralizovani i sveobuhvatni uvid u podatke iz centralne geoprostorne baze JPPS putem vizualizacije sadržaja na jedinstvenoj interaktivnoj mapi, uz mogućnost primene različitih prostornih analiza, pretraga, preklapanja različitih tipova podataka, generisanja izveštaja itd. Kako se u centralnu bazu podataka smeštaju podaci iz specijalizovanih (nativnih) baza, na GIS portalu JPPS mogu se videti najvažniji podaci o: referentnom sistemu državnih puteva, brojanju saobraćaja, osovinskom opterećenju, oceni stanja putne mreže, putnim objektima, nestabilnim pojavama, pružnim prelazima, elementima ITS opreme, naplatnim stanicama, pratećim sadržajima javnog puta, biciklističkim stazama, saobraćajnim nezgodama, podaci iz različitih projekata i studija sprovedenih u okviru JPPS, teritorijama održavanja puteva, energetsom menadžmentu, evropskoj mreži puteva, registru prostornih jedinica, organizacionim jedinicama MUP-a, kao i ortofoto snimak Republike Srbije.

Centralna geoprostorna baza sadrži različite tipove prostornih podataka pri čemu se svaka klasa podataka opisuje setom određenih atributa. Za potrebe formiranja geoprostorne baze izvršeno je georeferenciranje objekata koji su prikazani u vidu tačaka, linija i poligona. Podaci su dobijeni iz različitih izvora kao npr. iz drugih specijalizovanih baza podataka, različitih alfa numeričkih baza, kao rezultat projekata i studija sprovedenih u okviru JPPS, prikupljanjem podataka na terenu korišćenjem GPS-a kao i drugih namenskih uređaja i senzora za beleženje različitih vrednosti i pokazatelja. Dinamika ažuriranja podataka razlikuje se u zavisnosti od tipa podataka, kod nekih se ažuriranje vrši periodično na određeni broj dana ili meseci, dok se kod drugih vrši u realnom vremenu putem direktnog slanja podataka sa mernog uređaja.

#### 4. PROŠIRIVANJE BAZE PODATAKA

Uključivanje podataka o merama zaštite i rezultata monitoringa životne sredine u centralnu geoprostornu bazu moguće je ostvariti dopunama postojećih specijalizovanih baza sa novim atributima, kao i formiranjem novih baza za one elemente koji do sada nisu uključeni.

##### 4.1 Mere zaštite životne sredine u bazi podataka

Kroz baze podataka moguće je predstaviti sledeće mere zaštite životne sredine: konstrukcije za zaštitu od buke, separatore za prečišćavanje otpadnih voda sa kolovoza, retenzije, prolaze za životinje i žičane ograde.

- **Prolazi za životinje**

Izgradnjom saobraćajnica dolazi do presecanja prirodnih staništa životinja, kako bi se izbegle neželjene posledice, potrebno je omogućiti kretanje životinja sa jedne na drugu stranu saobraćajnice. Prelazi su mogući iznad tunela, ispod mostova, kroz cevaste i pločaste propuste koji po svojim karakteristikama zadovoljavaju uslove date *Pravilnikom o specijalnim tehničko-tehnološkim rešenjima koja omogućavaju nesmetanu i sigurnu komunikaciju divljih životinja*. U svrhu obezbeđenja funkcionalnosti prolaza neophodno je redovnim održavanjem obezbediti njegovu prohodnost, proveravati stanje žičane ograde pre i posle prolaza i adekvatno održavati taj deo putnog pojasa sa žbunastim rastinjem koje ima funkciju navođenja životinja ka prolazu.

**Tabela 1. Zaštita faune - prolazi za životinje**

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
mostovi	<ul style="list-style-type: none"> <li>-deonica puta</li> <li>-stacionaža početka i kraja mosta</li> <li>-dužina mosta</li> <li>-vrsta prepreke (naziv vodotoka)</li> <li>-vrsta prolaza:</li> <li>1. prolaz za krupne divlje životinje</li> <li>2. prolaz za male divlje životinje</li> <li>3. prolaz za vodozemce i gmizavce</li> <li>-naziv lovišta</li> <li>-stanje prohodnosti / funkcionalnost prolaza</li> <li>-slika</li> </ul>	svaki most koji ima funkciju prolaza za životinje dopuniti sa navedenim atributima u zavisnosti od vrsta životinja kojima je namenjen
propusti	<ul style="list-style-type: none"> <li>-deonica puta</li> <li>-stacionaža propusta</li> <li>-vrsta propusta</li> <li>-dimenzije propusta</li> <li>-vrsta prolaza:</li> <li>2. prolaz za male divlje životinje</li> <li>3. prolaz za vodozemce i gmizavce</li> <li>--naziv lovišta</li> <li>-stanje prohodnosti / funkcionalnost prolaza</li> <li>-slika</li> </ul>	svaki propust koji ima funkciju prolaza za životinje dopuniti sa navedenim atributima u zavisnosti od vrsta životinja kojima je namenjen
tuneli	<ul style="list-style-type: none"> <li>-deonica puta</li> <li>-stacionaža početka i kraja tunela</li> <li>-dužina tunela</li> <li>-vrsta prolaza:</li> <li>1. prolaz za krupne divlje životinje</li> </ul>	prostor iznad tunela koji ima funkciju prolaza za životinje dopuniti sa navedenim atributima

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
	2. prolaz za male divlje životinje 3. prolaz za vodozemce i gmizavce -naziv lovišta	
žičane ograde	-deonica puta -leva/desna strana puta -koordinate početka i kraja modifikovane žičane ograde -tip modifikovane žičane ograde : 1. žičana ograda sa progušćenim okcima (farmemrska mreža) 2. žičana ograde sa zaštitom za amfibije 3. žičana ograda sa visinom većom od standardne (>1.4m) -slika	-pre i posle svakog mosta i propusta kao i iznad ulaznog i izlaznog portala tunela koji imaju funkciju prolaza za životinje postavlja se modifikovana žičana ograda -modifikovane žičane ograde postavljaju se i na lokacijama gde nema prolaza za životinje u cilju sprečavanja izlaska životinja na saobraćajnicu.
granice lovišta	-naziv lovišta -površina lovišta -naziv korisnika lovišta	
uređenje putnog pojasa	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža početka i kraja rastinja grupacije žbunja) -koordinate početka i kraja rastinja (grupacije žbunja) -dužina rastinja (grupacije žbunja) -biljna vrsta -stanje rastinja (grupacije žbunja) -slika	pre i posle propusta i mostova sade se žbunaste vrste u cilju navođenja životinja na prolaz ispod saobraćajnice

• **Konstrukcije za zaštitu od buke**

Baza konstrukcija za zaštitu od buke (zidova) pored osnovnih podataka neophodno je da sadrži i niz atributa koji su potrebni kako bi se omogućilo njihovo redovno održavanje i funkcionalnost. Informacije o vrsti, dimenzijama i boji talpi služe kako bi se po potrebi, usled oštećenja, one zamenile. Godina izgradnje konstrukcije za zaštitu od buke je od ključnog značaja jer se tokom vremena njena efikasnost umanjuje pa je u određenom trenutku potrebno izvršiti zamenu svih talpi. Takođe, u svrhu očuvanja akustičnih svojstava, potrebno je redovno čišćenje apsorpcionih talpi.

**Tabela 2. Zaštita stanovništva od buke - konstrukcije za zaštitu od buke**

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
konstrukcije (zidovi) za zaštitu od buke	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža početka i kraja konstrukcije -koordinate početka i kraja konstrukcije -konstrukcija po projektu / po žalbi -dužina zida -površina zida -vrsta talpi: apsorpcione, refleksione, transparentne -broj talpi po: vrsti, RAL bojama i dimenzijama -stanje konstrukcije (oštećenja) -godina izgradnje -godina zamene talpi -datum redovnog čišćenja -slika	-redovno čišćenje talpi obezbeđuje očuvanje akustičkih svojstava -posle određenog broja godina, u zavisnosti od specifikacije proizvođača, neophodna je zamena svih talpi usled gubitka akustičkih svojstava

zaštitne i odbojne ograde	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža početka i kraja odbojne ograde -vrsta odbojne ograde -stanje odbojne ograde	na lokacijama gde su postavljene konstrukcije za zaštitu od buke postavlja se odgovarajući tip odbojne ograde koja je usklađena sa pozicijom konstrukcije
---------------------------	---	---

• **Separatori i retenzije**

U cilju zaštite zemljišta, površinskih i podzemnih voda na brojnim deonicama projektovan je kontrolisan sistem odvodnjavanja, gde se voda sa kolovoza odvodi do separatora i prečišćava pre upuštanja u recipijent. Kako bi separatori efikasno obavljali svoju funkciju, neophodno je redovno održavanje (čišćenje). Takođe, treba obratiti pažnju na vanredna čišćenja koja treba sprovesti odmah nakon akcidenta, ukoliko je došlo do izlivanja opasnog tereta.

**Tabela 3. Zaštita zemljišta, površinskih i podzemnih voda - separatori**

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
separatori	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža separatora -koordinate separatora -tip separatora -datum redovnog čišćenja separatora -datum vanrednog čišćenja (akcident sa izlivanjem opasnog tereta) -naziv ovlašćenog operatera za čišćenje separatora	redovno i vanredno čišćenje separatora obezbeđuje funkcionalnost sistema

Drugi vid zaštite zemljišta, površinskih i podzemnih voda je kontrolisan sistem odvodnjavanja, gde se voda sa kolovoza odvodi do retenzija. U zavisnosti od količine padavina i inteziteta isparavanja voda se u retenziji zadržava duži ili kraći period.

**Tabela 4. Zaštita zemljišta, površinskih i podzemnih voda - retenzije**

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
retenzije	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža retenzije -datum čišćenja retenzije -naziv ovlašćenog operatera za čišćenje retenzije	redovno čišćenje retenzije obavlja se kada u njoj nema vode

**4.2. Praćenje stanja životne sredine u bazi podataka**

Zaključci analize uticaja na životnu sredinu, definišu potrebu da se prati i analizira stanje osnovnih nosioca životne sredine koji mogu biti izloženi negativnim uticajima usled izgradnje i eksploatacije saobraćajnice, i to pre početka radova na izgradnji posmatrane saobraćajnice (nulto stanje), u toku izvođenja radova i u toku eksploatacije.

Praćenje stanja životne sredine definisano je Planom praćenja stanja životne sredine ( Studija procene uticaja na životnu sredinu). Praćenje stanja životne sredine, neophodno je u svim životnim ciklusima saobraćajnice. Osnovni principi praćenja stanja životne sredine u putnom pojasu su: zaštita ekoloških potencijala, ekonomičnost, objektivnost, pravovremenost, ekološka odgovornost i sticanje novih saznanja.

Plan praćenja uticaja (Monitoring plan), definiše program praćenja za svaku komponentu životne sredine, parametre, način izvođenja monitoringa, položaj mesta za uzorkovanje i učestalost sprovođenja. Plan praćenja uticaja radi u skladu sa Uputstvom za praćenje stanja životne sredine u putnom pojasu na mreži državnih puteva Republike Srbije (JPPS, septembar 2014. god.).

U skladu sa Zakonom o zaštiti životne sredine, nosilac projekta je dužan da preko nadležnog organa, ovlašćene organizacije ili samostalno, ukoliko ispunjava uslove propisane zakonom, obavlja monitoring, odnosno da prati indikatore imisija, odnosno indikatore uticaja aktivnosti na životnu sredinu, indikatore kojima se proverava efikasnost primenjenih mera prevencije nastanka ili smanjenja nivoa zagađenja.

Obaveza Izvođača radova je da izradi Plan praćenja stanja životne sredine kojim su obuhvaćena merenja pre početka radova i u fazi izvođenja radova, da vodi redovnu evidenciju o monitoringu i da dostavlja izveštaje akreditovanih laboratorija o izvršenim ispitivanjima Naručiocu. Unošenjem ovih podataka u bazu formira se osnovni etalon sa kojim se mogu porediti rezultati praćenja parametara za svaku od komponenti životne sredine predviđenih za period eksploatacije.

Bazu podataka monitoringa životne sredine treba koncipirati za svaku od komponenti: buka, vazduh, zemljište, površinske i podzemne vode.

**Tabela 5. Baza podataka monitoringa životne sredine**

postojeća baza / nova baza	atributi	komentar
monitoring životne sredine	-deonica puta -leva/desna strana puta -stacionaža lokacije uzorkovanja/merenja -koordinate lokacije uzorkovanja/merenja -komponenta životne sredine koja se prati: buka, zemljište, vazduh, površinske i podzemne vode - svi datumi uzorkovanja/merenja (nulto merenje, izgradnja, eksploatacija) za sve komponente životne sredine - poreklo merenja: redovno po planu praćenja stanja životne sredine ili po žalbi građana -izveštaji akreditovanih laboratorija o izvršenim merenjima	-na osnovu sprovedenih analiza u okviru Studije o proceni uticaja na životnu sredinu definišu se parametri koji se moraju meriti za svaku od komponenata životne sredine gde se očekuje njeno narušavanje. -u izveštajima akreditovanih laboratorija navedeni su datumi i mesta uzorkovanja/merenja, kao i parametri koji su analizirani

## 5. ZAKLJUČAK

Kao zaključak postavicećemo nekoliko pitanja:

- Kako se održavaju primenjene tehničke mere zaštite životne sredine ako ih nemamo u evidenciji?
- Kaliko su efikasne primenjene mere zaštite ako ih ne održavamo i ne sprovodimo monitoring?

Učinili smo, u proteklom periodu, niz neophodnih koraka, najpre, životna sredina dobila je svoje mesto u projektnoj dokumentaciji, svest o potrebi zaštite životne sredine postala je deo projektantskih rešenja, realizovane su mnoge mere zaštite, sledeći korak je svakako adekvatno ažuriranje podataka o njima i njihovo adekvatno održavanje.

Ovaj rad napisan je sa idejom da ukaže na potrebu za sistematizacijom podataka vezanih za zaštitu životne sredine kako svi predhodni koraci u ovoj oblasti ne bi bili obesmišljeni kroz vreme kao i investiciona vrednost uložena za sprovođenje ovih mera.

Problem na koji smo naišli pri pisanju rada je nedostupnost podataka iz baze za korisnike izvan JPPS, što, sigurno, ima svoju opravdanost. Međutim, kada je životna sredina u pitanju, podsetićemo na Arhusku konvenciju, konvenciju Ekonomske komisije Ujedinjenih nacija za Evropu (UNECE) o dostupnosti informacija, učešću javnosti u donošenju odluka i pravu na pravnu zaštitu u pitanjima koja se tiču životne sredine. Usvojena je 25. juna 1998. u danskom gradu Arhus (Århus) na Četvrtoj ministarskoj konferenciji „Životna sredina za Evropu“, a stupila je na snagu davne 2001. godine.

Arhuska konvencija definiše niz prava pojedinaca i organizacija civilnog društva u vezi sa životnom sredinom. Strane potpisnice su dužne da zakonodavno obezbede da državni organi, na nacionalnom, regionalnom ili lokalnom nivou, doprinesu ostvarenju tih prava. Arhuska konvencija obezbeđuje dostupnost informacija o životnoj sredini – Pravo građana je da ima dostupnost informacijama o životnoj sredini koje se nalaze u posedu državnih organa. U tom smislu, podaci koji se budu prikupljali kroz programe praćenja životne sredine potrebno je sistematizovati kroz bazu podataka i osmisliti način da ti podaci budu dostupni javnosti.

## Literatura

[1] [Zvanični sajt JPPS](#)

[2] Uputstvo za praćenje stanja životne sredine u putnom pojasu na mreži državnih puteva Republike Srbije (JPPS, septembar 2014. god.).



# UTICAJ DRUMSKOG SAOBRAĆAJA AUTOPUTEM A4 NA IZLOŽENOST BUCI STANOVNIŠTVA U NASELJENOM MESTU

**Momir Praščević<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu*

**Darko Mihajlov**

*Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu*

**Aleksandar Gajicki**

*Saobraćajni institut CIP doo, Beograd*

**Rezime:** Autoput A4 je državni put prvog A reda u istočnom delu Srbije koji povezuje Niš i nišavski kraj sa Bugarskom i predstavlja istočni krak panevropskog koridora 10. Počinje na petlji Trupale u blizini Niša, gde je povezan sa autoputem A1, zatim prolazi kroz naselja grada Niša srednje gustine naseljenosti, pored Bele Palanke, Pirot i Dimitrovgrada i završava se na graničnom prelazu Gradina. U radu je analiziran uticaj drumskog saobraćaja deonicom autoputa A4 koji prolazi kroz naselja grada Niša (Donji Komren i Ratko Jović) na izloženost buci stanovništva koje živi u neposrednog okolini posmatrane deonice autoputa. Analiza izloženosti stanovništva buci je izvršena na osnovu proračuna i merenja indikatora buke drumskog saobraćaja. Proračun indikatora buke je izvršen primenom CNOSSOS-EU metode, dok su podaci o merenju rezultat dugotrajnog i kratkotrajnog monitoringa buke na dve merne tačke u gradskim naseljima neposredno pored autoputa A4.

**Ključne reči:** drumski saobraćaj, buka, karte buke, monitoring buke.

# THE EFFECT OF ROAD TRAFFIC ON THE A4 HIGHWAY ON THE NOISE EXPOSURE OF THE POPULATION IN THE SETTLEMENTS

**Momir Praščević<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, momir.prascevic@znrfak.ni.ac.rs*

**Darko Mihajlov**

*Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, darko.mihajlov@znrfak.ni.ac.rs*

**Aleksandar Gajicki**

*Saobraćajni institut CIP doo, Beograd, aleksandar@gajicki.com*

**Abstract:** The A4 highway is a state road in the eastern part of Serbia that connects Niš and the surrounding region with Bulgaria and is the eastern branch of the Pan-European Corridor 10. It starts at the Trupala interchange near Niš, where it is connected to the A1 highway, then passes through the settlements of the city of Niš with the middle population density, passes by Bela Palanka, Pirot and Dimitrovgrad and ends at the Gradina border crossing. The paper analyzes the impact of road traffic on the section of the A4 highway that passes through the settlements of the city of Niš (Donji Komren and Ratko Jović) on the noise exposure of the population living in the immediate vicinity of the observed section of the highway. The analysis of the population's exposure to noise was performed based on the calculation and measurement of road traffic noise indicators. The calculation of the noise indicator was performed using the CNOSSOS-EU method, while the measurement data are the result of long-term and short-term noise monitoring at two measuring points in urban settlements right next to the A4 highway.

**Keywords:** road traffic, noise, noise map, noise monitoring.

## 1. UVOD

Buka, kao jedan od osnovnih pokazatelja kvaliteta životne sredine, u današnje vreme postaje sve ozbiljniji problem društvenih zajednica većih gradova širom sveta. Povećanju nivoa buke u gradskim sredinama doprinose brojni faktori. Jedan od njih je svakako stalni rast broja gradskog stanovništva, što doprinosi povećanju obima i intenziteta saobraćaja. U mnogim slučajevima je prostor za dalje širenje grada ograničen bilo iz geografskih razloga, bilo da su najvažniji putni koridori postavljeni u neposrednoj blizini područja u kojima ljudi žive i rade. Tada se problem povećanja broja stanovništva rešava izgradnjom objekata veće spratnosti, što rezultuje povećanjem gustine naseljenosti, a time i obima i intenziteta saobraćaja. Dodatno opterećenje bukom u takvim sredinama svakako predstavlja i neminovnost postojanja i obavljanja aktivnosti javnog prevoza i brojnih komunalnih i transportnih službi koje su u funkciji održavanja.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: momir.prascevic@znrfak.ni.ac.rs

Bitna je činjenica da povećani nivo buke u urbanim sredinama predstavlja konstantan problem koji vremenom poprima sve veće razmere, budući da je u direktnoj vezi sa sve intenzivnijim saobraćajem i komunalnim aktivnostima koje prate savremeni način života. Većina evropskih gradova nastoji da smanji povećane nivoe buke na dopuštene vrednosti koje su propisane nacionalnim zakonima, pre svega u skladu sa svrhom i namenom prostora u kome ljudi borave. Preduzimanje određenih mera koje bi najefikasnije odgovorile postavljenom zadatku podrazumeva prethodno sproveden postupak definisanja stanja nivoa buke u životnoj sredini, analizu mogućnosti primene pojedinih mera i donošenje relevantne odluke.

Definisanje stanja nivoa buke na određenoj lokaciji predstavlja proces koji podrazumeva uočavanje dominantnih izvora buke i praćenje i/ili predviđanje relevantnih akustičkih veličina u određenom vremenskom periodu na datoj lokaciji. Evropska direktiva 2002/49/EC [1] propisuje korišćenje zajedničkih indikatora buke u svim zemljama članicama Evropske unije, kao relevantnih akustičkih veličina kojima se opisuje buka koju u životnoj sredini stvaraju različiti izvori buke na otvorenom prostoru i koje u određenoj meri štetno utiču na ljudsko zdravlje.

Direktivom 2002/49/EC, kao i zakonskim propisima Republike Srbije [2, 3] koji su proistekli iz nje, predviđena je upotreba godišnjih vrednosti indikatora buke za ocenu stanja nivoa buke:

1. Indikator buke za dan-veče-noć ( $L_{den}$ ) - indikator koji opisuje ukupno uznemiravanje bukom za vremenski period od 24 časa, tj. za period dan-veče-noć;
2. Indikator buke za dan ( $L_{day}$ ) - indikator koji opisuje uznemiravanje bukom u toku dana;
3. Indikator buke za veče ( $L_{evening}$ ) - indikator koji opisuje uznemiravanje bukom u toku večeri;
4. Indikator buke za noć ( $L_{night}$ ) - indikator koji opisuje ometanje sna u toku noći.

Indikatori buke  $L_{den}$  i  $L_{night}$ , a tamo gde je odgovarajuće i indikatori buke  $L_{day}$  i  $L_{evening}$ , npr. kada je potrebna posebna zaštita u periodu dana i večeri ili je značajna aktivnost izvora u tim periodima, koriste se za pripremu i reviziju strateških karata buke, odnosno karata buke koje se izrađuju za opštu procenu izloženosti buci određenog područja od različitih izvora buke, ili za ukupna predviđanja izloženosti buci na tom području od svih izvora buke. Minimalni zahtevi za strateške karte buke podrazumevaju da se izrada i revizija strateških karata vrši za indikatore buke za izradu i reviziju  $L_{den}$  i  $L_{night}$  [1], dok se ostali indikatori buke mogu koristiti prilikom akustičkog planiranja prostora i zoniranja u odnosu na buku.

Vrednosti indikatora buke se mogu određivati procenivanjem ili merenjem. Za procenjivanje (predviđanje) buke se koristi isključivo proračun. U tu srhu se od 2019. primenjuje zajedničkaka metoda za procenu buke u Evropi (**CNOSSOS-EU**) [1]. Određivanje vrednosti indikatora buke na osnovu merenja se vrši na osnovu međunarodnih standarda ISO 1996-1 i ISO 1996-2 koji su u Republici Srbiji usvojeni kao SRPS standardi [4,5].

Aktuelni pristup određivanju vrednosti indikatora buke merenjem na osnovu pomenutih međunarodnih standarda podrazumeva dve merne strategije za određivanje godišnjih vrednosti indikatora buke na datoj lokaciji. Prva strategija predstavlja dugotrajno kontinuirano merenje (long-term measurement) ekvivalentnog nivoa buke tokom dovoljno dugog perioda koji bi obuhvatio sve promene u radu izvora buke, kao i sve promene meteoroloških uslova. Za određivanje godišnje vrednosti indikatora buke na datoj lokaciji se uzima sa aspekta buke neki bitan deo kalendarske godine, obično jedan mesec, tri meseca, šest meseci, ili u krajnjem slučaju period od jedne kalendarske godine. Druga strategija predstavlja seriju kratkotrajnih merenja (short-term measurement) ekvivalentnog nivoa buke koja se vrše pod određenim (specifičnim, karakterističnim) radnim režimom izvora buke i meteorološkim uslovima. Utvrđivanje godišnje vrednosti indikatora buke se u tom slučaju vrši primenom relevantne metode predviđanja. Izbor vremenskog intervala kratkotrajnog merenja, kao i broja kratkotrajnih merenja u okviru vremenskog intervala posmatranja od jedne kalendarske godine su od presudnog značaja za utvrđivanje godišnje vrednosti indikatora buke na datoj lokaciji. Izbor vremenskog intervala kratkotrajnih merenja je aktuelna tema brojnih radova [6, 7], kada se u zavisnosti od broja uticajnih faktora i njihovog doprinosa rezultatima merenja istraživači opredeljuju za različite vremenske intervale.

U radu je analiziran uticaj drumskog saobraćaja deonicom autoputa A4 koji prolazi kroz naselja grada Niša (Donji Komren i Ratko Jović) na izloženost buci stanovništva koje živi u neposrednoj okolini posmatrane deonice autoputa. Autoput A4 je državni put prvog A reda u istočnom delu Srbije koji povezuje Niš i nišavski kraj sa Bugarskom i predstavlja istočni krak panevropskog koridora 10. Počinje na petlji Trupale u blizini Niša, gde je povezan sa autoputem A1, zatim prolazi kroz naselja grada Niša srednje gustine naseljenosti, pored Bele Palanke, Pirota i Dimitrovgrada i završava se na graničnom prelazu Gradina. Analiza izloženosti stanovništva buci je izvršena na osnovu proračuna i merenja indikatora buke drumskog saobraćaja. Proračun indikatora buke je izvršen primenom CNOSSOS-EU metode, dok su podaci o merenju rezultat dugotrajnog i kratkotrajnog monitoringa buke na dve merne tačke u gradskim naseljima neposredno pored autoputa A4.

## 2. REZULTATI ODREĐIVANJA INDIKATORA BUKE MERENJEM

### 2.1. Dugotrajna kontinuirana merenja

Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu je u periodu od avgusta 2021. do jula 2022. (godinu dana) sprovela dugotrajni koninuirani monitoring buke na dve merne pozicije u okviru realizacije Programa praćenja stanja komunalne buke na teritoriji grada Niša za 2021/2022, kojim je predviđen dugotrajni monitoring buke. Za monitoring buke je korišćen Sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini (Environmental Noise Management System - ENMS) danskog proizvođača Brüel&Kjær, namenjen za potrebe dugotrajnog monitoringa buke u životnoj sredini. Osnovne elemente Sistema čine upravljački softver tipa 7843 i dva terminala za monitoring buke (Noise Monitoring Terminal - NMT) tipa 3639-B-203. Opis sistema koji je zasnovan na merilu nivoa zvuka, tip 2250 prikazan je u radu [8]. Jedan od terminala za monitoring buke je bio lociran neposredno pored autoputa A4 (sl. 1). Terminal je bio montiran na terasi stambenog objekta P+1 sa visinom mikrofona na 4 m (sl. 2).



**Slika 1.** Lokacija terminala za monitoring buke pored autoputa A4 (MT 01)  
*Izvor: (Google Earth Pro)*



**Slika 2.** Lokacija terminala za monitoring buke na stambenom objektu (MT 01)  
*Izvor: (Godišnji izveštaj [9])*

Kao dominantan izvor buke na posmatranoj lokaciji je evidentiran drumski saobraćaj autoputem A4. Takođe je evidentiran i uticaj drumskog saobraćaja paralelnim gradskim saobraćajnicama - Jadranskom ulicom (iznad autoputa) i bulevarom Nikola Tesla (ispod autoputa)

Na posmatranoj lokaciji je vršeno uzorkovanje ekvivalentnih kontinualnih nivoa zvučnog pritiska sa dinamikom uzorkovanja 0.5 s, prema kojima su proračunate vrednosti ekvivalentnog kontinualnog nivoa zvučnog pritiska u trajanju od 15 min i jednog časa. Na osnovu tih vrednosti su određene dnevne, mesečne i godišnje vrednosti indikatora buke, kao i indikatori buke u toku radnih dana, u toku vikenda i u toku cele nedelje koje su prikazane u Godišnjem izveštaju [9]. U tabeli 1 su prikazane godišnje vrednosti indikatora buke, kao i srednje vrednosti indikatora buke i standardna devijacija za različite periode određivanja indikatora buke. Tabela 2 prikazuje podatke o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju – PGDS u 2021. na saobraćajnoj deonici petlja Niš sever – petlja Niš istok, pored koje je bio lociran terminal za monitoring buke. Na sl. 3 – sl. 6 su prikazane promene indikatora buke za različite periode u kojima su određivani.

**Tabela 1.** Vrednosti indikatora buke na lokaciji terminala za monitoring buke pored autoputa A4 (MT 01)

Period		$L_{day}$ [dB]	$L_{evening}$ [dB]	$L_{night}$ [dB]	$L_{den}$ [dB]
<b>Godinu dana</b>	<b>Ukupna vrednost</b>	<b>69.5</b>	<b>67.7</b>	<b>64.0</b>	<b>72.0</b>
Mesec dana	Srednja vrednost	69.5	67.7	64.0	72.0
	Standardna devijacija	0.31	0.49	0.63	0.42
Nedelja	Srednja vrednost	69.5	67.7	63.9	72.0
	Standardna devijacija	0.86	0.60	0.79	0.60
Radni dani	Srednja vrednost	69.7	67.8	63.9	72.0
	Standardna devijacija	0.51	0.61	0.81	0.63
Vikend	Srednja vrednost	68.7	67.8	64.0	71.9
	Standardna devijacija	0.66	0.62	0.80	0.65

Izvor: (Godišnji izveštaj [9])

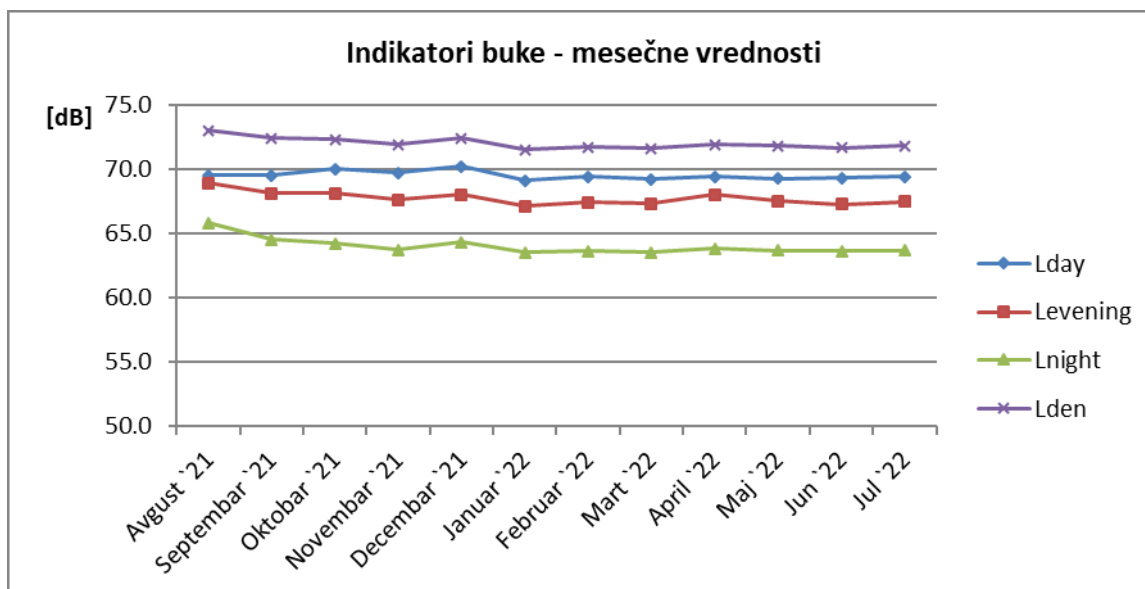
**Tabela 2.** PGDS u 2021. za deonicu petlja Niš sever – petlja Niš istok

PA	BUS	LT	ST	TT	AV	Ukupno
7879	302	313	400	187	1609	10690

Legenda:

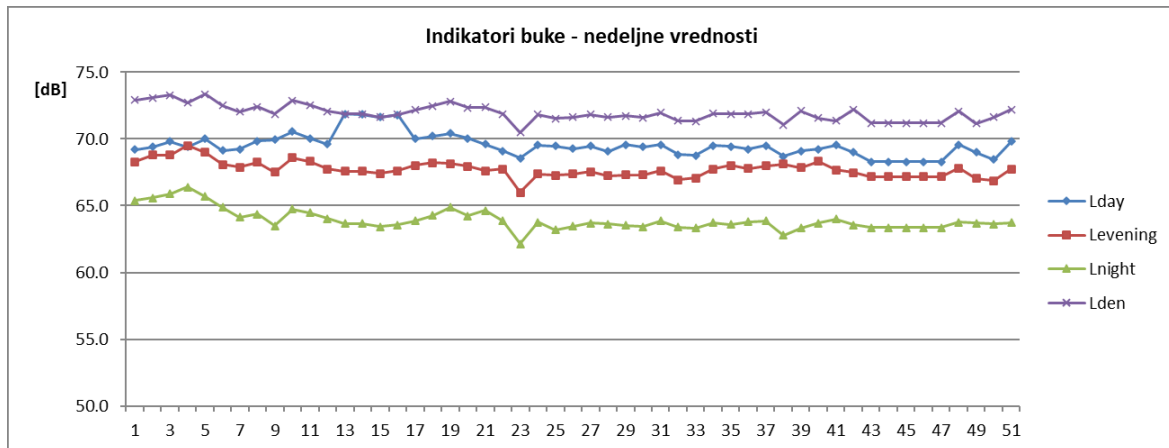
PA – putnički automobil  
 BUS – autobus  
 LT, ST, TT – lako, srednje i teško teretno vozilo  
 AV – autovoz i teretno vozilo sa prikolicom

Izvor: (<https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobraćaja>)

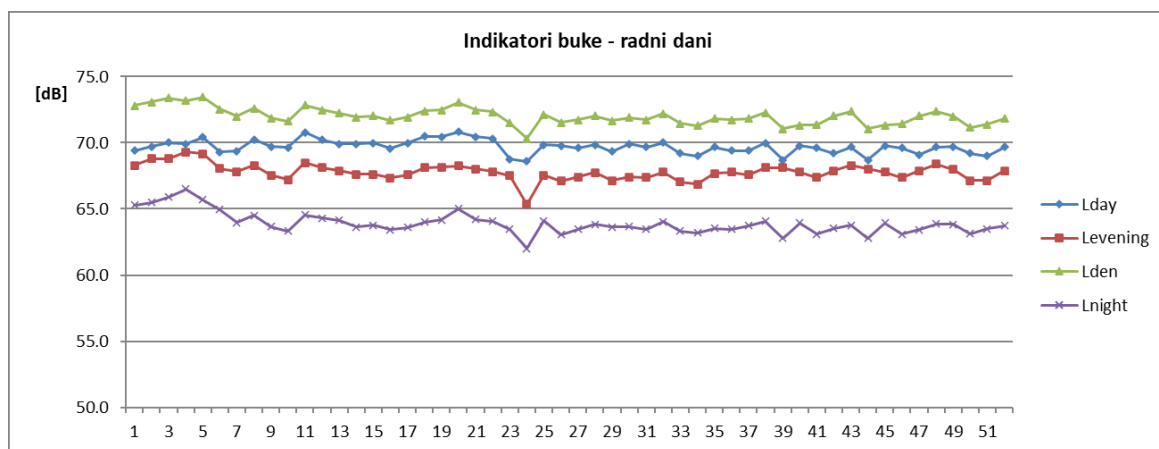


**Slika 3.** Mesečne vrednosti indikatora buke za MT 01

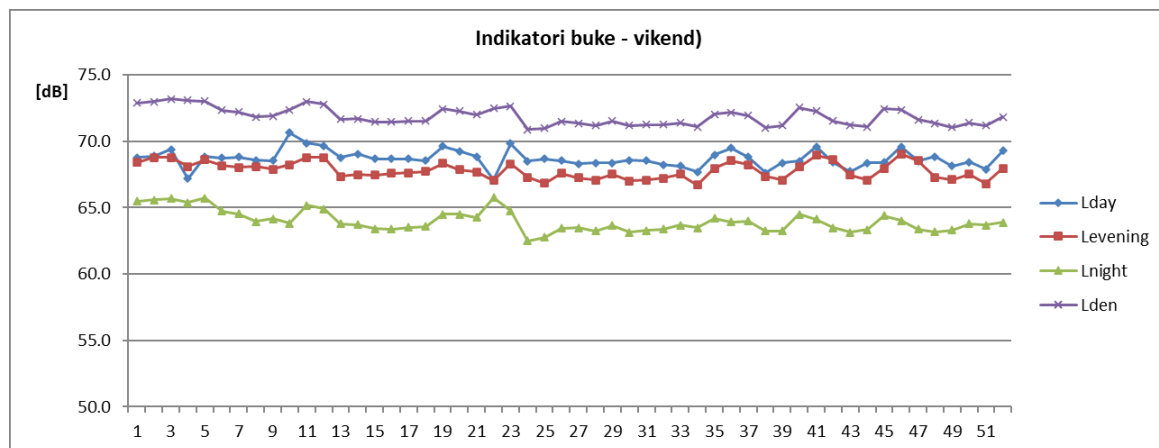
Izvor: (Godišnji izveštaj [9])



**Slika 4.** Nedeljne (sedmodnevne) vrednosti indikatora buke  
Izvor: (Godišnji izveštaj [9])



**Slika 5.** Petodnevne (radni dani) vrednosti indikatora buke  
Izvor: (Godišnji izveštaj [9])



**Slika 6.** Vrednosti indikatora buke za vikende  
Izvor: (Godišnji izveštaj [9])

## 2.2. Kratkotrajna povremena merenja

Za potrebe realizacije Programa monitoringa stanja nivoa buke na teritoriji grada Niša za 2013, 2014. i 2016, Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu je realizovala monitoring nivoa buke na 8 mernih lokaliteta koji pokrivaju sve gradske opštine. U svakom tromesečju svakog narednog meseca menjana je merna tačka u okviru mernih lokaliteta, tako da je u svakom tromesečju izvršeno merenje parametara buke na ukupno 24 merne tačke u pet vremenskih intervala: 09:00 – 12:00, 13:00 – 16:00, 16:00 – 22:00, 22:00 – 01:00 i 02:00 – 05:00. U okviru definisanih vremenskih intervala vršena su petnaestominutna merenja

uz brojanje saobraćaja. Dobijeni merni rezultati u četiri tromesečja su statistički obrađeni i izračunate su srednje vrednosti parametara saobraćajnice i parametara buke za svaki vremenski interval posebno. Na osnovu tako dobijenih vrednosti određene su vrednosti indikatora buke.

Jedna od mernih tačaka (MT 02) je bila locirana neposredno pored saobraćajne deonice autoputa A4 u blizini pešačkog mosta, 300 m severoistočno u odnosu na lokaciju terminala za monitoring buke (sl. 2).

U tabeli 3. su prikazane srednje vrednosti ekvivalentnog kontinualnog nivoa zvučnog pritiska na godišnjem nivou za utvrđene vremenske intervale. Tabela 4. prikazuje vrednosti indikatora buke koji su procenjene na osnovu vrednosti iz tabele 3. Tabela 5. prikazuje PGDS za deonicu petlja Niš sever – petlja Niš istok za 2013, 2015 i 2016.

**Tabela 3.** Srednje vrednosti ekvivalentnog kontinualnog nivoa zvučnog pritiska na godišnjem nivou za MT 02,  $L_{Aeq}$  [dB]

Godina	9:00-12:00	13:00-16:00	18:00-22:00	22:00-01:00	02:00-05:00
2013	66.7	66.5	66.3	60.4	58.3
2015	67	68.5	67	63.3	59.1
2016	68	69	67	63	61

Izvor: (Godišnji izveštaj [10,11,12])

**Tabela 4.** Procenjene godišnje vrednosti indikatora buke za MT 02

Godina	$L_{day}$ [dB]	$L_{evening}$ [dB]	$L_{night}$ [dB]	$L_{den}$ [dB]
2013	67	66	59	68.6
2015	68	67	62	70.4
2016	69	67	62	70.4

Izvor: (Godišnji izveštaj [9])

**Tabela 5.** PGDS u 2013, 2015. i 2016. za deonicu petlja Niš sever – petlja Niš istok

Godina	PA	BUS	LT	ST	TT	AV	Ukupno
2013	3456	130	74	69	49	838	4616
2015	5600	170	110	140	75	930	7025
2016	6235	169	121	147	75	995	7742

Legenda:

PA – putnički automobil

BUS – autobus

LT, ST, TT – lako, srednje i teško teretno vozilo

AV – autovoz i teretno vozilo sa prikolicom

Izvor: (<https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobraćaja>)

### 3. REZULTATI ODREĐIVANJA INDIKATORA BUKE PRORAČUNOM

#### 3.1. Obuhvat proračuna

Kako bi se izvršilo upoređivanje rezultata merenja dugotrajnog monitoringa i kratkotrajnih povremenih merenja na delu područja grada Niša urađena je karta buke na osnovu podataka korišćenih za izradu strateških karata buke za aglomeraciju Niš (#EU za tebe, projekat br. 14SER01/03/131) [13]. Položaj područja za koji je izrađena karta buke u odnosu na grad prikazan je na sl. 1. Karta buke je obuhvatila područje dimenzija 1.21 km × 0.77 km, ukupne površine oko 0.93 km<sup>2</sup>. Da bi se obuhvatili svi relevantni izvori buke, proračun je uključio i bufer zonu širine 100 metara.

Akustički model je obuhvatio 190 izvora buke (cele i/ili delovi saobraćajnice na kojima se odvija saobraćaj), 2257 objekata (zgrada), 673 topografska elementa (izohipse i/ili linije terena) i 45 oblasti sa različitim karakteristikama terena sa aspekta apsorpcije zvuka (CORINE Land Cover). Na posmatranom području živi oko 4500 stanovnika u 1600 stambenih jedinica. Usvojeno je da za potrebe akustičkih proračuna apsorpcija fasada zgrada iznosi 1 dB.

#### 3.2 Karta buke

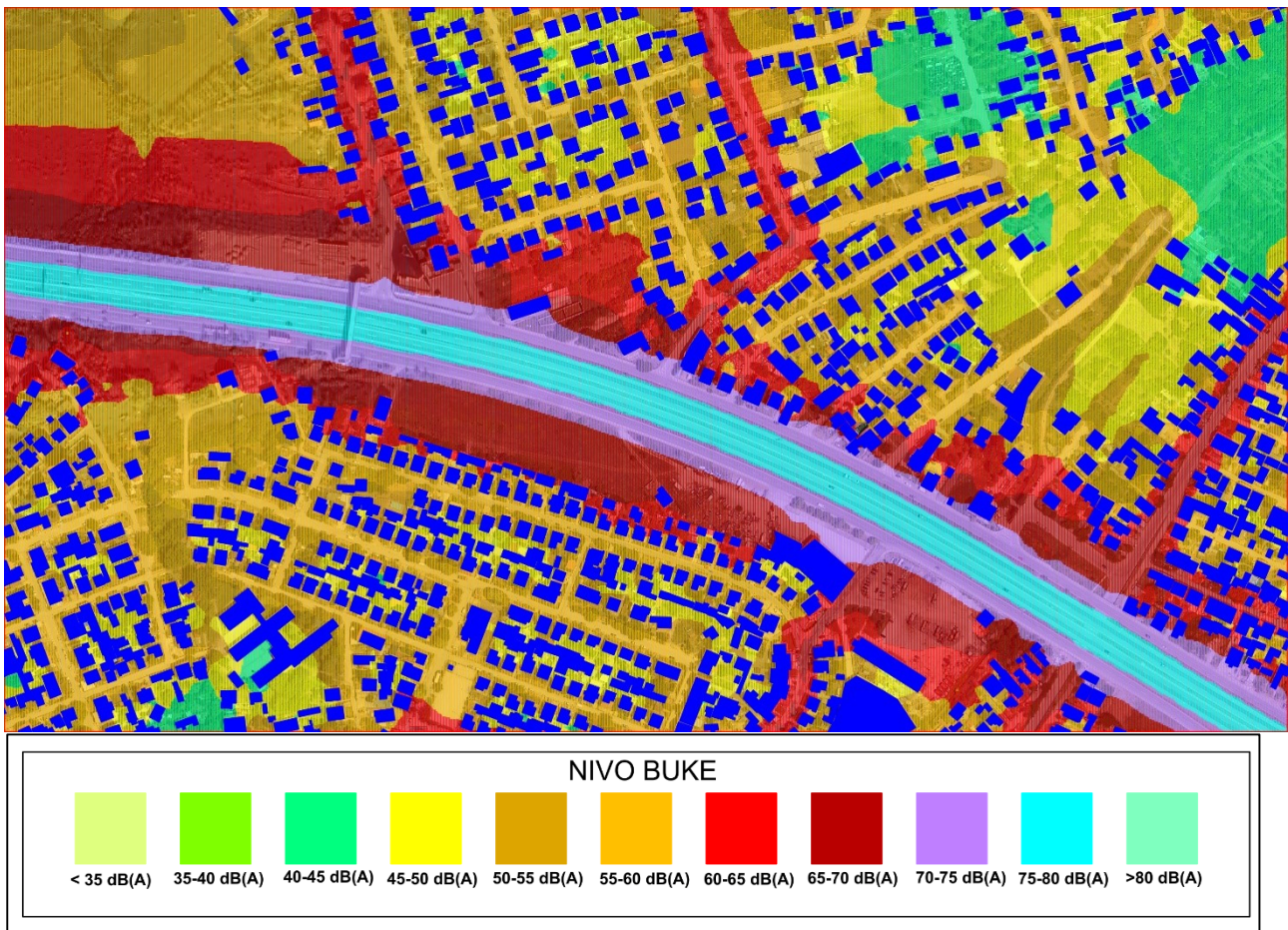
Proračun indikatora buke i njihovo grafičko predstavljanje u obliku karata buke urađeno je pomoću softverskog paketa Predictor-LimA (V2023) korišćenjem metode CNOSSOS-EU [1]. Proračun je izvršen na mreži tačaka dimenzija 10×10 m i visini od 4 m, uz korišćenje prvog stepena refleksije. Dinamička greška prilikom proračuna iznosila je 0 dB.

Za autoput A4 su korišćeni podaci o PGDS iz 2021. (Tabela 2). Podela na merodavne časove na osnovu ekspertske procene, u skladu sa zahtevima metode CNOSSOS-EU [1], izvršena je na sledeći način:

- merodavni čas u toku perioda dana (6.00-18.00) iznosi 8% od ukupnog PGDS,
- merodavni čas u toku perioda večeri (18.00-22.00) iznosi 6% od ukupnog PGDS, i
- merodavni čas u toku perioda noći (22.00-6.00) iznosi 2% od ukupnog PGDS.

Obim saobraćaja na paralelnom putu i ostaloj uličnoj mreži obuhvaćenoj proračunom nije bio poznat. Za paralelni put je usvojeno da on iznosi oko 50 % saobraćaja realizovanog na paralelnoj deonici autoputa A4, dok su za ostatak ulične mreže uzeti podaci iz 2019. koji su korišćeni za izradu strateških karata buke za aglomeraciju Niš [13]. Brzine su usvojene na osnovu projektovane saobraćajne signalizacije, odnosno ograničenja brzine u zavisnosti od kategorije saobraćajnica i njihovog položaja. Karte buke za period dan, večer i noć prikazane su na sl. 7 – sl. 9. Legenda sa tumačenjem prikazanih nivoa buke data na sl. 7, važi i za sl. 8 i 9.

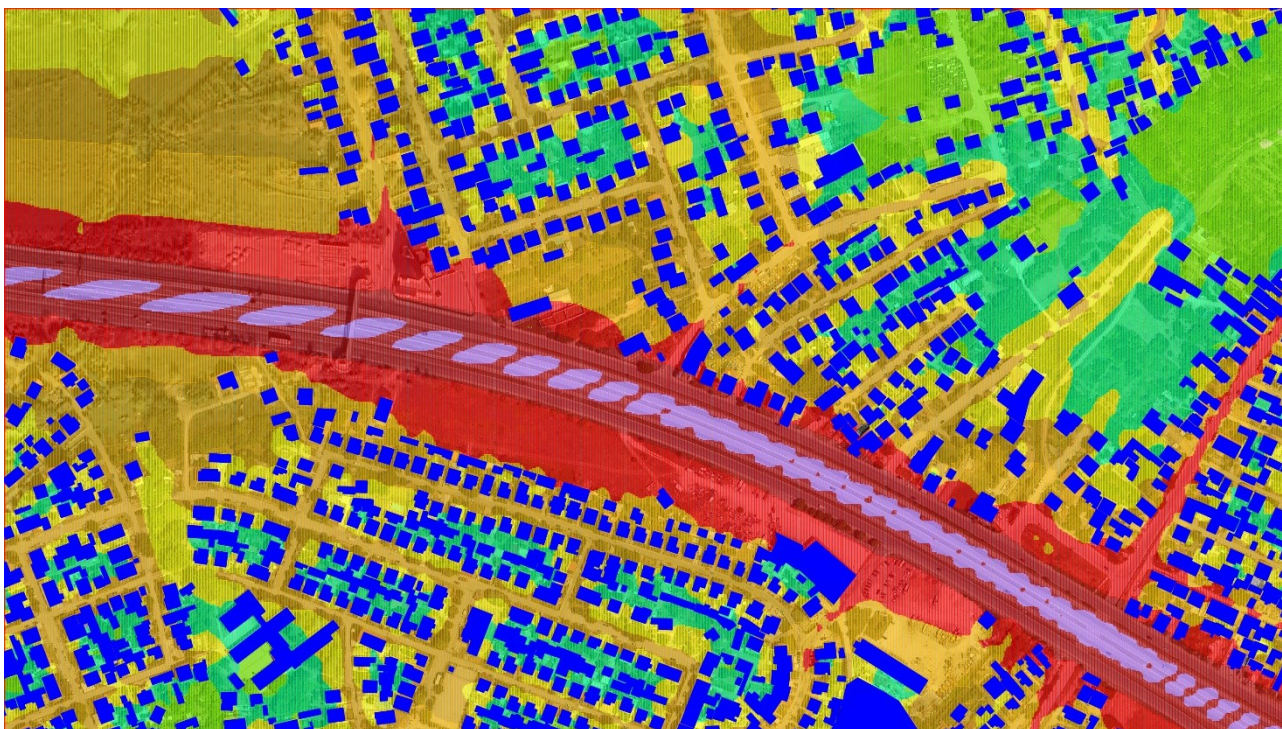
Za potrebe uporedne analize izmernih vrednosti indikatora buke na mernim tačkama MT 01 i MT 02 je na istim lokacijama i visinama izvršen proračun vrednosti indikatora buke primenom podataka koji su korišćeni prilikom izrade strateške karte buke za aglomeraciju grada Niša i primenom podataka koji su korišćeni prilikom izrade karte buke za deonicu autoputa A4. Svi elementi akustičkog modela su u velikoj meri odgovarali uslovima na terenu prilikom merenja, osim veličine saobraćajnog toka, njegovog sastava i brzine. Dominantni izvor buke u oba slučaja je drumski saobraćaj koji se odvija na autoputu A4. Za poređenje sa proračunatim vrednostima indikatora buke uzete su izmerene vrednosti indikatora buke na godišnjem nivou za MT 01, dok su za MT 02 uzete izmerene vrednosti indikatora buke u toku 2016. kada je obim saobraćaja bio najveći. Izračunate vrednosti indikatora buke na MT 01 i MT 02, kao i razlike između izmerenih i izračunatih vrednosti indikatora buke prikazane su u tabeli 7 za slučaj korišćenja podataka iz strateške karte buke i u tabeli 8 za slučaj korišćenja podataka iz karte buke deonice autoputa A4. Proračunate vrednosti za MT 02 su poređene i sa korigovanim vrednostima indikatora buke u skladu sa porastom PGDS-a u periodu od 2016. do 2021. Koeficijent korekcije zbog porasta PGDS-a iznosi 1.4 dB.



**Slika 7** Karta buke za period dana, odnosno za indikator buke  $L_{day}$



**Slika 8** Karta buke za period večeri, odnosno za indikator buke  $L_{\text{evening}}$



**Slika 9** Karta buke za period noći, odnosno za indikator buke  $L_{\text{night}}$

**Tabela 6.** Poređenje proračunatih (na osnovu podataka korišćenih za izradu strateških karata buke za aglomeraciju Niš) i izmerenih vrednosti indikatora buke za MT 01 i MT 02

Merna tačka	Proračunate vrednosti indikatora buke				Razlika proračutih i izmerenih vrednosti			
	$L_{\text{day}}$ [dB]	$L_{\text{evening}}$ [dB]	$L_{\text{night}}$ [dB]	$L_{\text{den}}$ [dB]	$\Delta L_{\text{day}}$ [dB]	$\Delta L_{\text{evening}}$ [dB]	$\Delta L_{\text{night}}$ [dB]	$\Delta L_{\text{den}}$ [dB]
MT 01	70.5	69.4	64.6	73.0	1.0	1.7	0.6	1.0
MT 02 (bez korekcije)	70.1	68.9	64.3	72.3	1.1	1.9	2.3	1.9
MT 02 (sa korekcijom)					-0.3	0.5	0.9	0.5



**Tabela 7.** Poređenje proračunatih (na osnovu podataka korišćenih za izradu karte buke za područje autoputa A4) i izmerenih vrednosti indikatora buke za MT 01 i MT 02

Merna tačka	Proračunate vrednosti indikatora buke				Razlika proračutih i izmerenih vrednosti			
	L <sub>day</sub> [dB]	L <sub>evening</sub> [dB]	L <sub>night</sub> [dB]	L <sub>den</sub> [dB]	ΔL <sub>day</sub> [dB]	ΔL <sub>evening</sub> [dB]	ΔL <sub>night</sub> [dB]	ΔL <sub>den</sub> [dB]
MT 01	70.1	68.8	64.1	72.5	0.6	1.1	0.1	0.5
MT 02 (bez korekcije)	69.6	68.1	63.6	71.9	0.6	1.1	1.6	1.5
MT 02 (sa korekcijom)					-0.8	-0.3	0.2	0.1

Da bi se utvrdio značaj puteva koji su paralelni posmatranoj deonici autoputa A4, urađen je proračun indikatora buke za MT 01 i MT 02 bez uticaja paralelnih puteva. Dobijeni rezultati proračuna su dati u tabeli 8.

**Tabela 8.** Poređenje proračunatih vrednosti indikatora buke (na osnovu podataka korišćenih za izradu karte buke za područje autoputa A4) za MT 01 i MT 02 za slučaj doprinosa paralelnih puteva i slučaj bez paralelnih puteva

Merna tačka	Proračunate vrednosti indikatora buke sa paralelnim putevima				Razlika proračutih i izmerenih vrednosti bez paralelnih puteva			
	L <sub>day</sub> [dB]	L <sub>evening</sub> [dB]	L <sub>night</sub> [dB]	L <sub>den</sub> [dB]	L <sub>day</sub> [dB]	L <sub>evening</sub> [dB]	L <sub>night</sub> [dB]	L <sub>den</sub> [dB]
MT 01	70.1	68.8	64.1	72.5	69.7	68.5	63.7	72.1
MT 02	69.6	68.1	63.6	71.9	69.0	67.7	63.0	71.4

#### 4. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Poređenje proračunatih i izmerenih vrednosti indikatora buke za MT 01 pokazuje dobro slaganje vrednosti indikatora buke proračunatih na osnovu podataka korišćenih za izradu karte buke za područje autoputa A4 sa izmerenim godišnjim vrednostima indikatora buke dugotrajnim monitoringom s obzirom na to da je najveće odstupanje dobijeno za period večeri u iznosu od 1.1 dB. Poređenje proračunatih i izmerenih vrednosti indikatora buke za MT 02 pokazuje, takođe, dobro slaganje vrednosti indikatora buke proračunatih na osnovu podataka korišćenih za izradu karte buke za područje autoputa A4 sa godišnjim vrednostima indikatora buke procenjenim na osnovu rezultata kratkotrajnog monitoringa buke koji su korigovani u skladu sa porastom PGDS-a u periodu od 2016. do 2021. Nešto veća odstupanja, iako još uvek u prihvatljivim granicama  $\pm 2$  dB, se dobijaju kada se koriste vrednosti indikatora proračunate na osnovu podataka korišćenih za izradu strtateških karata buke, što je i očekivano s obzirom na manje vrednosti PGDS za godinu koja je uzeta kao proračunska za izradu strateških karata buke.

Razlike između rezultata proračuna i izmerenih vrednosti indikatora buke mogu da potiču od razlike u obimu saobraćaja, razlike u sastavu saobraćajnog toka i razlike u brzini kretanja saobraćajnog toka koje su korišćene pri proračunu i koje su postojale u toku sprovođenja procedura merenja.

Paralelni putevi izračunate ukupne vrednosti indikatora buke povećavaju na lokacijama mernih tačaka od 0.4 do 0,6 dB u zavisnosti od perioda dana, što potvrđuje činjenicu da je na ovom području dominantni izvor buke drumski saobraćaj koji se odvija na deonici autoputa A4.

Dobro slaganje proračunatih i izmerenih vrednosti kratkotrajnim monitoringom ukazuje da se strategija kratkotrajnog monitoringa može uspešno koristiti na deonicama pored saobraćajnica sa relativno velikim obimom saobraćaja i sa malim promenama u karakteristikama saobraćaja u toku različitih perioda dana. Pri tome posebnu pažnju treba posvetiti izboru relevantnih vremenskih intervala za kratkotrajni monitoring koji najbolje odgovaraju merodavnim časovima u toku dana, večeri i noći.

Akustičkim zoniranjem teritorije grada Niša [14] je bafer zona u širini od 25 m oko ose autoputa A4 definisana kao zona 5 (zona duž autoputeva), sa graničnim vrednostima 65 dB (dan i veče) i 55 dB (noć), dok je najveći deo prostora obuhvaćen prilikom izrade karte buke za deonicu autoputa A4 definisan kao zona 3 (čisto stambena područja), sa graničnim vrednostima 55 dB (dan i veče) i 45 dB (noć). Vizuelnom analizom karata buke (sl. 7, 8 i 9) se uočava da se veliki broj stambenih objekata nalazi u zonama gde su prekoračene granične vrednosti, što ukazuje na značajan uticaj deonice autoputa A4 na okolno stanovništvo i potrebu da se preduzimanjem mera akustičke zaštite (barijere i sl.) izloženost stanovništva prekomernim nivoima buke smanji na najmanju moguću meru.

## Zahvala

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije na finansijskoj podršci ovog istraživanja kroz realizaciju Ugovora br. 451-03-47/2023-01/ 200148.

## Literatura

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council relating to the assessment and management of environmental noise (2002), Official Journal of the European Communities, L 189, 45. (on-line) the last consolidated version available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0049-20210729&qid=1679654590378&from=EN>
- [2] Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini (2021), Službeni glasnik Republike Srbije, br. 96/2021 (on-line) raspoloživo na: [https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_od\\_buke\\_u\\_zivotnoj\\_sredini.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_od_buke_u_zivotnoj_sredini.html)
- [3] Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini (2010), Službeni glasnik Republike Srbije, br. 75/2010, (on-line) raspoloživo na: <https://www.paragraf.rs/propisi/uredba-indikatorima-buke-granicnim-vrednostima-metodama-ocenjivanje-indikatora-buke.html>
- [4] SRPS ISO 1996-1 (2010), Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 1: Osnovne veličine i procedure ocenjivanja, Institut za standardizaciju Srbije
- [5] SRPS ISO 1996-2 (2010), Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 2: Određivanje nivoa buke u životnoj sredini, Institut za standardizaciju Srbije
- [6] Abbaspour, M., Golmohammadi, R., Nassiri, P., Mahjub H. 2006. An investigation on time-interval optimisation of traffic noise measurement, Research note, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 25(4): 267–273.
- [7] Mihajlov, D. 2016. *Višekriterijumska optimizacija izbora merne strategije za procenu dugotrajne vrednosti indikatora buke u životnoj sredini*. Fakultet zaštite na radu u Nišu, doktorska disertacija. 196p
- [8] Prascevic, M., Mihajlov, D. (2017). Kontinuirana dugotrajna merenja buke drumskog saobraćaja u gradovima. Put i životna sredina. 271-282
- [9] Godišnji izveštaj o rezultatima merenja (2022). Fakultet zaštite na radu u Nišu, Laboratorija za buku i vibracije. 25 p
- [10] Godišnji izveštaj o rezultatima merenja (2013). Fakultet zaštite na radu u Nišu, Laboratorija za buku i vibracije. 64 p
- [11] Godišnji izveštaj o rezultatima merenja (2015). Fakultet zaštite na radu u Nišu, Laboratorija za buku i vibracije. 64 p
- [12] Godišnji izveštaj o rezultatima merenja (2016). Fakultet zaštite na radu u Nišu, Laboratorija za buku i vibracije. 60 p
- [13] AECOM (2019), Starteške karte buke za grad Niš, (on-line) raspoloživo na: [http://www.sepa.gov.rs/download/buka/Analiza\\_stanja\\_iz\\_podataka\\_strateskih\\_karata\\_Nis.pdf](http://www.sepa.gov.rs/download/buka/Analiza_stanja_iz_podataka_strateskih_karata_Nis.pdf)
- [14] Odluka o određivanju akustičkih zona na teritoriji grada Niša ("Sl. list grada Niša", br. 54/2015 i 32/2017) (on line) raspoloživo na: [http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2018\\_07/t07\\_0361.htm](http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2018_07/t07_0361.htm)

## UTICAJ IMPLEMENTACIJE RAMP METERINGA I PROMENLJIVOG OGRANIČENJA BRZINE NA EMISIJU ŠTETNIH GASOVA

**Marijo Vidas**

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [m.vidas@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vidas@sf.bg.ac.rs)

**Vladan Tubić<sup>1</sup>**

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

**Aleksandra Kostić-Ljubisavljević**

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [a.kostic@sf.bg.ac.rs](mailto:a.kostic@sf.bg.ac.rs)

**Nemanja Stepanović**

Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [n.stepanovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.stepanovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Ocena kvaliteta vazduha u gradskim sredinama je od velike važnosti kako za organe vlasti tako i za svakog pojedinca. Istraživanja pokazuju da je u toku zimskih meseci kvalitet vazduha u Beogradu i ostalim gradovima u najvećem broju dana srednje zagađen – osetljivim grupama ne preporučuje se boravak na otvorenom. Kako drumski saobraćaj predstavlja dominantan izvor zagađivača npr. sagorevanjem jednog litra goriva u atmosferu se oslobađa oko 2,33 kg CO<sub>2</sub>, postavlja se pitanje redukcije emisije štetnih gasova. Postojeći vozni park i dalje u najvećem procentu čine vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, što za posledicu ima potrebu traženja rešenja u primeni savremenih sistema upravljanja saobraćajem – ramp metering i promenljivo ograničenje brzine. Njihov primarni cilj je poboljšanje efikasnosti saobraćajnog toka, ali postoji potreba sagledavanja njihovog uticaja i na emisiju štetnih gasova. U ovom radu će biti prikazani rezultati simulacije uticaja ovih upravljačkih mera na optimizaciju emisije CO<sub>2</sub>. Efekti su kvantifikovani za različiti veličine saobraćajnih zahteva, dužinu trajanja crvenog signala i ograničenja brzine. Sprovedene analize je neophodno uključiti u proces donošenja odluke o implementaciji ovih mera u lokalnim uslovima u Srbiji. Identifikovana je korelacija između veličine saobraćajnih tokova i upravljačkih elemenata (dužina crvenog svetla i odabrano ograničenje brzine) sa jedne strane i smanjenja/povećanja emisije CO<sub>2</sub> sa druge strane.

**Ključne reči:** ramp metering, ograničenje brzine, protok, emisija štetnih gasova, ugljen dioksid.

## THE IMPLEMENTATION EFFECTS OF RAMP METERING AND VARIABLE SPEED LIMITS ON THE GREENHOUSE EMISSIONS

**Marijo Vidas**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering

**Vladan Tubić**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering

**Aleksandra Kostić-Ljubisavljević**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering

**Nemanja Stepanović**

University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering

**Abstract:** Assessment of air quality in urban areas is of great importance both for authorities and for each individual. Research shows that during the winter months the air quality in Belgrade and other cities is moderately polluted on most days - it is not recommended for sensitive groups to stay outdoors. As road traffic is a dominant source of pollutants, e.g. by burning one liter of gasoline, about 2.33 kg of CO<sub>2</sub> is released into the atmosphere, the question of reducing the greenhouse emissions arises. The existing vehicle fleet is still mostly consisting of vehicles with internal combustion engines, which results in the need to search for solutions in the application of modern traffic management systems - ramp metering and variable speed limits. Their primary goal is to improve the efficiency of the traffic flow, but there is a need to test their impact on the greenhouse emissions. This paper will present the results of the simulation of the impact of these management measures on the optimization of CO<sub>2</sub> emissions. The effects are quantified for different sizes of traffic demands, duration of red lights and speed limits. It is necessary to include the conducted analyzes in the decision making process on the implementation of these measures in local conditions in Serbia. A correlation was identified between the size of traffic flows and control elements (length of red light and selected speed limit) on the one hand and reduction/increase of CO<sub>2</sub> emissions on the other hand.

**Keywords:** ramp metering, speed limit, traffic flow, greenhouse emissions, carbon dioxide.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Ocena kvaliteta vazduha u gradskim sredinama je od velike važnosti kako za organe vlasti tako i za svakog pojedinca. Svakodnevni izveštaji o kvalitetu vazduha dostupni za sve gradove u Republici Srbiji pokazuju zabrinjavajuće stanje i povećan nivo zagađujućih materija u vazduhu. Beograd se po kvalitetu vazduha u toku zimskih meseci nalazio na vrhu liste najzagađenijih gradova na svetu, dok je u najvećem broju dana srednje zagađen. Takva situacija donosi pripadnicima osetljivih grupa – prevashodno deci, preporuku o ograničavanju boravka na otvorenom, odnosno direktno utiče na kvalitet života.

Kao značajan izvor zagađenja identifikovan je drumski saobraćaj. Usled povećanja populacije i širenja gradova beleži se konstantan rast u broju vozila koja se svakodnevno nalaze na putevima i ulicama, što kao posledicu ima prekomernu emisiju štetnih izduvnih gasova, koja ima uticaja na klimatske promene, ali i zdravlje ljudi. Ukupni transportni rad u Evropi se povećao za 25% u periodu između 1995. i 2008. godine, sa tendencijama daljeg rasta [1]. Prethodno navedeno doprinosi porastu potražnje za naftnim derivatima, gde je zabeleženo povećanje od 26% od 1990. godine samo na nivou zemalja EU [2]. Sagorevanjem goriva u atmosferu se oslobađaju velike količine ugljovodonika (HC), ugljen monoksida (CO), azotnih oksida (NO) i ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>). Upravo ugljen dioksid (u daljem tekstu CO<sub>2</sub>) predstavlja glavni uzročnik klimatskih promena – efekta staklene bašte a sagorevanjem jednog litra goriva u atmosferu se oslobađa oko 2,33 kg CO<sub>2</sub> [3].

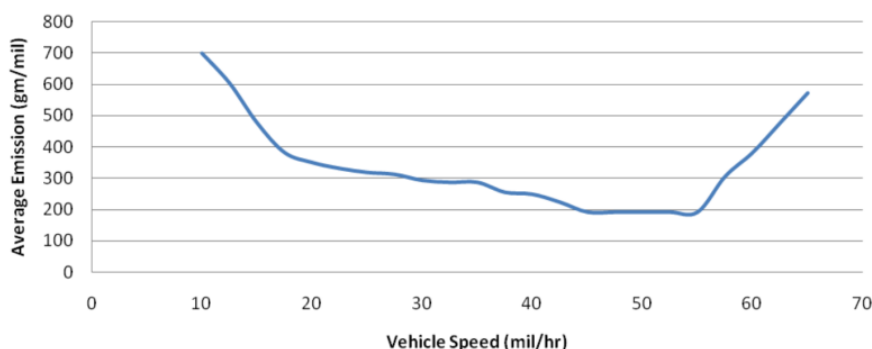
Postojeći vozni park i dalje u najvećem procentu čine vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, što za posledicu ima potrebu traženja rešenja u primeni savremenih sistema upravljanja saobraćajem – ramp metering i promenljivo ograničenje brzine. Ustanovljena je visoka korelacija između emisije gasova staklene bašte i brzine vozila, kao i njihovog ubrzanja [4,5]. Takođe, stopa emisije je usko povezana sa tipom vozila, teretna vozila emituju 4 puta više štetnih izduvnih gasova nego putnički automobil [6-8], ta razlika se povećava u uslovima stani-kreni. Na osnovu toga može se pretpostaviti da će u slučaju da se sva vozila kreću prosečnom srednjom brzinom, bez čestog kočenja i ubrzanja, doći do smanjenja emisije štetnih izduvnih gasova. To se može postići primenom različitih savremenih sistema upravljanja saobraćajem kao što je adaptivni ramp metering.

U ovom radu biće prikazan kritički osvrt na rezultate simulacije primene adaptivnog ramp meteringa i promenljivih ograničenja brzine na smanjenje emisije gasova staklene bašte sa fokusom na CO<sub>2</sub>.

## 2. PRIMENJENA METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Radi sprovođenja pomenute simulacije Wang et al. su u prvom koraku prikupili podatke o emisiji štetnih izduvnih gasova različitih klasa vozila, a u drugom koraku podatke o realnom saobraćajnom toku; klase vozila i struktura saobraćajnog toka, eksploatacione brzine, vreme putovanja [9].

Podaci o emisiji CO<sub>2</sub> dobijeni su na osnovu podataka proizvođača vozila [6-8]. U cilju uprošćavanja mikroskopskog modela vozila su podeljena u 6 kategorija: automobili, SUV, Hibridna vozila, laka teretna vozila, autobusi i teška teretna vozila. Prikupljeni podaci o emisiji za svaku kategoriju vozila skalirani su u zavisnosti od eksploatacione brzine [10]. Na Slici 1. prikazana je dijagram zavisnosti emisije i brzine za putnički automobil, dok i ostale kategorije imaju sličnu zavisnost. Sa povećanjem brzine preko 88 km/h (55 mph) dolazi do naglog rasta emisije CO<sub>2</sub>.



**Slika 1.** Emisija CO<sub>2</sub> putničkog automobile u zavisnosti od eksploatacione brzine  
Source: Wang, F. (2009)

Na povećanje emisije CO<sub>2</sub> veliki uticaj imaju velike frekvencije promene brzine koje se mogu očekivati na gradskim koridorima. Panis et al. je razvio model zavisnosti emisije CO<sub>2</sub> u zavisnosti od ubrzanja koji je implementiran u prikazanu mikrosimulaciju [11].

U cilju razvijanja mikroskopskog saobraćajnog modela potrebno je snimiti realne podatke o saobraćajnom toku. Podaci su prikupljeni na autoputu I-710 u Los Angeles-u i to ispred ulivne rampe, na ulivnoj rampi, na izlivnoj rampi i posle izlivne rampe. Na osnovu tih podataka korišćenjem PARAMICS softvera modelovan je jedna smer deonice osmotračnog autoputa dužine 2,41 km sa ulivnom i izlivnom rampom.

## 2.1. Model emisije CO<sub>2</sub>

Ukupna emisija CO<sub>2</sub> proračunata je korišćenjem sledeće formule [9]:

$$Ukupna\ emisija = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^6 N_j \times Y_j \right) [g]$$

$i$  – odsek autoputa dužine 100 m

$j$  – kategorija vozila

$N_j$  – broj vozila  $j$ -te kategorije

$Y_j$  – emisija  $j$ -te kategorije vozila

Emisija po kategorijama vozila proačunata je preko sledeće formule [9]:

$$Y_j = Max[A_1 + A_2V(t) + A_3V(t)^2 + A_4a(t) + A_5a(t)^2 + A_6a(t)V(t)]$$

gde je:

$V(t)$  – brzina vozila u trenutku  $t$

$a(t)$  – ubrzanje vozila u trenutku  $t$

$A_1 - A_6$  – konstante koje zavise od kategorije vozila

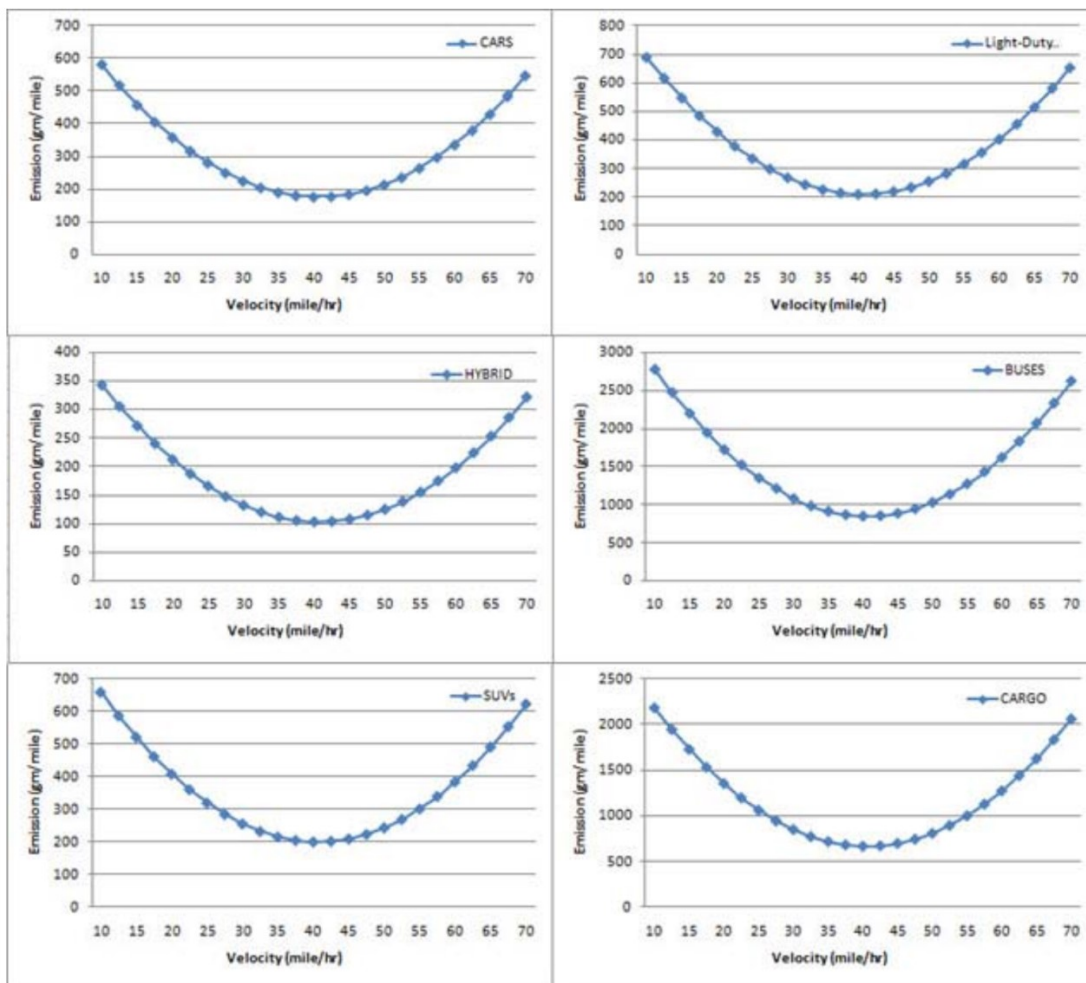
Na Slici 2 prikazana je zavisnost emisije od brzine (ubrzanje je jednako 0).

## 3. REZULTATI SIMULACIJE EMISIJE CO<sub>2</sub>

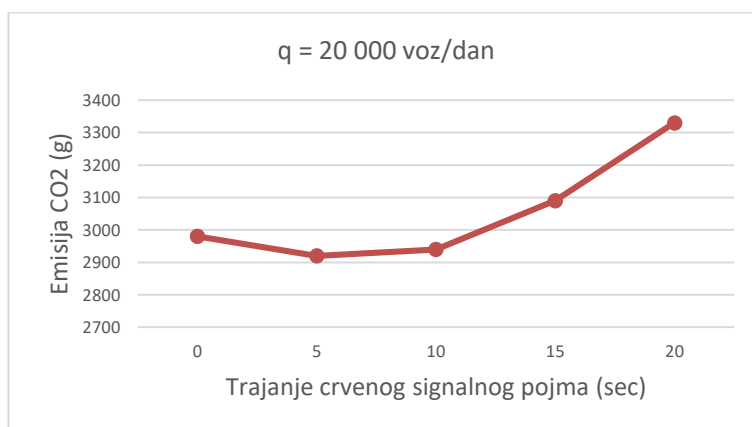
U daljem tekstu biće prikazani rezultati mikrosimulacije uticaja ramp meteringa i kombinacije ramp metering i promenljivog ograničenja brzine na emisiju CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Ramp metering

U cilju ispitivanja uticaja dužine crvenog signalnog pojma na emisiju vozila na glavnom pravcu u prvom koraku simulirana je veličina saobraćajnog toka na glavnom pravcu od 20 000 voz/h, dok su na ulivnoj i izlivnoj rampi saobraćajni zahtevi generisani na osnovu podataka o realnom saobraćajnom toku. Brzina je postavljena na 105 km/h (65 mph). Varirano je vreme trajanja crvenog signalnog pojma od 0 sec do 20 sec, trajanje zelenog signalnog pojma je postavljeno na 5 sec. Na osnovu proračuna emisije CO<sub>2</sub> dobijena je zavisnost između nje i trajanja crvenog signalnog pojma na ramp meteringu (Slika 3.).



**Slika 2.** Zavisnost emisije i brzine po modelu  
 Source: Wang, F. (2009)

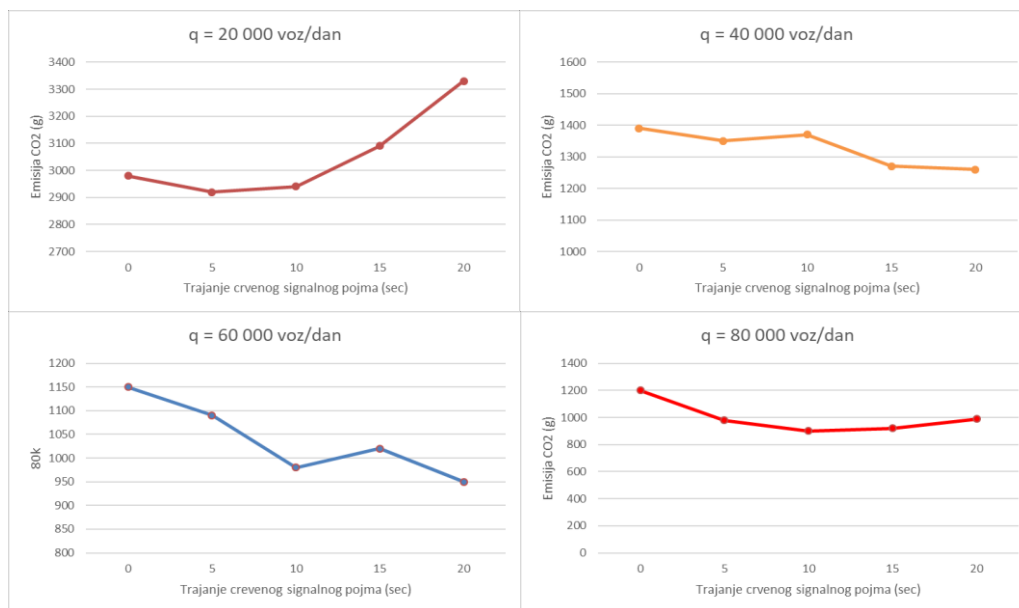


**Slika 3.** Zavisnost emisije i trajanja crvenog signalnog pojma za scenario od 20 000 voz/h  
 Source: Wang, F. (2009)

Na osnovu ove slike može se zaključiti da emisija pada na minimum ako je trajanje crvenog signalnog pojma 5 sec. Ovo pokazuje da se podešavanjem ramp meteringa može uticati na minimiziranje emisije CO<sub>2</sub>. Daljim povećanjem intervala crvenog signalnog pojma dolazi do povećanja emisije, što se može objasniti činjenicom da u takvim uslovima postoji malo ometanje vozila na glavnom pravcu, vozila se kreću većim brzinama, odnosno povećanje emisije je direktna posledica većih brzina vozila na autoputu.

### 3.2 Saobraćajni zahtevi

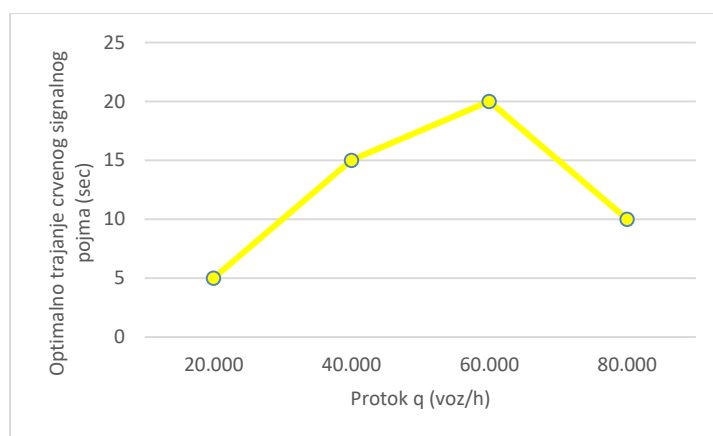
U sledećem koraku uključena je promena saobraćajnih zahteva, dobijeni rezultati prikazani su na Slici 4.



**Slika 4.** Zavisnost emisije i trajanja crvenog signalnog pojma za različite saobraćajne zahteve  
 Source: Wang, F. (2009)

Sa Slike 4. može se primetiti da optimalno trajanje crvenog signalnog pojma varira u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja. Za saobraćajne zahteve od 20 000 voz/h optimalno vreme je 5 sec dok za 40 000 voz/h ono iznosi 15 sec, 20 sec za 60 000 voz/h i 10 sec za 80 000 voz/h. Na osnovu dobijenih vrednosti može se takođe zaključiti da sa povećanjem saobraćajnih zahteva dolazi do smanjenja prosečne emisije. Ovo pokazuje da na emisiju CO<sub>2</sub> veći uticaj ima prosečna brzina na glavnom pravcu nego ubrzanje. Pri velikim saobraćajnim zahtevima prosečna brzina vozila se smanjuje čime se može objasniti smanjenje u emisiji.

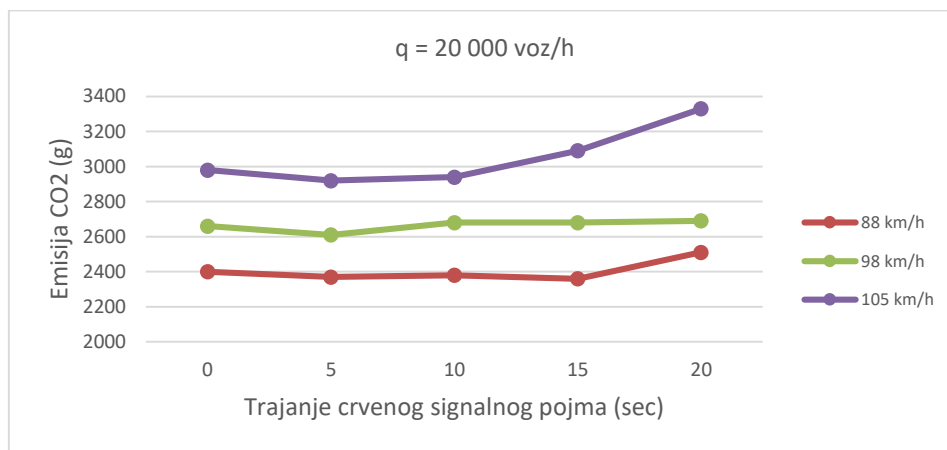
Na Slici 5. prikazani su optimalni intervali crvenog signalnog pojma za različite saobraćajne zahteve.



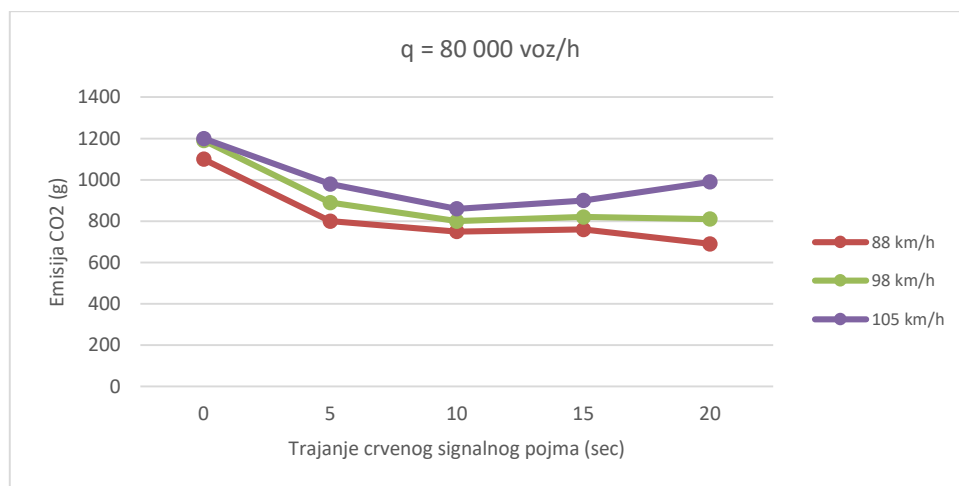
**Slika 5.** Optimalni intervali crvenog signalnog pojma za različite saobraćajne zahteve  
 Source: Wang, F. (2009)

### 3.3 Promenljivo ograničenje brzine

Na osnovu dobijenih rezultata za postavljeno ograničenje brzine od 105 km/h (65 mph) može se zaključiti da prosečna brzina ima dominantan uticaj na emisiju CO<sub>2</sub>. Sledeći logičan korak je ispitivanje kako promenljivo ograničenje brzine u kombinaciji sa ramp meteringom utiče na emisiju. Simulirana su sledeće dodatne vrednosti ograničenja brzine od 98 km/h (60 mph) i 88 km/h (55 mph). Na slikama 6 i 7 prikazni su rezultati za saobraćajna opterećenja id 20 000 voz/h i 80 000 voz/h.



**Slika 6.** Emisija CO<sub>2</sub> za različita ograničenja brzine – 20 000 voz/h  
Source: Wang, F. (2009)



**Slika 7.** Emisija CO<sub>2</sub> za različita ograničenja brzine – 80 000 voz/h  
Source: Wang, F. (2009)

Dobijeni rezultati potvrđuju prethodne zaključke da sa smanjenjem brzine dolazi do smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, odnosno da emisija dominantno zavisi od prosečne brzine. Promenljivo ograničenje brzine ima veće efekte kod saobraćajnih zahteva od 20 000 voz/h, smanjenje emisije i do 20 %. Pri saobraćajnim zahtevima od 80 000 voz/h smanjenje emisije je do 8%.

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan model za predikciju emisije CO<sub>2</sub> kao funkcije trenutne brzine i ubrzanja. Upotrebom PARAMICS modela simulirani su različiti saobraćajni zahtevi i upravljačke strategije (ramp metering i promenljivo ograničenje brzine) i na osnovu tako dobijenih podaka o saobraćajnom toku proračunata je emisija CO<sub>2</sub>.

Nedostatak ove simulacije je što je posmatrana kratka deonica osmotračnog autoputa. Faktori kao radijus i nagib rampe, uticaj reda vozila na rampi na mrežu nižeg ranga i međusobni uticaj ulivne i izlivne rampe nisu



uključeni u ovaj model. Takođe nije uključena emisija vozila na rampama već je fokus bio samo na vozila koja se nalaze na glavnom pravcu autoputa.

Bez obzira na identifikovane nedostatke rezultati ove simulacije pokazuju da je efikasnost primene savremenih upravljačkih mera kao što je ramp metering i promenljivo ograničenje brzine, sa aspekta emisije štetnih izduvnih gasova u suprotnosti sa osnovnim zadacima ovih mera posmatrano iz ugla povećanja efikasnosti saobraćajnog sistema. Pri manjim saobraćajnim zahtevima (20 000 voz/dan) povećanje trajanja crvenog signalnog pojma preko 5 sec utiče na značajno povećanje emisije CO<sub>2</sub>, dok smanjenje ograničenja brzine pri ovim uslovima dovodi do najvećeg smanjenja emisije – do 20%.

Za saobraćajne zahteve od 40 000 voz/dan i 60 000 voz/dan emisija CO<sub>2</sub> se smanjuje sa povećanjem trajanja crvenog signalnog pojma. U uslovima zagušenog saobraćajnog toka (80 000 voz/h) pozitivni efekti na smanjenje emisije prestaju sa daljim povećanjem trajanja crvenog signalnog pojma preko 10 sec.

Značaj ovog istraživanja se ogleda u tome što je pokazano da se u vreme kada se veliki fokus stavlja na kvalitet vazduha, kod integracije savremenih upravljačkih mera u lokalnim uslovima mora ispitati i njihov uticaj na emisiju štetnih izduvnih gasova. Identifikovana je jaka korelacija između veličine saobraćajnih tokova i upravljačkih elemenata (dužina crvenog signalnog pojma i odabrano ograničenje brzine) sa jedne strane i smanjenja/povećanja emisije CO<sub>2</sub> sa druge strane.

## Literatura

- [1] Stepanović, N.; Tubić, V. (2019). Analiza ekoloških efekata uvođenja električnih vozila u realan saobraćajni tok. Put i saobraćaj. 65(2), 19-27.
- [2] Pasaoglu, G., Honselaar, M., Thiel, C. (2012). Potential vehicle fleet CO<sub>2</sub> reduction and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe, Energy Policy 40, 404 – 421.
- [3] U.S. EPA, (2005). Emission Facts: Greenhouse Gas Emissions from a typical Passenger Vehicle, EPA420-F-05-004
- [4] Kyounggho, A., Hesham, R., Trani, A. Aerde, M. 2002. Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels, J. Transp. Engr. Volume 128, Issue 2, 182-190.
- [5] Kean, A., Harley, R., Kendal, G. 2003. Effects of Vehicle Speed and Engine Load on Motor Vehicle Emissions, Environ. Sci. Technol., Volume 37, Issue 17, 3739-3746.
- [6] CO2 Emission: <http://www.sae.org/events/gim/presentations/2010/ginamccarthy.pdf>
- [7] CO2 Emission (Model wise): [http://www.whatgreencar.com/us/wgcsearch/search\\_controller.php](http://www.whatgreencar.com/us/wgcsearch/search_controller.php)
- [8] CO2 Emission (Diesel Vehicles): <http://www.issrc.org/ive/downloads/reports/SPMXCDiesel.pdf>
- [9] Wang, F., Center, M. T., Transportation, C. D. of, & Administration, R. and I. T. (2011). Optimize Pollutant Emissions through Adaptive Highway Management
- [10] Vehicle Speed vs. Greenhouse Gas Emissions (2009), Kansas Energy Report, Chapter 10.
- [11] Panis, L., Broekx, S., Liu, R. (2006) Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits, Science of the Total Environment, 371, 270-285.

## **Ugrožavanje i zaštita vodnih resursa, bunara „Ivkove vodenice“ za snabdevanje Dimitrovgrada, reke Nišave i šireg slivnog područja, izgradnjom Auto-puta E80 - Niš - Prosek / Bugarska granica - deonica od km 99+833.00 do km 101+584.00**

**Profesor J. Despotović<sup>1</sup>, ing. M. Vasiljević<sup>2</sup>, V. prof. A. Đukić<sup>1</sup>, Doc. B. Babić<sup>1</sup>**

1 Univerzitet u Beogradu–Građevinski fakultet, UNESKO IRTKUD Centar, jdespotovic@grf.bg.ac.rs

2 Preduzeće Road Design d.o.o., Beograd, <milojetrasa@gmail.com>

**Rezime:** Jedino izvoriste pitke vode "Ivkove Vodenice" za grad Dimitrovgrad nalazi se u neposrednoj blizini desne obale reke Nišave, cca. 1,5 km uzvodno od grada, uz magistralni put - profil 371 Auto-puta

Na ovom lokalitetu prihranjivanje vode je iz aluviona reke Nišave, pa je izvoriste vrlo osetljivo na bilo kakvo zagađenje zbog mogućeg prodora iz okolnih područja, pre svega sa autoputa u neposrednoj blizini. Potencijalni zagađivači su raspoređeni na širem području sliva reke Nišave uzvodno od bunara kod Dimitrovgrada, ne samo u Srbiji već i u Bugarskoj, zbog topografije i velikog nagiba ka Nišavi. Međutim, pre svega treba sprečiti direktnu ugroženost područja i reke zbog nepovoljnih uticaj transporta i saobraćaja u blizini, gde čak ima privilegovanih neposrednih tokova zagađenja s potencijalnim ozbiljnim posledicama ka Nišavi, kao i izvoristu.

Uvidom u situaciju tokom poplava Nišave za vreme izgradnje 2018. godine, predloženo je uspostavljanje sistema šireg zahvata površinskog oticaja, potom kanalisanja i prečišćavanja radi zaštite Nišave i bunara, ali prema informaciji JP "Koridori", Svetska banka ne finansira sistem za sprečavanje uobičajenih i incidentnih zagađenja sistemom Stormfilter. U radu se prikazuje šira dolina Nišave kao područje prihranjivanja bunara iz Nišave i zaleđa, površinskog ili podzemnog toka. Takođe je prikazan izgled doline pre izgradnje sa starim magistralnim putem, a potom i izgrađeni auto-put E - 80, jer se svi nalaze u sredini date zone sanitarne zaštite izvorista. U toj konstelaciji izvoriste bi se moglo ugroziti izlivanjem zagađenja u Nišavu sa postojećeg magistralnog puta ili sa auto puta E-80. Dato je opravdanje i tehničko rešenje sistema radi pouzdane zaštite izvorista "Ivkove vodenice".

**Ključne reči:** Dimitovgrad; Bunar za snabdevanje vodom; Nišava; magistralni put; Auto-put E-80; kanalisanje kišnih voda; sistem za zaštitu i preventivu zagađenja; Stormfilter.

**Abstract:** The only source of drinking water "Ivkova Vodenica" for the city of Dimitrovgrad is located in the immediate vicinity of the right bank of the river Nišava, approx. 1.5 km upstream from the city along the main road, in the direction of the profile of Highway 371.

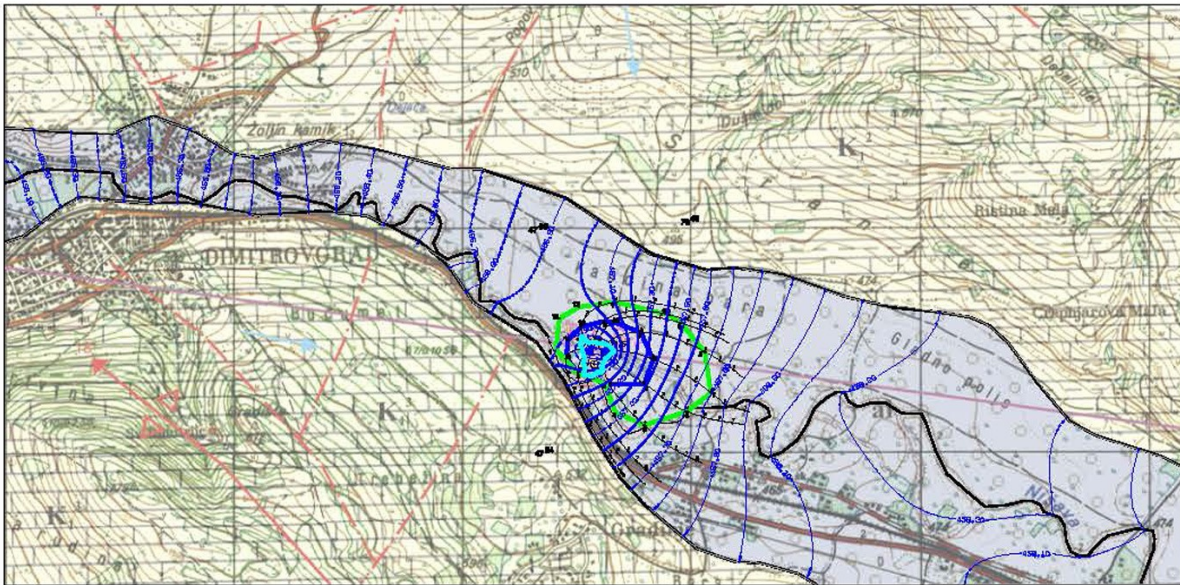
In this locality, the water supply is from the alluvium of the Nišava River, so the source is very sensitive to any pollution due to possible penetration from the surrounding areas, primarily from the highway in the immediate vicinity. Potential pollutants are distributed throughout the entire area of the Nišava river basin upstream of the well near Dimitrovgrad, not only in Serbia but also in Bulgaria, due to the topography and the big slope towards the Nišava. However, first of all, it is necessary to prevent direct endangerment of the area and the river due to the unfavorable influence of transport and traffic in the vicinity, where there are even privileged direct open flows of pollution with potential serious consequences towards Nišava, and so to the source.

Upon survey of the situation during the flooding of Nišava and construction works in 2018, it was proposed to establish a system of wider catchment of surface runoff, then regulation and purification in order to protect Nišava and wells, but according to the information of JP "Corridori", the World Bank does not finance the proposed system for the prevention of common and incident pollution by the Stormfilter system. The paper presents the wider valley of Nišava as an area fed by Nišava and the hinterland, surface or underground flow. It also shows the appearance of the valley before construction with the old main road, and the built Highway E - 80, because they are all located in the middle of the given zone of sanitary protection of the source. In that constellation, the source could be threatened by pollution spilling into Nišava from the existing main road or from the Highway E-80. The justification and technical solution of the system for the reliable protection of the source of "Ivkove vodenica" is given.

**Keywords:** Dimitovgrad; Well for water supply; Nišava; highway; Highway E-80; channelization of rainwater; pollution protection and prevention system; Stormfilter.

## UVOD

U radu je primer izgrađene deonice Auto-puta E – 80, od mosta na Nišavi uzvodno od Dimitrovgrada do graničnog prelaza sa Bugarskom, da bi se ukratko opisala nedovoljno pažljiva procedura projektovanja i izgradnje auto puta pored reke Nišave i izvorišta vode za piće „Ivkove vodenice“ za snabdevanje grada. Ako krenemo od tog izvorišta, prva obaveza je utvrđivanje mogućih negativnih efekata na reku Nišavu i na izvorište „Ivkove vodenice“. Dakle, prvo je trebalo trasu i položaj puta oceniti sa tog aspekta, videti Sliku 1. gde je prikazano prethodno stanje šireg terena, sa magistralnim putem, rekam Nišavom i zaštitnim zonama izvorišta „Ivkove vodenice“ prema dokumentaciji [1].



**Slika 1.** Izvorište „Ivkove Vodenice“ sa zonama sanitarne zaštite za snabdevanje vodom za piće Dimitrovgrada neposredno pored Nišave i magistralni put za Bugarsku

Iz Opštine Dimitrovgrad je inicirana inicijativa u dogovoru sa JP „Koridori Srbije“, da se oceni izgradnja predmetne deonice auto puta na potezu od Dimitrovgrada do granice sa Bugarskom, neposredno i preko izvorišta vode za piće „Ivkove vodenice“, koje se nalazi neposredno pored autoputa, a dobijena je nepovoljna ocena !

Generalno uzev, izrada dokumentacije je bazirana i uslovljena projektnim zadatkom, kao i svaka druga dokumentacija. Međutim, može se primetiti da je u većini slučajeva, gotovo svaki lokalitet „poseban slučaj“, iz jednog ili više razloga [2]. Prikazana deonica je, šta više, veoma osetljiva jer se radi o pograničnoj zoni sa dugačkim kolonama parkiranih teretnih vozila koja za vreme čekanja ispuštaju velike količine ulja, masti, goriva i dr. Dalje, radi se o veoma strmoj velikoj nepropusnoj površini sa koje se velike količine kišnog oticaja slivaju i razlivaju, daleko preko graničnog prelaza na srpski deo teritorije, gde je auto put sa parkinzima, kružnim tokom, kanalima, postrojenjem za tretman otpadnih voda sa te lokacije i nekontrolisanim ispuštima ka Nišavi [3].

Na osnovu te analize, ocenjeno je sledeće:

1. Da je formirana deponija otpadnog materijala mogla da optereti i ošteti potisni cevovod od crpne stanice na izvorištu „Ivkove vodenice“ ka rezervoaru. Pošto nije ranije urađeno, mora se što pre proveriti da li je cevovod oštećen na deonici ispod deponovanog kamena, zašta su neophodna merenja na izvorištu i na rezervoaru (iako je deponovani kamen odnet). Predložena je zaštita seoskog puta od vode i plavljenja izgradnjom kanala sa uzvodne - severne strane do propusta - mosta, do izgrađene regulisane Nišave na mestu ukrštanja autoputa i Nišave, što nije urađeno iako su efekti i danas vidljivi.

Regulacija reke Nišave pored izvorišta vode za piće Dimitrovgrada je neophodna na deonici od približno km 99+515.00 m i uzvodno na dužini od oko 900 m, sa detaljnim čišćenjem i ublažavanjem tri oštre krivine, jer bi upravo na ta tri mesta velike vode Nišave mogle da ugroze stabilnost nasipa Autoputa.

2. Izmena projektovanog sistema za kanalisanje kišnog oticaja sa auto puta, od profila 384 na st. km 99+799.99, uključujući deonicu na kojoj nije projektovan kanalski sistem, od profila 479 na st. km 100+980.57 do profila 511 na st. km 101+584,00.

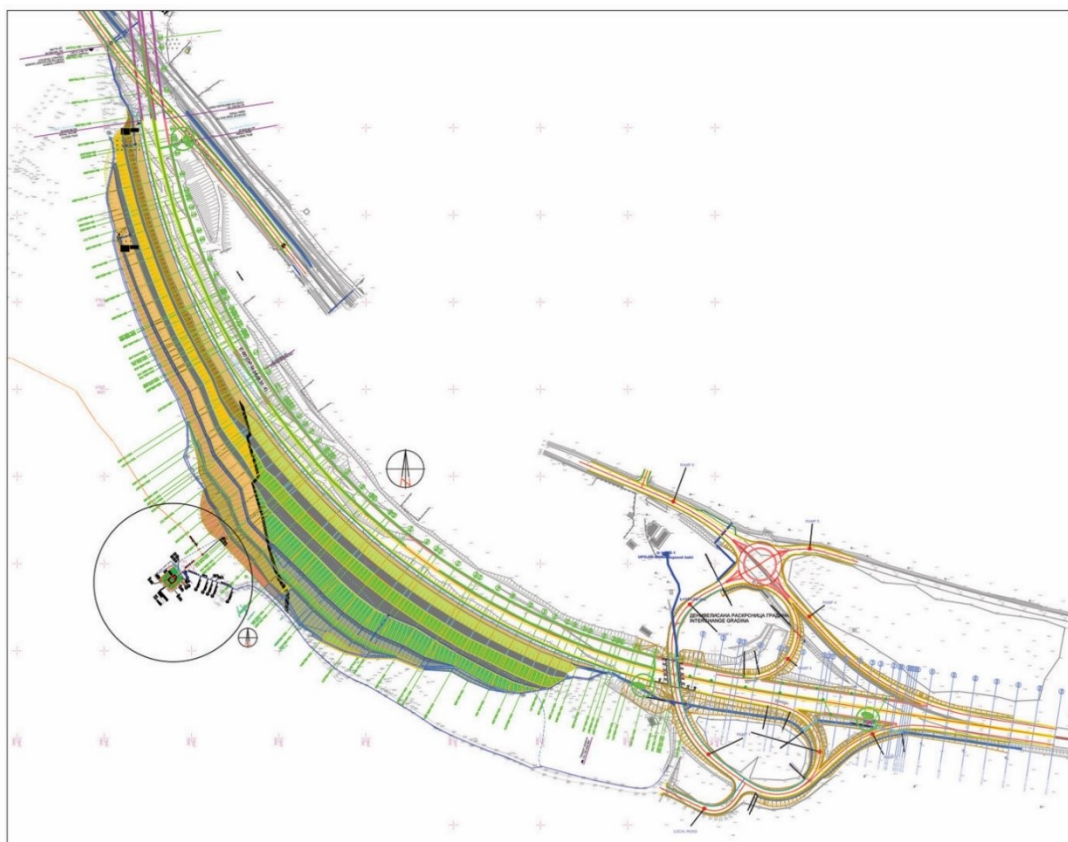
Važan aspekt zaštite izvorišta je kontrola svih potencijalnih negativnih uticaja autoputa koji je izgrađen u neposrednoj blizini izvorišta, odnosno reke Nišave. Svako nekontrolisano izlivanje kišnih voda, a posebno havarijska ili incidentna izlivanja, čak i manjih količina zagađenja (npr. nafta, benzin, hemikalije), prouzrokovala bi zagađenje izvorišta vode za piće i vrlo verovatno, privremeno ili dugotrajno zatvaranje ovog značajnog izvorišta vode za Dimitrovgrad što se ne sme dozvoliti (slučaj Užičke Požege pre 30 godina).

Smatra se da standardni separatori ulja i masti sa taložnicima nisu adekvatna rešenja za uzvodnu deonicu autoputa od izvorišta jer je poznato da takvi uređaji nisu dovoljno efikasni u uklanjanju najsitnijih frakcija čestica iz vode i uklanjanju mutnoće koji nose najveći deo zagađenja (što je dokazano merenjima na Građevinskom fakultetu), a uočene slabosti u radu i održavanju ovakvih izgrađenih sistema ukazuje na potrebu da se ovi sistemi unaprede ili zamene efikasnijim [4].

Zato je preporučeno da izrada projekata za izvođenje kanalskih sistema bude kompletirana uređajima za prečišćavanje kišnog oticaja, uključujući filtraciju/adsorpciju. Navedena tri sistema ibavezno kompletirati uređajima za daljinsko obaveštavanje, alarmiranje i sprečavanje izlivanja zagađenih tečnosti u kanalske sisteme i potom u reku Nišavu u akcidentnim slučajevima, kao što je u ranijim projektima [5].

#### IZGRAĐENA DEONICA AUTOPUTA od km 99+83 do km 101+584.00

U projektu izvedenog objekta, je dat odgovor na zahtev Investitora, sa ograničenim zonama i zahtevima i mogućnostima, ali nisu obihvaćeni svi problemi na širem području [6].



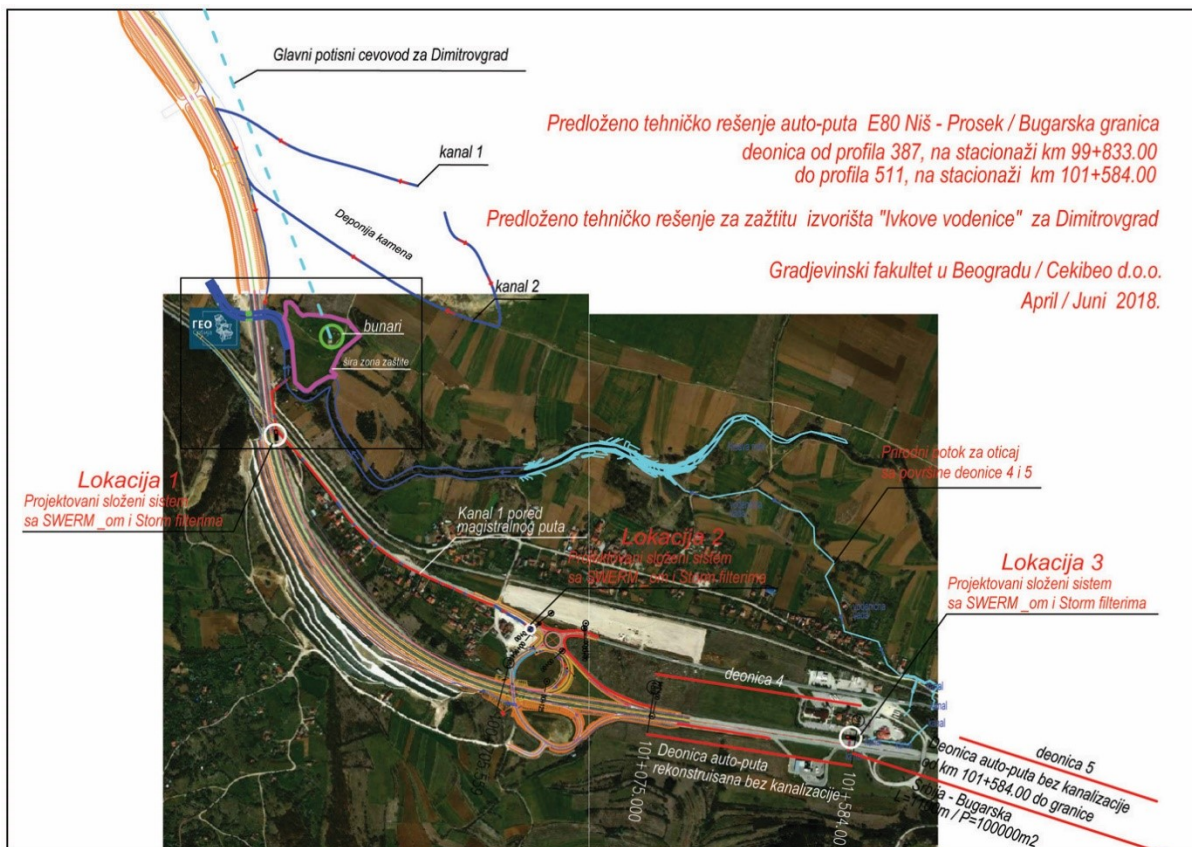
**Slika 2.** Izgrađeni Auto-put E – 80 , Niš - Prosek - Bugarska granica, deonica od km 99+83 do km 101+584.00

O problemima i rešenjima kod sistema za kanalisanje kišnih voda auto puteva, i posebno kod odvodnjavanja mostova i vijadukata već postoji solidno iskustvo koje je dato u literaturi [7], [8], [9] i [10].

### PREDLOŽENO TEHNIČKO REŠENJE

1. Korigovati projekte za izvođenje sistema odvodnjavanja radi unapređenja i kompletiranja tehničkog rešenja za kanalisanje i prečišćavanje / separaciju zagađenih kišnih voda sa uzvodne deonice Auto-puta, na potezu od izvorišta „Ivkove vodenice“ do granice sa Bugarskom, sa uređajima, za sprečavanje zagađenja Nišave i izvorišta u slučaju akcidentnih izlivanja zagađenja na autoput.
2. Projekat za izvođenje regulacije reke Nišave i priključnih kanala regulacije vodotoka Deonice 8 i Deonice 9 od km 99+51 pa uzvodno na dužini od oko 900 m - sektori Auto-puta E 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica sa Bugarskom) radi zaštite izvorišta „Ivkove vodenice“ i nasipa autoputa.

Na Slici 3. je kompleksna zaštita od zagađenja reke Nišave, i shodno, sprečavanje zagađenja podzemlja i vode u bunarima „Ivkove vodenice“, što je trebalo da bude najviši cilj zaštite životne sredine u okviru izgradnje auto puta ka bugarskoj granici.

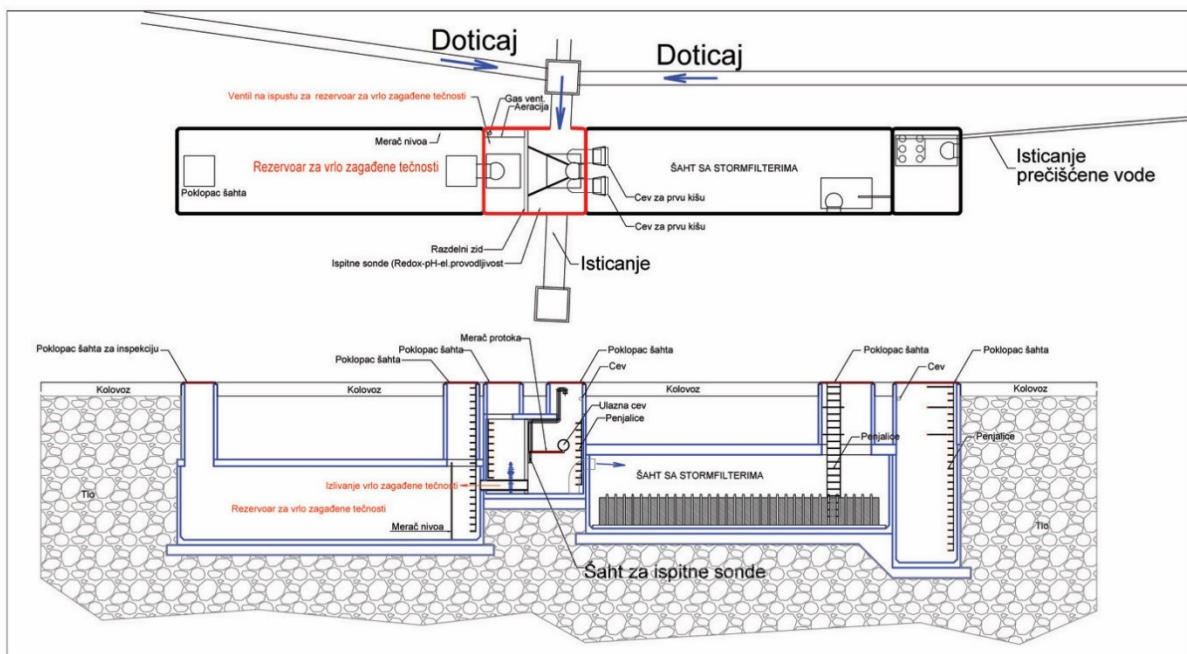


**Slika 3.** Predloženo tehničko rešenje za odvođenje , kanalisanje i prečišćavanje kišnih voda sa tri kombinovana sistema za prečišćavanje kišnog oticaja i uređajima za zaštitu od zagađenja u incidentnim slučajevima - Stormfilter<sup>R</sup>

Da bi se zainteresovani i potencijalni investitor i projektant detaljnije uputili u kompleksnu i predloženu instalaciju, osim što su upućeni i na druge projekte, mogu se videti i projekti kanalisanja i tretiranja kišnog oticaja sa mostova na Savi u Beogradu - Gazela i Ostružnica: prvi je u fazi kompletiranja, a za drugi je urađena samo prva faza instalacija koje su date na Slikama 4. i 5., kao i u radovima [10] i [11].



**Slika 4.** Izgled prefabrikovanih objekata za kompleksno tretiranja kanalisanih kišnih voda na Auto-putu E – 80, na krajnjoj deonici u Srbiji do bugarske granice



**Slika 5.** Osnova i presek prefabrikovanih objekata za kompleksno tretiranje kišnog oticaja na Auto-putu E – 80 na deonici Dimitrovgrad - do bugarske granice

## ZAKLJUČCI

Svaka aktivnost u domenu infrastrukture – saobraćajnica počinje sagledavanjem prirodnog i izgrađenog stanja na terenu u široj zoni, u ovom slučaju auto puta, postojećih instalacija i uređaja, kao što su saobraćajnice, objekti koji moraju ostati, izvorišta vode za piće, istorijski spomenici ali i tragovi, kao i prirodnih ugroženih vrsta. Dalje, neophodno je da se istraživanje svih lokaliteta obavi u saradnji sa republičkim i lokalnim nadležnim institucijama, pre nego što se preduzmu aktivnosti i pripremni radovi na izradi tehničke dokumentacije i bilo koji istražni radovi, geodetski, geološki, hidrogeološki, hidrološki i drugi. U današnje vreme je „čitanje“ podloga sa elektronskih domena često zamena za mnoge podloge, što je u mnogim slučajevima pogrešno, netačno ili sasvim nedovoljno za izradu koncepta tehničkog rešenja, o čemu smo se mogli uveriti na bukvalno svim koridorima u Srbiji!?

Drugi savet je da i investitor(i) i projektant(i) konsultuju prethodne projekte na predmetnoj lokaciji ili koridoru, uključujući i sve prethodna ocene ranijih projekata, da bi se izbegle greške i nepotreban rad, koji je u Srbiji

I na kraju savet za uvažene investitore i nadležne banke: da pažljivo biraju projekte i ocenjuju tehnička rešenja i da saraduju sa kompetentnim i najboljim stručnjacima. Da, zatim, ocenjuju projekte sa suštinske strane i dugoročnih efekata, uzimajući u obzir najmodernija održiva rešenja kad god su u pitanju ljudi, stoka, životna sredina i njihovo zdravlje! Inače, ...

## LITERATURA

- [ 1 ] Hidrocentar, preduzeće za projektovanje i izvođenje radova u geologiji: Zone sanitarne zaštite izvorišta „Ivkove vodenice“, 2010.
- [ 2 ] Projektni zadatak za izradu Hidrotehničkih podloga i Glavnih projekata regulacije vodotoka koji se ukrštaju sa autoputem E-75 na deonici od Caričine doline do Vladičinog Hana
- [ 3 ] Dopis (mišljenje) Građevinskog fakulteta pod naslovom Auto-put E80 Niš-Prosek / Bugarska granica, deonica od profila 387, na stacionaži km 99+83, do profila 511, na stacionaži km 101+584.00, Zaštita izvorišta vode za piće „Ivkove vodenice“ u Opštini Dimitrovgrad (u pravcu profila 375, na stacionaži km 99+60), 2018/2019.
- [ 4 ] Djukic, A., B.Lekic, V.Rajakovic-Ognjanovic, Dj.Veljovic, T.Vulic, M.Djolic, Z.Naunovic, J.Despotovic, D.Prodanovic: *Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff*, Journal of Environmental Management, 168, 104-110. 2016. doi:10.1016/j.jenvman.2015.11.035, 2016.
- [5] J. Despotović, S. Nikoletić, V. Živanović, S. Josipović, M. Vasiljević: Idejni projekat sistema odvodnjavanja mosta preko reke Save na km 76+023,17 auto puta E70/E75 Dobanovci – Bubanj Potok, u Ostružnici – postojeći i novi most i delovi saobraćajnica, za Mostprojekt, CEKIBEO – Beograd, 2015-2020.
- [ 6 ] Hidropromet Saobraćaj: Projekat izvedenog objekta, 2023.
- [ 7 ] J. Despotović, A. Đukić, B. Babić, B. Lekić, J. Plavšić: Gradski vodovodni i kanalizacioni sistemi i velike poplave, 40. Međunarodna konferencija „Vodovod i kanalizacija '19“, Novi Sad, oktobar 2019.
- [ 8 ] Kratak prikaz urađene projektne dokumentacije za regulaciju vodotokova Autoput E-75 Beograd – Niš - granica sa BJRM Regulacije vodotokova na poddeonici, Poddeonica 1. Caričina Dolina – tunel „Manajle“ , od km 885+772.79 - km 892+519.91
- [9] A. Đukić, M. Stanić, Jasna Plavšić, J. Despotović, Odvodnjavanje puteva, Građevinski fakultet – Međunarodni UNESKO Centar IRTCUD, 2022. ISBN 978-86-7518-222-1.
- [10] J. Despotović, Kanalsanje kišnih voda, Građevinski fakultet, 2008. ISBN 978-86-7518-075-1
- [11] J. Despotović, S. Nikoletić, V. Živanović, S. Josipović, M. Vasiljević: Idejni projekat sistema odvodnjavanja mosta preko reke Save na km 76+023,17 autoputa E70/E75 Dobanovci – Bubanj Potok, u Ostružnici – postojeći i novi most i delovi saobraćajnica, za Mostprojekt, CEKIBEO – Beograd.

# УРБАНА МОБИЛНОСТ КАО МУЛТИДИСЦИПЛИНАРНИ ПРИСТУП УНАПРЕЂЕЊУ КВАЛИТЕТА ЖИВОТА У ГРАДОВИМА

Јелена Кртенић<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ЈП „Путеви Београда“, [jelena.krtenic@putevibeograda.rs](mailto:jelena.krtenic@putevibeograda.rs)

Александар Милентијевић<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ЈП „Путеви Београда“, [aleksandar.milentijevic@putevibeograda.rs](mailto:aleksandar.milentijevic@putevibeograda.rs)

Валбона Самарџија<sup>3</sup>

<sup>3</sup> ЈП „Путеви Београда“, [valbona.samardzija@putevibeograda.rs](mailto:valbona.samardzija@putevibeograda.rs)

**Резиме:** Градови у будућности морају да буду по мери људи са акцентом на здрав живот и опште побољшање квалитета живота људи у њима. Потписани међународни документи су обавезујући и за нашу земљу у дефинисаним временским оквирима, преко домаћих прописа, кроз планирање корака ка постизању заједничког циља свих земаља потписница. Мобилност као „могућност кретања“ подразумева кретање људи, а не возила. Пораст урбанизације и климатске промене стварају сложене ризике, али градови морају пружити могућности за климатске акције, са зеленим зградама, обновљивом енергијом и одрживим транспортним системима који повезују урбане са руралним подручјима. Паралелно са развојем путне инфраструктуре, значајне за економски раст и развој привреде и друштва, неопходно је развијати и друге инфраструктуре пре свега бициклистичку и зелену, значајне за развој области који су у вези са саобраћајем као што су: туризам, заштита животне средине, заштита јавног здравља људи и др.. Такође, у градовима од великог значаја је и развој и дигитализација јавног превоза путника, за који се највише користи за превоз људи, са позитивним ефектима на заштиту животне средине.

**Кључне речи:** мобилност, заштита животне средине, саобраћај

## URBAN MOBILITY AS A MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO IMPROVING THE QUALITY OF LIFE IN CITIES

<sup>1</sup> Jelena Krtenic<sup>1</sup>

Public company „Roads of Belgrade“, [jelena.krtenic@putevibeograda.rs](mailto:jelena.krtenic@putevibeograda.rs)

<sup>2</sup> Aleksandar Milentijevic<sup>2</sup>

Public company „Roads of Belgrade“, [aleksandar.milentijevic@putevibeograda.rs](mailto:aleksandar.milentijevic@putevibeograda.rs)

<sup>3</sup> Valbona Samardzija<sup>3</sup>

Public company „Roads of Belgrade“, [valbona.samardzija@putevibeograda.rs](mailto:valbona.samardzija@putevibeograda.rs)

**Abstract:** Cities in the future must be tailored to people with an emphasis on healthy living and general improvement of the quality of life of people in them. Signed international documents are also binding for our country within defined time frames, through domestic regulations, through planning steps towards achieving the common goal of all signatory countries. Mobility as a "possibility of movement" means the movement of people, not vehicles. Rising urbanization and climate change create complex risks, but cities must provide opportunities for climate action, with green buildings, renewable energy and sustainable transport systems linking urban to rural areas. In parallel with the development of road infrastructure, important for economic growth and development of the economy and society, it is necessary to develop other infrastructures primarily bicycle and green, important for the development of areas related to transport such as: tourism, environmental protection, protection of public health of people, etc. Also, in cities of great importance is the development and digitization of public passenger transport, for which it is mostly used for transporting people, with positive effects on environmental protection.

---

<sup>1</sup> Јелена Кртенић аутор задужен за кореспонденцију: [jelena.krtenic@putevibeograda.rs](mailto:jelena.krtenic@putevibeograda.rs)



**Keywords:** mobility, environmental protection, transport

### 1. УВОД

Развој цивилизације доноси промене у развоју људских достигнућа, биосфери, екосфери, социосфери, знању, информација, технологија, култури, стању духа, облицима и начинима понашања људи и сл., које могу бити позитивне и негативне. Данас постоји свест, чак је и вишедеценијски једна од најактуелнијих тема, у свим друштвима о стварању и постојању еколошки здравих градова по принципима одрживог развоја и решења за неминован и непрекидан раст становништва у урбаним срединама и решавање глобалног проблема климатских промена. Циљеви су очување природе која ће складиштити угљеник и утицати на умањење климатских ризика, јер су здрави екосистеми отпорнији на климатске промене. Њихов најважнији циљ је да обезбеђују здравији ваздух, пијаћу воду и храну, како би будуће генерације могле да планирају и граде своја насеља и градове.

Заштита животне средине подразумева скуп различитих поступака и мера којима се спречава угрожавање животне средине са циљем очувања биолошке равнотеже. Еколошка одбрана је мултидисциплинарна и треба да представља трајну обавезу свих чланова друштва. Њена мултидисциплинарност проистиче из чињенице да здравље, животна средина и социјални услови представљају јединствену област и захтевају решавање проблема који су у сталној интеракцији. Јавна политика, кроз адекватну финансијску подршку, урбаног развоја представља кључни инструмент за остваривање одрживог урбаног развоја и мобилности уз коришћење интегралног приступа. Урбани развој у свакој земљи представља резултат активности и одлука различитих сектора са заједничким циљем заштите животне средине. Главни задатак политике урбаног развоја чини успостављање координације на националном и локалном нивоу, односно мултидисциплинарност и дефинисање приоритета код усаглашавања различитих потреба и интереса.

Концепт урбане мобилности подразумева дефинисање циља-визије, тј. како желимо да изгледа саобраћајни систем у спрези са свим осталим системима, а затим се дефинишу начини фазног постизања циља. Мобилност становништва у градовима у Републици Србији је два до три пута мања у односу на развијене европске државе. Уочљива је значајна неравномерност путовања по урбаним насељима, где се око 95% путовања обавља у шест највећих урбаних насеља у Републици Србији.

У складу са обавезама наше земље према европским документима, прописима, стандардима и добром праксом, развој основног модела урбане мобилности подразумева: формирање и допуну правног оквира, планску документацију којом су третиране све инфраструктуре, израду студија, развој и унапређење саобраћајне инфраструктуре за све видове саобраћаја водећи рачуна о њиховој оправданости, функционалности и повезаности, давање предности и увођење у системе е-возила и е-бицикала, изградњу зелених коридора и површина, развој и подстицање бицикличког и пешачког саобраћаја, примену мера рестрикција возила у урбаним зонама, примену соларних и електричних напајања и др.

Полазна основа је документ Стратегија одрживог урбаног развоја Републике Србије до 2030. године („Сл. лист РС“, број 47 од 28. јуна 2019. године), који је донет у складу са Урбаном агендом ЕУ која одређује 12 приоритетних тема урбаног развоја држава чланица, од којих ће на урбаној мобилности, квалитету ваздуха и дигиталној транзицији бити акценат у раду.

Саобраћај, као грана привреде која мора егзистирати, је један од најодговорнијих узрочника за загађење животне средине и здравља људи, пре свега у градовима кроз емисију угљен и азот диоксида и угљоводоника, стварања буке, временских губитака због загушења услед велике насељености и броја возила. У градовима због загађења атмосфере чему доприноси саобраћај у великој мери, имамо већу температуру ваздуха за 1-2<sup>0</sup> С, влагу мању за 4-6%, већу облачност 10%, честу појаву магле 30-100%, загађење ваздуха 10 пута веће од незагађених средина и количину сунчевог светла мању око 15%.

Кроз рад ће бити дат акценат на предлозима за развој урбане мобилности и заштите животне средине у градовима кроз спрегу и развој система саобраћајних инфраструктура и зелене инфраструктуре, потребним условима за развој бицикличке инфраструктуре као тренутно недостајуће и саобраћајно као и еколошко унапређење система јавног превоза путника као најзаступљенијег вида превоза у градовима, кроз увођење дигитализације рада у свим његовим подсистемима којом се директно омогућава и олакшава његов рад, повезаност система, омогућава комуникација и контрола у свим подсистемима, у циљу рационализације у кретању људи у саобраћају и добијање правовремених и тачних информација. Такође, развој и примена интелигентних транспортних система, модернизација саобраћајне сигнализације у градовима, а посебно примена соларне, такође ће допринети заштити животне средине.

У циљу заштите животне средине улице, се пре свега третирају по концепту „јавне за све кориснике“. У раду ће бити представљени предлози за измене и допуне прописа које ће омогућити лакше планирање,

изградњу, одржавње и заштиту јавних путева у градовима. Уравнотежен развој свих система инфраструктуре, јавног превоза путника и бицикличког саобраћаја кључни су за развој урбане мобилности.

## 2. ИНФРАСТРУКТУРА У ФУНКЦИЈИ УРБАНЕ МОБИЛНОСТИ

Развој и унапређење инфраструктуре је полазна основа развоја урбане мобилности кроз планску документацију. Посебан задатак, без обзира на европске трендове је разматрање исплативости и оправданости улагања у одређену инфраструктуру, на основу студија, мера и испитивања ставова и навика корисника. Улагање у инфраструктуру мора бити фазно и прилагођено реалним финансијским могућностима и потребама корисника, а пре свега кроз унапређење постојећег система.

Понуда постојеће путне инфраструктуре, односно мрежа саобраћајница у урбаним насељима је наслеђена, која је у одређеном проценту недовољне пропусне моћи, непланска и функцијски нерационална, те су стога већи изазови у модернизацији, реконструкцији, рехабилитацији и заштити посебно главних потеза у већим урбаним насељима. У градовима се општине, узимајући њихове географске положаје у простору и величину, мрежу путева из надлежности, навике становништва, садржаје које је чине, врсте саобраћаја и саобраћајних средстава, број и положај државних путева који кроз њих пролазе, недовољан број паркинг места и др., као и одлуке које доносе, у великој мери разликују од општине до општине и утичу на безбедност саобраћаја.

Планирање саобраћаја, пре свега кроз планска документа, као система са стратешким, циљаним, интердисциплинарним, транспарентним, рационалним и сврсисходним циљевима мора бити намењено за равноправно коришћење и учествовање свих категорија корисника у крајњем циљу заштите животне средине. Подразумева: укључивање јавности, приступачност садржајима, праћење развоја градова и саобраћајних потреба, препознавање и фаворизовање предности шинског, бицикличког и пешачког саобраћаја у најширем смислу, стимулисање еколошких превозних средстава, тј. е-возила, бицикала на електро погон, давање приоритета масовном јавном превозу путника, примену рестриктивних мера за возила у урбаним зонама, све већу потребу за уређењем области дигитализације у свим системима и њихову повезаност у циљу добијања информација и смањења непотребног кретања, пркирања и броја људи у саобраћају (рад, куповина и сл. од куће, електронска размена поште, достава поште, хране и сл. бициклима), увођење напредних дигиталних технологија као подршке систему у надзору, контроли и управљању система, развој интелигентних транспортних система и др.. Пажња се мора посветити изградњи и уређењу треминуса за председање путника са једног на други вид превоза, паркинг просторима, а посебно за бициклички саобраћај, односно местима на којима се могу изнајмити-делити бицикли („city bike sharing system“). Најзначајнији инфраструктурни објекти за развој мобилности у градовима су пре свега метро и железничка инфраструктура, мостови, тунели, нове саобраћајнице које омогућавају већи проток саобраћаја, бицикличке стазе, пешачке зоне и стазе, пешачко-бицикличке стазе, бицикличке траке и сл. Посебну пажњу код пројектовања у градовима би требало обратити на инвалидна лица и њихову могућност кретања, као и на чињеницу да се у трупцу улице и тротоарима за разлику од државних путева смешта сва остала канализација, због чијег одржавања се ремети коловозни застор и одвијање саобраћаја, а утиче и на редовно одржавање општинских путева и улица. За разлику од државних путева, на општинским путевима и улицама је знатно више пешака и бициклиста на путу, те је стога у пројектовању и техничком регулисању саобраћаја кроз примену алата безбедности саобраћаја неопходно безбедно омогућити интеграцију саобраћајних површина намењену свим корисницима. Примена саобраћајне сигнализације у градовима на улицама захтева више пројектантског изазова из разлога и потребе да се различити захтеви уваже и помире, као и да честе измене животних ситуација становника утичу на чешћу потребу за пројектовањем.

## 3. СИСТЕМ ЈАВНОГ ПРЕВОЗА ПУТНИКА

Јавни превоз путника у свим европским земљама, а нарочито у Републици Србији у градовима, представља и даље процентуално најзаступљенији начин кретања људи, узимајући у обзир миграције становништва, константан прилив људи у градове и све старију старосну структуру. При томе око 96% свих путника чине дневни мигранти и то у урбаним подручјима. Око две трећине свих путовања се обавља јавним градским или приградским превозом путника, док остатак чине међуградска кретања. Главни изазов у урбаним насељима у којима организовано функционише јавни градски превоз представљају трошкови због потреба за обнављањем и модернизацијом возног парка, дигитализацијом система са циљем пружања одговарајућег нивоа услуге корисницима, а све у коначном циљу заштите животне средине. У градовима се потреба за јавним превозом значајно разликује у односу на потребе и развијеност градских општина и насеља. Посебно су изазов централна градска језгра и

## Урбана мобилност као мултидисциплинарни приступ унапређењу квалитета живота у градовима

административни центри. Посебну пажњу би требало посветити захтевима одређених структура становништва, а то су рањиве категорије и то: становништво старије старосне доби којег је процентуално све више, слепим и слабовидим лицима и деци. У нашим градовима је најзаступљенији аутобуски превоз путника, пре свега због недостајуће шинске инфраструктуре, стандарда друштва и створених навика.

Развој и унапређење јавног превоза у развијеним градовима подразумева изградњу и развој метроа и осталог шинског превоза путника: локално-приградског шинског превоза путника, развој и унапређење система тролејбуског и трамвајског превоза који мора бити повезан и усклађен са аутобуским, односно бицикличким саобраћајем и пешачењем.



**Слика бр.1** градски метро-победнички дизајн воза Сигурност

*Извор: Презентација Организација јавног линијског превоза путника у Београду, Секретаријат за јавни превоз*

Развој и обавезе у јавном градском аутобуском превозу путника подразумевају пре свега замену аутобуса на дизел гориво са еколошким, постављање станица за напајање е-аутобуса, повећање возног парка тролејбуса и трамваја, дигитализацију система превоза која укључује управљање и одржавање, као и дигитализацију система јавног превоза са корисницима и осталим органима у граду у вези са превозом. Проширење и одређење путне мреже за нове линије, успостављање нових линија, пружање квалитета у нивоу услуге (тачност, удобност, могућност превоза бицикала у и на истим и сл.) само су неки од циљева унапређења и модернизације. Техничким регулисањем саобраћаја мора се дати приоритет за кретање јавног градског превоза путника, такси возилима, бициклима и пешацима. Једна од мера је модернизација рада светлосне саобраћајне сигнализације кроз адаптивилно управљање саобраћајем на улицама, где се на основу константне обраде података са терена у реалном времену даје приоритет одређеним категоријама учесника у саобраћају у циљу оптимизације нивоа услуге. У овим случајевима и возила јавног превоза имају опрему којом се најављује и детектује њихово присуство у систему и даје приоритет на раскрсницама. У циљу стимулација овог вида превоза морају се донети дестимулативне мере за возила, посебно у градским језгрима развијених градова. Са мањим бројем возила паркинг простори у градским језгрима се могу преуредити у зелене оазе и паркове.



**Слика бр.2** Еколошка возила-успостављен „Врабац“ сервис у пешачкој зони

Све наведене позитивне мере, дигитализација, развој система еколошких возила који су у спрези, већи број трамваја и тролејбуса, развој железнице и шинских возила су у циљу развоја јавног превоза путника као најзаступљенијег вида превоза у градовима значајно доприносе заштити животне средине.

#### **4. БИЦИКЛИСТИЧКИ САОБРАЋАЈ**

Развој и заступљеност у коришћењу бицикличког саобраћаја је повезан пре свега са традицијом и установљеним квалитетом и културом живљења, али се мора и иницирати глобална измена навика, применом едукације и мера које ће привући кориснике у циљу бенефита по здравље организма директно, односно индиректно у циљу заштите животне средине. Израда планских докумената, измена и допуна постојећих прописа који се односе на бициклички саобраћај и оправдани развој бицикличке инфраструктуре су кључни и полазни основ. Такође, полазни основ за унапређење ове области су и документи Нацрт Стратегије развоја бициклизма у Републици Србији од 2022. до 2026. године и Смернице за развој бициклирања у Републици Србији, које дефинишу најшире и најобухватније области и активности везане за коришћење бицикла као превозног и рекреативног средства, неопходне за његово егзистирање и развој.

У циљу постизања безбедности саобраћаја у овој области потребно је напоредно радити на измени закона којима се ближе уређују области планирања, путева, безбедности саобраћаја, као и свих осталих у блиској вези и то: туризма, здравства, просвете и др.. Национално законодавство код измена и допуна законодавног оквира за развој и унапређење бицикличке инфраструктуре прилагођене бицикличким за све врсте возњи треба да поштује принцип „специфичитета“ у креирању циљева и мера који би требало да „рефлектују карактеристике земље“, односно да у сваком аспекту одлуке уваже постојеће услове и специфичне потребе наше популације, како би се до 2050. године постигли резултати у овој области. Доношење прописа би требало да, узимајући у обзир чињеницу да у постојећем стању у Републици Србији нису све области исто развијене и дефинисане у области бициклирања, јер се поједине традиционално вишедеценијски баве истим, допринесе и униформности у раду јединца локалне самоуправе.

У изградњи бицикличке инфраструктуре на било ком нивоу потребно је да се „устали пракса“ да се прво почиње са развојем Плана, да се на истим мора радити и мењати их на начин да претходе изградњи и буду у складу са реалним и одрживим развојним потребама, узимајући у обзир прописану хијерархију планске документације. У подели бицикличких рута по надлежностима на државном и локалном нивоу, учешће доприноси и развоју бициклирања од стране јединица локалних самоуправа од изузетног је значаја према обиму мреже из њене надлежности. Многа европска истраживања су показала да је време путовања бициклом идентично укупном времену путовања аутомобилом у градовима који имају адекватну бицикличку инфраструктуру, за коју су потребна значајно мања средства за изградњу и одржавање у односу на остале.

Појава бицикала на електрични погон, као и широк спектар различитих врста бицикала на тржишту који су прилагођени захтевима корисника је утицала на масовније опредељење учесника у саобраћају за бицикл као превозно средство. Истраживањима утицаја вожње бицикла по здравље људи, утврђено је да бициклисти дуже живе (чак 2 и више година у односу на оне који не возе) и да вожња бицикла укључује и активира рад свих мишића у организму.

Бициклизам: иницира развој туризма, трговине и привреде, посебно малих породичних мануфактура и фирми, чиме се остварује шанса за развој села, као и недовољно развијених регија и останак млађе популације на селу и сл., утиче на смањене угљен монооксида у атмосфери, као и осталих гасова са ефектом стаклене баште, даје допринос одрживом развоју транспорта, повећањем удела бицикличког саобраћаја у саобраћајној структури, омогућава смањење увоза нафте и нафтних деривата, подстиче родну равноправност (чест је случај, посебно у неразвијеним регионима да моторно возило, које је породично у домаћинству, буде регистровано на мушкарца који га и највише и користи), а куповином бицикала у породици право власништва би се променило у корист жена, избором јефтинијег и приступачнијег превозног средства, омогућава инклузију рањивих група и доступан је сиромашнијим слојевима друштва, подстиче развој социјалне свести друштва (дружење, бицикличке групе, излети, окупљање, манифестације и приредбе на путу, организовање обиласка туристичких тура где се вози у групама, дечије екскурзије бициклом и др.). Применом олакшица за бициклисте, омогућава се повећање профита предузећима и установама које их омогућују. Отварање јавних сервиса, држање часова обука и сл., омогућавају се нова радна места и шанса за смањење незапослених лица. Развојем бициклирања подстиче се боља продаја бицикала и опреме и омогућава

се већи број и развој предузећа који их продају. Бројним кампањама и активностима у наредним годинама би требало да се утиче на свест грађана и искорене погрешна материјална схватања живота од којих је и схватање да је аутомобил поред превозног средства и статусни симбол.

Допуна Закона о путевима би требало да се односи пре свега на прописивање правног статуса бицикличких путева, њихових категорија и подела према положају у простору, након чега би се у допуни прописа ближе уредила и установила правила и обавезе у вези са управљањем, одржавањем, заштитом и сл., као и бројне допуне у пројектовању бицикличких путева у грађевинском и саобраћајном смислу, кроз измену закона, подзаконских акта, стандарда, приручника за пројектовање, упутстава и др. Након горе наведене допуне закона која је основ, посебну пажњу би требало обратити на прописивање одржавања и заштите бицикличког пута. Потребно је прописати начин одржавања за бицикличку стазу, јер је она независтан пут и сходно томе, управљач пута би требало да се обавезе на све врсте одржавања: редовно одржавање (ту се убрајају и обавезе у вези зимске службе), рехабилитација и ургентно одржавање, јер су то иначе прописане обавезе за управљаче пута на државном и локалном нивоу за путеве из њихове надлежности у складу са Законом о путевима. Код прописивања заштите о путу унети у сарадњи са надлежним органима за заштиту животне средине обавезе и добре препоруке у вези „зелених стаза, односно коридора“. Зелене стазе су рекреативне стазе у природном окружењу на постојећим путевима у природном пејзажу и не подразумевају бицикличку инфраструктуру и требале би бити у надлежности јединица локалне самоуправе као врста некатегорисаних бицикличких путева. На њима се може пешачити, јахати и сл.. Оне би се могле класификовати и као некатегорисане туристичке, а могу се на тај начин у њих уврстити и стари насипи, напуштене железничке пруге и сл..



**Слика бр.3** Еколошка возила-успостављен „Врабац“ сервис у пешачкој зони

*Извор: Презентација Организација јавног линијског превоза путника у Београду, Секретаријат за јавни превоз*

Вођење евиденције о бицикличким путевима и бројање бицикличких саобраћаја би такође било обавезујуће за управљача пута у складу са прописом. Лица која законом буду обавезана да управљају овим путевима би требало да обезбеде и вршење стручног надзора над појединим категоријама бицикличког пута. Пажњу би требало посветити и члановима прописа који се односе на казнене одредбе у случајевима понашања бициклиста, пешака и других учесника саобраћаја на бицикличком путу, који су супротни закону, чиме би се обезбедила средства у буџету. Прописом би требало уредити и обавезе код укрштања различитих категорија ових путева. У грађевинском смислу би требало прописати обавезе у вези начина изградње бицикличке стазе, а посебно када је она међународни пут, где би требало прописати начин изградње: попречни и подужни нагиб, материјал, радијусе кривине, одводњавање, и др. Потребно је прописати и мере забране одређених активности по бицикличком путу. Уколико бициклички пут пролази кроз насеље, то је посебна област која овим прописом би требало да буде допуњена и одређена, као и надлежности и процедуре над бицикличким путем кроз насеље. У области посебних услова изградње и реконструкције јавних путева би требало прописати недостајуће услове и за бициклички пут. Посебно важна област из Закона о путевима, наслоњена на безбедност саобраћаја је допуна чланова закона који се односе на обавезе управљача пута да врши процене утицаја пута на безбедност саобраћаја, ревизије и провере, независну оцену утицаја пута на саобраћајне незгоде са погинулим лицима и пројекте „црних тачака“. Обавезе управљача пута би биле да обезбеди вршење ревизије бицикличког пута, које би се радиле управо у оквиру изградње истог у складу са прописом, као и провере у експлоатацији које подразумевају провере постојећег стања пута, што су иначе обавеза управљача пута за путеве из надлежности. Ревизије и провере, као и остале алате у вези безбедности саобраћаја на путу врши Стручни тим, који

је такође прописан законом. Ови алати су од великог значаја управљачу пута за доношење одлука код управљања и одржавања путева из надлежности, кроз примену стручних предлога и адекватних мера у циљу повећања безбедности саобраћаја и смањивања трошкова изазваних као последица саобраћајних незгода и у циљу превенције истих.

Измене и допуне Закона о безбедности саобраћаја на путевима су кључне за развој и унапређење постојећег стања бициклических стаза/путева и трака са аспекта безбедности саобраћаја. Овим прописом би требало дефинисати правила и услове под којим би се одређене категорије учесника у саобраћају могле наћи на бициклическом путу, обуке, провере знања и издавање документа којим се верификује успешност полагања обуке за све категорије возача, које укључују и децу, малолетна лица као и оне који возе у професионалне сврхе. Потребно је прописати е бицикле, психофизичке услове за управљање одговарајућим категоријама бицикала, категорије учесника за одговарајућу категорију бициклическог пута и бицикла, одговарајућу опрему коју би бициклиста и бицикл би требало да имају у складу са категоријом бициклическог пута у свим временским условима, програм обуке и обавезе за лица која би вршила обуке за возаче бицикала, а посебно за оне који у професионалне сврхе возе бицикл (достављачи, превоз службене поште и сл.). Када је у питању бициклическа трака као саставни постојећег коловоза пута који има своју категорију, потребно је у пропису допунити члан закона који дефинише пут, односно коловоз и додати да је бициклическа трака део пута, односно коловоза. Потребно је прописати: правила саобраћаја за бициклисте и пешаке, начин и услове за коришћење заједничке пешачко-бициклическе стазе, правила са основе безбедности саобраћаја када су у питању бициклическе стазе, а посебно што су оне и међународне, укрштаје бициклических стаза различитог ранга, укрштаје бициклиста и пешака, као и укрштаје бициклиста са моторним возилима, ограничења брзине за све категорије бициклических путева, услове претицања на двосмерним бициклическим путевима, приоритете у кретању бициклиста у односу на друге учеснике у саобраћају, а посебно на раскрсницама, односно на сигналисаним раскрсницама, приоритет важења „сталне“ и „изменљиве“ саобраћајне сигнализације на истом месту на путу, па и у случају бициклическе стазе/пута, правила у вези паркирања бицикала у зависности од места паркирања, употребу светала у бициклическом саобраћају на свим категоријама бицикала, обавезе бициклиста према пешацима као и могуће начине означавања ознакама на путу на местима преласка бициклическе траке преко коловоза, правила за превоз деце у корпама на бициклима, казне за крађу бицикала, под којим условима лица могу бити корисници изнајмљивања бицикла и опреме из јавних сервиса, контролу и непосредно регулисање саобраћаја које би требало вршити и на бициклическом путу, а посебно када су у питању приредбе и манифестације на овом путу, изнајмљивање бицикала и опреме, као и казне за непрописно понашање, правила и услове за одвијање спортских и друге приредби и манифестација у складу са категоријом бициклическог пута, начине безбедног претицања или обилажења бициклиста у и ван насеља посебно ако се узме у обзир да кретање бициклисте зависи од одржавања равнотеже и да се падови дешавају и без контакта са другим учесницима у саобраћају, правила за бициклически саобраћај у једносмерним улицама и саобраћајним тракама за возила јавног градског превоза, смртност бициклических стаза и трака, бициклически саобраћај у зонама: пешачким, зони 30, зони успореног саобраћаја, на начин да не угрожавају безбедност пешака, „бициклическе улице и коридоре у градовима“, у којим је дозвољено возити и одступити од прописаних начина у колони или метар од десне ивице коловоза. Такође, у вези са изменом Закона о безбедности саобраћаја требало би допунити и у области деликтне одговорности Кривични законик, Закон о прекршајима у смислу грађанске одговорности, Закон о облигационим односима и Породични закон у вези са обавезама родитеља када су у питању деца.

Изменом Правилника о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута би требало ближе уредити област пројектовања бициклическе стазе, односно траке на мостовима, са пројектовањем разделних острва и заштитних ограда. У измени овог Правилника би требало дати смернице за пројектовање бициклическе стазе, као засебног пута, односно обавезе за пројектовање и других категорија бициклических путева. Раздављање бициклическог од моторног саобраћаја је свакако најбезбедније, али није увек могуће. У великом броју случајева у постојећем, односно наслеђеном стању је улична мрежа чији попречни профил не омогућава формирање бициклических стаза. Исто се односи и на подужни и попречни нагиб терена, висину ивицњака, као и препуста (са једне односно две стране) на коловоз бициклическог пута. Наслеђено стање може бити и када се бициклическа стаза обележава на тротоару који је намењен за кретање пешака. Чест случај у пракси је да у зонама успореног саобраћаја сви учесници у саобраћају за кретање деле исту површину. У пешачким зонама употребом саобраћајне сигнализације-допунских табли омогућено је коришћење дела зоне у бициклическе сврхе на начин да се пропише под којим условима (дефинисати дане, време од-до и сл.), а пројектантске проблеме би измена наведеног Правилника свакако у великом обиму решила.

Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају у на путевима садржи опис техничких услова за бицикл као превозно средство. Овим прописом се ближе уређује шта се сматра технички исправним возилом, јер само такво може да учествује у саобраћају. Бицикли се продају као нови или половни, са различитом техничком опремом, али не пролазе технички преглед, не региструју се и не осигуравају се од случаја незгоде, или крађе, иако је то пракса у свету. Технички исправан бицикл нуди значајно поузданију уочљивост бициклисте.

Места на путу на којима је потребно посветити пуну пажњу су укрштаји пута и пруге те је стога потребно допунити и ревидирати и Правилник о начину укрштања железничке пруге и пута, пешачке или бицикличке стазе, месту на којем се може извести укрштање и са бицикличким путем и мерама за осигурање безбедног саобраћаја. Изменом Закона би требало прописати правни основ за доношење новог Правилника којим би се ближе уредила област бициклирања, што укључује и саобраћајну сигнализацију у овој области, која би у том случају требало да се искључи из постојећег Правилника о саобраћајној сигнализацији.

Доношење посебног Правилника за овако широку и важну област би било јако корисно, у циљу каснијег лакшег праћења измена и допуна, јер ће се бициклизам развијати и пропис мора да прати нове захтеве и трендове у овој области. Посебан акценат би требало дати на униформности саобраћајне сигнализације на међународној бицикличкој (DCRN) мрежи која мора бити препознатљива за међународног возача у свим земљама чланицама. Измена и допуна саобраћајне сигнализације би подразумевала: допуну саобраћајних знакова и допунских табли, допуну ознака на путу, односно бицикличком путу која укључује између осталог прописивање коефицијената ретрорефлексије ознака на бицикличкој стази/путу у зависности од ранга исте, водећи рачуна да ли постоји јавна расвета, светлосну саобраћајну сигнализацију намењену и бициклима, додатну опрему пута која штити бициклисте од повреда у случају пада са бицикла и сл., израду недостајућих српских стандарда у овој области и груписати истих у засебну област стандарда.

### 5. ЗЕЛЕНИ КОРИДОРИ И ПОВРШИНЕ

Поред свих осталих, за развој урбане мобилности и заштите животне средине у градовима, односно урбаним срединама, а узимајући у обзир глобално загревање, потребно је развијати и уредити и „зелену инфраструктуру“. Постоје бројни добри примери у пракси у овој области којима се у урбаним срединама смањује емисија гасова са ефектом стаклене баште, утиче на смањење глобалног загревања посебно у летњим месецима, јер су температуре градова често веће од осталих у непосредној околини. Уколико емисије гасова са ефектом стаклене баште наставе да расту до краја века, очекује нас увећање просечне годишње температуре од 1 °C до 2035. године, просечно увећање за 2,1 °C до 2065. године, односно драматично повећање просечне годишње температуре за 5 °C до 2100. године.

Растом просечних годишњих температура очекују се проблеми у водоснабдевању у свету, што за последицу има угроженост живота и здравља људи (топлотни удари, смртни случајеви, нехигијена и др.), а индиректно су угрожени индустрија, привреда, пољопривреда, шумарство и сви сектори и послови чији рад зависи од воде. Као мере адаптације на ризик од високих температура наводе се: промене у понашању у комбинацији са изградњом недостајуће и проширивањем и одржавањем постојеће зелене инфраструктуре са акцентима на интервенцијама зеленила на зградама (озелењавање кровова и зидова), кроз урбанистичко планирање које сада мора да одговори и на топлотне ризике кроз обнову, проширење и повезивање заштићених зона за екосистеме. Кроз прописе и планове ову област је потребно уредити у циљу одрживости наших градова у климатској кризи. План генералне регулације система зелених површина у циљу деловања еколошких мера смањења утицаја климатских промена на град, мора као еколошку меру предвидети и еколошки индекс. Њиме се одржава добар ниво еколошког комфора и биодиверзитета при изградњи нових објеката и комплекса који се последњих 30 година примењује у европским и светским градовима. Он је сложени урбанистички показатељ чија задата вредност се постиже комбинацијом различитих еколошких урбанистичких параметара (површине пропустљиве и непропустљиве за ваздух и воду које садрже или не зеленило, полупрозорне површине пропустљиве за воду и ваздух, зелене површине на подземном објекту, зелене површине у директном контакту са тлом, инфилтрација атмосферских вода, озелењавање кровова или зидова зграда). За сваки План је потребно је да се утврди: листа релевантних еколошких урбанистичких параметара, тежински фактори за сваки од тих урбанистичких параметара (у односу на то колико доприноси смањењу загађења ваздуха, биодиверзитету, адаптацији на климатске промене, или другим циљевима постављеним од стране локалне самоуправе) и циљну тј. захтевану вредност укупног еколошког индекса коју би требало постићи кроз урбанистичко-архитектонско решење, односно постићи еколошки комфор. Циљна вредност еколошког индекса варира за различите типове градње, односно може се примењивати за цео град.

У граду Београду 94,4% грађана чисту животну средину сматра најважнијом вредношћу за будући развој града, а да је потребно веће присуство зеленила у граду сматра 84,8% грађана.

Зелене и еколошки функционалне површине на нивоу парцеле пружају бројне користи:

- смањују отицај атмосферских вода при екстремним падавинама и штите од поплава;
- кроз складиштење и биолошку прераду воде могу допринети уштедама-циркуларном употребом,
- смањују загађење ваздуха,
- снижавају температуре и ублажавају ефекат топлотних острва,
- озелењени зидови и кровови продужавају век трајања кровова и фасаде,
- у комбинацији са соларним панелима подижу ефикасност истих,
- могу пружити могућност производње органске хране,
- подижу вредност непокретности,
- доприносе термалној и акустичној изолацији објекта,
- позитивно утичу на биодиверзитет,
- позитивно утичу на физичко и ментално здравље грађана и социјализацију.



**Слика бр.4** „Darla Nickel & Wenke Schoenfelder & Dale Medearis & David P. Dolowitz & Melissa Keeley & William Shuster, 2014. *"German experience in managing stormwater with green infrastructure," Journal of Environmental Planning and Management, Taylor & Francis Journals, vol. 57(3), pages 403-423, March*  
Извор: Могућности примене еколошког индекса у планирању Београда, Центар за експерименте и урбане студије-ЦЕУС, март 2022. године



**Слика бр.5** „Objekti Bosco Verticale (Vertikalna šuma) u Milanu - intervencije i na parceli, i na objektima,  
Izvor: [www.stefano-boeriarchitetti.net](http://www.stefano-boeriarchitetti.net)“

Извор: Могућности примене еколошког индекса у планирању Београда, Центар за експерименте и урбане студије-ЦЕУС, март 2022. године

Све више студија указују на значај утицаја зеленила на здравље становништва, а посебно у урбаним срединама на смањење депресије и анксиозности (боравак у парковима је почео да се званично



## Урбана мобилност као мултидисциплинарни приступ унапређењу квалитета живота у градовима

користи у здравствене терапеутске сврхе, а посебно код становништва које нема друге опције и могућност за путовање и боравак у природи, на селу и сл.).

Зеленим коридорима могуће је обезбедити и визуелно одвојити бициклички саобраћај од осталог, као и стазе за пешаке, шеталишта, пешачке зоне, вежбалишта, игралишта и одморишта на отвореном и сл.



**Слика бр.6** „Приказ дела зеленог коридора којим се раздвајају бицикличка и пешачка стаза“  
Извор: Интернет

Такође, зелени коридори имају велики значај и за остале јавне путеве и могу допринети као брана од загађења и буке од возила, становништву које живи уз исте.



**Слика бр.7** „Приказ дела аутопута и зеленог коридора“  
Извор: Интернет

Развој зелене инфраструктуре је подједнако значајан и важан као и све остале и у прописима је дефинисан у области заштите пута. У историји путне инфраструктуре ова инфраструктура је постојала уз пут и штитила возила од наноса снега, ветра, околине од утицаја пута. У градовима она има посебан саобраћајни значај у раздвајању саобраћајне од осталих површина, за раздвајање бицикличких и пешачких површина, велику примену имају на крововима и зидовима зграда и сл. Уклапање различитих врста зеленила, одабир садница, визуелни и естетски значај су посебно значајни за градове. Развој зелене инфраструктуре се пројектује и има позитиван утицај на биодиверзитет у градовима.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Брига о животној средини је са гледишта нашег друштва приоритет од свеукупног значаја за друштво. Здрава животна средина је основ за очување људске егзистенције, здравог развоја друштва и битан фактор за квалитетан ниво живота становништва.

Израда недостајућих и допуна постојећих прописа су кључни и почетни услов.

Уколико се не предузму фазни кораци у стратешкој трансформацији саобраћајног система у спрези са трансформацијом и осталих система, као и стратешки утицај на промену ставова и навика становништва и учесника у саобраћају, градови прете да озбиљно угрозе животну средину својим негативним ефектима на квалитет живота.

Подизање нивоа свести јавности, промоције, кампање, едукације, нови пројекти, подстицајне мере, развој и водног јавног превоза путника су нека од решења.



**Слика бр.8 „Речни превоз путника“**

*Извор: Презентација Организација јавног линијског превоза путника у Београду, Секретаријат за јавни превоз*

Такође, значајан је и естетски значај разоја, интеграције и унапређења свих поменутих инфраструктура у циљу развоја туризма који је у блиској вези са саобраћајем и привлачења туриста у нашу земљу.

## ЛИТЕРАТУРА

- Стратегија одрживог урбаног развоја Републике Србије до 2030. године („Сл. гласник РС“, бр. 47 од 28. јуна 2019. године)
- План одрживе урбане мобилности за град Београд
- Закон о безбедности саобраћаја на путевима ("Сл. гласник РС", бр. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - одлука УС, 55/2014, 96/2015 - др. закон, 9/2016 - одлука УС, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - др. закон, 87/2018, 23/2019 и 128/20 - др. закон)
- Правилник о саобраћајној сигнализацији („Службени гласник РС“, број 86/17 и 14/2021)
- Закон о путевима („Службени гласник РС“, бр. 41/2018 и 95/2018 - др. закон)
- Закон о планирању и изградњи („Сл. гласник РС“, бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС, 98/2013 - одлука УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - др. закон, 9/2020 и 52/21)
- Могућности примене еколошког индекса у планирању Београда, Центар за експерименте и урбане студије-ЦЕУС, март 2022. године
- Мали каталог природом инспирисаних решења, Центар за експерименте и урбане студије-ЦЕУС, септембар 2022. године
- Стратегија развоја јавног линијског транспорта путника на територији града Београда за период до 2033. године са пресеком 2027. године
- Смарт план саобраћајне инфраструктуре Београда-Смарт план 2021-2027-2030

## PRIMENA FUZZY LOGIKE I GIS-A U ODREĐIVANJU PRIORITETA ZA SPROVOĐENJE MERA ZAŠTITE SAOBRAĆAJNICA OD BUJIČNIH POPLAVA

Ivan Novković<sup>1</sup>, Slavoljub Dragičević<sup>2</sup>, Stanimir Kostadinov<sup>3</sup>, Miroljub Milinčić<sup>4</sup>, Jovana Munjas<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, ivan.novkovic@gef.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, slavoljub.dragicevic@gef.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, stanimirkostadinov@mts.rs

<sup>4</sup> Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, miroljub.milincic@gef.bg.ac.rs

<sup>5</sup> Institut za puteve AD Beograd, joshka011@gmail.com

**Rezime:** Bujične poplave predstavljaju jednu od najznačajnijih prirodnih nepogoda za teritoriju Republike Srbije, a usled klimatskih promena povećavaju im se učestalost i intenzitet. Zbog toga raste i rizik po stanovništvo i materijalna dobra, pa su i saobraćajnice sve više ugrožene ovom nepogodom. Kako bi se posledice bujičnih poplava na saobraćajnicama svele na minimum, neophodno je sprovođenje odgovarajućih mera. U ovom radu prikazano je rangiranje deonica saobraćajnica prema prioritetu za primenu pomenutih mera. Istraživane su deonice državnih puteva I B reda, koje prolaze kroz teritorije gradova Bora i Zaječara, odnosno 21 deonica državnih puteva 35, 36 i 37, ukupne dužine 159 kilometara. Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da na tim deonicama postoji 77 preseka sa rekama, od čega je na čak 65 utvrđena visoka ugroženost bujicama. Pri rangiranju uzeti su u obzir kvantitativni kriterijumi – broj i procenat preseka deonica sa rekama na kojima je utvrđena visoka ugroženost, dužina deonica i broj stanovnika uz deonice, kao i kvalitativni – značaj državnog puta, značaj deonice i stanje propusta/mostova na mestu preseka puta i reke. Primenom GIS-a dobijene su vrednosti kvantitativnih kriterijuma za svaku deonicu, a kvalitativni su vrednovani trougaonim fuzzy brojem. Zatim su primenom fuzzy analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) utvrđeni težinski koeficijenti koje nosi svaki od kriterijuma, da bi se uz pomoć fuzzy MULTIMOORA metode izvršilo rangiranje deonica na osnovu utvrđenih kriterijuma.

**Ključne reči:** Bujične poplave, državni putevi, deonice, Geografski informacioni sistemi, fuzzy AHP, fuzzy MULTIMOORA.

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC AND GIS IN DETERMINING PRIORITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF PROTECTION MEASURES AGAINST TORRENTIAL FLOODS ON ROADS

Ivan Novković<sup>1</sup>, Slavoljub Dragičević<sup>2</sup>, Stanimir Kostadinov<sup>3</sup>, Miroljub Milinčić<sup>4</sup>, Jovana Munjas<sup>5</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade – Faculty of Geography, ivan.novkovic@gef.bg.ac.rs

<sup>2</sup> University of Belgrade – Faculty of Geography, slavoljub.dragicevic@gef.bg.ac.rs

<sup>3</sup> University of Belgrade – Faculty of Forestry, stanimirkostadinov@mts.rs

<sup>4</sup> University of Belgrade – Faculty of Geography, miroljub.milincic@gef.bg.ac.rs

<sup>5</sup> Highway Institute AD Belgrade, joshka011@gmail.com

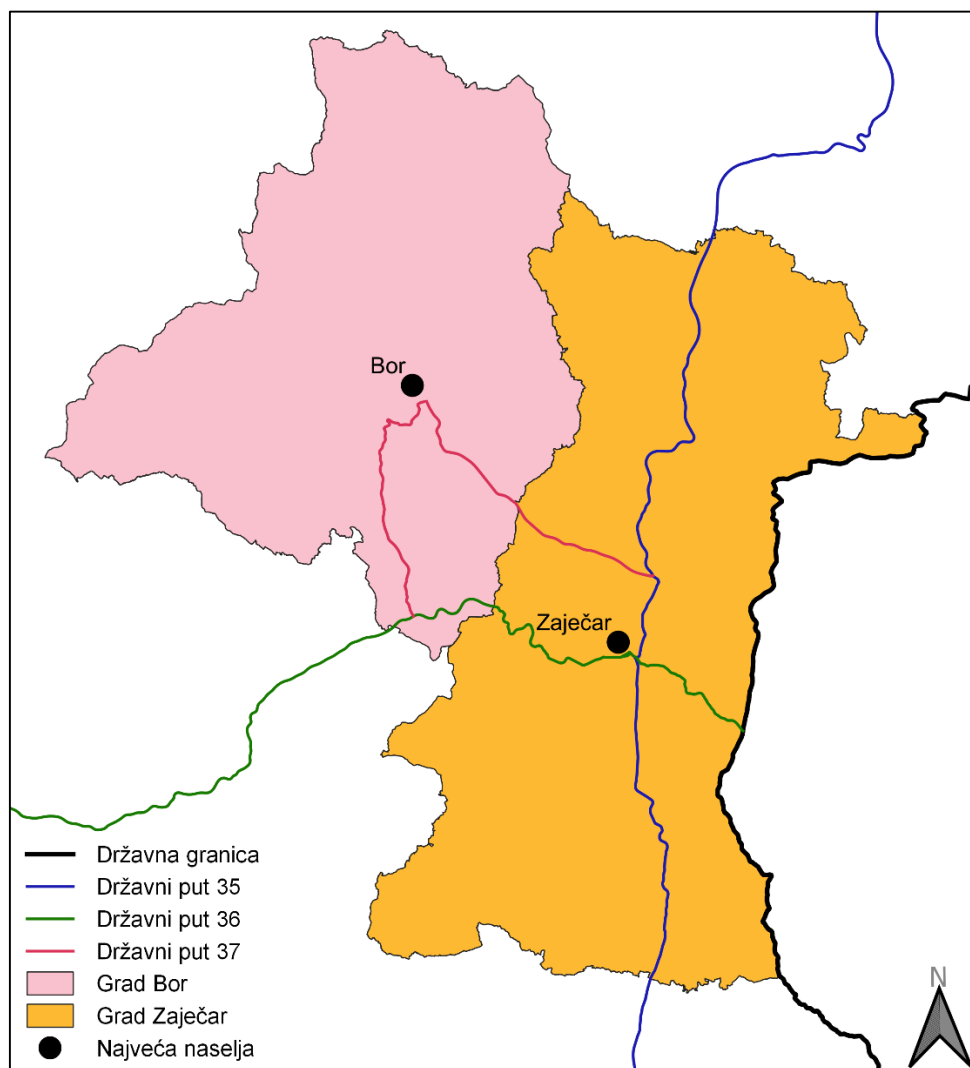
**Abstract:** torrential floods represent one of the most significant natural disasters for the territory of the Republic of Serbia, and due to climate change, their frequency and intensity are increasing. Because of this, the risk to the population and material goods is increasing, therefore the roads are also increasingly threatened by this disaster. In order to minimize the consequences of torrential floods on roads, it is necessary to implement appropriate measures. This paper shows the ranking of road sections according to priority for the implementation of the mentioned measures. Sections of state roads of class I B, which pass through the territories of the cities of Bor and Zaječar, that is, 21 sections of state roads 35, 36 and 37, with a total length of 159 kilometers, were investigated. Previous research has determined that there are 77 intersections with rivers on those sections, of which 65 have been found to be highly vulnerable to flash floods. Quantitative criteria were taken into account during the ranking - the number and percentage of intersections with rivers where high risk was determined, the length of the sections and the number of inhabitants along the sections, as well as qualitative criteria - the importance of the state road, the importance of the section and the condition of culverts/bridges at the intersection of the road and rivers. Using GIS, the values of the quantitative criteria were obtained for each section, and the qualitative criteria were evaluated with a triangular fuzzy number. Then, by applying the fuzzy analytical hierarchical process (AHP), the weighting coefficients for each of the criteria were determined, and with the help of the fuzzy MULTIMOORA method ranking of sections based on the established criteria was carried out.

**Keywords:** Flash floods, state roads, sections, Geographic Information Systems, Fuzzy AHP, Fuzzy MULTIMOORA.

## 1. UVOD

Bujične poplave predstavljaju jednu od najznačajnijih prirodnih nepogoda za teritoriju Republike Srbije. Izazivaju velike materijalne gubitke, a neretko i stradanje ljudi. Usled klimatskih promena povećavaju im se učestalost i intenzitet. Zbog toga raste i rizik po stanovništvo i materijalna dobra, pa su i saobraćajnice sve više ugrožene ovom nepogodom, koja može izazvati i višenedeljne prekide saobraćaja na pojedinim deonicama. Kiše velikog intenziteta i naglo otapanje snega u gornjim delovima rečnih slivova najčešći su uzročnici bujičnih poplava, a ogromna količina vode koja se sliva u rečna korita ima veliku kinetičku energiju. Ove poplave predstavljaju nagli nadolazak vode u rečnom koritu, opterećene visokom koncentracijom čvrste faze nanosom koji rezultira izlivanjem iz korita, a voda u bujičnim tokovima dostiže brzinu i 10 metara u sekundi, povlačeći sa sobom ogromnu količinu nanosa koji nastaje kao posledica delovanja erozivnih procesa [1]. Bujični tok je koncentrisani vodeni tok ogromne destruktivne moći koji ostavlja pravi haos u životnoj sredini [2], naseljima, kao i saobraćajnicama, pa se tretira kao prirodni hazard koji se uvek ponavlja i zahteva sofisticiranije mere upravljanja [3].

Kako bi se posledice bujičnih poplava na saobraćajnicama svele na minimum, neophodno je sprovođenje odgovarajućih mera, koje se sprovode na čitavoj teritoriji rečnih slivova, ali i na samim saobraćajnicama. U nekim slučajevima je potrebno da se izdvoje prioritete deonice kako bi se na njima najpre sprovele neophodne mere ili da se izvrši rangiranje deonica u odnosu na prioritet za sprovođenje mera zaštite od bujičnih poplava. U ovom radu će upravo biti izvršeno rangiranje deonica državnih puteva I B reda, koje prolaze kroz teritorije gradova Bora i Zaječara, odnosno 21 deonica državnih puteva 35, 36 i 37 (tabela 1), ukupne dužine 159 kilometara. Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da na tim deonicama postoji 77 preseka sa rekama, od čega je na čak 65 utvrđena visoka ugroženost bujicama [1].



**Slika 1.** Karta istraživanog prostora i puteva  
Izvor: Autori

**Tabela 1. Istraživane deonice državnih puteva 35, 36 i 37**

Deonica	Početak	Završetak
03509	Bukovo	Salaš
03510	Salaš	Rgotina
03511	Rgotina	Vražognac (Bor)
03512	Vražognac (Bor)	Vražognac
03513	Vražognac	Zaječar (Zvezdan)
03514	Zaječar (Zvezdan)	Zaječar (Veliki Izvor)
03515	Zaječar (Veliki Izvor)	Zaječar (Vrška Čuka)
03516	Zaječar (Vrška Čuka)	Vratarnica
03517	Vratarnica	Minićevo (Vitkovac)
03518	Minićevo (Vitkovac)	Minićevo (Debelica)
03607	Valakonje	Selište
03608	Selište	Gamzigradska Banja
03609	Gamzigradska Banja	Gamzigrad
03610	Gamzigrad	Zvezdan
03611	Zvezdan	Lubnica
03612	Lubnica	Zaječar (Šljivar)
03613	Zaječar (Šljivar)	Zaječar (Vrška Čuka)
03614	Zaječar (Vrška Čuka)	granica SRB/BUG (Vrška Čuka)
03701	Selište	Brestovac
03702	Brestovac	Bor
03703	Bor	Vražognac (Bor)

Izvor: [https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/3.2.2\\_primarne\\_saobracajne\\_deonice\\_IBreda.pdf](https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/3.2.2_primarne_saobracajne_deonice_IBreda.pdf)

Deonice puteva se nalaze u slivu reke Timok, poslednje (desne) pritoke Dunava u Srbiji, površine 4.530 km<sup>2</sup>. Dolina reke Timok, doline njenih sastavnica, Belog i Crnog Timoka i ostalih većih tokova u slivu imaju veoma važnu saobraćajnu funkciju. Dolina Timoka je prirodni put za komunikaciju sa Bugarskom [1]. Na teritoriji sliva Timoka registrovano je 812 bujičnih tokova [4]. Po broju registrovanih bujičnih poplava, sliv reke Timok je na šestom mestu u Srbiji, sa 40 zabeleženih događaja i više od 21 žrtve. Po broju registrovanih nastradalih, sliv reke Timok je na drugom mestu, odmah posle sliva reke Južne Morave [5].

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Rangiranje istraživanih deonica po prioritetu sprovođenja mera zaštite od bujičnih tokova izvedeno je primenom fuzzy logike uz pomoć Geografskih informacionih sistema. Prvi korak u analizi je izdvajanje kriterijuma na osnovu kojih će rangiranje biti izvršeno. Kriterijumi mogu biti pozitivni, kod kojih će prioritet biti veći što je veća i njihova vrednost i negativni, kod kojih je situacija obrnuta. Kriterijum koji su za potrebe ovog rada uzeti u obzir su: stanje propusta/mostova na mestu preseka reka i državnih puteva, broj preseka na kojima je prethodnim istraživanjima utvrđena visoka ugroženost bujičnim poplavama, procenat preseka na kojima je utvrđena visoka ugroženost bujičnim poplavama u ukupnom broju preseka, značaj puta, značaj deonice, dužina deonice, kao i broj stanovnika koji živi uz deonice (tabela 2). Kriterijumi mogu biti kvantitativni, kod kojih će se vrednosti izražavati odgovarajućim jedinicama mere, do kojih se došlo analizom geoprostornih podataka putem GIS-a, kao i kvantitativni, čija se vrednost izražava trougaonim fuzzy brojem. U ovom slučaju korišćen je trougaoni fuzzy broj koji predstavlja osnovnu komponentu fuzzy sistema [6].

**Tabela 2. Kriterijumi za rangiranje i njihovi težinski koeficijenti**

Broj	Kriterijum	Jedinica	Pozitivan/negativan	Težinski koeficijent
1	stanje propusta/mostova	fuzzy broj	negativan	0,2396
2	broj preseka visoke ugroženosti	ceo broj	pozitivan	0,2013
3	procenat preseka visoke ugroženosti	%	pozitivan	0,1796
4	značaj puta	fuzzy broj	pozitivan	0,1500
5	značaj deonice	fuzzy broj	pozitivan	0,1176
6	dužina deonice	km	pozitivan	0,0787
7	broj stanovnika	ceo broj	pozitivan	0,0332

Izvor: Autori

### 2.1. Fuzzy analitički hijerarhijski proces (AHP)

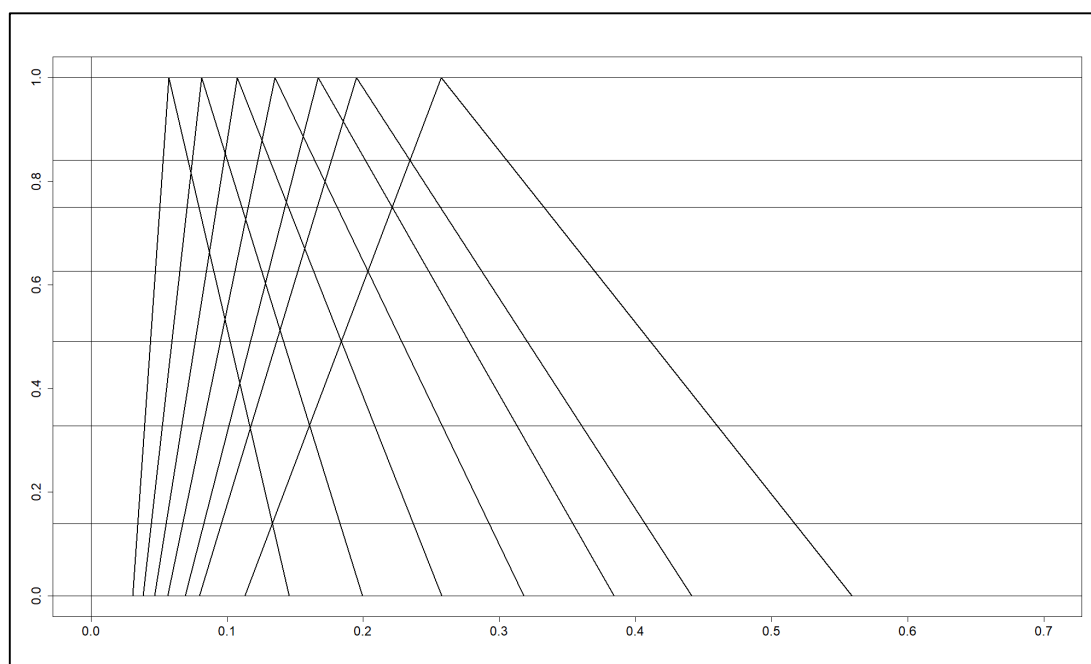
S obzirom da nisu svi kriterijumi jednakog značaja, neophodno je dodeljivanje težinskih koeficijenata kriterijumima, što je izvršeno putem fuzzy analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Fuzzy AHP je tehnika uključivanja nejasnoće ljudskih misli u donošenje odluka [7]. U fuzzy AHP modelu, kombinacija AHP i fuzzy

skupova se koristi za dodeljivanje težina odgovarajućim faktorima [8]. Prva faza fuzzy AHP metode uključuje kreiranje fuzzy matrice poređenja kriterijuma. Nakon toga, potrebno je izračunati vrednost sintetičkog fuzzy proširenja za svaki element [9]. Dalje se analizira stepen mogućnosti da je konveksni fuzzy broj datog kriterijuma veći od konveksnog broja ostalih kriterijuma [10]. Iz prethodnog koraka proizilazi vektor težine, a kroz normalizaciju vektor se svodi na oblik težinskog koeficijenta [11].

**Tabela 3.** Fuzzy matrica poređenja kriterijuma

Kriterijumi	1	2	3	4	5	6	7
1	1;1;1	0,5;1,5;2,5	0,6;1,6;2,6	0,7;1,7;2,7	0,8;1,8;2,8	1;2;3	1,5;2,5;3,5
2	0,4;0,67;2	1;1;1	0,5;1,5;2,5	0,6;1,6;2,6	0,7;1,7;2,7	0,8;1,8;2,8	1,2;2,2;3,2
3	0,38;0,63;1,67	0,4;0,67;2	1;1;1	0,5;1,5;2,5	0,6;1,6;2,6	0,7;1,7;2,7	1;2;3
4	0,37;0,59;1,43	0,38;0,63;1,67	0,4;0,67;2	1;1;1	0,5;1,5;2,5	0,6;1,6;2,6	1;2;3
5	0,36;0,56;1,25	0,37;0,59;1,43	0,38;0,63;1,67	0,4;0,67;2	1;1;1	0,5;1,5;2,5	1;2;3
6	0,33;0,5;1	0,36;0,56;1,25	0,37;0,59;1,43	0,38;0,63;1,67	0,4;0,67;2	1;1;1	0,8;1,8;2,8
7	0,29;0,4;0,67	0,31;0,45;0,83	0,33;0,5;1	0,33;0,5;1	0,33;0,5;1	0,36;0,56;1,25	1;1;1

Izvor: Autori



**Slika 2.** Grafički prikaz sintetičkog fuzzy proširenja

Izvor: Autori

Završna faza postupka predstavlja proračun konzistentnosti matrice poređenja. Matrica poređenja, kreirana korišćenjem trougaonog fuzzy broja, zahteva proces defuzzifikacije. Dalje, potrebno je izračunati stepen konzistentnosti (CR), koji predstavlja odnos indeksa konzistentnosti (CI) i slučajnog indeksa (RI), čija vrednost zavisi od broja upoređenih kriterijuma. Rezultati poređenja se smatraju konzistentnim ako je ispunjen uslov  $CR < 0,10$  [6,11]. U ovom slučaju koeficijent konzistentnosti iznosi 0,0679, što znači da je konzistentnost fuzzy matrice zadovoljavajuća.

## 2.2. Fuzzy MULTIMOORA metod rangiranja

Nakon određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma, pristupilo se rangiranju deonica puteva primenom fuzzy MULTIMOORA metode. MULTIMOORA uključuje tri ili više metoda koje kontrolišu jedna drugu i rangiraju alternative u zavisnosti od vrednosti njihovih performansi [12]. Višekriterijumska optimizacija zasnovana na analizi odnosa i primeni punog multiplikativnog oblika (Multi-objective optimization based on ratio analysis plus the full multiplicative form – MULTIMOORA) je tehnika za donošenje odluka primenom višekriterijumske analize, zasnovana na rezultatima tri metode: sistem odnosa (ratio system), pristup referentnoj tački (reference point approach) i pun multiplikativni oblik (full multiplicative form) [13]. U ovom slučaju radi se o primeni fuzzy MULTIMOORA metode, s obzirom da su težinski koeficijenti dodeljivani putem fuzzy AHP metode, a kvalitativni kriterijumi za svaku deonicu vrednovani trougaonim fuzzy brojem.

Na vrednovane kriterijume za svaku deonicu primenjuju se tri pomenute metode koje rangiraju deonice u odnosu na odabrane kriterijume, a finalni rang deonice dobija se na osnovu srednje vrednosti ranga sve tri primenjene metode. Pre primene metoda neophodno je da se izvrši normalizacija dodeljenih vrednosti deonicama za svaki kriterijum, kako bi bilo moguće poređenje vrednosti izraženih u različitim jedinicama mere i vrednosti izraženih trougaonim fuzzy brojem. Najpre se računa koeficijent za normalizaciju, koji je jednak kvadratnom korenu prosečne sume kvadrata svih vrednosti za dati kriterijum, a zatim se svaka vrednost datog kriterijuma deli sa koeficijentom za normalizaciju tog kriterijuma [12].

Kod primene fuzzy reference point approach (FRPA) metode, za svaki kriterijum, od vrednosti koje su dobijene deljenjem sa koeficijentom za normalizaciju oduzima se minimalna vrednost svih deonica, ako se radi o negativnim kriterijumima, dok se kod pozitivnih kriterijuma od maksimalne vrednosti svih deonica oduzima vrednost za datu deonicu. Tako dobijene vrednosti se množe sa težinskim kriterijumima dobijenih primenom fuzzy AHP metode i zatim se vrši njihovo poređenje, tako što se za rangiranje uzima u obzir samo najveća vrednost svih kriterijuma za datu deonicu. Prva po rangu biće deonica koja ima najmanju takvu vrednost, dok je poslednja ona sa najvećom vrednošću [12].

Kod primene fuzzy ratio system (FRS) metode, sabiraju se količnici vrednosti koje su dodeljene određenoj deonici za taj kriterijum i koeficijenta za normalizaciju, za pozitivne kriterijume, a zatim se od njih oduzima takav količnik negativnih kriterijuma. Prva po rangu za primenu mera je deonica sa najvećom vrednošću rezultata. Kod primene fuzzy full multiplicative form (FFMF) metode, množe se vrednosti pozitivnih kriterijuma za svaku deonicu, koje se zatim dele sa vrednostima negativnih kriterijuma. Prva po rangu za primenu mera je deonica sa najvećom vrednošću rezultata, kao i kod primene fuzzy ratio system metode [12].

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Broj i procenat preseka koji spadaju u kategoriju visoke ugroženosti bujicama su veoma važni u određivanju prioriteta za preduzimanje mera, zbog čega i imaju veće težinske koeficijente, 0,2 za broj propusta visoke ugroženosti (20%), odnosno 0,18 za procenat preseka visoke ugroženosti (tabela 2). Prethodnim istraživanjima analizirani su preseki deonica državnih puteva 35, 36 i 37 sa rečnim tokovima. Utvrđeno je da na tim deonicama postoji 77 preseka sa rekama, od čega je na čak 65 utvrđena visoka ugroženost bujicama [1]. Deonice 03512, 03515 i 03610 nemaju preseke sa vodotocima, pa dalje nisu uzimane u obzir pri rangiranju i vrednovanju. Najviše preseka koji spadaju u kategoriju visoke ugroženosti bujičnim poplavama postoji na deonici 03607, ukupno osam, dok sedam takvih preseka postoji na deonicama 03516, 03517 i 03608 (tabela 4). Na 14 analiziranih deonica, svi preseki sa rekama spadaju u kategoriju visoke ugroženosti bujicama [1].

**Tabela 4. Vrednovani kriterijumi za svaku deonicu**

Deonica	Stanje propusta/mostova			Broj preseka visoke ugroženosti			Procenat preseka visoke ugroženosti			Značaj puta			Značaj deonice			Dužina deonice [km]			Broj stanovnika koji žive oko deonice			
	2	3	4	5	5	5	45	45	45	2	3	4	2	3	4	20	20	20	1669	1669	1669	
03509	2	3	4	5	5	5	45	45	45	2	3	4	2	3	4	20	20	20	1669	1669	1669	
03510	2	3	4	6	6	6	100	100	100	2	3	4	2	3	4	19	19	19	2262	2262	2262	
03511	3	4	5	1	1	1	100	100	100	2	3	4	1	2	3	4	4	4	4	1452	1452	1452
03513	1	2	3	2	2	2	100	100	100	2	3	4	3	4	5	3	3	3	1096	1096	1096	
03514	3	4	5	1	1	1	100	100	100	2	3	4	3	4	5	1	1	1	15085	15085	15085	
03516	1	2	3	7	7	7	100	100	100	2	3	4	2	3	4	12	12	12	3303	3303	3303	
03517	1	2	3	7	7	7	64	64	64	2	3	4	2	3	4	13	13	13	2029	2029	2029	
03518	2	3	4	2	2	2	100	100	100	2	3	4	2	3	4	1	1	1	939	939	939	
03607	1	2	3	8	8	8	89	89	89	3	4	5	3	4	5	11	11	11	3953	3953	3953	
03608	3	4	5	7	7	7	100	100	100	3	4	5	2	3	4	7	7	7	900	900	900	
03609	3	4	5	3	3	3	100	100	100	3	4	5	1	2	3	5	5	5	983	983	983	
03611	2	3	4	2	2	2	100	100	100	3	4	5	2	3	4	3	3	3	1602	1602	1602	
03612	2	3	4	1	1	1	100	100	100	3	4	5	3	4	5	1	1	1	6392	6392	6392	
03613	2	3	4	1	1	1	100	100	100	3	4	5	3	4	5	3	3	3	19083	19083	19083	
03614	2	3	4	2	2	2	67	67	67	3	4	5	3	4	5	10	10	10	1100	1100	1100	
03701	1	2	3	6	6	6	100	100	100	1	2	3	2	3	4	15	15	15	2940	2940	2940	
03702	2	3	4	2	2	2	100	100	100	1	2	3	3	4	5	4	4	4	22784	22784	22784	
03703	2	3	4	2	2	2	100	100	100	1	2	3	2	3	4	21	21	21	12607	12607	12607	

Izvor: Autori

Najznačajniji kriterijum u rangiranju deonica u odnosu na prioritet preduzimanja mera protiv bujičnih poplava, svakako je stanje preseka puteva sa rekama, zbog čega i nosi najveći težinski koeficijent od 0,24 (tabela 2). Tretira se kao negativan kriterijum, jer što je bolje stanje preseka, to je potreba za preduzimanjem mera manja.

Rizik od bujičnih poplava se povećava usled neuređenosti korita bujičnih tokova u zoni ukrštanja sa putevima, nefunkcionalnosti propusta zbog zasutosti erozionim nanosom i raznim antropogenim otpadom, smanjenja proticajnog profila propusta usled provlačenja raznih cevi kroz propust, ostataka raznih konstrukcija u propustima, zaraslosti korita bujičnih tokova uzvodno i nizvodno od propusta i slično [1]. Najlošije stanje propusta je na deonicama 03513, 03516, 03517, 03607 i 03701, dok su najbolje ocenjeni propusti na deonicama 03511, 03514, 03608 i 03609 (tabela 4). Stanje pojedinih propusta prikazano je na slici 3.



**Slika 3.** Presek puta sa vodotokom na deonici 03607 (levo) i 03517 (desno)  
Izvor: Autori

Značaj puta je vrednovan u odnosu na važnost celokupnog puta, a ne samo istraživanih deonica, za saobraćajnu povezanost u Srbiji, kao i Srbije sa inostranstvom. Državni put 36 je vrednovan najvećim trougaonim fuzzy brojem zbog povezivanja Istočne Srbije sa Velikim Pomoravljem, kao i zbog povezivanja sa Bugarskom, dok najmanju vrednost ima državni put 37, zbog gotovo lokalnog karaktera (tabela 4). Težinski koeficijent značaja puta iznosi 0,15 (tabela 2). Značaj deonice je vrednovan na osnovu njenog značaja u istraživanom prostoru, na osnovu toga šta povezuje, tipa naselja, industrijskih i drugih delatnosti itd. Najvećom ocenom vrednovane su deonice 03513, 03514, 03607, 03612, 03613, 03614 i 03702 (tabela 4). Težinski koeficijent značaja deonice iznosi 0,12 (tabela 2).

Dužina deonice dobijena je analizom podataka pomoću GIS-a. Rangirane deonice imaju dužinu od 1,2 do 21,4 km. Što je deonica duža to bi trebao da bude veći prioritet u primeni mera, ali to ne spada u glavne kriterijume, pa je težinski koeficijent za ovaj kriterijum 0,08 (tabela 2). Broj stanovnika koji žive u okolini deonice je dobijen analizom podataka sa popisa iz 2011. godine uz pomoć Geografskih informacionih sistema. Prema tim podacima najviše stanovnika živi oko deonice 03702 – oko 22784 stanovnika grada Bora, a najmanje uz deonicu 03608 – 900 stanovnika (tabela 4). Težinski koeficijent broja stanovnika oko deonice je najmanji od svih kriterijuma i iznosi 0,03 (tabela 2).

Vrednovanjem svih kriterijuma za istraživane deonice, kao i primenom fuzzy MULTIMOORA metode izvršeno je njihovo rangiranje u odnosu na prioritet primene mera protiv bujičnih poplava. Prema fuzzy reference point approach (FRPA) metodi, najveći prioritet za primenu mera ima deonica 03607, zatim 03516 i 03517, dok su četiri deonice, 03511, 03514, 03612 i 03613 označene kao deonice sa najmanjim prioritetom (tabela 5).

Prema fuzzy ratio system (FRS) metodi najveći prioritet za primenu mera takođe ima deonica 03607, a raspored drugog i trećeg mesta je istovetan prethodnoj metodi. Poslednja po prioritetu prema ovoj metodi je deonica 03511 (tabela 5).

Prema fuzzy full multiplicative form (FFMF) metodi, kao i u prethodna dva slučaja prva po prioritetu je deonica 03607. Takođe, deonica 03516 je drugorangirana po prioritetu, kao i kod prethodne dve metode. Treća po rangju je deonica 03703 i taj rezultat se razlikuje od rezultata prethodnih metoda. Pomenuta deonica je prema FRPA metodi bila na devetom, a prema FRS metodi na osmom mestu. Deonica 03517, koja je u prethodna dva slučaja bila treća po prioritetu, primenom FFMF metode zauzima šesto mesto, kada je u pitanju prioritet za primenu mera zaštite od bujičnih poplava. Prema FFMF metodi najmanjeg prioriteta je deonica 03518 (tabela 5).



**Tabela 5.** Rangirane deonice prema prioritetu primene mera zaštite od bujičnih poplava

Deonica	FRPA	FRS	FFMF	UKUPNO
03509	6	7	9	7
03510	4	5	4	4
03511	15	18	17	18
03513	9	9	15	11
03514	15	17	12	17
03516	2	2	2	2
03517	3	3	6	3
03518	9	16	18	16
03607	1	1	1	1
03608	7	6	10	8
03609	8	15	16	14
03611	9	13	14	13
03612	15	14	13	15
03613	15	10	8	11
03614	9	12	11	10
03701	4	4	5	4
03702	9	11	7	9
03703	9	8	3	6

Izvor: Autori

Finalnim rangiranjem, koje uzima u obzir rezultate sve tri primenjene tehnike u okviru fuzzy MULTIMOORA metode, najveći prioritet za primenu mera zaštite ima deonica 03607, Valakonje – Selište, koja je prva po prioritetu prema sve tri primenjene tehnike (tabela 5). Na deonici postoji osam preseka sa rekama od kojih su svi klasifikovani u klasu visoke ugroženosti. Osim broja, na rezultat je uticalo i loše stanje većine propusta, što saobraćajnice na mestima preseka sa rekama čini još ugroženijim bujičnim poplavama. Državni put 36 je navažniji u tom delu Srbije, a i sama deonica ima veći značaj (tabela 4). To su osnovni faktori zbog kojih je pomenuta deonica prva po rangu i pored manjeg broja stanovnika koji uz nju živi, kao i srednje dužine. Deonica 03516, Zaječar (Vrška Čuka) – Vratarnica, je druga kada se posmatra ukupno rangiranje, a bila je drugoplasirana pri primeni sve tri metode. Deonica 03517, Vratarnica – Minićevo (Vitkovac) je treća u ukupnom rangiranju i pored toga što je primenom FFMF metode bila rangirana kao šesta. Poslednja prema ukupnom rangiranju je deonica 03514, što je i logično, kada se uzme u obzir da na njoj postoji samo jedan presek sa vodotocima i to most preko Crnog Timoka, u relativno dobrom stanju.

#### 4. ZAKLJUČAK

Ugroženost bujičnim poplavama je jedan od glavnih ograničavajućih faktora kada je u pitanju razvoj i korišćenje prostora, naročito kada se uzme u obzir njihova veća učestalost i intenzitet usled klimatskih promena. U takvim okolnostima sprovođenje odgovarajućih mera je od izuzetnog značaja. Osim osnovnih mera koje obuhvataju smanjenje intenziteta erozije kao jednog od osnovnih procesa koji utiče na nastanak bujičnih poplava, kao i smanjenje predisponiranosti prostora na nastanak ove nepogode, neophodno je primeniti i niz mera koje se tiču zaštite stanovništva, stambenih i drugih objekata, kao i infrastrukture. Saobraćajna infrastruktura je posebno ugrožena bujičnim poplavama, pa je primena mera zaštite saobraćajnica od bujičnih poplava od velike važnosti. Ovaj rad se nije bavio karakterom mera koje se sprovede radi zaštite od bujičnih poplava, već mu je cilj bio da odredi koje su deonice prioritete kada je u pitanju primena odgovarajućih mera.

Sliv Timoka, čiji deo predstavlja i prostor istraživanja ovog rada, jedan je od najugroženijih delova Srbije bujičnim poplavama. Zbog toga su uzete u obzir državne saobraćajnice I B reda, kao najvažnije drumske saobraćajnice u ovom delu Srbije, na teritoriji jedinica lokalne samouprave grada Bora i Zaječara. Analizirana je ukupno 21 deonica državnih puteva 35, 36 i 37, od kojih je rangirano njih 18. Nisu rangirane deonice koje nisu imale preseke sa rečnom mrežom. Primena Geografskih informacionih sistema omogućila je dobijanje adekvatnih podataka, na osnovu kojih je izvršeno vrednovanje deonica prema postavljenim kriterijumima. Primena fuzzy logike, kroz fuzzy analitički hijerarhijski proces za dobijanje težinskih koeficijenata kriterijuma i fuzzy MULTIMOORA metode za rangiranje istraživanih deonica prema postavljenim kriterijumima, omogućila je veću objektivnost istraživanja, što bi trebalo da za rezultat ima kvalitetno i optimalno smanjenje rizika od bujičnih poplava na istraživanim deonicama.

Deonice 03607, 03516 i 03517 označene su kao prioritete za primenu mera zaštite od bujičnih poplava. Metodologija koja je primenjena u ovom radu može da se koristi za rangiranje deonica i čitavih puteva u ostalim delovima Srbije, pa i šire, a za bolje rezultate trebalo bi povećati broj kriterijuma koji se koriste za rangiranje.

## Literatura

- [1] Kostadinov, S.; Dragičević, S.; Stefanović, T.; Novković, I.; Momirović, N.; Langović, M.; Radović, M. 2020. *Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava u slivu Timoka*. JP Putevi Srbije; Institut za šumarstvo; Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet. 230 p.
- [2] Borga, M.; Anagnostou, E.N.; Blöschl, G.; Creutin, J.D. 2011. Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science & Policy* 14: 834–844.
- [3] Petrović, A.; Novković, I.; Kostadinov, S. 2021. Hydrological analysis of the September 2014 torrential floods of the Danube tributaries in the Eastern Serbia. *Natural Hazards* 108(1): 1373–1387.
- [4] Gavrilović, Lj.; Dukić, D. 2002. *Reke Srbije*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd. 218 p.
- [5] Dragičević, S.; Kostadinov, S.; Novković, I.; Momirović, N.; Langović, M.; Stefanović, T.; Radović, M.; Tošić, R. 2022. *Assessment of Soil Erosion and Torrential Flood Susceptibility: Case Study – Timok River Basin, Serbia*. In Negm A., Zaharia L., Ioana-Toroimac G. (eds.): *The Lower Danube River – Hydro-Environmental Issues and Sustainability*. Springer Earth and Environmental Sciences Library, Springer, pp. 357–380.
- [6] Novkovic, I.; Markovic, G. B.; Lukic, Dj.; Dragicevic, S.; Milosevic, M.; Djurdjic, S.; Samardzic, I.; Lezaic, T.; Tadic, M. 2021. GIS-Based Forest Fire Susceptibility Zonation with IoT Sensor Network Support, Case Study – Nature Park Golija, Serbia. *Sensors* 21(19): 6520.
- [7] Kahraman, C.; Cebeci, U.; Ulukan, Z. 2003. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management* 16: 382–394.
- [8] Eskandari, S.; Miesel, J.R. 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 8: 933–949.
- [9] Yeap, J.A.L.; Ignatius, J.; Ramayah, T. 2014. Determining consumers most preferred eWOM platform for movie reviews: A fuzzy analytic hierarchy process approach. *Computers in Human Behavior* 31: 250–258.
- [10] Celik, M.; Deha Er, I.; Ozok, F.A. 2009. Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry. *Expert Systems with Applications* 36: 190–198.
- [11] Güngöroglu, C. 2017. Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar. *Human and Ecological Risk Assessment* 23: 388–406.
- [12] Durlević, U.; Novković, I.; Carević, I.; Valjarević, D.; Marjanović, A.; Batočanin, N.; Krstić, F.; Stojanović, L.; Valjarević, A. 2023: Sanitary landfill site selection using GIS-based on a fuzzy multi-criteria evaluation technique: a case study of the City of Kraljevo, Serbia. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 37961–37980.
- [13] Hafezalkotob, A.; Hafezalkotob, A.; Liao, H.; Herrera, F. 2019. An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: theory, developments, applications, and challenges. *Information Fusion* 51:145–177.

# UTICAJ CIRKULARNE EKONOMIJE U PUTNOM SEKTORU NA GLOBALNE CILJEVE SA ASPEKTA KLIMATSKIH PROMENA

Milica Pavić, master građ.inž.<sup>1</sup>

dr Igor Jokanović, dipl.građ.inž.

Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica,  
pavic953@gmail.com, jokanovici@gf.uns.ac.rs

**Rezime:** Klimatske promene predstavljaju globalni problem, ali je neophodno ostvariti međunarodnu saradnju kako bi se efikasno uticalo na smanjenje njihovog uticaja. Prelazak sa linearne na cirkularnu ekonomiju podrazumeva promene u različitim fazama proizvodnog procesa i ključnim sektorima koji su važni za ublažavanje klimatskih promena. Cirkularna ekonomija se može primeniti u različitim sektorima, uključujući saobraćaj, industriju, otpad i energiju. Koncept se zasniva na povećanju efikasnosti korišćenja resursa, smanjenju stvaranja otpada i smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte, rezultirajući ekološkim, društvenim i finansijskim koristima. Cilj rada je predstaviti značaj ostvarivanja cirkularne ekonomije u putnoj privredi za postizanje globalnih klimatskih ciljeva.

**Ključne reči:** cirkularna ekonomija, klimatske promene, globalni ciljevi

## IMPACT OD CIRKULAR ECONOMY IN THE ROAD SECTOR ON GLOBAL GOALS FROM THE ASPECT OF CLIMATE CHANGE

Milica Pavić, Master Civil Eng.

Igor Jokanović, Civil Eng., Ph.D.

University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, Subotica,

**Abstract:** Climate change is a global problem, but it is necessary to achieve international cooperation in order to effectively reduce its impact. The transition from a linear to a circular economy implies changes in various stages of the production process and key sectors that are important for mitigating climate change. The circular economy can be applied in various sectors, including transport, industry, waste, and energy. The concept is based on increasing the efficiency of resource use, reducing waste generation, and reducing greenhouse gas emissions, resulting in environmental, social and financial benefits. The aim of the paper is to present the importance of realizing the circular economy in the travel industry for achieving global climate goals.

**Keywords:** circular economy, climate change, global goals

### 1. UVOD

Učestale pojave opasnosti izazvane klimatskim promenama utiču na uspostavljanje svesti o tome kako se buduća klima može promeniti, te kako ljudske aktivnosti i način života mogu uticati na te promene. Šesti izveštaj Međuvladinog panela o klimatskim promenama [1] navodi da bi u narednim godinama i decenijama trebalo očekivati povećanje učestalosti i količina padavine, koje bi dovodilo do poplava, ali i pojave ekstremnih temperatura koje izazivaju intenzivnije suše u mnogim regionima. Iz tog razloga je prilagođavanje uticaju klimatskih promena od suštinskog značaja za uspešnu i inkluzivnu budućnost.

Iako ne postoji opšteprihvaćena definicija cirkularne ekonomije, jedna od najšire prihvaćenih dolazi od strane Fondacije Elen Makartur (*Ellen MacArthur Foundation - EMF*) [2]: „ekonomija koja je regenerativna po dizajnu, i koja ima za cilj da zadrži proizvode, komponente i materijale u njihovom najvećem kvalitetu u svakom trenutku, praveći razliku između tehnološkog i biološkog ciklusa“. Pristup cirkularne ekonomije poboljšava efikasnost resursa uz istovremeno smanjenje ulaganja i emisija, i kao takav se može koristiti u borbi protiv klimatskih promena. Utiče na promene u savremenom sistemu proizvodnje i potrošnje, a predstavlja suštinski značaj za razumevanje primene Pariskog sporazuma [3] na ublažavanje klimatskih promena. Cilj Pariskog sporazuma je da se uvećanje globalne prosečne temperature ograniči na ispod 2°C, odnosno na 1,5°C iznad predindustrijskog nivoa, kao i da se emisija gasova sa efektom staklene bašte (Greenhouse Gases - GHG) povezana sa ljudskim uzrocima mora smanjiti za 40-50% do 2050. godine.

Cirkularna ekonomija se može primeniti u različitim sektorima kao što su industrija, otpad, energija, zgrade i transport, kao i okviru procene životnog ciklusa koju je neophodno obaviti da bi se optimizovali novi sistemi, proizvodi, aktivnosti i dr. Saobraćajna infrastruktura je bitna za sve sektore ljudskog života - omogućava

<sup>1</sup> Milica Pavić: pavic953@gmail.com

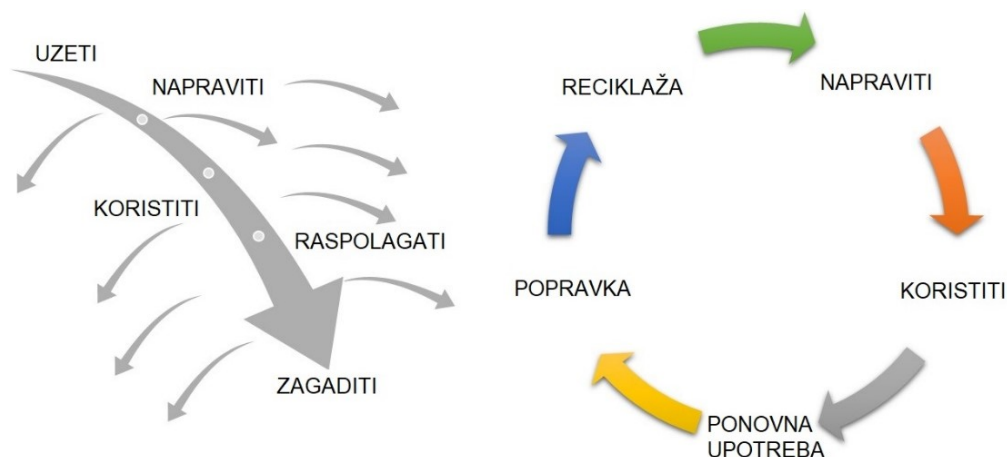
kretanje ljudi svakog dana, pruža usluge i proizvode koji su potrebni za normalan život. Rast stanovništva, potreba za uvećanjem infrastrukture u zemljama u razvoju i klimatske promene će postaviti nove izazove i zahteve pred već iscrpljenom infrastrukturom i veći pritisak na dostupnost sirovina.

Borba protiv klimatskih promena i prelazak na cirkularnu ekonomiju nije nešto što jedna država može sama da uradi. Sa trenutnim porastom emisija, globalne emisije će dostići 649 milijardi tona ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) do 2100. godine [4]. Neki obnovljivi izvori energije, metali, minerali i fosilna goriva, neće moći da zadovolje potražnju u budućnosti, čak i ako potražnja i proizvodnja ostanu na istom nivou. Primećeno je da će neki resursi biti potpuno iscrpljeni u roku od 50-100 godina [5]. Građevinarstvo troši oko 60% svetskih materijala/resursa i odgovorno je za oko 53% svetskih emisija GHG, od kojih se veliki deo pripisuje infrastrukturi [6]. Sektor saobraćaja trenutno emituje oko 9,7 GtCO<sub>2</sub>eq, a ukoliko se ne sprovedu određene strategije ublažavanja, emisije iz transporta bi mogle dostići čak 10-18 GtCO<sub>2</sub>eq do 2050. godine [7]. Smanjenje emisija GHG, rešavanje problema iscrpljivanja resursa i zagađenja životne sredine i optimizacija upravljanja otpadom su postale „globalne vruće teme“ [8]. Cirkularna ekonomija pruža podršku održivom ekonomskom razvoju bez ugrožavanja životne sredine. U kontekstu sprovođenja ciljeva održivog razvoja postaje inkluzivna i svima omogućava pristup prednostima takvog razvoja.

Cilj rada je predstaviti značaj usvajanja cirkularne ekonomije za postizanje ciljeva održivog razvoja, ali prvenstveno uticaj na smanjenje emisija GHG u putnom sektoru.

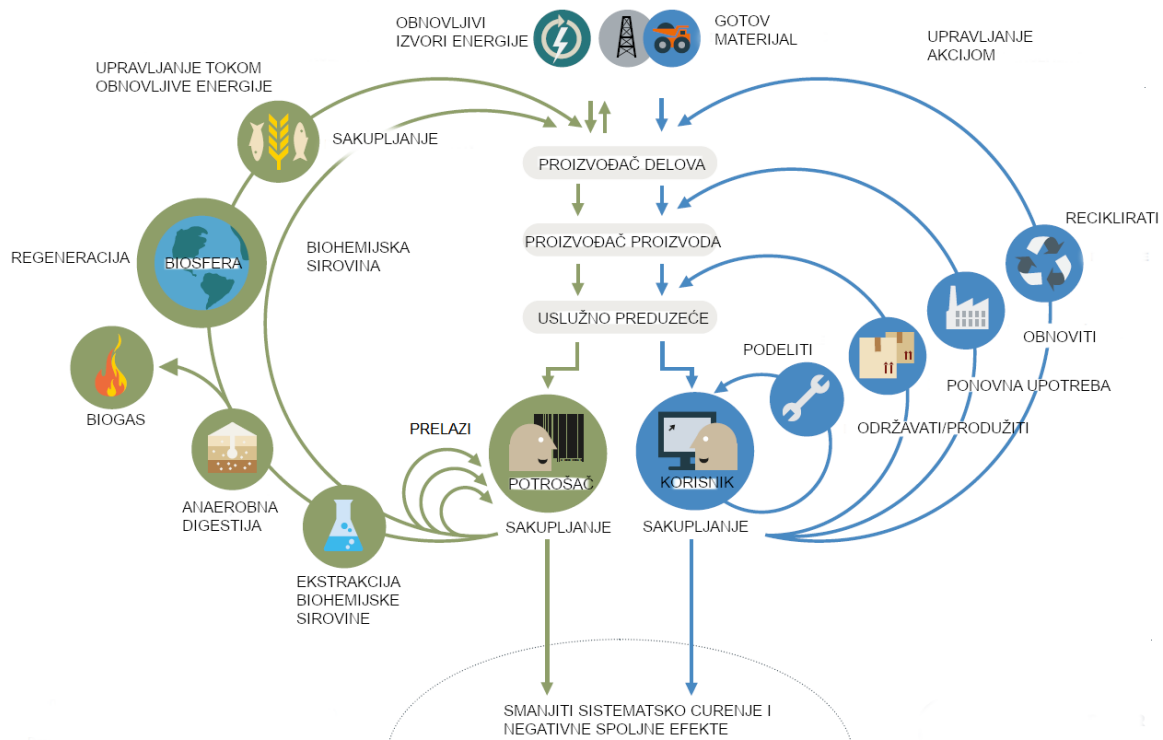
## 2. CIRKULARNA EKONOMIJA - CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA

Model linearne ekonomije (Slika 1, levo) se zasniva na proizvodnji, potrošnji i otpadu. Linearni model proizvodnju i resurse smatra neograničenim, a ekonomske koristi se postavljaju iznad svih drugih kriterijuma. Vremenom je uočeno da linearna ekonomija donosi različite probleme koji mogu izazvati posledice u određenom periodu: prekomerna proizvodnja, smanjeni životni ciklusi, akumulacija otpada, iscrpljivanje i prekomerna eksploatacija prirodnih resursa. S druge strane, model cirkularne ekonomije (Slika 1, desno) se smatra kružnim procesom, u kome je sektor otpada eliminisan. Geissdoerfer [9] definiše cirkularnu ekonomiju kao regenerativni sistem u kome se unos resursa i otpada, emisija i smanjenje energije minimiziraju usporavanjem, zatvaranjem i sužavanjem materijalnih i energetske petlje. Kroz cirkularnu ekonomiju se utiče na sprečavanje potrošnje resursa i optimizaciju strukture energetskog i materijalnog ciklusa na različitim nivoima - preduzeća i potrošači na makro nivou, ekonomski subjekti integrisani na simbiotski (uzajamni) način na mezo nivou i gradovi, regioni i vlade na makro nivou [8].



**Slika 1. Razlika između linearne i cirkularne ekonomije [10]**

U cirkularnoj ekonomiji, materijali cirkulišu u dva odvojena ciklusa: bio- i tehno-ciklus (Slika 2). Razlika između ove dve vrste ciklusa pomaže razumevanje načina na koji se materijali mogu dugotrajno i visokokvalitetno koristiti. Opšte pravilo kazuje da ako materijal mora da prođe kroz manje koraka procesa za ponovnu upotrebu, to će biti veći kvalitet preostalog materijala. Organski materijali prate drugačiji proces ponovne upotrebe od tehničkih materijala. Tehnički materijali se nazivaju i sintetički materijali. Zbog ove razlike u procesu ponovne upotrebe, važno je da se nakon upotrebe organski i tehnički materijali mogu pravilno odvojiti jedan od drugog.



Slika 2. Biološki i tehnološki proces - cirkularna ekonomija [2]

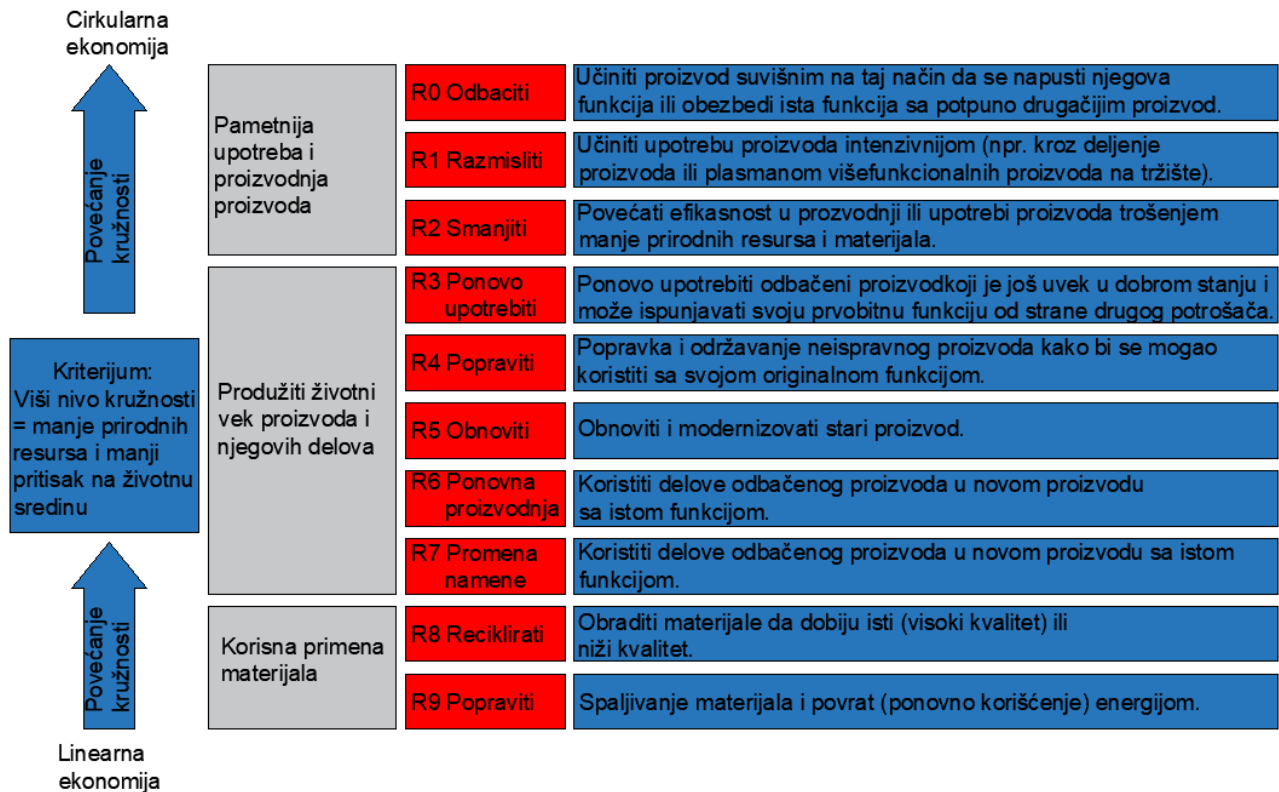
Postoji pet primarnih aspekata reciklaže čvrstog otpada kako bi postali cirkularni materijali [8]:

- 1) ekstrakcija vrednih metala kao što su bakar, zlato, gvožđe i srebro od šljake za topljenje metala; ekstrakcija staklenih perli iz letećeg pepela; dobijanje sumporne rude gvožđa iz uglja;
- 2) reciklaža čvrstog otpada kao što su papir, staklo, metal i plastika;
- 3) proizvodnja građevinskog materijala od šljake visokih peći, letećeg pepela, kamenog uglja, otpadne plastike, mulja, jalovine i građevinskog otpada, koji obuhvataju lake agregate, termoizolacione materijale, dekorativne panele, hidroizolacione rolne i premaze, biohemijske ploče od vlakana, reciklirani beton i druge materijale;
- 4) proizvodnja cementa od letećeg pepela, uglja i crvenog mulja; upotreba hromirane šljake umesto krečnjaka kao sredstva za fuziju za proizvodnju gvožđa i drugih alternativnih materijala;
- 5) spaljivanje čvrstog otpada sa visokom toplotnom vrednošću za proizvodnju toplotne i električne energije; upotreba: kuhinjskog otpada, biljne slame, ljudskog i životinjskog đubriva i mulja koriste se za fermentaciju prilikom proizvodnje zapaljivog biogasa.

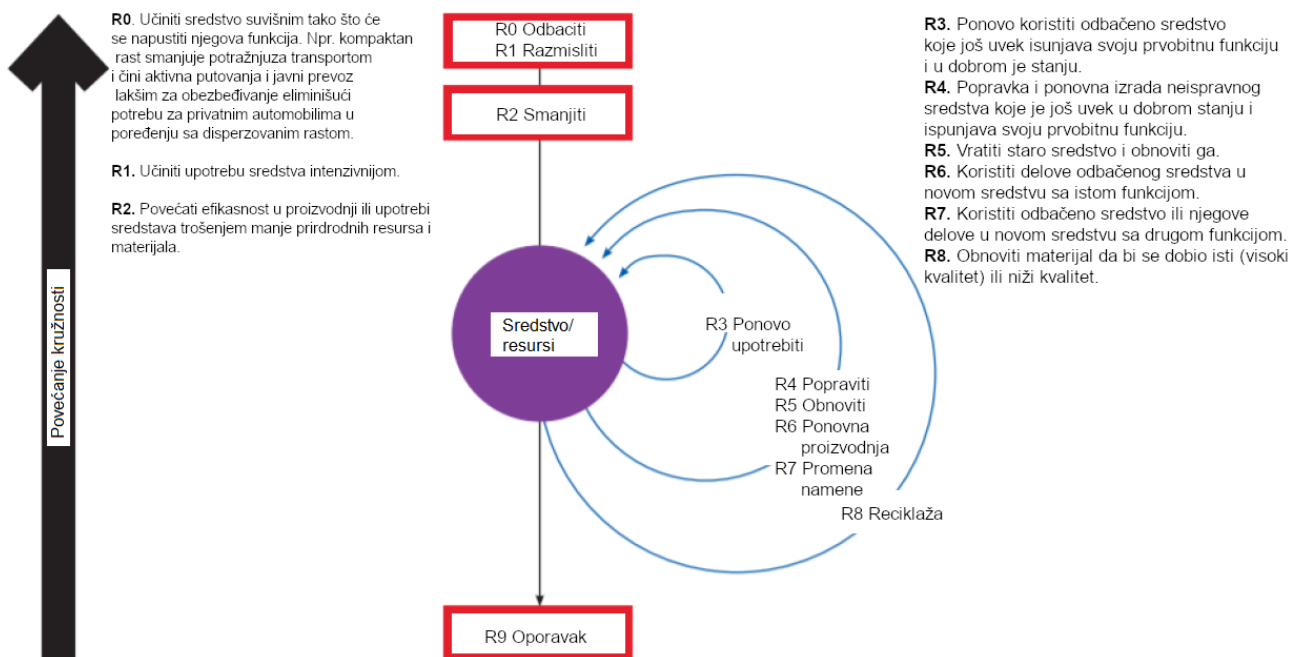
Cilj cirkularne ekonomije je smanjenje potrošnje prirodnih resursa i poboljšanje reciklaže materijala, što zauzvrat rezultira manjim količinama otpada. Centralni element implementacije cirkularne ekonomije je promena poslovnih modela kompanija, koje one prilagođavaju kroz R-strategije. Naziv su dobile po prefiksu oznaka na engleskom jeziku pojedinačnih strategija. Prefiks "re" izvorno dolazi iz latinskog jezika, što znači ponovo ili nazad. Cirkularna ekonomija se prvenstveno pojavljuje kroz tri glavne akcije, odnosno 3R principe: redukcija, ponovna upotreba i recikliranje [9, 11]. Osim Evropske unije (EU), druge zemlje (Kina, Japan, SAD, Koreja i Vijetnam) su prihvatile 3R princip i dale prioritet opciji „smanjenje” kao osnovni princip za kreiranje politike upravljanja otpadom. Okvirna direktiva o otpadu 2008/98/EC [12] je uključila i četvrto R "oporavak" kao 4R okvir. Nakon toga, naučnici su proširili okvir kružnosti zasnovan na R izvan 4R, kao što su 5R [13], 6R [14], 7R [7], 9R(i) [15] i 9R (ii) [16]. Svakako, cilj svake od R-strategija je smanjenje potrošnje prirodnih resursa i materijala, takođe i smanjenje proizvodnje otpada. Strategije se mogu rasporediti prema njihovim nivoima kružnosti (Slika 3) [17].

Cirkularna ekonomija se odnosi na zadržavanje vrednosti duž celog lanca snabdevanja i životnog ciklusa proizvoda ili usluge i dizajniranje otpada i emisija od početka. Pomoću materijalnih petlji se definišu tokovi u kojima se materijali obnavljaju, recikliraju ili biološki razgrađuju kroz prirodne ili tehnološke procece. Zbog ograničenja opterećenja životnog ciklusa izgrađenog okruženja, uključujući iscrpljivanje resursa i odlaganje otpada, materijalne petlje treba da budu što efikasnije i efikasnije. Strategije cirkularne ekonomije (Slika 4) predstavljaju četiri glavna cilja kada su u pitanju materijalne petlje [6]:

- 1) Sužavanje resursnih petlji (smanjenje unosa resursa) odbijanjem upotrebe proizvoda (prevencija) kada je to moguće, intenziviranje upotrebe proizvoda ili smanjenje upotrebe materijala kroz efikasniju proizvodnju ili efikasnost u njihovom korišćenju;
- 2) Usporavanje ili produžavanje krugova resursa (duža upotreba materijala i proizvoda visoke vrednosti) ponovnim korišćenjem, popravkom i preradom proizvoda;
- 3) Zatvaranje petlji (smanjenje gubitka materijala kroz otpad) reciklažom i povratkom energije iz materijala kada sve prethodne opcije više nisu moguće;
- 4) Zamena gde je primenljivo. Ovo uključuje upotrebu biobaziranih, obnovljivih materijala umesto primarnih abiotskih materijala.



Slika 3. Okvir 9R cirkularne ekonomije, pristup od linearne ekonomije do cirkularne ekonomije [17]



Slika 4. Strategije cirkularne ekonomije [18]

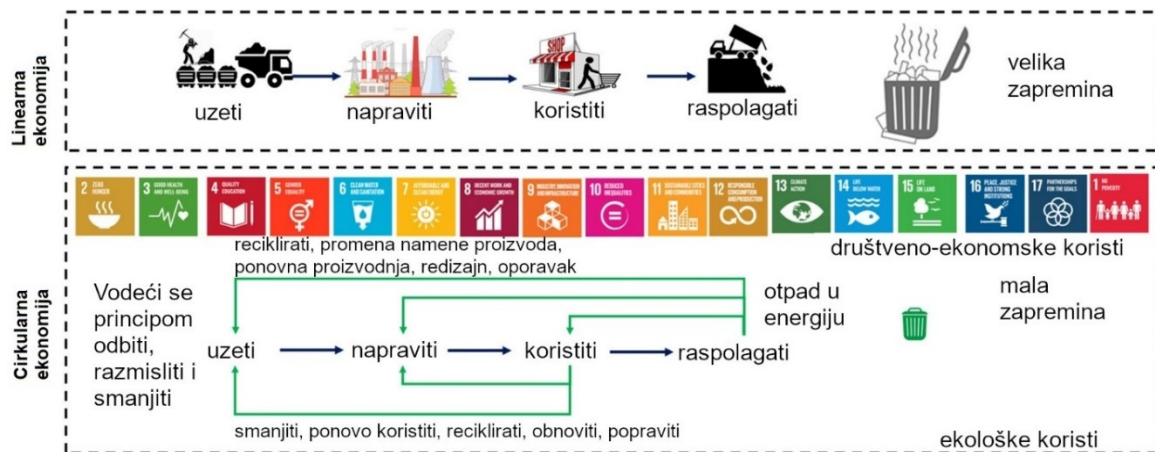
Tokom 2015. godine, države članice Ujedinjenih nacija su usvojile 17 ciljeva održivog razvoja (Slika 5) i 169 zadataka koje zemlje sveta moraju ispuniti do 2030. godine [5]. Ciljevi održivog razvoja, takođe poznati i kao globalni ciljevi, predstavljaju univerzalni poziv na akcije za smanjivanje/iskorenjivanje siromaštva, zaštitu životne sredine i obezbeđivanje mira i prosperiteta za sve stanovnike planete Zemlje [19].



Slika 5. Ciljevi održivog razvoja (globalni ciljevi) [19]

Usvojeni ciljevi ukazuju na potrebu promene tradicionalnog ekonomskog modela koji funkcioniše po principu „dobiti, koristiti, baciti“ u model cirkularne ekonomije [5]. Prelazak sa modela linearne ekonomije na model cirkularne ekonomije može imati pozitivan utjecaj na globalne ciljeve 1, 3, 6-9, 11-15. Cirkularna ekonomija zahteva smišljene akcije za prelazak sa linearnog toka materijala (Slika 6) i izbegavanje odlaganja otpada. Ovakva tranzicija zahteva brze akcije i snažne politike/strategije [20].

Usvajanje strategija cirkularne ekonomije, faze obnove, ponovne proizvodnje i reciklaže, mogu uticati na otvaranje novih radnih mesta, što indirektno doprinosi smanjenju siromaštva (Cilj 1: Bez siromaštva). Ispunjavanje Cilja 6: Čista voda i sanitarni uslovi se postiže kroz cirkularnu ekonomiju kao što su malo prečišćavanje vode, održavanje otpadnih voda, ponovna upotreba i reciklaža vode, oporavak hranljivih materijala, sistemi za biogas. Takođe, strategije cirkularne ekonomije se odnose na razdvajanje ekonomske aktivnosti od korišćenja resursa i povezanih uticaja na životnu sredinu i društvo (Cilj 12: Održiva potrošnja i proizvodnja). U odnosu na Cilj 11: Održivi gradovi i zajednice, sa očekivanim porastom od tri četvrtine svetske populacije u gradovima do 2020. godine prelazak na cirkularnu ekonomiju je preduslov za smanjenje uticaja gradova na resurse i uticaja na životnu sredinu. Strategije cirkularne ekonomije kao što su modularni, prilagodljivi i fleksibilni dizajn zgrade, mogu pomoći da se omogući pristup stanovanju za grupe sa niskim prihodima. U vezi sa Ciljem 13: Klimatske akcije, kroz strategije cirkularne ekonomije direktno i indirektno se doprinosi ublažavanju klimatskih promena i povećanju otpornosti. Utiče se na smanjenje emisija GHG za više od trećine do 2100. godine, pored postojećih tehnologija sa niskim sadržajem ugljenika.



Slika 6. Razlika između linearne i cirkularne ekonomije koja pokazuje načine za postizanje ciljeva održivog razvoja [20]

### 3. CIRKULARNA EKONOMIJA - KLIMATSKE PROMENE

U okviru ciljeva održivog razvoja, kroz Cilj 13 se predstavlja da je potrebno preduzeti hitne mere u borbi protiv klimatskih promena i njihovih posledica [19]:

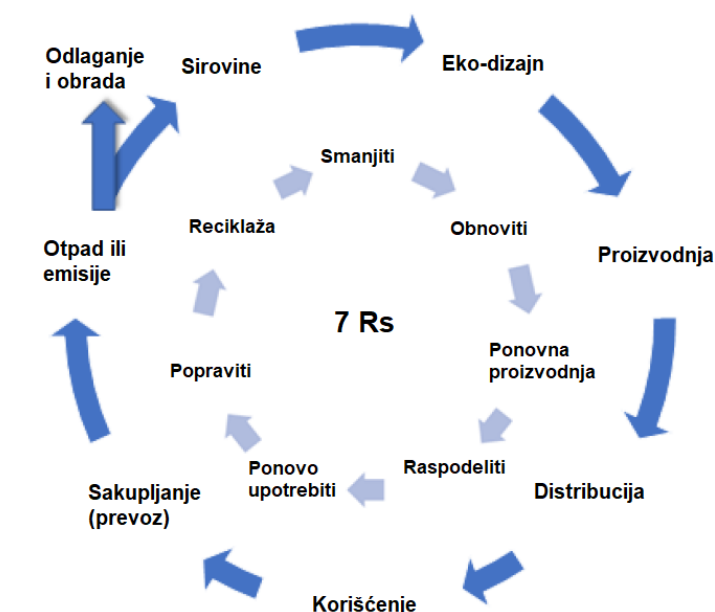
- ojačati otpornost i kapacitet adaptacije na opasnosti vezane za klimu i prirodne katastrofe u svim zemljama;
- integrisati mere klimatskih promena u nacionalne politike, strategije i planiranje;
- poboljšati obrazovanje, podizanje svesti i ljudske i institucionalne kapacitete za ublažavanje klimatskih promena, prilagođavanje, smanjenje uticaja i rano upozorenje.

Na globalnom nivou je moguće povećati šanse da se izbegnu opasne klimatske promene prelaskom na cirkularnu ekonomiju, čime bi se omogućilo ispunjavanje ciljeva Pariskog sporazuma o klimatskim akcijama [21]. Cirkularna ekonomija može biti ključni element za održavanje globalne temperature, što podrazumeva promenu paradigme zasnovane na tri stuba održivosti: životna sredina - društvo - ekonomija. Analizirajući ulogu cirkularne ekonomije u postizanju Pariskog sporazuma i klimatske neutralnosti do 2050. godine, identifikovana je potreba za strogom politikom vlada i snažnim podsticajima za kompanije da usvoje nove poslovne modele koji generišu manje emisije GHG i efikasniji su u pogledu resursa [17]. Pored usvajanja politike i mera ka obnovljivim izvorima energije za ograničavanje porasta globalne prosečne temperature na 1,5°C, principi cirkularne ekonomije mogu da obezbede dodatno smanjenje emisija kroz inovativne poslovne modele koji omogućavaju održivija rešenja [22].

Očekuje se da će globalni otpad porasti na 3,4 milijarde tona do 2050. godine sa sadašnjih 2,01 milijarde tona. Takođe se očekuje i povećanje emisija iz čvrstog otpada na 2,38 milijarde tona CO<sub>2</sub>eq do 2050. godine, ako se ne bude delovalo na pravi način u sektoru transporta [23]. Sve faze ciklusa upravljanja otpadom stvaraju emisije GHG, što čini neophodnim dizajniranje odgovarajućih metoda obrade otpada, kako bi se smanjio njihov uticaj na životnu sredinu [7].

### 3. PUTNI SEKTOR

Iz perspektive sektora saobraćaja, zasnovanog na principima održivosti i cirkularne ekonomije, odgovarajući pristupi izgradnji i upravljanju saobraćajne infrastrukture imaju ključnu ulogu. Saobraćaj je vodeći izvor emisije GHG, zajedno sa poljoprivredom, industrijom i izgrađenim okruženjem. Drumski transport čini 75% emisija iz sektora saobraćaja i njegov uticaj će rasti. Cirkularna ekonomija se može primeniti na drumski saobraćaj kako bi se podstaklo ublažavanje klimatskih promena i smanjivanje korišćenja resursa. Na osnovu istraživanja 42 studije (40 članaka i 2 izveštaja) [7] koje se bave problemima cirkularne ekonomije, utvrđeno je da bi se koncept cirkularne ekonomije primenjen na transport mogao podeliti na prvi i drugi životni ciklus (Slika 7).



Slika 7. Faze cirkularne ekonomije primenjene na transport [7]



Prvi ciklus obuhvata osam faza: sirovine (1), eko-dizajn (2), proizvodnja (3), distribucija (4), korišćenje (5), prikupljanje (6), otpad ili emisije (7), odlaganje i obrada (8). Drugi ciklus je podeljen na 7R koji se mogu razmatrati u više od jedne faze ciklusa: smanjiti (1), obnoviti (2), ponovna proizvodnja (3), raspodeliti (4), ponovna upotreba (5), popraviti (6) i reciklirati (7). Važno je naglasiti zadržavanje resursa uključenih i transformisanih u proizvodne sisteme kako bi se zatvorila petlja i postigla integracija svih faza cirkularne ekonomije.

Usvojena strategija u jednoj fazi cirkularne ekonomije može uticati na druge faze, posebno kada je u pitanju obrnuti tok. Cirkularna ekonomija se može primeniti na drumski transport kako bi se podstaklo ublažavanje klimatskih promena i smanjilo iscrpljivanje resursa kroz uključivanje najboljih praksi. Zbog lakšeg razumevanja, kroz Tabele 1. i 2. su predstavljene faze cirkularne ekonomije primenjene na transport.

**Tabela 1. Faze prvog životnog ciklusa [7]**

Faza	Opis
Sirovine	Sirovine su ulazni materijali koji se proizvode iz prirodnih resursa ili se dobijaju povratom ili reciklažom čvrstog otpada pre konačnog odlaganja.
Ekodizajn	Prvi koncept u ekodizajnu uspostavljen je kao poboljšanje ekoloških aspekata karakteristika proizvoda tokom njegovog životnog ciklusa, prema Planu rada ekodizajna (Ecodesign Work Plan). Ekodizajn smanjuje potrošnju resursa, promovise upotrebu materijala koji se mogu reciklirati i izbegava upotrebu opasnih materijala, što je najbolja praksa održivog upravljanja lancem snabdevanja.
Proizvodnja	Proizvodnja je proces koji može biti održiv ako se primeni koncept „čistije“ proizvodnje. Ovaj koncept je definisao Program Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP) kao integrisanu ekološku strategiju primenjenu na proizvodni proces radi povećanja eko-efikasnosti i smanjenja uticaja na životnu sredinu.
Distribucija	Faza distribucije se nalazi između glavnog proizvođača i krajnjeg potrošača, gde se vrši transport gotovih ili delimično gotovih proizvoda između fabričkih skladišta i distributivnih centara, koji će kasnije distribuirati do krajnjih kupaca.
Korišćenje	Proces potrošnje, zajedno sa proizvodnjom/distribucijom i upotrebom vozila, dopunjuju koncept „kraja životnog veka“ smanjenjem, recikliranjem i obnavljanjem materijala.
Sakupljanje	Sakupljanje i transport su kritični koraci u procesu upravljanja otpadom, posebno kada se razmatraju zajedno sa zabrinutošću oko društvenih i ekoloških uticaja u vezi sa emisijama zagađujućih materija i implikacijama na pogoršanje kvaliteta vazduha u gradovima usled potrošnje fosilnih goriva.
Odlaganje i obrada	Postupci obrade proizvoda su mehanizmi koji mogu pomoći u smanjenju zapremine i toksičnosti otpada pre odlaganja, i mogu se klasifikovati kao biološki, fizički i hemijski.

**Tabela 2. Opis faza 7R obrnutog ciklusa [7]**

Faza	Opis
Smanjivanje	Redukcija je proces smanjenja eksploatacije prirodnih resursa i potrošnje energije.
Obnavljanje	Obnavljanje je proces vraćanja proizvoda u dobro stanje, zamene ili popravke glavnih komponenti koje su neispravne ili blizu kvara.
Ponovna proizvodnja	Ponovna proizvodnja obuhvata aktivnosti za produženje životnog veka proizvoda kroz popravke, restauraciju i nadogradnju.
Raspodela	Optimizacija sistema raspodele je neophodna za promovisanje cirkularne ekonomije i može se predstaviti modeliranjem pristupa za zatvaranje i usporavanje petlji resursa.
Ponovna upotreba	Svaka operacija kojom se proizvodi ili komponente koji nisu otpad ponovo koriste za istu svrhu za koju su zamišljeni.
Popravka	Popravka se sastoji od obnavljanja postojećih proizvoda.
Reciklaža	Reciklaža je definisana preradom proizvoda i aktivnostima povrata sekundarnog materijala koji se koriste za proizvodnju novih proizvoda.

Kroz proces ekodizajna izbor materijala zahteva energetska efikasnost u proizvodnim procesima, trajniji i bolje funkcionalni proizvodi stvaraju manje otpada, regulišući emisiju otpada iz procesnog sistema, a moguće je korišćenje proizvoda na kome su zamenjeni određeni delovi. Kroz proces obnavljanja proizvoda i vraćanja na tržište u dobrom stanju, utiče se na produžavanje veka trajanja proizvoda. Primer za transport koji uzima u obzir ekodizajn je konstrukcija vozila tako da se obezbedi niska aerodinamična otpornost kako bi se smanjila potrošnja goriva ili korišćenje pogonskog sistema vozila baziranog na obnovljivim izvorima energije.

Podsticanje upotrebe baterija i drugih trajnijih i bolje funkcionalnih i modularnih proizvoda u transportnom sektoru usklađeno je sa „odgovornom potrošnjom i proizvodnjom“ (Cilj 12). Isto tako, optimizacija ruta, efikasna logistika, naplaćivanje taksi (putarine) za borbu protiv zagušenja saobraćaja i optimizacija iskorišćenosti vozila doprinose „održivim gradovima i zajednicama“ (Cilj 11). Smanjenje potrošnje energije u proizvodnji vozila i obaveza korišćenja goriva iz obnovljivih izvora energije (Renewable Transport Fuel Obligation-RTFO) su usklađeni sa „pristupačnom i čistom energijom“ (Cilj 7). Što se tiče smernice i propisi za odlaganje vozila na kraju životnog veka kao i ostataka nafte predstavljaju najbolju praksu u skladu sa „klimatskim akcijama“ (Cilj 13). Pored toga, neophodno je obratiti posebnu pažnju na otpad koji se ne može tretirati i vratiti u ciklus i za koji je jedino moguće rešenje odlaganje, obezbeđivanje minimalnog uticaja na životnu sredinu, bilo u emisiji GHG ili u njegovom odlaganju u deponije [7].

Glavne sirovine potrebne za proizvodnju vozila su čelik, plastik, staklo, aluminijum, guma, boja, čija proizvodnja stvara velike količine GHG. Iz tog razloga, 12 najvećih proizvođača automobila na globalnom nivou stvaraju više GHG godišnje nego cela EU. Prelaskom na cirkularnu ekonomiju, emisije iz materijala koje se koriste u proizvodnji vozila bi se smanjile za 70% do 2050. godine, odnosno 285 miliona tona CO<sub>2</sub>eq [2, 25]. Takođe, dizajniranje lakših vozila utiče na manju količinu potrebnog materijala za njihovu izradu i manje energije za njihovo napajanje/kretanje što bi emisije smanjilo za 89 miliona tona CO<sub>2</sub>eq godišnje do 2050. godine. Neki proizvođači automobila, otpad od aluminijuma koji je nastao tokom procesa proizvodnje automobile, vraćaju proizvođačima aluminijuma kako bi se mogao reciklirati u proizvode slične vrednosti bez gubitka kvaliteta. Istovremeno se utiče na smanjenje potrošnje energije i emisije ugljenika [25].

Električna vozila su ključni faktor za dekarbonizaciju sektora drumskog saobraćaja, a očekuje se da će se njihova upotreba povećati. Time će doći do povećanje potražnje za litijum-jonskim baterijama. Ovo čini razvoj lanca vrednosti za baterije prioritetom u Evropi, posebno reciklažu litijum-jonskih baterija u kojima je Evropa lider na tržištu. Širi projekat *Circular Impacts* [24], koji ispituje ekonomske, ljudske i društvene posledice prelaska na cirkularnu ekonomiju, takođe ispituje efekte na kraju životnog veka korišćenja litijum-jonskih baterija za električna vozila, i zaključuje da poboljšanje efikasnosti prikupljanja i reciklaže baterija za električna vozila u EU može smanjiti zavisnost od uvezenih materijala i pomoći očuvanju vrednosti materijala koji su vraćeni u ponovnu upotrebu u ekonomiji EU. Dodatne potencijalne prednosti uključuju otvaranje radnih mesta u sektoru reciklaže litijum-jonskih baterija, pri čemu i reciklaža određenih materijala, za razliku od rudarskih sirovina, može smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> [5]. Elektrifikacijom transporta bi se mogao rešiti deo problema, a predviđa se da bi se emisije iz vozila mogle prepoloviti. Da bi se rešila preostala polovina, ključan je prelazak na cirkularnu ekonomiju za automobile [2]. Istovremeno se naglašava da elektrifikacija transporta sama po sebi ne donosi previše dok se ne promeni i način proizvodnje električne energije (sa fosilnih goriva /ugalj/ na održive izvore /vetar, voda, energija Sunca/). Takođe, biciklizam je zeleni način transporta sa manje emisija u poređenju sa automobilima koji imaju pogon na fosilna goriva.

Strategije cirkularne ekonomije mogu: dopuniti mere dekarbonizacije za smanjenje emisije GHG, podržati održivo skaliranje tranzicije čiste energije i poboljšati prilagođavanje promenljivoj klimi. Cirkularna ekonomija obuhvata i intervencije kao što su obnova motora i protektiranje guma kako bi se zadržali u upotrebi. Prerada i ponovna upotreba motora zahteva do 85% manje CO<sub>2</sub> od proizvodnje novog motora. Korišćenje vozila na kraju životnog veka kao sekundarnih sirovina, kada je usklađeno sa ulaganjem u tehnologije reciklaže i povećanom upotrebom recikliranog materijala, pruža obećavajuću perspektivu i prati ciljeve održivog razvoja [7]. Prema studiji „The Role of the Circular Economy in Road Transport to Mitigate Climate Change and Reduce Resource Depletion“ [7], emisije zagađujućih materija su ukazale na potrebu za opsežnim prelaskom na efikasnije i održivije pogonske sisteme i korišćenje biogoriva. Kroz pregled literature se uočava da su se dosadašnje studije o primeni cirkularne ekonomije u drumskom saobraćaju uglavnom fokusirale na faze koje zatvaraju petlju, kao što su otpad i njegovo odlaganje i obrada, zanemarujući druge faze cirkularne ekonomije. Davanje jednake važnosti svim fazama cirkularne ekonomije je potrebno da bi se rešili svi uticaji na sektor drumskog saobraćaja.

Kada se govori o samoj konstrukciji puta, više od 90% evropskih puteva je izgrađeno sa fleksibilnom kolovoznom konstrukcijom, iz tog razloga evropska industrija asfalta već dugi niz godina radi na smanjenju emisija iz proizvodnje, razvijajući čistije tehnologije, kao što su postrojenja na alternativna i bio-goriva, a posebno putem proizvodnje asfalta na sniženim temperaturama (tople i hladne mešavine). Korišćenje takvih procesa i materijala takođe promoviše zdravije radno okruženje.

Primer inovativne asfaltne mešavine jeste mešavina u kojoj se 50% veziva sastoji od bitumena i 50% lignina na biološkoj bazi (preradom slonove trave). U Holandiji su urađene probne deonice sa ovom asfaltnom mešavinom i rezultati se očekuju. Ova asfaltna mešavina omogućava [26]:

- uštede u fosilnim resursima:
- 20% manju emisiju CO<sub>2</sub> zbog niže proizvodne temperature (130°C umesto 170°C);
- uštedu od oko 2 m<sup>3</sup> gasa po toni asfalta;
- održivo skladištenje CO<sub>2</sub> kroz slonovu travu (za hektar slonove trave, koja čini 3,2 tone lignina, apsorbuje se 26,4 tone CO<sub>2</sub> godišnje).

Zagađene plastikom predstavlja problem za ceo svet, godišnje oko 54% plastičnog otpada završi na deponijama gde se spaljuje, doko oko 8 miliona tona završava u okeanima i uništava morske ekosisteme. Cirkularna ekonomija uključuje iskorišćenje plastičnog otpada za upotrebu u putevima, odnosno izradu plastičnih puteva. Plastične puteve je prvi kao ideju sproveo u delo Indijac Rajagopalan Vasudevan 2001. godine, tako što je u asfaltnu mešavinu dodao plastični otpad. Indija, Australija, Indonezija, Ujedinjeno kraljevstvo, Sjedinjene Američke Države i mnoge druge zemlje su koristile tehnologiju koja može da iskoristi plastični otpad u asfaltnim mešavinama [27].

Treba istaći i sledeće. U oblasti železnica, cirkularna ekonomija je zastupljena značajno duže vremena. Železnički sistemi u različitim državama su u okviru održavanja uveli praksu regeneracije materijala gornjeg stroja (šine, skretnice, kolosečni pribor, pragovi, zastor). Postupak je definisan odgovarajućim pravilima za svaki element gornjeg stroja u okviru određene železničke uprave. Tako npr. za šine vazi princip potpunog iskorišćenja: upotreba na magistralnoj pruži - regeneracija i ugrađivanje u regionalnu prugu - praćenje stanja šina kako bi se na vreme izvadile - ponovna regeneracija i ugrađivanje u lokalne pruge. Jedna od „zelenih“ tehnologija omogućava proizvodnju železničkih pragova od recikliranog materijala, koristeći mešavinu gume i plastike iz gradskog otpada. Ovakvi pragovi imaju spoljašnji omotač od mešavine gume nastale od pneumatika na kraju životnog veka i reciklirane plastike, dok je jezgro od armiranog betona [5].

### 3. ZAKLJUČAK

Model linearne ekonomije je neodrživ, prema tome, kretanje ka cirkularnoj ekonomiji postaje sve važnije. Korist se može stvoriti racionalnim korišćenjem resursa i minimiziranjem uticaja na životnu sredinu u svim fazama životnog ciklusa različitih proizvoda u sektoru transporta (asfalti, gornji stroj železničkih pruga, građevinski šut, plastika, reciklirana guma). Koncept cirkularne ekonomije blisko oponaša prirodu, gde nema otpada, odnosno svi materijali imaju vrednost i koriste se za održavanje života na bezbroj načina. Ukoliko se strategije primene na pravi način, na kraju će biti potrebno manje materijala za ispunjavanje sličnih društvenih potreba.

U radu [28] je predstavljeno devet uslova kako bi se ubrzale strategije cirkularne ekonomije gde su potencijali klimatskih koristi najveći: promeniti obrasce potrošnje, stimulisati kružnost proizvoda od faze projektovanja, uključiti kružnost u sisteme vrednosti čiste energije, integrisati strategije cirkularne ekonomije u nacionalne klimatske politike i planove, podsticati prekogranično smanjenje emisije gasova staklene bašte, povezati metriku cirkularne ekonomije sa uticajima klimatskih promena, povećati transparentnost i uporedivost u metodologijama modeliranja, primeniti sistemsku procenu uticaja za informisanje donošenja odluka, i istražiti ulogu cirkularne ekonomije u prilagođavanju klimatskim promenama.

Za politiku usmerenu na efikasno postizanje ciljeva održivog razvoja, moraju se razviti inovativni procesi i modeli proizvoda kako bi se istovremeno mogle postići ekonomske, tehničke i ekološke prednosti. Tehnologija obećava da će ubrzati tranziciju otvaranjem novih mogućnosti i učiniti cirkularnu ekonomiju isplativijom za transportnu industriju. Još mnogo posla ostaje da se uradi, ali mogućnosti su svakako uzbudljive. Globalna industrijalizacija i prekomerna zavisnost od neobnovljivih izvora energije doveli su do povećanja čvrstog otpada i klimatskih promena, usvajanjem strategija za implementaciju cirkularne ekonomije u svim sektorima uticalo bi se na smanjenje emisije ugljenika za 45% do 2030. godine i postizanje neutralnosti ugljenika do 2050. godine.

Republika Srbija je usvojila preporuke Evropske komisije o cirkularnoj ekonomiji, izmenama i dopunama Zakona o upravljanju otpadom [29] otvoren je prostor za uvođenje cirkularne ekonomije. Pored postojanja regulatornog okvira za primenu cirkularne ekonomije, u domenu saobraćajnica aktivnosti se svode na prostu reciklažu struganog asfaltnog materijala, regeneraciju gornjeg stroja železničkih pruga, te eventualne sporadične inicijative za razmatranje drugih vrsta otpada. Pre svega, potrebno je projektovati nove saobraćajnice sa ciljem lakšeg ponovnog korišćenja na kraju životnog veka, uz efikasno korišćenje resursa i odgovorno korišćenje materijala. Na taj način bi se uticalo i na ispunjavanje ciljeva održivog razvoja, prvenstveno na postizanje Cilja 13: Akcije za klimu.

## Literatura

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: <https://ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/> (20.01.2023)
- [2] Ellen MacArthur Foundation (on-line) available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/> (15.01.2023., 08.02.2023.)
- [3] Paris Agreement. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l109r01.pdf> (17.01.2023)
- [4] Heald, C.L.; Henze, D.K.; Horowitz, L.; Feddema, J.; Lamarque, J.F.; Guenther, A.; Hess, P.G.; Vitt, F.; Seinfeld, J.H.; Goldstein, A.; et al. Predicted change in global secondary organic aerosol concentrations in response to future climate, emissions, and land use change. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2008, 113.
- [5] Mikichurova, O.; Klyuyeva, Y.; Armash, N. 2021. Transport in the Circular Economy, Brazilian academic journal
- [6] Leffers, J.; Moustafa, A.; Vorstmanž, C. 2022. Circular Infrastructure: the road towards a sustainable future, available at: <https://nlplatform.com>
- [7] Souza De Abreu, V.H.; Gonzalez Da Costa, M.; Xavier Da Costa, V.; Faria De Assis, T.; Souza Santos, A.; de Almeida D'Agosto, M. 2022. The Role of the Circular Economy in Road Transport to Mitigate Climate Change and Reduce Resource Depletion, *Sustainability*, 14, <https://doi.org/10.3390/su14148951>
- [8] Yang, M.; Chen, L.; Wang, J.; Msigwa, G.; Osman, A.I.; Fawzy, S.; Rooney, D.W.; Yap, P-S. 2022. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues, *Environmental Chemistry Letters*, <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01499-6>
- [9] Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S.; 2015. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, *Journal of Cleaner Production* 114: 11-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- [10] Catherine Weetman
- [11] Zhang, C.; Hu, M.; Di Maio, F.; Sprecher, B.; Yang, X.; Tukker, A. 2021. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe, *Science of the Total Environment* 803, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>
- [12] The Waste Framework Directive 2008/98/EC
- [13] Gharfalkar, M.; Court, R.; Campbell, C.; Ali, Z.; Hillier, G. 2015. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Manag.* 39, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- [14] Yan, J.; Feng, C. 2014. Sustainable design-oriented product modularity combined with 6R concept: a case study of rotor laboratory bench. *Clean Techn. Environ. Policy* 16, 95–109. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0597-3>
- [15] Sihvonen, S.; Ritola, T. 2015. Conceptualizing ReX for aggregating end-of-life strategies in product development. *Procedia CIRP* 29, 639–644. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.026>
- [16] Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. 2016. Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague
- [17] Khanna, M.; Guesmerotti, N.M.; Frey, M. 2022. The Relevance of the Circular Economy for Climate Change: An Exploration through the Theory of Change Approach, *Sustainability*, 14, 3991, <https://doi.org/10.3390/su14073991>
- [18] ARUP, available at: <https://www.arup.com/> (15.02.2023.)
- [19] Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations, New York, 2015.
- [20] Bhakta Sharma, H.; Vanapalli, K.R.; Samal, B.; Sankar Cheela, V.R.; Dubey, B.K.; Bhattacharya, J. 2021. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery, *Science of The Total Environment*, 800, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- [21] Circle Economy, available at: <https://www.circle-economy.com/> (01.02.2023.)
- [22] Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S. A Review on Circular Economy: The Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems. *J. Clean. Prod.* (2016), 114, 11–32.
- [23] Kaza, S.; Yao, L.C.; Bhada-Tata, P.; Van Woerden, F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, Urban Development, World Bank Publications (2018), <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- [24] Drabik, E., Rizos, V. (2018). Prospects for electric vehicle batteries in a circular economy, <https://www.ceps.eu/ceps-publications/prospects-end-life-electric-vehicle-batteries-circular-economy>

- [25] The World Bank, (on-live) available at: <https://www.worldbank.org/>
- [26] (on-live) available at: <https://www.ntp.nl/duurzaamheid/grasfalt/> (07.02.2023.)
- [27] Gawande A., Zamre G.S., Renge V.C., Bharsakale G.R., Tayde S. 2012. Utilization of Waste Plastic in Asphaltting of Roads, Scientific Reviews & Shemical Communications, 2(2), p. 147-157.
- [28] Wang, K., M. Costanzavan den Belt, G. Heath, J. Walzberg, T. Curtis, J. Barrie, P. Schroder, L. Lazer, and J. C. Altamirano. 2022. Circular economy as a climate strategy: current knowledge and calls-toaction. Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- [29] Zakon o upravljanju otpadom, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018-dr. zakon

# METODOLOGIJA ZA FORMIRANJE I RAZVOJ BAZE PODATAKA O POTPORNIM KONSTRUKCIJAMA

Mirjana Vukićević<sup>1</sup>, Snežana Mašović, Rade Hajdin, Sanja Jocković, Miloš Marjanović, Veljko Pujević, Nikola Obradović

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet

**Rezime:** Jedan od ključnih problema koji se javlja u upravljanju održavanjem objekata državne saobraćajne infrastrukture je nedostatak sistematizovanih, ažuriranih blagovremenih informacija o stanju elemenata infrastrukturnih objekata kao što su: stanje nasipa, mostova, tunela, potpornih konstrukcija itd. Sistematizovane informacije omogućavaju racionalno i efikasno održavanje, blagovremene reakcije koje će smanjiti rizik od havarije objekata i povećati bezbednost saobraćaja. Osim toga, takav pristup doprinosi optimizaciji izdvajanja budžetskih sredstava za tu namenu i racionalnom iskorišćavanju raspoloživih tehničkih resursa. Upravljanje procesom održavanja potpornih konstrukcija zahteva formiranje jedinstvene (centralne) baze podataka koja će evidentirati sve potporne konstrukcije koje ispunjavaju propisani kriterijum za evidentiranje i sistematizovano pratiti njihovo stanje kroz vreme. U ovom radu prikazana je metodologija za formiranje i razvoj baze podataka o potpornim konstrukcijama, korišćenjem primera dobre prakse.

**Ključne reči:** potporne konstrukcije, baza podataka, metodologija

# METHODOLOGY FOR THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE DATABASE OF RETAINING STRUCTURES

Mirjana Vukićević<sup>1</sup>, Snežana Mašović, Rade Hajdin, Sanja Jocković, Miloš Marjanović, Veljko Pujević, Nikola Obradović

<sup>1</sup> – University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering

**Abstract:** One of the key problems that occurs in the management of the maintenance of state transport infrastructure facilities is the lack of systematized and updated information on the condition of the elements of infrastructure facilities such as the condition of embankments, bridges, tunnels, retaining structures etc. Systematized information enables rational, efficient maintenance, timely reactions that will reduce the risk of building failures and increase traffic safety. In addition, such an approach contributes to the optimization of the allocation of budget funds for that purpose and the rational use of available technical resources. Management of the maintenance process of retaining structures requires the formation of a unique (central) database that will record all retaining structures that meet the prescribed criteria for recording and systematically monitor their condition over time. This paper presents the methodology for the formation and development of a database of retaining structures, using examples of good practice.

**Keywords:** retaining structures, database, methodology

## 1. UVOD

Najveći broj potpornih konstrukcija duž auto-puteva je građeno pedesetih i šezdesetih godina prošlog veka. Često su izvedene bez detaljnih analiza stabilnosti i generalno bez korišćenja propisa. Poslednjih nekoliko decenija, urbani razvoj i širenje transportnih mreža značajno je povećao broj potpornih konstrukcija u svetu. Nedostatak osnovnih informacija o broju i stanju potpornih konstrukcija može imati direktne posledice kako za javnu bezbednost, tako i za rad na putevima. Vodeći se primerima dobre prakse u oblasti upravljanja procesom održavanja mostova i puteva koja se primenjuje svuda u svetu, mnoge države (naročito u Evropi i SAD) u poslednje dve decenije proširuju svoje programe upravljanja imovinom kako bi obuhvatile sve sisteme na putu, među kojima su najznačajnije potporne konstrukcije [1-4]. Popis i redovne inspekcije pružaju informacije od suštinskog značaja za program upravljanja imovinom koji je prvenstveno fokusiran na optimizaciju radnog veka potpornih konstrukcija uz minimalne troškove.

Upravljanje imovinom se u svetu realizuje kroz tri faze: informacionu, analitičku i kreiranje politike [1-4]. Prva faza je sistematska organizacija informacija. Relativno jeftin softver baze podataka omogućava sakupljanje detaljnih podataka o karakteristikama potpornih konstrukcija i brz pristup tim podacima na različite načine. Informaciona faza omogućava identifikaciju sredstava za popravku, održavanje i zamenu potpornih konstrukcija i daje kvantitativni pregled imovine. Sa takvim informacijama, upravljanje imovinom prelazi u

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mirav@grf.bg.ac.rs

analitičku fazu. Ovde se podaci analiziraju tako da pružaju sve pouzdanije projekcije jediničnih troškova, radnog veka i rizika od propadanja i nestabilnosti za različite tipove i komponente potpornih konstrukcija. Konačno, sistem upravljanja imovinom dobija informacije koje se mogu koristiti na nivou kreiranja politike, kao što je revizija standardnih specifikacija za projektovanje potpornih konstrukcija ili određivanje uslova u kojima se primenjuju različiti tipovi konstrukcija ili materijala.

## 2. BAZA PODATAKA O POTPORNIM KONSTRUKCIJAMA

Upravljanje procesom održavanja potpornih konstrukcija zahteva formiranje jedinstvene (centralne) baze podataka koja će evidentirati sve potporne konstrukcije koje ispunjavaju propisani kriterijum za evidentiranje i sistematizovano pratiti njihovo stanje kroz vreme. Svrha osnivanja Baze podataka o potpornim konstrukcijama (BPPK) je efikasnije upravljanje održavanjem potpornih konstrukcija (PK) sa više aspekata: eksploatacionog stanja, donošenja odluka o saniranju, vrsti i obimu sanacija, mera održavanja, procene finansijskih troškova kao i praćenja stanja ovih konstrukcija.

Baza podataka je koncepcijski zasnovana na sledećim funkcionalnim potrebama:

- Prva grupa podataka – ima inventarski karakter iz projekata izvedenog stanja ili, u njegovom nedostatku, iz inventarskog snimanja i retko se ažurira (samo pri promeni osnovnih konstrukcionih elemenata pri sanacijama).
- Druga grupa podataka – ima karakter procene stanja konstrukcije i sadrži podatke povremenih sistematskih pregleda, kvalitativnu analizu i ocenu postojećeg stanja svih bitnih elemenata. Iz ove grupe podataka rezultira određivanje sumarnog rejtinga stanja u životnom ciklusu potpornih konstrukcija.

Osnivanje baze podataka za potporne konstrukcije se sastoji od dva bitna koraka: 1) izrada metodologije za formiranje i razvoj baze podataka u inženjerskom i informatičkom smislu i 2) izrada aplikativnog softvera za upravljanje bazom.

## 3. METODOLOGIJA ZA FORMIRANJE I RAZVOJ BPPK

Najznačajniji i neophodan korak na početku osnivanja BPPK je razvoj metodologije za pregled i vrednovanje stanja PK i njihovih elemenata, tako da se po završetku prikupljanja i obrade podataka može formirati lista prioriteta u održavanju, popravkama i rekonstrukcijama PK. Da bi se ispravno planiralo održavanje, a maksimalno smanjile rekonstrukcije i eventualne sanacije na državnim putevima, neophodno je da se raspolaze relevantnim podacima, lako dostupnim, pregledno sistematizovanim, pouzdanim i lako upotrebljivim.

### 3.1. Kriterijumi za izbor potpornih konstrukcija za pregled

Jedno od bitnih pitanja vezanih za program održavanja PK je da li treba sve potporne konstrukcije uvrstiti u program pregleda i praćenja. Rukovodeći se tehničkim i ekonomskim razlozima, praćenje treba ograničiti na one konstrukcije čije bi rušenje ili oštećenje predstavljalo značajan rizik za ljude, imovinu ili operacije na putu. Najvažnija komponenta takvog rizika je visina konstrukcije. Međutim, kriterijum visine se obično primenjuje u kombinaciji sa jednim ili više drugih kriterijuma, uključujući blizinu kolovoza, vlasništvo zida ili nadležnost, položaj i funkciju zida u odnosu na most. Kriterijume treba pažljivo razmotriti, jer mala promena jednog kriterijuma, kao što je visina zida ili blizina saobraćajnice, može doneti veliku razliku u broju PK za pregled, što utiče i na ukupnu cenu upravljanja održavanjem PK. Kriterijume treba definisati tako da timovima za pregled bude lako da ih tumače i primenjuju na terenu.

#### 3.1.1. Kriterijumi za visinu

**Visina zida u odnosu na visinu zadržanog tla.** Visina se može definisati na različite načine. Jedno je pitanje da li koristiti stvarnu visinu zida ili visinu zadržanog tla. Kao kriterijum za uvrštavanje u inventar, usvojena je kao bitnija visina samog zida, jer je konzervativnija sa stanovišta sigurnosti i lakše se meri.

**Vidna visina u odnosu na ukupnu visinu.** Potpuna visina zida je retko vidljiva, s obzirom na to da je njegov deo obično ukopan u tlo. Za potrebe inventara najjednostavnije je koristiti otkrivenu ili vidljivu visinu zida kao kriterijum za uključivanje. Stvarna visina ili ukupna visina zida takođe bi trebalo da budu dokumentovani kao deo postupka inventara. Međutim, to će se utvrditi iz projekta ili, ako je apsolutno potrebno, kopanjem opitne jame.

**Zidovi promenljive visine.** Većina zidova nema istu visinu po celoj dužini. Za potrebe popisa, maksimalna visina treba da bude glavna. Drugo pitanje je da li pregled treba da obuhvati čitavu dužinu zida ili samo one delove koji ispunjavaju kriterijum visine. Najbolje je razmotriti zid u celini. Neki se problemi mogu uočiti u nižim delovima zida pre nego što se otkriju u višim.

**Složeni zidovi.** Na nekim lokacijama postoje dva ili više različitih zidova na istoj padini, jedan iznad drugog, koji ne bi ispunjavali kriterijum visine ako se posmatraju odvojeno. Predlaže se da se takvi zidovi razmatraju kao jedinstvena PK. Elementi pojedinačnih zidova moraju se zasebno popisati, jer mogu biti konstruktivno različiti i sagrađeni u različito vreme.

**Uključivanje gornjih zidnih dodataka.** Pitanje je da li treba visinom zida obuhvatiti zidove poput parapetnih, ogradnih ili zaštitnih barijera, a koji ne služe kao potpora tla. U praksi agencija različitih zemalja koje se bave popisom stanja PK, većina ne uključuje priloge u primenu kriterijuma za visinu, što je i u ovoj metodologiji primenjeno.

**Preporuke za minimalnu visinu zida.** Većina agencija koristi kriterijum minimalne visine za pregled od 2.0 m.

### 3.1.2. Blizina kolovoza

Kriterijum udaljenosti PK od kolovoza je vezan za mogućnost ugrožavanja bezbednosti puta u slučaju da dođe do rušenja dela ili cele konstrukcije. Kriterijum rastojanja je obično u funkciji visine zida. Prema preporukama iz literature [1], PK se uključuje u program pregleda, ukoliko je njena udaljenost od ivice bankine manja od 150% njene maksimalne visine.

### 3.1.3. Vlasništvo zida ili nadležnost

Uobičajeno je da se državna preduzeća koja se bave održavanjem saobraćajne infrastrukture primarno bave konstrukcijama u okviru državnog vlasništva. Sa tehničke tačke gledišta, to nije sasvim ispravan pristup, jer se može desiti da PK u privatnom vlasništvu, ukoliko je dovoljno blizu puta, ugrozi njegovu bezbednost. Najkorisnije bi bilo da se u inventar uključe sve PK koje mogu uticati na bezbednost saobraćajnica.

### 3.1.4. Funkcija zida u odnosu na most

Postavlja se pitanje da li treba krilne zidove mosta koji su spojnicama odvojeni od konstrukcije mosta (nisu integralni deo konstrukcije mosta) ili druge zidove povezane sa mostom uvrstiti u popis PK. U praksama različitih agencija postoje različiti pristupi. Ovde je usvojeno da se takve potporne konstrukcije priključuju inventarskoj bazi za mostove.

## 3.2 Klasifikacija potpornih konstrukcija

Potporna konstrukcija je svaka konstrukcija namenjena stabilizaciji inače nestabilne mase tla. Stabilizacija se može ostvariti konstrukcijom koja predstavlja bočni oslonac tlu ili armiranjem tla, gde se stabilnost postiže povećanjem čvrstoće tla. Potporne konstrukcije se klasifikuju prema različitim kriterijumima. Prema načinu građenja su podeljene u dve grupe:

1. PK sa zasipom u zaleđu - građenje odozdo naviše
2. ukopane PK - građenje odozgo naniže

Svaka od ovih grupa može biti podeljena prema načinu obezbeđivanja stabilnosti tla na dve podgrupe:

- a) konstrukcije koje obezbeđuju spoljašnju stabilizaciju (bočno oslanjanje) tla
- b) konstrukcije koje obezbeđuju unutrašnju stabilizaciju tla.

Grupi 1.a pripadaju masivni (gravitacioni) zidovi, kruti armirano-betonski zidovi, prefabrikovani modularni gravitacioni zidovi.

Grupi 1.b pripadaju vertikalne konstrukcije od mehanički stabilizovanog tla (MSE konstrukcije, kosine od armiranog tla primenom različitih tehnologija).

Grupi 2.a pripadaju konzolni ukopani zidovi, ankerovani zidovi, kombinacije ukopanih zidova i ankera.

Grupi 2.b pripadaju "in situ" armirane konstrukcije ("Soil-nail" zidovi, zidovi od mikro šipova).

### 3.3 Formiranje segmenata baze podataka



Na nivou pojedinačne PK sve informacije su grupisane u odgovarajuće segmente baze podataka. U ovoj fazi razvoja BPPK formirana su dva osnovna segmenta informacija:

1. Inventarski podaci
2. Podaci o stanju PK - inspekcijski podaci

Inventarski podaci su podaci kvazistalnog (uslovno nepromenljivog) karaktera. Otvaranje dosijea PK započinje prikupljanjem inventarskih podataka. Predviđene su sledeće grupe inventarskih podataka:

1. Opšti podaci
2. Podaci iz projektne dokumentacije
3. Podaci o lokaciji, mikroklimi i izloženosti prirodnim nepogodama
4. Podaci o saobraćajnici u zoni PK
5. Podaci o tipu i geometriji PK i okolnog terena
6. Podaci o fundiranju PK
7. Podaci o opremi i instalacijama na PK
8. Podaci o održavanju, praćenju i sanaciji PK

Inventarski podaci se prikupljaju iz raspoložive tehničke dokumentacije (projekat izvedenog stanja i sl.), kao i pomoću terenskih radova (in-situ), u slučaju da tehnička dokumentacija o PK nije dostupna. Terenski radovi radi prikupljanja inventarskih podataka PK podrazumevaju izradu fotografija i skica, kao i merenje osnovnih geometrijskih podataka (dužina, visina, širina krune, nagibi terena i sl.) i snimanje položaja PK. Prikupljeni terenski inventarski podaci se obrađuju u birou i unose u BPPK. Podaci o stanju PK su varijabilni i prikupljaju se isključivo inspekcijom na terenu, tokom povremenih sistematskih pregleda. Pregledi se vrše vizuelnim pregledom sa bliskog odstojanja, uz potrebnu opremu.

Svaki tip PK (prevashodno definisan statičkim sistemom i materijalom), sastoji se od određenog broja elemenata za pregled. U ovoj fazi razvoja BPPK predviđeno je ocenjivanje stanja sledećih elemenata PK:

1. Temeljnog tla u nožičnom delu PK,
2. Sistema za odvodnjavanje,
3. Kosina iznad i ispod PK,
4. Bočnih kosina,
5. Kolovoza,
6. Obloge,
7. Vertikalnih dilatacionih spojnica,
8. Betona,
9. Zidane ispune,
10. Vezivnog materijala u spojnicama,
11. Šipova,
12. Ispune između šipova,
13. Ankera,
14. Globalnih deformacija PK.

Ovi podaci imaju karakter eksploatacionog stanja. Oni se prikupljaju i prikazuju u obliku teksta sa opisom oštećenja pojedinih elemenata i pridruženim numeričkim vrednostima ocena, u obliku grafičkih priloga (skica oštećenja) i fotografija oštećenja. Na osnovu ocena o stanju pojedinačnih elemenata formira se opšta ocena o stanju PK.

Sastavni deo tehničkog rešenja BPPK je i Rečnik inženjersko-tehničkih pojmova, sa pratećim skicama i fotografijama, čijom se primenom obezbeđuje pravilan unos svih podataka u bazu. Rečnikom su obuhvaćeni svi tehnički termini i pojmovi u okviru metodologije za pregled i ocenu stanja PK, BPPK ili u bilo kojoj od inženjerskih aktivnosti vezanih za rad sa ovom bazom.

### **3.4. Metodologija za ocenu stanja pk**

Metodologija za ocenu stanja PK obuhvata pregled tipova PK obuhvaćenih BPPK, definisanje elemenata PK za inspekcijski pregled i definisanje opšte ocene stanja PK.

#### **3.4.1. Pregled tipova PK obuhvaćenih BPPK**

U ovom delu tehničke dokumentacije dat je tehnički opis svih tipova PK koji su obuhvaćeni bazom podataka:

- Gravitacioni betonski zid;

- Gravitacioni zidani zid (bez i sa cementnom ispunom);
- Konzolni armirano betonski zid;
- Zid od šipova;
- Zid od šipova sa ankerima;
- Zidovi sa ankerima (betonski blokovi sa ankerima, vertikalne grede sa ankerima i ispunom, horizontalne grede sa ankerima, roštilj sa ankerima sa/bez ispune).

### 3.4.2. Elementi PK za inspekcijski pregled

Prilikom inspekcijskog pregleda PK vrši se ocenjivanje 15 različitih elemenata PK, u zavisnosti od tipa PK. Na osnovu ocena pojedinačnih elemenata PK formira se opšta ocena PK. Elementi PK su po pravilu vidljivi tokom inspekcijskog pregleda. Međutim, određeni elementi PK nekad neće biti u potpunosti dostupni prilikom inspekcijskog pregleda (usled povećane vegetacije, snega i sl.). U tom slučaju se pažljivo procenjuje ocena pojedinačnog elementa, kako bismo bili na strani sigurnosti. U Tabeli 1 dati su elementi koji se ocenjuju za određeni tip PK.

Tabela 1. Elementi koji se ocenjuju za određen tip PK

Element	Gravitacioni betonski zid	Gravitacioni zidani zid	Konzolni ab zid	Zid od šipova	Zid od šipova sa ankerima	Zid sa ankerima
Stanje temeljnog tla u nožičnom delu PK	•	•	•	•	•	•
Stanje sistema za odvodnjavanje	•	•	•	•	•	•
Stanje kosine iznad PK	•	•	•	•	•	•
Stanje kosine ispod PK	•	•	•	•	•	•
Stanje bočnih kosina	•	•	•	•	•	•
Stanje kolovoza	•	•	•	•	•	•
Stanje obloge	•	•	•	•	•	•
Stanje vertikalnih dilatacionih spojnica	•	•	•	•	•	•
Stanje betona	•	•		•	•	•
Stanje zidne ispune		•				
Stanje vezivnog materijala u spojnicama		•				
Stanje šipova				•	•	
Stanje ispune između šipova				•	•	
Stanje ankera					•	•
Globalne deformacije PK	•	•	•	•	•	•

### 3.4.3. Opšta ocena stanja PK

Opšta ocena treba direktno ukazuje na nivo oštećenja PK, kao i na zahtevani nivo mera sanacije/održavanja koje bi trebalo preduzeti. Ocena stanja PK formira se na osnovu ocena pojedinačnih elemenata PK. Predviđeno je da se stanje elemenata PK ocenjuje ocenom od 1 do 5, gde oceni 1 odgovara odlično stanje elemenata (bez oštećenja), a oceni 5 odgovara izuzetno loše stanje elemenata (velika oštećenja, PK se ruši). Generalni opis ocena (1–5):

- 1 Nema oštećenja ili su oštećenja neznatna i u propisanim granicama.
- 2 Veoma mala do umerena oštećenja, ali oštećenja ne ugrožavaju funkciju elementa PK, niti je stabilnost i funkcionalnost PK ugrožena.
- 3 Veoma rasprostranjena mala do umerena oštećenja i/ili lokalno prisutna velika oštećenja. Oštećenja ne ugrožavaju funkciju elementa, ali bez saniranja prisutnih oštećenja može doći do ugrožavanja stabilnosti i funkcionalnosti PK u narednom periodu nakon inspekcije.

- 4 Veoma rasprostranjena srednja do znatna oštećenja. Prisutna oštećenja ugrožavaju funkciju elementa. Stabilnost i funkcionalnost PK očigledno ugrožena. Nije još došlo do rušenja PK i nema potrebe za zatvaranjem saobraćajnice.
- 5 Veoma rasprostranjena znatna oštećenja. Element ne obavlja više svoju funkciju. Nefunkcionisanje elementa ugrožava stabilnost PK prilikom inspekcije ili je došlo do urušavanja delova PK.

Opšta ocena PK formirana na bazi ocena pojedinačnih elemenata može voditi i ka tome da se različiti tipovi PK ne mogu jednostavno porediti pomoću opštih ocena, jer se za različite tipove PK ocenjuju različiti elementi. Segmentu PK se dodeljuje ocena najlošije ocenjenog elementa. Ovaj kriterijum je konzervativan, ali se može smatrati opravdanim, imajući u vidu posledice rušenja PK. Potpornoj konstrukciji sastavljenoj iz više segmenata se dodeljuje opšta ocena najlošije ocenjenog segmenta.

### 3.5. Uputstva

Metodologijom tehničkog rešenja su obuhvaćena i uputstva:

1. Opšte uputstvo za inventarski i inspekcijski pregled PK
2. Uputstva za popunjavanje BPPK

#### 3.5.1. Opšte uputstvo za inventarski i inspekcijski pregled PK

Opšte uputstvo za inventarski i inspekcijski pregled PK sadrži detaljan opis sledećih aktivnosti: pripremne aktivnosti za inventarski i inspekcijski pregled PK, terenske aktivnosti za inventarski i inspekcijski pregled PK, sistematizaciju podataka, upravljanje podacima i spisak potrebnih dokumenata i opreme za inspekcijski pregled PK.

Pripremne aktivnosti podrazumevaju prikupljanje postojećih podataka i planiranje terenskog rada radi utvrđivanja obima i rasporeda aktivnosti na terenu. Terenski rad uključuje inventarski popis/pregled elemenata PK i inspekcijski pregled radi procene stanja PK prema kriterijumima i smernicama za ocenu PK. U zavisnosti od osoblja i logistike, ove dve aktivnosti se mogu obaviti zajedno ili u dva koraka. Procena stanja PK je najkritičniji deo njegove inspekcijske evidencije. To će biti osnova za odluke o održavanju, popravci, učestalosti budućih inspekcija, pa čak i mogućoj zameni. Procena stanja dobija se izviđanjem PK i okolnog terena. Ovaj nivo inspekcije uključuje fizički pristup zidu, osmatranje, merenje i eventualno sondiranje ručnim alatima i obično ne uključuje invazivne postupke.

#### 3.5.2. Uputstva za popunjavanje BPPK

Uputstva za popunjavanje BPPK se sastoje od tri uputstva:

1. uputstvo za popunjavanje inventarskog lista PK
2. uputstvo za popunjavanje zapisnika o sistematskom pregledu PK
3. uputstvo za izradu fotodokumentacije i grafičkih priloga

Uputstvo za popunjavanje inventarskog lista PK sadrži: opšte podatke, podatke iz projektne dokumentacije (ukoliko postoje), podatke o lokaciji PK, mikroklimi na lokaciji, izloženost PK prirodnim nepogodama, podatke o saobraćajnici u zoni PK, osnovne karakteristike PK, podatke o geometriji PK i okolnog terena, fundiranju PK, opremi i instalacijama i podatke o održavanju, praćenju i sanaciji PK.

Uputstvo za popunjavanje zapisnika o sistematskom pregledu PK sadrži podatke o sistematskom pregledu PK kao što su stanja: temeljnog tla u nožičnom delu, sistema za odvodnjavanje, kosine iznad PK, kosine ispod PK, bočnih kosina, kolovoza, obloge, vertikalnih dilatacionih spojnica, betona, zidne ispune, vezivnog materijala u spojnica, šipova, ispune između šipova, ankera i globalne deformacije PK.

Fotografije prikupljene tokom inspekcijskog pregleda PK su osnovni ulazni podatak za dalju ocenu stanja PK, kao i planiranje radova na sanaciji i održavanju PK. Zbog toga je pripremi fotodokumentacije potrebno posvetiti naročitu pažnju. Izrada grafičke dokumentacije za unos u BPPK može se vršiti u bilo kom komercijalnom programu za obradu računarske grafike, a u zavisnosti od sadržaja grafičkog priloga.

U napomeni treba unositi sva dodatna zapažanja, odstupanja ili ograničenja prilikom prikupljanja i unosa podataka za razmatranu podgrupu podataka.

#### 4. ČLANOVI TIMA KOJI VRŠI INSPEKCIJU PK

Podatke o PK prikupljaju timovi sastavljeni od:

- građevinskih inženjera geotehnike,
- građevinskih inženjera za konstrukcije / puteve, aerodrome i železnice
- inženjera geologije

Radni tim koji obavlja inventarski i inspekcijski pregled PK treba da bude adekvatno obučen za vrednovanje stanja PK. Bez obzira na prethodne kvalifikacije, svi članovi tima moraju biti upoznati sa procedurama pregleda i korišćenja odgovarajućih formulara i softvera. Program obuke trebalo bi da bude formalizovan da bi se mogao preispitivati. Obuka treba da smanji nivo varijacija u izveštavanju i proceni stanja. Za svakog člana tima mora da se utvrdi uloga u procesu pregleda, kao i odgovornost za određene aktivnosti. Pored poznavanja procesa i procedura pregleda i vrednovanja PK, članovi tima treba da poseduju neophodna znanja o tipovima PK, elementima i mogućem ponašanju PK u eksploatacionim uslovima. Veličina tima zavisice od različitih faktora kao što su veličina projekta, zahtevi za kontrolu saobraćaja i pristupačnost. Adekvatnim izborom i obukom tima za prikupljanje podataka obezbeđuje se kvalitet i konzistentnost BPPK. Podrazumeva se da su članovi timova koji učestvuju u pregledu upoznati sa statičkim sistemom različitih tipova PK, kao i interakcijom tla i konstrukcije. Ovo je od izuzetnog značaja jer se ocenjuju i elementi koje je veoma teško ili gotovo nemoguće pregledati.

#### 5. ZAKLJUČAK

Izrada metodologije je od suštinske važnosti, jer daje odgovore na bitna pitanja koja se odnose na praćenje stanja potpornih konstrukcija kao što su: koji je kriterijum za izbor potpornih konstrukcija koje treba uvrstiti u bazu, koji su bitni elementi za pregled za svaki tip konstrukcije, na koji način i ko vrši pregled, kako se ocenjuje stanje potporne konstrukcije i njenih elemenata itd. Metodologijom treba obezbediti da ti podaci budu pregledno sistematizovani, pouzdani i lako upotrebljivi. Osim toga, metodologija treba da omogući da se na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka može formirati lista prioriteta u održavanju, odnosno popravkama i rekonstrukcijama potpornih konstrukcija.

#### Literatura

- [1] Brutus, O.; Tauber, G. 2009. Guide to asset management of earth retaining structures, National Cooperative Highway Research Program.
- [2] DeMarco, M., Keough, D., Lewis, S., Retaining Wall Inventory and Condition Assessment Program (WIP), National Park Service Procedures Manual, Publication No. FHWA-CFL/TD-10003, August 2010.
- [3] Structure Inspection Manual, Wisconsin Department of Transportation, August 2017.
- [4] Retaining wall inventory and inspection program, NY SDOT Retaining Wall Inventory and Inspection Program, October 2018.
- [5] Техничко решење оснивање сегмента базе података о потпорним конструкцијама, верификација и тест, група аутора, Универзитет у Београду Грађевински факултет, 2020.

## РЕШЕЊЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ СТАБИЛИЗОВАЊЕМ И УНАПРЕЂЕЊЕМ ЛОКАЛНОГ МАТЕРИЈАЛА УЗ ТРАСУ „БРЗЕ“ МАГИСТРАЛЕ НА ДЕОНИЦИ ОБИЛАЗНИЦЕ ОКО РУМЕ

Душица Дрндарски<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за путеве ад, Београд, email:d.drndarski@highway.rs

**Резиме:** *Путно инжењерство у својој активности ангажује велике количине природног материјала. Много милиона тона невезаног каменог агрегата се угради у и испод асфалтних слојева. Са тачке гледишта заштите животне средине, много је прихватљивије решење употребити унапређени локални материјал током изградње односно рециклирати материјал на лицу места током радова на реконструкцији путева. Изградња бројних аутопутева и „брзих“ магистрала у Србији има за последицу употребу велике количине шљунка и дробљеног камена. У исто време заузима се значајан простор депоновањем локалног материјала. Ефикасније коришћење постојећег материјала представља добробит за друштво. Аспекти који се односе на окружење и очување животне средине добијају предност у односу на економске, нарочито када се ради о употреби локалног материјала. Овај рад даје неке од могућности у смислу ефикасније и економичније примене локалног материјала са циљем очувања окружења и заштите природних ресурса у смислу изградње постелице од леса стабилизованог додатком хидрауличког везива. Осим кроз Пројектни задатак и израду Идејних пројеката, неопходно је да Путна привреда изнађе могућности за подстицање Извођача у избору технологије и техничких могућности којима би се дала предност употребе локалних материјала.*

**Кључне речи:** постелични слој, локални материјал - лес, хидраулична везива

## PAVEMENT STRUCTURE SOLUTION BY STABILIZING AND IMPROVING LOCAL MATERIAL ALONG THE ROUTE OF THE "FAST" HIGHWAY ROAD ON THE SECTION OF THE RUMA BYPASS

Dušica Drndarski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Highway Institut JSC, Belgrade, email:d.drndarski@highway.rs

**Abstract:** *Road engineering involves large amounts of natural material in its activity. Many millions of tons of unbound stone aggregate are embedded in and under the asphalt layers. From the point of view of environmental protection, it is a much more acceptable solution to use improved local material during construction, i.e. to recycle material on site during road reconstruction works. The construction of numerous motorways and "fast" highway roads in Serbia results in the use of a large amount of gravel and crushed stone. At the same time, significant space is occupied by depositing local material. More efficient use of existing material represents a benefit for society. Aspects related to the environment and environmental protection are given priority over economic ones, especially when it comes to the use of local materials. This paper provides some of the possibilities in terms of more efficient and economical application of local material with the aim of preserving the environment and protecting natural resources with reference to the construction of the capping layer of loess stabilized by adding a hydraulic binder. Apart through the Terms of Reference and the preparation of Preliminary Designs, it is necessary for the Road Industry to find opportunities to encourage the Contractor in the choice of technology and technical possibilities that would give priority to the use of local materials.*

**Keywords:** *capping layer, local material - loess, hydraulic binders.*

---

<sup>1</sup>Душица Дрндарски, email: d.drndarski@highway.rs

## 1. УВОД

Годинама уназад постоји потреба рационалније и економичније употребе агрегата из позајмишта. Сврха овог рада је да се подстакне смањење депонија ископаног материјала, односно што ефикаснија употреба унапређеног локалног материјала кад год је то могуће, не утичући на квалитет или трајност изграђеног пута. У прилог овом приступу су:

- одлучност да се сачувају природни ресурси и
- промоција употребе локалних материјала ради задовољавања потребе за смањењем отпада које производи путна привреда.

Могућа употреба ових материјала у оквиру радова на изградњи пута обухвата изградњу насипа, слоја постелеице и носећег слоја коловозне конструкције. У овом раду анализирана је могућност употребе локално унапређеног материјала у слоју постелеице као саставног дела Идејног пројекта коловозне конструкције на деоници брзе магистралне саобраћајнице државног пута IB реда бр. 21 Нови Сад – Рума.

Траса предметне деонице, укупне дужине ~ 10 km, делом је положена у насипу а делом у усеку/засеку. Почетак деонице поклапа се са почетком постојеће обилазнице око Руме где је предвиђено извршити уклапање у постојећи државни пут IB – 21. Крај деонице је предвиђен на ~ 200 m након кружног тока, односно укључења на аутопут Е-70.

Пројекат основне трасе анализира варијантна решења коловозне конструкције кроз стратегију могућности стабилизовања и/или унапређења локалног материјала са трасе или из зоне непосредно уз трасу будућег аутопута. Оваква могућност је у складу са тенденцијом примене локалних материјала, смањења коришћења висококвалитетних ресурса материјала, смањења штетних емисија и уштеде у коришћењу енергије.

## 2. УТИЦАЈНИ ПАРАМЕТРИ

У поступку пројектовања коловозне конструкције разматрани су следећи параметри:

- Прогноза саобраћаја у наредном периоду експлоатације од 20, односно 30 година, карактеристике врста возила, њихово осовинско оптерећење.
- Избор материјала за изградњу насипа
- Завршни слој насипа – постелеица
- Климатске карактеристике подручја са оценом индекса мраза и ефективних температура асфалта меродавних за димензионисање.

### 2.1. Саобраћајно оптерећење

Прорачун саобраћајног оптерећења извршен је према стандарду СРПС У.Ц4.010 у складу је са закључцима ААSHTO теста са којима су такође, у складу, и стандарди за димензионисање коловозних конструкција СРПС У.Ц4.014 и СРПС У.Ц4.015.

Укупно просечно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80кN, на основној траси, за пројектни период од 20, односно 30 година:

$ЕСО_{80кN} (20год.) = 26.3 \times 10^6$  стандардних осовина од 80кN, односно  
 $ЕСО_{80кN} (30год.) = 44.2 \times 10^6$  стандардних осовина од 80кN.

### 2.2. Доњи строј – насип

#### 2.2.1. Опис материјала из подтла

Терен на коме је положена траса брзе магистрале изграђују геолошке творевине различите старости, а сврстане су у следеће инжењерскогеолошке комплексе:

- Еолске творевине – лес (I) са два до три хоризонта раздјељена слојевима “погребене земље”.

Решење коловозне конструкције стабиловањем и унапређењем  
локалног материјала уз трасу „брзе“ магистрале  
на деоници обилазнице око Руме

- Пролувијално – алувијални нанос (р<sub>г</sub> – а<sub>l</sub>) – заглињени пескови, глине и глине са променљивим садржајем одломака чврсте стенске масе.
- Техногени седименти – насипи (n) – творевине контролисано уграђене и насипи као депоније материјала.

За потребе овог рада дате су геотехничке карактеристике леса као потенцијалног материјала за изградњу стабилизоване постељице док ће остали материјали бити приказани описно.

**Потез од km 34+205 до km 40+950**

На овом потезу нивелета је положена већим делом у усеку/засеку и мањим делом у насипу.

Терен изграђују лесне заравни и платои.

- **Лесни седименти (I<sub>l</sub>, I<sub>ll</sub>, I<sub>lll</sub>):** песковито глиновите прашине. Материјал је врло до средње стишљив. Припада II категорији земљишта по условима ископа.

Резултати лабораторијског испитивања материјала постељице су следећи:

Гранулометријски састав:

Средина	глина < 0.002 mm	прашина 0.002 - 0.06 mm	песак 0.06 - 2.0 mm	шљунак 2.0 – 60.0 mm	природна влажност w
	%	%	%	%	%
I <sub>l</sub>	14-24	63-70	10-18	/	16-29
I <sub>ll</sub>	12-27	56-75	10-18	/	16-26
I <sub>lll</sub>	14-22	68-76	10-15	/	19-30

Границе конзистенције:

Средина	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	I <sub>c</sub> (%)
I <sub>l</sub>	32-39	17-21	14-19	0.4-1.2
I <sub>ll</sub>	31-41	16-24	13-20	0.4-1.1
I <sub>lll</sub>	30-40	17-23	11-17	0.2-1.0

Proctor-ов опит (E=600 kN/m<sup>3</sup>)

Средина	γ <sub>d</sub> max kN/m <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	CBR %
I <sub>l</sub> , I <sub>ll</sub> , I <sub>lll</sub>	16.4-18.5	16.4-18.5	4.3-6.5

Предметни материјал се класификује као CL према USCS класификацији материјала, односно A-6 према AASHTO путној класификацији материјала.

**Потез од km 40+950 до km 41+950 и од km 44+730 до km 44+585**

На овим потезима нивелета је положена највећим делом у усеку/засеку. Терен изграђују техногени седименти – насипи (n), контролисано уграђени и насипи као депоније материјала.

- **Насипи (n):** хетерогеног састава, изграђен од лесно прашинасто песковитог материјала, дробине, шљунка, грађевинског шута. Променљивих је физичко – механичких карактеристика. Материјал је технички стабилизован и средње збијен. Припада II-III категорији земљишта по условима ископа.

**Потез од km 41+950 до km 44+730**

На овом потезу нивелета је у нивоу терена, ниском насипу и малом усеку/засеку. Терен изграђују наноси присутних потока.

- **Прашинасто песковите глине (pr-al<sup>9</sup>):** меке до средње тврде, ниске пластичности, врло до средње стишљиве. Припада II категорији земљишта по условима ископа.

Предметни материјал се класификује као CL према USCS класификацији материјала, односно A-6 и A-7-6 према AASHTO путној класификацији материјала.

### 2.2.2. Карактеристике материјала из позајмишта

У оквиру геотехничких услова изградње основне трасе пута даје се и оцена употребљивости материјала из усека-засека као могућих позајмишта. Усецање-засецање ће се углавном обавити у лесним прашинасто-песковито-глиновитим наслагама (I, pz).

Препоручена су следећа позајмишта:

**Позајмиште I** – налази се на траси саобраћајнице у зонама дубоких усека-засека од km 36+160 – km 38+750. Истраживања су обухватила део простора лесне заравни поред старе циглане у Руми.

Позајмиште I се састоји из три целине и то на следећим позајмиштима дуж пројектоване трасе пута:

- I/1: km: 36+160 – km: 36+960
- I/2: km: 37+370 – km: 37+750
- I/3: km: 38+260 – km: 38+750

**Позајмиште II** – се налази на око 5.8 km северозападно од Иришког венца. То је простор каменолома „Кишњева глава“ у Раковцу, у којем се већ дуги низ година експлоатише магматска стена – трахит, која се користи за производњу дробљеног каменог агрегата 0/31.5 mm и 0/63 mm.

### 2.2.3. Карактеристике материјала из позајмишта

За израду насипа испитани су расположиви материјали у погледу њихове употребљивости из већих усека/засека као и из позајмишта у непосредној близини трасе.

Насип брзе магистрале биће изграђен од лесних седимената из усека и потенцијалних позајмишта. Врста материјала који према геотехничкој анализи треба да се нађе у насипу пута, носивост трупа (без завршног слоја насипа – постелице ) се дефинише на начин тако да привремена односно измерена носивост може се изједначити са трајном носивошћу и износи  $E_{v2,min} = 20$  МПа.

Материјал за изградњу насипа треба да задовољи следеће критеријуме:

- максимална запреминска маса по стандардном Proctor-овом опиту  $\gamma_d \geq 15$  kN/m<sup>3</sup>
- граница течења,  $W_l < 65\%$
- индекс пластичности,  $I_p < 30\%$
- степен неравномерности гранулометријског састава  $U = d_{60}/d_{10} \geq 9$
- оптимална влажност,  $w_{opt} < 25\%$
- садржај сагорљивих и органских материја  $< 6\%$

### 2.3. Материјали за израду постелице

У складу са савременим методолошким поступцима (Француска – LCPC – SETRA), материјал у трупу пута треба да задовољи потребе изградње саобраћајнице и трајне услове носивости у дугом периоду експлоатације. Како труп пута треба да, без деформација, прихвати градилишни саобраћај у свим временским условима, труп пута треба да поседује висок квалитет, високу отпорност на трајне деформације. То уједно представља и разлог због кога се пројектује и гради постелица од материјала постојаног квалитета у потребној дебљини и то је такозвана привремена улога постелице на саобраћајницама високог ранга.

Водећи рачуна о значају и рангу пута, као и о предвиђеном саобраћајном оптерећењу, постелица је пројектована на завршном слоју насипа, као посебан слој између трупа пута и коловозне конструкције. Два основна полазна захтева које материјали у постелици морају да испуне приликом избора пројектног решења су:



- обезбеђење добрих услова грађења самог слоја постелеице и наредних слојева коловозне конструкције (краткорочни захтев) и
- механичко функционисање постелеице током целокупног периода експлоатације (дугорочни захтев)

Израда слоја постелеице разматрана је у складу са расположивим позајмиштем као и локалним материјалима, односно:

1. изградња постелеице од дробљеног каменог агрегата из позајмишта II – каменолом „Кишњева глава“ у Раковцу
2. изградња постелеице од леса (позајмиште I) стабилизованог и унапређеног додатком хидрауличког везива.

### 2.3.1. Карактеристике материјала из позајмишта

Камени агрегат из позајмишта II (каменолом „Кишњева глава“ у Раковцу) је материјал повољних физичких и механичких карактеристика. Камен се може употребити за изградњу слојева постелеице и носећих слојева од невезаног каменог агрегата коловозне конструкције. Физичко – механичке карактеристике испитаног каменог агрегата 0/63 mm су следеће:

- Постојаност на дејство мрза (25 циклуса) (СРПС Б.Б8.002/1989): 0.47%
- Упијање воде (СРПС EN 1097-6/2009): 1.3%
- Отпорност на хабање по методи Los Angeles: градација “А” (СРПС Б.Б8.045/1978): 18%
- Облик зрна, удео зрна неповољног облика (3:1) (СРПС Б.Б8.048/1984): 29%
- Степен неравномерности гранулометријског састава по Allen Hazenu (СРПС У.Б1.018/2005): 18.3%
- Индекс пластичности (СРПС У.Б1.020/1980): 5 %
- Калифорнијски индекс носивости при Sz=95% (СРПС Б.Б8.042/1997): 144%
- Процент слабих зрна (СРПС У.Б1.037/1986): 6%
- Садржај муљевито-глиновитих и органских честица – не садржи
- Запреминска маса у збијеном стању (СРПС Б.Б8.030/1986): 1.727 g/cm<sup>3</sup>
- Оптимална влажност (СРПС У.Б1.038/1997): wopt=5.3%

Изградњом постелеица од дробљеног камена добија се слој ниске осетљивости на промену влажности. привремена и трајна носивост земљаног трупца од леса износи  $E_{v2,min} = 20 \text{ MPa}$ . За постелеицу од каменог материјала са лабораторијском носивошћу од  $E = 200 \text{ MPa}$  на земљаном трупцу (бесконачном хомогеном полупростору) са носивошћу  $E = 20 \text{ MPa}$  формиран је идеалан модел за прорачун и итеративним поступком утврђена потребна дебљина постелеице, она којом се постижу идентични угиби површине који има еластични полупростор чија је носивост  $E_{v2,min} = 80 \text{ MPa}$ . Рачунска анализа дефлексије је спроведена рачунским програмом "BISAR" Shell лабораторије.

На овај начин дефинисана је потребна дебљина постелеице на основној траси од  $d_{min} = 70 \text{ cm}$  на насипу од леса. Привремена носивост  $E_{v2,min} = 80 \text{ MPa}$ , дефлексија од 0.823 mm и дебљина слоја постелеице од дробљеног каменог агрегата  $d_{min} = 70 \text{ cm}$  чине критеријум за доказивање квалитета изведеног слоја.

### 2.3.2. Постелеица из позајмишта I - лес стабилизован хидрауличким везивом

Поред еколошког аспекта стабилизације локалног тла (смањује употребу природног камена и омогућава чување квалитетног агрегата за места на којима је то неопходно), ова техника добија на значају повећањем транспортне даљине дробљеног камена, који представља стандардни материјал за постелеицу у нашој земљи.

Захтев за високом затезном чврстоћом са једне стране и потенцијално повећана влажност материјала у позајмиштима упућује на примену хидрауличког везива (креч и цемент). Прелиминарним испитивањем геомеханичких карактеристика кречне стабилизације (према СРПС-уУ.Е9.026) утврђено је да се већ са 1.5% креча постиже повећање оптималне садржине влаге за 6.5% односно решава се проблем влажности материјала у природном стању. Повећање затезне чврстоће, што је постављено

као почетни захтев овог пројекта, може се постићи додавањем цемента. Оријентациона количина хидрауличког везива износи 6-7%

Прелиминарним испитивањем водећих европских земаља (Енглеска, Француска, Немачка) геомеханичких карактеристика стабилизације тла уз додавање креча и цемента дефинисане су приближне количине креча и цемента неопходних да би се извршило стабилизовање и побољшање локалног тла (решава се проблем влажности материјала у природном стању и повећава затезна чврстоћа).

**Табела 1. Количине креча и цемента за стабилизовања и побољшања локалног тла**

Стабилизација	Индекс пластичности $I_p$							Учешће
	0	5	10	15	20	25	30	
	Метилен плаво МБ (g метилен плаво / kg материјала)							
	0	10	15	22	30	40	60	
Кречом								4 - 8%
Цементом								4 - 8%
Креч + Цемент								1 - 2% креч + 4 - 6% цемент

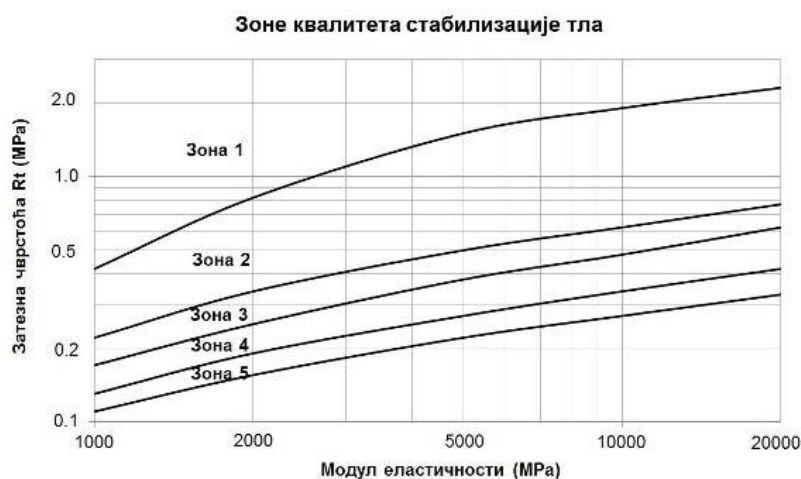
Извор: ИДП - Државни пут 1Б реда бр. 21 Нови Сад – Рума, деоница: Почетак обилазнице Руме до петље „Рума“

#### Носивост постељице од стабилизованог и побољшаног тла

Носивост постељице исказује се на начин којим се обједињује утицај целог земљаног масива у хомогени полупростор. Када се ради о стабилизацији локалног тла могућа су два начина:

1. први, који третира постељицу као еластични полупростор са механичким карактеристикама које се исказују отпорношћу на замор, модулом еластичности и Поасоновим коефицијентом
2. и други који третира постељицу као посебан слој коловозне конструкције са механичким карактеристикама које се исказују отпорношћу на замор, модулом еластичности и Поасоновим коефицијентом

За пројектовање слоја стабилизације тла коришћена су упутства за пројектовање коловозних конструкција којом се дефинишу зоне квалитета стабилизације (SRPS EN 16907-1:2018(E)). На наредној слици приказан је дијаграм квалитета побољшаног материјала.



**Слика 1. Дијаграм квалитета побољшаног материјала**  
Извор: SRPS EN 16907-1:2018(E)

Однос чврстоћа одређених опитима директног и индиректног затезања дефинисан је коришћењем корелације:

$$R_t = 0.8 \times R_{ti}$$

Усвојене су следеће вредности затезне чврстоће и модула еластичности стабилованог слоја ( $R_t$  и  $E$ ) и то:

$$R_t \geq 0.4 \text{ МПа и } E \leq 2500 \text{ МПа (зона квалитета 2)}$$

Усвојена вредност директног затезања представља реалан минимум када је у питању очекивани квалитет побољшаног материјала у постелјици (критеријум заштите од мраза).

У складу са табелом 1 и за опцију извођења стабилизације на лицу места дефинисана је механичка класа 3. За дефинисану вредност носивости земљаног тупа на основној траси потребно је 40 cm пројектованог слоја стабилизације локалног тла да би се остварила трајна носивост на коти постелјице од  $E_{v2,min} = 100 \text{ МПа}$ . Усвојена чврстоћа на затезање након  $10^6$  понављања оптерећења је:

$$\sigma_6 = R_t = 0.40 \text{ МПа}$$

## 2.4. Анализа климатских карактеристика

### 2.4.1. Температура ваздуха и асфалтних слојева

За сагледавање климатских услова, искоришћени су подаци из Хидрометеоролошког завода о средњим месечним температурама ваздуха за подручје Сремске Митровице.

На основу података о средњим месечним температурама ваздуха одређују се меродавне годишње температуре ваздуха w-MAAT и меродавне годишње температуре у асфалтним слојевима коловозне конструкције MAATeff по решењу Shell лабораторије: "SHELL PAVEMENT DESIGN MANUAL"-Лондон 1978, која даље служи за одређивање за дефинисање модула асфалтних слојева у коловозној конструкцији при структурној анализи прелиминарних решења. Меродавна годишња температура у асфалтним слојевима коловозне конструкције  $T_{asf}=WMAPT$  зависи од меродавне температуре ваздуха и дубине асфалтног слоја. Поступак прорачуна није описан у овом раду већ је дат крајњи резултат.

Температура битуменом везаних слојева у коловозној конструкцији за дебљину асфалта од 20 cm је  $T_{eff} = 19.48 \text{ }^\circ\text{C}$ . Усвојена меродавна температура асфалтних слојева износи  $20^\circ\text{C}$ .

### 2.4.2. Дубина дејства мраза

Подаци о дубини дејства мраза у тлу и коловозној конструкцији преузети су из Студије: Истраживање температурних промена и дубине дејства мраза у тлу и коловозним конструкцијама путева у Србији, зима 1991./92. год. које је издао Грађевински факултет Универзитета у Београду 1992. год.

Величине индекса мраза и дубине смрзавања усвојена је за метеоролошке станице Београд (нмв 110-132 m) и Сурчин (нмв 96 m) јер подаци за подручје Руме (нмв 111 m) и Сремске Митровице (нмв 82 m) не постоје. Подаци за протекли тридесетогодишњи период не постоје, па је индекс мраза посматран је за период од 1946. до 1992.год.

Меродавни индекс мраза за пројектни период од двадесет година представља просечну вредност три највећа Индекс мраза у посматраних 30 година. Меродавни индекс мраза је  $I=210 \text{ }^\circ\text{C}$  дана.

Дубина продирања мраза одређена је на основу СРПС У.Б9.012. Осетљивост материјала у постелјици на дејство мраза утврђена је на бази USCS класификације, односно на основу СРПС У.Е1.012. Материјал од кога је предвиђена изградња постелјице (Тачка 2.3.1) чије су карактеристике  $\gamma_d = 1.727 \text{ g/cm}^3$  и  $w_{opt} = 5.3\%$  спада у категорију Г1 - Г2 – врло мало до слабо осетљивих на дејство мраза. Дубина продирања мраза је  $X=100 \text{ cm}$ . Материјал од кога је предвиђена изградња постелјице – стабиловани завршни слој насипа (Тачка 2.3.2) према задатим критеријумима није осетљив на дејство мраза.

### 3. СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

За слојеве коловозне конструкције изабрани су следеће минералне и асфалтне мешавине за даљи поступак димензионисања:

- 1) Доњи и горњи носећи слој од невезаног дробљеног минералног материјала максималне величине зрна од  $D=31.5\text{mm}$
- 2) Битуменизирани носећи слој БНС 22сА (PmB 45/80-65)
- 3) Хабајући слој – скелетни мастикс асфалт СМА 11

Квалитет материјала треба да буде у складу са важећим српским стандардима и техничким спецификацијама које се заснивају на Општим техничким условима за грађење путева у републици Србији, Јавно предузеће „Путеви“ Србије, Београд 2012.

### 4. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Полазећи од:

- резулата анализа деструктивног утицаја прогнозираног саобраћајног оптерећења исказаних укупним бројем еквивалентних стандардних осовина и њихове агресивности за сваку врсту примењениог материјала у појединим слојевима и постелици
- референтних вредности фундаменталних механичких својстава (модул, замор) пројектованих материјала у сваком од слојева коловозних конструкција
- референтних климатских параметара

спроведено је димензионисање коловозних конструкција.

Димензионисање коловозних конструкција и прорачун трајности референтних носећих слојева, обављено је поређењем напона  $\sigma$  и дилатација  $\varepsilon$  добијених прорачуном вишеслојног еластичног система за случај коловозних конструкција за које важи претпоставка да су слојеви хомогени и изотропни у хоризонталном правцу у сваком слоју и постелици (програм BISAR3-SHELL), са дозвољеним вредностима еластичних дилатација  $\varepsilon$  (једначина SHELL лабораторије).

Анализиране су варијанте:

- Варијанта 1 - асфалтна коловозна конструкција са постелицом од невезаног каменог агрегата чија је носивост  $E = 80 \text{ MPa}$
- Варијанта 2 - асфалтна коловозна конструкција са постелицом од стабилизованог локалног тла хидрауличким везивом чија је носивост  $E = 100 \text{ MPa}$

На основу спроведеног прорачуна утврђено је да су задовољене критичне дилатације затезања у доњем влакну меродавног носећег асфалтног слоја сваког од варијантних решења, односно:

#### **Варијанта 1 – Постелица од невезаног каменог агрегата**

- Хабајући слој од скелетног мастикс асфалта СМА 0/11,  $d=4 \text{ cm}$
- Носећи слој од битуменизованог материјала БНС 22 сА,  $d=8 \text{ cm}$
- Носећи слој од битуменизованог материјала БНС 22 сА,  $d=8 \text{ cm}$
- Слој од дробљеног каменог агрегата 0/31.5 mm,  $d =20 \text{ cm}$
- Слој од дробљеног каменог агрегата 0/31.5 mm,  $d=20 \text{ cm}$
- Постелица: Дробљени камени агрегат 0/63 mm,  $d=70 \text{ cm}$
- Насип: Лес

Рачунска трајност пројектоване коловозне конструкције Варијанте 1 износи  $3.7 \times 10^7$  стандардних осовина од 80кN. Трајност исказана у годинама експлоатације износи 27 година.

### Варијанта 2 – Постељица од стабилизованог локалног тла

- Хабајући слој од скелетног мастикс асфалта СМА 0/11, d=4 cm
- Носећи слој од битуменизованог материјала БНС 22 сА, d=8 cm
- Носећи слој од битуменизованог материјала БНС 22 сА, d=8 cm
- Слој од дробљеног каменог агрегата 0/31.5 mm, d =15 cm
- Слој од дробљеног каменог агрегата 0/31.5 mm, d<sub>min</sub>=20 cm
- **Постељица:** Стабиловани слој леса хидрауличким везивом, d=40 cm
- **Насип:** Лес

Рачунска трајност пројектоване коловозне конструкције Варијанте 2 износи  $4.1 \times 10^7$  стандардних осовина од 80кN. Трајност исказана у годинама експлоатације износи 30 година.

### 5. ПРОВЕРА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ НА ШТЕТНО ДЕЈСТВО МРАЗА

Процена осетљивости коловозне конструкције на дејство мраза извршена је у сагласности са СРПС У.Ц4.016 и СРПС У.Б9.012. У поступку провере осетљивости коловозне конструкције на дејство мраза коришћени су следећи подаци:

- осетљивост материјала постељице на дејство мраза одређена према стандарду СРПС У.Е1.012,
- укупна дебљина коловозне конструкције
- дубина смрзавања у складу са Тачком 2.4.2
- климатски и хидролошки услови према стандарду СРПС У.Ц4.016
- процена коловозне конструкције на дејство мраза СРПС У.Б9.012.

Дубина смрзавања на основној траси износи 100 cm, док дебљина коловозне конструкције варијантних решења износи 130 cm (Варијанта 1), односно 105 cm (Варијанта 2). У оквиру Варијанте 1 пројектована је постељица од дробљеног камена, дебљине слоја 70 cm, на насипу од леса, док је у оквиру Варијанте 2 пројектована постељица од стабилизованог локалног тла хидрауличким везивом и параметрима који овај слој чине отпорним на дејство мраза ( $\sigma_6 = R_t = 0.40 \text{ MPa}$ ).

Сходно пројектованим дебљинама коловозне конструкције на основној траси, решења Варијанти 1 и 2 задовољају са аспекта потпуне заштите коловозне конструкције од штетног дејства мраза, односно пројектована решења, за срачунате утицаје, задовољава у погледу осетљивости на дејство мраза.

### 6. ЕКОНОМСКО ПОРЕЂЕЊЕ ВАРИЈАНТНИХ РЕШЕЊА

Економско поређење пројектованих варијантних решења коловозне конструкције извршено је кроз цену изградње. У наредним табелама дати су јединични трошкови изградње пројектованих варијанти коловозне конструкције основне трасе.

Табела 2. Јединични трошкови изградње – Варијанта 1

Позиција	Јединица мере	Количина	Јединична цена (EUR/m <sup>2</sup> )	Јединична цена (RSD/m <sup>2</sup> )
СМА 0/11 d=4 cm	m <sup>2</sup>	1	5.9	690
БНС 22 сА, d=8 cm	m <sup>2</sup>	1	8.5	1008
БНС 22 сА, d=8 cm	m <sup>2</sup>	1	8.5	1008
Дробљени камен 0/31.5, d=20 cm	m <sup>2</sup>	1	4.9	576
Дробљени камен 0/31.5, d=20 cm	m <sup>2</sup>	1	4.9	576
Постељица: Дробљени камен 0/63, d=70 cm	m <sup>2</sup>	1	10.4	1222
<b>Укупно:</b>			<b>EUR 43.1</b>	<b>RSD 5,079.9</b>

Извор: ИДП - Државни пут 1Б реда бр. 21 Нови Сад – Рума, деоница: Почетак обилазнице Руме до петље „Рума“

**Табела 3. Јединични трошкови изградње – Варијанта 2**

Позиција	Јединица мере	Количина	Јединична цена (EUR/m <sup>2</sup> )	Јединична цена (RSD/m <sup>2</sup> )
СМА 0/11 d=4 cm	m <sup>2</sup>	1	5.9	690
БНС 22 сА, d=8 cm	m <sup>2</sup>	1	8.5	1008
БНС 22 сА, d=8 cm	m <sup>2</sup>	1	8.5	1008
Дробљени камен 0/31.5, d=15 cm	m <sup>2</sup>	1	3.7	434
Дробљени камен 0/31.5, d=20 cm	m <sup>2</sup>	1	4.9	576
Постељница: Локално тло стабилизовано хидрауличким везивом, d=40 cm	m <sup>2</sup>	1	6.9	814
		<b>Укупно:</b>	<b>EUR 38.4</b>	<b>RSD 4,530.0</b>

Извор: ИДП - Државни пут IB реда бр. 21 Нови Сад – Рума,  
деоница: Почетак обилазнице Руме до петље „Рума“

Поређењем трошкова изградње Варијанте 1 и Варијанте 2 утврђена је економска оправданост примене коловозне конструкције са постељицом од леса стабилизованог хидрауличким везивом.

## 7. ЗАКЉУЧАК

Анализа варијантних решења коловозне конструкције недвосмислено је показала већу оправданост примене коловозне конструкције са постељицом од леса стабилизованог хидрауличким везивом.

Осим економског аспекта врло значајан је еколошки аспект стабилизације локалног тла – смањује се употреба природног камена и омогућава чување квалитетног агрегата за места на којима је то неопходно.

У том смислу, корак који претходи изради „Пројекта за грађевинску дозволу“ је израда студије са циљем прецизног дефинисања рецептуре која доводи до жељених механичких карактеристика.

Приликом израде студије неопходно је дефинисати следећих пет основних фаза:

1. избор компоненталних материјала а такође, дефинисање типа (класе) везива
2. дефинисање оптималних услова за извођење радова
3. студија за дефинисање варијације механичких карактеристика зависно од односа количина појединих компоненти мешавине
4. студија за дефинисање раних чврстоћа третиране мешавине којом треба да буде дефинисан период неопходне неге, евентуалне заштите изграђеног слоја, отпорност на мраз и промену запремине
5. студија осетљивости жељених резултата (механичких карактеристика) у контексту самог градилишта.

Стабилизација локалног тла хидрауличким везивом је техника која се користи већ дуже време и која је дала одличне резултате у погледу перформанси и трајности. У последњих 10 година остварен је напредак, како у погледу опреме за производњу, тако и у погледу производа и метода које се користе у процесу третмана. Упркос овом напретку у нашој земљи не постоји значајан напредак у примени ове методе. Од суштинског је значаја, међутим, да се интегрише третман локално земљишта у целокупни процес одрживог развоја узимајући у обзир позитивне факторе (на пример, уштеда на висококвалитетним материјалима, повећање поновне употребе материјала на градилишту и смањење употребе транспорта и депонија), као и негативних фактора коришћења енергије и производње гасова стаклене баште.

У целини, развој техника третмана земљишта у нашој земљи директно је повезан са непостојањем законодавства које би требало да спроводи држава. Неки од фактори који ометају развој третмана земљишта укључују следеће:

- недостатак искуства и техничких вештина;
- недостатак стандарда, смерница или спецификација;

- цена везива и одступања у квалитету;
- лош публицитет из прошлих неуспеха.

Неопходно је усвојити бројне одредбе које би промовисале и/или олакшале доношење одлука, односно:

- економске користи (компензација за смањење употребе каменог агрегата из каменолома и трошкова транспорта);
- еколошки подстицаји;
- регулаторни подстицаји.

## Литература

- [1] Technical Guide, Valorization of local materials, October 2004 (Translate August 2007), The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety (Service d'études techniques des routes et autoroutes - Sétra), (on-line) available at: <https://www.cerema.fr/en/centre-ressources/boutique/technical-guide-valorization-local-materials>
- [2] Technical Guide, Treatment of soils with lime and/or hydraulic binders, Application to the construction of pavement base layers, Septembre 2007 (Translate November 2008), The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety (Service d'études techniques des routes et autoroutes - Sétra), (on-line) available at: <https://www.cerema.fr/en/centre-ressources/boutique/technical-guide-treatment-soils-lime-andor-hydrolic-binders>
- [3] PIARC Technical Committee C4.5 Earthworks, Drainage and Subgrade, Promoting optimal use of local materials, World Road Association (PIARC), 2007, (on-line) available at: <http://www.piarc.org> (for registered visitors and for the members of the Association)
- [4] PIARC Technical Committee C12 Earthworks, Drainage and Subgrade, Limits of Use of Natural Soils, Specifications and Controls in Earthworks, World Road Association (PIARC), 2003, (on-line) available at: <http://www.piarc.org> (for registered visitors and for the members of the Association)

# ASPHALT REINFORCEMENT – A PROVEN ECONOMIC & ECOLOGICAL ASPHALT REHABILITATION METHOD

**Andreas Elsing<sup>1</sup>, Thomas Hasslacher<sup>1</sup>, Suzana Stefanovic<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> HUESKER Synthetic GmbH, Germany

<sup>2</sup> The Highway Institute

**Abstract:** Asphalt reinforcement products manufactured using polyester fibres have successfully been applied in pavement rehabilitation for more than 45 years. Their performance has helped to increase maintenance periods, which provides a substantial financial and ecological benefit, in form of a reduced whole life costs, reduced use of finite resources and associated benefits (i.e., reduced traffic disruption).

The wider benefits of asphalt reinforcement and in particular those produced from polyester fibres are discussed. This paper identifies several key factors influencing the performance of asphalt reinforcement products and the performance of an asphalt reinforcement as a composite with asphalt and reinforcement considered together. Moreover, the sustainability benefits of asphalt reinforcement are discussed by assessing and quantifying the embodied carbon dioxide (ECO<sub>2</sub>) of road pavement construction and maintenance processes to provide a baseline against which these processes can be measured, evaluated and compared.

A simplified comparison is presented whereby a conventional road pavement maintenance project is compared with and without asphalt reinforcement and provides a good estimate of the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) savings for the rehabilitation method with asphalt reinforcement. More than 60 % of the CO<sub>2</sub> emissions generated during the entire construction phase are caused solely by the energy-intensive production of the asphalt mixes and the associated processes. This was the result of a detailed investigation of all CO<sub>2</sub> emissions in a conventional road pavement maintenance project. In comparison a CO<sub>2</sub> saving of 24.3 t CO<sub>2</sub> per rehabilitated road kilometre was identified in a project where the cracked binder is being reinforced instead of replaced. The recyclability of this asphalt reinforcement is also discussed to establish if it supports the move to a more circular economy.

**Keywords:** Asphalt Reinforcement, Polyester, Embodied Carbon Dioxide (ECO<sub>2</sub>), Emission Savings, Recyclability

## 1. INTRODUCTION

Asphalt reinforcement has been used worldwide for many years to delay or prevent reflective cracks in asphalt layers. Using asphalt reinforcement can clearly extend the fatigue life and therefore the maintenance intervals of rehabilitated asphalt pavements. However, it must be said that some products available on the market are behaving technically differently and as well as also the performance varies a lot too. This increase in pavement life does have the positive effect that not only the maintenance costs per year but also the amount of energy used for maintenance per year can be significantly reduced.

Environmental and climatic protection is gaining an ever increasing importance. Several road authorities have signed up to ambitious carbon emissions reduction plans aiming to significantly reduce emissions of both the construction and maintenance of their road network, recent commitments signed at Cop26 in Glasgow saw many countries signing up to net zero carbon emissions by 2050, (i.e. when the amount of carbon we add to the atmosphere is no more than the amount removed).

By assessing and quantifying the Embodied CO<sub>2</sub> of road pavement construction and maintenance processes these provide a baseline against which these ambitious 'net zero' targets can be measured and evaluated. Several manufacturers are already providing Environmental Product Declarations (EPD's) which aim to quantify the embodied CO<sub>2</sub> emissions of their product on a 'cradle to grave' basis which allows a full assessment of the embodied CO<sub>2</sub> for both the initial construction and over the full, service life of the infrastructure asset.

For a typical rehabilitation project the actual amount of embodied CO<sub>2</sub> of the asphalt reinforcement itself is relatively small when compared to that of a typical 50 mm asphalt layer or other energy-intensive materials like concrete or reinforced concrete steel, however the sustainability benefits it



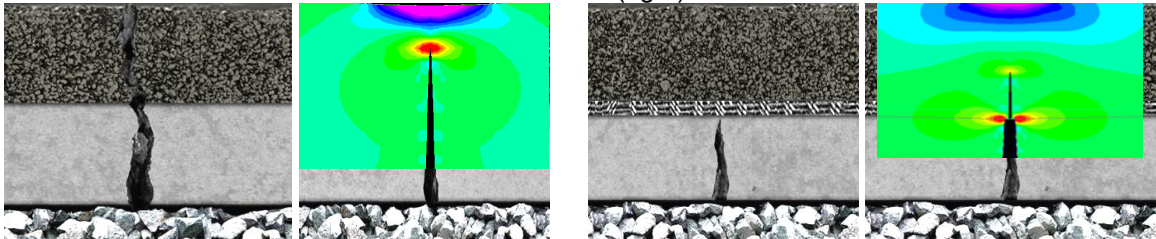
can bring about by delaying or preventing the replacement of these energy-intensive primary materials can be significant.

An additional consideration is the reuse of recycled materials and whether these support the principals or of circular economy. Recycled Asphalt plainings (RAP) are now considered for reuse in new asphalt mixes. Investigations were undertaken to determine if the incorporation of a polyester geogrid including a installation aid asphalt reinforcement in a pavement would have any detrimental effect on the recyclability of that pavement at the end of service life and if residual granules of the reinforcement would affect the new recycled asphalt mix design or performance. Moreover some manufacturers have started to use recycle polymers to produce asphalt reinforcement. Recycling of single use polyester bottles effectively produces polymer granulate which can be used to produce virgin quality fibres that are incorporated into asphalt reinforcement grids. The performance benefits of polyester-based asphalt reinforcement are subsequently discussed together with embodied CO<sub>2</sub> of these combined solutions and how use of these material supports a 'net zero' strategy

## 2. REFLECTIVE CRACKING AND ASPHALT REINFORCEMENT

Cracks appear in asphaltic pavements due to external forces, such as traffic loads and temperature variations. The temperature influence and the dynamic loading over time leads to the binder content in the asphalt becoming brittle. High stresses at the bottom of a pavement, from external dynamic loads, such as traffic, can cause cracks which propagatate from the bottom to the top of a pavement (bottom-up cracking). Additionally underlying discontinuities in the pavement subgrade/base course can also reflect up through the overlying asphalt.

Figure 1: Simulated stress distribution with FE-Method, without (left) and with polyester reinforcement (right)



Source: Montestruque UNIVAP Brazil 2004

In order to delay the propagation of cracks into the asphalt layers an asphalt reinforcement geosynthetic can be installed. The reinforcement increases the resistance of the overlay against high tensile stresses and distributes them over a larger area, thereby reducing the risk of local overstressing which would result in cracks.

### 2.1. Why Polyester Reinforcement?

The wider benefits of asphalt reinforcement and in particular those produced from polyester fibres was discussed previously (Elsing & Horgan, 2019). This paper identified several key factors influencing the performance of asphalt reinforcement products and the performance of an asphalt reinforcement as a composite, with asphalt and reinforcement considered together.

- Bond Stiffness
- Bonding Strength: Mobilisation of tensile forces
- Thermal expansion coefficient
- Field testing
- Laboratory Testing
- Cyclic load and Fatigue testing

Typically, the testing procedures, to determine the tensile strength and elongation (e.g. ISO EN 10319:2015), of Asphalt reinforcements are undertaken in "air" and not embedded in asphalt. An

asphalt reinforcement improves the stress-strain properties of an asphalt pavement by adding tensile strength into the asphalt system. However, other properties (other than the in air measured reinforcement stiffness) are influencing the performance of an asphalt reinforcement and that asphalt/reinforcement interface bond is an important influence factor in transferring tensile forces into reinforcement on the contact surface.

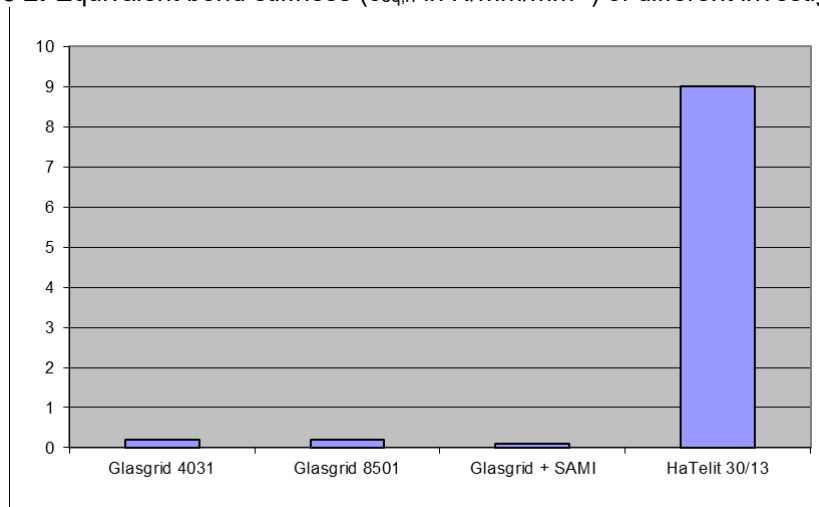
The performance of an asphalt reinforcement should, therefore, ideally be determined as a composite, with asphalt and reinforcement considered together. Many tests have been performed in the past decades to demonstrate the performance of asphalt reinforcement produced with high tenacity Polyester fibres. The aim of such tests was to replicate, as close as possible, the installed in-service composite behaviour in laboratory conditions, whilst also trying to qualify the important parameters which influence the behaviour of an asphalt reinforcement.

## 2.2. Bond Stiffness

De Bondt (1999) published "Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays", which was the last phase in his Ph.D. program and a 5 year research project at the Delft University of Technology. De Bondt determined the relevance and influence of different parameters on reflective cracking in asphalt overlays, and performed comparative investigations on different commercially available products in the market at that time.

He found that one of the most important parameters is the bonding of the reinforcement to the asphalt, he defined as 'bond stiffness'. De Bondt determined the equivalent bond stiffness in reinforcement pull-out tests on asphalt cores taken from a trial road section. Parts of the results are presented in Figure 2. De Bondt determined that the equivalent bond stiffness of a polyester reinforcement was by far the most effective of all products investigated. The importance of the bituminous coating for flexible grids has a significant influence. De Bondt found that in flexible grids like a polyester reinforcement the stresses were transmitted via direct adhesion between strands and asphalt – hence the coating plays a vital part to the ultimate performance.

**Figure 2:** Equivalent bond stiffness ( $C_{eq,rf}$  in N/mm/mm<sup>2</sup>) of different investigated products



Source: De Bondt 1999 "Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays"

By using finite element models, De Bondt calculated the improvement factors for reinforcements based on material stiffness ( $EA_{rf}$ ) and pull-out stiffness ( $C_{eq,rf}$ ). With a product stiffness of ~900 N/mm and a pull-out stiffness ( $C_{eq,rf}$ ) of about 9, the polyester reinforcement achieves an improvement factor of 3.5 in the simulation cycles compared to a control section. (i.e. achieves a number of load cycles 3.5 times the number of cycles for the control section without reinforcement before reflective cracks reappear).

From this research it is evident, that a good bonding of the reinforcement to the asphalt is very important for the performance of an asphalt reinforcement. The combination of high reinforcement

stiffness (Polyester) and high bond stiffness (Bitumen impregnation) creates a high improvement factor for the overlay life of an asphalt pavement.

### 2.3. Bonding strength

To mobilize tensile forces in the reinforcement a good bonding between the asphalt layer and the integrated reinforcement is essential. Based on the German guideline ZTV Asphalt-StB 07/13 the shear force within the testing procedure according to Leutner should not be lower than 15.0 kN between the binder course and the surface layer.

Table 1 shows the results of drill cores tested at the University RWTH Aachen (2018). These exemplary results show that the bonding strength is not significantly influenced by a bitumen coated Polyester grid.

**Table 1:** Comparison of shear forces of unreinforced drill cores and polyester reinforced drill cores acc. to Leutners method

temperature [°C]	without reinforcement		with reinforcement	
	mean value shearing force [kN]	mean value shearing distance [mm]	mean value shearing force [kN]	mean value shearing distance [mm]
20°C	26,1	3,9	24,9	3,8

Source: University RWTH Aachen

### 2.4 Thermal expansion coefficient

High modulus polyester is a flexible raw material with a maximum tensile strain less than 12%. The coefficients of thermal expansion of polyester and asphalt (bitumen) are very similar (Table 2). This leads to very small internal stresses between the PET fibres and the surrounding asphalt (similar to reinforced concrete) and minimizes/avoids the phenomenon of progressing de-bonding and as result of repeated daily and seasonal thermal cycles. For this reason Polyester does not act as an extrinsic material in the reinforced asphalt layer

**Table 2:** Comparison of the thermal expansion coefficient

Material combination	Thermal expansion coefficient	Ratio
Concrete / Steel	$1.3 \times 10^{-5} / 1.0 \times 10^{-5}$	~ 1 : 1
Asphalt / Polyester	$6.0 \times 10^{-4} / 1.6 \times 10^{-4}$	~ 1 : 4
Asphalt / Fiberglass	$6.0 \times 10^{-4} / 4.5 \times 10^{-6}$	~ 1 : 130

Source: Internet

### 2.5. Field Tests: Federal Materials Testing Institute (EMPA 2017)

The aim of the research work was to obtain information on the effectiveness of different asphalt interlayers (

Figure 3) and the corresponding service life of the pavement. Surface characteristics of the raw material and their effect on the in-situ activated tensile strength were assessed. Both laboratory and field tests were undertaken to access the performance of different products and focus was given on the time dependent development of cracks and an accelerated loading cycles in the field to determine the number of pavement loading cycle until the development of reflective cracking. Both laboratory and field tests showed that asphalt reinforcement systems can delay the development of cracks, thereby extending the life of asphalt pavements. Further, it was observed

that asphalt reinforcements (systems B and C) are more effective if no SAMI (stress absorbing membrane interlayer) is used.

Figure 3: Grid A: Glass fibre grid + SAMI; Grid B: Glass and carbon fibre grid; Grid C: Polyester Grid



Source: EMPA Federal Materials Testing Institute 2017

### 2.6.Laboratory Testing: University of Texas

A study on geosynthetic-reinforced asphalt systems was published by Luming, (2018). This research presents a study on various aspects relevant to geosynthetic-reinforced asphalts. Specifically, this thesis has been organized in three stand-alone sections: 1) Literature Review; 2) Overlay Testing; 3) Shear Fatigue Testing.

Section II presents the experimental research that was conducted using overlay testing involving geosynthetic-reinforced asphalt specimens. The standard overlay test has been designed to evaluate crack propagation in asphalt concrete using a fatigue loading mechanism that induces tensile and shear stresses. The experimental study presented in Section II adopted this test to evaluate the effectiveness of the different geosynthetics in retarding the reflective cracking from an old asphalt into a new overlay. The asphalt specimens were tested in the standard overlay test along with geosynthetic-reinforced asphalt specimens.

Four types of reinforcement were tested. Each reinforcement had the same mesh size and the same coating to eliminate a couple of potential variables and to provide a better understanding of the influence of the raw material. Polyester (PET), Glass fibre and Polyvinylalcohol (PVA) were tested.

**Table 3:** Tested asphalt reinforcement from different raw materials

	Reinforcement 1	Reinforcement 2	Reinforcement 3	Reinforcement 4
Raw material	PVA	PET	Glass	Glass
Tensile strength [kN/m]	50	50	50	100

Source: University of Texas

### 2.7.Summary and Conclusions from Overlay Tests

Parts of the results are presented here, for full details the reader may refer to the full publication, Luming, (2018). With the opening and closing of the simulated existing crack, the cross-crack

initiates and propagates from the tip of the simulated crack towards the top surface of the asphalt concrete. Overall, the reinforced asphalt specimens showed better fatigue performance than the unreinforced asphalt concrete. The PVA and PET fibres are more compatible with the asphalt concrete than the glass fibre, thus they can better interact with the asphalt specimen at later fatigue life.

The normalized load of the PVA reinforcement at the end of phase 4 was the highest, indicating the best performance of this material in enhancing the shear resistance of the asphalt concrete over fatigue life. The PET reinforcement shows second best results, close to them of PVA.

The performance of the glass fibre reinforced specimens was not as good as the polymer reinforced specimens in terms of retarding the load decline. This could be attributed to the varied compatibility of the reinforcement with the asphalt concrete. PVA and PET consist of polymer fibres which are more compatible with the asphalt concrete in the stiffness of the materials than the glass fibre.

### Laboratory Testing: Fatigue

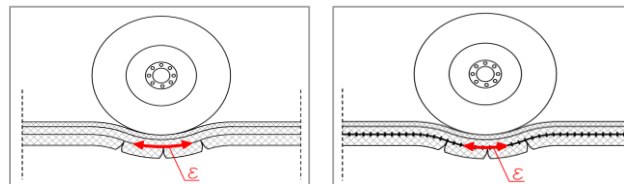
The textbook definition of fatigue theory states that fatigue cracking initiates at the bottom of the flexible layer due to repeated and excessive loading, and it is associated with the tensile strains at the bottom of the HMA layer (Huang, 1993). The fatigue cracking in cracked pavements can be significantly delayed, by reducing the tensile strains at the bottom of a flexible asphalt layer (Figure 4).

According to the function of fatigue:  $N_f = k_1 (1/\epsilon)^{k_2}$

- $N_f$  = allowable load repetitions of a pavement (until failure occurs)
- $k_1$  = coefficient of fatigue
- $k_2$  = exponent of the fatigue function
- $\epsilon$  = elongation on the bottom of the asphalt layer [%]

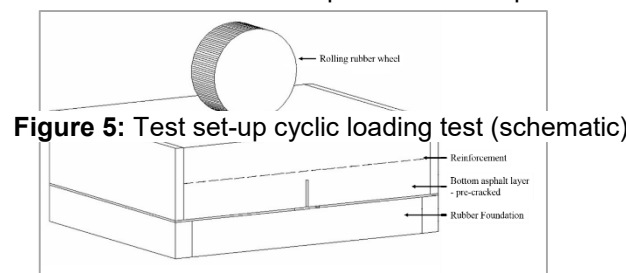
From specialist literature the value mentioned for the coefficient factor of fatigue  $k_1$  is  $2.0 \times 10^{-12}$ .

**Figure 4:** Schematic view of the fatigue cracking mechanism in pavement cross section without and with reinforcement



For  $k_2$ , the exponent of fatigue function is 5.0. At a vertical deformation of 0.5 mm during a loading cycle an elongation of 0.0001 % is measured below the asphalt layer. A small reduction in the elongation below the asphalt layer already has significant effects on the allowable loading cycles.

In a diploma thesis by Höptner 2010 the benefits of asphalt reinforcement in road rehabilitation by using a modified rutting simulator have been investigated. The aim of this research was to analyse the influence of an asphalt reinforcement on reducing the deformation in pavements. The setup has been prepared according to realistic pavement design. The pre-cracked specimens have been located on an elastic rubber foundation which simulates the base course (Figure 5). The force has been applied by a rubber wheel. For the test set up a standard asphalt design has been chosen,



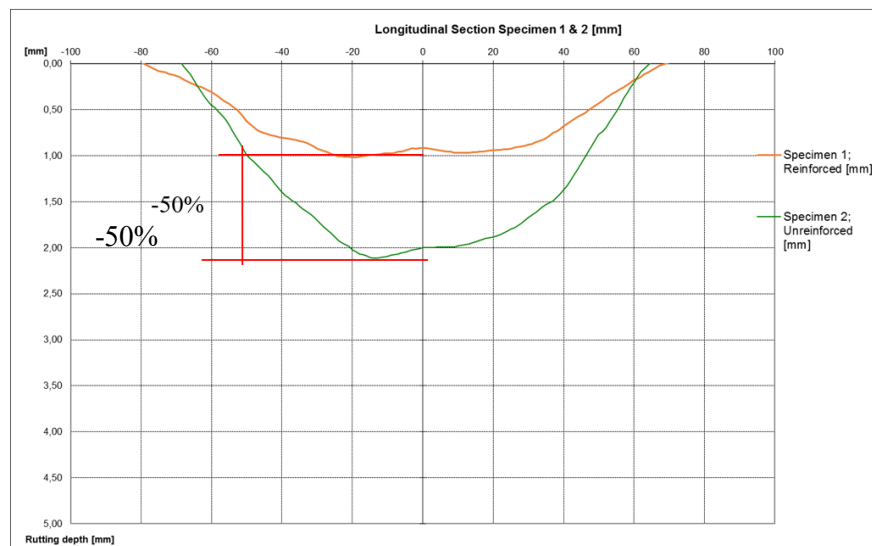
with a 60mm binder course (AC 16 B S) and a 40mm surface course (SMA 8 S). The specimen was prepared in a roller sector compactor. In the first step the binder layer (including the simulated crack) was prepared

Source: Höpner 2010

After preparing the binder course (including a simulated crack) specimens with and without reinforcement were produced. The reinforced specimen was impregnated with a bituminous emulsion (C67B4-OB) in accordance with the installation guideline of the producer of the asphalt reinforcement.

A force of 700N has been applied onto the specimen by a rolling rubber wheel, which is equivalent to a 10 tonne axle load. Two identical asphalt specimens have been produced, with, and without polyester reinforcement. The deformation from loading cycle 50,000 to the end of the testing at 60,000 loading cycles was, without reinforcement, 2.1mm. The measured deformation with reinforcement, only was 1.0mm. This results in a reduction of 50% in deformation. (Figure 9).

**Figure 9:** Deformation with and without Polyester reinforcement of an asphalt specimen between 50.000 and 60.000 loading cycles

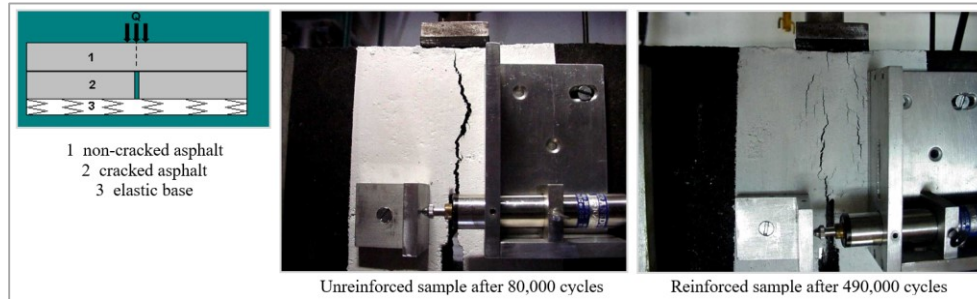


Source: Höpner 2010

### Laboratory Testing: Cyclic loading and crack propagation

A full description and the results of a testing program performed at the Aeronautics Technological Institute in Sao Paulo, Brazil, were published by Montestruque in 2004<sup>i</sup>. In this research program which started in 1999, an asphalt wearing course was applied over an existing crack in a detailed series of tests.

**Figure 10:** Dynamic Testing at ATI (Brazil) - Bending Mode



Source: Montestruque 2004

Both the bending mode and the shear mode were investigated under dynamic fatigue loading conditions. The results confirmed that a polyester geogrid considerably delays the penetration of cracks. Compared to the unreinforced samples, the polyester reinforced asphalt layers were subjected to up to over 5 times the number of dynamic load cycles before a crack reached the surface. The crack pattern clearly shows that the reinforcement absorbs the high tensile forces and distributes over a larger area.

### 3. EMBODIED ENERGY (EE) AND EMBODIED CO<sub>2</sub> (ECO<sub>2</sub>)

Since the 1980's *sustainability* has been used in the sense of human sustainability on planet Earth and this has resulted in the most widely quoted definition of sustainability and sustainable development, that of the Brundtland Commission of the United Nations:

*"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs." (Brundtland Commission, 1987)*

In the context of the construction industry this does mean that different construction techniques and designs for a specific project are compared for their ECO<sub>2</sub> as an indicator for their sustainability. As a matter of fact the ECO<sub>2</sub> is only one criterion beside social and economic considerations. Recent commitments signed at Cop26 in Glasgow saw many countries signing up to net zero carbon emissions by 2050. By assessing and quantifying the embodied energy (EE) and embodied carbon dioxide (ECO<sub>2</sub>) for the materials used on site without considering the individual transport distances and their installation. The authors of this paper appreciate that this comparison is not in line with the typical "cradle to grave" approaches used in this field, but it has been previously shown that the following comparison is sufficiently detailed to compare the two construction techniques without compromising on the accuracy of the results.

#### 3.1. Data source

The ECO<sub>2</sub> values ("Carbon Footprint") used in the following chapters are taken from the latest Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0. The University of Bath has created the ICE embodied energy & embodied carbon database which is freely available. The aim of this work is to create an inventory of embodied energy and carbon coefficients for building materials. The data base is structured into 34 main material groups (i.e. Aggregates, Aluminium, Asphalt, etc.).

#### 3.2. Examples of embodied CO<sub>2</sub>

The amount of embodied carbon dioxide per kg of material can vary significantly as can be seen in Table 4. The more processing and energy that is required to achieve the final product the higher is the ECO<sub>2</sub>.

Table 4: Examples of embodied carbon dioxide (ECO<sub>2</sub>) in construction materials (cradle to gate)

Material	kg ECO <sub>2</sub> / kg of material	Note
Aggregate	0.0052	gravel or crushed rock
Aluminium	9.16	-
Asphalt	0.076	6% binder content
Bitumen	0.55	-
Cement	0.74	UK weighted average
Concrete 16/20	0.10	unreinforced
Reinforced Concrete RC 40/50	0.188	high strength applications / precast
PVC General	3.10	-
HDPE	1.93	-
Steel	1.46	average UK recycled content
Steel	2.89	Virgin steel

Source: ICE Inventory of Carbon & Energy V2.0

Source: University Bath

Energy intensive processes like the production of cement are producing a high amount of CO<sub>2</sub>. Cement manufacturing releases CO<sub>2</sub> in the atmosphere both directly when calcium carbonate is heated, producing lime and carbon dioxide, and also indirectly through the use of energy if its production involves the emission of CO<sub>2</sub>.

On the basis of a specific Environmental Product Declaration (EPD) the embodied CO<sub>2</sub> for a polyester reinforcement available, made of recycled PET, has been assessed and externally verified as 1.05 kg ECO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> of material (3.88 kg ECO<sub>2</sub>/kg of material). This assessment is based on a cradle to grave approach and thus exceeds the system boundaries for the examples presented in in Table 4. In future using e.g. recycled polyester bottles in the maintenance of asphalt structures shall have a bigger impact for decision process during tendering phase of contracting companies.

#### 4.COMPARISON OF EMBODIED CARBON DIOXIDE FOR REINFORCED AND UNREINFORCED ASPHALT OVERLAYS

The report "*Sustainable geosystems in civil engineering applications*" commissioned by the Waste and Resource Action Plan (WRAP, 2010) has analysed geosystems as alternatives to standard designs used by civil engineers.

Parallel to geosystems for ground engineering the report has identified that "*Reinforcement of the asphaltic or bound layers can increase the life of the surface layers, again by contributing to a strengthening of the bound layers. Such strengthening increases their ability to resist cyclic fatigue, thermal stresses during extremes of winter and summer temperatures, as well as increasing resistance to near-surface crack propagation.*" (WRAP, 2010). The report clearly identifies that asphalt reinforcements can extend pavement life by limiting reflective cracking and thus providing more sustainable pavements as a consequence. This paper aims to demonstrate the above referenced effect by comparing the ECO<sub>2</sub> based on the material consumption per year of lifetime of two construction techniques. One construction technique is the conventional rehabilitation of cracked overlays by milling and repaving, the second is a rehabilitation using PET asphalt reinforcement in the same process.

##### 4.1.Basis for Calculation

The example chosen for this comparison is a typical rehabilitation project with 5,000 m<sup>2</sup> of cracked wearing course to be replaced. Although the project size does not have any effect on the relative saving of ECO<sub>2</sub> it helps to give a better assessment for the saving potential.



**Table 5:** Basis for calculation

Job size	5,000 m <sup>2</sup>
Asphalt thickness to be replaced	40 mm
Density of asphalt	2,500 kg/m <sup>3</sup> (compacted)
Bituminous emulsion (70%)	0.3 kg/m <sup>2</sup> (unreinforced)
Bituminous emulsion (70%)	1.0 kg/m <sup>2</sup> (reinforced) Note (a)
HaTelit asphalt reinforcement	0.27 kg/m <sup>2</sup> (made of recycled PET)
Improvement factor - reinforced to unreinforced asphalt	3 [-] Note (b)
Design life (unreinforced):	4 years Note (c)

Source: University Bath

**Notes:**

- (a) Required amount of bituminous emulsion for polyester reinforcement & installation aid asphalt reinforcement over milled surfaces acc. to manufacturer's recommendations.
- (b) The improvement factor of 3 for the life time of reinforced asphalt as compared to unreinforced asphalt has been selected on the lower side of the potential range of 3 – 4 to account other potential failure mechanisms which makes rehabilitation necessary but are not related with reflective cracking.
- (c) The design life of the unreinforced asphalt overlay has been chosen as 4 years since a typical crack propagation rate of approx. 10 mm / year would result in cracks reaching the surface of the new overlay after 4 years. The crack propagation rate of approx. 10 mm / year is of course project specific and could vary.

**4.2.Comparative calculation of the embodied CO<sub>2</sub> for reinforced and unreinforced asphalt overlays**

In the comparison in Table 6 it can be seen that a conventional (unreinforced) rehabilitation method results in 7.72 kg embodied CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> for the materials used. The alternative design using a PET asphalt reinforcement results in 9.04 kg embodied CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> due to the additional asphalt reinforcement and a higher amount of bituminous emulsion. The comparison of the ECO<sub>2</sub> for the rehabilitation project has to be put into relation with the design life. The design life for the unreinforced overlay is set to 4 years until first cracking is likely to have reached the surface again. The reinforced overlay on the other side would last at least 3 times longer, i.e. 12 years.

**Table 6:** Comparative calculation of embodied carbon dioxide (ECO<sub>2</sub>)

	Material consumption		kg embodied CO <sub>2</sub> per kg of material	embodied CO <sub>2</sub> in kg / m <sup>2</sup>	
				unreinforced	Polyester asphalt geogrid reinforced
Asphalt (~25 kg/cm)	100	kg / m <sup>2</sup>	0.076	7.60	7.60
Bituminous emulsion (70%, 0.3 kg/m <sup>2</sup> )	0.21	kg / m <sup>2</sup>	0.55	0.12	-
Bituminous emulsion (70%, 1.0 kg/m <sup>2</sup> )	0.70	kg / m <sup>2</sup>	0.55	-	0.39
Recycled Polyester geogrid asphalt reinforcement	0.27	kg / m <sup>2</sup>	3.88	-	1.05
Total embodied CO <sub>2</sub> for rehabilitation	kg / m <sup>2</sup>			7.72	9.04
Improvement factor	[-]			1	3
Design life (improved)	years			4	12
Total embodied CO <sub>2</sub> per year design life	kg / m <sup>2</sup> / year			1.93	0.75
CO <sub>2</sub> saving per m <sup>2</sup> and year of design life					61 %
Total CO <sub>2</sub> saving for improved design life					70,800 kg

Source:WRAP 2010

The result is a saving of 61 % of  $\text{ECO}_2$  per  $\text{m}^2$  and year of design life for the polyester asphaltgrid reinforced overlay as compared to the unreinforced overlay. For a project of 5,000  $\text{m}^2$  to be repaved this would mean a total  $\text{ECO}_2$  saving of 70,800 kg based on the significantly improved design life of 12 years.

#### **4.2.1 Environmental Product Declaration (EPD)**

Many conscientious manufacturers provide EPDs for their products and thus provide a basis for project owners to assess all potential environmental impacts of a product, system or solution during its entire life cycle (cradle to grave). Such EPDs are independently assessed and verified as per ISO 14025 and EN 15804. On this basis individual products, systems or construction methods can be compared for their environmental impact during initial construction and over the full service life of the infrastructure asset as shown above.

#### **4.2.2. Recyclability of Polyester Asphalt reinforcement**

Many researches has demonstrated that the use of asphalt reinforcement show great benefits in road rehabilitation. Until know there has not been a real design method to predict the loads until the fatigue Milling trials were carried out by Huesker in conjunction with "Mischwerk Schwelm" (in 2004) and RWTH Aachen (in 2008) to demonstrate that a polyester grid can be milled as normal and that the millings can be recycled.

#### **4.2.3. Investigation of the milling characteristics**

A trial length was laid in May 2004 on land at the asphalt mixing plant at Mischwerk Schwelm in Schwelm in Germany to determine the milling characteristics and recyclability of polyester asphalt geogrid reinforced roads. The construction of the trial length was as follows: A  $0.6 \text{ kg/m}^2$  coating of bitumen emulsion (U70K) was sprayed on to an existing asphalt base and a layer of high-modulus polyester reinforcement installed. The reinforcement was then overlaid with a 40mm thick asphalt surface course. The trial length was removed after about 6 weeks. The milling depth was 50mm; to ensure that in milled below the asphalt reinforcement layer. The milling was carried out using a small milling machine (Wirtgen W 500) with a drum width of 0.50 m

During the removal process, it was observed that the reinforcement grid had no detrimental effect on the speed accuracy of the milling operation. Likewise, it was found that only short lengths of fibre residue were present in the millings.

As part of tests on the asphalt, the effect of asphalt reinforcement fibres in the asphalt material on its recyclability was investigated. Marshall asphalt test specimens were made from the asphalt binder layer material with and without asphalt reinforcement fibres and their Marshall stability and flow value was determined

The reference sample was equivalent to the asphalt binder course laid on the test bed. The variant with asphalt reinforcement fibres was made up to have the same aggregate grading and binder content as the reference sample. This was achieved by the controlled addition of the appropriate quantity of uncontaminated aggregate and binder to the recovered asphalt. The aggregate and binder used were from the same batches of aggregate and binder as were used for making the asphalt binder mix. The Asphalt reinforcement fibre content was the major difference between the two variants and the purpose of the tests was to determine the effect of these fibres. There were only relatively small differences with respect to bulk density and void content between the Marshall test specimens used for the tests. The values for Marshall stability and flow were virtually identical.

## 5.CONCLUSION

No unified design approach exists for the inclusion of asphalt reinforcement in pavements, however many researchers have demonstrated that the use of asphalt reinforcement show benefits in road rehabilitation in extending pavement service life, this paper highlights a number of factors that are important for their success. This increase in service life has a number of financial and social economic benefits. The increased uptake of these asphalt reinforcement products, in particular those produced from recycled polyester, will help support the move towards a more circular economy and achieve net zero carbon emissions in the future.

## References

- [1] EN 10319:2015, "Geosynthetics – Wide-width Tensile Test", International Organization for Standardization
- [2] De Bondt, A.H., (1999) "Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays", Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands,
- [3] Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (EMPA), (2017). "Einsatz von Asphaltbewehrungen im Erhaltungsmanagement von Trag- und Deckschichten, Application of Asphalt interlayers for road pavements".
- [4] Elsing, A., Horgan, G., (2019) "Determining key influence factors of a durable asphalt reinforcement", 18<sup>th</sup> Annual International Conference on Highways, Airports Pavement Engineering, Infrastructures & Asphalt Technology, Liverpool
- [5] Hammond, G.; Jones, C. (2011), "ICE Inventory of Carbon and Energy V 2.0", Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK
- [6] Höptner, Aaron; (2010) "Nachweis der Wirksamkeit von Asphaltbewehrungsgittern zur Verhinderung von Reflexionsrissen", Diplom Thesis, Dresden, 2010
- [7] Huang, Yang H.; (1993) "Pavement Analysis and Design" New Jersey: Prentice Hall RWTH
- [8] Aachen University, (2018). CERTIFICATE No.: 1808991, "Testing of the layer bond of drill cores with and without reinforcement"
- [9] Treloar G.J. (1994), "Embodied Energy Analysis of the Construction of Office Buildings", Master of Architecture Thesis, Deakin University, Geelong, Australia Sustainability. (2011, August 16).
- [10] Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 05:43, August 17, 2011, from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sustainability&oldid=445226512>
- [11] United Nations General Assembly (1987). "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future", Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co-operation: Environment; Our Common Future.
- [12] WRAP Waste and Resource Action Plan (2010), "Sustainable Geosystems in Civil Engineering Applications", UK
- [12] Quiel, M. (2013) „Einsatz von Asphalteinlagen im Asphaltstrassenbau.“ Master Thesis, Münster University of Applied Sciences, Münster.
- [13] Elsing, A., Schröder, S., (2005) "Experience from more than 30 years of asphalt reinforcement with polyester grids", 15<sup>th</sup> International Road federation World Meeting, Bangkok

# OPRAVDANOST PRIMENE RESTRIKTIVNOG REŽIMA PARKIRANJA U PERIFERNIM ZONAMA: STUDIJA SLUČAJA GRADA NIŠA

Vladimir Čuljković<sup>1</sup>, Jelena Simićević<sup>2</sup> i Marko Vukojević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [v.culjkovic@sf.bg.ac.rs](mailto:v.culjkovic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [j.simicevic@sf.bg.ac.rs](mailto:j.simicevic@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, [m.vukojevic@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vukojevic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Upravljanje parkiranjem se sve više prepoznaje kao moćno sredstvo kojim se može doprineti realizaciji održivog transportnog sistema, a i šire: realizaciji opštih ciljeva grada u pogledu mobilnosti, urbanog planiranja i kvaliteta životne sredine. Proces upravljanja parkiranjem je u većini gradova i naselja u Srbiji otpočeo uvođenjem režima u centralnim zonama, koje su viđene kao prioritetne za rešavanje ovog problema. Međutim, restriktivne mere u centralnoj zoni dovode do prelivanja parkiranja u njoj obodne zone, a lokalne vlasti ovaj problem najčešće pokušavaju da reše proširenjem zone važenja režima. U ovom radu je na primeru grada Niša, korišćenjem empirijskih podataka, ispitana opravdanost uvođenja restriktivnog režima u zonu koja je obodna centralnoj. Rezultati ukazuju da predmetna zona ne ispunjava uslove za uvođenje režima, te da ovakve mere ne bi dovele do poboljšanja uslova parkiranja u njoj. Prikazani nalazi treba da pomognu donosiocima odluka u saobraćaju i parkiranju da bolje razumeju kompleksnost problema parkiranja, za čije je rešavanje potrebna sveobuhvatna analiza stanja i identifikacija uzročnika problema na konkretnom prostoru u cilju definisanja svrsishodne politike i mera.

**Ključne reči:** politika parkiranja, kriterijumi za uvođenje režima parkiranja, prostorno uređenje parkiranja.

## JUSTIFICATION OF THE APPLICATION OF RESTRICTIVE PARKING REGIME IN PERIPHERAL ZONES: CASE STUDY OF THE CITY OF NIŠ

Vladimir Čuljković<sup>1</sup>, Jelena Simićević<sup>2</sup> and Marko Vukojević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, [v.culjkovic@sf.bg.ac.rs](mailto:v.culjkovic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, [j.simicevic@sf.bg.ac.rs](mailto:j.simicevic@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> University of Belgrade – Faculty of transport and traffic engineering, [m.vukojevic@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vukojevic@sf.bg.ac.rs)

**Abstract:** Parking management is increasingly recognized as an efficient tool that can contribute to the realization of a sustainable transport system. Taken in a broad sense, it can contribute to the realization of general urban goals in terms of mobility, urban planning and environmental quality. The process of parking management in most cities and towns in Serbia began with the introduction of a parking regime in the central areas, which are considered priority areas for solving this problem. However, restrictive measures in a central area lead to the spillover of parking onto adjacent areas. Local authorities usually try solving this problem by expanding the area of regime validity. In this paper, using empirical data from the city of Niš, the possibility of parking problem solving in such an area by introducing a restrictive regime was examined. The results show that the subject area does not meet the criteria for regime implementation, therefore such measures could not improve its parking state. The presented findings should help traffic and parking decision makers to better understand the complexity of the parking problem. To solve the problem, policies and measures need to be defined based on the comprehensive analysis of parking and transport state in the specific area.

**Keywords:** parking policy, criteria for parking regime introduction, spatial regulation of parking.

### 1. UVOD

U poslednjih nekoliko decenija upravljanju parkiranjem se pridaje sve veći značaj, te ono sa samo operativnog nivoa dobija viši, strateški nivo i postaje integralni deo transportne politike grada. Parkiranje se sve više integriše sa opštim ciljevima grada u smislu mobilnosti, urbanog planiranja i kvaliteta životne sredine (Mingardo i ostali, 2015).

U okviru podsistema parkiranja, osnovni cilj upravljanja jeste balansiranje zahteva i ponude za parkiranje uz obezbeđivanje visokog kvaliteta usluge korisnicima. Proces upravljanja parkiranjem uobičajeno otpočinje u centralnim zonama gradova, s jedne strane zbog njihovog istorijskog, kulturnog i društvenog značaja, a sa

---

<sup>1</sup> Vladimir Čuljković: [v.culjkovic@sf.bg.ac.rs](mailto:v.culjkovic@sf.bg.ac.rs)

druge jer je u ovim zonama (zbog njihove visoke atrakcije i velikih prostornih ograničenja) problem parkiranja najizraženiji. Politike i mere za kontrolu i upravljanje parkiranjem definišu se na osnovu zaključaka analize i ocene postojećeg stanja, a u skladu sa ciljevima strategije upravljanja parkiranjem i transportne politike grada.

Imajući u vidu kompleksnost problema parkiranja, kontrola i upravljanje parkiranjem treba da se sprovodi kroz dve faze: prostorno i funkcionalno uređenje parkiranja. Prostorno uređenje podrazumeva tehničko regulisanje parkiranja i obezbeđivanje dovoljnog broja parking mesta. Ova faza je preduslov za realizaciju funkcionalnog uređenja, iz prostog razloga što se neuređenim sistemom ne može upravljati. Uz to, tek po završenom prostornom uređenju zna se kolikim brojem mesta zona raspolaže, te se tek tada može sagledati odnos između ponude i zahteva. Funkcionalno uređenje, po potrebi, treba da omogući efikasno korišćenje raspoložive ponude, što se postiže primenom mera za upravljanje transportnim/parking zahtevima (Milosavljević i Simićević, 2020).

U većini gradova Evrope, funkcionalno uređenje parkiranja u centralnim zonama otpočelo je uvođenjem odgovarajućeg restriktivnog režima parkiranja (Mingardo i ostali, 2015). Slična situacija je i u Srbiji, gde se procenjuje da je neki od režima regulisanja trajanja parkiranja (sa naplatom sa ili bez vremenskog ograničenja trajanja parkiranja) već uveden u 85% gradova i naselja (Simićević, 2022). Ovi režimi imaju za cilj da kroz demotivisanje parkiranja dugotrajnih korisnika povećaju obrt parkiranja i time kvalifikovanu potražnju<sup>2</sup> uravnoteže sa ograničenom ponudom za parkiranje. Međutim, uvođenje režima parkiranja u centralnim zonama često za posledicu ima prelivanje dela zahteva iz centralne u njoj obodne zone (koje su najčešće pretežno stambene namene), pa se tako i problem prelije u ove zone. U većini gradova u Srbiji (82%) lokalne vlasti su pokušale da reše novonastali problem uvođenjem restriktivnog režima i u ove zone (obodne centralnoj), odnosno širili su prostor važenja režima. Pri tome, u čak 78% gradova ovakva odluka je doneta „ekspertski“, bez prethodne studija koja bi ocenila mogućnost, opravdanost i potencijalne efekte uvođenja režima u ove zone (Simićević, 2022).

U centralnoj zoni grada Niša je od 2007. godine u primeni restriktivni režim parkiranja. Tokom eksploatacije, stanje parkiranja, odnosno realizovani efekti su u nekoliko navrata vrednovani, a zone režima (njihove granice i atributi) menjani – sve sa ciljem da se postigne što veći stepen realizacije projektovanih parametara. Nedavno je ekspertskom ocenom postojećeg stanja identifikovana zona koja se nalazi na obodu zone režima a za koju je ocenjeno da postoji problem parkiranja koji se ogleda kroz „veliki broj vozila parkiranih na mestima na kojima parkiranje nije dozvoljeno, dugo vreme traženja slobodnog parking mesta te pad kvaliteta života građana“. To je bio povod da se inicira izrada studije „Proširenje zone u kojoj važi restriktivni režim parkiranja u Nišu“, za čijeg je izvršioca izabran Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet (Čuljković i ostali, 2023).

Cilj ovog rada je da na primeru grada Niša ispita opravdanost uvođenja restriktivnog režima u zonu koja je obodna centralnoj.

Struktura rada je sledeća: na osnovu podataka prikupljenih na način opisan u tački 2, u tački 3 je analizirano i ocenjeno stanje parkiranja u predmetnoj zoni a u tački 4 su ispitivane mogućnosti rešavanja identifikovanog problema primenom restriktivnog režima parkiranja. U tački 5 dat je predlog mera za rešavanje/ublažavanje problema parkiranja u predmetnoj zoni i kvantifikovani su uticaji predloženih mera na kvalitet životne sredine. Končano, tačka 6 sumira zaključna razmatranja.

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe analize i ocene postojećeg stanja, u cilju ispitivanja opravdanosti uvođenja restriktivnog režima, s obzirom na nepostojanje podataka iz dokumentacione osnove odgovarajućih institucija, podaci su prikupljeni empirijski. Zona istraživanja (slika 1), koja je obodna centralnoj zoni grada<sup>3</sup> i čije su granice definisane Projektnim zadatkom Studije, oivičena je ulicama: „Bulevar dr Zorana Đinđića, Vojvode Mišića, Dragiše Cvetkovića i Pasterova“. Ceo postupak istraživanja je realizovan u decembru 2022. godine<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Kvalifikovanu potražnju čine kategorije korisnika od kojih zavisi normalno funkcionisanje sadržaja zone. Po pravilu, tu pored stanovnika i snabdevača sadržaja zone spadaju kategorija kratkog trajanja parkiranja (motivi: poslovna poseta, privatna poseta, kupovina, rekreacija i sl.).

<sup>3</sup> Obod Zone istraživanja nije uzet u obzir jer deo oboda pripada zoni režima pa se ne očekuje da bi eventualno uvođenje mera u Zoni istraživanja dovelo do prelivanja parkiranja u ovaj deo. Isto važi i za ostatak oboda za koji je ocenjeno da nema prostorne mogućnosti da primi dodatne zahteve, čan ni u slučaju nepropisnog parkiranja.

<sup>4</sup> Termin istraživanja je posledica zahteva Naručioca Studije. Iako se decembar po pravilu ne smatra merodavnim mesecom za sprovođenje saobraćajnih istraživanja, prikupljeni podaci se mogu smatrati relevantnim jer je istraživanje obavljeno merodavnim danima, dve nedelje pre Nove godine čime je izbegnut eventualni vanredni uticaj na karakteristike parkiranja zbog praznika.



**Slika 1: Zona istraživanja**

Parkiranje se u zoni istraživanja realizuje na deonicama uličnih frontova (u daljem tekstu „UF“) i na unutarblokovskim površinama (u daljem tekstu „Blok“). Za potrebe istraživanja svih karakteristika parkiranja, i ostalih parametara od značaja, primenjene su metode nezavisnih (popunjavanjem specifičnih brojačkih obrazaca) i zavisnih (metodom ankete) istraživanja.

Na mestima gde je sprovedeno tehničko regulisanje parkiranja realizovano je inventarisanje postojećih parking mesta (prema lokaciji i strukturi), gde su ista klasifikovana na „javna“, „invalidska“ i „rezervisana“ parking mesta, dok je na mestima gde nije realizovano tehničko regulisanje izvršena procena broja parking mesta. Prilikom inventarisanja nisu obuhvaćeni Blokovi sa kontrolom pristupa (pomoću vertikalne signalizacije, rampe i lanaca) i namenska parkirališta.

Pored inventarisanja i procene broja parking mesta, na prostoru istraživanja sveobuhvatno su istražene jutarnja i podnevna akumulacija parkiranja primenom metode nezavisnih istraživanja, odnosno prebrojavanjem parkiranih vozila za svaku strukturu parking mesta (UF i Blok). Prilikom istraživanja akumulacije parkiranja posebno je zabeleženo da li su vozila parkirana na regulisanom parking mestu ili na mestu na kome parkiranje nije dozvoljeno.

Istraživanje ostalih karakteristika izvršeno je na reprezentativnom uzorku od 60% ukupnog broja parking mesta. Istraživanje je sprovedeno u periodu od 06 do 20 časova, odnosno u periodu kada se očekuje povećana atraktivnost zone. Obim, obrt, srednje trajanje parkiranja i akumulacije na krajevima satnih intervala snimljene su korišćenjem standardnih procedura nezavisnih istraživanja. Paralelno sa tim, sprovedeno je i zavisno istraživanje (intervjuisanje korisnika parking mesta), u cilju prikupljanja podataka o ostalim karakteristikama funkcionisanja parkiranja od značaja (motiv parkiranja, dužina putovanja putničkim automobilom, rastojanje pešačenja, vreme traženja slobodnog parking mesta, rang parametara kvaliteta parkiranja sa aspekta korisnika), o socio-demografskim karakteristikama korisnika (polna i starosna struktura) i u slučaju uvođenja režima a za potrebe definisanja mera o stavu korisnika prema merama parkiranja (osetljivost korisnika na cenu parkiranja).

### **3. ANALIZA I OCENA POSTOJEĆEG STANJA PARKIRANJA**

Ocena stanja parkiranja bazira se na podacima kompleksne informacione osnove koju čine podaci o operativnim merama koje su u primeni, kao i podaci o infrastrukturi i karakteristikama funkcionisanja parkiranja dobijeni istraživanjem.

#### **3.1. Operativne mere**

Ponudu za parkiranje u Zoni istraživanja čini 414 parking mesta (obeležanih ili procenjenih) od čega se 44% nalazi na uličnim frontovima, a 56% čine prostori za parkiranje unutar blokovskih površina. Od ukupnog broja parking mesta na uličnim frontovima parking mesta namenjena za osobe sa invaliditetom (tzv. „invalidska“ parking mesta) zastupljena su sa 2,2%, dok je Pravilnikom o tehničkim standardima planiranja, projektovanja

i izgradnje objekata kojima se osigurava nesmetano kretanje i pristup osobama sa invaliditetom, deci i starim osobama<sup>5</sup> propisano da taj broj iznosi najmanje 5%. 5,4% parking mesta je rezervisano.

U Zoni istraživanja nije primenjen restriktivni režim parkiranja. Propisano je samo gde je parkiranje dozvoljeno ili zabranjeno odgovarajućom saobraćajnom signalizacijom. U skladu sa tim, na navedenom prostoru se vrši samo kontrola parkiranja na mestima na kojima ono nije dozvoljeno i to od strane Saobraćajne policije i Komunalne milicije.

### 3.2. Karakteristike funkcionisanja parkiranja

U Zoni istraživanja, koja raspolaže sa 414 parking mesta, u podne je parkirano 511 vozila, što ukazuje na postojanje problema parkiranja. Još nepovoljnija situacija je pri jutarnjoj akumulaciji kada je parkirano 558 vozila stanovnika. Stanovnici zone pripadaju kategoriji korisnika kojoj se „mora“ omogućiti parkiranje u uticajnoj zoni mesta stanovanja, a postojeći broj parking mesta to ne omogućava. Veliko učešće zabranjenih parkiranja (23% u podne i 35% ujutru) je u najvećoj meri posledica neuređenosti posmatrane zone, a posebno Ulice Ljudevita Gaja u kojoj su sva vozila parkirana na ovim mestima. To onemogućava upravljanje saobraćajem, a time i parkiranjem, na ovom prostoru.

U periodu istraživanja u Zoni istraživanja se obavilo 1.525 parkiranja, pa je prosečan obrt parkiranja 2,73. U prosečno trajanje parkiranja korisnika iznosi 296 minuta. Većina korisnika (62%) u zonu je došla iz gradskog područja. Pri tome građani automobilom prelaze izuzetno kratka rastojanja, oko 90% kraća od 400 m, što se lako može preći i pešice ili biciklom.

Po dolasku u zonu, slobodno parking mesto nije tražilo 36% korisnika, dok je preostalih 64% moralo dodatno da se vozi u potrazi za mestom za parkiranje. Prosečno vreme traganja svih korisnika iznosi 4,9 minuta. Od parkiranog vozila do konačnog cilja putovanja u proseku se pešači 83 m. U prilogu problemu pronalaska slobodnog parking mesta govori i činjenica da je korisnicima najznačajniji parametar kvaliteta usluge u parkiranju „da nađu slobodno parking mesto“, koji je dobio ocenu 3,27/4. Uz to, značajan broj stanovnika (58%) ne koristi svoje vozilo u toku dana (ne napušta parking mesta u periodu istraživanja), što može govoriti o nesigurnosti stanovnika da će po povratku naći slobodno parking mesto.

### 3.3. Ocena stanja parkiranja

Na osnovu svega rečenog u tačkama 3.1 i 3.2 mogu se izvući sledeći osnovni zaključci analize postojećeg stanja koji ukazuju na **loše stanje parkiranja** u Zoni istraživanja:

- Nepotpuno prostorno uređenje parkiranja
- Nedovoljan broj mesta za stanovnike zone
- Nedovoljan broj parking mesta rezervisan za osobe sa invaliditetom
- Velika zastupljenost parkiranja na zabranjenim mestima
- Dugo vreme traženja slobodnog parking mesta.

## 4. ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI UVOĐENJA REŽIMA REGULISANJA TRAJANJA PARKIRANJA

Ocena stanja parkiranja je pokazala da u Zoni istraživanja postoji problem parkiranja. Uobičajen pristup rešavanju problema parkiranja u gradovima Srbije je uvođenje restriktivnog režima (tačka 1), odnosno širenje prostora važenja režima. U skladu sa tim, Projektnim zadatkom je traženo da se ispita mogućnost da se taj problem i u ovom slučaju reši na isti način.

Restriktivni režim parkiranja uvodi se na prostoru koji ispunjava uslove za njegovo uvođenje, na strukturi parking mesta koja je za tzv. "javno korišćenje" (ulični frontovi, vanulična parkirališta, i blokovska parkirališta čiji vlasnički status to omogućava). U okviru ove tačke, na konkretnom primeru je ispitana opravdanost takve mere.

---

<sup>5</sup> Sl. glasnik RS br. 22/2015, „Mesta za parkiranje“, član 36.

#### 4.1. Kriterijumi za uvođenje režima regulisanja trajanja parkiranja

Restriktivni režim parkiranja se uobičajeno uvodi u kontinualni prostor (zonu) čije su granice definisane tako da režim najmanje utiče na usložnjavanje problema parkiranja na njegovom obodu. Uvođenje restriktivnog režima parkiranja podrazumeva da su ispunjeni sledeći uslovi (Milosavljević i Simićević, 2020):

1. Radi se o atraktivnoj zoni, tj. podnevna akumulacija je veća od jutarnje akumulacije parkiranja.
2. Podnevna akumulacija parkiranja je veća od broja parking mesta, odnosno postoji problem parkiranja.
3. Jutarnja akumulacija parkiranja (maksimalna akumulacija vozila stanovnika) je jednaka ili manja od broja parking mesta, što znači da se stanovnicima, ukoliko ih u zoni ima, „mora“ omogućiti parkiranje u uticajnoj zoni mesta stanovanja.

Navedeni uslovi se odnose na uvođenje restriktivnog režima sa naplatom parkiranja bez vremenskog ograničenja i ukoliko su svi ispunjeni, on se može uvesti u zonu. Za uvođenje režima sa vremenskim ograničenjem (ukoliko se u zonu može uvesti restriktivni režim sa naplatom parkiranja) potrebno je da bude ispunjen dodatni uslov:

4. U strukturi korisnika značajno je zastupljena kategorija koja „ne treba“ tu da se parkira (posetioци dugotrajnog parkiranja). Ispunjenost ovog kriterijuma se ispituje preko raspodele posetilaca prema trajnosti i/ili motivu parkiranja.

Ako je analiza pokazala da je uvođenje režima u zoni opravdano, definišu se konkretne mere (cena, vremensko ograničenje i sl.). Stanovnici zone, kao prioritarna kategorija, dobija status povlašćenog korisnika, te se na njih ne odnose navedene mere. Za posetioce koji su režimom destimulisani od parkiranja u zoni obezbeđuje se adekvatna alternativa, koja u zavisnosti od asortimana i kvaliteta transportne ponude može podrazumevati javni transport putnika, parkirališta na obodu i sl.

Ukoliko kontinualni prostor zone ne ispunjava uslove za uvođenje restriktivnog režima parkiranja, u slučaju objekata visokog stepena atraktivnosti, pozitivne efekte može dati i uvođenje režima na deonicama uličnih frontova i na vanuličnim parkiralištima na kojima su ispunjeni odgovarajući uslovi. Ovi uslovi su isti kao i za zonu s tim što je potrebno da jutarnja akumulacija (akumulacija stanovnika) bude približno jednaka nuli, a ukoliko to nije slučaj, da postoji mogućnost da se njihovi zahtevi realizuju na alternativnoj lokaciji u uticajnoj zoni ili da je njihov broj manji od broja parking mesta što omogućava da im se dodeli status povlašćene kategorije (Milosavljević i Simićević, 2020).

#### 4.2. Ispitivanje ispunjenosti kriterijuma za uvođenje režima regulisanja trajanja parkiranja

Za Zonu istraživanja ispitana je opravdanost uvođenja režima regulisanja trajanja parkiranja. Analiza ispunjenosti uslova je urađena prema metodologiji opisanoj u prethodnoj tački i uključila je i blokove bez kontrole pristupa kao alternativu uličnim parking mestima za parkiranje vozila stanovnika.

Sa aspekta realizovane potražnje, Zona istraživanja spada u neatraktivne zone (sa koeficijentom 0,92 - sadržaji u zoni ne privlače mnogo posetilaca već se u njoj većinom parkiraju stanovnici), pa nije ispunjen prvi eliminacioni kriterijum za uvođenje režima parkiranja, tabela 1.

**Tabela 1: Ispunjenost kriterijuma za uvođenje restriktivnog režima u Zonu istraživanja – postojeće stanje**

Broj mesta	Akumulacija		K <sub>A</sub>	Kof. iskorišćenja		Ispunjenost kriterijuma <sup>6</sup>				
	Podne	Jutro		Podne	Jutro	1	2	3	4	Ukupno
414	511	558	0,92	1,23	1,35	×	✓	×	-	×

U Zoni je izražen problem parkiranja u celom prostoru, a posebno na uličnim frontovima, kako u podne (nema dovoljno mesta za parkiranje vozila svih korisnika - ispunjen je eliminacioni kriterijum 2) tako i ujutru (nema dovoljno mesta za parkiranje vozila stanovnika - nije ispunjen eliminacioni kriterijum 3). Neispunjavanje bilo kog od eliminacionih kriterijuma povlači za sobom da se u zonu ne može uvesti restriktivni režim parkiranja (tačka 4.1).

<sup>6</sup> ✓ - ispunjava; × - ne ispunjava



Iako Zona istraživanja generalno ne ispunjava eliminacione uslove za uvođenje restriktivnog režima parkiranja, imajući u vidu izražen problem, kao i činjenicu da se Zona istraživanja naslanja na zonu u kojoj u postojećem stanju funkcioniše restriktivni režim parkiranja (Zelena zona, tačka 2), ispitana je mogućnost uvođenja režima na deonicama uličnih frontova koji bi sa postojećom zonom pod restriktivnim režimom činili kontinuiranu celinu. Analiza je pokazala da nijedna deonica u posmatranoj zoni ne ispunjava kriterijume potrebne za uvođenje restriktivnog režima parkiranja (tačka 4.1). Naime, od postojećih deonica uličnih frontova samo jedna je atraktivna, ali se i na njoj, kao i na ostalim deonicama, parkira značajan broj vozila stanovnika koja se ne mogu izmestiti u uticajnu zonu (nema prostornih mogućnosti). Osim toga, uz sve deonice se nalaze objekti za kolektivno stanovanje pa bi bilo nemoguće izdvojiti stanovnike kojima treba dati status „povlašćenog korisnika“

## 5. PREDLOG MERA SA PROCENOM EFEKATA

Pored niskog kvaliteta usluge u podsistemu parkiranja, problem parkiranja u Zoni istraživanja se negativno odražava i na funkcionisanje ostalih transportnih podсистema, doprinosi stvaranju urbanog haosa i smanjuje kvalitet života građana. Zbog toga je potrebno primeniti odgovarajuće mere kako bi se problem parkiranja rešio ili barem ublažio ali i kako bi se umanjio negativan uticaj parkiranja na druge podсистeme grada.

Iako se u zonu ne može uvesti restriktivni režim parkiranja to ne znači da se problem parkiranja u njoj ne može rešiti ili ublažiti. Kako je zona neatraktivna, a nema dovoljno mesta za parkiranje svih vozila stanovnika, rešavanje problema parkiranja svodi se na rešavanje problem parkiranja stanovnika. Nedostatak parking mesta za stanovnike se ne rešava upravljanjem, već se njihovi zahtevi moraju zadovoljiti obezbeđivanjem dovoljnog broja parking mesta (izgradnjom kapaciteta koji nedostaju), odnosno tehničkim regulisanjem parkiranja.

Kako je ranije navedeno (tačka 3.2), problemu najviše doprinosi prostorna neuređenost Ulice Ljudevita Gaja. Iz tog razloga, dat je predlog delimične izmene režima dinamičkog saobraćaja u ovoj ulici koji bi omogućio tehničko regulisanje dodatnog broja parking mesta u njoj (ukupno 182 - 173 javnih i 9 za osobe sa invaliditetom). Realizacijom ovog predloga (nakon planiranih intervencija u režimu dinamičkog saobraćaja i parkiranja) omogućilo bi se parkiranje svih stanovnika, a time i svih korisnika (tabela 2).

**Tabela 2: Koeficijenti iskorišćenja u prostoru Zone istraživanja – nakon predloženih intervencija**

Struktura	Broj mesta			Ukupno	Akumulacija		K <sub>A</sub>	Koef. iskorišćenja	
	Obeležena	Procena			Podne	Jutro		Podne	Jutro
		Obič.	Inv.						
UF	159	173	9	341	307	326	0.94	0.90	0.96
B bez rampe	0	232	0	232	204	232	0.88	0.88	1.00
Ukupno	159	405	9	573	511	558	0.92	0.89	0.97

Da bi predložene mere dale željeni efekat, one moraju biti podržane kvalitetnim funkcionisanjem sistema za kontrolu i sankcionisanje prekršaja u parkiranju. Ovo podrazumeva i postavljanje uličnog mobilijara (stubići, kugle, visoki ivičnjaci i sl.) čime se smanjuje obim kontrole i oslobađaju površine za korišćenje od strane korisnika kojima su namenjene.

Realizacijom predloženih mera svi korisnici bi se parkirali na regularnim parking mestima. Iskorišćenje parking mesta od 85% se u literaturi uzima kao ciljana vrednost, jer se smatra da tada praktično ne postoji traganje za slobodnim mestom (Shoup, 2006). Iako je iskorišćenje (u nekim delovima dana) nešto veće od ove vrednosti, u tim periodima se u zoni uglavnom parkiraju stanovnici koji jako dobro poznaju lokalne uslove i brže pronalaze slobodno mesto (Assemi i ostali, 2020; Brooke i ostali, 2018), pa se može smatrati da traganja ne bi bilo.

Ako se u obzir uzme prosečno vreme traganja za slobodnim mestom u posmatranoj zoni (4.9 minuta), kao i broj ulaza u ovu zonu u toku dana (967), može se zaključiti da su korisnici u postojećem stanju provode 51 sat dnevno u potrazi za slobodnim mestom. Dovodjenjem iskorišćenja mesta na željeni nivo merama prostornog uređenja, može se sa visokom pouzdanošću smatrati da bi se ova dodatna vožnja eliminisala, čime bi se pored ušteda korisnika u vremenu i novcu ostvarili i značajni energetske i ekološki efekti. Uzimajući u obzir da se prilikom traganja vozila kreću malom brzinom zbog osmatranja i čestog zaustavljanja (prema Benenson i ostali (2008) od 11 km/h) i korišćenjem modela za evaluaciju energetske i ekološke efekata vožnje usled traganja (Čuljković, 2018), izračunato je da se zbog traganja za parking mestom u zoni potroši 8 litara goriva dnevno pri čemu se emituje 32 kg CO<sub>2</sub><sup>7</sup>. To zapravo znači da bi se eliminisanjem traganja za slobodnim mestom primenom ovde predloženih mera i ovi negativni efekti eliminisali.

<sup>7</sup> U obzir je uzeta raspodela voznog parka putničkih automobila u Republici Srbiji prema pogonskom gorivu (Manojlović i ostali, 2020), kao i prosečna potrošnja prema pogonskom gorivu (Mellios i ostali, 2011).

Gore navedene razmere negativnih efekata traganja, odnosno pozitivnih efekata uređenja parkiranja koje bi to traganje eliminisalo, odnose se samo na vozila koja tragaju. Međutim, u obzir treba uzeti i to na ostale vozače, jer vozila koja tragaju povećavaju obim saobraćaja (Shoup, 2006), čime snižavaju nivo usluge na uličnoj mreži i doprinose nastanku saobraćajnih zagušenja. Takođe u obzir nisu uzete ni brojne druge posledice traganja koje je teško izmeriti i vrednovati, kao što su: gubitak vremena, smanjena bezbednost, frustracije i nezadovoljstvo korisnika onima koji upravljaju saobraćajem u gradu.

## 6. ZAKLJUČAK

U skladu sa ciljevima održivosti, savremeni koncept upravljanja parkiranjem u centralnim i drugim visokoatraktivnim zonama podrazumeva izgradnju dovoljnog broja parking mesta (za vozila stanovnika, odnosno kvalifikovanu potražnju), i po potrebi upravljanje zahtevima ostalih kategorija kako bi se raspoloživa ponuda što efikasnije koristila. Međutim, u skladu sa načinom na koji su se gradovi razvijali, obodne zone su po pravilu pretežno stambene namene, pa time i neatraktivne, te se ovaj princip rešavanja na njih ne odnosi. Kako stanovnici spadaju u kategoriju korisnika koja „mora“ da se parkira u uticajnoj zoni mesta stanovanja, za njih je potrebno obezbediti dovoljan broj parking mesta. Sa druge strane, ako je u ovakvu zonu došlo do preliivanja dela zahteva za parkiranje iz susedne visokoatraktivne zone, primenjuju se posebni režimi kojima se kategorija stanovnik favorizuje u odnosu na ostale. To najčešće ne podrazumeva režim regulisanja trajanja parkiranja. Konkretan režim, odnosno mere, biraju se i definišu za svaku situaciju posebno, nakon što se utvrdi stanje i ispitaju uzročnici problema.

Sve navedeno je u ovom radu i demonstrirano na primeru jedne neatraktivne zone koja je obodna centralnoj zoni u Nišu. Analiza je pokazala da uvođenje režima regulisanja trajanja parkiranja u njoj nije opravdano. Ukoliko bi se ipak restriktivne mere uvele u Zonu istraživanja (što je uobičajena praksa u gradovima Srbije, tačka 1), one praktično ni na koji način ne bi ublažile problem parkiranja. U zoni i dalje ne bi bilo dovoljno mesta za parkiranje vozila stanovnika, te bi oni kao i do sada, kao uporni parkirači koji teže da se parkiraju što bliže mestu stanovanja, i dalje parkirali nepropisno. Sa druge strane, režim ne bi imao gotovo nikakav uticaj ni na posetioce, s obzirom na to da je ova kategorija u manjini i da je njihovo parkiranje najvećim delom kratkog trajanja, pa su gotovo neosetljivi na važeće cene parkiranja u Nišu. Uvođenje režima bez vidljivih pozitivnih efekata a uz obavezu kupovine pretplatnih parking karata od strane stanovnika bi izazvalo nezadovoljstvo nadležnima za upravljanje parkiranjem u gradu.

Rezultati prikazani u ovom radu treba da ohrabre nadležne za upravljanje parkiranjem u gradu da iniciraju izrade studija parkiranja, te da mere uvode ili menjaju na osnovu njihovih rezultata. Jedino na taj način je moguće ostvariti planirane efekte upravljanja. Takođe, treba ih ohrabriti da rešavaju probleme parkiranja svuda gde za to postoji mogućnost jer je pokazano kakve efekte ima neuređeno parkiranje, ne samo na ovaj i na ostale segmente transportnog sistema, već i na kvalitet životne sredine.

## Literatura

- [1] Assemi, B., Baker, D., & Paz, A. (2020). Searching for on-street parking: An empirical investigation of the factors influencing cruise time. *Transport Policy*, 97, 186-196.
- [2] Benenson, I.; Martens, K.; Birfir, S. (2008). PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city, *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier Ltd, 32(6): 431–439
- [3] Brooke, S., Ison, S., & Quddus, M. (2018). Analysing parking search ('cruising') time using generalised multilevel structural equation modelling. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPE)*, 52(3), 202-220.
- [4] Čuljković, V.; Simićević, J.; Vidović, N.; Vukojević, M. (2023). Studija: Proširenje zone u kojoj važi restriktivni režim parkiranja u Nišu. Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet. 50 p.
- [5] Čuljković, V. (2018). Influence of parking price on reducing energy consumption and CO2 emissions, *Sustainable Cities and Society*, 41: 706–710

- [6] Manojlović, A.; Momčilović, V.; Milović, M.; Trifunović, J.; Kaplanović, S.; Milosavljević, I. (2020). Studija o proceni emisija zagađujućih materija u atmosferu od saobraćaja na državnim putevima I i II reda za period 2016-2018 godine. Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet. 87 p.
- [7] Mellios, G.; Hausberger, s.; Keller, M.; Samaras, C.; Ntziachristos. L. (2011). Parameterisation of fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes. Joint Research Centre, Institute for Transuranium Elements. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 116 p.
- [8] Milosavljević, N.; Simićević, J. (2020). *Parkiranje, 2. izdanje*. Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet. 216 p.
- [9] Mingardo, G.; van Wee, B.; Rye, T. (2015). Urban parking policy in Europe: A conceptualization of past and possible future trends. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74: 268-281.
- [10] Simićević, J. (2022). Upravljanje parkiranjem u Srbiji. *Tehnika*, 77(5): 589-595.
- [11] Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking, *Transport Policy*, 13(6): 479–486

## PROJEKTOVANJE MOSTOVA PREMA ZAHTEVIMA ŽIVOTNE SREDINE

Stefan Ž. Mitrović<sup>1</sup>, Snežana Mašović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, [smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Zaštita životne sredine nesumnjivo postaje primarni zadatak čovečanstva u 21. veku. Razvoj tehnologije i tehnike doneo je mnoge lagodnosti ljudima, ali istovremeno je negativno uticao na njihovu okolinu. U okviru ovoga rada predstavljen je uticaj mostovskih konstrukcija na životnu sredinu. Pregledom literature, utvrđeni su određeni negativni efekti kroz različite faze projekta, od izvođenja do sanacija konstrukcija mostova. Pokazani su rezultati primene koncepta Ocene životnog ciklusa (Life Cycle Assessment - LCA) u projektovanju mostova na određenim primerima. Studijom slučaja je prikazana mogućnost upotrebe integralnih mostova u smanjenju zagađenja životne sredine. U zaključnim razmatranjima, predstavljen je model uvođenja zahteva životne sredine u proces projektovanja i izvođenja.

**Ključne reči:** životna sredina, integralni mostovi, ocena životnog ciklusa, zagađenje

## DESIGN OF BRIDGES ACCORDING TO ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS

Stefan Ž. Mitrović<sup>1</sup>, Snežana Mašović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, [smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs)

**Abstract:** Environmental protection undoubtedly becomes the primary task of humanity in the 21st century. The development of technology and technique has brought many conveniences to people, but it has created and negatively affects their environment. This paper presents the impact of bridge construction on the environment. Through the literature review, certain negative effects were determined through different stages of design, from construction to rehabilitation of bridge structures. The results of applying Life Cycle Assessment (LCA) in bridge design are shown on a examples. The case study shows the possibility of using integral abutment bridges on reducing the environmental pollution. In the concluding remarks, a model for the introduction of environmental requirements into the design and construction process are presented.

**Keywords:** environmental, integral abutment bridges, life cycle assessment, pollution

### 1. UVOD

Sveobuhvatni razvoj tehnologije i tehnike naročito poslednjih par decenija doneo je mnogo pozitivnih stvari. Ljudima na planeti Zemlji omogućen je lakši život kroz mnogobrojne inovacije. Primera radi, razvoj informacionih tehnologija je omogućio da se određene privredne aktivnosti brže i jednostavnije izvršavaju. Upotreba savremenih mašina i robota je u velikom delu zamenila ljudski rad i donela veću sigurnost i produktivnost.

Pomenuti razvoj je nesumnjivo nastao iskorišćavanjem raznih prirodnih bogatstava. Takođe, ovakva tehnologija često podrazumeva industriju koja zagađuje životnu sredinu. U ovom kontekstu potrebno je objasniti osnovne pojmove o životnoj sredini koje su definisane prema važećem Zakonu [1], a to su:

- 1) životna sredina – skup prirodnih i stvorenih vrednosti čiji kompleksni međusobni odnosi čine okruženje, odnosno prostor i uslove za život;
- 2) kvalitet životne sredine – stanje koje je iskazano fizičkim, hemijskim, biološkim, estetskim i drugim indikatorima;
- 3) prirodne vrednosti – prirodna bogatstva koja čine vazduh, šume, geološki resursi, biljni i životinjski svet;
- 4) održivi razvoj – usklađeni sistem tehničko-tehnoloških, ekonomskih i društvenih aktivnosti u ukupnom razvoju u kojem se na principima ekonomičnosti i razumnosti koriste prirodne i stvorene vrednosti sa ciljem da se sačuva i unapredi kvalitet životne sredine za sadašnje i buduće generacije.

Dakle, čovečanstvo je godinama unazad koristilo prirodne vrednosti za sopstveni razvoj, pritom kvareći kvalitet životne sredine bez posebnog obaziranja na održivi razvoj. Poslednjih godina, sa naglim klimatskim promenama, lošim kvalitetom vazduha i sličnim problemima, podiže se svest o zaštiti životne sredine, optimalnoj upotrebi resursa i primeni koncepta održivog razvoja.

---

<sup>1</sup> Autor za korespondenciju: Stefan Ž. Mitrović [smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs)

Građevinska industrija na koju je fokus u ovom radu, predstavlja jedan od značajnijih zagađivača životne sredine. To se ogleda kroz proces proizvodnje građevinskih materijala u kontekstu emisije CO<sub>2</sub>, kao i direktnog zagađivanja okoline u procesu izgradnje objekta kroz veliku količinu građevinskog otpada. Primera radi, cementna industrija učestvuje sa 10% u ukupnoj emisiji CO<sub>2</sub> u atmosferi, dok čitavo građevinarstvo reprodukuje 50% emisije CO<sub>2</sub> godišnje. [2] Naučnoistraživačke aktivnosti u prethodnom periodu su doprinele umanjeњу zagađenja životne sredine betonskim konstrukcijama na različite načine. Cement u betonskoj mešavini se određenim delom može zameniti alternativnim materijalima kao što su zgura, leteći pepeo, bio masa i slično. Takođe, prirodni agregat se može zameniti materijalima poput recikliranog stakla, agregata dobijenog recikliranjem betona, recikliranom opekom, pirinčanom kominom i drugo. [2] Drugi pristup je poboljšanje efikasnosti kroz smanjenje potrebne količine materijala koristeći nove tehnologije gradnje poput 3D štampe i materijala visokih performansi. [3]

Proizvod građevinske industrije su objekti i konstrukcije koje se koriste za različitu namenu. Mogu biti locirani u gradskim ili van gradskim područjima. Bez obzira na lokaciju, građevinski objekti postaju deo životne sredine područja i imaju uticaj na funkcionisanje iste. Pored toga što se za njihovu izgradnju koriste velike količine različitih prirodnih resursa, objekti se projektuju i izvode da imaju dug životni odnosno upotrební vek. Prema savremenim evropskim propisima Evrokodovima, stambene i poslovne zgrade se projektuju za upotrební vek od 50 godina, dok je kod mostova taj period 100 godina. [4]

Objekti putne infrastrukture imaju daleko veći uticaj na životnu sredinu u odnosu na stambene i rezidencijalne objekte. Putevi, mostovi i tuneli često se grade u van gradskim područjima, gde svojim prisustvom negativno utiču na biljni i životinjski svet tog predela, odnosno čitav bio diverzitet u celosti. Taj uticaj se manifestuje podjednako kroz procese izgradnje i eksploatacije. Prema Kineskom biltenu o životnoj sredini iz 2015. godine, 15% ekoloških incidenata je uzrokovano saobraćajnim nesrećama. U periodu između Januara 2004. i Decembra 2011. dogodilo se 886 saobraćajnih nesreća koje su vezane za transport opasnih materija, od čega se 7% dogodilo na mostovima i u tunelima. Iako procenat nije izražen, efekat ovih nesreća na okolinu može biti veoma destruktivan. [5]

Dosadašnja građevinska praksa podrazumeva da se prilikom izgradnje građevinskih objekata, rešenja i odluke baziraju na konstruktivnom, sigurnosnom i ekonomskom aspektu. Još uvek nije u većoj meri u proces projektovanja i izvođenja objekata ušla procena uticaja izgradnje i eksploatacije objekta na životnu sredinu, iako u većini zemalja postoje propisi koji regulišu to. Poslednjih godina, veoma uspešno se koristi koncept Ocene životnog ciklusa (Life Cycle Assessment LCA) za kvantifikaciju ekološkog opterećenja od građevinskih objekata i konstrukcija. U velikoj meri ova metoda je korišćena za poređenje potencijalnih rešenja pri izgradnji novog mosta ili rekonstrukciji postojećeg mosta. [6]

U okviru ovoga rada analiziran je uticaj mostovskih konstrukcija na životnu sredinu. Pregledom literature uočeni su različiti efekti mostovskih konstrukcija na elemente životne sredine kroz različite faze projekta, od izvođenja do sanacionih intervencija koje nastupaju tokom upotrebnog veka. Dat je prikaz metodologije rada koncepta LCA u građevinarstvu. Na par karakterističnih primera pokazana je primena u izboru rešenja mosta sa ciljem minimiziranja efekata na životnu sredinu. Studijom slučaja je prikazana mogućnost upotrebe integralnih mostova u smanjenju zagađenja životne sredine. U zaključnim razmatranjima, predstavljen je model uvođenja zahteva životne sredine u proces projektovanja i izvođenja.

## 2. UTICAJ MOSTA NA ŽIVOTNU SREDINU

Najznačajniji element putne infrastrukture svake zemlje je most. Građevina koja omogućava savlađivanje različitih prepreka bilo prirodnih ili veštačkih, vekovima unazad omogućava lakše kretanje ljudi i dobara. Kada govorimo o mostovima van gradskog jezgra, dakle na magistralnim i autoputevima koji prolaze kroz nenaseljena ili retko naseljena područja, most nesumnjivo postaje deo životne sredine tog kraja. Samim tim most kao građevinska konstrukcija ima određeni uticaj na životnu sredinu kraja u kome je sagrađen, odnosno utiče na kvalitet života u tom području. Prvi deo ovoga poglavlja ima za cilj da prikaže uticaj koji most ima na životnu sredinu u svojoj okolini, kako utiče na biljni i životinjski svet, kao i njegov globalni uticaj. Drugi deo ovoga poglavlja pokazaće primere iz prakse u kojima se analizirao uticaj mosta na životnu sredinu, sa osvrtom na izbor projektantskog rešenja prema parametrima životne sredine. Takođe pokazaće se primena LCA koncepta u projektovanju mostovskih konstrukcija sa ciljem umanjeņa negativnog uticaja na životnu sredinu.

### 2.1. Negativni efekti mostovskih konstrukcija na životnu sredinu

Životna sredina predstavlja bitan parametar kada odlučujemo o mestu izgradnje mosta. Na izbor gradilišta bitno utiču geografski, hidrološki, hidraulički i geotehničke uslovi. Međutim, ono čemu nije dat značaj svih ovih godina je kako most utiče na pomenute uslove. Mostovska konstrukcija sagrađena u nekom prirodnom okruženju postaje deo istog i praktično živi sa ostalim biljnim i životinjskim svetom. Pod uticajima

se misli na određene negativne efekte koje mostovske konstrukcije u različitim vremenskim periodima proizvode na životnu sredinu. S tim u vezi, ukupni životni vek mosta se može podeliti na sledeće karakteristične faze:

1. Faza projektovanja i izvođenja konstrukcije mosta,
2. Faza eksploatacije, odnosno upotrebe mosta, što se često naziva i faza održavanja,
3. Faza eliminacije, što bi podrazumevalo kraj upotrebe mosta.

Život mosta je obuhvaćen različitim fazama od projektovanja, izvođenja pa do eksploatacije. Upravo će ta podela poslužiti da za prikazivanje pomenutih efekata. Pregledom literature i dosadašnjih istraživanja [3], [5], [7]–[9], uočeni su sledeći efekti koji su shodno pomenutoj podeli prikazani u nastavku teksta.

#### 1. Faza projektovanja i izvođenja konstrukcije mosta:

Izborom materijala u fazi projektovanja koji nisu ekološki prihvatljivi direktno se povećava negativan uticaj na životnu sredinu, jer proizvodnja tih materijala ima za posledicu emisiju ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferu.

Prilikom izvođenja konstrukcija, korišćenje teških mašina i mehanizacije može dovesti do promene hidroloških karakteristika terena na kome se izvode radovi. Takođe, razni radovi u blizini rečnih površina mogu dovesti do povećanja rizika od poplava. Nekontrolisano izlivanje betona, ulja, maziva i drugih otpadnih tečnosti može izazvati kontaminaciju površinskih i podzemnih voda. Ovde spadaju i potencijalna izvorišta pijaće vode. Postavljanje srednjih stubova u korito reke predstavlja prepreku za protok, smanjuje brzinu vode i povećava dubinu vode uzvodno, čime se povećava rizik od poplava nizvodno uz eroziju. Pored ovoga možemo imati smanjenje količine kiseonika i kvaliteta vode što za posledicu ima migraciju divljih životinja, ugrožavanje mrešta riba i slično.

Izvođenje mostova u većini slučajeva podrazumeva veliku količinu zemljanih radova čime se menja profil terena. To za posledicu ima stvaranje potencijalnih klizišta i erozija terena usled uklanjanja prirodne vegetacije (šuma). U ovom procesu je prisutna eksploatacija i uništavanje stenskih masa. Prisustvo teških mašina i mehanizacije negativno utiče i na kvalitet vazduha usled sagorevanja goriva. Negativan uticaj je svakako primetan i na floru i faunu kraja usled građevinskih radova čime se izmešta ili uništava stanište raznih biljaka i životinja (uključujući i one koje su retke i osetljive).

Građevinski radovi imaju uticaj i na lokalno stanovništvo kroz opterećivanje lokalnih puteva teškim mašinama i mehanizacijama, stvaranje velike količine buke, prašine, blata i mulja. Može biti prisutno i oštećenje ili uništavanje neistraženih arheoloških nalazišta.

*Journal of Environmental Management* 319

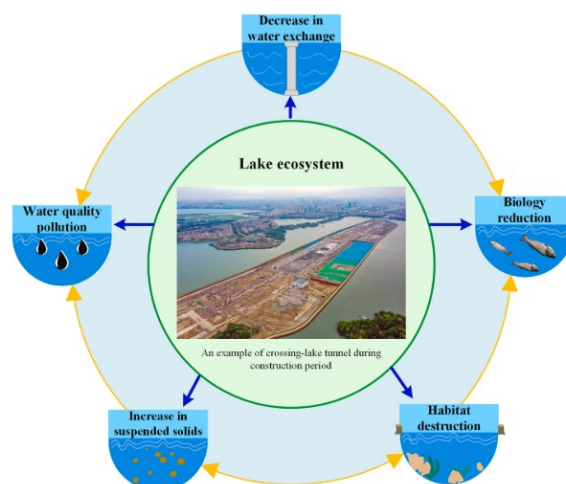


Fig. 3. Environmental impacts and risks during the bridge/tunnel construction period.

#### **Slika 1. Uticaj mosta na ekosistem jezera [5]**

Izvor: (Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview, *Journal of Environmental Management*, 2022. )

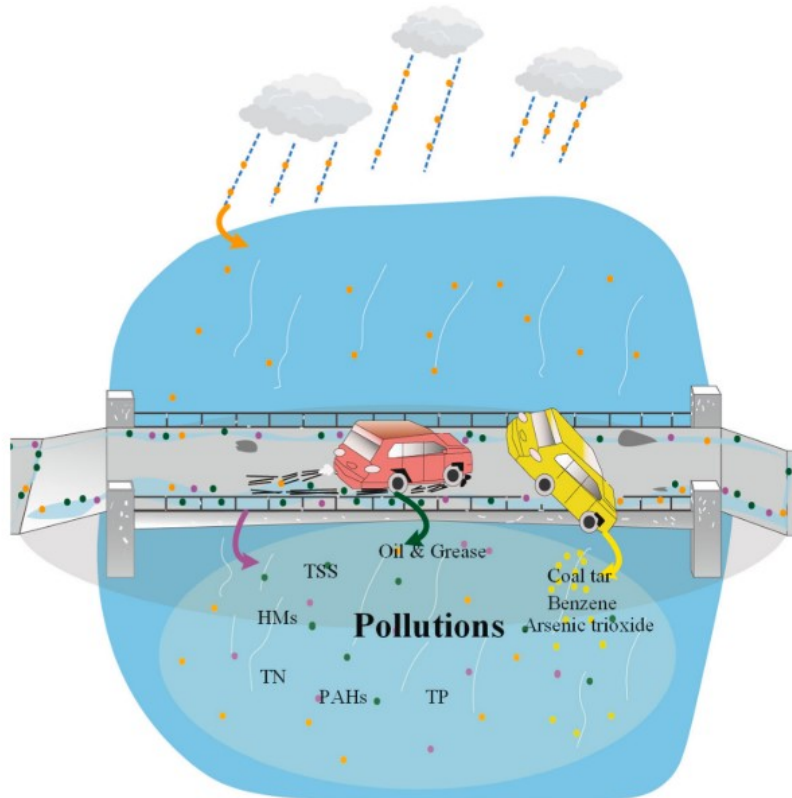
#### 2. Faza eksploatacije (upotrebe) mosta:

U toku svog upotrebog veka most se koristi za kretanje vozila različitih namena i profila. Kretanje vozila može remetiti biljni i životinjski svet preteranom bukom. Takođe, usled kvara ili saobraćajnih nezgoda iz vozila se ispuštaju ulja, goriva i druge otpadne materije koje mogu da kontaminiraju sredinu i time zagade

površinske i podzemne vode. Most može uticati negativno na lokalno stanovništvo u smislu da se na mestu gradnje mosta gubi prostor za rekreaciju ljudi, kupanje, lov i ribolov. U određenim situacijama prisustvo mosta može pokvariti estetiku kraja, pogleda i slično. Tokom upotrebnog veka prisutni su određeni građevinski radovi na sanaciji mosta koji takođe mogu imati negativan uticaj kao što je opisano u tekstu iznad.

### 3. Faza eliminacije:

U toku faze eliminacije što podrazumeva kraj upotrebnog veka, nakon koga konstrukcija ne može više da sigurno i bezbedno obavljaju svoju funkciju. Potrebno je izvršiti delimično ili potpuno rušenje mosta čime se stvara velika količina građevinskog otpada koja može da kontaminira životnu sredinu.

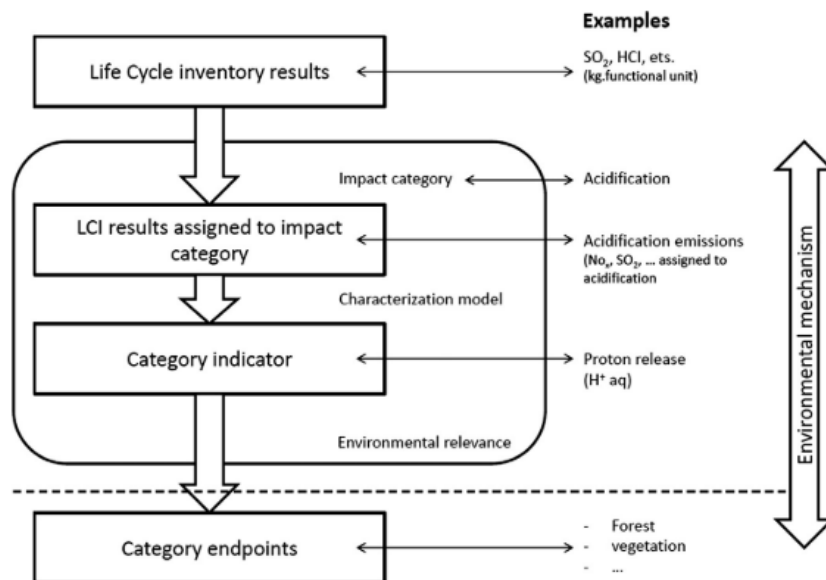


**Slika 2.** Uticaj mosta na životnu sredinu tokom upotrebnog veka [5]

Izvor: (Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview, *Journal of Environmental Management*, 2022. )

## 2.2. Primena koncepta Life Cycle Assessment u projektovanju mostova

Life Cycle Assessment (LCA) predstavlja procenu uticaja proizvoda ili procesa na životnu sredinu tokom celog životnog veka, od kolenke pa do groba. U obzir se uzimaju svi aspekti koji se odnose na prirodno okruženje, zdravlje ljudi i iskorišćavanje resursa. Prve studije uticaja na životnu sredinu pojavile su se još 60-tih i 70-tih godina prošloga veka. Svetska organizacija za standard (ISO) 1997. godine donosi set standarda i procedura koje uređuju metodologiju rada LCA. Šematski metodologija rada LCA je prikazana u nastavku teksta na Slici 3. Uporedo sa ISO standardima, Evropska komisija za standardizaciju (CEN) objavljuje standarde i procedure na ovu temu. [6]



**Slika 3. Šema funkcionisanja LCA koncepta [6]**

Izvor: (Life cycle assessment in the construction sector: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. )

LCA koncept je široko rasprostranjen i često se koristi za procenu različitih proizvoda i procesa na životnu sredinu. Kada govorimo o građevinskim konstrukcijama ili objektima, postoji određena razlika u odnosu na uglavnom kontrolisane procese. Pre svega, građevinske konstrukcije i objekti se ističu dužim životnim (upotrebnim) vekom u trajanju od 50 ili 100 godina. Zbog velikog broja različitih elemenata i opreme koji mogu prestati sa funkcijom nekom trenutku, teško je u potpunosti precizno odrediti uticaj na životnu sredinu. [6]

Do sada je na primerima mnogih stambenih i rezidencijalnih zgrada primenjen koncept LCA u proceni uticaja na životnu sredinu. Većina ovih studija, posebno one rane su se odnosile na procenu količine energije, odnosno kumulativne potražnje za energijom tokom različitih faza životnog (upotrebnog) veka. Nisu sve studije istog nivoa detaljnosti, što direktno određuje vreme potrebno za izradu iste. Shodno tome može se napraviti razlika između detaljnih i preglednih LCA studija. Uprkos nekim ograničenjima LCA tehnike, ona je i dalje moćno i naučno zasnovano sredstvo za procenu uticaja na životnu sredinu. [6]

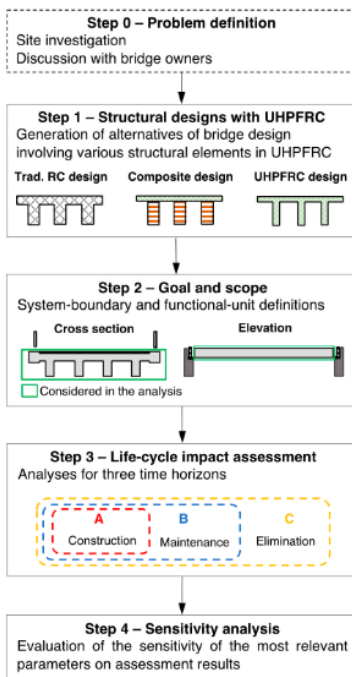
U nastavku ovoga poglavlja predstavljani su primeri primene LCA koncepta u slučaju mostova. Čokić i ostali su se u svom radu [10] bavili analizom utroška energije i emisije CO<sub>2</sub> različitim projektnim rešenjima i načinima izvođenja konstrukcije mosta. Za istu prepreku razmatrana su tri različita koncepta mosta: niz prostih greda, kontinualni nosač i ramovski sistem. Pomenuta analiza se odnosila samo na fazu projektovanja i izvođenja. Faza eksploatacije i eliminacije nije uzeta u obzir. Pokazano je da potrebne količine betona za svaku od tri konstrukcije su slične dok je utrošak armature najveći za slučaj ramovskog sistema. Količina utroška energije po toni proizvedenog betona je višestruko manja nego u slučaju armature i asfalta. Energetski utrošak mehanizacije je prilično mali u poređenju sa utroškom za beton, čelik i asfalt. Razlike u količine vezane energije po kubnom metru betona se između varijantnih rešenja je svega nekoliko procenata. Najmanja količina vezane energije po m<sup>3</sup> betona jeste za niz prostih greda, ali to ne rezultuje i najmanjom ukupnom količinom vezane energije za niz prostih greda, nego za kontinualni nosač, što je posledica različite količine utrošenog materijala, u zavisnosti od konstrukcije. Najveća emisija CO<sub>2</sub> je vezana za beton, i samim tim ona konstrukcija koja ima potrebu za najmanju količinom betona ima i najmanju ukupnu emisiju CO<sub>2</sub>, što odgovara rešenju sa nizom prostih greda.

Bertola i ostali su u svom radu [3] su pokazali uticaj primene betona visokih čvrstoća UHPFRC u izgradnji mosta na životnu sredinu. Za potrebe eksperimenta, konceptom LCA su razmatrana tri varijantna rešenja za istu prepreku: most sa glavnim nosačima od armiranog betona, spregnut most gde su nosači od drveta spregnuti sa armirano betonskom kolovoznom pločom i most koji je izveden od UHPFRC betona. Razmatran je ceo proces u kome se most može naći, od faze izvođenja, preko faze upotrebljivosti (faze odražavanja) do faze eliminacije (rušenja usled isteka životnog veka). Radi poređenja za sva tri varijantna rešenja određivane su vrednosti potencijala globalnog zagrevanja (Global Warming Potential – GWP) izražene u kilogramima od CO<sub>2</sub> i ekološkog nedostatka izraženog preko vrednosti UBP faktora. Gledajući vrednost GWP-a sva tri varijantna rešenja imaju isti uticaj na životnu sredinu, pri čemu rešenje mosta izgrađenog od UHPFRC betona ima najveći uticaj. Prema UBP faktoru, najveći uticaj na životnu sredinu ima prvo rešenje, most od armiranog betona. Uzimajući u obzir poslednje dve faze eksploatacije i eliminacije koje imaju dosta manji značaj od faze izvođenja, analiza je pokazala da najveći uticaj na životnu sredinu ima prvo

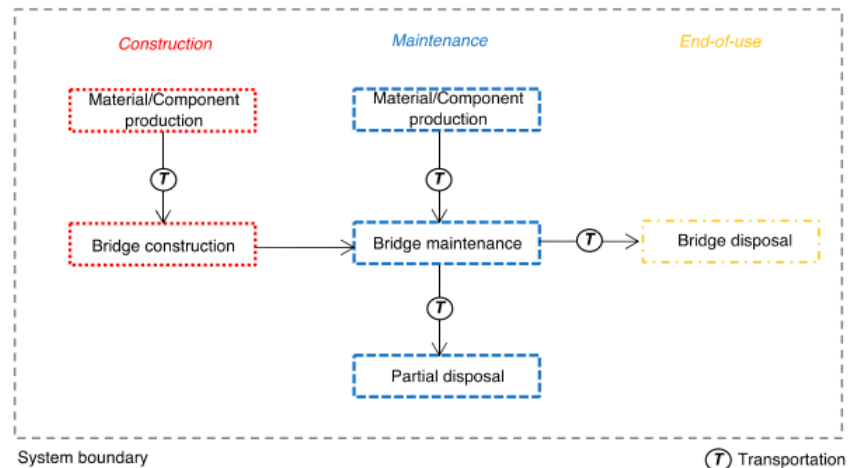


rešenje, most izveden od armiranog betona. Razlog tome je u činjenici da ostala dva rešenja imaju duži životni (upotrebn) vek. LCA koncept primenjen u ovoj studiji je prikazan na Slici 4. u nastavku teksta.

a)



b)



**Slika 4. a) Šematski prikaz metodologije koncepta LCA, b) Faze procesa mosta [3]**  
Izvor: (Assessment of the environmental impacts of bridge designs involving UHPFRC, Sustainability, 2021. )

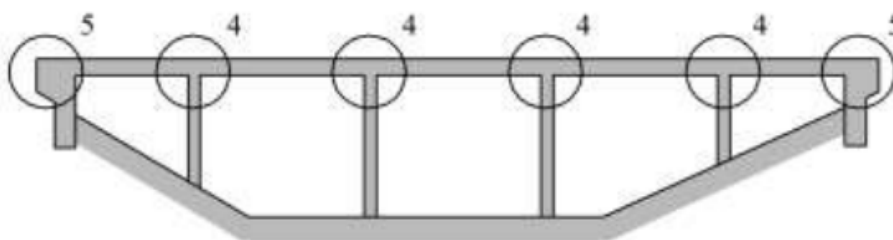
### 3. STUDIJA SLUČAJA – PRIMENA KONCEPTA INTEGRALNIH MOSTOVA

Pregled literature u prethodnom poglavlju doveo je do zaključka da uzimanje u obzir životne sredine prilikom projektovanja i izvođenja može dovesti do umanjavanja negativnih efekata. U okviru ovog poglavlja istražiće se mogućnost primene integralnih mostova u kontekstu zaštite životne sredine u odnosu na klasične mostove na ležištima. S tim u vezi, prvi deo ovoga poglavlja će objasniti koncept integralnih mostova i prikazati osnovne osobine ovakvog rešenja mostovskih konstrukcija. Drugi deo obuhvata studiju slučaja u kojoj se detaljno razmatra mogućnost upotrebe integralnih mostova u cilju smanjenja navedenih negativnih efekata.

#### 3.1. Opšte o integralnim mostovima

Integralni mostovi predstavljaju betonske ili spregnute mostovske konstrukcije koje su izvedene bez dilatacionih sprava i ležišta. Kada govorimo o tehnologiji izvođenja, razlikujemo monolitni sistem koji je rezervisan za betonske mostove i kombinaciju montažno-monolitnog sistema koji se može koristiti i kod betonskih i kod spregnutih mostova. Montažno-monolitni sistem je poslednjih godina čest izbor za rešenje mostovskih konstrukcija, a sastoji se u tome da gotove armirane betonske (AB), prethodno napregnute (PNB) ili čelične nosače postavljamo na izvedene stubove, gde kasnije prilikom betoniranja kolovozne ploče, vršimo monolitizaciju na mestu spoja nosača i stubova. Na ovaj način formira se okvirni ili ramovski sistem koji je statički neodređen nosač. Razlikujemo sledeće statičke sisteme integralnih mostova: [11]

1. Zatvoreni okviri (AB raspona 2-8 metara),
2. Otvoreni okviri (AB raspona do 8-25 metara, PNB raspona 25-60 metara),
3. Otvoreni okviri sa kosim stubovima (AB raspona 20-30 metara, PNB raspona 30-70 metara),
4. Integralni lučni okviri (AB raspona 35-50 metara, PNB raspona 35-70 metara),
5. Okvire sa dva, tri ili više raspona (AB raspona 12-20 metara, PNB raspona 20-40 metara).



**Slika 5.** Šema betonskog integralnog mosta [12]

Izvor: (Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, deo 9.2. Noseći sistemi mostova)

U dosadašnjoj građevinskoj praksi najčešće se upotrebljavaju za propuste zatvoreni okvirni sistemi, raspona do 8 m. Za mostove primenjuju se okviri sa jednim rasponom 5-40 m i okviri sa dva, tri ili više raspona ukupne dužine do 80 m. Treba napomenuti da u slučaju postojanja više otvora od četiri, tada se koriste semi-integralni mostovi, koji se od integralnih razlikuju postojanjem dilatacija i ležišta samo na krajnjim stubovima mosta (oporcima). U daljem tekstu, akcentat je stavljen isključivo na integralne mostove. [11]

Poprečni preseki integralnih mostova mogu biti: puna ploča bez/sa konzolama, pločasti nosač, trapezni pločasti nosač, rebrasta ploča, montažni T nosači od betona spregnuti sa monolitnom AB pločom, čelični nosači spregnuti sa monolitnom AB pločom i razno. Krajnji i srednji stubovi mosta se izvode u većini slučajeva kao armirano betonski elementi i to u vidu zidnih platana, stubova ili portala (ramova). Fundiranje integralnih mostova može se obezbediti plitkim fundiranjem u vidu trakastog temelja, fundiranjem na šipovima (u jednom ili dva reda) izvedenim od betona i čelika, preko masivne ležišne (naglavne) grede i slično. [11], [12]



**Slika 6.** Izgled jedno betonskog integralnog mosta

Izvor: (The Concrete Society)

Razvoj i nastanak integralnih mostova se vezuje za Sjedinjenje Američke Države 30-tih godina prošloga veka. Značajnija primena mostova bez dilatacija i ležišta počela je sredinom prošloga veka. Do sada je izvedeno i projektovano više od 13000 integralnih i semi-integralnih mostova u ovoj zemlji. Evropsko iskustvo sa integralni mostovima nije toliko izraženo kao u slučaju Sjedinjenih Američkih Država, ali je poslednjih godina primećen trend porasta upotrebe ovakvog rešenja. [13] Povod za nastanak integralnih mostova je ideja da se eliminišu slaba i osetljiva mesta u konstrukciji poput dilatacija na krajevima raspona. Postojanje svake dilatacije predstavlja osetljivo mesto gde uz prisustvo vode, prljavštine i drugih štetnih agensa dolazi do razvoja deteriozacionih mehanizama koji prouzrokuju oštećenja elemenata koja narušavaju upotrebljivost i nosivost konstrukcije. Izostavljanje dilatacija podiže i kvalitet vožnje preko mosta. [14]

Pregled relevantne literature pokazao je osnovne prednosti i nedostatke ovakvog rešenja konstrukcije mosta koji su pobrojani u nastavku teksta. To će biti od koristi u narednom delu ovog poglavlja koja je posvećena studiji slučaja.

Pozitivne osobine integralnih mostova se ogledaju: [9], [13]–[17]

1. Izostanak dilatacionih sprava koje povezuju superstrukturu mosta sa ostatkom puta pozitivno utiče na više načina. Izostavljanjem dilatacija eliminišu se slaba mesta u konstrukciji što direktno produžava upotrebnii vek konstrukcije i smanjuje obim i cenu sanacionih intervencija. Sprečava se prodor vode, soli protiv mraza i drugih štetnih agensa u superstrukturu mosta. Veći kvalitet vožnje se postiže bez prisustva ležišta i eliminiše se njihovo oštećenje usled prelaska teških vozila (vangabaritni transport). Takođe, smanjuje se i cena koštanja mosta,
2. Izostanak ležišta koja služe za oslanjanje nosača superstrukture pozitivno utiče na cenu koštanja mosta, s obzirom da se kao i za dilatacione sprave, radi o opremi mosta koja nije naročito jeftina, posebno za mostove većih raspona,
3. Izgradnja mosta je jednostavna i brža sa manjim troškovima,
4. Povećana seizmička otpornost u poređenju sa običnim mostovima (mostovi na ležištima). Razlog za ovo leži u činjenici da je spoj između superstrukture i substrukture mosta monolitizovan, što omogućava njihovo zajedničko pomeranje,
5. Pogodni su za izradu propusta koji imaju manje raspone zbog ekonomičnosti i bržeg izvođenja,
6. Ovakvo rešenje se uspešno može koristiti za sanaciju postojećih mostova usled raznih oštećenja ili isteka upotrebnoeg veka,
7. Jednostavan i brz statički proračun konstrukcije mosta,
8. Bolja preraspodela opterećenja što direktno utiče na smanjenje potrebnih dimenzije elemenata konstrukcije uz ostvarivanje većih raspona.

Pored mnogobrojnih pozitivnih osobina, integralni mostovi imaju određene nedostatke kao što su: [9], [13]–[17]

1. Pomeranja mosta usled temperature pravi prazninu u nasipu iza konstrukcije mosta što može negativno uticati na kvalitet i bezbednost saobraćaja. S tim u vezi kod integralnih mostova su obavezne prelazne ploče,
2. Kako se radi o ramovskim konstrukcijama koje su statički neodređene javljaju se određeni sekundarni efekti poput skupljanja, tečenja, sleganja oslonaca i slično,
3. Limitirani su u slučaju kosih mostova. Preporuka je da se koriste za uglove do 30 stepeni,
4. Usled cikličnih opterećenja kao što su temperatura i seizmika dolazi do translacije i rotacije ivičnih stubova (oporaca) mosta čime se uticaj tla značajno povećava u odnosu na slučaj kada pomeranja nema,
5. Poželjno je imati tlo dobre nosivosti i kontrolisati pomeranja usled temperature što se obezbeđuje u fazi projektovanja te shodno tome usvajati raspone. U slučaju prevelikog uticaja temperature prevashodno na oporce, poželjno je preći na rešenje semi-integralnog mosta.

### 3.2. Primena integralnih mostova u zaštiti životne sredine

Pregledom literature u drugom poglavlju uočeno je da mostovske konstrukcije imaju uticaj na životnu sredinu tokom čitavog svog upotrebnoeg veka. Shodno tome, sama studija će biti podeljena na tri osnovna vremenska perioda ili faze kroz koje su definisane u prethodnom poglavlju ovoga rada: [3]

1. Faza projektovanja i izvođenja konstrukcije mosta,
2. Faza eksploatacije, odnosno upotrebe mosta, što se često naziva i faza održavanja,
3. Faza eliminacije, što bi podrazumevalo kraj upotrebe mosta.

Da bi se iskazao određeni napredak u toku studije će se koristiti poređenje integralnih mostova sa mostovima na ležištima.

#### 1. Faza projektovanja i izvođenja konstrukcije mosta:

Izborom integralnog mosta u odnosu na klasične mostove, imamo potrebu za manjim dimenzijama elemenata konstrukcije što se direktno oslikava na manju količinu upotrebljenih materijala čija proizvodnja neminovno zagađuje životnu sredinu kroz emisiju CO<sub>2</sub>. Takođe, zbog ramovskog dejstva omogućena je preraspodela uticaja sa kojom se ostvaruju veći rasponi konstrukcije. Na ovaj način se smanjuje broj srednjih stubova, čime se smanjuje obim betonskih i zemljanih radova. Stvara se mogućnost da se srednji stubovi ne stavljaju u korita potoka, reka i jezera u slučaju vodenih prepreka, čime se ne ugrožava život biljnih i životinjskih kultura i biodiverzitet u celosti. Korišćenjem alternativnih i recikliranih materijala, moguće je ostvariti i veći doprinos.

Pregledom literature uočeno je da se montažno-monolitan sistem uspešno može koristiti kod integralnih mostova. Gotovi nosači superstrukture koji su dovezeni iz pogona se montiraju na stubove mosta. Ovim se značajno smanjuje količina betonskih radova na gradilištu, čime se eliminiše dobar deo građevinskog otpada koja nastaje pri tom procesu i smanjuje rizik od zagađenja prirodnih resursa eventualnim havarijama. Integralni mostovi se često mogu izvoditi sa kratkim oporcima koji su fundirani na šipovima, čime se smanjuje količina nasutog materijala iza oporca. Nasuti materijal u većini slučaja je pesak ili šljunak dobijen iz rečnog korita. Istraživanja su pokazala da se u nasip u određenom procentu može koristiti i reciklirana guma koja ima pozitivan uticaj na pomeranja i statičke uticaje u šipovima, jer predstavlja absorber za opterećenja. Ovim se dodatno pozitivno utiče na životnu sredinu jer se koriste reciklirani materijali, smanjuje eksploatacija prirodnih materijala (peska i šljunka) i čuva rečno korito.

## 2. Faza eksploatacije (upotrebe) mosta:

Integralni mostovi imaju izrazito pozitivnu osobinu koja se ogleda u dužem životnom (upotrebnom) veku. Ovo predstavlja iskorak u odnosu na mostove na ležištima. Samim tim ne postoji potreba za čestim održavanjem i sanacionim radovima, čime se smanjuje količina potrebnog materijala za te radove.

## 3. Faza eliminacije:

Ako bi se razmatralo rušenje mosta usled isteka upotrebno veka, integralni mostovi nisu u prednosti zbog monolitizacije spoja koji eliminiše mogućnost demontaže nosača, za razliku od klasičnih mostova čiji nosači na ležištima nisu spojeni sa krajnjim i srednjim stubovima. Iskustveno, može se izvesti zaključak da je razlika u dužini upotrebno veka koja je na strani integralnih mostova, dovoljna da se nadomesti ovaj nedostatak.

## 4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na osnovu pregleda literature, dosadašnjih istraživanja i studije slučaja koja je sprovedena u okviru ovoga rada može se zaključiti sledeće:

- Životna sredina postaje važan parametar u svim sferama čovečanstva. 21. vek će nesumnjivo biti odlučujući u zaštiti prirodnih dobara i davanju mogućnosti da ih i naredne generacije koriste. Ljudske navike i aktivnosti će morati da se prilagode ekološkim aspektima i održivom razvoju,
- Prilog prethodnoj konstataciji ide u tome da u sve većem broju zemalja postoje propisi, zakoni i podzakonski akti koji uređuju temu životne sredine. Aktivno se radi na podizanju svesti o očuvanju, zaštiti i unapređenju životne sredine,
- Građevinske konstrukcije među koje spadaju i mostovi imaju određene negativne efekte na životnu sredinu. To se ogleda u proizvodnji materijala koji se koriste prilikom izgradnje mosta. Takođe postoje i negativni efekti tokom upotrebno veka ili perioda održavanja mosta na okolinu u kojoj se nalazi. I dalje u velikom broju slučajeva prilikom izgradnje objekata i konstrukcija se ne uzimaju parametri životne sredine. Ne postoji sistem upravljanja mostova, tunela i puteva u kontekstu njihovog uticaja na životnu sredinu,
- Primenom koncepta LCA pokazano je da je moguće smanjiti negativan uticaj, adekvatnim projektnim rešenjem i tehnologijom izvođenja koja minimizira količinu građevinskog otpada. Koncept ocene životnog ciklusa se veoma efikasno može primeniti kroz različite faze projekta. Postoje mnogi primeri koji pokazuju efikasnost metode, ne samo u smanjenju zagađenja i zaštiti životne sredine, nego i u smanjenju cene koštanja projekta i produžetka upotrebno veka bez prevelikog obima sanacionih intervencija,
- Integralni mostovi zahvaljujući svojim pozitivnim, pre svega konstruktivnim osobinama imaju manji uticaj na životnu sredinu poredeći sa klasičnim mostovima na ležištima, gledajući sve faze kroz koji prolazi most. Manje dimenzije elemenata, veća upotreba ekološki prihvatljivih materijala, eliminacija skupe opreme i osetljivih mesta sa produžetkom životnog veka, predstavlja veliku motivaciju za dalje istraživanje sa ciljem što većeg minimiziranja negativnih efekata koji jedan most pravi na životnu sredinu.

Zagađenje životne sredine u građevinskom sektoru se ne može izbeći, ali se može kontrolisati i značajno smanjiti. Pored istraživanja na temu integralnih mostova i njegove upotrebe, preporuka za dalji rad je svakako formiranje metodologije koja će za cilj imati povezivanje konstrukcije i životne sredine. Autori ovoga rada preporučuju razvoj metodologije čiji osnovni principi bi bili:

1. Korišćenje parametara životne sredine u procesu projektovanja. Izbor konstrukcijskog sistema koji će zahtevati manju količinu potrebnog materijala za izgradnju, ali uz zadovoljenje svih potrebnih konstruktivnih zahteva. Izbor materijala koji su više ekološki prihvatljivi, odnosno korišćenje alternativnih i recikliranih materijala. Korišćenje koncepta LCA u izboru između više varijantnih rešenja,
2. Tokom izvođenja aktivno koristiti mere zaštite zagađenja životne sredine i na taj način preduprediti rizike od eventualnih ekoloških havarija. Posvetiti se efikasnijem izboru građevinske mehanizacije,
3. U toku eksploatacije razviti sisteme za upravljanje mostovima u kontekstu eliminacije uticaja na životnu sredinu. Donositi uredbe kojima se kontroliše transport opasnih materija preko mostova.

Potrebno je da ulazni parametar u budućnosti pored opterećenja, linije terena, finansija i slično, bude i životna sredina. Tim malim koracima danas moguće je učiniti mnogo za generacije koje dolaze sutra.

## Zahvalnica

Autori ovoga rada se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci (projekat 200092).

## Literatura

- [1] Službeni glasnik Republike Srbije, "Zakon o zaštiti životne sredine," 2018.
- [2] A. Radović, H. Hafez, N. Tošić, S. Marinković, and A. de la Fuente, "ECO2 framework assessment of limestone powder concrete slabs and columns," *J. Build. Eng.*, vol. 57, no. June, 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104928.
- [3] N. Bertola, C. Küpfer, E. Kälin, and E. Brühwiler, "Assessment of the environmental impacts of bridge designs involving UHPFRC," *Sustain.*, vol. 13, no. 22, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/su132212399.
- [4] Европски комитет за стандардизацију, "СТАНДАРД SRPS EN 1990 Еврокод — Основе пројектовања," vol. 2012, 2012.
- [5] Q. Li, R. Qian, J. Gao, and J. Huang, "Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview," *J. Environ. Manage.*, vol. 319, no. January, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115684.
- [6] M. Buyle, J. Braet, and A. Audenaert, "Life cycle assessment in the construction sector: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 379–388, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.001.
- [7] Environment Agency, "J11 Scoping the environmental impacts of bridges and culverts," *Environmental*, no. May, pp. 1–18, 2002.
- [8] G. of N. and Labrador, "Chapter 4 : Environmental Guidelines for Bridges," in *Water Resources Management Division Water Rights, Investigations, and Modelling Section*, 2018.
- [9] A. Bamnali and P. J. Salunke, "INTEGRAL ABUTMENT BRIDGE- A Review and Comparison of the Integral Bridge and Conventional Bridge," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1076–1081, 2018.
- [10] M. Cokic, P. Petronijevic, M. Todorovic, and N. Pecic, "Analysis of the embodied energy and the CO2 emission in construction process of a bridge structure from the aspect of sustainability," *Gradjevinski Mater. i Konstr.*, vol. 58, no. 2, pp. 3–20, 2015, doi: 10.5937/grmk1502003c.
- [11] JP Putevi Srbije, "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji - KONCIPIRANJE, PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE MOSTOVA," 2012,
- [12] JP Putevi Srbije, "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji - NOSEĆI (STATIČKI) SISTEMI MOSTOVA," 2012,
- [13] H. White, "Integral Abutment Bridges: Comparison of Current Practice Between European Countries and the United States of America, Report FHWA/NY/SR-07/152," *Transp. Res. Dev. Bur.*, p. 30, 2007.
- [14] K. P. R and G. Raveendran, "Seismic Analysis of Integral Bridges," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 8, no. 11, pp. 35–41, 2017.
- [15] S. Mitrović and S. Mašović, "Comparative analysis of concrete integral overpass with variable soil characteristic," *Tehnika*, vol. 77, no. 1, pp. 27–34, 2022, doi: 10.5937/tehnika2201027m.
- [16] B. E. Philip, "IAB : An Exploratory Study on Integral Abutment Bridges," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 5, no. 08, pp. 312–316, 2017.
- [17] R. M. Barker, D. Ph, J. M. Duncan, and T. C. E. Via, "The behavior of integral abutment bridge," *Environ. Eng.*, 1999.

## UTICAJ PROSTORNE I VREMENSKE OPTIMIZACIJE RASPOREDA ZEMLJANIH MASA NA STANJE ŽIVOTNE SREDINE

**Nikola Milovanović<sup>1</sup>, mast. inž. građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)*

**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)*

**Doc. dr Vladan Ilić, mast. inž. građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)*

**Filip Trpčevski, mast. inž. građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [ftprcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftprcevski@grf.bg.ac.rs)*

**Stefan Vranjevac, mast. inž. građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)*

**Miloš Lukić, mast. inž. građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)*

**Rezime:** Jedna od najvažnijih aktivnosti prilikom izgradnje auto-puteva ili velikih površinskih objekata jesu zemljani radovi, odnosno proces repetitivnih ciklusa iskopavanja, transporta i nasipanja. Ova aktivnost je izrazito finansijski zahtevna i ima veliki efekat na životnu sredinu. Efikasan plan alokacije zemljanih masa značajno smanjuje vreme i ukupne troškove, kao i emisiju neželjenih gasova u atmosferu. U osnovi optimizacije zemljanih radova stoji transportna metoda kojom se minimizira ukupna dužina transporta materijala na relaciji usek-nasip. Ovo rešenje najčešće podrazumeva deljenje radnog prostora u jedinice formata ćelija. Sa druge strane, vremenska komponenta neophodna za realistično rešenje transportnog problema najčešće nije poznata unapred. Pod vremenskom komponentom podrazumeva se realističan redosled pristupanja radovima u pojedinim ćelijama, bilo da se radi o redosledu iskopa ili o redosledu nasipanja. Pored toga, važno je uzeti u obzir i kvalitet materijala, tehničke specifikacije, raspoloživu mehanizaciju, kao i položaj frontova kojima će se pristupiti pojedinim grupama ćelija. U okviru ovog rada dat je pregled postojećih metoda za optimizaciju zemljanih radova, kao i inovativan dinamički pristup zasnovan na laminarno organizovanim ćelijama.

**Ključne reči:** planiranje, putogradnja, zemljani radovi, optimizacija.

## EARTH MASS ALLOCATION OPTIMIZATION AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENT

**Nikola Milovanović, M.Sc. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)*

**Accos. Prof. Dejan Gavran, Ph.D. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)*

**Asst. Prof. Sanja Fric, Ph.D. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)*

**Asst. Prof. Vladan Ilić, Ph.D. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)*

**Filip Trpčevski, M.Sc. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [ftprcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftprcevski@grf.bg.ac.rs)*

**Stefan Vranjevac, M.Sc. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)*

**Miloš Lukić, M.Sc. C.E.**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)*

**Abstract:** This paper gives an overview of the importance of earthworks in highway construction and highlights the financial and environmental impact of this activity. The earthworks process involves repetitive cycles of excavation, transport and backfilling, and an effective earth mass allocation plan can significantly reduce project cost, time, and CO<sub>2</sub> emissions. The key to earthworks optimization is a transport method that minimizes the total length of material transport, which is typically achieved by dividing the workspace into grid-like cells. However, the time component required for a realistic solution to the transportation problem is often unknown, including the sequence of work in individual cells. This paper provides an overview of existing optimization algorithms and introduces a dynamic approach that takes into account the quality of materials, technical specifications, and available machinery.

**Keywords:** planning, road construction, earthworks, optimization.

<sup>1</sup> Nikola Milovanović – [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)

## 1. UVOD

Čest slučaj u putogradnji, ali i u mnogim drugim privrednim oblastima jeste da ušteda novca i očuvanje životne sredine predstavljaju sučeljene optimizacione probleme. Potreba za smanjenjem troškova izgradnje rezultuje većim troškovima održavanja ili upotrebom jednostavnije tehnologije, što ima za posledicu negativan uticaj na životnu sredinu. Sa druge strane, kriterijumi vezani za očuvanje životne sredine uglavnom značajno podižu cenu izgradnje, kako infrastrukturnih tako i drugih projekata. Raspored zemljanih masa jedan je od optimizacionih problema čijim se rešavanjem pozitivno utiče i na cenu projekta i na životnu sredinu.

Smanjenjem ukupne transportne dužine zemljanog materijala iz useka u nasip, kao i iz useka na deponiju, odnosno sa pozajmišta materijala u nasip smanjuje se vreme trajanja radova, cena radova, kao i emisija CO<sub>2</sub> i ostalih neželjenih gasova u atmosferu kroz smanjenu potrošnju goriva. Prema savremenim procenama, sagorevanjem jednog litra dizel goriva u atmosferu se oslobađa 2.7 kilograma CO<sub>2</sub> [1]. Društveni trošak emisije CO<sub>2</sub> prema procenama Američke federativne uprave iznosi 51 dolar po toni, dok novije studije [2] procenjuju trošak od čak 185 dolara po toni.

Ukupnu cenu zemljanih radova teško je proceniti u opštem slučaju, ona kod putnih objekata primarno zavisi od računске brzine, odnosno graničnih geometrijskih elemenata u situacionom planu i podužnom profilu, i od tipa odnosno morfologije terena. Takođe bitno zavisi od broja mostova, vijadukta i tunela na trasi, ali i od usklađenosti količina zemljanih masa u useku i nasipu i od kvaliteta masa u useku. Iako je postignuta dobra usklađenost količina, čest slučaj u praksi je da materijal iz useka ne može da se koristi za nasipanje jer ne zadovoljava zahtevani kvalitet.

Bez obzira na varijabilnost od projekta do projekta, cena zemljanih radova kod putnih objekata uvek čini značajan deo ukupne cene projekta, te postoji stalna potreba za uštedom. Pored mogućnosti uštede novca, optimalan plan izvođenja zemljanih radova takođe ima pozitivan uticaj na očuvanje životne sredine.

## 2. METODE OPTIMIZACIJE

Postoji veliki broj optimizacionih metoda i algoritama koji se mogu primeniti sa ciljem rešavanja rasporeda zemljanih masa. Sam problem takođe može biti modeliran sa različitim nivoima kompleksnosti. Rešenje problema rasporeda zemljanih masa koje je poznato decenijama i najčešće je u praksi primenjivano u literaturi se često naziva *transportna metoda* i suštinski se oslanja na rešavanje skupa linearnih jednačina linearnim programiranjem, odnosno *SIMPLEX* metodom. Ovaj način formulacije rešava samo prostorni aspekt problema, i ne bavi se dinamikom izvođenja radova. Dinamika izvođenja radova u ovom slučaju primarno se odnosi na putanju mehanizacije koja vrši iskop (bagera ili dozera). Navedena putanja može se posmatrati kao poseban optimizacioni problem i rešavati nezavisno. Ovaj pristup rešavanju problema rasporeda zemljanih masa međutim ne dozvoljava dinamičku funkciju cene, što je u praksi često potrebno. Cena transporta zemljanog materijala ne zavisi samo od vazdušnog rastojanja tačke utovara i istovara, već zavisi i od morfologije samog terena koji na tom putu treba preći. Sa druge strane, morfologija terena zavisi od faze u kojoj se projekat nalazi, odnosno od toga koji deo zemljanih radova je do tog trenutka izvršen. Zbog svega navedenog, nameće se potreba za ujedinjenjem prostornog i vremenskog dela optimizacionog problema koji dozvoljava primenu dinamičke funkcije cene. U nastavku ovog rada, navedeni problem formulisan je kao genetski lanac, odnosno niz instrukcija, i rešen je primenom genetskog algoritma.

### 2.1 Čelijski proračun kubatura

Savremeni način projektovanja objekata putne i železničke infrastrukture najčešće podrazumeva izradu 3D modela, kako objekta tako i terena. Kad su putevi u pitanju, zapremina zemljanog materijala koji treba iskopati, transportovati i nasuti ograničena je površinom planuma, kosinama nasipa ili useka, i postojećom površinom terena. U softverskom paketu *GCM++* [3], sve navedene površine predstavljaju se mrežom trouglića nepravilnog oblika (*TIN* – eng. *triangulated irregular network*). Ako se navedene mreže trouglića još ograniče i nizom vertikalnih, međusobno upravnih površi na jednakom rastojanju, u njihovom preseku dobija se čelijski proračun kubatura. On govori kolika je zapreminska razlika postojećeg i projektovanog stanja terena u svakoj pojedinačnoj ćeliji, odnosno koliko materijala je potrebno dovesti u tu ćeliju u slučaju nasipa, tj. iskopati iz te ćelije u slučaju useka.

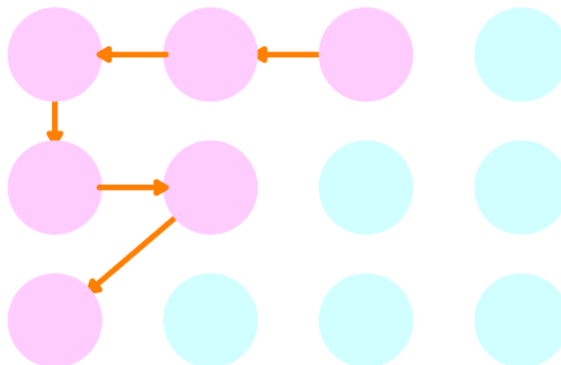
## 2.2. SIMPLEX metoda

Rešavanje prostornog dela problema optimizacije rasporeda zemljanih radova primenom SIMPLEX metode podrazumeva rešavanje sistema linearnih jednačina sa linearnim ograničenjima. Formulacija problema oslanja se na ćelijski proračun kubatura. Ako u proračunu kubatura postoji  $N$  ćelija,  $I$  ćelija useka i  $J$  ćelija nasipa, gde važi  $I + J = N$ , potrebno je rešiti  $M$  nepoznatih, gde važi da je  $M = I \times J$ . Vrednost nepoznate  $x_{ij}$  odnosi se na količinu zemljanog materijala koju treba transportovati iz useka  $i$  na nasip  $j$ . Ograničenja koja važe su da suma  $x_{ij}$  za svako  $j \in (0, J)$  mora biti jednaka  $U_i$  gde je  $U_i$  količina zemljanog materijala u useku  $i$ , kao i da suma  $x_{ij}$  za svako  $i \in (0, I)$  mora biti jednaka  $N_j$  gde je  $N_j$  potrebna količina zemljanog materijala na nasipu  $j$ . Navedena ograničenja suštinski znače da se iz svakog useka, kao i na svaki nasip mora transportovati upravo ona količina zemljanog materijala dobijena ćelijskim proračunom kubatura.

Na ovaj način dobija se globalno optimalno rešenje, bez primene heuristike, te možemo biti sigurni da je to najbolje rešenje koje postoji. Najveća mana ove metode jeste nemogućnost implementacije bilo kakve dinamike izvođenja radova, pa se rešenja evaluiraju iskučivo na osnovu transportne dužine. Ovakav način evaluacije nije realan, i nema čvrstu korelaciju za stvarnim troškovima izvođenja radova.

## 2.3. Najkraći put kroz graf

Kao dopuna rešenja dobijenog SIMPLEX metodom može se koristiti metod pretraživanja grafa. Rešavanje vremenskog dela optimizacionog problema, odnosno redosleda ulaska u ćelije useka podrazumeva pronalazak najkraćeg puta kroz sve čvorove grafa. Najpre je potrebno naći podgraf koji čine samo ćelije useka. Opravdano je pretpostaviti vezu svakog čvora grafa samo sa svojih 8 najbližih suseda.



Slika 1. Pretraživanje najkraćeg puta kroz graf

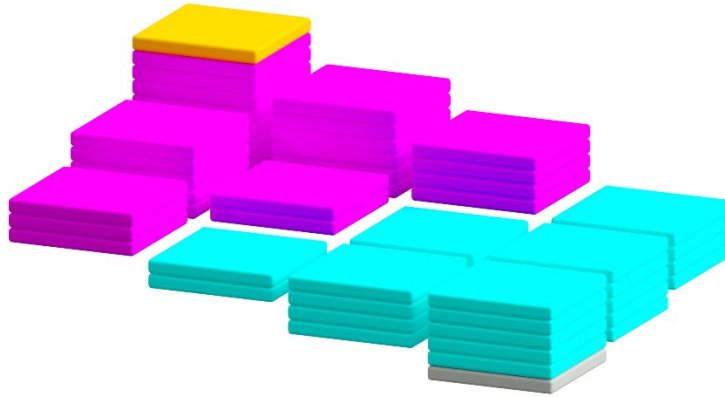
Najčešće korišćen metod za određivanje najkraćeg puta između dva čvora u grafu jeste *Dijkstra* algoritam [4]. *Dijkstra* algoritam je „pohlepni“ algoritam koji se zasniva na pamćenju vrednosti  $d(v)$ , odnosno trenutnog najkraćeg puta za svaki čvor  $v$ . Za početni čvor ta vrednost najpre iznosi 0, tj.  $d(s) = 0$ , a za ostale čvorove se vrednost inicijalizuje kao beskonačna. Pri prestanku rada algoritma,  $d(v)$  dobija vrednost najkraćeg puta od čvora  $s$  do čvora  $v$ , ili ostaje beskonačna u slučaju da takav put ne postoji. Koncept rada *Dijkstra* algoritma naziva se proces oslobađanja ivica, on podrazumeva da ako postoji veza od čvora  $u$  ka čvoru  $v$ , onda je  $d(s, v)$  jednaka zbiru  $d(s, u)$  i minimalne distance između čvorova  $u$  i  $v$ .

## 3. PRINCIP LAMELA

Kako bi se problem optimizacije rasporeda zemljanih masa jednim algoritmom rešio u celini, najpre je potrebno napraviti još jednu apstrakciju, ona podrazumeva podelu ćelija iz proračuna kubatura na lamele jednake zapremine. Najpre je potrebno usvojiti zapreminu jedne lamele. Nakon toga, svakoj ćeliji iz proračuna kubatura dodeljuje se broj lamela jednak količniku zapremine zemljane mase u navedenoj ćeliji i usvojene zapremine jedne lamele. Nakon podele na lamele problem se može prikazati kao na slici 2.



Ljubičastom bojom na slici prikazane su lamele koje odgovaraju ćelijama useka, dok su plavom bojom prikazane lamele koje odgovaraju ćelijama nasipa. Žutom i sivom bojom prikazan je jedan od mogućih 36 parova lamele useka i lamele nasipa. Iz useka uvek se zahvata najviša lamela, dok se uvek prvo popunjava najniža lamela u nasipu. Važno je poštovati ovakav raspored u slučaju kada evaluacija rešenja uzima u obzir i kvalitet materijala, jer u okviru jedne ćelije može postojati više lamela sa različitim kvalitetom materijala.



**Slika 2.** Količine zemljanog materijala u useku i nasipu predstavljene kao lamele

#### 4. GENETSKI ALGORITAM

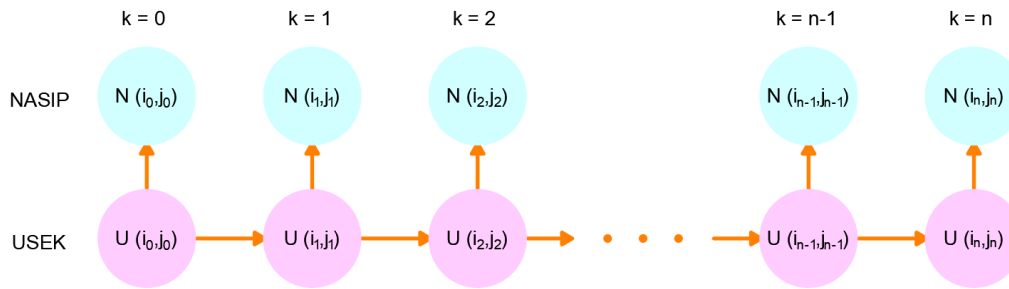
Genetski algoritam (GA), često se naziva i evolutivni algoritam (EA) i spada u globalne optimizacione metode. Metode globalne optimizacije se zasnivaju na ideji da se, „imitiranjem prirode“, pokuša sa pronalaženjem optimuma složenih funkcija više promenljivih, koje predstavljaju matematičku apstrakciju složenog inženjerskog problema [5]. Pored genetskih algoritama globalne optimizacione metode koje se takođe često koriste u praksi jesu *Particle swarm optimization (PSO)*, *Ant colony optimization (ACO)*, *Simulirano kaljenje (SA)*, *Taboo pretraživanje (TS)*, itd. Za potrebe ovog rada, kao metod optimizacije izabran je genetski algoritam zbog izuzetne efikasnosti i jednostavnosti implementacije.

Genetski algoritam radi tako što simulira proces prirodne selekcije, u kojem se članovi populacije (jedinke) najpre nasumično generišu. Svaka jedinka predstavlja jedno rešenje optimizacionog problema. Nakon što su jedinke generisane vrši se selekcija i odbacuju se jedinke sa najlošijim rezultatima. Preostale jedinke mutiraju, nalik mutacijama u prirodi, i na taj način se dobijaju nove jedinke odnosno nova generacije populacije. Svakom novom generacijom jedinke, odnosno pojedinačna rešenja optimizacionog problema, konvergiraju ka optimalnom rešenju. Proces se završava nakon unapred predviđenog broja generacija, ili kada u novim generacijama prestanu da se javljaju poboljšanja.

##### 4.1. Genetski lanci

Kod genetskog algoritma svaka jedinka, odnosno rešenje problema može se predstaviti kao genetski lanac. Najčešći način implementacije genetskog algoritma u praksi jeste kodiranje svih rešenja iz prostora za pretraživanje u obliku binarnog niza. Ovakav niz često se naziva i binarni lanac. Zbog specifičnog skupa ograničenja, za potrebe ovog rada korišćen je nešto drugačiji način formiranja genetskog lanca.

Slika 3. pokazuje jedno opšte rešenje problema, odnosno jedan opšti genetski lanac. Svaka lamela useka predstavlja se jednim čvorom u genetskom lancu (ljubičasta boja), dok se svaka lamela nasipa na isti način predstavlja u paralelnom lancu (plava boja). Promenljiva  $k$  odnosi se na korak u vremenu kada se jedna specifična lamela iz useka premešta na mesto specifične lamele nasipa. Dužina genetskog lanca obeležena je sa  $n$  i jednaka je ukupnom broju lamela u useku odnosno nasipu. Oznakama  $i_k, j_k$  predstavljeni su red i kolona *grid* ćelije kojoj lamela, odnosno čvor u genetskom lancu pripada. Važno je napomenuti da se zemljane mase sa pozajmišta takođe mogu predstaviti kao čvorovi useka sa njihovim korespondirajućim prostornim koordinatama. Zemljane mase koje je potrebno odvesti na deponiju takođe se mogu predstaviti kao čvorovi nasipa.



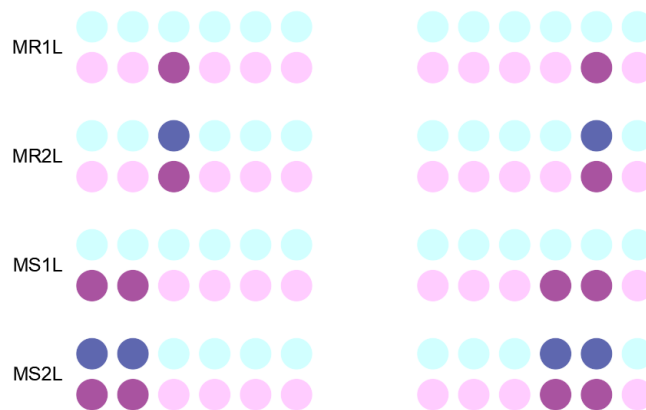
Slika 3. Nasumično rešenje predstavljeno kao *genetski lanac*

#### 4.2. Proces selekcije i mutacije

Proces konvergencije ka optimalnom rešenju počinje tako što se, u prvoj *generaciji*, formira  $N$  jedinki, odnosno  $N$  genetskih lanaca (Slika 3.) sa nasumičnim rasporedom čvorova. Svaki od lanaca se potom evaluira, to jest određuje se povoljnost svakog lanca prema unapred definisanoj *cost* funkciji<sup>2</sup>. U najjednostavnijem slučaju, *cost* funkcija predstavlja kumulativnu dužinu trasnporta, odnosno sumu koordinantnih rastojanja svih parova u genetskom lancu. Sledeći korak jeste sortiranje, genetski lanci se sortiraju prema vrednostima *cost* funkcije u rastućem redosledu tako da najbolja jedinka zauzima prvo mesto. Nakon sortiranja jedinki, dolazi do odbacivanja onih sa lošim rezultatom.

Postoje različite metode i kriterijumi za selekciju jedinki koje će biti odstranjene. Najjednostavniji, i često vrlo efikasan metod je prosto odstraniti *donju* polovinu jedinki, odnosno  $N/2$  jedinki sa najlošijim rezultatom. Mana ove metode je što ona u poznim generacijama „zaključava“ populaciju u jednom lokalnom optimalnom rešenju i ne daje mogućnost pretraživanja drugih, potencijalno boljih lokalnih optimuma. Iz tog razloga, u okviru ovog rada korišćena je nešto složenija, heruistička metoda selekcije. Prema ovoj metodi, određuje se verovatnoća za odstranjivanje svake od jedinki. Ona se izračunava kao količnik rednog broja jedinke ( $i$ ) u sortiranom skupu i ukupnog broja jedinki u skupu ( $N$ ). Kada se koristi ovakav metod selekcije, ostavlja se mogućnost da jedinka sa lošim rezultatom ipak „preživi“ do sledeće generacije.

Nakon što je, nekom od pomenutih metoda selekcije odbačena polovina jedinki, potrebno je ponovo dopuniti skup do njegove inicijalne veličine  $N$ . Nove jedinke dodaju se u skup tako što postojeće jedinke mutiraju. Na slici 4. data su 4 tipa mutacije korišćena u okviru ovog rada.



Slika 4. Tipovi mutacije genetskog lanca

Navedene mutacije imaju sledeća značenja:

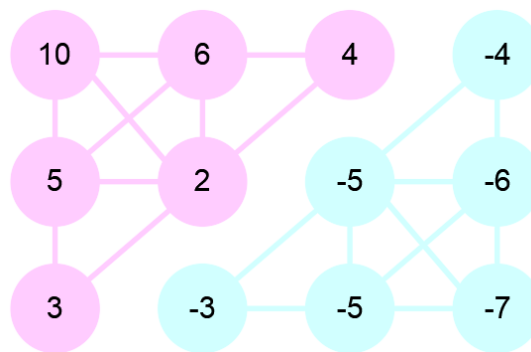
- *MR1L* – Mutacija jednog reda nad jednim genetskim lancem,
- *MR2L* – Mutacija jednog reda nad oba genetska lanca,
- *MS1L* – Mutacija serije nad jednim genetskim lancem,
- *MS2L* – Mutacija serije nad oba genetska lanca.

<sup>2</sup> Cost (*eng. cena*) ili loss (*eng. gubitak*) funkcija mapira rezultate optimizacije u niz realnih brojeva [7].

Svaka "preživela" jedinka nakon selekcije ostaje u skupu za sledeću generaciju, dok se skupu pridružuje još jedna jedinka koja nastaje mutacijom postojeće tako što se nasumično bira jedan od navedena 4 tipa mutacije. Nakon što skup ponovo sadrži  $N$  jedinki formirana je sledeća generacija, pa se nakon toga ponavlja celokupna navedena procedura dok skup ne konvergira ka optimalnom rešenju.

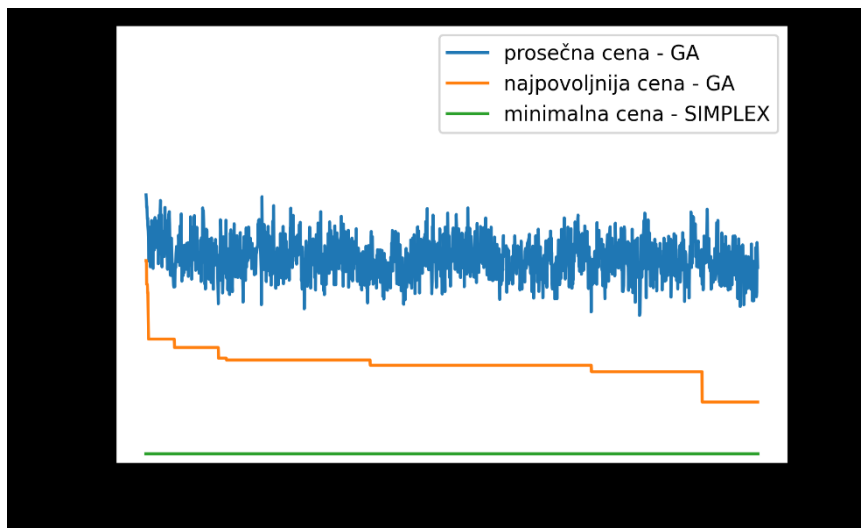
## 5. UPOREDNA ANALIZA

Na slici 5. prikazan je jedan karakterističan problem na kome je izvršena uporedna analiza dve optimizacione metode, SIMPLEX metode i genetskog algoritma. Problem se sastoji od jednostavne *grid* mreže dimenzija 4x3. Brojevi u središtu čvorova grafa odnose se na količine zemljanog materijala u svakoj ćeliji *grid*-a. Čvorovi grafa koji se odnose na ćelije u kojima dominira usek dati su ljubičastom bojom i količine su pozitivne, dok su čvorovi koji se odnose na ćelije gde dominira nasip dati plavom bojom i količine su negativne. Količine na grafu korespondiraju sa brojem lamela u svakoj ćeliji *grid*a, dato je ukupno 30 lamela, kako u useku tako i na nasipu, te je bilans zemljanih masa 0, i ne postoji potreba za pozajmištima ili deponijama.



Slika 5. Raspored zemljanih masa predstavljen kao graf

Kao što je ranije navedeno, rešenje rasporeda zemljanih radova dobijeno na bazi metode SIMPLEX ne može uzimati u obzir dinamiku izvođenja radova. Iz tog razloga, kao *cost* funkcija za oba algoritma usvojen je zbir linijskih rastojanja svih jediničnih transporta iz useka u nasip. *Cost* funkcija za globalno optimalno rešenje ovog problema dobijeno metodom SIMPLEX iznosi 65.29, i dato je zelenom bojom na slici 6.



Slika 6. Uporedna analiza metode SIMPLEX i genetskog algoritma (GA)

Plavom bojom na slici data su prosečna rešenja metodom GA svih jedinki u populaciji kroz 2000 generacija (epoha), dok su narandžastom bojom data najpovoljnija rešenja iz svake generacije. Genetski algoritam nije uspeo da pronađe globalno optimalno rešenje, već je posle nešto manje od 1800 generacija ostao „zarobljen“ u jednom od lokalnih optimuma. Optimum koji je pronađen metodom GA evaluiran je vrednošću *cost* funkcije od 66.82. Lokalni optimum pronađen metodom GA u ovom specifičnom slučaju tek je nešto više od 2% lošiji od globalnog optimuma.

## 6. ZAKLJUČAK

Usporedna analiza rezultata optimizacija rasporeda zemljanih masa primenom SIMPLEX metode i genetskog algoritma pokazala je da se heurističkim algoritmom kao što je to GA može naći rešenje vrlo blisko globalno optimalnom rešenju. Naravno, treba uzeti u obzir da bi disperzija rezultata mogla biti veća da je u analizi korišćen veći broj promenljivih, odnosno da je sam ćelijski proračun kubatura sadržao veći broj ćelija.

Uprkos nešto lošijem rešenju, ubedljiva prednost heurističke metode jeste što može uzeti u obzir dinamiku izvođenja radova, pa se zbog toga može definisati mnogo realističnija *cost* funkcija. Dok kod SIMPLEX metode *cost* funkcija uzima u obzir samo udaljenosti ćelija, kod GA ona još može uračunati i:

- Cenu transporta i tip mehanizacije koja vrši iskop,
- Različit broj i konfiguraciju otvorenih frontova iskopa,
- Različit broj i konfiguraciju mehanizacije koja vrši transport materijala,
- Različit kvalitet materijala čak i u okviru jedne ćelije useka,
- Cenu transporta koja uzima u obzir podužne nagibe odnosno stanje terena koji se na transportnom putu nalazi,
- Mogu se „kažnjavati“ rešenja koje u nekoj od faza ostavljaju lokalne depresije na terenu, odnosno prostor za akumulaciju padavina.

Evidentno je da se kroz sve navedene kriterijume evaluacije može postići vrlo efikasan i izvodljiv plan alokacije zemljanih masa. Osim smanjenja emisije CO<sub>2</sub> realističnom optimizacijom potrošnje goriva, algoritam može uzeti u obzir efekte na životnu sredinu još temeljnije primenom višekriterijumske optimizacije (VCO). Pored troškova izvođenja zemljanih radova, jedan od kriterijuma VCO takođe može biti i rezultat LCA [6] analize za različita rešenja. Jedno od takvih rešenja može biti upotreba slabonosivog materijala iz useka primenom tehnika stabilizacije. Uz ovakvu analizu, upravljaču bi pored cene do detalja bili poznati efekti na životnu sredinu svih analiziranih rešenja, te bi i upravljačke odluke bile jednostavnije i racionalnije.

### Literatura

- [1] Jakhrani, A. Q.; Othman, Al-Khalid; Rigit, Andrew Ragai Henry; Samo, S. R. (2012). [IEEE 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology (GUT) - Jakarta (2012.07.7-2012.07.8)] 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology - Estimation of carbon footprints from diesel generator emissions.,78–81. doi:10.1109/gut.2012.6344193
- [2] Rennert, K., Errickson, F., Prest, B.C. *et al.* Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO<sub>2</sub>. *Nature* 610, 687–692 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
- [3] Gavran, D. (2013). GCM++ (GAVRAN – Civil Modeller), AutoCAD based software for modeling of civil engineering facilities. (online) available at: <http://www.gcm-gavran.com/gavran-gcm-preview.htm>
- [4] Dijkstra, E.W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numer. Math.* 1, 269–271 (1959). <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- [5] Dašić, T., Stanić M, *Skripte pripremljene u formi detaljnih prezentacija koje prate predavanja i vežbe. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2022.*
- [6] Matthews, H. Scott, Chris T. Hendrickson, and Deanna H. Matthews (2014). Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter. pp. 83–95.
- [7] Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert; Friedman, Jerome H. (2001). The Elements of Statistical Learning. Springer. p. 18. ISBN 0-387-95284-5.