

НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Сандре Гушевац

Одлуком Наставно - научног већа Грађевинског факултета бр. 394/17-10 од 22.09.2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Сандре Гушевац, дипл.грађ.инж., под насловом:

СВОЈСТВА ЗЕЛЕНИХ БЕТОНА СА АГРЕГАТОМ ОД БАКАРНЕ ШЉАКЕ ИЗ
РУДАРСКО-ТОПИОНИЧАРСКОГ БАСЕНА “БОР”

Наслов на енглеском језику:

PROPERTIES OF GREEN CONCRETE WITH AGGREGATE OF COPPER SLAG FROM
MINING AND SMELTING COMPLEX “BOR“

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткињом, Комисија у саставу:

1. Проф. др Снежана Маринковић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
2. Проф. др Димитрије Закић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
3. Проф. др Мирјана Малешев, дипл.грађ.инж., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука;
4. В. проф. др Александар Савић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
5. Доц. др Александар Радевић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет.

је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1 Подаци о процедури пријављивања и предаје дисертације

На седници Већа Катедре за материјале и конструкције одржаној 07.09.2017. године Сандра Гушевац је јавно излагала предложену тему докторске дисертације под насловом „Својства зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке из Рударско-топионичарског басена „Бор“ (на енглеском језику „Properties of green concrete with aggregate of copper slag from mining and smelting complex „Bor“). Комисија у саставу проф. др Снежана Маринковић, проф. др Димитрије Закић и в. проф. др Александар Савић је прихватила предложену тему.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета, донетој на седници која је одржана 26.10.2017. године (одлука бр. 394/3 од 30.10.2017. године), одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Својства зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке из Рударско-топионичарског басена „Бор“ у саставу: проф. др Снежана Маринковић, проф. др Мирјана Малешев, в. проф. др Димитрије Закић и доц. др Александар Савић. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 01.03.2018. године (одлука бр. 394/5 од 05.03.2018. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 10.04.2018. године (одлука бр. 61206-1115/2-18 од 10.04.2018. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Сандре Гушевац.

Кандидаткиња је урађену докторску дисертацију предала Служби за студентска питања Грађевинског факултета 31.08.2023. године.

1.2 Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и ужој научној области Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Сандра Гушевац је рођена 17.02.1984. године у Бору. Основну школу „IX српска ударна бригада“ и гимназију “Борисав Станковић“ завршила је у Бору.

Студије на Грађевинско-архитектонском факултету Универзитета у Нишу, Одсек за конструкције, завршила је 2011 године. Дипломски рад је одбранила на тему „Идејни пројекат организације грађења, разрада детаља дрвене кровне конструкције и трајност и заштита дрвета друштвеног објекта на локацији „Нови градски центар“ у Бору“. Докторске студије на Грађевинском факултету у Београду, на Одсеку за конструкције, уписала је 2011. године и положила све испите са просечном оценом 9.50.

У мају 2011. године, засновала је радни однос на Институту за рударство и металургију у Бору, на месту истраживач приправник. У марту 2015. године изабрана је у звање истраживач сарадник.

Као аутор и коаутор до сада је публиковала 20 радова на домаћим и међународним скуповима. Највећим делом, ови радови представљају резултат реализације научно-истраживачких задатака обављених у оквиру активности Института за рударство и металургију у Бору, односно током учешћа у научно истраживачком и технолошком пројекту Министарства за науку и технолошки развој, број 37001, са темом: Утицај рударског отпада из РТБ-а Бор на загађење водотокова са предлогом мера и поступака за смањење штетног дејства на животну средину.

На Институту за рударство и металургију Бор, пре свега у оквиру бироа за пројектовање Мега, активно је учествовала у изради пројектне документације за домаће и стране Инвеститоре. У досадашњој пракси има више од 50 пројеката, техничких контрола пројеката и техничких пријема објеката.

Кандидат се служи енглеским језиком. Користи компјутерске програме од општег и стручног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација Сандре Гушевац под насловом „Својства зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке из Рударско-топионичарског басена „Бор““ садржи укупно 206 стране, од којих је основни текст на 173 стране. Дисертација је писана на српском језику и подељена је у 7 поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. План експеримента
4. Сопствена експериментална испитивања
5. Анализа животног циклуса (Life cycle analysis – LCA)
6. Закључци и препоруке за даља истраживања
7. Литература.

Дисертација садржи 105 слика на којима су приказани дијаграми, цртежи и фотографије релевантни за илустрацију текста и 35 табела. Списак цитиране литературе садржи 148 наслова. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има шест поглавља и преглед коришћене литературе. На почетку текста је дат садржај, резиме и списак кључних речи на српском и енглеском језику, листа слика и листа табела.

У уводном поглављу објашњене су могућности примене бакарне шљаке, дефинисан је предмет, циљеви, полазне хипотезе истраживања и приказана је структура тезе.

У поглављу "План експеримента" дат је преглед метода које се најчешће користе приликом испитивања различитих својстава природног агрегата, бакарне шљаке и свежег бетона са различитим садржајем агрегата од бакарне шљаке и објашњен је програм целокупних истраживања обављених у оквиру ове дисертације, а затим су приказани резултати испитивања компоненти материјала који су послужили као улазни параметри приликом пројектовања бетонских мешавина.

Затим су у поглављу "Сопствена експериментална испитивања" приказани резултати испитивања физичко-механичких својстава бетона са садржајем бакарне шљаке као замене за крупне фракције природног агрегата.

У поглављу "Анализа животног циклуса (Life cycle analysis - LCA)" објашњен је метод процене посредног и непосредног утицаја одређеног материјала на животну средину, а затим су приказани и анализирани резултати еколошког потенцијала замене природних агрегата агрегатима произведеним од отпадне бакарне шљаке.

У поглављу "Закључци и препоруке за даља истраживања" дати су најважнији закључци спроведених истраживања и разматране могућности даљег развоја истраживања.

Након списка литературе, у прилозима су дати табеларни прегледи, нумерички подаци и фотографије, који су због обимности изостављени из главног дела тезе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Индустријски отпад, који настаје из пирометалуршког процеса производње бакра, представља један од значајнијих еколошких проблема у многим развијеним земљама света. По свакој тони произведеног бакра у пирометалуршкој производњи настаје 2.2-3.0 t шљаке, што на светском нивоу износи око 40 милиона тона шљаке годишње. Једно од решења за проблеме одлагања овог индустријског отпада и исцрпљивања природних налазишта агрегата је примена бакарне шљаке у грађевинарству. У складу са тим, актуелна истраживања из ове области крећу се у два основна правца:

- испитивање физичко-механичких својстава бетона са садржајем бакарне шљаке као додатак цементу,
- испитивање физичко-механичких својстава бетона са садржајем бакарне шљаке као замене за агрегат.

Истраживање приказано у овој дисертацији припада другој описаној групи истраживања. Приликом справљања б бетонских мешавина са различитим садржајем бакарне шљаке као замене за природни агрегат, испитиваних у оквиру дисертације, коришћени су искључиво локално доступни материјали са територије Србије (речни агрегат, цемент и бакарна шљака). Извршена су опсежна испитивања утицаја садржаја бакарне шљаке као замене за природни агрегат. Испитивања су обухватила хемијска, минералозна, микроструктурна и физичко-механичка својства.

Бетони настали додавањем агрегата од бакарне шљаке као замене за природни агрегат су водопропусни, што им даје предност у примени код тротоара за сакупљање атмосферске воде у градовима. Због добрих физичких и механичких карактеристика ових бетона, као и повећане запреминске масе, погодни су за израду масивних плоча, темеља и крутих коловозних конструкција. Имајући ово у виду, може се закључити да локална примена бетона справљеног са бакарном шљаком доприноси очувању природних ресурса и смањењу капацитета депонија, па ови и слични индустријски нуспроизводи данас у многим земљама постају важан ресурс – настао трансформацијом отпада у вредну сировину.

Узимајући у обзир све наведене чињенице, може се закључити да је предмет истраживања докторске дисертације изузетно актуелна тема и да приказани резултати имају научну и практичну вредност, као и да се несумњиво ради о оригиналном научном истраживању.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Својства зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке из Рударско-топионичарског басена „Бор“, аутора Сандре Гушевац, потврђена је оригиналност ове докторске дисертације.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе садржи 148 библиографских јединица релевантних за област истраживања бетона, које су коришћене у изради дисертације. Литература је релевантна за предмет и циљеве истраживања. Кандидаткиња је у дисертацији правилно реферисала научно-стручне радове, уџбенике и стандарде за испитивање. Око 50% наведених референци представљају резултате објављене у последњих 10 година, од којих је већина издата од стране престижних интернационалних часописа, као што су *Construction and Building Materials*, *Cement and Concrete Research*, *Journal of Mining and Metallurgy* и *Materials and Structures*.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Рад у дисертацији је реализован паралелном применом теоријског приступа ослоњеног на податке добијене из литературе и практичног приступа заснованог на сопственом експерименталном истраживању. Извршена је критичка анализа и синтеза резултата досадашњих истраживања, прегледом репрезентативне стручне и научне литературе. У том смислу, извршено је прикупљање, анализа и систематизација резултата досадашњих истраживања бетона са различитим начинима примене бакарне шљаке, као и преглед до сада примењиваних метода испитивања на бетонима. План и програм експерименталног дела истраживања формиран је на основу резултата прегледа литературе, коришћењем хипотетичко-дедуктивне методе. За анализу добијених резултата примењене су компаративне и статистичке методе испитивања. На основу свега наведеног, добијене резултате и закључке изведене у оквиру дисертације треба прихватити као потпуно валидне.

3.4 Применљивост остварених резултата

Главни резултати добијени у оквиру истраживања указују на следеће:

1. Код већине бетонских мешавина са додатком бакарне шљаке као делимичне замене за крупне фракције природног агрегата (фракције III и IV), чврстоћа при притиску расте са повећањем садржаја бакарне шљаке. Пораст чврстоћа при притиску након 28 дана креће се у границама од 10.2% (мешавина 20% III + 20% IV) до 20.2% (мешавина 100% III + 50% IV) у односу на контролну мешавину.

2. Замена крупних фракција природног агрегата одговарајућим фракцијама бакарне шљаке утиче на пораст чврстоће при затезању цепањем код оваквих бетона. Пораст чврстоће, након неге од 28 дана, креће се у границама од 17.1% код мешавине 20% III + 20% IV до 54.9% код мешавине 50% III + 50% IV, у односу на контролну мешавину. Међутим, испитане бетонске мешавине имају приближно једнаке и мање чврстоће при затезању савијањем. Пад чврстоћа при затезању савијањем се креће у границама од 1.44% (50% III + 50% IV) до 9.62% (50% III + 100% IV), у односу на контролну мешавину.

3. При старости бетона од 7 дана, мешавине са садржајем агрегата од бакарне шљаке као замене за крупне фракције (8/16 mm и 16/31.5 mm) природног агрегата показале су веће чврстоће при чупању. Пораст Pull-off чврстоћа креће се у границама 10.2% (20% III + 20% IV) до 49.0% (50% III + 100% IV), у односу на контролни бетон.

4. Дубина пенетрације хлорида у бетону 50% III + 50% IV је мања у односу на контролни бетон код кога је забележена вредност од $36.0 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{m}$. Резултати добијених коефицијената миграције хлорида (D_{RCM}) за контролни бетон показују вредност $39.7 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{m}$, док за бетон 20% III + 50% IV D_{RCM} износи $46.8 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{m}$, што је већа вредност у односу на контролни бетон.

Изведени закључци су последица анализа спроведених на резултатима сопствених испитивања и поређењем резултата и одређених препорука које се могу пронаћи у релевантној литератури. Добијени експериментални резултати сами по себи представљају допринос, јер повећавају базу резултата испитивања спроведених на бетонима са бакарном шљаком као крупним агрегатом, која није до сада била коришћена у овом облику. Такође, ови резултати представљају основу за будући истраживачки рад.

Резултати приказани у оквиру дисертације, могу послужити као помоћ приликом доношења одлуке о избору компонентних материјала, међусобним односима компоненти приликом справљања бетона, као и испитивањима која је потребно спровести на бетонским мешавинама намењеним за израду масивних плоча и крутих коловозних конструкција.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Сандра Гушевац се у оквиру своје докторске дисертације бавила изучавањем и критичком анализом доступне релевантне литературе, затим планирањем, спровођењем, обрадом и анализом резултата експерименталног истраживања. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Сандра Гушевац је успешно решила постављене задатке и доказала да поседује способност за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Сандре Гушевац остварени су следећи научни доприноси:

1. Извршена је систематизација експерименталних метода коришћених за испитивање и поређење својстава природног и рециклираног агрегата од бакарне шљаке, као и карактеристика свежег и очврслог бетона справљеног на бази мешавине ових агрегата;
2. Извршена су систематска испитивања физичко-механичких, реолошких и микроструктурних својстава, као и параметара трајности бетона са додатком бакарне шљаке.
3. Показано је на који начин проценат замене природног агрегата бакарном шљаком утиче на наведена својства бетона при различитим старостима.
4. Урађена је анализа животног циклуса (LCA) предметних бетона, у циљу процене еколошког потенцијала замене природних агрегата рециклираним агрегатима на бази бакарне шљаке.
5. Дате су смернице за практичну примену зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке, као и препоруке за даље правце истраживања у овој области.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад Сандре Гушевац био је оријентисан на испитивање могућности примене локално доступних материјала на територији Србије (речни агрегат, цемент и бакарна шљака) у справљању бетона погодних пре свега за израду масивних плоча, темеља и крутих коловозних конструкција. У оквиру истраживања, спроведен је низ експеримената коришћењем стандардизованих и нестандардизованих метода и добијени су резултати који омогућавају извођење одређених закључака, али и њихову даљу употребу од стране других истраживача.

Утврђено је да коришћена бакарна шљака из „РТБ“ Бор даје бетонске мешавине генерално бољих физичко-механичких карактеристика у односу на контролну мешавину. Својства испитиваних бетонских мешавина су у великој мери зависила од процента делимичне замене крупних фракција природног агрегата бакарном шљаком.

На истраживаним зеленим бетонима, справљеним са различитим садржајем замене природног агрегата агрегатом од бакарне шљаке, спроведена су и испитивања трајности. Са аспекта трајности бетона (отпорност на продор хлорида, карбонатизација и отпорност на дејство мраза и соли), мешавине справљене са делимичном заменом природног агрегата агрегатом од бакарне шљаке, имале су нешто мању трајност у поређењу са контролном мешавином. У сва три случаја, узрок томе је повећана порозност цемента камена, проузрокована већом количином слободне воде.

Предложено решење овог проблема је да у мешавинама које се справљају са бакарном шљаком треба редуковати количину воде која се дозира. Дубина карбонатизације бетона

са додатком агрегата од бакарне шљаке ће се на овај начин редуковати, услед мањег упијања зрна агрегата бакарне шљаке у односу на природни агрегат, и на тај начин ће се повећати трајност оваквих бетона. Такође, иста уградљивост бетона, као у случају контролне мешавине, може се обезбедити додавањем неопходне количине хемијског додатка типа суперпластификатора.

Анализа животног циклуса (LCA) бетонских мешавина на бази агрегата од бакарне шљаке показала је да овакви зелени композити имају значајан еколошки потенцијал, нарочито уколико се ради о нешто краћим транспортним удаљеностима између депоније рециклираног агрегата и бетонске базе (до 20 km), па су тестиране мешавине препоручене пре свега за локалну примену.

4.3 Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Сандра Гушевац је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представила свој рад кроз следеће публикације:

Категорија M22:

1. **Filipović, S.**; Đokić, O.; Radević, A.; Zakić, D. Copper Slag of Pyroxene Composition as a Partial Replacement of Natural Aggregate for Concrete Production. *Minerals* 2021, 11, 439, doi:10.3390/min11050439

Категорија M24:

1. **S. Filipović**, S. Marinković, D. Zakić. Environmental assessment of copper slag aggregate concrete. *Building Materials and Structures* 2022, Vol. 65, 57-63, doi: 10.5937/GRMK2202057F.

Категорија M63:

2. S.Filipović, J. Đorđević, D. Jevtić, D. Zakić. Mogućnost primene bakarne šljake kao agregat za beton. *Zbornik radova kongresa DIMK i SIGP*, 371-379, ISBN 978-86-87615-10-6 (2022).

Категорија M52:

1. **S. Filipović**, D. Zakić, J. Đorđević, F. Gramić: Bakarna šljaka iz Rudarsko-topioničarskog basena "Bor" kao delimična zamena prirodnog agregata za spravljanje betona, *Građevinski kalendar 2021*, Vol. 53, 57-74, 0352-2733,53 UDK:691.322, ISSN 0352-2733, COBIS.SR-ID 43031, Originalni naučni rad.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације Сандре Гушевац, дипл.грађ.инж., дат је значајан допринос у области истраживања зелених бетона и испитивања могућности примене локално доступних материјала за справљање бетонских мешавина на бази агрегата од бакарне шљаке. Резултати експерименталних истраживања која су спроведена од стране кандидаткиње, као и процена еколошког потенцијала предметних зелених бетона на основу извршене анализе животног циклуса, представљају оригинални научни и стручни допринос у области грађевинских материјала, технологије бетона и испитивања конструкција. Резултати истраживања имају практичну примену и могу да послуже као основ за даља научна истраживања у овој области. Комисија сматра да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидаткиња показала способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама израде ове дисертације.

На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом: „Својства зелених бетона са агрегатом од бакарне шљаке из Рударско-топионичарског басена „Бор“ (на енглеском језику: „Properties of green concrete with aggregate of copper slag from mining and smelting complex „Bor““) кандидаткиње Сандре Гушевац, дипл.инж.грађ., изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да се након завршетка ове процедуре, кандидаткиња позове на јавну одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

Београд, 31.10.2023.

Проф. др Снежана Маринковић, дипл. грађ. инж.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

Проф. др Димитрије Закић, дипл. грађ. инж.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

Проф. др Мирјана Малешев, дипл. грађ. инж.
(Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду)

В. проф. др Александар Савић, дипл. грађ. инж.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

Доц. др Александар Радевић, маст. инж. грађ.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)