

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовео комисију: <b>Наставно научно веће Факултета техничких наука. Датум: 26.05.2022.</b>		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.		
	Малешев Мирјана	редовни професор
	презиме и име	звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад	Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		председник комисије
		функција у комисији
2.		
	Јанковић Ксенија	Научни саветник
	презиме и име	звање
	Институт за испитивање материјала ИМС, Београд	Грађевински материјали и технологија бетона, 26.10.2017.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		члан
		функција у комисији
3.		
	Радовић Небојша	Редовни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Саобраћајнице, 01.02.2020.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		члан
		функција у комисији
4.		
	Матић Бојан	Ванредни професор
	презиме и име	звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад	Саобраћајнице, 25.03.2018.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		члан
		функција у комисији
5.		
	Радоњанин Властимир	Редовни професор
	презиме и име	звање
	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад	Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		ментор
		функција у комисији

## **II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме:  
Милија, Младен, Стојановић
2. Датум рођења, општина, држава:  
20.08.1988., Требиње, Република Српска – БиХ
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:  
Факултет техничких наука, Техничке науке, Грађевинско инжењерство, Мастер инжењер грађевинарства
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:  
2012. год., Грађевинарство

## **III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

ЦЕМЕНТОМ СТАБИЛИЗОВАНИ НОСЕЋИ СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА НА  
БАЗИ РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА

## **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација докторанда Милије Стојановића је написана на 278 страна на српском језику, ћиричним писмом. Дисертација садржи 14 поглавља, 116 референци, 82 слике, 111 табела, 129 графикона, 38 дијаграма, 16 хистограма, 2 алгоритма и 7 схема. На почетку докторске дисертације дата је структура докторске дисертације, основни подаци, резимеи на српском и енглеском језику и спискови слика и табела. Рад је електронски обрађен.

Докторска дисертација је структурирана кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Предмет истраживања
3. Потребне и оправданост истраживања
4. Циљ истраживања
5. Научне методе у истраживању
6. Коловозне конструкције
7. Рециклажа асфалтних коловозних конструкција
8. Електрофилтерски летећи пепео – доступност и могућности примене
9. Преглед стања у области
10. Експериментално истраживање
11. Закључак
12. Научни допринос и правци даљег истраживања
13. Литература
14. Прилози

У уводном (првом) поглављу докторске дисертације дати су историјски параметри везани за градњу путева и почетке примене цементних стабилизација код коловозних конструкција. Указано је на развој идеје поновне употребе старог (рециклираног) асфалтног агрегата у поступку реконструкције путева, као и на прве забележене примене електрофилтерског летећег пепела из термоелектрана у градњи путева;

У наредна четири поглавља (од другог до петог поглавља) дефинисани су: предмет, потребе, оправданост и циљ истраживања, као и научне методе које су коришћене током истраживања;

Поглавље шест обухватило је анализу коловозних конструкција, са акцентом на цементном стабилизационом слоју;

Могућности реконструкције коловозних конструкција поступком хладне рециклаже асфалта *in situ* и општи постулати тог поступка дефинисани су у седмом поглављу. У овом поглављу детаљно су дефинисане предности и недостаци датог поступка;

Карактеристике, доступност и могућности примене електрофилтерског летећег пепела у изради стабилизационог носећег слоја коловозних конструкција дати су у осмом поглављу. Акцент је стављен на могућности примене електрофилтерског летећег пепела у Републици Србији, с обзиром да се он сматра за највећи индустријски отпадни материјал;

У деветом поглављу приказан је свеобухватан преглед досадашњих истраживања у овој научној области;

Десето поглавље обухватило је експериментално испитивање цементних стабилизација са рециклираним материјалима. На почетку су дати резултати испитивања карактеристика свих компонентних материјала, а затим поступак пројектовања, као и коначни састави мешавина које су се користиле у експерименталном делу дисертације. Затим су дефинисани план и програм реализације експерименталног испитивања својстава цементних стабилизација у свежег и очврслог стању. У наставку су дати сви резултати испитивања својстава цементних стабилизација са агрегатом од рециклираног асфалта и са електрофилтерским пепелом, којим је супституисан један део цемента. У последњем делу овог поглавља јасно и систематично дата је интерпретација и анализа добијених резултата испитивања;

У једанаестом и дванаестом поглављу ове докторске дисертације дефинисани су редом збирни закључци истраживања. Такође, истакнут је и научни допринос дисертације, заједно са могућим правцима даљих истраживања у овој области;

У последњем (тринаестом) поглављу дати су прикази литературе и стандарда који су се користили током истраживања. На крају докторске дисертације, у оквиру прилога, дати су сви појединачни резултати експерименталног истраживања, као и пратећа фото документација.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација садржи све неопходне елементе прописане важећим правилницима.

Докторску дисертацију чине више целина, које су логично поређане и добро систематизоване, како би се могао сагледати комплетан обим обављених теоријских и експерименталних истраживања.

*Прва целина* (прво поглавље) докторске дисертације је приказана као уводно поглавље у коме су наведене полазне чињенице у вези са применом појединих компонентних материјала стабилизацијских мешавина коловозних конструкција. Тај приказ се првенствено огледа у навођењу историјског развоја и почетка примене рециклираних материјала, тј. рециклираног асфалтног агрегата и електрофилтерског летећег пепела из термоелектрана у градњи путева, као и унапређење могуће примене ових материјала кроз време. Наведени подаци се односе на примену поменутих рециклираних и отпадних материјала у свету, али је посебан акценат стављен на досадашњу примену у Републици Србији. На самом почетку докторске дисертације дефинисане су хипотезе истраживања које су добро постављене, а методологија истраживања је одабрана тако, да је омогућена реализација експеримента у лабораторијским условима, теоријска анализа добијених резултата и њихова директна примена у пракси.

Наредне *четири целине* (поглавља од другог до петог) обухватају и јасно дефинишу: предмет, потребу, оправданост и циљ истраживања. Поред тога, наведене су и научне методе које су коришћене током истраживања. Наглашена је оправданост истраживања примене агрегата од рециклираног асфалта и електрофилтерског летећег пепела у стабилизацијама током грађења коловозних конструкција. Примена се првенствено огледа у замени дела основних компонентних материјала тј. природног агрегата и цемента. Применом поменутих рециклираних и отпадних материјала у градњи стабилизацијских слојева коловозних конструкција остварили би се бројни бенефити, који се пре свега могу анализирати са економског и еколошког аспекта. У последњој целини су наведене научне методе које су коришћене у истраживању.

Кроз поглавља од шестог до осмог, тј. у наредне *три целине* сагледана је спремност кандидата за научноистраживачки рад у области материјала који се користе за израду коловозних конструкција, са аспекта познавања компонентних материјала стабилизацијских мешавина. У предметним поглављима је/су:

- укратко описана везива у стабилизацијским мешавинама и указано је на разлике између цементних стабилизацијских мешавина за коловозне конструкције и класичних бетонских мешавина за бетонске конструкције, а кроз упоредни приказ карактеристичних својстава;
- приказане и анализирани карактеристичне вредности чврстоћа цементних стабилизација, тј. чврстоћа при притску и индиректна затезна чврстоћа (Бразилски опит цепањем);
- дефинисан механизам деловања прелина и пукотина у цементним стабилизацијама коловозних конструкција;
- наведене минималне потребне количине цемента у цементним стабилизацијама у европским земљама, у зависности од утицајних параметара;
- приказана технологија и поступци рециклаже старих асфалтних коловозних конструкција, са одговарајућом анализом;
- дефинисане карактеристике агрегата од рециклираног асфалта, који се користи у стабилизацијским мешавинама коловозних конструкција, а који је настао у поступку хладне рециклаже.
- дат приказ и могућности примене агрегата од рециклираног асфалта насталог у поступку хладне рециклаже асфалта, у зависности од подручја где се примењује;
- истакнута специфичност као и доступност и могућност примене електрофилтерског летећег пепела из термоелектрана у грађевинарству, са акцентом на примену у изради коловозних конструкција;
- указано на утицај електрофилтерског летећег пепела на животну средину. Поменути летећи пепео се класификује као опасан отпадни материјал и истовремено је и најзаступљенији

отпадни материјал у Републици Србији. Такође је наведен и сет стандарда и законских регулатива којима се дефинише његова примена.

У *наредној целини* (девето поглавље) детаљно су приказана досадашња истраживања у овој области, при чему је акценат стављен на анализу утицајних параметара и учешћа појединих компонентних материјала у стабилизацијским мешавинама коловозних конструкција на вредности карактеристичних физичко-механичких својстава цементних стабилизација у свежем и очврслем стању. Стога ова целина представља врло вредан део докторске дисертације. Закључено је да је избор литературе систематична и да критичка и садржајна анализа доступних научних истраживања у потпуности дају слику тренутних достигнућа у области истраживане теме. Изведени закључци оправдавају избор теме ове докторске дисертације, тако да дисертација представља иновативно истраживање у овој научној области.

На основу поменуте детаљне анализе доступне литературе из ове области и могућности које пружа лабораторија за испитивање грађевинских материјала Факултета техничких наука у Новом Саду, осмишљен је план и програм сопственог експерименталног истраживања кандидата, који је заједно са резултатима испитивања и њиховом анализом приказан као *засебна целина* (десето поглавље докторске дисертације). У овој целини на почетку је детаљно дефинисан и образложен програм лабораторијског истраживања, који се састоји од четири фазе, а то су: 1) дефинисање и испитивање компонентних материјала за стабилизације, 2) одређивање оптималних влажности мешавина „Proctor“-овим опитом, 3) израда стабилизацијских узорака и 4) испитивање физичко-механичких карактеристика очврслих цементних стабилизација. У оквиру овог поглавља дати су појединачни, збирни као и упоредни резултати лабораторијског испитивања, а њихова интерпретација је урађена и уз помоћ аналитичког факторијалног експеримента. Материјали који су коришћени у току лабораторијског испитивања су: природни дунавски речни шљунак гранулације 0-16mm (сепарација Ветерник), Портланд цемент РС 35М (V-L) 32,5R из Беоцинске фабрике цемента, електрофилтерски летећи пепео из термоелектране Никола Тесла „Б“, рециклирани асфалтни агрегат који је настао стругањем старог асфалтног застора на локацији Иришки венац и вода. На почетку експеримента је урађена карактеризација компонентних материјала, односно испитана су основна физичко-механичка својства у складу са захтевима који се односе за квалитет материјала који се користи у изради цементних стабилизација коловозних конструкција. Након испитивања компонентних материјала за стабилизације дефинисан је план справљања и испитивања стабилизацијских мешавина којих је укупно било 12. Испитивања очврслих стабилизацијских мешавина су рађена након 7, 28 и 90 дана старости. Испитивања након 90 дана су рађена из разлога касније пуцоланске реакције у мешавинама улед присуства електрофилтерског летећег пепела у стабилизацијама. Пре почетка справљања стабилизацијских мешавина са различитим процентуалним учешћем компонентних материјала, одређене су оптималне влажности мешавина уз помоћ „Proctor“-овог опита. Тај поступак и резултати испитивања су приказани у другој фази експерименталног истраживања. Оптималне влажности су одређене на основу максималних вредности сувих запреминских маса и дефинисана је њихова зависност у односу на процентуално учешће појединих компонентних материјала стабилизације. Учешћа рециклираних материјала у мешавинама су дефинисана као проценат замене основних компонентних материјала, тј. агрегат од рециклираног асфалта је коришћен као замена за природни речни агрегат у количини од 30%, док је електрофилтерски летећи пепео коришћен као замена за портланд цемент у количинама од 20 и 40%. Такође, дефинисане су и мешавине које нису имале поменуте рециклиране и отпадне материјале, да би се могла урадити компаративна анализа и успоставити што боља зависност између варираних параметара и добијених физичко-механичких својстава истраживаних стабилизација. Поред већ поменутог варирања врсте компонентних материјала, у испитиваним стабилизацијским мешавинама варирана је и укупна количина везива, која је износила или 4 или 6%. Све претходно наведене процентуалне вредности се односе на масено учешће у стабилизацијским мешавинама. Након дефинисања коначног састава свих стабилизацијских мешавина, а на основу резултата испитивања оптималних влажности приступило се трећој фази, тј. изради стабилизацијских узорака, који су рађени уз помоћ набијача масе 2,5kg и калупа пречника 10cm и висине 12cm. Исти овакав калуп се користио претходно у току „Proctor“-овог опита. У последњој (четвртој) фази лабораторијског експеримента испитане су физичко-механичке карактеристике цементних стабилизација у очврслем стању, које су претходно неговане у контролисаним условима (константна температура

и влага). Као што је претходно речено, испитивања су рађена за три различита периода неге узорака, а током испитивања акценат је стављен на одређивање чврстоћа цементних стабилизација (чврстоћа при притиску и индиректна затезна чврстоћа), јер се оне сматрају релевантним карактеристикама цементних стабилизација коловозних конструкција. За испитивање очврслих карактеристика цементних стабилизација укупно је справљено 218 узорака. Имајући у виду садржај овог поглавља, закључено је да су план и програм експерименталног истраживања добро осмишљени, тако да добијени резултати омогућавају јасно сагледавање утицаја варираних параметара компонентних материјала на истраживана својства цементних стабилизација и да је испитивани узорак довољно велик и омогућава добијање поузданих резултата. Константовано је да се у реализацији експеримента није одступило од плана и програма који су дефинисани у Пријави докторске дисертације. Такође је констатовано да је дато довољно података о компонентним материјалима, саставу стабилизацијских мешавина, броју, облику и димензијама узорака и примењеним методама испитивања, тако да је омогућена поновљивост експерименталних истраживања.

У једанаестој и дванаестој целини (тј. поглављу) наведена су закључна разматрања и правци даљих истраживања у овој области, као и научни допринос који је остварен овим истраживањем.

На основу тринаестог поглавља, у коме је дат шири списак литературе, уочава се да је кандидат приликом израде докторске дисертације користио савремене резултате истраживања из проблематике која је проучавана у дисертацији.

На крају дисертације концизно и јасно су, у виду табеларног приказа, дати сви појединачни резултати експерименталног истраживања. Поред тога, крај дисертације обogaћен је и хронолошки сложеним фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању.

Комисија је закључила да је анализа резултата систематично приказана, јасно изложена и спроведена уз примену адекватних метода нумеричке анализе и синтезе, као и математичке статистике. Такође је констатовано да дисертација садржи добро осмишљене дијаграме, хистограме, графиконе и табеле који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата испитивања. Закључци предметног истраживања представљају језгровиту и концизну синтезу јасно и систематично изложених резултата, па се констатује да су критички анализирани постављене хипотезе и испуњени постављени циљеви докторске дисертације.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилма докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

### **Објављени радови у часописима:**

Stojanović, M., Radonjanin, V., Malešev, M., Milović, T., Furgan, S.: *Compressive strength of cement stabilizations containing recycled and waste materials*, Journal of the Croatian Association of Civil Engineers – Građevinar, 73, August 2021, pp. 869-882, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.3161.2021> (M23)

Stojanović, M., Radonjanin, V., Malešev, M., Matić, B., Furgan, S.: *The impact of coal fly ash on tensile strengths of cement stabilizations with river aggregate*, Journal of Road and Traffic Engineering LXIV, February 2018, S. 39-47. DOI: [10.31075/PIS.64.02.05](https://doi.org/10.31075/PIS.64.02.05) (M53)

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

У овом експерименталном истраживању анализирани су могућности замене природног агрегата са агрегатом од рециклираног асфалта (RAP-ом) и цементног везива са електрофилтерским летећим пепелом у изради цементних стабилизација коловозних конструкција, при чему је акценат стављен на испитивање чврстоћа очврселих цементних стабилизација, а самим тим и већина закључака је везана за анализу резултата испитивања наведених механичких карактеристика. Најбитније механичке карактеристике цементних стабилизација коловозних конструкција су чврстоћа при притиску ( $f_c$ ) и индиректна затезна чврстоћа (ITS). У сопственом лабораторијском истраживању, од укупно 216 стабилизацијских узорака (за 12 различитих мешавина), на по 108 стабилизацијских узорака су одређене чврстоће при притиску и индиректне затезне чврстоће. Мередавне вредности чврстоћа (за тачно дефинисан период неге узорака) су дефинисане на основу резултата просечних вредности чврстоћа одређених на три узорка. За одређивање наведених чврстоћа цементних стабилизација коришћене су деструктивне методе испитивања, па су из тог разлога испитивања чврстоћа била последња метода испитивања у одређивању физичко-механичких карактеристика стабилизација. Пре одређивања чврстоћа одређене су запреминске масе (на основу димензија и маса појединачних узорака), као и времена и брзине проласка ултразвучних таласа кроз стабилизацијске узорке.

Појединачне запреминске масе за свих 12 стабилизацијских мешавина су одређене на свих 216 стабилизацијских узорака. Са повећањем учешћа летећег пепела (од 0 до 40%), у мешавинама са истим саставом агрегата и укупном количином везива, вредности запреминских маса су биле у благом порасту. Већа разлика се може уочити код анализе запреминских маса код мешавина са агрегатом од рециклираног асфалта. Наиме, са повећањем учешћа ове врсте агрегата у мешавинама, вредности запреминских маса су се смањивале, за обе укупне количине везива (4 и 6%mas).

Мерењем масе узорака, након поступка справљања и пре поступка испитивања, дефинисана је и промена масе стабилизацијских узорака која се јавља у току периода неге. Статистичком обрадом појединачних резултата испитивања утврђено је да је губитак масе на узорцима старости 7 дана у просеку износио око 5g, на узорцима старости 28 дана око 9g, а на узорцима старости 90 дана разлика у масама је просечно износила око 25g. Напомене ради, узорци су након справљања неговани на температури од 20°C и при влажности од 90%.

Време и брзина проласка ултразвука су такође одређени на свих 216 стабилизацијских узорака, непосредно пре испитивања чврстоћа цементних стабилизација. На основу одређеног времена проласка ултразвука и познате висине узорка срачунате су брзине проласка ултразвучног таласа. Са повећањем периода неге узорака време проласка ултразвучног таласа се смањивало, а то смањење је посебно било изражено код мешавина са 4%mas додатка везива и у просеку је износило 33,9% (поређење узорка старости 7 и 90 дана), док је за мешавине са 6%mas додатка везива смањење у просеку износило 16,7%. Са повећањем садржаја летећег пепела у мешавинама (за исто учешће агрегата) запажа се и повећање вредности времена проласка ултразвука на узорцима старости 7 дана, односно смањење на узорцима старости 28 дана. За узорке старости 90 дана не може се успоставити јединствена зависност времена проласка ултарзвука и садржаја летећег пепела у мешавинама. Највећа вредност времена проласка ултразвука је забележена код мешавине М6, на узорцима старости 7 дана и она је износила 47,7 $\mu$ s, док је најмања измерена вредност била за мешавине М8 и М9 (на узорцима старости 90 дана) и износила је 25,1 $\mu$ s, што представља смањење од 47,4%. Узимајући у обзир податак да брзина проласка ултразвука искључиво зависи од времена проласка и димензија узорка (који су за све стабилизацијске мешавине приближно исти), анализа резултата испитивања брзине проласка ултразвука је базирана на истом принципу као и анализа времена проласка ултразвучног таласа. Обрнуто од времена проласка, најмања вриједност брзине ултразвука је измерена за мешавину М6 (на узорцима старости 7 дана) и она је износила 2,53km/s, а највећа вредност за мешавину М8 (на узорцима старости 90 дана) и њена вредност је била 4,81km/s, што представља раст од 90,1%.

Вредности чврстоћа при притиску биле су директно зависне од састава мешавина и периода неге узорака. Генерално посматрано, са присуством рециклираног асфалтног агрегата у мешавинама вредности чврстоћа при притиску се смањују, али то смањење није толико изражено да

би се елиминисала могућност примене датог отпадног материјала у стабилизацији. Дато смањење чврстоћа се може компензовати повећањем количине укупног везива или додатком летећег пепела стабилизацијским мешавинама, у износу од 20% или 40%. Наиме, са повећањем садржаја летећег пепела у мешавинама од 0 до 20% вредности чврстоћа при притиску бележиле су константан раст при старости 28 или 90 дана. Уколико се анализа чврстоћа при притиску посматра са аспекта вредности 28-дневних чврстоћа (као што је то случај код класичних бетонских мешавина) посебну оправданост примене имају мешавине са 40% додатка летећег пепела, јер је у том случају раст чврстоћа био најизраженији. Разлике у чврстоћама мешавина са агрегатом од рециклираног асфалта могу се надокнадити управо применом летећег пепела у количини од 40%. Вредности чврстоћа при притиску за мешавине старости 7 дана су се смањивале и за 20% и за 40% додатка летећег пепела. Тај податак је битно познавати приликом уградње слоја цементне стабилизације у реалним условима, тј. на траси пута. Приликом рехабилитације и реконструкције путева, посебно са већим саобраћајним оптерећењима, време уградње нових слојева и динамика радова представља веома битан захтев приликом одабира поступка извођења типа реконструкције и рехабилитације пута. Наиме, након уградње слоја цементне стабилизације потребно је сачекати са уградњом асфалтних слојева, док се у слоју стабилизације не остваре потребне (пројектом захтеване) чврстоће. Имајући у виду чињеницу да мешавине са додатком летећег пепела имају ниске ране чврстоће (због касније пуцоланске реакције летећег пепела), препорука је користити цементе који имају високе ране чврстоће (са ознаком R), што је у овом истраживању кандидат и применио. Са повећањем периода неге узорака, са 7 на 28 дана, чврстоће стабилизацијских мешавина са присуством летећег пепела, и истим саставом агрегата, бележиле су раст у односу на чисто цементне мешавине (за обе врсте агрегата) и биле су директно пропорционалне количини летећег пепела, док су се са повећањем периода неге (са 28 на 90 дана), код мешавина са 40% летећег пепела (M3 и M9, односно M6 и M12) запажала смањења чврстоћа у односу на мешавине са 20% летећег пепела (M2 и M8, односно M5 и M11). То смањење је било посебно изражено код мешавина чија је укупна количина везива износила 4%mas и у том случају мешавине са 40% додатка летећег пепела (M3 и M6) имале су мање чврстоће и у односу на чисто цементне мешавине (M1 и M4). Смањење 90-дневне чврстоће мешавине M3, у односу на мешавину M1, износило је 10,7%, док је смањење чврстоће мјешавине M6, у односу на мешавину M4, износило 8,6% (дате мешавине су справљане са природним агрегатом шљунком и са 4%mas додатка везива). За мешавине које су садржале 6%mas укупног додатка везива, чврстоће са 40% додатка летећег пепела (M9 и M12) имале су веће вредности у односу на чисто цементне мешавине (M7 и M10), а мање у односу на мешавине са 20% додатка летећег пепела (M8 и M11). Смањен прираст 90-дневних чврстоћа код стабилизација са 40% летећег пепела може се сматрати позитивним са аспекта анализе смањења крутости стабилизација (поређење резултата испитивања чврстоћа за мешавине M1-M6 и M7-M12).

Највеће просечне вредности чврстоће при притиску, за мешавине са 4%mas везива измерене су; на узорцима старости 7 дана – за мешавину M1 (1,4MPa), на узорцима старости 28 дана – за мешавину M3 (2,92MPa) и на узорцима старости 90 дана – за мешавину M2 (4,75MPa). За мешавине са 6%mas везива највеће просечне вредности чврстоћа при притиску измерене су; на узорцима старости 7 дана – за мешавину M7 (3,48MPa), на узорцима старости 28 дана – за мешавину M9 (7,54MPa) и на узорцима старости 90 дана – за мешавину M8 (9,9MPa). Прираст чврстоћа при притиску, поредећи резултате 28-дневне и 90-дневне чврстоће, најизраженији је био за мешавину M2 (82,0%), док је у поређењу резултата 7-дневне и 28-дневне чврстоће највећи прираст био за мешавину M6 (180,5%).

Претходно објашњења анализа зависности чврстоћа при притиску цементних стабилизација, на основу састава стабилизацијских мешавина и учешћа компонентних материјала, може се успешно и на исти начин применити и код анализе резултата испитивања индиректних затезних чврстоћа, при чему су наведене чврстоће у директној пропорцији. Највеће просечне вредности индиректних затезних чврстоћа, за мешавине са 4%mas везива измерене су; на узорцима старости 7 дана – за мешавину M1 (0,13MPa), на узорцима старости 28 дана – за мешавину M3 (0,31MPa) и на узорцима старости 90 дана – за мешавину M2 (0,51MPa). За мешавине са 6%mas укупног додатка везива максималне, просечне, измерене индиректне затезне чврстоће биле су; на узорцима старости 7 дана – за мешавине M7 и M8 (0,29MPa), на узорцима старости 28 дана – за мешавину M9 (0,69MPa) и на узорцима старости 90 дана – за мешавину M8 (1,16MPa). Прираст индиректне затезне чврстоће, поредећи резултате 7-дневне и 28-дневне чврстоће, најизраженији је био за



мешавину М3, док је у поређењу резултата 28-дневних и 90-дневних чврстоћа највећи прираст био за мешавину М5. Максимална просечна вредност индиректне затезне чврстоће измерена је на мешавини М8 (након 90 дана неге) и износила је 1,16МПа. Анализом свих појединачних резултата испитивања закључено је да се са повећањем садржаја везива у мешавинама вредности чврстоћа повећавају, за све појединачне односе учешћа агрегата и везива, при истим периодима неге узорака.

Просечне вредности процентуалног односа чврстоћа (ITS/fc) кретале су се од 9,02% (за мешавину М1), до 11,54% (за мешавину М10), што је у карактеристичном опсегу дијапазона резултата за стабилизацијске мешавине са додатком цементног везива.

Упоредном анализом резултата испитивања чврстоћа цементних стабилизација и времена и брзине проласка ултразвука може се успоставити начелна зависност датих физичко-механичких карактеристика цементне стабилизације (истих стабилизацијских мешавина), која подразумева да се са смањењем времена проласка ултразвука вредности брзина проласка ултразвучног таласа и чврстоћа цементне стабилизације повећавају.

На основу појединачних резултата испитивања чврстоћа при притиску цементних стабилизација на крају дисертације је урађена додатна нумеричка интерпретација резултата испитивања методом факторијалног експеримента за чврстоће при притиску након старости од 7 и 28 дана, а неки од закључака који су добијени у овој анализи су:

- Највећи утицај на 7-дневну чврстоћу при притиску цементних стабилизација има количина везива. Средња вредност коефицијента „b1“ износи, за обе анализиране количине летећег пепела (FA) (20 или 40%), сса +0,86, што значи да се применом веће количине везива (6%) остварује просечно повећање чврстоће при притиску од сса 1,72МПа;
- Други по величини је коефицијент „b2“, који има негативну вредност и показује утицај количине рециклираног асфалтног агрегата RAP-а (0 или 30%) на чврстоћу при притиску цементних стабилизација. Средња вредност коефицијента „b2“ износи, за обе анализиране количине FA (20 или 40%), сса -0,34, што значи да се применом RAP-а (30%) остварује просечно смањење чврстоће при притиску од сса 0,68МПа;
- Утицај учешћа FA у укупној количини везива дефинисан је коефицијеном „b3“ и има негативне вредности, што значи да се применом FA од 20% остварује смањење чврстоће при притиску од 0,08МПа (али је ова вредност занемарљиво мала), а са количином FA од 40%, смањење чврстоће износи 0,21МПа;
- Додатни утицај комбинованог дејства количине везива и учешћа RAP-а, дефинисан је коефицијентом „b12“ и има негативан утицај на чврстоћу при притиску цементне стабилизације, а додатни утицај комбинованог дејства варираних параметара, који су изражени преко коефицијената „b13, b23 и b123“, је практично занемарљив. На основу детаљне анализе и примене поменутих коефицијената може се закључити да се код цементних стабилизација са 20% FA, занемаривањем коефицијената „b13, b23 и b123“ и коефицијента „b3“ добијају одступања од тачне вредност мања од 11,5% (али то одступање износи само 0,1МПа, јер су за ову старост стабилизације све вредности чврстоћа при притиску ниске). Код цементних стабилизација са употребом 40% FA, занемаривањем коефицијената „b13, b23 и b123“ највеће одступање износи 3,9% (или 0,09МПа).
- Највећи утицај на 28-дневну чврстоћу при притиску цементних стабилизација има количина везива. Средња вредност коефицијента „b1“ износи, за обе анализиране количине FA (20 или 40%), сса +1,44 што значи да се применом веће количине везива (6%) остварује просечно повећање чврстоће при притиску од сса 2,89МПа;
- Други по величини је коефицијент „b2“, који има негативну вредност и показује утицај количине RAP-а (0 или 30%) на чврстоћу при притиску цементних стабилизација. Средња вредност коефицијента „b2“ износи, за обе анализиране количине FA (20 или 40%), сса -0,55, што значи да се применом RAP-а (30%) остварује просечно смањење чврстоће при притиску од сса 1,09МПа;
- Утицај учешћа FA у укупној количини везива дефинисан је коефицијеном „b3“ и има позитивне вредности, што значи да се применом FA од 20% остварује повећање чврстоће при притиску од 0,41МПа, а са количином FA од 40%, повећање чврстоће износи 0,96МПа;
- Додатни утицај комбинованог дејства количине везива и учешћа RAP-а, дефинисан је коефицијентом „b12“ и има негативан утицај на чврстоћу при притиску цементне

стабилизације;

- Додатни утицај комбинованог дејства количине везива и учешћа FA, дефинисан је коефицијентом „b13“ и има позитиван утицај на чврстоћу при притиску цементне стабилизације;
- Додатни утицај комбинованог дејства варираних параметара, који су изражени преко коефицијената „b23 и b123“, је практично био занемарљив. Применом поменутих коефицијената може се закључити да се при одређивању 28-дневних чврстоћа при притиску код цементних стабилизација са 20 и са 40% FA, занемаривањем коефицијената „b23 и b123“ добијају мања процентуална одступања од тачних вредности него приликом одређивања 7-дневних чврстоћа. У случају цементних стабилизација са 20% FA, занемаривањем ова два коефицијента добијају се одступања од експерименталних вредности мања од 1%, а у случају цементних стабилизација са 40% FA, највеће одступање износи 3,4% (0,13MPa).

Финални закључци у докторској дисертацији могу се посматрати са мало ширег аспекта, тј. са аспекта оправданости примене рециклираних материјала у грађевинарству, конкретно у овој докторској дисертацији анализирана је могућност и оправданост примене агрегата од рециклираног асфалта и електрофилтерског летећег пепела у изради цементних стабилизација коловозних конструкција.

Са повећањем примене поступка хладне рециклаже асфалта путна привреда би у многоме могла да свој допринос смањењу негативног утицаја на животну средину, који се првенствено огледа кроз смањење потрошње енергије и употребе необновљивих природних ресурса (природних агрегата и нафтних деривата). Агрегат настао рециклажом старих материјала (у овом случају асфалта) требао би да заузме добар део индустријске производње сваке државе. Поред описаног начина примене, у грађевинарству су могуће бројне друге употребе рециклираног асфалтног агрегата, првенствено код градње насипа и невезаних носећих слојева коловозних конструкција. Улагање у опрему за рециклажу и технологију пројектовања и извођења рециклаже не би требало посматрати као баријеру, јер ће се то улагање, гледано дугорочно, многоструко исплатити у експлоатационом периоду пута.

Могућности примене електрофилтерског летећег пепела у разним привредним гранама раније су доказана. Већа примена летећег пепела у грађевинарству имала би већи економски, еколошки и практични значај. Такође, она би допринела заштити животне средине, што би се огледало кроз: смањење загађења ваздуха, земљишта и воде. Смањење површина које су данас прекривене депонијама летећег пепела остварили би се бројни позитивни ефекти на тај начин што би се то земљиште функционално искористило у друге сврхе. Већом применом летећег пепела би се смањила употреба других материјала у изради коловозних конструкција, што је оправдано са економске стране и доприноси одрживом развоју. Резерве камених материјала које се користе у путарству су у многим земљама прилично ограничене, а повећана употреба летећег пепела би допринела њиховој мањој примени, а самим тим и остварењу бројних других позитивних ефеката, међу којима се посебно истичу финансијска уштеда и уштеда енергије која је неопходна за откривку, производњу, обликовање, експлоатацију, допрему и уградњу камених материјала приликом градње путева. Узимајући у обзир да и летећи пепео поседује пуцоланска својства, примена цемента (који је један од најскупљих материјала у градњи путева) би се значајно редуковала код градње цементних стабилизација коловозних конструкција, што би значајно утицало на смањење укупне цијене коштања коловозне конструкције. Посебна оправданост примене наведених отпадних материјала, а узимајући у обзир и цене коштања коловозних конструкција, може бити значајна у земљама са мањом економском моћи, као што су земље западног Балкана, а у којима је примена летећег пепела у градњи путева тренутно на ниском нивоу. Да би се повећала примена летећег пепела приликом градње коловозних конструкција у Републици Србији, неопходно је прилагодити и законску регулативу и стандардизацију.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу анализе докторске дисертације Милије Стојановића, комисија сматра да је она урађена систематично, да је добро структурирана и да је примењен адекватан научни приступ у њеној изради. На основу приказа и анализе релевантне литературе, из области досадашње примене агрегата од рециклираног асфалта и електрофилтерског летећег пепела у градњи путева (првенствено у изради стабилизацијских слојева коловозних конструкција) дефинисан је програм сопственог експерименталног истраживања.

У истраживањима су коришћене стандардни поступци за испитивања одабраних својстава из најновије техничке регулативе, критеријуми за вредновање и класификацију који су прихваћени и препоручени од стране водећих стручњака и институција из ове области.

Резултати сопственог експерименталног истраживања су адекватно обрађени и презентовани на разумљив и коректан начин, а анализа резултата је систематично приказана, јасно изложена и спроведена уз примену адекватних метода нумеричке анализе. На основу анализе резултата истраживања утицаја поменутих рециклираних материјала на карактеристике цементних стабилизација изведени су одговарајући закључци. Предложени су и правци даљих истраживања у овој области.

Техничка обрада свих поглавља докторске дисертације је на високом нивоу. Дисертација је обogaњена фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању. Јасно написан текст је пропраћен добро осмишљеним табелама, графинокнима и дијаграмима који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата испитивања.

Докторска дисертација проверена је у софтверском пакету за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци Факултета техничких наука. На основу резултата провере, Комисија је утврдила да је проценат подударности занемарљив (3%) и донела закључак да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидата Милије Стојановића.

Комисија сматра да укупан рад кандидата, по свом карактеру и обиму, у потпуности одговара дефинисаној теми и наслову и такође сматра да ће резултати овог теоретског и експерименталног истраживања имати примену у грађевинској пракси и у будућим научним истраживањима из ове области.

**Сагласно изнетим ставовима, Комисија позитивно оцењује начин на који су резултати истраживања приказани и тумачени у овој докторској дисертацији.**

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Комисија је констатовала да је дисертација Милије Стојановића написана у складу са образложењима наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, докторска дисертација садржи све битне елементе који се захтевају по Статуту Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Докторска дисертација кандидата Милије Стојановића је оригинални теоријско-експериментални научни рад на тему утицаја примене рециклираних материјала тј. агрегата од рециклираног асфалта и електрофилтерског летећег пепела у изради цементних стабилизација коловозних конструкција.

Пројектовање и примена цементних стабилизација у поступцима реконструкције, рехабилитације или новоградње коловозних конструкција је перспективан и до краја истражен тип градње путева, који у путоградњи Србије још увек није довољно заступљен. У овом истраживању акценат је стављен на анализу могућности примјену рециклираних материјала у градњи цементних стабилизација и оптимизацију поступка дефинисања компонентних материјала у стабилизацијским мешавинама. Детаљном анализом досадашњих истраживања могућности примене рециклираних и отпадних материјала, тј. агрегата од рециклираног асфалта и електрофилтерског летећег пепела, у изради цементних стабилизација, може се закључити да ова научна област није још увијек довољно истражена. Научни допринос ове докторске дисертације се првенствено огледа кроз испуњење дефинисаних хипотеза, а то су:

- Замена природног агрегата са рециклираним агрегатом од асфалтног коловоза у комбинацији са индустријским нуспроизводом - електрофилтерским летећим пепелом (као материјалом за замену дела цементног везива) има оправданост примене у изради слојева цементних стабилизација коловозних конструкција, за одређена процентуална учешћа појединих компонентних материјала;
- Употребом поменутих рециклираних и отпадних материјала добијају се задовољавајуће физичке и механичке карактеристике цементних стабилизација (у поређењу са стабилизацијама на бази природног агрегата и цемента), при чему се могу остварити финансијски бенефити с обзиром на ниске цене наведених рециклираних материјала;
- Стабилизације са електрофилтерским летећим пепелом при већим старостима имају исте или боље физичко-механичке карактеристике од чисто цементних стабилизација, захваљујући продуженом развојчврстоће;
- Лака доступност и велика могућност примене агрегата, који се добија рециклирањем асфалтних коловоза и електрофилтерског летећег пепела из термоелектрана (који се сматра за најзаступљенији отпадни материјал у Републици Србији), а све у циљу промоције одрживе градње и заштите животне средине.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

На основу детаљне анализе рада кандидата Милије Стојановића, комисија констатује да су испуњени постављени циљеви и да дисертација не садржи недостатке који би утицали на резултате истраживања.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу наведеног, комисија предлаже:
<b>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;</b> б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум:  
Нови Сад, 04.07.2022.

КОМИСИЈА:

---

**др Мирјана Малешев, редовни професор,**  
председник Комисије

---

**др Ксенија Јанковић, научни саветник,**  
члан Комисије

---

**др Небојша Радовић, редовни професор**  
члан Комисије

---

**др Бојан Матић, ванредни професор**  
члан Комисије

---

**др Властимир Радоњанин, редовни професор,**  
ментор

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.