

НАЗИВ ФАКУЛТЕТА **Факултет техничких наука - Нови Сад**

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију Наставно научно веће Факултета техничких наука. Датум: 30.05.2019. (012-199/56-2018)</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. Др Мирослава Радека, редовни професор - председник, уно: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 25.10.2013., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад.</p> <p>2. Др Немања Станисављевић, ванредни професор - члан, уно: Инжењерство заштите животне средине, 24.09.2018., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад.</p> <p>3. Др Иванка Нетингер-Грубеша, ванредни професор - члан, уно: Темелне техничке знаности, материјали, 09.12.2014., Грађевински и архитектонски факултет Осијек.</p> <p>4. Др Мирјана Малешев, редовни професор - ментор, уно: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад.</p> <p>5. Др Властимир Радоњанин, редовни професор - ментор, уно: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција, 28.03.2013., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад.</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Слободан, Миљан, Шупић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 15.10.1989., Требиње, Република Српска, Босна и Херцеговина.</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Техничке науке, Грађевинско инжењерство, Мастер инжењер грађевинарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2013. год., Грађевинарство</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p>

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

ПРИМЕНА ПЕПЕЛА НАСТАЛОГ САГОРЕВАЊЕМ ЖЕТВЕНИХ ОСТАКА КАО МИНЕРАЛНОГ ДОДАТКА У ЦЕМЕНТИМ КОМПОЗИТИМА

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација кандидата Слободана Шупића је написана на 362 стране на српском језику, латиничним писмом. Дисертација садржи 10 поглавља, 108 референци, 200 слика и 70 табела. На почетку докторске тезе дати су: списак табела и слика. Рад је електронски обрађен.

Докторска дисертација је структурирана кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Биомаса – обновљиви извор енергије у АП Војводини
3. Биопепео
4. Приказ и анализа истраживања у области примене биопепела као грађевинског материјала
5. Експериментално истраживање
6. Анализа и дискусија резултата
7. Еколошки аспекти примене биопепела као минералног додатка
8. Закључна разматрања и правци даљег истраживања
9. Литература
10. Прилози

У првом поглављу "Увод" дефинисани су предмет и циљеви истраживања, постављене су основне хипотезе и описана је методологија истраживања, као и оправданост и применљивост предметног истраживања.

У другом поглављу "Биомаса – обновљиви извор енергије у АП Војводини" дати су дефиниција биомасе, врсте и потенцијали биомасе, као обновљивог извора енергије у свету, у Републици Србији и на подручју АП Војводине. Посебно је истакнут потенцијал пољопривредне биомасе у Републици Србији.

У трећем поглављу "Биопепео" представљени су резултати истраживања расположивости пепела насталог сагоревањем жетвених остатака на подручју АП Војводине. Дати су основни подаци који се односе на коришћење биомасе као извора енергије, укључујући: врсту енергента који се сагорева, карактеристике котла, температуру сагоревања, врсте и количине генерисаних пепела на годишњем нивоу и начин одлагања/депоновања пепела. На крају поглавља табеларно је дата укупна количина биопепела која се генерише сагоревањем жетвених остатака на подручју које је обухваћено истраживањем.

У четвртном поглављу "Приказ и анализа истраживања у области примене биопепела као грађевинског материјала" дат је преглед актуелних истраживања у којима су коришћени пепели жетвених остатака као замена за део цемента или део агрегата у цементним композитима. За анализу су изабрани пепели: кукурузног окласка, пиринчане љуске и пепео пшеничне сламе, који је предмет сопственог истраживања. У поглављу су анализирани утицаји: врсте пепела, хемијског састава, финоће млива, нивоа супституције цемента или агрегата, водовезивног фактора, и старости при којој су својства композита испитана. Анализирано је неколико радова о својствима малтера и бетона са пепелима пиринчане љуске и кукурузног окласка. Будући да нису пронађени радови у којима је пепео пшеничне сламе коришћен као минерални додаток у бетонским мешавинама, анализирани су расположиви радови о својствима пасти и малтера справљених са овом врстом пепела.

У петом поглављу "Експериментално истраживање" приказано је сопствено експериментално истраживање могућности примене пепела насталог сагоревањем жетвених остатака као

минералног додатка у цементним композитима. Дати су програм истраживања, подаци о компонентним материјалима, поступак и пројектовање састава малтерских и бетонских мешавина, израда малтерских и бетонских мешавина и узорака за лабораторијска испитивања, опрема и поступци испитивања, као и добијени резултати испитивања одабраних својстава свежих и очврслих композита (малтера и бетона). На малтерима су испитани: конзистенција, чврстоћа при притиску и капиларно упијање воде. На свежем бетону су мерени запреминска маса и конзистенција, а на очврслом бетону капиларно упијање воде, упијање воде под притиском, скупљање при сушењу, чврстоћа при притиску, чврстоћа при савијању, отпорност на хабање и динамички модул еластичности. На посебно припремљеним узорцима урађене су микроструктурне анализе: XRD и FTIR.

У шестом поглављу "Анализа и дискусија резултата" анализирани су резултати сопственог експерименталног истраживања својстава испитиваних врста биопепела, и њиховог утицаја на основна својства малтера и бетона, у којима је део цемента замењен биопепелом. Анализом је најпре обухваћена карактеризација две врсте пепела: пепео пшеничне сламе и пепео мешавине пшеничне и сојине сламе, која је обухватила резултате испитивања релевантних физичких и хемијских својстава материјала, при чему је проверена усаглашеност својстава са критеријумима из релевантних стандарда.

Анализа утицаја врсте и количине биопепела на својства малтера је урађена по врстама ситнозрног агрегата, а затим је извршена и компаративна анализа малтера са свим врстама агрегата. Дефинисан је утицај врсте биопепела и нивоа супституције цемента биопепелом на својства малтера.

На сличан начин, анализирани су резултати испитивања основних својстава бетонских мешавина, по врстама крупног агрегата, након чега је дата и компаративна анализа бетона са речним агрегатом, комбинацијом речног агрегата и агрегата од рециклираног бетона и агрегатом од рециклираног бетона, као крупним агрегатом., те утицај количине пепела пшеничне сламе и нивоа супституције природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона на испитана својства бетона.

У седмом поглављу урађена је анализа еколошког утицаја супституције цемента биопепелом, при чему су разматрани аспекти: очување природних ресурса који се користе за производњу цемента (глине и кречњака), одрживо управљање отпадом, емисија CO₂, концентрација тешких метала у везивној компоненти за справљање цементних композита и излуживање тешких метала из очврслих цементних композита: малтера и бетона. Анализа тока материјала и тока супстанци је спроведена у софтверу "STAN", при чему је разматран еколошки импакт супституције цемента са 10%, 20% и 50% биопепела. За "Status quo" је усвојен систем у којем се користи цемент, као једино везиво за справљање цементних композита. У анализи концентрације тешких метала, изабране су 4 супстанце индикатори, које представљају највећу претњу по здравље људи: арсен, хром, олово и кадмијум.

У осмом поглављу "Закључна разматрања" приказани су закључци, по програму експерименталног истраживања: карактеризација пепела насталог сагоревањем жетвених остатака, утицај врсте и количине биопепела којим је супституисан део цемента и утицај врсте агрегата на испитана својства малтера и бетона и анализа еколошког импакта супституције цемента биопепелом. На основу свих изведених закључака формиран је коначни закључак о могућности примене пепела насталог сагоревањем жетвених остатака као минералног додатка у цементним композитима: малтерима и бетонима. На крају поглавља дате су и смернице и планови за даља истраживања у овом пољу.

У деветом поглављу "Литература", дат је шири списак коришћене литературе и референци, као и називи стандарда који су коришћени у оквиру експерименталног дела дисертације.

У десетом поглављу "Прилози", табеларно су приказани резултати експерименталних испитивања - измерене величине и срачунате вредности својстава одабраних за анализу.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација садржи све неопходне елементе прописане важећим правилницима.

Докторску дисертацију чини пет целина.

У првој целини (првом поглављу) јасно су дефинисани предмет и циљ истраживања. Наглашена је потреба и оправданост истраживања у области примене пепела насталог сагоревањем жетвених остатака, као отпадног материјала расположивог у великим количинама на подручју АП Војводине, као минералног додатка у цементним композитима. Основне хипотезе су добро постављене, а методологија истраживања је одабрана тако да је омогућена и теоријска анализа добијених резултата и њихова директна примена у пракси.

Друга целина обухвата три поглавља кроз која је кандидат показао препознавање значаја примене обновљивих извора енергије и представио потенцијал предметних отпадних материјала. То су поглавља у којима је су:

- истакнути потенцијали биомасе као обновљивог извора енергије у Републици Србији,
- дате основне карактеристике биомасе, укључујући недостатке и ограничења у примени исте као енергента,
- сажето приказани резултати анализе расположивости пепела насталог сагоревањем жетвених остатака на подручју АП Војводине, укључујући карактеристике сагоревања, температуре сагоревања, врсте и количине генерисаног биопепела на годишњем нивоу.

Посебно вредан део друге целине дисертације је четврто поглавље, које се односи на преглед литературе у области истраживања. У овом поглављу дат је преглед актуелних истраживања из области примене пепела жетвених остатака у цементним композитима. Анализирани су утицаји: врсте пепела, хемијског састава, финоће млива, нивоа супституције цемента или агрегата, водовезивног фактора, те старости при којој су својства композита испитана. Кроз приказ и анализу великог броја научних радова, везаних за област примене биопепела, формирана је квалитетна база података на основу које је дефинисан програм сопственог експерименталног истраживања. Закључено је да избор литературе и систематична, јасна и садржајна анализа научних истраживања у потпуности дају преглед достигнућа у области истраживане теме, при чему је наглашено да је у доступној литератури пронађено само неколико радова о примени пепела пшеничне сламе у малтерима. Нису пронађени радови у којима је анализирана могућност примене пепела сојине сламе, нити радови у којима је урађено компаративно истраживање утицаја различитих врста агрегата на својства цементних композита са биопепелом, што оправдава избор теме ове докторске дисертације, односно представља иновативно истраживање у овој области.

У трећој целини, која обухвата сопствено експериментално истраживање могућности примене пепела насталог сагоревањем жетвених остатака, као минералног додатка у цементним композитима (поглавље 5), детаљно је разрађен програм истраживања, који је заснован на компаративној анализи: 1) три групе малтера које се разликују у ситнозрном агрегату (СЕН песак, фракција 0/4mm и песак за малтерисање), а у оквиру којих су варирани врста биопепела (пепео пшеничне сламе и пепео мешавине пшеничне и сојине сламе) и ниво супституције цемента пепелом (0%, 10%, 20%, 30% и 50%); 2) 3 групе бетонских мешавина које се разликују у крупном агрегату (речни агрегат, агрегат добијен уситњавањем "рециклираног" бетона и њихова мешавина, у односу 50%:50%), а у оквиру којих је вариран ниво супституције цемента пепелом пшеничне сламе (0%, 10%, 20% и 50%). На тај начин је добијено 27 малтерских и 12 бетонских мешавина. При избору компонентних материјала, посебно се водило рачуна о аспекту одрживог грађевинарства, односно о примени отпадних материјала, како би се смањила потреба за депоновањем отпадних материјала и сачували природни ресурси (агрегат од рециклираног бетона – замена за крупни природни агрегат и биопепео - замена за део цемента). На малтерима су испитани: конзистенција, чврстоћа при притиску и капиларно упијање воде, а на очврслом бетону капиларно упијање воде, скупљање при сушењу, чврстоћа при притиску, чврстоћа при савијању, динамички модул еластичности, отпорност на хабање и водонепропустљивост. Имајући у виду садржај овог поглавља, закључено је да су план и програм експерименталног истраживања осмишљени тако да добијени резултати омогућавају јасно сагледавање утицаја варираних параметара на истраживана својства малтера и бетона и да је испитивани узорак довољно велик и омогућава добијање поузданих резултата. Констатовано 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 малтерских и

бетонских мешавина, броју, облику и димензијама узорака и примењеним методама испитивања, тако да је омогућена поновљивост експерименталних истраживања. Ово поглавље је обogaћено хронолошки сложеним фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању, а резултати експерименталног истраживања су јасно приказани на крају поглавља у виду табела.

Четврта целина обухвата шесто поглавље у оквиру којег је приказана анализа резултата експерименталног истраживања. Анализом је најпре обухваћена карактеризација обе врсте пепела, која је обухватила резултате испитивања свих релевантних физичких и хемијских својстава материјала, при чему је проверена усаглашеност својстава са критеријумима из релевантних стандарда. Анализа утицаја врсте и количине биопепела на својства малтера је урађена по врстама ситнозрног агрегата, а затим је извршена и компаративна анализа малтера са свим врстама агрегата. На сличан начин, анализирани су резултати испитивања основних својстава бетонских мешавина, по врстама крупног агрегата, након чега је дата и компаративна анализа бетона са речним агрегатом, комбинацијом речног агрегата и агрегата од рециклираног бетона и агрегатом од рециклираног бетона, као крупним агрегатом. Комисија је закључила да је анализа резултата систематично приказана, јасно изложена и спроведена уз примену адекватних метода нумеричке анализе, математичке статистике и теорије вероватноће. Такође је констатовано да ово поглавље садржи квалитетне, добро осмишљене дијаграме и табеле који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата. 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.

У петој целини урађена је анализа еколошког утицаја супституције цемента биопепелом, при чему су разматрани аспекти: очување природних ресурса који се користе за производњу цемента, одрживо управљање отпадом, редуција емисије CO₂, концентрација тешких метала у везивној компоненти за справљање цементних композита и излуживање тешких метала из очврслих цементних композита. Ово поглавље има изузетан значај и обogaћује докторску дисертацију, јер тематику исте доводи у директну везу са принципима одрживог развоја у савременом грађевинарству. Кандидат је, у овом поглављу, на систематичан начин представио резултате анализе тока материјала и тока супстанци добијене у софтверском пакету "STAN", при чему је вишепараметарском анализом проверен еколошки импакт пепела жетвених остатака, као замене за део цемента.

У деветом поглављу, на основу ширег списка литературе учоава се да је кандидат приликом израде докторске дисертације користио савремене резултате истраживања из проблематике која је проучавана у дисертацији.

У десетом поглављу, приказане су измерене величине и срачунате вредности својстава одабраних за анализу, на које се кандидат позивао током израде 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

Рад у часопису међународног значаја (M21)

1. Rudić O., Ducman V., Malešev M., Radonjanin V., Draganić S., Šupić S., Radeka M. (2019): Aggregates Obtained by Alkali Activation of Fly Ash, The Effect of Granulation, Pelletization Methods and Curing Regimes, *Materials*, Vol. 12, pp. 1-22, (DOI 10.3390/ma12050776)

Рад у часопису међународног значаја (M23)

1. Malešev M., Radonjanin V., Draganić S., Šupić S., Laban M. (2017): Influence of fly ash and decreasing water-powder ratio on performance of recycled aggregate concrete, *Građevinar*, Vol. 69, pp. 811-820, (DOI <https://doi.org/10.14256/JCE.1379.2015>)

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Šupić S., Malešev M., Radonjanin V., Radeka M., Laban M. (2018): Application of Biomass Ashes as Supplementary Cementitious Materials in the Cement Mortar Production, *Proceedings of World*

- Academy of Science, Engineering and Technology ISSN: 1307-6892, Waset, Stockholm, Sweden, pp. 703-709.
2. **Šupić S.**, Malešev M., Radeka M., Radonjanin V., Bulatović V., Lukić I. (2018): Properties of collected types of biomass ashes IPA, Indis, Vol. 14, Novi Sad, ISBN: 978-86-6022-105-8, pp. 1275-1284.
 3. **Šupić S.**, Malešev M., Radonjanin V. (2018): Investigation of the availability of biomass ashes in AP Vojvodina, Contemporary Achievements in Civil Engineering, Vol. 6, ISBN: 978-86-80297-73-6, Subotica, pp. 273-280.
 4. **Šupić S.**, Radonjanin M., Malešev M. (2018): Production of eco-friendly material sourcing from biomass waste, S-FORCE Knowledge FOr Resilient soCiEty, Vol. 1, ISBN: 978-86-6022-093-8, Novi Sad, pp. 234-243.
 5. **Šupić S.**, Radonjanin V., Malešev M. (2017): Sustainable use of biomass ash in concrete industry, PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology – ICET, Vol. 8, ISBN: 978-86-7892-934-2, Novi Sad, pp. 1-5.
 6. **Šupić S.** (2018): Characterization and development of eco-friendly material using biomass waste, Construction, Vol. 3, ISBN: 978-86-7892-988-5, Novi Sad, pp. 49-72.
 7. **Šupić S.**, Malešev M., Radonjanin V., Ćirić D., Lukić I., Bulatović V. (2018): Eco Build – challenges and business opportunities, Trendovi razvoja – TREND, Vol. 24, ISBN: 978-86-6022-031-0, Kopaonik, pp. 300-304.
 8. Malešev M., **Šupić S.**, Radeka M., Radonjanin V., Draganić S., Laban M. (2018): Influence of aggregate type on basic properties of mortars with wheat straw ash, Indis, Vol. 14, Novi Sad, ISBN: 978-86-6022-105-8, pp. 1241-1250.
 9. Radonjanin V., Malešev V., **Šupić S.**, Radeka M. (2018): Influence Of Filler Effect And Pozzolanic Reaction Of Biomass Ashes On Mechanical Properties Of Cement Mortars, Interdisciplinary Approaches for Cement-based Materials and Structural Concrete: Synergizing Expertise and Bridging Scales of Space and Time, Vol. 1, ISBN: 978-2-35158-211-4, Madeira, Portugal, pp. 511-516.
 10. Malešev M., Radonjanin V., Radeka M., **Šupić S.**, Vukoslavčević S. (2016): Physical and mechanical properties of cement mortars with biomass ashes as SCM, Materials, Systems and Structures in Civil Engineering, Vol. 1, ISBN: 978-2-35158-178-0, Copenhagen, Denmark, pp. 223-232.

Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини (M61)

1. Malešev M., **Šupić S.**, Radeka M., Radonjanin V., Laban M., Dražić J., Lukić I., Bulatović V. (2018): Research on the use of agricultural biomass ash in construction products in Serbia within Eco build project, Savremena građevinska praksa, Vol. 20, ISBN: 978-86-6022-052-5, Andrijevica, pp. 57-76.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

С обзиром на комплексност истраживања изведен је већи број закључака са аспекта утицаја врсте и количине пепела жетвених остатака као минералног додатка на испитана својства цементних композита и еколошког импакта нивоа супституције цемента биопепелом. Закључци су груписани по следећим целинама: карактеризација биопепела, примена биопепела у малтерима, примена биопепела у бетонима и еколошки аспекти замене цемента биопепелом.

На основу спроведене **карактеризације пепела** насталог сагоревањем жетвених остатака изведени су следећи најважнији закључци:

- Пепео пшеничне сламе је, по хемијском саставу, високо реактиван пуцолански материјал. Укупан садржај важних оксида ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) прелази 70%, а садржај реактивног SiO_2 је 67%. Висок садржај реактивног SiO_2 омогућава материјалу да, у фино уситњеном облику, у присуству влаге, реагује са $\text{Ca}(\text{OH})_2$, и формира C-S-H продукте који имају везивна својства. Анализом хемијског састава пепела пшеничне сламе, закључено је да

пепео задовољава и критеријуме у погледу садржаја: хлорида, сулфата, фосфата, растворљивих фосфата и слободног CaO. Губитак жарењем је мањи од 7%, што овај материјал класификује у Категорију Б. Пепео се карактерише високим садржајем алкалија, чија укупна количина прелази 5% (8,68%), што може представљати потенцијалну опасност са аспекта могућности настанка алкално-силикатне реакције у очврслном бетону. Захваљујући високом садржају реактивног SiO₂, пепео задовољава високу Класу 10 пуцоланске активности. Финоћа материјала, испитана Air Jet ваздушним просејавањем, кроз сито отвора 0,045mm, показује класу S финоће материјала. Пепео задовољава критеријуме за индекс активности, при старости од 28 и 90 дана. Критеријуми за почетак везивања су задовољени. Испитивање сталности запремине биопепела показује занемарљиву експанзију, чиме материјал задовољава и овај критеријум.

- Пепео мешавине пшеничне и сојине сламе је, по хемијском саставу, умерено реактиван пуцолански материјал. Укупан садржај важних оксида (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) је мањи од захтеваних 70%, а садржај реактивног SiO₂ је 41% (задовољава критеријум). Анализом хемијског састава пепела, закључује се да пепео задовољава и критеријуме у погледу садржаја: хлорида, сулфата, фосфата и слободног CaO. Губитак жарењем је мањи од 5%, што овај материјал класификује у Категорију А. Пепео не задовољава критеријум за дозвољену количину растворљивих фосфата (116mg/kg). Пепео се карактерише високим садржајем алкалија, чија укупна количина прелази 5% (13,37%), што може представљати потенцијалну опасност са аспекта могућности настанка алкално-силикатне реакције у очврслном бетону. Захваљујући умереном садржају реактивног SiO₂, пепео задовољава Класу 5 пуцоланске активности. Финоћа материјала, испитана Air Jet ваздушним просејавањем, кроз сито отвора 0,045mm, показује класу С финоће материјала. Фино уситњен (самлевен) пепео, одликује се великом специфичном површином, што позитивно утиче на попуњавање структуре очврслих цементних композита (филер ефекат). Пепео, са великом специфичном површином, задовољава критеријуме за индекс активности, при старости од 28 и 90 дана. Критеријуми за почетак везивања су задовољени. Испитивање сталности запремине биопепела показује занемарљиву експанзију, чиме материјал задовољава и овај критеријум.

На основу анализе резултата испитаних својстава **узорака малтера** изведени су следећи најважнији закључци:

- Врста и количина биопепела, до нивоа супституције цемента од 30%, немају велики утицај на конзистенцију малтера. Услед веће финоће млива, при замени од 50%, потребно је, у мањој количини, додати суперпластификатор или пластификатор за очување конзистенције.
- При замени дела цемента биопепелом, доминантни фактори који утичу на чврстоћу при притиску малтера су финоћа млива биопепела и пуцоланска активност. Пепео пшеничне сламе се одликује великом количином реактивног (аморфног) SiO₂, који у пуцоланској реакцији реагује са Ca(OH)₂ (продуктом хидратације цемента), при чему настају нови C-S-H продукти, који додатно запуњавају структуру малтера, повећавајући му чврстоћу. При старости од 28 дана, малтери са кварцним песком и фракционисаним речним агрегатом, справљени са пепелом пшеничне сламе у количини до 30% масе цемента су имали упоредиве, па чак и веће чврстоће од референтног цементног малтера. Повећање чврстоће, при овој старости малтера, је резултат хемијске активације хидратације цемента, модификације гранулометријског састава и, при већим нивоима супституције, филер ефекта (под условом да није дошло до агломерације честица биопепела). При већим старостима, долази до изражаја пуцоланска реакција биопепела.
- Пепео мешавине пшеничне и сојине сламе се одликује мањом количином реактивног SiO₂, па је његов утицај на чврстоћу малтера мање позитиван. Као резултат слабије пуцоланске активности пепела мешавине пшеничне и сојине сламе, чврстоће су ниже од одговарајућих чврстоћа референтног малтера. При старости малтера 60 и више дана, као резултат пуцоланске активности и филер ефекта (при већим нивоима супституције), разлика у чврстоћама се смањује, тако да малтери са до 30% пепела пшеничне и сојине сламе имају чврстоће упоредиве са чврстоћама референтног цементног малтера.

- Највеће чврстоће при притиску је показала, без обзира на врсту биопепела, група малтера справљена са стандардним кварцним песком. Услед повећаног водовезивног фактора код малтера справљених са ситнозрним агрегатом за малтерисање и, последично, повећаног садржаја капиларних пора у структури материјала, чврстоћа при притиску малтера ове групе је смањена за сса 50% у односу на чврстоће малтера са другим врстама агрегата. Утицај количине биопепела на чврстоћу је миноран код ове групе малтера.
- На тренд упијања воде малтера значајан утицај има врста ситнозрног агрегата. При старости од 28 дана, највеће вредности упијања имају малтери са песком за малтерисање, а најмање са стандардним кварцним песком, као последица повећаног водовезивног фактора. Код малтера са кварцним песком и фракционисаним речним агрегатом, са повећањем учешћа биопепела, повећава се и вредност капиларног упијања, без обзира на врсту пепела. Супституција цемента пепелом нема значајан утицај на тренд капиларног упијања до нивоа 30%. Код малтера са ситнозрним песком за малтерисањем, утицај врсте и количине биопепела се не може прецизно дефинисати.

На основу анализе резултата испитаних својстава **узорака бетона** изведени су следећи најважнији закључци:

- Доминантан утицај на конзистенцију бетона има количина биопепела. Највеће слегање је регистровано код референтног цементног бетона. Са повећањем удела биопепела, слегање се смањује, односно бетон постаје крући. Ово се може објаснити већом потребом бетона за водом, због повећане специфичне површине биопепела.
- На чврстоћу при притиску бетона, доминантан утицај имају: врста крупног агрегата и степен хидратације цемента, односно пуцоланска реакција пепела од пшеничне сламе. Захваљујући добром пуцоланском својству пепела пшеничне сламе и већој финоћи млива материјала, чак и при старости од 28 дана, супституција цемента биопепелом нема значајан утицај на чврстоћу бетона при притиску. Са прогресом хидратације, бетони са биопепелом добијају на чврстоћи и прекорачују чврстоће референтних цементних бетона у оквиру групе са истом врстом крупног агрегата. Супституција природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона је, при свим старостима, утицала на смањење чврстоће при притиску бетона у односу на одговарајућу чврстоћу бетона са природним агрегатом. Ово је последица слабијих механичких карактеристика агрегата од рециклираног бетона, који у структури има доста везивне цементне матрице, у односу на карактеристике природног агрегата. Са развојем хидратације биопепела, при већим старостима бетона, ова разлика се смањује. У случају бетона са 10% и 20% пепела, чврстоћа бетона са крупним агрегатом од рециклираног бетона је прекорачила чврстоћу референтног бетона са природним агрегатом. При старости од 60 дана, сви бетони са биопепелом, без обзира на врсту примењеног агрегата, су имали чврстоћу при притиску већу од 50МПа, док су референтни цементни бетони достигли овај праг тек при старости од 90 дана. Истакнути бенефит се може приписати пуцоланској активности биопепела, али и квалитетнијој транзитној зони, под претпоставком да се биопепео понаша слично летећем пепелу у транзитној зони.
- Доминантан утицај на модул еластичности бетона има врста примењеног агрегата. Ниво супституције цемента биопепелом нема велики утицај на модул еластичности. Са повећањем процента замене природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона, вредности динамичких модула еластичности се смањују. Смањење модула еластичности бетона са већом количином рециклираног агрегата је последица повећане количине цементног камена у укупној запремини бетона и мањег модула еластичности цементног камена.
- Супституција дела цемента биопепелом има позитиван ефекат на упијање водом под притиском. Све врсте бетона са биопепелом су имале мању дубину продора воде од референтног цементног бетона. Ово се може приписати хемијској активацији хидратације цемента, али при старости од 60 дана, када је извршено испитивање, и пуцоланској реакцији биопепела. Супституција крупног природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона има значајан утицај на дубину продора воде при нивоу супституције 100%. Ово је резултат веће апсорпционе моћи агрегата од рециклираног бетона, који се састоји од зрна агрегата и

везивне матрице, у односу на природни агрегат. Супституцијом природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона, смањује се укупан запремински садржај агрегата, а повећава се запремина везивне компоненте, која се одликује већим садржајем капиларних пора и, последично, већим упијањем воде. Као резултат, бетони са агрегатом од рециклираног бетона имају већи капацитет упијања воде, што узрокује спорији продор воде у дубину бетона.

- Са повећањем нивоа супституције цемента биопепелом, повећава се и ширина отиска, при испитивању отпорности бетона на хабање. На отпорност бетона на хабање, значајан утицај има врста агрегата. Најмању ширину отиска, односно највећу отпорност на хабање, показали су бетони справљени са природним агрегатом. Ово је резултат бољих механичких својстава природног агрегата, у односу на агрегат од рециклираног бетона и смањене количине цементног камена. Имајући у виду да сви бетони имају ширину отиска у распону 20-23mm, што их класификује у II класу отпорности, може се закључити да биопепео нема значајан утицај на отпорност бетона на хабање.
- Супституција цемента биопепелом има позитиван утицај на скупљање бетона при сушењу. Са повећањем количине биопепела, вредности скупљања се смањују. Фине честице биопепела имају тенденцију држања воде, чиме се смањује садржај слободне воде у структури бетона, па, последично, и скупљање бетона при сушењу. Врста крупног агрегата има доминантан утицај на скупљање при сушењу бетона. Са повећањем удела крупног агрегата од рециклираног бетона, повећава се и скупљање при сушењу бетона. Ово је нарочито приметно код референтног цементног бетона. Код бетона са биопепелом, супституција природног агрегата са 50% агрегата од рециклираног бетона није имала велики утицај на скупљање при сушењу бетона. Код свих врста, без обзира на ниво супституције цемента биопепелом, бетони са 100% крупног агрегата од рециклираног бетона имају највеће скупљање при сушењу.

Са аспекта добијених резултата испитивања физичких и механичких својстава бетона, може се закључити да се пепео пшеничне сламе може успешно користити као замена дела цемента, чак и при нивоу супституције од 50% цемента, уз истовремену замену крупног агрегата агрегатом од рециклираног бетона, без нарушавања својстава референтног цементног бетона справљеног са природним агрегатом.

На основу анализе **еколошког импакта супституције цемента биопепелом** изведени су следећи најважнији закључци:

- Супституција цемента биопепелом води ка очувању природних сировина које се користе за производњу цементног клинкера: кречњака и глине, као и необновљивих извора енергије, првенствено фосилних горива (угаљ, деривати нафте, петролеум кокс).
- Анализом прикупљених података, процењена је количина од 5.000 тона биопепела, генерисаног сагоревањем жетвених остатака у АП Војводини, на годишњем нивоу. Одрживо коришћење ове врсте отпада и поновно враћање истог у производни циклус смањује количину отпада на депонијама, али и будуће таксе које Република Србија очекује, као кандидат за чланство у Европској Унији.
- Цементна индустрија је одговорна за сса 8% глобалне емисије CO₂. Супституција цемента биопепелом, као CO₂ неутралним горивом, би смањила емисију гасова стаклене баште који потичу из процеса производње цемента.
- Обични портланд цемента се одликују великим садржајем хрома, који потиче, углавном, од полазних сировина за производњу клинкера: 2-117 mg/kg. На основу анализе тока супстанци, утврђено је да се, са повећањем нивоа супституције цемента биопепелом, смањује и концентрација укупног хрома у везивној компоненти, чиме се вредност исте приближава граничној вредности за нехазардне материјале (70 mg/kg).
- Обични портланд цемента се одликују умереним садржајем арсена, који потиче, углавном, од полазних сировина за производњу клинкера: 25-712 mg/kg. Концентрација арсена референтног цемента задовољава критеријум за хазардне материјале, а концентрација код

везива у којем је 50% цемента супституисано биопепелом се приближава граници која је дефинисана за нехазардне материјале.

- Обични портланд цемента се одликују умереним садржајем олова, који потиче, углавном, од полазних сировина за производњу клинкера и горива: 5-254 mg/kg. Концентрација олова референтног цемента задовољава критеријум за хазардне материјале, а концентрација код везива у којем је 50% цемента супституисано биопепелом се приближава граници која је дефинисана за нехазардне материјале.
- Обични портланд цемента се одликују умереним садржајем кадмијума, који потиче, углавном, од полазних сировина за производњу клинкера и горива: 0,03-6 mg/kg. Концентрација кадмијума референтног цемента задовољава критеријум за нехазардне материјале, а концентрација код везива у којем је 50% цемента супституисано биопепелом се приближава граници која је дефинисана за инертне материјале.
- Концентрације тешких метала (кадмијум, жељезо, никл, манган, хром, арсен и бакар) у очврслим композитима: малтерима и бетонима се налазе у дозвољеним границама за инертне материјале. Супституција 50% цемента са биопепелом има позитиван утицај на концентрацију олова, па еко-бетон задовољава критеријум за инертне материјале са минималном концентрацијом олова.

На основу детаљно урађене анализе закључено је да се пепео пшеничне сламе може користити за справљање цементних композита: малтера и бетона, до нивоа супституције цемента од 50%, без угрожавања физичких и механичких својстава композита. Пепео мешавине пшеничне и сојине сламе се може користити за справљање малтерских мешавина, до нивоа супституције цемента од 30%, при чему нема значајнијег пада механичких својстава малтера.

Пепео пшеничне сламе се може користити као замена за део цемента, при истовременој супституцији природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона, при чему се добијају бетони задовољавајућих физичких и механичких својстава, упоредивих са својствима референтног цементног бетона са природним агрегатом. Позитиван ефекат примјене ове врсте биопепела као минералног додатка се може приписати хемијској активацији хидратације цемента и добрим пуцоланским својствима биопепела, као и остваривању добре везе између биопепела и агрегата од рециклираног бетона.

Будући да је справљен бетон са великим уделом биопепела, као заменом за део цемента од 50% и агрегатом од рециклираног бетона, као крупним агрегатом, показано је да се може произвести Еко конструкцијски бетон, на бази локално доступних отпадних материјала са задовољавајућим физичким и механичким својствима, који истовремено задовољавају и принципе одрживог развоја и заштите животне средине.

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 Слободана Шупића, комисија сматра да је она урађена систематично, да је добро структурирана и да је примењен адекватан научни приступ. Кроз анализу расположивости биомасе, као обновљивог извора енергије, потенцијала биопепела на подручју АП Војводине, те кроз анализу великог броја научних радова, саопштења и књига, везаних за примену биопепела у цементним композитима, формирана је квалитетна база података на основу које је дефинисан програм сопственог експерименталног истраживања. 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, математичке статистике и теорије вероватноће.

На основу анализе резултата истраживања могућности примене пепела пшеничне сламе и пепела мешавине пшеничне и сојине сламе као минералног додатка у малтерима и бетонима изведени су одговарајући закључци који су вредновани коришћењем научно признатих критеријума из анализираних литературе. Предложени су и правци даљих истраживања. Техничка обрада свих поглавља докторске дисертације је на високом нивоу. Дисертација је обogaћена хронолошки сложеним фотографијама које употпуњују слику о спроведеном експерименталном истраживању. Јасно написан текст је пропраћен квалитетним фотографијама, добро осмишљеним дијаграмима и табелама који доприносе бољој и јаснијој анализи добијених резултата. 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 истраживања имати примену у грађевинској пракси и у будућим научним истраживањима из ових области.

Текст дисертације је проверен и применом софтвера за детекцију плагијаризма (енгл. iThenticate). Степен подударности са другим публикацијама износи 21%. Тестирање је показало да докторска дисертација кандидата Слободана Шупића представља оригинално ауторско дело.

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 Слободана Шупића у складу са образложењима наведеним у пријави теме. Испоштован је програм истраживања, урађено је планирано експериментално истраживање, проверене су хипотезе и изведени адекватни закључци. У оквиру теоријско-истраживачког дела дисертације, у циљу боље припреме за анализу резултата сопственог експерименталног истраживања, спроведено је истраживање расположивости биопепела у АП Војводини, уз анализу услова сагоревања биомасе и генерисања предметног отпадног материјала, те је дат и преглед доступне литературе о примени пепела жетвених остатака у цементним композитима.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Докторска дисертација, на основу назива теме, садржаја, обраде и тумачења резултата истраживања, садржи све битне елементе који се захтевају при изради радова овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Докторска дисертација кандидата Слободана Шупића је оригинални теоријско-експериментални научни рад на тему примене пепела насталог сагоревањем жетвених остатака као активног минералног додатка у цементним композитима. Детаљном анализом досадашњих истраживања у области примене ове врсте отпадног материјала закључено је да је ова научна област недовољно истражена, нарочито када је у питању примена одабраних врста биопепела, као што су: пепео пшеничне сламе и пепео пшеничне и сојине сламе. У бетонима је, уз супституцију цемента биопепелом, коришћен и агрегат добијен уситњавањем рециклираног бетона, тако да се деловало двојако у еколошком погледу, и са аспекта везивне компоненте и пуниоца у бетонским мешавинама, чиме је направљен еко-материјал. На овај начин, предметна истраживања су високо цењена и у научној и у стручној јавности.

Научни допринос ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- Доказана је основна хипотеза докторске дисертације да се применом пепела пшеничне сламе и пепела мешавине пшеничне и сојине сламе, као замене за део цемента, одговарајућег хемијског састава, могу добити малтери и бетони, са задовољавајућим механичким карактеристикама, при чему врста и количина биопепела имају утицај на основна физичко-механичка својства композита.
- Дефинисан је утицај врсте и количине биопепела на основна својства малтера, као и утицај количине пепела пшеничне сламе и нивоа супституције природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона на основна својства новог бетона.
- Показано је да супституција дела цемента биопепелом има позитиван еколошки импакт, са аспекта: искоришћавања природних ресурса, смањења емисије CO₂ и садржаја тешких метала у цементним композитима, што је потврђено анализом тока материјала и тока критичних супстанци.
- Резултати експерименталног истраживања предметне докторске дисертације су дефинисали могућност примене две врсте пепела, генерисаних сагоревањем жетвених остатака пореклом из Војводине, у цементним композитима, чиме се обезбеђује одрживо управљање овом врстом отпада, заштита животне средине и даје нова употребна вредност овим производима у складу са принципима одрживог развоја у грађевинарству.
- Формиране су препоруке за пројектовање и производњу "еко" бетона у чији састав су укључени пепео пшеничне сламе и крупан агрегат добијен рециклирањем бетона. Заменом природног агрегата агрегатом од рециклираног бетона омогућено је очување природних налазишта агрегата и смањење депонија грађевинског отпада.
- У прилог научној оправданости теме и квалитета овог истраживања говори и признање добијено на светској конференцији у Стокхолму (Шведска), на којој је, у конкуренцији од 162 научна рада, рад кандидата о истраживању могућности примене биопепела у цементним композитима, проглашен за најбољи истраживачки рад.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

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

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана
- да се докторска дисертација враћа кандидату на дораду (да се допуни односно измени) или
- да се докторска дисертација одбија

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Председник: Мирослава Радека, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

Члан: Немања Станисављевић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

Члан: Иванка Нетингер-Грубеша, ванредни професор,
Грађевински и архитектонски факултет, Осијек

Ментор: Мирјана Малешев, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

Ментор: Властимир Радоњанин, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

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.