

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ БЕОГРАД			
ПРИМЛ. БРОЈ:		18 MAR 2015	
Својста	Број	Класиф.	Вредност
02	326/14-11	-	-

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Александра Савића**, дипл. инж. грађ., асистента-студента докторских студија

Одлуком бр. 326/13-11 од 27. фебруара 2015. год. именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Савића, дипл. инж. грађ. под насловом

**ИСТРАЖИВАЊЕ СВОЈСТАВА СВЕЖЕГ И ОЧВРСЛОГ САМОЗБИЈАЈУЋЕГ
БЕТОНА СА МИНЕРАЛНИМ ДОДАЦИМА НА БАЗИ ИНДУСТРИЈСКИХ
НУСПРОДУКАТА**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

08. новембар 2011. – Кандидат се обратио Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду са молбом (бр. 02 326) за одобрење израде докторске дисертације под насловом "**Истраживање својстава свежег и очврслог samozбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката**".

16. новембар 2011. – На Седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донета је Одлука (бр. 326/3) којом је одређена комисија за пријем теме докторске дисертације Александра Савића, дипл. грађ. инж. под насловом "**Истраживање својстава свежег и очврслог samozбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката**" у саставу: проф. др Драгица Јевтић, дипл. инж. техн., редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду, в. проф. др Татјана Воков-Хусовић, дипл. инж. техн., ванредни професор Технолошко-

металуршког факултета Универзитета у Београду и в. проф. др Снежана Маринковић, дипл.инж.грађ., ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

15. децембар 2011. – Комисија за пријем теме докторске дисертације поднела је Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду извештај (бр. 324/4) о прихватању теме докторске дисертације Александра Савића, дипл.грађ.инж. под насловом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"**.

23. децембар 2011. – На Седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донета је Одлука (бр. 326/5) којом се прихвата тема докторске дисертације Александра Савића, дипл.грађ.инж. под насловом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"**.

07. фебруар 2012. – Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 07.02.2012. године донело је Одлуку (бр. 06-55/13 МЦ) заведену на Грађевинском факултету под бројем 326/7-11 од 13.02.2012. о сагласности на предлог теме докторске дисертације.

21. март 2012. – На Седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донета је Одлука (бр. 326/8-11) којом се, на основу добијене сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета од 07.02.2012. године одобрава кандидату Александру Савићу, дипл.грађ.инж. рад на дисертацији, под насловом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"**. За менторе су именовани проф. др Драгица Јевтић, дипл.инж.техн. и проф. др Татјана Воков-Хусовић дипл.инж.техн.

13. фебруар 2015. – Кандидат је Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду поднео урађену докторску дисертацију под насловом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"**.

27. фебруар 2015. – На Седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донета је Одлука (бр. 326/13-11) којом се именује комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Савића, дипл.грађ.инж. под насловом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"** у саставу: проф. др Драгица Јевтић, дипл.инж.техн., редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду (у пензији), проф. др Татјана Воков-Хусовић, дипл.инж.техн., редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и проф. др Снежана Маринковић, дипл.инж.грађ., редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Подаци о току докторских студија кандидата:

30. октобар 2007. – Кандидат је уписао докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, смер грађевинарство.

26. септембар 2013. – Грађевински факултет Универзитета у Београду доноси Одлуку (бр. 326/10-11) којом се кандидату одобрава продужетак рока за завршетак докторских студија за период од два семестра, односно једне школске године (школска 2013-2014. година).

11. јул 2014. – Грађевински факултет Универзитета у Београду доноси Одлуку (бр. 326/11-11) којом се кандидату одобрава продужетак рока за завршетак докторских студија за још једну школску годину (школска 2014-2015. година).

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају области техничко-технолошких наука *Грађевинарство*, за коју је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду. Према Статуту Грађевинског факултета Универзитета у Београду, ужа научна област су *Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција*.

Ментор ове докторске дисертације, др Драгица Јевтић, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду (у пензији), објавила је већи број радова у међународним часописима, има 3 објављена рада у часописима на SCI листи, као и велики број радова саопштених на међународним и домаћим скуповима. Ментор, др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, објавила је већи број радова у међународним часописима, од чега 54 у часописима са SCI листе, као и велики број саопштења на међународним и домаћим скуповима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар Савић, дипл. грађ. инж. рођен је 25.04.1978. године, у Београду. Основну школу је завршио 1993. године, а гимназију 1997. године. Александар Савић је дипломирао 2004. године на Одсеку за конструкције са просечном оценом 8,70. Дипломски рад на тему "Идејни пројекат лучног моста са пројектом самозбијајућег бетона за горњи строј конструкције", одбранио је на Катедри за материјале и конструкције са оценом 10 (десет). За запажене резултате током студија награђиван је од стране Грађевинског факултета 1999. године, као и Наградом Амбасаде Краљевине Норвешке, 2002. године.

Као демонстратор на предмету Грађевински материјали активно је учествовао у припреми и извођењу вежбања од школске 2003/2004. године. Од септембра 2005. године, до јуна 2006. године служио је војни рок у Служби надзора Сектора за надзор и инвестиције

Београдског водовода и канализације, где је активно учествовао у решавању стручних проблема у грађевинској пракси. Након служења војног рока, радио је на Грађевинском факултету Универзитета у Београду као асистент-приправник, а од јануара 2013. као асистент-студент докторских студија.

Школске 2007/08. године Александар Савић је, као први студент на студијском програму Грађевинарство, уписао докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду. До краја календарске 2009. године кандидат је успешно савладао и положио девет испита са студијског програма (од осам предвиђених на почетку студија). Просечна оцена на докторским студијама кандидата је 10 (десет).

Израду докторске дисертације са темом "Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката" пријавио је 08. новембра 2011. године, а Наставно-научно веће Грађевинског факултета Универзитета у Београду одобрило је израду предметне дисертације 21. марта 2012. године.

У оквиру Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а пре свега у оквиру Института за материјале и конструкције (ИМК), Александар Савић је активно учествовао и у обављању бројних задатака из сарадње са привредом. Ово се, у првом реду, односи на лабораторијска испитивања великог броја грађевинских материјала; на том подручју делатности у потпуности је овладао методологијом не само стандардних, већ и методологијом испитивања са научно-истраживачким карактером. Као део тима, са колегама из института дао је свој допринос у изради запажених пројеката, експертиза, стручних мишљења и пројеката санације разних грађевинских конструкција. У оквиру акредитоване Лабораторије за материјале, од 2011. године ангажован је у својству Одговорног инжењера Лабораторије, а од 2014. и у својству Лица одговорног за квалитет.

У досадашњој пракси, кандидат је имао више од 30 стручних радова, углавном из области испитивања грађевинских материјала, испитивања и санације конструкција, као и технологије бетона.

Кандидат поседује пројектантску лиценцу број 310 Н748 09, диплому интерног проверача бр. QEIK-01 1449 према ISO 9001 и диплому интерног проверача бр. QEIK-01 3038 према ISO/IEC 17025.

Кандидат је као коаутор до сада публикувао више од 70 научних радова (од чега два у часописима са SCI листе) везаних за ширу проблематику грађевинских материјала и технологије бетона у оквиру научних и стручних часописа, односно на домаћим и међународним скуповима. Највећим делом, ови радови представљају резултат реализације бројних и веома разноврсних научно-истраживачких задатака обављаних у оквиру активности Института за материјале и конструкције, односно током учешћа у пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. До сада је учествовао у четири научно-истраживачка и технолошка пројекта Министарства:

- Истраживање савремених композитних материјала, технологија и производа на бази домаћих сировина са могућностима њихове примене у нашем грађевинарству (2005-2007);

- Развој и примена бетона побољшаних перформанси справљених на бази неорганских и органских везива у циљу техничко-технолошког унапређења домаћег грађевинског конструктерства (2008-2010);

- Истраживање савремених бетонских композита на бази домаћих сировина, са посебним освртом на могућности примене бетона са рециклираним агрегатом у бетонским конструкцијама (2008-2010);

- Истраживање могућности примене отпадних и рециклираних материјала у бетонским композитима, са оценом утицаја на животну средину, у циљу промоције одрживог грађевинарства у Србији (2011- 2014).

Кандидат користи опште и уже специјализоване рачунарске апликације. Поседује активно знање енглеског језика и служи се руским и немачким језиком.

Александар Савић је ожењен и отац једног детета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Александра Савића, написана је на 300 страна текста, подељеног у десет главних целина (поглавља), које садрже 61 табелу и 152 слике (од чега 103 дијаграма).

Ова докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Појава и историјат самозбијајућег бетона (SCC);
2. Аспекти примене, категорије и компоненте SCC;
3. Својства SCC у свежем стању;
4. Својства SCC у очврслом стању;
5. Методе пројектовања састава SCC;
6. Сопствена експериментална испитивања;
7. Испитивање SCC мешавина са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката;
8. Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у свежем стању;
9. Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у очврслом стању;
10. Закључна разматрања и правци даљих истраживања.

Списак референтне литературе садржи 320 референци. У прилогу су дати резултати SEM анализе репрезентативних узорака SCC мешавина. Поред тога, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику.

2.2. Кратак приказ појединих поглавља

Циљ истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљао је, пре свега, пројектовање, справљање и истраживање SCC мешавина бетона добрих физичко-механичких својстава, са додатком различитих индустријских нуспродуката (летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона и спрашеног сумпора), у строго контролисаним лабораторијским условима.

Веома важни подаци о феномену самозбијајућег бетона добијени су испитивањем његових физичко-механичких карактеристика, како у свежем, тако и у очврслом стању. Наиме, на основу важећих препорука у свету и код нас, испитане су деформабилност, покретљивост и стабилност свежег бетона, а испитана су и физичко-механичка својства очврслог бетона, у првом реду чврстоће (при притиску, при савијању, при затезању савијањем) као најбитнија својства у погледу примене.

Подаци садржани у оквиру дисертације представљају добру основу за препоруке о справљању, уграђивању и испитивању самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката у нашим условима.

Прво поглавље ("Појава и историјат самозбијајућег бетона (SCC)") написано је на 15 страна и садржи 6 слика (од чега четири дијаграма) и шест табела. У овом поглављу приказани су основни проблеми у вези са појмом одрживог развоја, у кратким цртама дат је приказ историјата и документованости самозбијајућег бетона, како у светским, тако и у домаћим оквирима. У најкраћим цртама приказани су и најважнији примери примене самозбијајућег бетона.

У **другом поглављу** ("Аспекти примене, категорије и компоненте SCC") на 47 страна обрађени су сви најважнији аспекти примене, категорије самозбијајућих бетона и њихове компоненте. Дате су економске предности примене бетона и однос компонената код традиционалног (нормално вибрираног) и самозбијајућег бетона. Изложене су специфичности у вези са употребом цемента, хемијских додатака, агрегата и воде у самозбијајућим бетонима. Ово поглавље садржи шест слика (од чега четири дијаграма) и осам табела.

У оквиру **трећег поглавља** ("Својства SCC у свежем стању"), на 30 страна су дефинисана својства по којима се он највише разликује од традиционалног бетона, набројане су методе испитивања (стандардне и нестандардне) и дате њихове међусобне везе. Такође, стање ствари у области експерименталних испитивања свежих SCC изложено је кроз резултате из релевантне литературе. У трећем поглављу дисертације се налази 18 слика (од чега три графика) и две табеле.

Преглед достигнућа на плану истраживања очврслих самозбијајућих бетона приказан је (заједно са прегледом одговарајућих релевантних метода и метода употребљених у оквиру дисертације) у **четвртном поглављу** ("Својства SCC у очврслом стању"). У првом делу поглавља дати су основни ставови из технологије бетона, који се односе на структуру и

састав очврслог бетона, као основне факторе који детерминишу сва физичко-механичка својства бетона у очврслном стању, као и његову трајност. Приказана су својства самозбијајућег бетона, на основу сазнања публикованих у часописима и књигама који се односе на дату проблематику. У кратким цртама описане су методе испитивања очврслог самозбијајућег бетона коришћене у овој дисертацији. Четврто поглавље има 26 страна, 15 слика (од чега три дијаграма) и једну табелу.

До данас није дефинисан обједињени и универзално прихваћен принцип пројектовања самозбијајућих бетона. Уместо тога, у различитим срединама, у зависности од постојећих норми, локалних услова и искуства истраживача, развиле су се различите методе пројектовања састава самозбијајућих бетона. Најважније методе приказане су у **петом поглављу** ("Методе пројектовања састава SCC") на 18 страна, са седам дијаграма и једном табелом.

Шесто поглавље ("Сопствена експериментална испитивања") садржи 26 страна, 18 слика (од чега десет дијаграма) и 13 табела. У овом поглављу изложени су циљеви и обим истраживања, на основу минералних додатака (летећи пепео, спрашени рециклирани бетон, спрашени сумпор) и фаза рада (допремање материјала, испитивања компонентних материјала, претходне пробе - истраживања, главна истраживања). Приказана је карактеризација компонентних материјала: агрегата, цемента, кречњачког брашна, летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона, спрашеног сумпора, воде и суперпластификатора. Приказани су резултати сопствених претходних испитивања на нивоу пасте, малтера и бетона. Дат је усвојени поступак справљања SCC мешавина, приказани су и дискутовани резултати претходних испитивања, са становишта дефинисања коначних мешавина за главна испитивања.

У **седмом поглављу** ("Испитивање SCC мешавина са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката") су на 24 стране садржани резултати испитивања свежих и очврслих SCC мешавина, спроведених у оквиру предметне дисертације (поткрепљени са осам слика и 24 табеле). Дати су састави и резултати испитивања (у свежем и очврслном стању) свих испитиваних SCC мешавина и то:

- Седам мешавина самозбијајућих бетона справљаних у циљу испитивања ефеката употребе летећег пепела на својства свежег и очврслог SCC (од чега су две мешавине справљане без летећег пепела, у циљу поређења испитиваних својстава). У оквиру ових испитивања вариран је садржај (0%, 10%, 20% и 50% укупне масе филера) и порекло летећег пепела (ТЕ "Колубара" и ТЕ "Костолац").
- Три мешавине самозбијајућих бетона справљене са спрашеним рециклираним агрегатом у садржају од 50% укупне масе филера (кречњачко брашно и спрашени рециклирани бетон), различитог порекла (од нормално вибрираног бетона, као и од бетона са два различита садржаја – 50% и 100% – крупног рециклираног агрегата), заједно са референтном мешавином, справљеном у циљу поређења.
- Четири мешавине самозбијајућих бетона справљене са различитим процентима спрашеног сумпора (2%, 5%, 10% и 20%), заједно са референтном мешавином справљеном у циљу поређења.

Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у свежем стању приказане су у **осмом поглављу** ("Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у свежем стању") на 32 стране, са 28 дијаграма. Ово поглавље подељено је у три под-целине, према употребљеном минералном додатку: летећем пепелу, спрашеном рециклираном бетону и спрашеном сумпору. Прво су анализирана и дискутована својства самозбијајућих бетона са летећим пепелом у својству минералног додатка, затим са спрашеним рециклираним бетоном и на крају са спрашеним сумпором. Осим основних својстава (запреминска маса, распрострањање слегањем, времена t_{500} и t_v , однос висина H_2/H_1 на крају и на почетку L-бокса, отпорност према сегрегацији, садржај увученог ваздуха), приказане су и корелативне везе између релевантних својстава (између запреминске масе и садржаја минералног додатка, између времена t_{500} и t_v и сл.). У случајевима када је то било могуће поређена су својства мешавина са летећим пепелом, спрашеним рециклираним бетоном и спрашеним сумпором у свежем стању.

Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у очврслном стању дате су у оквиру **деветог поглавља** ("Анализа и дискусија резултата испитивања SCC мешавина у очврслном стању") на 60 страна, са 46 дијаграма и 6 табела. Исто као и у претходном поглављу, и ово поглавље подељено је у три под-целине, према употребљеном минералном додатку: летећем пепелу, спрашеном рециклираном бетону и спрашеном сумпору. Прво су анализирана и дискутована својства самозбијајућих бетона са летећим пепелом у својству минералног додатка, затим са спрашеним рециклираним бетоном и на крају са спрашеним сумпором. Анализиран је и дискутован тренд промене чврстоће при притиску са временом код свих мешавина (укључујући и дијаграме који се односе на брзину прираста чврстоће при притиску), чврстоће при затезању цепањем, чврстоће при затезању савијањем, атхезије, недеструктивних испитивања и аспеката трајности бетона (у зависности од употребљеног минералног додатка спроведене су различите анализе и у различитом обиму, а подразумевале су отпорност на дејство мраза, отпорност на истовремено дејство мраза и соли за одмрзавање и водонепропустљивост). Скупљање је испитивано у мањем обиму, код четири серије самозбијајућег бетона са летећим пепелом, до старости од 180 дана. Структура самозбијајућих бетона је испитивана код репрезентативних узорака уз помоћ SEM микроскопа. У случајевима када је то било могуће поређена су својства мешавина са летећим пепелом, спрашеним рециклираним бетоном и спрашеним сумпором у очврслном стању.

У оквиру **десетог поглавља** ("Закључна разматрања и правци даљих истраживања") су на 22 стране сумирана закључна разматрања и изложени правци даљих истраживања који се на основу тих разматрања препоручују. Закључна разматрања дата су најпре за случај примене летећег пепела, затим за случај примене спрашеног рециклираног бетона и на крају за случај примене спрашеног сумпора у својству минералног додатка код самозбијајућег бетона. Закључци су нумерисани по целинама и прате анализу и дискусију резултата, који су приказани у оквиру претходна два поглавља. Након десетог поглавља у дисертацији се налазе литературни преглед и прилог.

Литературни преглед садржи 350 библиографских одредница на 14 страна и дат је према алфавитном редоследу.

У Прилогу су на 17 страна приказани резултати SEM анализе репрезентативних узорака SCC мешавина, са 20 графичких (фотографије репрезентативних делова узорака са означеним местима EDS анализа, спектралне анализе) и пет табеларних приказа (резултати EDS анализе по елементима), неопходних за комплетирање слике о испитивањима у овом сегменту.

Овде се још напомиње да је, у циљу испитивања својстава свежег и очврслог бетона током истраживања, за потребе израде предметне докторске дисертације укупно направљено и испитано 857 узорака различитих облика и димензија. Пројектовање, справљање и испитивање мешавина самозбијајућег бетона обављено је у Лабораторији за материјале Института за материјале и конструкције Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Развој хемијских додатака типа суперпластификатора, нарочито изражен кроз примену поликарбоксилата у периоду деведесетих година прошлог века, омогућио је лакше уграђивање бетона, пошто се малим дозирањем оваквог хемијског додатка могу смањити силе трења између чврстих честица, што за резултат даје покретљивије и обрадљивије бетоне (бетоне течнијих конзистенција) које је лакше уградити, уз задржавање исте количине воде. Екстраполацијом концепта употребе суперпластификатора у правцу добијања бетона течнијих конзистенција дошло се до концепта самозбијајућег бетона (*Self-compacting Concrete* - скраћено SCC). Самозбијајући бетон се може дефинисати као бетон, који без примене механичких средстава за уграђивање попуњава све углове оплате и узане просторе између густо распоређених шипки арматуре, само под дејством сопствене тежине, тако да се у завршној фази добије компактан бетон веће трајности. Према тренутно важећим препорукама, за успешно справљање SCC мешавина прашкастог типа неопходна је употреба финих прашкастих материјала (минералних додатака) који обухватају одређени спектар инертних, полуинертних и реактивних додатака, у првом реду кречњачког брашна, али и летећег пепела, силикатне прашине, спрашеног бетона, стакла итд, чији ефекти нису сасвим истражени. Употребом минералних додатака на бази индустријских нуспродуката постиже се и значајан еколошки ефекат, базиран на смањењу загађења животне средине и смањењу употребе цемента у бетону, уз постизање одговарајућих физичко-механичких карактеристика. Овај аспект даје значајан допринос тематици управљања чврстим отпадом. У оквиру дисертације експерименталним путем је истраживан утицај врсте и количине минералних додатака (летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона, спрашеног сумпора) на својства свежег и очврслог бетона и изведени су одговарајући закључци.

Коришћење домаћих ресурса и сировина је веома важна, а понекад запостављена област у истраживањима о чему сведочи и чињеница да је број објављених радова из ове проблематике мали, у поређењу са бројем радова који се односе на материјале уопште, као и вештачке сировине за њихову синтезу. У оквиру ове докторске дисертације дати су резултати истраживања са три минерална додатка, расположива у нашим условима, а то

су: летећи pepeo (пореклом из ТЕ Костолац и ТЕ Колубара), спрашени рециклирани бетон (добијен спрашивањем демолираног бетона из конструкције и бетонских коцки) и спрашени сумпор (добијен као нуспродукт у Рафинерији нафте Панчево).

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове докторске дисертације цитирано је 320 литературних навода. Већину навода чине радови публиковани у врхунским и водећим међународним часописима. Наведене референце односе се на дужи временски период, од друге половине прошлог века до данас и садрже значајан број референци новијег датума, као и резултате истраживања еминентних истраживача из области дисертације. Валидација и верификација резултата добијених у оквиру дисертације обављена је кроз поређење са резултатима истраживача из ове области објављеним у међународним часописима. Имајући у виду да је број радова, књига и других извора који је кандидат прегледао знатно већи од броја цитираних радова, као и чињеницу да је у питању тема којом се кандидат бавио дуги низ година, може се рећи да је кандидат показао познавање области и актуелног стања истраживања у њој.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Рад на наведеној теми реализован је истовременом применом приступа ослоњеног на податке добијене из литературе и практичног приступа, заснованог на сопственим резултатима оствареним у оквиру експерименталних истраживања. Такође, извршена је анализа, систематизација и компарација добијених резултата са подацима из литературе, као и њихова синтеза и интерпретација у смислу практичне примене. При овоме су коришћене уобичајене методе нумеричке анализе и математичке статистике.

У циљу остваривања задатака постављених у оквиру израде дисертације коришћене су стандардне и (још увек) нестандардизоване експерименталне методе, уобичајене за карактеризацију компонентних материјала и за утврђивање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона. У питању су следеће експерименталне методе:

За испитивање компонентних материјала:

- одређивање физичких, механичких, хемијских и геометријских својстава агрегата;
- одређивање запреминске масе агрегата у растреситом и збијеном стању;
- одређивање гранулометријског састава агрегата методом сувог сејања;
- одређивање садржаја ситних честица у агрегату методом мокрог сејања;
- хемијска анализа компонентних материјала;
- одређивање структуре узорака (SEM и EDS анализа) компонентних материјала;

За испитивање пасте и малтерске компоненте самозбијајућег бетона:

- одређивање релативног распрострањања методом малог конуса;

За испитивање свежег самозбијајућег бетона:

- одређивање температуре ($^{\circ}\text{C}$) свежег бетона;
- одређивање садржаја увученог ваздуха (%) у свежем бетону;
- одређивање запреминске масе (kg/m^3) свежег бетона;
- одређивање распрострањања слегањем (cm) SCC мешавина;
- одређивање времена t_{500} (s) SCC мешавина;
- одређивање времена V-левка t_V (s) SCC мешавина;
- одређивање односа висина на почетку и на крају L-бокса (H_1/H_2) SCC мешавина;
- одређивање фактора сегрегације (%) SCC мешавина;

За испитивање очврслог самозбијајућег бетона:

- одређивање чврстоће при притиску;
- одређивање чврстоће при затезању цепањем путем линијског притиска;
- одређивање чврстоће при затезању савијањем са једном силом у средини распона;
- испитивање "pull-off" методом;
- одређивање статичког модула еластичности;
- одређивање брзине ултразвука кроз очврсли бетон;
- одређивање динамичког модула еластичности;
- одређивање динамичког Поасоновог коефицијента;
- испитивање трајности бетона (продирање воде под притиском, дејство мрза, дејство мрза и соли);
- испитивање скупљања очврслог бетона;
- одређивање структуре узорака (SEM и EDS анализа) очврслог бетона.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања приказани у овом раду имају велики значај за практичну примену у градитељству. Треба поменути и то да је у светским оквирима употреба летећег пепела (била она стимулирана регулативама или не) значајно већа него у Србији и износи око 90% произведеног летећег пепела. У том смислу, резултати предметних испитивања имају троструки значај: демонстрацију применљивости SCC мешавина у нашим условима, увид у позитивна својства SCC мешавина са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката и актуелизацију примене ових додатака, нарочито када та примена доводи до позитивних ефеката, што је у првом реду случај код летећег пепела. У оквиру дисертације приказани су и систематизовани постојећи резултати доступни из литературе, обогаћени резултатима сопствених испитивања. Ови резултати представљају добру базу података за даља истраживања на пољу самозбијајућих бетона.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални рад

У току израде ове докторске дисертације, кандидат је потпуно оспособљен да самостално и критички обави литературни преглед, сагледа поставку проблема, направи избор одговарајућих метода, затим да анализира добијене резултате, као и да донесе одговарајуће

закључке. Током израде дисертације, кандидат је дошао до значајних закључака у вези са својствима самозбијајућих бетона у свежем и очврслом стању и унапредио постојећу базу података везану за карактеризацију и оптимизацију састава самозбијајућег бетона. Кандидат поседује све квалитете неопходне за научно-истраживачки рад и самосталну презентацију добијених резултата.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати добијени у оквиру ове дисертације дају значајан допринос систематизацији и тумачењу досадашњих сазнања у вези са самозбијајућим бетонима. Научни допринос резултата истраживања остварених у оквиру ове докторске дисертације могао би се приказати као:

- Систематизација доступних података у вези са релевантним испитивањима самозбијајућих бетона;
- Примена индустријских нуспродуката доступних у Србији у самозбијајућем бетону и истраживање ефеката њихове употребе у вези са својствима свежег и очврслог бетона, као и у вези са аспектима трајности;
- Обављена су бројна и сложена експериментална истраживања својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона и остварена је добра корелација између мерених и рачунских вредности посматраних параметара;
- Проширивање базе података у вези са својствима самозбијајућих бетона у свежем и очврслом стању, на основу опсежних испитивања физичко-механичких својстава;
- Формирање функционалних зависности између најважнијих својстава истраживаних самозбијајућих бетона и поређење са резултатима доступним у литератури;
- Параметарска анализа утицаја различитих минералних додатака на физичко-механичка својства самозбијајућих бетона, као и међусобно поређење ових додатака;
- Дефинисање аналитичких израза којима су формиране релације између релевантних својстава самозбијајућег бетона, у зависности од истраживаних параметара (порекла и количине минералног додатка), што даје основ за теоријску анализу перформанси предметних композита, али и прогнозу њиховог понашања у реалним условима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У складу са опредељењем за имплементацију и промоцију одрживог развоја у области градитељства, са једне, као и потребом за бољим сагледавањем феноменологије употребе различитих минералних додатака на бази индустријских нуспродуката као компонентног материјала у самозбијајућим бетонима (Self-Compacting Concrete, краће SCC), у склопу

дисертације су приказана испитивања SCC мешавина у свежем и очврслном стању, у циљу оптимизације својстава ових бетона.

Резултати обављених испитивања се односе на праћење утицаја замене дела филера на сва три својства свежег SCC: способност течења, способност проласка и отпорност према сегрегацији, док је у очврслном стању сакупљен, анализиран и дискутован велики број података у вези са утицајем замене дела филера на чврстоћу при притиску, чврстоћу при затезању цепањем, чврстоћу при затезању савијањем, адхезију, статички и динамички модул еластичности, итд.

Испитивања самозбијајућих бетона у свежем стању дала су увид у утицај употребе летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона и спрашеног сумпора на: запреминску масу свежег бетона, способност течења, способност проласка и отпорност према сегрегацији. Тако, на пример, распростирање слегањем генерално опада са повећањем процента замене кречњачког брашна летећим пепелом (3-13%), односно спрашеним рециклираним бетоном (4-9%), док употреба спрашеног сумпора води повећању распростирања слегањем (2-8%). Даље, способност течења мерена временом t_{500} и t_v опада у значајнијој мери у случају употребе летећег пепела (t_{500} : 90-322%, тј. t_v : 63-180%) него у случају употребе спрашеног рециклираног бетона (t_{500} : 72-82%, тј. t_v : 17-36%), док су у случају употребе спрашеног сумпора разлике у односу на референтну SCC мешавину мале (t_{500} : -1-30%, тј. t_v : -16-8%). Отпорност према сегрегацији донекле расте са повећањем количине летећег пепела и спрашеног рециклираног бетона у својству замене дела кречњачког брашна, док у случају употребе спрашеног сумпора донекле опада. Запреминска маса самозбијајућег бетона опада у случају употребљених минералних додатака у својству замене дела кречњачког брашна и то око 0.5% са сваких 10% повећања количине летећег пепела, око 0.3% са сваких 10% повећања количине спрашеног рециклираног бетона, односно највише 0.9% са 20-процентном заменом кречњачког брашна спрашеним сумпором. Садржај увученог ваздуха благо расте у случају употребе летећег пепела и спрашеног рециклираног бетона, односно благо опада у случају употребе спрашеног сумпора у својству замене дела кречњачког брашна у самозбијајућим бетонима.

На основу резултата испитивања физичко-механичких својстава самозбијајућих бетона у очврслном стању квантификован је ефекат употребе примењених индустријских нуспродуката (летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона и спрашеног сумпора) на ова својства. У том смислу може се рећи да је до пораста чврстоће при притиску мешавина довело повећање количине летећег пепела у самозбијајућем бетону (13-16% при старости од 28 дана, односно 6-15% при старости од 180 дана), док је употреба спрашеног рециклираног бетона и спрашеног сумпора довела до пада чврстоће при притиску при старости од 28 дана у износу од 0.6-4.5% и 0.3-11.9%, респективно. Слични ефекти су забележени код испитивања чврстоће при затезању цепањем, чврстоће при затезању савијањем једном силом у средини распона и код испитивања адхезије челичног печата за бетонску подлогу. Вредности динамичког модула еластичности при старости од 28 дана код самозбијајућих бетона су нешто више у случају употребе летећег пепела (1-5% више) и спрашеног сумпора (0.1-8.8% више), и ниже у случају употребе спрашеног рециклираног бетона (1.8-3.5% ниже). Употреба поменутих индустријских нуспродуката у својству минералног додатка код самозбијајућих бетона није значајно утицала на промену брзине ултразвука при старости од 28 дана; наиме, 28-дневна брзина ултразвука је 0.2-1.4% виша

у случају употребе летећег пепела, затим 0.3-0.5% виша у случају употребе спрашеног рециклираног бетона и 0.5-1.5% виша у случају употребе спрашеног сумпора.

Вредан допринос овог рада лежи и у добијеним резултатима који се односе на процену трајности, на основу испитивања отпорности на дејство мраза, отпорности на симултано дејство мраза и соли и водонепропустљивости, у обиму детерминисаном врстом и количином примењених минералних додатака. Испитивање водонепропустљивости на самозбијајућим бетонима са летећим пепелом и спрашеним рециклираним бетоном показало је да су ови бетони (са максималним продором воде од 19 mm) практично водонепропустљиви, а да самозбијајући бетони са летећим пепелом могу издржати 150 циклуса (са падом чврстоће при притиску 8-9%) и 200 циклуса (са падом чврстоће при притиску 11.5-14%) испитивања отпорности на дејство мраза.

Резултати су поређени са доступним подацима из литературе, обављене су одговарајуће анализе и нумерички прорачуни и изведени су вредни закључци у смислу карактеризације самозбијајућих бетона.

Имајући у виду све речено, у смислу степена остварености планираних циљева, може се рећи да је кандидат у потпуности испунио претходно предвиђен план испитивања и остварио потребне резултате у смислу обима испитивања у овој дисертацији.

4.3. Верификација научног доприноса

Кандидат има два рада објављена у часописима са SCI листе:

Рад у међународном часопису (M23)

1. Jevtić D., Zakić D., Savić A.: Investigation of cement based composites made with recycled rubber aggregate, *Hemijska Industrija* 66 (4) 609–617 (2012)
2. Ignjatović, I., Marinković, S., Mišković, Z., Savić, A.: Flexural behavior of reinforced recycled aggregate concrete beams under short-term loading, *Materials and Structures*, Volume 46 (6) 1045-1059 (2013)

Из области у вези са докторском дисертацијом су до сада публиковани следећи радови:

1. Група радова M20

Рад у часопису међународног значаја верификованом посебном одлуком (M24)

1. Jevtić D., Zakić D., Savić A., Radević A.: Properties modeling of cement composites of fly ash, *Materials Protection*, LV, pp. 39-44, (2014)

2. Група радова М30

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (М31)

1. Jevtić D., Zakić D., Savić A.: Cementitious Composites Made With Fly Ash - A Contribution To The Sustainable Civil Engineering, 14th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI Topola, Serbia, Editor: Predrag V. Dašić, Publisher: SaTCIP (Scientific and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., pp. 83-92, Invitation paper, (2014)

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)

1. Jevtić D., Mitrović A., Savić A.: Experimental investigation of fly ash content influence on cement mortars properties, 2nd International Symposium on Environmental and Material Flow Management, Zenica, Bosnia and Hercegovina, Proceedings, pp. 83-88, (2012)

2. Jevtić D., Zakić D., Savić A., Radević A.: The influence of fly ash on basic properties of mortar and concrete, Scientific conference Planing, design, construction and building renewal, Novi Sad, pp. 614-620, (2012)

3. Jevtić D., Markićević J., Savić A.: Fly Ash Influence on Certain Properties of Concrete Composites, 6th International Conference "Science and Higher Education in Function of Sustainable Development" SED, Užice, Serbia, Proceedings CD, pp. 3-13 – 3-17, Publisher: High Business-Technical School (Užice), (2013)

4. D. Jevtić, A. Savić, G. Broćeta, Fiber reinforced self-compacting concrete – possibility of modeling properties, Sixth International Scientific Conference Contemporary materials 2013, 4-6. Jul 2013., Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Book of Abstracts, pp. 26. , Zbornik radova, Naučni skup Savremeni materijali, 2014., pp. 473-482.,

5. D. Jevtić, G. Broćeta, A. Savić, Projektovanje mješavina samozbijajućih betona, Sixth International Scientific Conference Contemporary materials 2013, 4-6. Jul 2013., Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Book of Abstracts, pp. 27., Zbornik radova, Naučni skup Savremeni materijali, 2014., pp. 497-514.,

6. Jevtić D., Savić A., Radević A.: Fly ash influence on concrete composites - Contribution to sustainable construction, 15. YuCorr, Tara, Knjiga radova, pp. 235-238, (2013)

7. Jevtić D., Savić, A.: Investigation of fly ash influence on cement mortars properties, Proceedings of the 1st International Academic Conference "Places and Technologies", Beograd, April 3-4. 2014, pp.701-708., editors Eva Vaništa Lazarević et. al, Publisher: University of Belgrade - Faculty of Architecture, (2014)

8. Jevtić, D., Savić, A.: Fiber reinforced Self-compacting concrete made with fly ash – a contribution to the sustainable civil engineering, International Symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures, Society for materials and structures testing of Serbia, XXVI Congress DIMK, Vrnjačka banja, Proceedings, pp. 183-190., Publisher: Society for materials and structures testing of Serbia, (2014)

9. Jevtić D., Savić A.: Impact strength evaluation of rubberized fiber reinforced SCC, Proceedings of the RILEM International workshop on performance-based specification and control of concrete durability, Proceeding PRO 89, Edited by Dubravka Bjegović, Hans Beushausen, Marijana Serdar, Zagreb, Croatia, 11-13. Publisher: RILEM Publications S.A.R.L., pp. 641-646, (2014)

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

1. Jevtić D., Zakić D., Savić A.: Achieving sustainability of concrete by recycling of solid waste materials, Mechanical Testing and Diagnosis, Volume 1, pp. 22-39., (2012)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Разматрана дисертација урађена је у складу са темом на коју је релевантно Стручно веће Универзитета у Београду дало своју сагласност.

Структура предате и прегледане докторске дисертације у потпуности одговара савременој форми озбиљних научно-истраживачких радова. Дисертација се састоји из целина које имају природан и логичан след, водећи систематски читаоца од упознавања са проблематиком самозбијајућих бетона, преко релевантних метода и поступака испитивања, па све до анализе добијених експерименталних резултата и формулације одговарајућих закључака у вези са тим.

Предмет и циљеви истраживања су јасно наведени, остварени резултати и допринос истраживању су верификовани кроз одговарајући број публикација.

Резултати истраживања у оквиру докторске дисертације кандидата Александра Савића, дипл. инж. грађ. доприносе повећавању нивоа знања, као и проширивању постојећих база експерименталних података у вези са технологијом и испитивањем самозбијајућих бетона, са нагласком на ефектима употребе минералних додатака на бази индустријских nusprodуката: летећег пепела, спрашеног рециклираног бетона и спрашеног сумпора. Такође, важан допринос ове дисертације је и у смислу одрживог градитељства и заштите животне средине.

Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме вредновања докторске дисертације на Универзитету у Београду. Такође је констатовано да докторска дисертација представља оригинални научни допринос у области техничко-технолошких наука *Грађевинарство*, ужа научна област: *Грађевински материјали, технологија бетона и испитивање конструкција*. Имајући у виду квалитет и

обим остварених резултата, као и њихов научни допринос, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију и предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду, да докторску дисертацију под називом **"Истраживање својстава свежег и очврслог самозбијајућег бетона са минералним додацима на бази индустријских нуспродуката"** кандидата Александра Савића, дипл. инж. грађ. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

Комисија



1. Проф. др Драгица Јевтић, редовни професор, ментор, Грађевински факултет, Универзитет у Београду (у пензији)



2. Проф. др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор, ментор, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду



3. Проф. др Снежана Маринковић, редовни професор, Грађевински факултет, Универзитет у Београду

Београд, 18.03.2015. год.