

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије

Одлуком бр. 35/166 од 26.06.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, под називом:

„Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“

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

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

24.03.2009. Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета кандидат Звездана Башчаревић је уписана у други семестар докторских академских студија, смер Хемијско инжењерство (прелазак са магистарских студија), под менторством др Раде Петровић, редовног професора.

21.01.2013. Кандидат Звездана Башчаревић, дипл. инж. технологије, предложила је Технолошко-металуршком факултету тему за израду докторске дисертације под називом: „Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“.

31.01.2013. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације.

28.02.2013. На седници Наставно-научног већа Факултета донета је Одлука о одобрењу теме докторске дисертације кандидата. За коменторе ове докторске дисертације именовани су др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду и др Мирослав Комљеновић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

15.04.2013. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, под називом „Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“.

26.06.2014. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета у Београду одобрило је продужење рока за завршетак докторских студија Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, бр. индекса 4039/2008, за још два семестра – до 30.09.2015.

26.06.2014. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије.

18.12.2014. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета дата је сагласност за продужење рока за подношење Извештаја Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Коментори др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду и др Мирослав Комљеновић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, су на основу објављених публикација и искуства компетентни да руководе изразом ове докторске дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Звездана Башчаревић рођена је 18.04.1977. године у Краљеву, где је завршила основну и средњу школу. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, Одсек за неорганску хемијску технологију, уписала је школске 1996/1997. године. Дипломирала је 01.10.2002. године са просечном оценом током студија 8,29.

Магистарске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је 2002. године, а од марта 2009. године уписана је на докторске студије на истом факултету, смер Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија са просечном оценом 9,75 и одбранила завршни испит под називом „Синтеза и својства геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ са оценом 10.

Од 01.08.2003. запослена је у Центру за мултидисциплинарне студије Универзитета у Београду (сада Институт за мултидисциплинарана истраживања). Звање истраживач-приправник стакла је 14.03.2006. У звање истраживач-сарадник изабрана је 03.07.2009., а реизабрана 09.05.2012. године. У досадашњем раду учествовала је у реализацији три национална пројекта у оквиру програма технолошког развоја (МНТ.2.06.0053.В/2, ТР6720Б и ТР19001) и пет међународних пројеката: једног из Петог оквирног програма Европске Уније (FP5, пројекат „REINTRO“) и четири пројекта из Еурека програма (Е!2936, Е!3688, Е!3824 и Е!5415). Тренутно је ангажована на два пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: ТР34026 и ИИИ45012 и једном међународном пројекту из COST програма: COST TU1301.

Област научно-истраживачког рада Звездане Башчаревић је наука о материјалима, а ужа област истраживања је употреба индустријског минералног отпада за синтезу грађевинских материјала. Актуелне активности Звездане Башчаревић везане су за синтезу и испитивање својстава нове врсте везива на бази електрофилтерског пепела термоелектрана.

Звездана Башчаревић је аутор и коаутор укупно 54 рада који су публиковани у научним часописима и саопштени на научним скуповима. Од тога, 13 радова публиковано је у врхунским научним часописима међународног значаја (М21) и 1 у научном часопису међународног значаја (М23). Из области истраживања из које је предложена тема докторске дисертације до сада је објављено 8 радова у врхунским научним часописима међународног

значаја (M21), а 9 радова је саопштено на скуповима међународног значаја (M33). Аутор је и једног поглавља (M14) у монографији међународног значаја.

На скупу "3<sup>rd</sup> Serbian Congress for Microscopy", одржаном од 25. до 28. септембра 2007. године у Београду, освојила је награду за најбољи постер. Такође, награду за најбољи постер добила је и на скупу "MC2009 Microscopy Conference" одржаном од 30. 08. до 04. 09. 2009. године у Грацу, Аустрија.

У оквиру рада на пројекту из Петог оквирног програма Европске Уније 2006. године боравила је 7 недеља на Универзитету Фридрих Шилер у Јени, Немачка, ради истраживачког рада и стручног усавршавања. Такође, у оквиру ангажовања на пројекту COST TU1301 провела је 3 недеље током 2014. године на Универзитету у Лувену, Белгија, радећи на истраживањима везаним за синтезу и карактеризацију везива на бази електрофилтерског пепела.

Члан је Српског друштва за микроскопију, Друштва за керамичке материјале Србије и Зеолитског друштва Србије.

Говори течно енглески, а служи се и немачким језиком.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, под називом „Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ написана је на укупно 191 страна и садржи 6 поглавља, 73 слике (графичка приказа), 21 табелу и 199 литературних навода. Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментална процедура, Резултати и дискусија, Закључци и Литература. Дисертација садржи и изводе на српском и енглеском језику, изјаве захвалности и 5 прилога (укључујући 3 обавезна прилога, тј. изјаве).

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У Уводу дисертације дата су основна разматрања значаја примене геополимера - везива на бази алкално активираниог електрофилтерског пепела термоелектрана, као алтернативног везивног материјала, тј. замене за портланд-цемент. Приказане су предности примене новог везивног материјала, пре свега са аспекта заштите животне средине, односно снижавања емисије CO<sub>2</sub> и смањења потрошње природних сировина. Представљени су основни проблеми до којих доводи хемијска корозија хидратисаног портланд-цемента и истакнут је значај испитивања хемијске корозије геополимера. На крају поглавља укратко су дати предмет и основни научни циљеви докторске дисертације.

У Теоријском делу дато је разјашњење терминологије која се користи за описивање везива насталих алкалном активацијом алумосиликатних материјала, као и мотиви за развој и ширу примену технологије производње геополимера. Описане су методе за синтезу геополимера, процеси који се одвијају током реакције геополимеризације, као и структура и својства геополимера. Истакнута је комплексност реакције геополимеризације - алкалне активације електрофилтерског пепела термоелектрана. Посебан осврт је направљен на значај што опсежније карактеризације структуре геополимера, јер током реакције алкалне активације електрофилтерског пепела долази до конверзије аморфне фазе присутне у полазном материјалу у аморфни производ реакције, алкални алумосиликатни гел геополимера. Дат је преглед основних врста хемијске корозије хидратисаног портланд-цемента. Детаљно су описани процеси који доводе до корозије портланд-цемента услед излуживања, као и методе испитивања ове врсте корозије. Приказан је преглед доступне научне литературе на тему

корозије геополимера услед излуживања. Такође, наведени су механизми сулфатне корозије хидратисаног портланд-цемента и дискутоване методе за испитивање отпорности на дејство раствора сулфата. Дат је преглед литературних података о испитивањима сулфатне корозије геополимера. На крају поглавља детаљно су образложени основни научни циљеви докторске дисертације.

У поглављу Експериментална процедура наведени су материјали који су коришћени у току истраживања. Као полазни материјали за синтезу геополимера коришћени су узорци електрофилтерског пепела (ЕФП) из три термоелектране у Србији (ЕФП Свилајнац, ЕФП Костолац и ЕФП Колубара). Описане су лабораторијске процедуре на основу којих је извршена оптимизација услова синтезе геополимера на бази ЕФП, као и синтеза узорака геополимера за испитивање отпорности на дејство раствора амонијум-нитрата,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , и натријум-сулфата,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Детаљно су описани услови под којима је испитиван утицај раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП. Испитивање утицаја концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ( $480 \text{ g/dm}^3$ ) и раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $50 \text{ g/dm}^3$ ) вршено је у периоду од 18 месеци. Наведене су инструменталне методе коришћене током експерименталног рада, као и услови рада за конкретну инструменталну методу.

У поглављу Резултати и дискусија приказани су резултати добијени у експерименталном раду у овој докторској дисертацији, њихова анализа и дискусија, као и поређење са подацима из литературе. Поглавље Резултати и дискусија састоји се из 6 потпоглавља: Избор оптималних услова синтезе геополимера, Својства полазних узорака ЕФП, Својства полазних узорака геополимера на бази ЕФП, Утицај раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП, Утицај раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП и Упоредна анализа утицаја раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП. У првом потпоглављу су приказани резултати оптимизације услова синтезе геополимера. Испитиван је утицај времена и температуре реакције, као и гранулометријског састава ЕФП, на механичка својства добијених геополимера. На основу добијених резултата, утврђени су оптимални услови синтезе геополимера на бази ЕФП. У другом потпоглављу дати су резултати хемијске, физичке и минералошке карактеризације узорака ЕФП који су током даљег експерименталног рада коришћени као полазни материјали за синтезу геополимера. У оквиру трећег потпоглавља, дискутован је утицај својстава полазних узорака ЕФП на својства добијених геополимера. Утврђено је да су алкалном активацијом ЕФП са већим уделом ситнијих честица и мањим уделом кристалних фаза у структури добијени узорци геополимера веће чврстоће и мање порозности. У четвртном потпоглављу, анализиран је утицај раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП. Показано је да је утицај раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на механичка својства геополимера синтетисаних од три различита узорка ЕФП био врло сличан. Утврђено је да је до највећег смањења чврстоће на притисак (14-23 %) дошло након првих 28 дана испитивања, после чега је уочена стагнација или чак благо побољшање чврстоће узорака геополимера. Структурне промене до којих је довело излагања геополимера на бази ЕФП дејству раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  детаљно су анализирани на узорцима геополимера припремљеним од ЕФП Свилајнац, док су резултати испитивања структуре геополимера на бази друга два узорка ЕФП приказани у Прилогу 1. Показано је да је излагање геополимера на бази ЕФП дејству раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  довело до раскидања Si-O-Al веза у структури алумосиликатног гела геополимера и појаве дефеката у структури. Дефекти у структури, настали раскидањем Si-O-Al веза, попуњавали су се јонима силицијума, услед чега је дошло до формирање структуре богате силицијумом. Посебан допринос дефинисању механизма утицаја концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на структуру и својства геополимера на бази ЕФП дала је анализа резултата нуклеарне магнетне резонанце ( $^{29}\text{Si}$  НМР и  $^{27}\text{Al}$  НМР спектроскопија чврстог стања). У петом потпоглављу приказани су резултати испитивања утицаја раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера на бази ЕФП. У овом потпоглављу, дискутован је утицај излагања дејству

раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства геополимера на бази сва три узорка ЕФП, док су промене у структури геополимера испитиване на узорцима геополимера на бази ЕФП Свилајнац и ЕФП Колубара. Структурне промене до којих је довело излагање геополимера на бази ЕФП Костолац дејству раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  приказане су у Прилогу 2. Утврђено је да је излагање узорака геополимера на бази ЕФП дејству раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  довело до малог смањења чврстоће на притисак узорака геополимера (око 10 %). Показано је да је смањење чврстоће на притисак узорака геополимера последица раскидања Si-O-Si веза и излуживања Si из алумосиликатног гела геополимера. Закључено је да је излуживање Si последица пораста pH вредности раствора сулфата, тј. примењених услова испитивања. Претпостављено је да су примењени услови тестирања заслужни и за уочено повећање чврстоће на притисак малтера геополимера током испитивања у дужем временском периоду. У шестом потпоглављу укратко су упоређени резултати који су добијени испитивањем утицаја раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП. Добијени резултати дискутовани су са аспекта отпорности геополимера на хемијску корозију у ширем смислу и дате су препоруке за даља истраживања.

У поглављу Закључци сумирани су најзначајнији закључци проистекли из рада на овој дисертацији.

У шестом поглављу дата је Литература, која садржи све референце цитиране у раду.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања везана за синтезу, структуру, својства и примену геополимера су у последњих неколико година веома актуелна у области грађевинских материјала. Иако су геополимери детаљно проучавани, сматра се да ширу примену ових материјала успорава недостатак података о трајности, пре свега о својствима и понашању материјала при дужој експлоатацији и у агресивним условима.

У доступној научној литератури, нема података о испитивању утицаја концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП. Раствори амонијум-соли су међу најагресивнијим агенсима за бетон на бази портланд-цемента. Концентровани раствор амонијум-нитрата користи се за убрзани тест утицаја процеса декалцификације на структуру и својства портланд-цемента. Декалцификација је процес при коме долази до разлагања портландита (калцијум-хидроксида) и калцијум-силикохидрата из структуре хидратисаног портланд-цемента, што је праћено значајним променама физичко-механичких карактеристика. С обзиром на то да геополимери на бази ЕФП не садрже ни калцијум-хидроксид ни калцијум-силикохидрате, очекивано је да геополимери поседују већу отпорност на дејство амонијум-нитрата. Концентровани раствор амонијум-нитрата који је коришћен у овој докторској дисертацији има pH вредност око 4, која је приближна pH вредности киселих киша.

Сулфатни јони присутни у води или земљишту које окружује неку бетонску конструкцију могу озбиљно угрозити њену структуру. Литературни подаци, везани за испитивање утицаја раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера су показали да су геополимери најчешће отпорни на такву врсту хемијске корозије. Међутим, у одређеном броју случајева примећено је да ипак долази до неког облика хемијске корозије, при чему су, генерално посматрано, структурне промене биле недовољно истражене У литератури је утицај раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на структуру геополимера често испитиван методама скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ) и инфрацрвене спектроскопије (ИЦС). У овој докторској дисертацији, посебна пажња посвећена је испитивању промена у структури геополимера изазваних излагањем дејству раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  методом нуклеарне магнетне резонанце (НМР).

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је укупно 199 референци. Око 75 % референци цитираних у овој докторској дисертацији представљају научни радови публиковани у последњих неколико година, што указује на актуелност теме ове докторске дисертације. Највећи број цитираних радова чине радови из међународних часописа са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Међу цитираним референцама заступљен је и релативно велики број међународних монографија, прегледних радова, домаћих и страних уџбеника из области грађевинских материјала, хемије портланд-цемента, геополимера и хемијске корозије грађевинских материјала. Надаље, разматрани су и научни радови о материјалима чија је структура слична структури геополимера, као што су зеолити и алумосиликатна стакла.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Хемијски састав полазних узорака ЕФП одређен је методом енергетско дисперзивне рендгенско флуоресцентне спектроскопије.

Испитивање чврстоће малтера геополимера извршено је у складу са стандардом SRPS EN 196-1, који се односи на портланд-цемент, уређајем за одређивање чврстоће малтера на бази портланд-цемента.

Порозност узорака малтера одређивана је методом адсорпције-десорпције азота.

Током испитивања утицаја концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ( $480 \text{ g/dm}^3$ ) на својства и структуру геополимера, узорци су били потпуно потопљени у раствор, при масеном односу раствор / материјал 4 и на температури од  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Периодично је мерена рН вредност раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и вршена процена о потреби измењивања раствора. Избор експерименталних услова под којима је извршено испитивање утицаја раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на својства и структуру геополимера заснован је на процедурама које су коришћене приликом тестирања портланд-цемента.

Испитивање утицаја раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $50 \text{ g/dm}^3$ ) на својства и структуру геополимера извршено је у статичним условима: током испитивања раствор није мешан, нити је вршена периодична измена раствора. Овакви услови испитивања одабрани су са циљем да се испитивање изврши у истим или сличним условима под којима су вршена претходна испитивања сулфатне корозије геополимера на бази ЕФП. Узорци геополимера су били потпуно потопљени у раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на температури од  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Масени однос раствор / материјал био је 4.

Испитивање утицаја раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на својства и структуру геополимера трајало је укупно 540 дана. Истовремено, контролни (референтни) узорци геополимера неговани су у влажном простору (температура  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , влажност  $\sim 98 \%$ ). Тестирање сваке групе узорака обављено је у 5 термина, након истека 28, 90, 180, 365 и 540 дана.

Састав свеже припремљених раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и састав раствора након излагања узорака геополимера њиховом дејству у одређеном временском периоду анализиран је оптичким емисионим спектрометром са индукованом спрегнутом плазмом (ОЕС-ИСП). рН вредност свеже припремљених раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  као и рН вредност раствора након испитивања узорака геополимера у растворима у одређеном временском периоду мерене су рН-метром.

Минералозна карактеризација ЕФП и узорака геополимера извршена је методом рендгенске структурне анализе (РСА), дифрактометром за прах. За детаљно испитивање структуре геополимера коришћене су следеће методе: скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ) у комбинацији са енергетски дисперзивном спектроскопијом (ЕДС), инфрацрвена спектроскопија (ИЦС), као и нуклеарна магнетна резонанца ( $^{29}\text{Si}$  и  $^{27}\text{Al}$  НМР спектроскопија чврстог стања).

Основна везивна фаза у структури геополимера, алкални алумосиликатни гел геополимера, је аморфан. Иако се испитивањем геополимера рендгенском структурном анализом не могу добити информације о структури алумосиликатног гела геополимера, примена ове инструменталне методе је пожељна приликом карактеризације геополимера, у циљу идентификације секундарних производа реакције алкалне активације или продуката деградације материјала у агресивним условима, под условом да поменути продукти имају дефинисану кристалну структуру. Појаву нових фаза, насталих као производ реакције алумосиликатног гела геополимера и агресивног медијума, могуће је детектовати и методама скенирајуће електронске микроскопије и енергетски дисперзивне спектроскопске анализе. У циљу добијања података о структури и саставу алумосиликатног гела геополимера неопходна је примена спектроскопских метода, као што су инфрацрвена спектроскопска анализа и нуклеарна магнетна резонанца ( $^{29}\text{Si}$  и  $^{27}\text{Al}$  НМР спектроскопија чврстог стања).

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати остварени у оквиру ове докторске дисертације имају одређени значај са аспекта могуће примене геополимера на бази ЕФП као алтернативног везивног материјала у индустрији грађевинских материјала. Процењује се да је око 5-8 % глобалне светске емисије  $\text{CO}_2$  резултат процеса производње портланд-цемента, док би се употребом алкално активираних материјала уместо портланд-цемента емисија гасова одговорних за ефекат стаклене баште могла значајно смањити. Осим тога, за производњу геополимера могуће је користити различите индустријске отпадне материјале, као што је ЕФП, што има вишеструке позитивне ефекте: долази до уштеде природних сировина, смањује се површина земљишта под депонијама и загађење животне средине, док индустријски отпад добија нову употребну вредност. У циљу шире примене геополимера као замене за портланд-цемент, од ових материјала се очекује да задовоље све захтеве у погледу квалитета и трајности прописане за портланд-цемент. Истраживања извршена у оквиру ове докторске дисертације показала су да је, избором оптималних услова синтезе геополимера, алкалном активацијом ЕФП могуће добити малтере геополимера чија је вредност чврстоће на притисак, после само 24 h реакције на повишеној температури, упоредива са вредностима чврстоће које малтери на бази хидратисаног портланд-цемента показују после 28 дана неговања. Надаље, резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације показали су да, у условима у којима долази до значајног пропадања хидратисаног портланд-цемента, као што су излагање дејству концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и излагање дејству раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , геополимери на бази ЕФП показују већу отпорност. Међутим, недостатак одговарајућих (националних, европских или светских) стандарда за испитивање отпорности геополимера на специфичан облик хемијске корозије, као што је дејство агресивног раствора амонијум-нитрата или натријум-сулфата, постигнутим експерименталним резултатима даје више академски него практичан значај. Недостатак одговарајућих стандарда је озбиљна препрека на путу ка практичној примени ове врсте материјала. Потребно је нагласити да недостатак стандардних метода и критеријума превазилази оквире ове докторске дисертације. Резултати о трајности геополимера на бази ЕФП добијени у оквиру ове докторске дисертације сигурно пружају значајан подстицај развоју технологије геополимера, као и могућој примени геополимера у индустрији грађевинских материјала.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Звездана Башчаревић, дипл. инж. технологије, је током израде докторске дисертације показала способност планирања и реализације експеримената. Изразите истраживачке квалитете је исказала коришћењем различитих инструменталних метода (ОЕС-ИСП, РСА, СЕМ/ЕДС, ИЦС, НМР), а при анализи резултата показала је самосталност, систематичност и креативност. На основу досадашњег рада и постигнутих резултата

кандидата, Комисија је мишљења да кандидат поседује квалитете неопходне за самостални научно-истраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварен је значајан допринос разумевању процеса хемијске корозије геополимера на бази ЕФП. Најзначајнији научни доприноси ове дисертације су:

- Дефинисани су оптимални услови синтезе геополимера на бази електрофилтерског пепела из три термоелектране у Србији;
- Утврђен је утицај дуготрајног излагања дејству раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП;
- Дефинисан је механизам дејства концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на структуру синтетисаних геополимера;
- Утврђен је утицај дуготрајног излагања дејству раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП;
- Дефинисан је механизам дејства раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на структуру синтетисаних геополимера.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације су конципирана након детаљне анализе литературних података из области алкално активираних материјала.

Велики број истраживања у литератури посвећен је анализи синтезе, структуре и својстава геополимера на бази ЕФП, али је веома мало радова посвећено испитивању хемијске корозије геополимера. У доступној научној литератури, не постоје подаци о утицају концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП. У оквиру ове докторске дисертације, испитан је утицај концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на својства и структуру геополимера на бази ЕФП и дефинисан механизам који доводи до промена у својствима и структури геополимера.

У доступној научној литератури постоје подаци о испитивању утицаја раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства и структуру геополимера, али је пажљивом анализом литературних података утврђено да су у досадашњим истраживањима добијени опречни резултати у вези промена механичких својстава геополимера изазваних дејством раствора сулфата, док промене у структури нису довољно детаљно испитане. У истраживањима у оквиру ове докторске дисертације, испитан је утицај раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на механичка својства геополимера на бази ЕФП у дужем временском периоду (18 месеци). Током испитивања, систематично су праћене промене како у структури геополимера, тако и у саставу агресивног раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Структурне промене до којих је довело излагање геополимера дејству раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  детаљно су испитане методама рендгенске структурне анализе, скенирајуће електронске микроскопије, инфрацрвене спектроскопске анализе и нуклеарне магнетне резонанце ( $^{29}\text{Si}$  НМР спектроскопија чврстог стања). На основу добијених резултата, дефинисан је механизам дејства раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на структуру и својства геополимера на бази ЕФП.

Посебан допринос дефинисању утицаја концентрованог раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на структуру геополимера на бази ЕФП пружили су резултати испитивања структуре геополимера методом нуклеарне магнетне резонанце ( $^{29}\text{Si}$  и  $^{27}\text{Al}$  НМР спектроскопија чврстог стања). У доступној научној литератури постоји врло мало података о детаљном



испитивању структуре геополимера овом методом. Резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације допринели су проширивању знања о могућностима примене методе нуклеарне магнетне резонанце за испитивање структуре геополимера.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Звездана Башчаревић је резултате истраживања током израде ове дисертације потврдила објављивањем радова у часописима међународног значаја и саопштавањем резултата на међународним скуповима. Кандидат је аутор и једног поглавља (M14) у монографији међународног значаја.

##### Категорија M14:

1. **Baščarević Z.**, Chapter 14 - The resistance of alkali-activated cement-based binders to chemical attack, in: F. Pacheco-Torgal, J. Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo and P. Chindaprasit (Editors) Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes, Woodhead Publishing, 2015, ISBN 978-1-78242-276-1, pp 373-396

##### Категорија M21:

1. **Baščarević, Z.**, Komljenović, M., Miladinović, Z., Nikolić, V., Marjanović, N., Žujović, Z., Petrović, R.: Effects of the concentrated  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  solution on mechanical properties and structure of the fly ash based geopolymers, *Construction and Building Materials*, vol 41, pp. 570-579, 2013 (**IF=2,769**) (ISSN 0950-0618).
2. **Baščarević, Z.**, Komljenović, M., Miladinović, Z., Nikolić, V., Marjanović, N., Z., Petrović, R.: Impact of sodium sulfate solution on mechanical properties and structure of fly ash based geopolymers, *Materials and Structures*, DOI 10.1617/s11527-014-0325-4, (**IF=1,668**) (ISSN 1359-5997)

##### Категорија M33:

1. **Baščarević, Z.**, Komljenović, M., Nikolić, V., Marjanović, N., Petrašinović-Stojkanović, Lj., Ršumović, M.: "Microscopy and microanalysis of alkali activated fly ash binder", -18 *Internationale Baustofftagung, IBAUSIL, 2012*, Weimar, Germany, 2012., Tagungsbericht Band 1, ISBN: 978-3-00-034075, pp. 1-0490 – 1-0496 (2012)

##### Категорија M34:

1. **Baščarević, Z.**, Komljenović, M., Bradić, V., Petrašinović-Stojkanović, Lj., Jovanović, N., Ršumović, M.: "SEM/EDS characterization of fly ash based geopolymers", -*Microscopy Conference, MC 2009*, Graz, Austria, 2009, Volume 3, ISBN: 978-3-85125-062-6, pp. 289-290
2. **Baščarević, Z.**, Komljenović, M., Rosić, A., Ršumović, M.: "Microscopy and Microanalysis of Alkali Activated Fly Ash – Unreacted Fly Ash Particles", -*4<sup>th</sup> Serbian Congress for Microscopy, 2010*, Belgrade, Serbia, 2010, Program and Proceedings, ISBN: 978-86-7306-104-7 (VINS), pp. 29-30

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, под називом: „Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“, представља значајан и оригиналан научни допринос у области Технолошко инжењерство (ужа област Хемијско инжењерство), што је потврђено објављивањем радова у врхунским научним часописима међународног значаја и саопштавањем резултата на међународним скуповима.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да се докторска дисертација под називом: „Утицај раствора амонијум-нитрата и натријум-сулфата на механичка својства и структуру геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ кандидата Звездане Башчаревић, дипл. инж. технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да се након завршетка ове процедуре кандидат позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Проф. др Рада Петровић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Мирослав Комљеновић, научни саветник  
Универзитет у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

.....  
Проф. др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Љиљана Петрашиновић-Стојкановић, научни саветник  
Универзитет у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

.....  
Др Зоран Миладиновић, научни сарадник  
Институт за општу и физичку хемију, Београд