

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета" број 131/06),
дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

ВИОЛЕТЕ (Миљко) НИКОЛИЋ, дипл. инж.,

КАНДИДАТ: **ВИОЛЕТА (Миљко) НИКОЛИЋ, дипл. инж.,**

пријавила је докторску дисертацију под називом:

**„Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела
термоелектрана“**

Из научне области: **ХЕМИЈА И ХЕМИЈСКА ТЕХНОЛОГИЈА**

Универзитет је дана **23.11.2015.** године, својим актом **02 број: 61206-5064/2-15,** дао сагласност
на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**„Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела
термоелектрана“**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

ВИОЛЕТЕ (Миљко) НИКОЛИЋ, дипл. инж.,

(име, једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **14.04.2016.** године Одлуком Факултета под бр. **35/181** у
саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Рада Петровић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
2. Др Мирослав Комљеновић	Научни саветник	Материјали и хемијске технологије
3. Др Снежана Грујић	Ванредни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
4. Др Зоран Миладиновић	Виши научни сарадник	Хемија

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске
дисертације на седници одржаној дана **26.05.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаковић

На основу чл. 123. став 4. Закона о високом образовању и чл. 128. став 3. Статута ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26.05.2016. године, донета је

ОДЛУКА

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мирослав Комљеновић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања, др Зоран Миладиновић, виши научни сарадник Института за општу и физичку хемију, Београд, др Снежана Грујић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ коју је поднела Виолета Николић, дипл. инж. технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Виолете Николић под називом „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ Одлуком 02 број: 61206-5064/2-15 на седници од 23.11.2015. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. Nikolić V., Komljenović M., Marjanović N., Baščarević Z., Petrović R., Lead immobilization by geopolymers based on mechanically activated fly ash, *Ceramics International*, Vol 40, 2014, pp. 8479–8488 (ISSN 0272 – 8842, IF (2014) = 2,605, 4/25, област Materials Science, Ceramics)
2. Nikolić V., Komljenović M., Baščarević Z., Marjanović N., Miladinović Z., Petrović R., The influence of fly ash characteristics and reaction conditions on strength and structure of geopolymers, *Construction and Building Materials*, Vol 94, 2015, pp. 361–370 (ISSN 0950 – 0618, IF(2014) = 2,710, 7/59, област Construction & Building Technology)

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, докторанду, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

ДЕКАН

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије

Одлуком бр. 35/181 од 14. 04. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије под називом:

„Имобилизација олова и хрома геополимерима 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

27. 08. 2015. Кандидат Виолета Николић, дипл. инж. технологије, предложила је Технолошко-металуршком факултету тему за израду докторске дисертације под називом: „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“.

17. 09. 2015. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије за израду докторске дисертације под називом: „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“.

22. 10. 2015. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука о одобрењу теме докторске дисертације кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије. За менторе 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.

23. 11. 2015. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије, под називом „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“.

14. 04. 2016. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемија и хемијска технологија, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори 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 научно-истраживачког искуства, компетентни да руководе изработом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Виолета Николић (девојачко презиме Брадић) рођена је 24. 05. 1978. године у Ивањици, где је завршила основну школу и гимназију. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, Одсек за неорганску хемијску технологију уписала је школске 1997/1998. године. Дипломирала је 01. 07. 2005. године са просечном оценом 8,00. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписала је 2006/2007. године (област: хемија и хемијска технологија) под руководством проф. др Раде Петровић. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 9,70 и одбранила завршни испит под називом “Примена геополимера на бази електрофилтерског пепела термоелектрана у адсорпцији и солидификацији тешких метала” са оценом 10.

Од 19. 06. 2006. запослена је у Институту за мултидисциплинарна истраживања (тадашњи назив Центар за мултидисциплинарне студије Универзитета у Београду) на Одсеку за материјале, где и данас ради. У звање истраживач-сарадник изабрана је 27. 12. 2010. године, а реизабрана 23. 12. 2013. године. У досадашњем раду Виолета Николић је учествовала у реализацији два национална пројекта у оквиру програма технолошког развоја (ТР6720Б, ТР19001) и три међународна Еурека пројекта (Е!3688, Е!3824, Е!5415). Тренутно је ангажована на националном пројекту ТР34026 под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и учествује у COST акцији TU1301.

Област научно-истраживачког рада Виолете Николић је наука о материјалима, док је ужа област истраживања везана за процес алкалне активације индустријског отпада, пре свега електрофилтерског пепела термоелектрана и згуре високе пећи, као и употребу алкално активираних материјала у индустрији грађевинских материјала и заштити животне средине. Виолета Николић је аутор и коаутор укупно 36 радова публикованих у научним часописима и саопштених на научним скуповима. Од тога, 9 радова је публиковано у врхунским научним часописима међународног значаја (M21).

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

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Виолете Николић, дипл. инж. технологије, под називом „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“ написана је на укупно 218 страна и садржи 8 поглавља, 93 слике (графичка приказа), 40 табела и 212 литературних навода. Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља: Увод, Теоријски део који се састоји од три поглавља, Експериментална процедура, Резултати и дискусија, Закључци и Литература. Дисертација садржи и изводе на српском и енглеском језику, изјаве захвалности и 3 обавезна прилога (изјаве).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У Уводу дисертације истакнут је значај примене геополимера на бази електрофилтерског пепела (ЕФП) термоелектрана у процесу имобилизације токсичних елемената - олова и хрома. ЕФП представља индустријски отпадни материјал који настаје у процесу сагоревања угља. Чињеница да се једна врста отпадног материјала може користити у третману друге врсте токсичног отпада има вишеструки значај са аспекта заштите животне средине. На крају овог поглавља укратко су дефинисани предмет и главни научни циљеви докторске дисертације.

У Теоријском делу дисертације дато је појашњење терминологије која се користи за описивање геополимера насталих процесом алкалне активације ЕФП, механичке активације ЕФП, као и за процес имобилизације токсичних елемената, превасходно хрома и олова. На почетку поглавља је дат кратак осврт на историјски развој геополимера и алкално активираних везива. Описан је механизам алкалне активације ЕФП, односно синтезе геополимера на бази електрофилтерског пепела. Дат је литературни преглед досадашњих истраживања која се односе на критеријуме реактивности ЕФП и фактора који утичу на синтезу геополимера. Приказана је структура геополимера, добијених алкалном активацијом ЕФП. Наведене су методе које се користе за карактеризацију геополимера. Такође су наведена и карактеристична својства геополимера. Посебан осврт је направљен на претходна истраживања која се тичу механичке активације ЕФП и карактеристика геополимера на бази механички и алкално активираних ЕФП. Дате су и могућности примене геополимера. Наведени су основни принципи имобилизације, односно технологије солидификације/стабилизације која се користи за одлагање токсичног отпада. Приказан је преглед доступне научне литературе на тему имобилизације хрома и олова. Детаљно су описани механизми имобилизације хрома и олова у системима на бази алкално активираних везива и у портланд-цементним везивним системима. Дат је и литературни преглед фактора који утичу на процес имобилизације, као и метода које се користе за оцену

ефикасности процеса имобилизације. На крају овог поглавља изнете су основне претпоставке у истраживању и детаљно су образложени предмет и главни научни циљеви докторске дисертације. Предмет истраживања ове докторске дисертације било је проучавање процеса имобилизације олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана. Циљеви ове докторске дисертације били су да се утврди ефикасност процеса имобилизације хрома и олова геополимерима у зависности од карактеристика (полазног и механички активiranог) електрофилтерског пепела и услова синтезе геополимера, као и да се дефинише одговарајући механизам имобилизације хрома и олова.

У поглављу Експериментална процедура детаљно је објашњен и схематски приказан план истраживања. План истраживања је конципиран тако да се поступком алкалне активације електрофилтерског пепела и оптимизацијом услова синтезе геополимера изврши избор ЕФП, који су потом коришћени током истраживања процеса имобилизације хрома и олова. Оптимизација услова синтезе геополимера подразумевала је испитивање утицаја температуре и времена реакције алкалне активације на механичке карактеристике (чврстоће при притиску малтера) геополимера. Критеријум за избор ЕФП и одговарајућих геополимера за истраживање процеса имобилизације хрома и олова геополимерима биле су максималне и минималне вредности чврстоћа при притиску геополимера. Истраживање ефикасности процеса имобилизације хрома и олова вршено је у два правца: 1) испитивање утицаја услова синтезе геополимера и 2) испитивање утицаја физичко-хемијских карактеристика ЕФП. Утицај услова синтезе геополимера на имобилизацију хрома и олова испитиван је на геополимерима који показују највеће чврстоће, одређене у процесу оптимизације. С друге стране, утицај физичко-хемијских карактеристика ЕФП на процес имобилизације хрома и олова геополимерима, испитиван на геополимерима који показују најмање чврстоће, одређене у процесу оптимизације. Притом, карактеристике ЕФП (који даје геополимере најмањих чврстоћа) модификоване су механичком активацијом.

У овом поглављу наведени су и полазни материјали који су коришћени у току истраживања: узорци ЕФП из три термоелектране у Србији (Морава, Колубара и Костолац Б1) и узорак згуре високе пећи (ЗВП) из железаре Смедерево. Детаљно су описани експериментални услови под којима је извршена синтеза геополимера у процесу оптимизације синтезе геополимера, као и процесу имобилизације хрома и олова. Различити услови синтезе (24 h на 55 °C, 4 h на 95 °C и 24 h на 95 °C) су изабрани да би се утврдило како промена температуре и времена реакције утиче на процес имобилизације хрома и олова. У случају испитивања утицаја карактеристика механички активiranог ЕФП на процес имобилизације хрома и олова, синтеза геополимера је извршена на температури од 20 °C у трајању од 28 дана. Међутим, с обзиром да се механичком активацијом ЕФП повећава реактивност ЕФП, а тиме убрзава и реакција геополимеризације, карактеристике ових геополимера анализиране су и после само 24 h реакције на 20 °C. Наведене су инструменталне методе коришћене за карактеризацију полазних материјала и синтетисаних геополимера и дати услови рада у току испитивања.

У поглављу Резултати и дискусија приказани су резултати добијени у експерименталном раду, њихова анализа и дискусија, као и поређење са подацима из литературе. Поглавље Резултати и дискусија састоји се из четири

потпоглавља: 1. Оптимизација услова синтезе геополимера и избор ЕФП; 2. Процес имобилизације хрома; 3. Процес имобилизације олова и 4. Упоредна анализа процеса имобилизације хрома и олова.

У првом потпоглављу су дати резултати хемијске, физичке и минералошке карактеризације узорака ЕФП који су коришћени као полазни материјали за синтезу геополимера. Приказан је развој чврстоћа и структуре геополимера у зависности од карактеристика ЕФП и услова синтезе геополимера. Геополимери су синтетисани алкалном активацијом ЕФП уз употребу раствора натријум-силиката модула (масени однос $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) 1,5 на повишеној температури (55, 80 и 95 °C) у кратком временском периоду (4, 8, 16 и 24 h). Утврђено је да са порастом температуре реакције расте и чврстоћа геополимера. Највећа чврстоћа геополимера је постигнута након 24 h на 95 °C, независно од карактеристика ЕФП. Иако неки литературни подаци указују да је оптимална температура за синтезу геополимера 75-80 °C, с обзиром да на вишим температурама може доћи до смањења чврстоћа, резултати овог истраживања су показали да то није универзални тренд. Разлог вероватно лежи у различитим карактеристикама испитиваних ЕФП и/или различитим експерименталним условима. Утврђено је да постоји корелација између карактеристика ЕФП, услова синтезе и чврстоћа при притиску геополимера. Геополимер са максималном чврстоћом при притиску, синтетисан је на бази ЕФП Морава. ЕФП Морава има највећи садржај честица мањих од 43 μm , највећи садржај стакласте фазе, као и садржај силицијума и алуминијума растворљивих у алкалној средини. С друге стране, геополимер на бази ЕФП Костолац Б1 показао је најмање чврстоће, независно од температуре и времена реакције. ЕФП Костолац Б1 поседује најлошије карактеристике, односно поседује најмањи садржај честица мањих од 43 μm , најмањи садржај стакласте фазе, као и најмање силицијума и алуминијума растворљивих у алкалној средини. Осим тога, код ЕФП Костолац Б1 евидентиран је највећи садржај оксида гвожђа, што представља озбиљну потенцијалну сметњу за анализу узорака методом нуклеарне магнетне резонанце (НМР). С обзиром да је алкална активација ЕФП извршена раствором натријум-силиката, закључено је да процес алкалне активације највише зависи од садржаја растворљивог алуминијума. Предложена је метода за брзу процену реактивности ЕФП, која се заснива на растворљивости ЕФП у 7М NaOH (0,5 h на 95 °C). Такође, предложено је да чврстоћа при притиску геополимера након 4-8 h на 95 °C може послужити као тест за брзу процену реактивности и погодности ЕФП за синтезу геополимера. На основу добијених резултата, за даља истраживања процеса имобилизације хрома и олова геополимерима изабрани су ЕФП Морава и ЕФП Колубара. Изабрани ЕФП и одговарајући геополимери, синтетисани на собној температури у трајању од 28 дана, представљали су референтни систем за оба правца истраживања. На крају овог поглавља дата је карактеризација изабраних полазних ЕФП Морава и ЕФП Колубара, као и механички активираног ЕФП Колубара (МЕФП).

У другом потпоглављу Процес имобилизације хрома дати су резултати испитивања излуживања хрома из полазних ЕФП и МЕФП, а потом и из одговарајућих геополимера. Генерално, процес имобилизације хрома геополимерима се показао као недовољно успешан. Утврђено је да услови синтезе геополимера не утичу у великој мери на ефикасност процеса имобилизације хрома. Резултати истраживања су указали да геополимер на бази

реактивнијег ЕФП Морава показује већу ефикасност у процесу имобилизације хрома у поређењу са геополимером на бази ЕФП Колубара. Такође, утврђено је да је ефикасност процеса имобилизације хрома геополимерима на бази механички активiranог ЕФП значајно већа у поређењу са геополимерима на бази полазног ЕФП Колубара. Поред тога, показано је да редукциони услови, односно присуство згуре високе пећи повећава ефикасност процеса имобилизације хрома геополимерима. Анализиран је утицај додатка хрома на карактеристике геополимера. Мање концентрације додатог хрома нису битно утицале на чврстоћу геополимера, док је додатак 2% хрома довео до смањења чврстоћа геополимера за мање од 10%, што се може приписати променама у систему пора. Осим тога, резултати НМР анализе су показали да је смањење чврстоће геополимера последица структурних промена унутар узорка, односно смањења удела $Q^4(mAl)$ структурних јединица богатијих алуминијумом. Резултати добијени применом скенирајуће електронске микроскопске и енергетски дисперзивне спектроскопске (СЕМ/ЕДС) анализе су указали на равномерну расподелу хрома у геополимеру. С обзиром да рендгенска структурна анализа није указала на формирање нове кристалне фазе са додатком хрома, утврђено је да је механизам имобилизације хрома геополимерима физичке природе.

У трећем потпоглављу анализиран је процес имобилизације олова геополимерима. Дати су резултати испитивања излуживања олова из полазних ЕФП и МЕФП, а потом и из одговарајућих геополимера. Процес имобилизације олова геополимерима на бази ЕФП се показао изузетно успешан. Највећа ефикасност процеса имобилизације олова постигнута је геополимерима синтетисаним на 20 °C у трајању од 28 дана, док је синтезом геополимера на повишеној температури остварен незнатно нижи степен ефикасности. Утврђено је да геополимер повољнијих механичких и структурних карактеристика, тј. геополимер на бази реактивнијег ЕФП Морава показује већу ефикасност у процесу имобилизације олова. Такође је утврђено да је ефикасност процеса имобилизације олова геополимерима на бази механички активiranог ЕФП већа у поређењу са геополимерима на бази полазног ЕФП Колубара. Испитиван је утицај додатка олова на карактеристике геополимера. Показано је да мање концентрације додатог олова не утичу значајно на промену чврстоће геополимера. Међутим, са значајнијим порастом концентрације додатог олова (до 4%) долази до смањења чврстоћа геополимера и за 30%. Додатак олова је довео до пораста средњег пречника пора геополимера, што се манифестовало смањењем чврстоће геополимера. С друге стране, механичка активација ЕФП је довела до значајног смањења средњег пречника пора и повећања чврстоће геополимера. С обзиром да су концентрације излуженог олова веће у случају геополимера са већом запремином и пречником пора, може се извести закључак о физичком карактеру процеса имобилизације олова. Поред тога, резултати НМР анализе су указали да је смањење чврстоће геополимера последица структурних промена, односно смањења удела $Q^4(mAl)$ структурних јединица богатијих алуминијумом. Такође, смањењу чврстоће геополимера са додатком олова, свакако доприноси и пораст удела слабије умрежених Q^1 и Q^2 структурних јединица. Резултати рендгенске структурне анализе су потврдили да додатак олова доводи до формирања нових фаза у геополимеру, чиме су указали и на хемијски карактер процеса имобилизације олова геополимерима.

У четвртном потпоглављу упоређени су резултати који су детаљно анализирани у другом и трећем потпоглављу. Приказани резултати су дискутовани са аспекта ефикасности имобилизације хрома и олова геополимерима. Утврђено је да је ефикасност процеса имобилизације хрома (62-91%) значајно мања у поређењу са ефикасношћу имобилизације олова која износи преко 99,6%. Различита ефикасност имобилизације хрома и олова геополимерима последица је разлике јонских облика хрома (анјон) и олова (катјон), као и различитих механизма имобилизације хрома и олова.

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

У поглављу Литература дате су све референце цитиране у раду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Развој геополимера – релативно нове врсте везива на бази алкално активираниог ЕФП представља научно-истраживачку област која привлачи пажњу научника широм света. Разлог лежи у чињеници да се за синтезу ове врсте везива користи индустријски отпадни материјал који настаје у милионима тона широм света. Највећи део овог материјала се депонује на оближње земљиште и представља озбиљан еколошки, економски и друштвени проблем. Геополимери поседују карактеристике које су не само поредиве, већ у неким случајевима и повољније у односу на карактеристике традиционалних везива као што је портланд-цемент. Осим тога, јасне су предности геополимера са аспекта заштите животне средине, у погледу снижавања емисије CO₂ и смањења утрошка необновљивих природних сировина. Примена геополимера у имобилизацији хрома и олова указује на двоструки значај ових истраживања, који се не огледа само у валоризацији постојећег индустријског отпада, већ и у третману друге врсте отпадних материјала.

У доступној научној литератури постоји значајан број истраживања који указују на широке могућности примене геополимера на бази ЕФП. Упркос томе, геополимери су још увек далеко од значајније практичне примене. Један од основних разлога је променљивост састава ЕФП, који варира од извора до извора, па чак и унутар истог извора. С друге стране, велики број истраживања, често и опречних, који анализирају различите услове синтезе геополимера отежава идентификовање кључних фактора који одређују реактивност ЕФП, а затим и структуру и карактеристике геополимера. Дакле, јасно је да не постоји једноставна методологија за процену реактивности ЕФП у процесу синтезе геополимера. Према томе, развој брзог теста за процену реактивности ЕФП и погодности ЕФП за синтезу геополимера, могао би бити од значаја за практичну примену геополимера. Део истраживања у оквиру ове дисертације посвећен је управо оптимизацији услова синтезе геополимера и предложен је метод за брзу процену реактивности ЕФП.

Имобилизација хрома је у значајној мери испитивана у портланд-цементним системима и у мањој мери у геополимерима. Међутим, у доступној литератури нема података који се односе на испитивање утицаја механичке активације ЕФП на ефикасност процеса имобилизације хрома геополимерима. У

овој дисертацији посебна пажња је посвећена управо испитивању процеса имобилизације хрома геополимерима на бази механички активираниог ЕФП.

Доступни литературни подаци указују да је олово елемент чија је имобилизација највише проучавана, како у портланд-цементним везивима, тако и у геополимерима и у алкално активираним везивима уопште. Међутим, због комплексности самих везивних система, као и могућих интеракција између олова и компонената везивних система, многе дилеме које се тичу механизма имобилизације олова још увек нису у потпуности разјашњене. Такође, у доступној литератури, нема података који се односе на испитивање утицаја механичке активације ЕФП на ефикасност процеса имобилизације олова геополимерима на бази механички активираниог ЕФП, чему је посвећен део ове дисертације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације цитирано је укупно 212 референци, које указују на актуелност истраживања у испитиваној области. Већина референци је публикована у последњих неколико година и представља научне радове публиковане у врхунским међународним часописима са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Међу цитираним референцама налазе се и међународне монографије, радови публиковани на међународним конференцијама, као и две докторске дисертације. Истраживања приказана у наведеним референцама су дискутована у докторској дисертацији, а резултати других аутора су упоређени са резултатима добијеним током израде докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Хемијски састав полазних узорака ЕФП одређен је методом алкалног топљења и применом оптичке емисионе спектроскопије са индуктивно спрегнутом плазмом (ОЕС-ИСП).

Гранулометријски састав ЕФП одређен је просејавањем (на ситима отвора од 43 μm и 63 μm).

Механичка активација полазних ЕФП извршена је у високо енергетском планетарном млину са куглама.

Специфична површина, запремина пора и расподела величина пора полазног и механички активираниог електрофилтерског пепела, као и синтетисаних геополимера су одређене на основу резултата адсорпције гасовитог азота на температури течног азота.

Испитивање чврстоћа малтера геополимера ЕФП извршено је према поступку предвиђеном стандардом SRPS EN 196-1, који се односи на портланд-цемент, јер за испитивање физичко-механичких карактеристика геополимера не постоји одговарајући стандард.

Ефикасност имобилизације хрома и олова геополимерима одређивана је испитивањем излуживања хрома и олова из геополимера. Испитивање отпорности геополимера према излуживању извршено је применом стандардног теста излуживања за зрнасте отпадне материјале и муљеве (EN 12457-2 – Део 2).

Концентрација хрома и олова у раствору након излуживања одређивана је методом оптичке емисионе спектроскопије са индуктивно спрегнутом плазмом. Истовремено мерена је промена рН вредности раствора услед излуживања геополимера.

Минералошка карактеризација ЕФП и синтетисаних геополимера извршена је методом рендгенске структурне анализе (РСА), дифрактометром за прах. Ова метода се пре свега користи за идентификацију присутних кристалних фаза, као и за детекцију евентуалних промена у саставу (структури) кристалних фаза.

Структурна карактеризација ЕФП и синтетисаних геополимера обављена је методом скенирајуће електронске микроскопије (СЕМ) у комбинацији са енергетски дисперзивном спектроскопском (ЕДС) анализом.

СЕМ/ЕДС анализа омогућава анализу развоја микроструктуре геополимера, пре свега главног продукта реакције натријум-алумосиликатне фазе, као и евентуално детектовање формирања нових фаза.

Метода нуклеарне магнетне резонанце, при чему је узорак ротиран под "магичним углом" (енгл. *magic angle spinning*), односно ^{29}Si MAS NMR анализа је такође коришћена за испитивање састава и структуре геополимера.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати остварени у оквиру ове дисертације, поред научног, имају и еколошки и шири друштвени значај. Једна од предности геополимера на бази алкално активiranог ЕФП, у односу на портланд-цемент лежи у валоризацији индустријског отпадног материјала и у смањењу депоноване количине овог отпада. Друга предност огледа се у чињеници да се синтеза геополимера изводи на собној или благо повишеној температури, што доприноси значајним енергетским уштедама у односу на процес синтезе портланд-цементног клинкера који се одиграва на температури од ~ 1450 °C. Притом, свакако треба истаћи чињеницу да се током производње једне тоне портланд-цемента емитује једна тона CO_2 . Употребом геополимера уместо портланд-цемента значајно би се смањио ефекат стаклене баште. Треће, треба истаћи уштеду природних минералних сировина. Осим тога, тематика ове докторске дисертације је веома актуелна и савремена, јер се једна врста отпадног материјала користи у третману других токсичних отпадних материјала.

Истраживањима спроведеним у оквиру ове докторске дисертације показано је да се механичком активацијом ЕФП и синтезом геополимера на бази механички активiranог ЕФП може повећати ефикасност процеса имобилизације хрома и олова. Поред тога, резултатима оствареним у оквиру ове докторске дисертације показано је да се избором услова синтезе може утицати на ефикасност имобилизације олова геополимера. С обзиром на високу ефикасност имобилизације олова, геополимери на бази алкално активiranог ЕФП би се могли користити у имобилизацији индустријског течног отпада који садржи олово, за снижавање пермеабилности депонија који садрже оловни отпад, за прекривање депонија таквог отпада или за хоризонталне преграде у маси отпада.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Виолета Николић, дипл. инж. технологије, је током израде докторске дисертације показала стручност, самосталност и систематичност у претраживању и коришћењу научне литературе, планирању и реализацији експеримента, обради и анализи добијених резултата, као и њиховој дискусији и припреми публикација. Истраживачке квалитете исказала је применом различитих инструменталних метода (ОЕС-ИСП, РСА, СЕМ/ЕДС, НМР). На основу досадашњег рада, поднете докторске дисертације и постигнутих резултата кандидата, Комисија је утврдила да кандидат поседује квалитете 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 алкалне активације ЕФП и процеса имобилизације хрома и олова. Најзначајнији научни доприноси ове дисертације су:

- Дефинисани су оптимални услови синтезе геополимера на бази алкално активираниог ЕФП из три термоелектране у Србији
- Предложен је метод за брзу процену реактивности ЕФП и погодности ЕФП за синтезу геополимера
- Утврђен је утицај услова синтезе геополимера на ефикасност процеса имобилизације хрома и олова геополимерима
- Утврђен је утицај физичко-хемијских карактеристика полазних и механички активираних ЕФП на ефикасност процеса имобилизације хрома и олова геополимерима
- Дефинисан је механизам имобилизације хрома и олова геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана
- Оцењена је ефикасност процеса имобилизације хрома и олова геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом доступне научне литературе из области геополимера и процеса имобилизације олова и хрома, као и разматрањем резултата добијених у оквиру ове докторске дисертације може се оценити да се остварени резултати надовезују на постојећа знања и да их допуњују.

У доступној научној литератури постоји значајан број радова који се односе на синтезу геополимера на бази алкално активираниог ЕФП и не тако велики број радова који се односи на синтезу геополимера на бази механички и алкално активираниог ЕФП. Такође, имобилизација токсичних елемената (олова и хрома) везивним системима, било традиционалним везивима или

алтернативним везивима, као што су геополимери, представља област која је увелико истраживана. Међутим, у доступној научној литератури нема података о имобилизацији хрома и олова геополимерима на бази механички и алкално активираниог ЕФП

У оквиру ове докторске дисертације извршена је оптимизација синтезе геополимера, предложена је метода за брзу процену реактивности и погодности ЕФП за синтезу геополимера. Испитан је утицај услова синтезе геополимера и физичко-хемијских карактеристика ЕФП на ефикасност процеса имобилизације хрома и олова. Оцењена је ефикасност процеса имобилизације хрома и олова и дефинисани су механизми процеса имобилизације хрома и олова геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Виолета Николић, дипл. инж. технологије, је резултате истраживања током израде ове дисертације потврдила објављивањем радова у врхунским часописима међународног значаја.

Категорија M21:

1. **Nikolić V.**, Komljenović M., Marjanović N., Baščarević Z., Petrović R., Lead immobilization by geopolymers based on mechanically activated fly ash, *Ceramics International*, Vol 40, 2014, pp. 8479–8488 (ISSN 0272 – 8842, IF (2014) = 2,605, 4/25, област Materials Science, Ceramics)
2. **Nikolić V.**, Komljenović M., Baščarević Z., Marjanović N., Miladinović Z., Petrović R., The influence of fly ash characteristics and reaction conditions on strength and structure of geopolymers, *Construction and Building Materials*, Vol 94, 2015, pp. 361–370 (ISSN 0950 – 0618, IF(2014) = 2,710, 7/59, област Construction & Building Technology)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација Виолете Николић, дипл. инж. технологије, под називом: „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“, представља значајан и оригиналан научни допринос у области Хемија и хемијска технологија, што је потврђено објављивањем радова у врхунским научним часописима међународног значаја.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да се докторска дисертација под називом: „Имобилизација олова и хрома геополимерима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана“, кандидата Виолете Николић, дипл. инж. технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упуту 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
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

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

.....
Др Снежана Грујић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

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