

Образац 1.

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/390
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

19.01.2021.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Имобилизација цезијума алкално активираним материјалима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана и згуре високе пећи“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**
ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

ГОРДАНА (Градмир) ТАНАСИЈЕВИЋ, мастер инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

3. Година дипломирања: **2014.**

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

5. Година дипломирања: 2015.

Студент је уписан на докторске академске студије школске **2015/2016.** године.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће,** на седници одржаној **24.12.2020. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

Додатак уз образас 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Гордану Танасијевић

Име и презиме ментора: Рада Петровић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Z.Bašćarević, M.Komljenović, Z.Miladinović, V.Nikolić, N.Marjanović, Z.Žujović, **R.Petrović**, "Effects of the concentrated NH_4NO_3 solution on mechanical properties and structure of the fly ash based geopolymers", *Construction and Building Materials*, **41** (2013) 570-579 (IF (2013) = 2,265; ISSN 0950-0618)
2. V.Nikolić, M. Komljenović, N. Marjanović, Z. Bašćarević, **R. Petrović**, "Lead immobilization by geopolymers based on mechanically activated fly ash", *Ceramics International*, **40** (2014) 8479–8488 (ISSN 0272 – 8842; IF(2014) = 2,605)
3. N. Marjanović, M. Komljenović, Z. Bašćarević, V. Nikolić, **R. Petrović**, Physical–mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash–blast furnace slag blends, *Ceramics International*, **41** (2015) 1421–1435 (IF(2015) = 2,758; ISSN 0272 – 8842)
4. V. Nikolić, M. Komljenović, Z. Bašćarević, N. Marjanović, Z. Miladinović, **R. Petrović**, The influence of fly ash characteristics and reaction conditions on strength and structure of geopolymers, *Construction and Building Materials*, **94** (2015) 361–370 (IF(2015) = 2,421; ISSN 0950 – 0618)
5. Z. Bašćarević, M. Komljenović, Z. Miladinović, V. Nikolić, N. Marjanović, **R. Petrović**, Impact of sodium sulfate solution on mechanical properties and structure of fly ash based geopolymers, *Materials and Structures*, **48** (2015) 683–697 (IF 2015 = 2,453; ISSN 1359-5997)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће,

на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11, М12, М13, М14, М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 16. 12. 2020.

М.П.

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл.31. и 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.12.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Гордане Танасијевић**, број индекса 4005/2015, под називом: **„Имобилизација цезијума алкално активираним материјалима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана и згуре високе пећи“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Гордане Г. Танасијевић, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/313 од 05. 11. 2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Гордане Г. Танасијевић, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Имобилизација цезијума алкално активираним материјалима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана и згуре високе пећи“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Гордана Танасијевић је рођена 15. августа 1986. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду уписала је 2005. године на одсеку Биотехнологија. Дипломирала је 2014. године са просечном оценом 8,44. Школске 2014/2015. године уписала је мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологија, одсек Биохемијско инжењерство, које је завршила 2015. године са просечном оценом 9,63. Докторске студије је уписала школске 2015/2016. године на Технолошко-металуршком факултету у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство.

Током 2015. године, као члан IAESTE организације, Гордана Танасијевић је похађала стручну праксу на Lomonosow Moscow University of Fine Chemical Technology, у Русији у трајању од шест недеља.

Од априла 2018. запослена је у Институту за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Област научно-истраживачког рада Гордане Танасијевић је наука о материјалима, док је ужа област истраживања везана за процесе 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 (имобилизација токсичних метала). У септембру 2018. године била је на обуци за младе истраживаче на Универзитету у Шефилду у трајању од две недеље.

У табели је приказан преглед положених испита, оцене и остварени број бодова.

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10 (десет)	5
2.	Хемијска кинетика	9 (девет)	5
3.	Хемијска термодинамика	10 (десет)	5
4.	Аналогије феномена преноса	10 (десет)	5
5.	Теоријски основи керамике и стакла	10 (десет)	6
6.	Принципи органске синтезе-савремене методе и реакције	10 (десет)	6
7.	Физичка органска хемија	10 (десет)	5
8.	Структурна анализа органских молекула	10 (десет)	6
9.	Структура стакла и стакластих материјала	10 (десет)	5
10.	Одабрана поглавља технологије грађевинских материјала	10 (десет)	4
11.	Методе карактеризације керамичких и стакластих материјала	10 (десет)	4
12.	Завршни испит	10 (десет)	30
	Средња оцена/Укупно ЕСПБ	9,92(девет и 92/100)	85

Рад на научно-истраживачким пројектима:

Гордана Г. Танасијевић је у досадашњем раду учествовала на следећим пројектима:

2018-2019: TP34026 "Геополимери - Развој технологије за конверзију индустријског отпада у функционалне материјале", који је финансирао Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

2018 - 2020: SPS 985402 (G5402) "Improved security through safer cementation of hazardous waste", NATO program Science for Peace and Safety.

2020-данас: Proof of Concept 5033 „Развој филтера на бази биомасе из микроалги за апсорпцију тешких метала из отпадних вода ", Фонд за иновациону делатност.

Списак референци:

Рад објављен у међународном часопису изузетних вредности (M21a):

1. Komljenović M., **Tanasijević G.**, Džunuzović N., Provis J.L.: *Immobilization of cesium with alkali-activated blast furnace slag*, - J. Hazard. Mater., Vol 388, 2020, pp. 121-765. IF (2019) = 9,038; ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121765>

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини (M33):

1. Ivanović T., Komljenović M., Džunuzović N., Nikolić V., **Tanasijević G.**: Improving mechanical characteristics of lightweight geopolymers through mechanical activation of flyash, International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS 2019), 20-22. March, 2019., Rovinj, Croatia, p. 558-565. (ISBN: 978-1-5108-92941)

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у изводу (M34):

1. **Tanasijević G.**, Ivanović T., Provis J.L., Komljenović M.: *Leaching resistance of alkali-activated binder contaminated with cesium*, 15th International Congress on the Chemistry of Cement, 16-20 September 2019, Prague, Czech Republic, p. 293. (ISBN: 978-80-906541-4-3)
2. Rubinjoni L., Čeliković I., Tanasijević G., Komljenović M., Lončar B.: *Radon exhalation from fly-ash geopolymer mortar*, 6th International conference on electrical, electronic and computing engineering - IcETRAN 2019, 3-6 Jun 2019., Srebrno jezero, Srbija, p.1083 (ISBN: 978-86-7466-785-9)

Ново техничко решење у фази реализације, тестирано у овлашћеној институцији (M85):

1. Džunuzović N., Ivanović T., Komljenović M., Ršumović M., **Tanasijević G.**: *Tehnološki postupak sinteze poroznih materijala na bazi alkalno aktivirane smeše (kompozita) elektrofilterskog pepela iz termoelektarne "Morava" – Svilajnac i zgure visoke peći iz železare "Hesteel Serbia Iron&Steel, d.o.o."* - Smederevo, 2019.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег истраживачког рада и стеченог искуства, Гордана Г. Танасијевић, маг. инж. технологије, показала је склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом, као и изузетно интересовање и висок степен самосталности у реализацији истраживања везаних за докторску дисертацију. На основу биографских података, научних и стручних активности, Комисија сматра да кандидат Гордана Г. Танасијевић испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Радиоактивни отпад је радиоактивни материјал који се у таквом облику не планира за даљу употребу, а садржи радионуклиде у концентрацијама већим од нивоа прописаних одговарајућим регулаторним телом [1, 2]. Настаје у нуклеарној индустрији, у процесу производње електричне енергије, као и низу радијационих делатности као што су примена извора зрачења у медицини, индустрији, пољопривреди или научно-истраживачком раду. Услед присуства радионуклида, радиоактивни отпад емитује јонизујуће зрачење које потенцијално представља опасност по здравље људи и животну средину, па је сигурно управљање радиоактивним отпадом од суштинског значаја. Управљање обухвата низ мера и активности којима се настали радиоактивни отпад претвара у облике погодне за складиштење и одлагање. Једна од фаза управљања радиоактивним отпадом је кондиционирање, које представља трансформацију отпада у облик погодан за даљу манипулацију, транспорт, складиштење и одлагање. Најчешће примењивана метода кондиционирања је имобилизација, односно конвертовање отпада у форме које ефикасно задржавају радионуклиде, спречавајући на тај начин њихово доспевање у животну средину [2].

Избор најпогодније методе имобилизације зависи од својстава радиоактивног отпада и критеријума за дугорочно складиштење или одлагање [1, 2]. Генерално, имобилизација обухвата солидификацију и витрификацију, при чему се у случају солидификације радиоактивни материјал инкорпорира у цементну или битуменску матрицу, а у случају витрификације у стакласту структуру. Радиоактивни отпад се до сада најчешће имобилисао у везива на бази портланд цемента, при чему долази како до физичког инкорпорирања у поре цементног матрикса, тако и до хемијског трансформисања, формирањем нерастворљивих једињења, најчешће хидроксида, захваљујући алкалној природи раствора у порима [3].

Испитивање ефикасности процеса имобилизације се заснива на испитивању излуживања имобилисаних елемената применом одговарајућих стандардних процедура и оцењивању ефикасности процеса на основу критеријума дефинисаних одговарајућим правилницима. Постоји велики број метода испитивања излуживања, у којима се најчешће користи вода, које симулирају процес излуживања из отпада на депонији или у животној средини и које омогућавају процену карактеристика процедних вода у реалним условима [4, 5]. Поред тестова излуживања, за оцену ефикасности процеса имобилизације често се користи и испитивање чврстоће материјала са имобилисаним елементима. Према Агенцији за заштиту животне средине САД, задовољавајућа чврстоћа материјала који садржи имобилисане загађујуће материје и који се одлаже на депоније је $0,35 \text{ N/mm}^2$ [6].

Цезијум (Cs) представља један од најзаступљенијих елемената у различитим типовима радиоактивног отпада. Захваљујући великој испарљивости и растворљивости у води, Cs се веома брзо преноси у животну средину, те се велики број истраживања бавио испитивањима имобилизације овог елемента [7]. Додатно, Cs се тешко имобилише портланд цементом, због слабих веза, које условљавају велику покретљивост и могућност излуживања из имобилизационе матрице. Пошто је изузетно штетан за људе, у већини експеримената је коришћен симулирани радиоактивни отпад, односно водени раствори нерадиоактивног изотопа [4, 5].

Истраживања спровођена последњих деценија су показала да се као алтернатива портланд-цементу, за имобилизацију токсичног и радиоактивног отпада могу користити и алкално активирани материјали [8-13]. Алкално активирани материјали (ААМ) представљају групу везивних материјала добијених алкалном активацијом калцијум-силикатних или алумосиликатних материјала раствором алкалног активатора (најчешће се користи раствор алкалног хидроксида и/или раствор алкалног силиката) [14, 15]. Као полазни материјали за синтезу алкално активираних материјала најчешће се користе електрофилтерски пепео термоелектрана (ЕФП) и згура високе пећи (ЗВП), као и комбинација ових материјала [16, 17, 18]. Одлагање ЕФП и ЗВП, који се генеришу у огромним количинама сваке године, представља велики проблем, јер депоније ових отпадних материјала утичу на загађење земљишта, ваздуха, вода, као и на здравље људи. Употребом индустријског отпада, ЕФП и ЗВП, у синтези алкално активираних материјала који се користе за имобилизацију радиоактивног отпада могу се делимично решити два велика питања заштите животне средине: депоновање ЕФП и ЗВП и имобилизација радиоактивног отпада.

Структурне и физичко-механичке карактеристике ААМ на бази мешавине ЕФП и ЗВП зависе од низа параметра као што су: хемијски састав, расподела величина честица, садржај и састав аморфне фазе у полазном ЕФП и ЗВП, однос полазних материјала у смеши, услови реакције алкалне активације (врста и концентрација алкалног активатора, температура реакције, време и услови неговања) и др. [16, 19, 20]. Оптимизацијом набројаних параметара, могу се добити материјали чија су својства упоредива са својствима портланд-цемента или чак и боља (као што су механичка својства, отпорност на дејство хемијских агенаса, трајност) [16, 19-23]. Додатни мотив за обимнију производњу и примену ААМ представљају еколошки проблеми које изазива производња портланд-цемента, пре свега емисија великих количина CO_2 у атмосферу. За производњу цемента троше се огромне количине природних минералних сировина и енергије, па би се употребом ААМ могле уштедети природне сировине и енергија и значајно смањити загађење животне средине.

Упркос бројним истраживањима која су показала велики потенцијал ААМ за имобилизацију токсичних и радиоактивних елемената [4, 5, 9], алкално активирани материјали на бази ЕФП и ЗВП су још увек далеко од значајније практичне примене у овој области. Један од разлога је већ поменуто обиље параметара који утичу на структуру и својства ААМ на бази ЕФП и ЗВП. Претходна истраживања показала су да присуство ЗВП у смеши са ЕФП може да утиче на повећану реактивност ЕФП у реакцији алкалне активације [19]. Повећана реактивност ЕФП огледала се у већим чврстоћама при притиску ААМ на бази мешавине ЕФП и ЗВП, у поређењу са везивима добијеним алкалном активацијом ЕФП. С

друге стране, ААМ на бази ЗВП су материјали који показују високе чврстоће, као и добру отпорност на утицај агресивних средина, али лошу обрадивост и брзо време везивања [19]. Захваљујући слабој реактивности ЕФП, са повећањем његовог удела у мешавини са ЗВП, могуће је добити ААМ са оптималним временом везивања [19]. Претходна истраживања показала су и да повишена температура реакције доводи до бржег развоја чврстоће и да се алкалном активацијом ЕФП и ЗВП раствором натријум-силиката на 95 °C добијају материјали одличних физичко-механичких карактеристика [19, 24-26].

Предмет ове докторске дисертације је испитивање могућности имобилизације цезијума алкално активираним материјалима на бази електрофилтерског пепела термоелектране и згуре високе пећи, при различитим масеним уделима ЕФП и ЗВП и при различитим почетним концентрацијама Cs. За синтезу ААМ користиће се ЕФП из термоелектране „Никола Тесла“, Обреновац, Србија, и ЗВП из производње сировог гвожђа из Железаре Смедерево, Србија.

Циљ ове докторске дисертације је да се, испитујући ефикасност процеса имобилизације цезијума алкално активираним материјалима на бази ЗВП, ЕФП и мешавине ЗВП и ЕФП, при различитим почетним концентрацијама Cs, дефинишу механизми имобилизације овог елемента, као и да се дефинише утицај процеса излуживања на физичко-механичка и структурна својства алкално активираних материјала.

Списак стручне литературе

- [1] Rahman A., Rakhimov R.O., Rakhimova R.Z., Ojovan N.R., M.I.: *Cementitious Materials for Nuclear Waste Immobilization*, John Wiley Sons Ltd, 2015.
- [2] Ciraj-Bjelac O., Vujović M.: *Upravljanje radioaktivnim otpadom*, ETF, Beograd, 2017.
- [3] Lee N.K., Khalid H. R., Lee H.K.: *Adsorption characteristics of cesium onto mesoporous geopolymers containing nano-crystalline zeolites*, - Micropor. Mesopor. Mater., Vol 242, 2017, pp. 238-244.
- [4] Li Q., Sun Z., Tao D., Xu Y., Li P., Cui H., Zhai J.: *Immobilization of simulated radionuclide $^{133}\text{Cs}^+$ by flyash-based geopolymer*, - J. Hazard. Mater., Vol 262, 2013, pp. 325-331.
- [5] Wang J., Wang Jun-xia, Zhang Q., Li Y.: *Immobilization of simulated low and intermediate level waste in alkali-activated slag-fly ash-metakaolin hydroceramics*, - Nucl. Eng. Design, Vol 300, 2016, pp. 67-73.
- [6] United States Environmental Protection Agency, Technical Resource Document — *Solidification/Stabilization and Its Application to Waste Materials*, - USEPA, June 1993 (EPA/530/R-93/012)
- [7] Fernández-Jiménez A., Macphee D.E., Lachowski E.E., Palomo A.: *Immobilization of cesium in alkaline activated fly ash matrix*, - J. Nucl. Mater., Vol 346, 2015, pp. 185-193.
- [8] Shi C., Jimenez A. F.: *Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated cements*, - J. Hazard. Mater., Vol 137, 2006, pp. 1656-1663.
- [9] Komljenović M., Tanasijević G., Džunuzović N., Provis J.L.: *Immobilization of cesium with alkali-activated blast furnace slag*, - J. Hazard. Mater., Vol 388, 2020.
- [10] Walkley B., Ke X., Hussein O. H., Bernal S. A., Provis J. L.: *Incorporation of strontium and calcium in geopolymer gels*, - J. Hazard. Mater. Vol 382, 2020.
- [11] El-Naggar M.R., El-Masry E.H., El-Sadek A.A.: *Assessment of individual and mixed alkali activated binders for solidification of a nuclear grade organic resin loaded with ^{134}Cs , ^{60}Co and $^{152+154}\text{Eu}$ radionuclides*, - J. Hazard. Mater., Vol 375, 2019, pp. 149-160.
- [12] Jiang J., Wang P., Hou D.: *The mechanism of cesium ions immobilization in the nanometer channel of calcium silicate hydrate: a molecular dynamics study*, - J. Chem. Soc. Faraday Trans. Vol 19, 2017, pp. 27974-27986.
- [13] Vandevenne N., Iacobescu R. I., Carleer R., Samyn P., D'Haen J., Pontikes Y., Schreurs S., Schroeyers W.: *Alkali-activated materials for radionuclide immobilisation and the effect of precursor composition on Cs/Sr retention*, - J. Nucl. Mater. Vol 510, 2018, pp. 575-584

- [14] Pacheco-Torgal F., Castro-Gomes J., Jalali S.: *Alkali-activated binders: A review. Part 2. About materials and binders manufacture*, - Constr.Build. Mater. Vol 22, 2008, pp. 1315-1322.
- [15] Srinivasan K., Sivakumar A.: *Geopolymer Binders: A Need for Future Concrete Construction*, - ISRN Polymer Science, Vol 2013, 2013, p.8.
- [16] Provis J.L., van Deventer J.S.J. (Editors): *Alkali Activated Materials, State-of-the-Art Report*, RILEM TC 224-AAM, Springer, 2014.
- [17] Shi C., Fernández-Jiménez A., Palomo A.: *New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement*, - Cem. Concr. Res., Vol 41, 2011, pp. 750-763.
- [18] Pacheco-Torgal F., Labrincha J.A., Leonelli C., Palomo A., Chindapasirt P. (Editors): *Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 54, 2015.
- [19] Marjanović N., Komljenović M., Bašćarević Z., Nikolić V., Petrović R.: *Physical-mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash-blast furnace slag blends*, - Ceram. Int. Vol 41, 2015, pp. 1421-1435.
- [20] Provis J.L., Palomo A., Shi C.: *Advances in understanding alkali-activated materials*, - Cem. Concr. Res. Vol 78A, 2015, pp. 110-125.
- [21] Provis J. L.: *Alkali-activated materials*, - Cem. Concr. Res., Vol 114, 2018, pp. 40-48.
- [22] Shi C., B. Qu, Provis J.L.: *Recent progress in low-carbon binders*, - Cem. Concr. Res. Vol 122, 2019, pp. 227-250.
- [23] Wang A., Zheng Y., Zhang Z., Liu K., Li Y., Shi L., Sun D.: *The Durability of Alkali-Activated Materials in Comparison with Ordinary Portland Cements and Concretes: Review*, - Engineering, Vol 6, 2020, pp. 695-706.
- [24] Komljenović M., Bašćarević Z., Bradic V.: *Mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash geopolymers*, - J. Hazard. Mater. Vol 181, 2010, pp. 35-42.
- [25] Nikolić V., Komljenović M., Bašćarević Z., Marjanović N., Miladinović Z., Petrović R.: *The influence of fly ash characteristics and reaction conditions on strength and structure of geopolymers*, - Constr. Build. Mater. Vol 94, 2015, pp. 361-370.
- [26] Winnefeld F., Leemann A., Lucuk M., Svoboda P., Neuroth M.: *Assessment of phase formation in alkali activated low and high calcium fly ashes in building materials*, - Constr. Build. Mater. Vol 24, 2010, pp. 1086-1093.

2. Полазне хипотезе

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације заснована су на следећим претпоставкама:

- Физичко-механичка својства (чврстоће при притиску, време везивања, термоотпорност и отпорност на дејство различитих хемијских агенаса итд.) везива синтетисаних алкалном активацијом ЕФП и ЗВП упоредива су са својствима везива на бази портланд-цемента, а у неким случајевима и боља, што ове материјале чини погодним за имобилизацију токсичних и радиоактивних материјала, као што је цезијум.
- Употреба индустријског отпада, као што су ЕФП и ЗВП, за синтезу ААМ има позитиван утицај на животну средину, јер се не троше природне минералне сировине као у случају проиводње цемента, а смањује се емисија CO_2 и количине депонованог отпада, као и негативан утицај депонија на квалитет земљишта, воде и ваздуха.
- Алкалном активацијом алумосиликатног прекурсора, као што је ЕФП, настаје умрежена, тродимензионална, претежно аморфна, структура (алумосиликатни гел), коју чине $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и $[\text{AlO}_4]^{5-}$ тетраедри повезани преко анјона кисеоника (везујући кисеоник). Због уградње $[\text{AlO}_4]^{5-}$ јединица, алумосиликатна структура поседује вишак негативног наелектрисања које се најчешће компензује уградњом катјона алкалних метала из раствора активатора. На сличан начин могу се понашати и катјони токсичних и радиоактивних елемената приликом имобилизације алкално активираним материјалима на бази ЕФП.
- Алкалном активацијом ЗВП као калцијум-алумосиликатног прекурсора, формирају се калцијум-силикохидратни (C-S-H) гел и калцијум-силикохидратни гел са инкорпорираним

алуминијумом (C-A-S-H). Сматра се да у ланцима C-A-S-H гела $[\text{AlO}_4]^{5-}$ тетраедри заузимају преферентно места везујућих тетраедара. Уградњом алуминијума у структуру C-S-H гела повећава се дужина ланаца у структури, као и бочно повезивање (умрежавање) ланаца, што доприноси већој густини и компактности везива, односно већој чврстоћи. Заменом силицијума алуминијумом у тетраедарској координацији настаје вишак негативног наелектрисања, који се компензује катјонима алкалних метала, што указује на могућност уградње јона који се желе имобилисати уместо катјона алкалних метала.

- Будући да је за ефикасну имобилизацију радиоактивног материјала потребно везиво што бољих својстава, побољшана својства ААМ на бази мешавине ЕФП и ЗВП (у односу на ААМ добијене активацијом појединачних материјала) треба да доведу до ефикасније имобилизације цезијума.

- Механизми имобилизације зависе и од концентрације елемента који се имобилише. Зависно од концентрације цезијума и удела ЕФП и ЗВП у ААМ, могући су различити механизми имобилизације цезијума у ААМ: уграђивање у продукте реакције алкалне активације (алумосиликатни гел, C-S-H или C-A-S-H фазу); адсорпција на површини продукта реакције; задржавање у облику слободних јона у раствору у порама; формирање метастабилних преципитата (хидроксида, или други облици алкалних алумосиликата), и др.

- Испитивање излуживања елемената из ААМ у водену средину обезбедиће информације о утицају реалних услова у животној средини на трајност ААМ и могућност примене ААМ за имобилизацију цезијума.

- Резултати испитивања структуре ААМ у зависности од удела ЕФП и ЗВП, почетне концентрације цезијума и степена излуживања са временом омогућиће дефинисање механизма имобилизације цезијума алкално активираним материјалима.

3. Научне методе истраживања

Хемијски састав полазних материјала, ЕФП и ЗВП, биће одређен класичном хемијском анализом (алкалним топљењем).

Гранулометријски састав ЕФП и ЗВП биће одређен мокрим просејавањем (на ситима отвора од 45 μm , 63 μm и 100 μm).

Специфична површина, запремина и величина пора полазног ЕФП и ЗВП, као и синтетисаних алкално активираних материјала, биће одређивана коришћењем адсорпционо-десорпционих изотерми азота на температури течног азота.

Пасте ААМ ће се припремати мешањем ЕФП и/или ЗВП, раствора алкалног активатора (натријум-силиката) и воде или воденог раствора соли цезијума, у концентрацијама до 5% цезијума у односу на масу ЕФП и/или ЗВП. Малтери ААМ ће се припремати на исти начин као и пасте, уз додатак стандардног песка, у масеном односу полазни материјали : песак од 1: 3. Припрема малтера извршиће се у складу са препорукама стандарда SRPS EN 196-1 за портланд- цемент. Време везивања пасти ће бити одређено према стандардној методи описаној у SRPS EN 196-3 помоћу Викат апарата. Испитивање чврстоће при притиску малтера ААМ биће извршено у складу са поступком прописаним стандардом SRPS EN 196-1.

Анализа отпорности ААМ на бази ЕФП и ЗВП према излуживању вршиће се према стандардној процедури ANSI/ANS-16.1-2003, а концентрација јона цезијума у раствору након излуживања одређиваће се методом оптичке емисионе спектроскопије са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP-OES).

Минерални састав полазног ЕФП И ЗВП, као и синтетисаних ААМ, биће одређиван рендгенским дифрактометром за прах (XRD). За детаљно испитивање структуре ААМ користиће се скенирајућа електронска микроскопија (SEM), енергетска дисперзивна спектроскопска анализа (EDS), термичка анализа (DTG/DTA), инфрацрвена спектрометријска анализа са Фуријевом трансформацијом (FT-IR) и нуклеарна магнетна резонантна спектроскопија (NMR).

Упоредном анализом резултата наведених метода биће дефинисан механизам имобилизације цезијума. Утврдиће се утицај карактеристика полазног ЕФП и ЗВП, њиховог удела у ААМ и почетних концентрација цезијума у ААМ на ефикасност процеса имобилизације цезијума.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације довести до:

- Оптимизације састава и својстава алкално активираних материјала на бази ЕФП и ЗВП за ефикасну имобилизацију цезијума,
- Утврђивања утицаја удела ЕФП и ЗВП на ефикасност процеса имобилизације цезијума алкално активираним материјалима,
- Дефинисања механизма имобилизације цезијума алкално активираним материјалима на бази ЕФП и ЗВП,
- Утврђивања утицаја концентрације цезијума на физичко-механичка и структурна својства алкално активираних материјала,
- Утврђивања утицаја процеса излуживања на механичка и структурна својства алкално активираних материјала са и без инкорпорираног цезијума.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације ће обухватити:

- преглед литературе,
- карактеризацију полазних материјала,
- синтезу и карактеризацију алкално активираних материјала на бази ЕФП, ЗВП и мешавина ЕФП и ЗВП, без додатка цезијума,
- синтезу и карактеризацију алкално активираних материјала на бази ЕФП, ЗВП и мешавина ЕФП и ЗВП, са додатком цезијума,
- испитивање излуживања цезијума из алкално активираних материјала у дејонизованој води,
- карактеризацију алкално активираних материјала на бази ЕФП, ЗВП и мешавина ЕФП и ЗВП, без додатка цезијума, након излуживања,
- карактеризацију алкално активираних материјала на бази ЕФП, ЗВП и мешавина ЕФП и ЗВП, са додатком цезијума, након излуживања,
- обраду и дискусију резултата,
- извођење закључака.

У докторској дисертацији биће обрађена следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

У поглављу Увод биће приказано подручје истраживања, предмет и циљеви истраживања. Теоријски део обухватиће детаљан преглед досадашњих истраживања у овој области кроз анализу доступне литературе. У поглављу Експериментални део биће наведени коришћени материјали у експерименталном раду, описани поступци синтезе алкално активираних материјала са и без додатка цезијума, као и свих примењених метода карактеризације. Сви резултати до којих се буде дошло, уз одговарајућу детаљну анализу и дискусију, биће систематски представљени у поглављу Резултати и дискусија. У Закључку биће сумирани сви најважнији закључци проистекли из експерименталног рада и анализе добијених резултата у оквиру ове дисертације. Литература која ће бити коришћена током израде докторске дисертације ће бити наведена у поглављу Литература.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података, Комисија сматра да кандидат Гордана Г. Танасијевић, мастер инжењер технологије, испуњава све услове за израду предложене докторске дисертације. Предмет, циљеви, методе, актуелност и значај теме су добро дефинисани и научно засновани. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да одобри израду докторске дисертације: „Имобилизација цезијума алкално активираним материјалима на бази електрофилтерског пепела термоелектрана и згуре високе пећи“. За ментора се предлаже др Рада Петровић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду. Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

2. др Снежана Грујић, редовни професор Универзитета у
Београду, Технолошко-металуршки факултет

3. др Звездана Башчаревић, научни сарадник Универзитета у
Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

4. др Ђорђе Вељовић, доцент Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет