

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/498
(Број захтева)

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

23.10.2015.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Процес стабилизације и солидификације опасног муља образованог након третмана отпадне воде у примарној металургији бакра“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: МЕТАЛУРШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

ДРАГАНА (Ђуро) РАДОВАНОВИЋ, дипл. инж.

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

3. Година дипломирања: 2008.

4. Назив магистарске тезе кандидата: /

Студент је шк. 2008/2009. године уписан на докторске академске студије.

Решењем 05 број 10/22 од 13.10.2014. године, на захтев студента, одобрено је мировање шк. 2013/2014. године због неге сопственог детета до годину дана живота.

На захтев студента, а уз сагласност ментора, НН веће Факултета је, на седници одржаној 22.10.2015. године, донело Одлуку бр. 35/515 о продужењу рока за завршетак студија за још два семестра шк. 2014/2015. године.

5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

6. Година одбране магистарске тезе: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће,
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 22.10.2015. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 22.10.2015. 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 **ДРАГАНЕ РАДОВАНОВИЋ**, дипл. инж., под називом: „**Процес стабилизације и солидификације опасног муља образованог након третмана отпадне воде у примарној металургији бакра**“.

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

За ментора се одређује **др Жељко Камберовић**, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Драгана Ђ. Радовановић

Име и презиме ментора: Жељко Камберовић

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Ivšić-Bajčeta D., **Kamberović Ž.**, Korać M., Gavrilovski M.: *A solidification/stabilization process for wastewater treatment sludge from a primary copper smelter*, - Journal of the Serbian Chemical Society, Vol 78, No 5, 2013, pp 725-739. ISSN 0352-5139, IF 2014 = 0.871
2. Štulović M., Ivšić-Bajčeta D., Ristić M., **Kamberović Ž.**, Korać M., Anđić Z.: *Leaching Properties of Secondary Lead Slag Stabilized/Solidified with Cement and Selected Additives*, - Environment protection engineering, Vol 39, No 3, 2013, pp. 149-163. ISSN 0324-8828, IF 2014 = 0.652
3. Filipović M., **Kamberović Ž.**, Korać M.: *Solidification of high chromium white cast iron alloyed with vanadium*, - Materials Transactions, Vol 52, No 3, 2011, pp. 386-390. ISSN 1345-9678, IF 2010 = 0,787
4. Jovičević N., Cvetković V., **Kamberović Ž.**, Jovičević J.: *Al-Zn Alloy Formation by Aluminium Underpotential Deposition from $AlCl_3 + NaCl$ Melts on Zinc Substrate*, - International Journal of Electrochemical Science, Vol 7, No 11, 2012, pp. 10380-10393. ISSN 1452-3981, IF 2011 = 3.729
5. Korać M., **Kamberović Ž.**, Anđić Z., Filipović M., Tasić M., *Sintered materials based on copper and alumina powders synthesized by a novel method*, - Science of Sintering, Vol 42, No 1, 2010, pp. 81-90. ISSN 0350-820X, IF 2009 = 0.486

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

Ⓐ 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 М24 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 односне 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: 22.10.2015.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Драгане Ђ. Радовановић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/311 од 20.07.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Драгане Ђ. Радовановић, дипл. инж. технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме ПРОЦЕС СТАБИЛИЗАЦИЈЕ И СОЛИДИФИКАЦИЈЕ ОПАСНОГ МУЉА ОБРАЗОВАНОГ НАКОН ТРЕТМАНА ОТПАДНЕ ВОДЕ У ПРИМАРНОЈ МЕТАЛУРГИЈИ БАКРА.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Драгана Ђ. Радовановић (рођ. Ившић), дипл. инж. технологије, рођена је 8.1.1985. године у Београду. Завршила је XII београдску гимназију „Димитрије Туцовић” 2003. године као носилац Вукове дипломе. Школске 2003/2004 године уписала је Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду. Студије је завршила 2008. године на смеру Хемијско инжењерство, са просечном оценом студија 8,94. Дипломски рад под називом „Одређивање волуметријских величина бинарних смеша алкохола са дициклохексиламином” одбранила је са оценом 10. Добитник је награде фонда „Панта С. Тутунџић“ за изузетан успех на студијама. Школске 2008/09 године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, смер Металуршко инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом на докторским студијама са просечном оценом 10,0. Завршни испит „Оптимизација процеса лужења хидрометалуршког поступка прераде штампаних плоча из електронског отпада” одбранила је 2010. године са оценом 10. Од 2008. године запослена је на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, а од 2009. године у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета у Београду, као истраживач приправник. У звање истраживач сарадник изабрана је 2013. године.

Од 2009. године Драгана Ђ. Радовановић се бави експерименталним истраживањима у области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада, методе третмана отпадне воде из примарне металургије бакра, развој процеса стабилизације-солидификације опасног муља који настаје након третмана отпадне

воде, као и могућност валоризације бакра из отпадних токова. Ангажована је на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У оквиру рада на пројектима, усавршавала је методе научно-истраживачког поступка и пријавила тему за израду докторске дисертације под називом „Процес стабилизације и солидификације опасног муља образованог након третмана отпадне воде у примарној металургији бакра“. Има објављене радове у часописима међународног значаја, саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини, радове у часопису националног значаја и коаутор је техничког решења. Истраживања и остварени резултати су у складу са предложеном темом дисертације.

Учествовала је у интерном мапирању иновационог потенцијала за потребе пројекта „Технолошко брокерство и мапирање иновационог потенцијала ТМФ-а и ИЦ ТМФ-а“. Похађала је курсеве „Fundamental and Applications of Controlled Release and Drug Delevvery“, одржаног на Универзитету у Београду; курс „Mathematical Modeling with MATLAB“, организатор GAMAX Laboratory Solutions Ltd; радионицу "How to Write a World Class Paper" у организацији компаније ELSEVIER; "Креирање иновација: поглед у будућност ИКТ-а", организатор Центар за ТрансферТехнологије Универзитета у Београду и компанија Ериксон.

Обучена је за рад у програмским пакетима „Origin“, „SuperPro Designer“, „HSC Chemistry“, „Adobe Photoshop“, „CorelDRAW“ и „MATLAB“. Поседује активно знање енглеског језика и основно знање француског језика.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Драгана Ђ. Радовановић је школске 2008/09 године уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Металуршко инжењерство. Успешно је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10,00 и оценом 10,00 на Завршном испиту са темом „Оптимизација процеса лужења хидрометалуршког поступка прераде штампаних плоча из електронског отпада“. Завршни испит је обухватио преглед литературе из наведене области, експериментална истраживања и приказ и анализу добијених резултата. Резултати ових истраживања представљају полазну основу за истраживања обухваћена у докторској дисертацији, пошто састав тешких метала у раствору добијеног након лужења електронског отпада одговара карактеристикама отпадне воде из примарне металургије бакра која је делом предмет теме докторске дисертације.

Положени испити на докторским студијама

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Феномени преноса у инжењерству материјала	10	5
Физичка металургија	10	4
Одабрана поглавља математичке анализе	10	5
Структура и својства металних материјала	10	5
Металургија праха	10	4
Савремени процеси и материјали у ливарству	10	4
Инжењерство површина	10	4
Пећи и фактори у металургији	10	4
Материјали за високотемпературске намене	10	4
Очвршћавање метала	10	4
Виши курс металуршких процеса	10	4
Кинетика фазних трансформација	10	4
Завршни испит	10	30

Драгана Ђ. Радовановић се од 2009. године бави експерименталним истраживањима из области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада, методе третмана отпадне воде из примарне металургије бакра, развој и оптимизација процеса стабилизације-солидификације опасног муља који настаје након третмана отпадне воде, као и могућност валоризације бакра из отпадних токова.

Учесник је следећих пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

- пројекат технолошког развоја „Добијање наноструктурних прахова у циљу производње нових дисперзно ојачаних синтерованих материјала у систему $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ “, ТР 19032, ангажована од 2008. до 2011. године;
- пројекат технолошког развоја „Иновативна синергија нус-продуката, минимизације отпада и чистије производње у металургији“, ТР 34033, ангажована од 2011. године (пројекат је у току);

Из досадашњег научно-истраживачког рада Драгане Ђ. Радовановић проистекли су следећи резултати, који се односе на област теме докторске дисертације:

1. Рад у међународном часопису (M23)

1. **Radovanović D.**, Kamberović Ž., Korać M., Rogan J.: *Solidified Structure and Leaching Properties of Metallurgical Wastewater Treatment Sludge after Solidification/Stabilization Process*, - Journal of Environmental Science and Health, Part A, doi 10.1080/10934529.2015.1079104, ISSN 1532-4117, IF 2014 = 1.164
2. **Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž., Korać M., Gavrilovski M.: *A solidification/stabilization process for wastewater treatment sludge from a primary copper smelter*, - Journal of the Serbian Chemical Society, Vol 78, No 5, 2013, pp 725-739. ISSN 0352-5139, IF 2014 = 0.871
3. Štulović M., **Ivšić-Bajčeta D.**, Ristić M., Kamberović Ž., Korać M., Anđić Z.: *Leaching Properties of Secondary Lead Slag Stabilized/Solidified with Cement and Selected Additives*,

- Environment protection engineering, Vol 39, No 3, 2013, pp. 149-163. ISSN 0324-8828, IF 2014 = 0.652

2. Саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини (M33)

1. **Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž.: *Synergistic effect of fly ash and lime on treatment of sulfurous-acidic gaseous products of smelting in metallurgy*, - Proceedings of Integrated symposium with international participation 5th symposium on ash, slag and waste landfills in power plants and mines, Subotica 2013., pp. 126-131. ISSN 978 – 86 – 80809 – 79 – 3
2. **Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž., Korać M., Anđelić B., Trujić V.: *Possibilities of solidification/stabilization of sludge from wastewater treatment plant in TIR Bor with fly ash*, - Proceedings of XIX International Scientific and Professional Meeting EcoIst '11, Bor 2011., pp. 420-426. ISSN 978-86-80987-84-2

3. Рад у часопису националног значаја (M52)

1. **Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž., Rogan J., Ćirković M., Pavlović T.: *Analysys of copper losses throughout weak acid effluent flows generated during off-gas treatment in the new copper smelter RTB Bor*, - Metallurgical & Materials Engineering, Vol 19, No 3, 2013, pp. 217-231. ISSN 2217-8961

4. Нови технолошки поступак (M83)

1. Камберовић Ж., Кораћ М., Анђић З., Гавриловски М., **Ившић-Бајчета Д.**, *Нови технолошки поступак стабилизације /солидификације опасног муља образованог након третмана отпадне воде у Топионици бакра РТБ Бор*, 2012, резултат пројекта МПНТР евиденциони бр. ТР 34033

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података и резултата досадашњих истраживања у области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада, методе третмана отпадне воде из примарне металургије бакра, развој и оптимизација процеса стабилизације-солидификације опасног муља који настаје након третмана отпадне воде, као и могућност валоризације бакра из отпадних токова, Комисија оцењује да је Драгана Ћ. Радовановић показала изузетну склоност и способност за научно-истраживачки рад и да испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Отпадна вода, која настаје током хлађења и пречишћавања процесних гасова из примарне топионице бакра, се одликује високим садржајем сумпорне киселине, тешких метала (Cu, Ni, Zn, Fe, Pb) и арсена. Третман отпадне воде се састоји из неутрализације сумпорне киселине и таложења растворених јона метала хемијском преципитацијом коришћењем кречног млека. У току процеса, као резултат третмана отпадне воде, настаје отпадни муљ који се састоји од гипса, металних хидроксида и сулфида метала. Овај отпадни муљ се карактерише као опасан отпад и захтева физички и хемијски третман пре одлагања. Предмет истраживања дисертације је развој и оптимизација процеса стабилизације и солидификације опасног муља који настаје након третмана отпадне воде из примарне топионице бакра, а са циљем добијања инертног/неопасног отпада погодног за безбедно одлагање.

Процес стабилизације/солидификације (C/C) се сматра најбољом доступном технологијом за третман индустријског отпада који садржи тешке метале. Он укључује мешање отпадног материјала са специфичним везивом (агенсом за стабилизацију) у циљу превођења опасних материја у мање растворне, мобилне или токсичне форме инкорпорирањем у чврсту матрицу. Највише коришћена везива су материјали на бази цемента. Међутим, у циљу побољшања економских и еколошких ефеката C/C процеса, данас се цемент све више замењује отпадним материјалима на бази пуцолана као што је летећи пепео. Употребом летећег пепела проширује се област рН стабилности метала и побољшавају механичка својства третираног отпада. У C/C третману отпада који садржи тешке метале и арсен, летећи пепео се користи или индивидуално или у смеши са Портланд цементом и кречом. CaO , SiO_2 и Al_2O_3 , присутни у везиву, реагују са водом током пуцоланске реакције формирајући хидрате калцијум-силиката (C-S-H) и калцијум-алумината (C-A-H), као главне конституенте солидификоване матрице. И физичка и хемијска својства солидификоване матрице зависе од развоја ове хидратисане структуре. Развој хидратисане структуре зависи од састава и количине третираног отпада. Генерално се верује да јони тешких метала и арсена, присутни у отпаду, могу да спрече даљу пуцоланску реакцију и инхибирају развој хидратисане структуре теложењем нерастворних соли Ca-Me (Me – тешки метали) и Ca-As на новоформиране хидрате. У оквиру дисертације биће обухваћено испитивање утицаја летећег пепела, заједно са цементом и хидратисаним кречом, као могућег везива, као и утицај количине отпада на својства добијеног солидификата.

Ефикасност C/C процеса се дефинише притисном чврстоћом и количином излужених материја из третираног отпада. Тест притисне чврстоће (unconfined compressive strength, UCS) даје основну информацију о стабилизацији метала. Усвојена минимална вредност притисне чврстоће која је потребна за безбедно одлагање солидификата износи 0,35 МПа. У примени је више стандардизованих тестова лужења за процену C/C процеса и карактеризацију солидификованог отпада као опасног или неопасног, заснованих на растворљивости и/или доступности загађивача. Два теста која су прописана националним законодавством су EN 12457-4, тест при којем се користи дејонизована вода као агенс за лужење, и TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), интензивнији тест лужења при којем се користи раствор сирћетне киселине као агенс за лужење. У току испитивања у оквиру дисертације примениће се мерење притисне чврстоће и оба прописана стандардна теста лужења на свим испитиваним солидификатима. Услед различитих услова лужења, као што су рН, редокс потенцијал раствора (Eh), однос течност-чврсто и различити агенси за лужење, ова два теста могу дати различиту карактеризацију истог отпада и можда не одражавају стварни ниво лужења у реалним условима. Из тих разлога испитивање ће укључити и дуготрајни тест лужења који ће трајати годину дана и састојаће се у излагању солидификата реалним атмосферским условима и скупљању и анализи насталих течних вода.

Ниво излужења метала је функција рН вредности и зависиће од пуферског капацитета солидификоване матрице, односно, њене отпорности на различите услове средине. Тест капацитета за неутрализацију киселине (Acid Neutralization Capacity test, ANC) одређује пуферски капацитет солидификата и састоји се из серије лужења солидификата са раствором у коме се током серије повећава концентрација азотне киселине и мери рН вредности добијених раствора. Титрацијске криве, добијене конструисањем зависности рН вредности од садржаја киселине, дају информацију о капацитету за неутрализацију киселине солидификата и њихову отпорност на различите услове средине. Резултати теста капацитета за неутрализацију киселине се даље могу користити у диференцијалном ANC тесту. Ова процедура омогућава индиректну минеролошку анализу солидификоване структуре. Анализа се заснива на чињеници да је плато на титрацијској криви, који настаје на одређеним рН вредностима, повезан са растварањем специфичне хидратисане фазе присутне у солидификованој матрици. Зависност апсолутне вредности нагиба инверзне титрацијске

криве од измерених рН вредности је представљена низом дискретних пикова. Сваки од ових пикова одговара одређеној хидратисаној фази. Резултати неколико студија су показали да диференцијална ANC анализа може бити ефикасна алтернатива рентгенској дифрактометријској анализи (XRD) за испитивање структуре солидификованих матрица. Примена XRD методе је понекад ограничена услед, у суштини, аморфне структуре производа пуцоланске реакције. Недостаци диференцијалне ANC методе су да позиција пикова може да варира у зависности од количина присутних фаза и њихових интеракција. Такође, састав везива и присуство нечистоћа могу да узрокују варирање рН вредности на којој се одређени пик појављује. Предмет истраживања докторске дисертације ће укључити ANC тест свих испитиваних солидификата, као и диференцијалну ANC анализу. Диференцијална ANC анализа ће бити комбинована са Eh-рН дијаграмима (Пурбеови дијаграми) као нови метод који омогућава детаљнију и тачнију интерпретацију пикова повезаних са присуством одређених хидратисаних фаза у солидификованој структури, чиме се превазилазе претходно набројани недостаци ове алтернативне анализе. Резултати ће бити упоређени са резултатима XRD анализе и сканирајуће електронске микроскопије (SEM).

У завршној фази рада, солидификат, оптималног састава везива и отпадног муља, ће бити испитиван на нивоу пилот постројења са циљем имплементације C/C поступка у процес производње.

2.2. Циљеви истраживања

Научни циљеви истраживања су:

- Одређивање састава отпадне воде из примарне топионице бакра симулацијом састава и третмана гасних токова из процеса топљења и конвертовања концентрата бакра и поређење резултата са пројектованим вредностима.
- Одређивање састава опасног отпадног муља симулацијом третмана отпадне воде из примарне топионице бакра.
- Испитивање токсичности отпадног муља синтетисаног у лабораторијским условима на основу резултата симулације.
- Испитивање утицаја количине и састава везива на ефикасност процеса стабилизације/солидификације. Као везиво испитиваће се летећи пепео и смеше летећег пепела са цементом и хидратисаним кречом.
- Оптимизација C/C процеса на основу резултата испитивања притисне чврстоће, тестова лужења и анализе солидификоване структуре добијених солидификата.
- Испитивање солидификата оптималног састава на нивоу пилот постројења са циљем имплементације C/C поступка у процес производње.

2.3. Релевантни библиографски извори

1. Conner J.R., Hoeffner S.L.: *The history of stabilization/solidification technology*, - Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 28, No 4, 1998, pp.325–396.
2. Dermatas D., Meng X.: *Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils* - Engineering Geology, Vol 70, No 3-4, 2003, pp. 377 – 394.

3. Camacho L.M., Munson-McGee S.H.: *Anomalous transient leaching behavior of metals solidified/stabilized by pozzolanic fly ash* - Journal of Hazardous Materials, Vol 137, No 1, 2006, pp. 144-151.
4. Moon D.H., Dermatas D.: *Arsenic and lead release from fly ash stabilized/solidified soils under modified semi-dynamic leaching conditions* - Journal of Hazardous Materials, Vol 141, No 2, 2007, pp. 388-394.
5. Singh T.S., Pant K.K.: *Solidification/stabilization of arsenic containing solid wastes using portland cement, fly ash and polymeric materials* - Journal of Hazardous Materials, Vol 131, No 1-3, 2006, pp. 29-36.
6. Erdem M., Özverdi A.: *Environmental risk assessment and stabilization/solidification of zinc extraction residue: II. Stabilization/solidification* – Hydrometallurgy, Vol 105, No 3-4, 2011, pp. 270-276.
7. Chen Q., Zhang L., Ke Y., Hills C., Kang Y.: *Influence of carbonation on the acid neutralization capacity of cements and cement-solidified/stabilized electroplating sludge* - Chemosphere, Vol 74, No 6, 2009, pp. 758-764.
8. Gineys N., Aouad G., Damidot D.: *Managing trace elements in Portland cement – Part I: Interactions between cement paste and heavy metals added during mixing as soluble salts* – Cement and Concrete Composites, Vol 32, No 8, 2010, pp. 563-570.
9. Minocha A.K., Jain N., Verma C.L.: *Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge* – Cement and Concrete Research, Vol 33, No 10, 2003, pp. 1695-1701.
10. Diet J.N., Moszkowicz P., Sorrentino D.: *Behaviour of ordinary Portland cement during the stabilization/ solidification of synthetic heavy metal sludge: macroscopic and microscopic aspects* - Waste Management, Vol 18, No 1, 1998, pp. 17-24.
11. Zain M.F.M., Islam M.N., Radin, S.S., Yap S.G.: *Cement-based solidification for the safe disposal of blasted copper slag* - Cement and Concrete Composites, Vol 26, No 7, 2004, pp. 845-851.
12. Malviya R., Chaudhary R.: *Factors affecting hazardous waste solidification /stabilization: A review* - Journal of Hazardous Materials, Vol 137, No 1, 2006, pp. 267-276.
13. Mantis I., Voutsas D., Samara C.: *Assessment of the environmental hazard from municipal and industrial wastewater treatment sludge by employing chemical and biological methods* – Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol 62, No 3, 2005, pp. 397-407.
14. Koukouzas N., Ketikidis C., Itskos G.: *Heavy metal characterization of CFB-derived coal fly ash* - Fuel Processing Technology, Vol 92, No 3, 2011, pp. 441-446.
15. Li L., Yu C., Bai J., Wang Q., Luo Z.: *Heavy metal characterization of circulating fluidized bed derived biomass ash* - Journal of Hazardous Materials, Vol 233–234, 2012, pp. 41-47.
16. Stegemann J.A., Zhou Q.: *Screening tests for assessing treatability of inorganic industrial wastes by stabilisation/solidification with cement* - Journal of Hazardous Materials, vol 161, No 1, 2009, pp. 300-306.
17. Stegemann J.A., Cote P.L.: *Summary of an investigation of test methods for solidified waste evaluation* - Waste Management, Vol 10, No 1, 1990, pp. 41-52.
18. Glass G.K., Buenfeld N.R.: *Differential acid neutralisation analysis* - Cement and Concrete Research, Vol 29, No 10, 1999, pp.1681-1684.
19. Glass G.K., Reddy B., Buenfeld N.R.: *Corrosion inhibition in concrete arising from its acid neutralisation capacity* - Corrosion Science, Vol 42, No 9, 2000, pp. 587-1598.

20. Peyronnard O., Benzaazoua M., Blanc D., Moszkowicz P.: *Study of mineralogy and leaching behavior of stabilized/solidified sludge using differential acid neutralization analysis: Part I: Experimental study* - Cement and Concrete Research, Vol 39, No 7, 2009, pp 600-609.
21. Giampaolo C., Mastro S.L., Poletti A., Pomi R., Sirini P.: *Acid neutralisation capacity and hydration behaviour of incineration bottom ash-Portland cement mixtures* - Cement and Concrete Research, Vol 32, No 5, 2002, pp. 769-775.
22. Coussy S., Benzaazoua M., Blanc D., Moszkowicz P., Bussière B.: *Arsenic stability in arsenopyrite-rich cemented paste backfills: A leaching test-based assessment* - Journal of Hazardous Materials, Vol 185, No 2-3, 2011, pp. 1467-1476.
23. Coussy S., Benzaazoua M., Blanc D., Moszkowicz P., Bussière B.: *Assessment of arsenic immobilization in synthetically prepared cemented paste backfill specimens* – Journal of Environmental Management, Vol 93, No 1, 2012, pp. 10-21.
24. Jung M.S., Shin M.C., Ann K.Y.: *Fingerprinting of a concrete mix proportion using the acid neutralisation capacity of concrete matrices* – Construction and Building Materials, Vol 26, No 1, 2012, pp. 65-71.
25. Chatain V., Benzaazoua M., Loustau Cazalet M., Bouzahzah H., Delolme C., Gautier M., Blanc D., de Brauer C.: *Mineralogical study and leaching behavior of a stabilized harbor sediment with hydraulic binder* - Environmental Science and Pollution Research, Vol 20, No 1, 2013, pp. 51-59.
26. Poletti A., Pomi R., Sirini P.: *Fractional factorial design to investigate the influence of heavy metals and anions on acid neutralization behavior of Cement-based products* - Environmental Science and Technology, Vol 36, No 7, 2002, pp. 1584-1591.
27. Shi C., Stegemann J.A.: *Acid corrosion resistance of different cementing materials* - Cement and Concrete Research, Vol 30, No 5, 2000, pp. 803-808.

3. Полазне хипотезе

Предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да се отпадни муљ, који по својим карактеристикама спада у опасан отпад, може стабилизovati/солидификовати употребом индустријског отпада као што је летећи пепео. Резултат третмана би требало да буде неопасан или инертан отпад, погодан за безбедно одлагање. При томе се полази од следећих претпоставки:

- Током третмана отпадне воде из примарне топионице бакра настаје отпадни муљ који садржи високе концентрације тешких метала и арсена.
- Летећи пепео је ефикасан агенс (везиво) за стабилизацију/солидификацију. Његова ефикасност се огледа у проширеној области рН стабилности метала и побољшању механичких својства третираног отпада.
- Летећи пепео се може користити индивидуално или у смеши са цементом и хидратисаним кречом. Додак цемента повећава притисну чврстоћу третираног отпаду, док додатак хидратисаног креча убрзава процес хидратације летећег пепела.

- Ефикасност C/C процеса се оцењује мерењем притисне чврстоће солидификата и миграторности опасних материја применом стандардних тестова лужења. Поред стандардних тестова лужења, солидификате би требало изложити атмосферским условима на дужи период и одредити миграторност елемената при реалним условима средине.

4. Научне методе истраживања

Равнотежни састав отпадних гасова из процеса топљења и конвертовања концентрата бакра, као и састав отпадне воде из примарне топионице бакра, која настаје третманом гасова у влажним скруберима, биће одређени симулацијом у HSC Chemistry софтверском пакету. Третман отпадне воде, при којем настаје отпадни муљ, биће симулиран у програму SuperPro Designer. Циљ ове симулације је одређивање састава отпадног муља. На основу резултата симулације, отпадни муљ, који ће се користити у даљем истраживању, ће бити синтетисан у лабораторијским условима. Степен токсичности отпадног муља биће одређен стандардним тестовима лужења који су прихваћени у националном законодавству: EN 12457-4 и TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). Орјентациони састав синтетисаног отпадног муља биће одређен рентгенско флуоресцентном спектрометријом (XRF метода). Такође, биће му одређени густина, садржај воде и pH вредност као физичке особине од значаја за даље истраживање.

Као везиво за стабилизацију/солидификацију испитиваће се летећи пепео и летећи пепео са додатком хидратисаног креча и цемента. Токсичност летећег пепела и његов орјентациони састав ће, такође, бити одређен стандардним тестовима лужења и XRF методом, респективно. Оптимизација C/C процеса ће се вршити варирањем састава и количине везива. Ефикасност C/C процеса ће се оцењивати мерењем притисне чврстоће добијених солидификата и миграторности елемената применом тестова лужења. Поред стандардних тестова лужења, EN 12457-4 и TCLP, солидификати ће бити изложени реалним атмосферским условима средине и сакупљаће се њихова процедурна вода у току годину дана (дуготрајни тест лужења под реалним условима средине). Концентрација тешких метала и арсена у узорцима раствора након тестова лужења и процедурној води биће одређена оптичком емисионом спектроскопијом са индуктивно куплованом плазмом (ICP/OES). Такође, сваком раствору ће се одредити pH и Eh вредност. Како ниво излужења метала из солидификоване матрице зависи од капацитета солидификата за неутрализацију киселине, ANC тест ће бити примењен на свим узорцима.

Све карактеристике солидификата, које одређују ефикасност C/C процеса, зависе од развоја хидратисане структуре солидификоване матрице током пуцоланске реакције. Ова структура ће се посматрати помоћу сканирајуће електронске микроскопије (SEM). Минеролошки састав солидификата ће бити одређен рентгенском дифрактометријом (XRD). Међутим, с обзиром да је солидификована матрица аморфне структуре, очекује се да ће поред XRD методе бити потребна и друга, алтернативна анализа као што је диференцијална ANC. Резултати ANC теста ће бити искоришћени за диференцијалну ANC анализу. У циљу превазилажења недостатака ове алтернативне анализе, њени резултати ће бити комбиновани са Eh- pH дијаграмима као новом методом за прецизније одређивање састава солидификата аморфне структуре.

Солидификат оптималног састава и количине везива ће се даље испитивати на нивоу пилот постројења. У оквиру ове фазе испитивања одредиће се потребно време за потпуну хомогенизацију, могућност пумпања, време слегања (везивања), количина слободне воде и

хидраулична кондуктивност солидификата. Наведена испитивања на нивоу пилот постројења биће спроведена у циљу имплементације С/С третмана у процес производње.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- Развој поступка стабилизације/солидификације за третман опасног муља из примарне топионице бакра, са високим садржајем тешких метала и арсена, применом индустријског отпада - летећег пепела, као везива. Резултат С/С процеса је третираног отпад који има карактеристике неопасног или инертног отпада, погодног за безбедно одлагање.
- Дуготрајни тест лужења третираног отпада под реалним условима средине, при којем се анализирају процедурне воде сакупљане током годину дана излагања отпада атмосферским условима. За разлику од стандардних тестова лужења, који анализирају миграторност елемената при различитим сценаријима, наведени тест даје приказ миграторности елемената при реалним условима средине.
- Диференцијална АНС анализа комбинована са Eh-pH дијаграмима као нови, алтернативни метод за анализу аморфне структуре солидификата.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђа се да ће предложена докторска дисертација бити организована по следећим поглављима: *Увод, Теоријски део, Преглед литературних резултата, Експериментали део, Анализа резултата и дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће приказан кратак осврт на подручје испитивања, дефинисани главни циљеви дисертације и предмет истраживања.

У *Теоријском делу* биће описан процес топљења и конвертовања концентрата бакра по технологији FSF-PSC, третман отпадних гасова и отпадне воде који за резултат имају генерисање отпадног муља. Такође, биће обухваћени принципи на којима се заснива процес стабилизације/солидификације као најбоље доступне технологије за третман отпада са високим садржајем тешких метала.

Поглавље *Преглед литературних резултата* обухватиће анализу досадашњих праваца и резултата истраживања, при чему ће бити представљени:

- Различити могући агенси (везива) за стабилизацију/солидификацију, са посебним освртом на употребу летећег пепела, цемента и хидратисаног креча.
- Утицај употребе различитих везива на развој хидратисане структуре солидификата и ефикасност С/С процеса.
- Утицај присуства различитих елемената на развој хидратисане структуре солидификата и механизми њихове стабилизације унутар солидификоване матрице.
- Принципи испитивања ефикасности С/С процеса.

- Принципи имплементације C/C третмана у процес производње.

У *Експерименталном делу* биће наведене и описане методе коришћене у експерименталном раду:

- Симулација третмана отпадних гасова из примарне топионице бакра и отпадне воде коришћењем SuperPro Designer и HSC Chemistry софтверских пакета.
- Материјали и хемикалије коришћене за синтезу отпадног муља у лабораторијским условима.
- Испитивање физичких особина, хемијског састава и токсичности добијеног синтетичког муља.
- Испитивање физичких особина, хемијског састава и токсичности летећег пепела.
- Испитивање утицаја састава и количине везива на ефикасност C/C процеса мерењем:
 - притисне чврстоће,
 - миграторности елемената стандардним тестовима лужења,
 - миграторности елемената дуготрајним тестом лужења под реалним условима средине,
 - пуферски капацитет применом ANC теста.
- Анализа солидификоване структуре применом:
 - скенирајуће електронске микроскопије (SEM),
 - рентгенске дифрактометрије (XRD),
 - диференцијалне ANC анализе у комбинацији са Eh- pH дијаграмима.
- Испитивање оптималног састава и количине везива на нивоу пилот постројења.

У поглављу *Анализа резултата и дискусија* биће приказани и дискутовани следећи резултати:

- Резултати симулација и упоређивање резултата са пројектованим вредностима.
- Приказ и дискусија физичких особина, хемијског састава и токсичности добијеног синтетичког муља.
- Приказ и дискусија физичких особина, хемијског састава и токсичности летећег пепела.
- Приказ и дискусија утицаја састава и количине везива на ефикасност C/C процеса.
- Резултати анализе солидификоване структуре солидификата.
- Резултати испитивања на нивоу пилот постројења.

У поглављу *Закључак* биће приказани најважнији закључци до којих је кандидат дошао у току израде ове докторске дисертације.

У делу *Литература* биће дати литературни наводи цитирани у дисертацији.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације „Процес стабилизације и солидификације опасног муља образованог након третмана отпадне воде у примарној металургији бакра“ научно заснована и да кандидат Драгана Ђ. Радовановић, дипл. инж. технологије испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати наведену тему и одобри израду ове дисертације.

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Металуршко инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Стога се за ментора предлаже др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду (научна област Металуршко инжењерство).

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Жељко Камберовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Мирјана Филиповић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Марија Кораћ, виши научни сарадник
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Душан Рајић, научни саветник
Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета у
Београду