

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/279

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

21.10.2020.

(Датум)

ЗАХТЕВ

**за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем
флотацијске јаловине и летећег пепела**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Нела (Станко)Петронијевић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Рударско-геолошки факултет,Београд

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2012.

4. Година уписа на докторске студије: 2016.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: др Жељко Камберовић

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Sokić M., Radovanović D., Marković B., Stojanović J., Kamberović Ž., Petronijević N., Stanković S.: Treatment of the acidic effluent from a copper smelter by flotation tailings, *Hemijska industrija*, Vol. 73, No. 2, 2019, pp. 115 - 124, doi: 10.2298/HEMIND181009010S, ISSN: 0367-598X, IF (2019) = 0.407
2. Petronijević N., Stanković S., Radovanović D., Sokić M., Marković B., Stopić S., Kamberović Ž.: Application of the Flotation Tailings as an Alternative Material for an Acid Mine Drainage Remediation: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule (Serbia). *Metals*, Vol. 10, No. 1, 2020, pp., 16. doi.org/10.3390/met10010016, ISSN: 2075-4701, IF (2019) = 2.117;
3. Pavlović J., Stopić S., Friedrich B., Kamberović Ž.: Selective Removal of Heavy Metals from Metal-Bearing Wastewater in a Cascade Line Reactor,- *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 14, No. 7, 2007, pp. 518-522, doi: 10.1065/espr2006.09.345 • Source: PubMed, ISSN: 0944-1344 IF(2007)= 3.984
4. Šerbula S., Stanković V., Živković D., Kamberović Ž., Gorgievski M., Kalinović T.: Characteristics of Wastewater Streams Within the Bor Copper
5. Mine and Their Influence on Pollution of the Timok River, Serbia, *Mine Water and the Environment*, Vol. 35, No. 4, 2016, pp. 480-485, doi 10.1007/s10230-016-0392-6, ISSN: 1025-9112, IF (2016)= 1.278
6. 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, doi: 10.2298/JSC120716125I ISSN: 0352-5139, IF (2013) = 0.889

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф.дрПетарУскоковћ

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примеру за архиву Универзитета

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Нела Станко Петронијевић

Име и презиме ментора: др Жељко Камберовић

Звање: редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Sokić M., Radovanović D., Marković B., Stojanović J., **Kamberović Ž.**, Petronijević N., Stanković S.: *Treatment of the acidic effluent from a copper smelter by flotation tailings*, Hemijska industrija, Vol. 73, No. 2, 2019, pp. 115 - 124, doi: 10.2298/HEMIND181009010S, ISSN: 0367-598X, IF (2019) = 0.407
2. Petronijević N., Stanković S., Radovanović D., Sokić M., Marković B., Stopić S., Kamberović Ž.: *Application of the Flotation Tailings as an Alternative Material for an Acid Mine Drainage Remediation: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule (Serbia)*. Metals, Vol. 10, No. 1, 2020, pp., 16. doi.org/10.3390/met10010016, ISSN: 2075-4701, IF (2019) = 2.117;
3. Pavlović J., Stopić S., Friedrich B., **Kamberović Ž.**: *Selective Removal of Heavy Metals from Metal-Bearing Wastewater in a Cascade Line Reactor*, - Environmental Science and Pollution Research, Vol. 14, No. 7, 2007, pp. 518-522, doi: 10.1065/espr2006.09.345 · Source: PubMed, ISSN: 0944-1344 IF(2007)= 3.984
4. Šerbula S., Stanković V., Živković D., **Kamberović Ž.**, Gorgievski M., Kalinović T.: *Characteristics of Wastewater Streams Within the Bor Copper Mine and Their Influence on Pollution of the Timok River, Serbia*, Mine Water and the Environment, Vol. 35, No. 4, 2016, pp. 480-485, doi 10.1007/s10230-016-0392-6, ISSN: 1025-9112, IF (2016)= 1.278
5. 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, doi: 10.2298/JSC120716125I ISSN: 0352-5139, IF (2013) = 0.889

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 M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

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: _____

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.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.09.2020. 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 **Неле Петронијевић**, број индекса 4011/2016, под називом: **„Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“**.

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

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

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 Неле С. Петронијевић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/86 од 28.05.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Неле С. Петронијевић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Нела С. Петронијевић, мастер инжењер геологије рођена је 02.04.1988. године у Ужицу. Завршила је природно математички смер у ужичкој гимназији „Миодраг Миловановић Луне“ 2007. године. Школске 2007/2008 године уписала је Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду, смер хидрогеологија. Мастер студије је завршила 2012. године са просечном оценом 9,91. Дипломски и мастер рад, је радила у оквиру области заштите подземних вода. Добитник је награде за једног од најбољих студената ужичког региона, као и стипендиста Фонда за младе таленте. По завршетку факултета и петогодишњег рада у приватном сектору (у оквиру ког је стекла практична знања и Лиценцу одговорног инжењера), 2016. године је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине, под менторством проф. др Жељка Камберовића. Завршни испит „Могућност примене техногених киселих вода у биохидрометалуршкој валоризацији бакра из примарних и секундарних сировина“ одбранила је 2018. године са оценом 10.

Од 2017. године Нела С. Петронијевић се бави разлагањем и последицама оксидације сулфидних руда, утицајем гранулометријског састава сировина на формирање и транспорт јона гвожђа, условима формирања киселих рудничких вода, третманом киселих рудничких вода конвенционалним, али и алтернативним материјалима, као и могућношћу валоризације метала из њих. Нела је била ангажовна на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У оквиру рада на пројектима усавршила је методе научно-истраживачког поступка и пријавила тему за израду докторске дисертације под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“. Има објављене радове у часописима међународног

значаја, саопштења са скупова међународног значаја, штампаних у изводу и у целини. Истраживања и остварени резултати су у складу са предложеном темом дисертације.

Осим наведених активности, члан је радне групе за квалитет воде у оквиру Европске комисије и поглавља 27 за Републику Србију. Такође и учесник студијских програма финансираних од стране EIT Raw и Materials Climate KIC Program. Од 2018. године запослена је у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, у Београду, као истраживач приправник.

Обучена је за рад у програмским пакетима „Origin“, „SuperProDesigner“, „PHREEQC“, „Adobe Phostoshop“, „CorelDraw“, „AutoCad“. Поседује активно знање енглеског и основно знање руског и немачког језика.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Нела С. Петронијевић је школске 2016/2017 уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Инжењерство заштите животне средине. Успешно је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,5 и оценом 10 на Завршном испиту са темом „Могућност примене техногених киселих вода у биохидрометалуршкој валоризацији бакра из примарних и секундарних сировина“. 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 јер је састав техногених вода сличних карактеристика као и киселе рудничке воде, док су сировине које су представљале извор бакра у Завршном раду компатибилне алтернативним материјалима за неутрализацију киселих рудничких вода.

Предмет:	Оцена	ЕСПБ
Одабрана поглавља инструменталне анализе	9	7
Креативни инжењеринг	10	5
Виши курс металуршких процеса	9	5
Воде у термоенергетици	10	6
Менаџмент људских ресурса	10	3
Виши курс аналитичке хемије	9	5
Органске загађујуће супстанце	10	4
Индустријска екологија	8	5
Енглески језик	10	
Хемијска кинетика	9	5
Одабрана поглавља математичке анализе	10	5
Економија животне средине и одрживи развој	10	4
Завршни испит	10	30

Нела С. Петронијевић се од 2017. бави експерименталним истраживањима из области заштите животне средине, која се односе на разлагање сулфудних руда, последицама оксидације сулфидног отпада, утицај величине честица на транспорт загађења, условима формирања киселих рудничких вода, третманом киселих рудничких вода конвенционалним и алтернативним материјалима, синергијом процеса тј. употребом две врсте отпада у валоризацији метала из отпадних сировина.

Била је учесник пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

- „Оцена утицаја климатских промена на водне ресурсе Србије“ ТР 37005

- „Развој технолошких поступака ливења под утицајем електромагнетног поља и технологија пластичне прераде у топлом стању четворокомпонентних легура Al-Zn за специјалне намене”- TP 34002“

И пројекта финансираног од стране Фонда за иновациону делатност Републике Србије у оквиру програма Доказ концепта:

- “Copper recovery by interactive treatment of waste”, ID 5038, пројекат у току.

Из досадашњег научно-истраживачког рада Неле С. Петронијевић проистекли су следећи резултати, који се односе на област теме докторске дисертације:

1. Рад у међународном часопису (M21)

- **Petronijević N.**, Stanković S., Radovanović D., Sokić M., Marković B., Stopić S., Kamberović Ž.: *Application of the Flotation Tailings as an Alternative Material for an Acid Mine Drainage Remediation: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule (Serbia)*, Metals, Vol 10, No 1 (2020) 16. doi.org/10.3390/met10010016, ISSN 2075-4701 (IF (2018) = 2.259;

2. Рад у међународном часопису (M23)

- Sokić M., Radovanović D., Marković B., Stojanović J., Kamberović Ž., **Petronijević N.**, Stanković S.: *Treatment of the acidic effluent from a copper smelter by flotation tailings*, Hemijska industrija, Vol. 73, No 2, pp. 115 - 124, issn: 0367-598X, doi: 10.2298/HEMIND181009010S, 2019., IF 2018 = 0.566

3. Рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у целини (M33)

- Sokić M., Stanković S., Marković B., Stojanović J., **Petronijević N.**: *Acid leaching of copper from flotation tailings of copper mine Majdanpek*, Serbia, 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, Mining and Metallurgy Institute Bor and Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Bor Lake 2018, pp. 311 – 314
- Šoštarić T., Lopičić Z., Kojić M., Marković B., Sokić M., **Petronijević N.**, Stanković S.: *Removal of Mn(II) ions from synthetic solution using adsorbents based on zeolite*, VI International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry”, Jahorina 2019, pp. 232 - 239
- Stanković S., Randelović D., **Petronijević N.**, Marković B., Sokić M.: *Improper Deposition of the Mining Waste as a Source of the Environmental Pollution: Case Study of the Lake Robule (Bor, Eastern Serbia)*, International Scientific Conference, Environmental Impact of Illegal Construction, Poor Planning and Design IMPEDE 2019, Association of chemists and Chemical Engineers of Serbia (UHTS), Beograd 2019, pp. 474 – 480
- Stanković S., Sokić M., Marković B., **Petronijević N.**: *Trenutno stanje i perspektive razvoja tehnologija za remedijaciju kiselih rudničkih voda*, 40. Međunarodna konferencija Vodovod I kanalizacija '19, Novi Sad 2019, pp. 308-314

4. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

- **Petronijević N.**, Stanković S., Radovanović D., Kamberović Ž., Sokić M., Marković B., Zildžović S.: *Software simulation of the proposed integral treatment of acidic wastewaters and overburden of the Cerovo copper mine*, 4th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE, Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES), Belgrade 2019 pp. 37 – 37

- Stanković S., **Petronijević N.**, Radovanović D., Kamberović Ž., Sokić M., Marković B., Patarić A.: *Proposal for integral treatment of the acidic wastewaters and overburden of the Cerovo copper mine*, 4th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE, Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES), Belgrade 2019, pp. 38 – 38
- Radovanović D., Štulović M., **Petronijević N.**, Nikolić V., Kamberović Ž.: *Leaching of solidified/stabilized metallurgical waste under environmental conditions*, Metallurgical&Materials Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade 2019, pp.78-78
- Alivojvodić V., Vučinić A., **Petronijević N.**: *Position of critical raw materials within the concept of circular economy*, 4th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE, Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES), Belgrade 2019 pp. 48 - 48

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података и резултата досадашњих истраживања у области заштите животне средине, разлагања сулфидних минерала у отпадним сировинама, формирању киселих рудничких вода, третману киселих рудничких вода класичним и алтернативним материјалима, синергијом процеса, тј употребом две или више врста отпадних сировина у валоризацији метала и повећану степена очувања и заштите животне средине, Комисија оцењује да је Нела С. Петронијевић показала изузетну склоност и способност за научно-истраживачки рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет научног истраживања

Киселе рудничке воде језера „Робуле“ формиране су у непосредној близини града Бора. Вештачку акумулацију „Робуле“ карактерише ниска вредност рН и висока концентрација метала. Акумулација је формирана оксидацијом сулфидне раскривке одложене на локацији „Оштрељски планир“, затрпавањем водотокова. Затрпани надземни токови су избили испод депоније и формирали вештачку акумулацију Робуле дужине 450 m и ширине око 150 m у најудаљенијим тачкама. Сулфидни минерали из раскривке, првенствено пирит, при изложености кисеонику и води и низу хемијских и биолошких процеса, стварају киселе рудничке воде. Ове воде се након обилних падавина гравитационо сливају у језеро и формирају екстремно кисело језеро, загађено високим концентрацијама метала, највише гвожђа, мангана, цинка и бакра. Воде оваквог хемијског састава класификују се у опасн течни отпад у складу са Правилником о категоријама, испитивању и класификацији отпада „Сл. Гласник РС“, бр. 56/2010 и 93/2019 и захтевају третман како не би загадиле оближње токове. Предмет истраживања дисертације јесте развој и оптимизација процеса неутрализације киселих рудничких вода и искоришћавање отпада ради смањења загађења животне средине, а са циљем добијања пречишћене воде погодне за безбедно испуштање. Процес неутрализације киселе рудничке воде укључује употребу алтернативних материјала као што су флотацијска јаловина или летећи пепео. Третман неутрализације састоји се од неутрализације киселине и таложених тешких метала. Као додатни корак овог третмана јесте и валоризација исталожених метала. Флотацијска јаловина, као рударски отпад је третиран остатак при рударењу, чија експлоатација није била економична. Сама флотацијска јаловина има рН вредност већу од 9 и може да се користи као базно средство у неутрализацији киселине. Такође, једноставним одлагањем, јаловина због присуства сулфидних минерала, временом постаје извор киселих рудничких вода и отпушта метале који се трајно губе излуживањем и загађивањем животне средине. Синергијом процеса неутрализације базном

јаловином добијамо неутралисане киселе воде уз додатно излужење и валоризацију метала из јаловине. Као још једно средство за неутрализацију употребљен је летећи пепео. Две врсте летећег пепела, електрофилтерски (Fly ash) и пепео који заостаје након спаљивања у пећи (Bottom ash). Пепео је узоркован са локације Термоелектране „Никола Тесла“ и термоелектране „Дрмно“ Костолац као два највећа произвођача летећег пепела. Највећи проблем индустрије јесте депоновање отпадних сировина. Као и код јаловине, одлагање летећег пепела без одговарајућег третмана води интензивном нарушавању животне средине. Летећи пепео се глобално користи у грађевинској индустрији и то углавном као замена једног дела цемента тј. везива. Бројна су истраживања где се нетретирани летећи пепео додаје и комуналном муљу у циљу побољшавања његових перформанси и побољшавању функција нпр. при затварању рудника. Обзиром да постоје велике одложене количине летећег пепела на депонијама које могу да се искористе, употребљене су у процесу неутрализације киселих рудничких вода као нетретирани сировине, тј. без икаквог претходног третмана.

Ефикасност процеса неутрализације се дефинише максимално дозвољеним концентрацијама елемената у отпадној води и степеном пречишћавања. Метали из киселих рудничких вода се углавном везују у виду хидроксида, сулфата или карбоната. Такође је урађено испитивање стабилности отпадних сировина коришћених у процесу неутрализације. Стабилност флотацијске јаловине и летећег пепела испитана је помоћу два теста прописана националним законодавством 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. 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 јаловине и летећег пепела реалним атмосферским условима и скупљању и анализи насталих процедурних вода. Ниво излужења метала јесте функција рН вредности и зависиће од пуферског капацитета неутралишућег агенса. Тест капацитета за неутрализацију (Acid Neutralization Capacity test, ANC) одређује пуферски капацитет неутралишућег агенса и састоји се из серије лужења материјала 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 и њихову отпорност на различите услове средине. Предмет истраживања докторске дисертације ће укључити ANC тест свих отпадних сировина, чији резултати ће се у комбинацији са софтверским симулацијама таложења метала и Eh/pH дијаграмима, користити за одређивање исталожених фаза и дефинисање механизма неутрализације киселих рудничких вода. На основу експерименталних истраживања кинетике процеса неутрализације урађена је термодинамичка анализа. Термодинамичка анализа урађена је помоћу HSC Chemistry софтвера на основу базе података термодинамичких услова потребних за прорачун промене Гибсове енергије реакција, унутар задатог температурног опсега.

2.2. Циљ научног истраживања

Научно циљеви истраживања су:

- комплетна карактеризација узорка флотацијске јаловине за третман киселе рудничке воде, која укључује одређивање хемијског састава, минералног састава, уз испитивање степена лужљивости и стабилности отпадних материјала тестовима законом дефинисаним за ове поступке (TCLP, EN тест и ANC тест, редом).

- комплетна карактеризација узорака летећег пепела за третман киселе рудничке воде, која укључује одређивање хемијског састава, минералошког састава, уз испитивање степена лужљивости и стабилности отпадних материјала тестовима законом дефинисаним за ове поступке (TCLP, EN тест и ANC тест, редом). До сада, у претходној литератури, наведене отпадне сировине нису овако детаљно окарактерисане стога и није било могуће искористити њихов потенцијал у третману других врста отпада
- испитивање могућности третмана киселих рудничких вода употребом флотацијске јаловине
- испитивање могућности третмана киселих рудничких вода употребом летећег пепела
- дефинисање механизма третмана киселих рудничких вода коришћењем отадних материјала као улазних сировина
- упоређивање ефикасности алтернативне методе третмана рудничких вода коришћењем наведених отпадних сировина са третманом рудничких вода коришћењем хидратисаног креча као конвенционалне сировине за неутрализацију киселих отпадних вода

2.3. Релевантни библиографски извори

- [1] Moodley I., Sheridana C. M., Kappelmeyer U., Akcild A.: *Environmentally sustainable acid mine drainage remediation: Research developments with a focus on waste/by-products*, - Minerals Engineering, Vol 126, 2017, pp. 207-220.
- [2] Pavlović J., Stopić S., Friedrich B., Kamberović Ž.: *Selective Removal of Heavy Metals from Metal-Bearing Wastewater in a Cascade Line Reactor*, - Environmental Science and Pollution Research, Vol 14, No 7, 2007, pp. 518-522.
- [3] Antonijević M.M., Dimitrijević M.D., Stevanović Z.O., Serbula S.M., Bogdanović G.D.: *Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching*, - Journal of Hazardous Materials, Vol 158, No 1, 2008, pp. 23-34
- [4] Caraballo M., Macias F., Rotting T., MiquelNieto J., Ayora C.: *Long term remediation of highly polluted acid mine drainage: A sustainable approach to restore the environmental quality of the Odiel river basin*, - Environmental Pollution, Vol 159, No 12, 2011, pp. 3619-3619
- [5] Johnson D.B., Hallberg K.B.: *Acid mine drainage remediation options: a review*, Science of the Total Environment, Vol 338, 2005, pp. 3-14
- [6] Stevanović, Z., Obradović, L., Marković, R., Jonović, R., Avramović, L., Bugarin, M., Stevanović, J.: *Mine waste water management in the Bor municipality in order to protect the Bor River water. In Waste Water—Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*; Einschlag, F.S.G., Carlos, L., Eds.; InTech: Rijeka, Croatia, 2013.
- [7] Masindi, V., Ndiritu, J.G., Maree, J.P.: *Fractional and step-wise recovery of chemical species from acid mine drainage using calcined cryptocrystalline magnesite nano-sheets: An experimental and geochemical modelling approach*, - Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol 6, No 2, 2018, pp. 1634–1650.
- [8] Masuda, N., Marković, R., Bozić, D., Bessho, M., Inoue, T., Hoshino, K., Ishiyama, D., Stevanović, Z.: *Experimental results of metal recovery by a two-step neutralization process from AMD from a copper mine in Serbia*. In Proceedings of the IMWA 2019, Conference “Mine Water: Technological and Ecological Challenges”, Perm, Russia, 15–19 July 2019; Wolkersdorfer, C., Khayrulina, E., Polyakova, S., Bogush, A., Eds.; Perm State University: Perm, Russia, 2019; pp. 232–237.
- [9] Madzivire, G., Gitari, W.M., Vadapalli, V.R.K., Ojumu, T.V., Petrik, L.F.: *Fate of sulphate removed during the treatment of circum neutral mine water and acid mine drainage with coal fly ash: Modelling and experimental approach*, - Minerals Engineering, Vol 24, 2011, pp. 1467–1477.
- [10] Park, S.M., Yoo, J.C., Ji, S.W., Yang, J.S., Baek, K.: *Selective recovery of Cu, Zn, and Ni from acid mine drainage*, - Environ. Geochem. Health **2013**, 35, 735–743.

- [11] Falagan C., Grail B., Johnson B.: *New approaches for extracting and recovering metals from mine tailings*, - Journal of Hazardous Materials, Vol 106, 2017, pp. 71-78.
- [12] Muniruzzaman M., Karlsson T., Ahmadi N., Rolle M.: *Multiphase and multicomponent simulation of acid mine drainage in unsaturated mine waste: Modeling approach, benchmarks and application examples*, - Journal of Hazardous Materials, Vol 120, 2020.
- [13] Moreno R., Gonzales C., Canovas R., Olias M., Macias F.: *Seasonal variability of extremely metal rich acid mine drainages from the Tharsis mines (SW Spain)*, - Environmental Pollution, Vol 259, 2020, pp. 113829.
- [14] Dragišić V. (2007): *Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [15] Nieva E., Borgnino L., Garcia G.: *Long term metal release and acid generation in abandoned mine wastes containing metal-sulphides*, - Environmental Pollution, Vol 242, Part A, 2018, pp. 264-276.
- [16] Masindi V., Osmana M., Shingwenyana R.: *Valorization of acid mine drainage (AMD): A simplified approach to reclaim drinking water and synthesize valuable minerals – Pilot study*, - Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol 7, No 3, 2019, pp. 103082
- [17] Demersa I., Mbonimpa M.; Benzaazoua M.; Bouda M.; Awoh S.; Lortie S.; Gagnon M.: *Use of acid mine drainage treatment sludge by combination with a natural soil as an oxygen barrier cover for mine waste reclamation: Laboratory column tests and intermediate scale field tests*, - Minerals Engineering, Vol 107, 2017, pp. 43-52.
- [18] Evangelou V., Zhang Y.L.: *A review, Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 25, No 2, 1995, pp. 141-199.
- [19] Mayes W.M., Batty L.C., Younger P.L., Jarvis A.P., Koiv M., Vohla C., Mander U.: *Wetland treatment at extremes of pH: A review*, Science of The Total Environment, Vole 407, No 13, 2009, pp. 3944-3957.
- [20] Park, S.M., Yoo, J.C., Ji, S.W., Yang, J.S., Baek, K.: *Selective recovery of dissolved Fe, Al, Cu, and Zn in acid mine drainage based on modeling to predict precipitation pH*, - Environmental Science and Pollution Research, Vol 22, No 4, 2015, pp. 3013-3022.
- [21] Sephtona M.G., Webba J.A, McKnight S.: *Applications of Portland cement blended with fly ash and acid mine drainage treatment sludge to control acid mine drainage generation from waste rocks*, Applied Geochemistry, Vol 103, 2019, pp. 1-14.
- [22] Quispe D., Perez-Lopez R., Acero P., Ayora C., Nieto J.M., Tucoulou E.: *Formation of a hardpan in the co-disposal of fly ash and sulfide mine tailings and its influence on the generation of acid mine drainage*, - Chemical Geology, Vol 355, 2013, pp. 45-55
- [23] Stanković S., Morić I., Pavić A., Vasiljević B., Johnson D.B., Cvetković V.: *Investigation of the microbial diversity of an extremely acidic, metal-rich water body (Lake Robule, Bor, Serbia)*, - Journal of the Serbian Chemical Society, Vol 79, No 6, pp. 729-741.
- [24] Akcil A., Koldas A.: *Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies*, - Journal of Cleaner Production, Vol 14, No 12-13, 2006, pp. 1139-1145.
- [25] E.Y. Seo E.Y., Cheong Y.W., Yim G.J., Min K.W., Geroni J.N.: *Recovery of Fe, Al and Mn in acid coal mine drainage by sequential selective precipitation with control of pH*, - Catena, Vol 148, No 1, 2017, pp. 11-16

3. Полазне хипотезе

Предложена истраживања у оквиру предметне докторске дисертације полазе од хипотезе да се киселе рудничке воде, класификоване као опасан течни отпад могу неутралисати употребом рударског отпада при чему се као резултат третмана добијају пречишћене воде које су погодне за безбедно испуштање у животну средину.

- Као последица вишедеценијског одлагања рударске раскривке формирана је вештачка акумулација киселих рудничких вода „Робуле“ које имају ниску рН вредност и високе концентрације елемената.
- Флотацијска јаловина и летећи пепео, као базни материјали, су ефикасни агенси за неутрализацију киселих рудничких вода.
- Могу се користити индивидуално као и у комбинацији са конвенционалним агенсима за неутрализацију.
- Третирана вода је безбедна за одлагање и смањена је способност лужења заосталог талога.

4. Научне методе истраживања

Након прегледа литературних података и теренске проспекције спроведено је узорковање, а затим је урађена и комплетна карактеризација како течних тако и чврстих узорака.

Хемијски састав киселих рудничких вода, као и течних узорака током експеримената неутрализације одређен је помоћу Атомске апсорпционе спектроскопије (ААС) и индуктивно спрегнуте плазме оптичко емисионе спектроскопије (ICP-OES).

Флотацијској јаловини и летећем пепелу, као и чврстим остацима након процеса неутрализације и тестова стабилности и лужења одређен је хемијски састав такође помоћу (ААС) и (ICP-OES) анализа. Пре приступања експерименталном делу истраживања урађене су опсежне симулације у софтверском пакету SuperPro Designer. Циљ ових симулација је био одређивање састава раствора након неутрализације са различитим врстама рударског отпада. Такође су урађене термодинамичке анализе реакција помоћу HSC софтвера на основу базе података термодинамичких услова потребних за прорачун промене Гибсове енергије реакција, унутар задатог температурног опсега. Након избора материјала за неутрализацију урађене су и гранулометријске анализа, насипна густина, као и минералошки састав рентгенском дифракцијом (XRD) и скенирајуће електронским микроскопом (SEM), ради потпуне карактеризације узорака. Након термодинамичке анализе и испитивања кинетике лужења урађени су тестови стабилности добијених талога. Стабилност талога након неутрализације, стабилност јаловине и летећег пепела одређена је применом стандардних тестова лужења прописаних националним законом: TCLP и EN 12457-2. Такође, коришћен је и дуготрајни тест лужења при ком су узорци били изложени атмосферским условима у току годину дана. Пуферски капацитет јаловине и летећег пепела одређен је ANC тестом. Свим добијеним растворима након лужења одређена је рН и Е_h вредност, а концентрације метала одређене су применом ААС и ICP-OES. Након одређивања капацитета за неутрализацију киселине урађене су софтверске симулације за таложење метала и Е_h/рН дијаграми, за одређивање исталожених фаза и дефинисање механизма неутрализације киселих рудничких вода.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- дефинисан потенцијал флотацијске јаловине и летећег пепела за третман киселих рудничких вода
- дефинисан механизам третмана киселих рудничких вода употребом флотацијске јаловине и летећег пепела као синергијских приступ примене отпадних сировина у неутрализацији киселих рудничких вода.
- смањење штетног утицаја на животну средину уз максималано искоришћење отпадних материјала као улазних сировина у процесу неутрализације (флотацијске јаловине и летећег пепела)

- ефикасност третмана рудничких вода употребом отпадних материјала (алтернативна метода) је упоређена са ефикасношћу третмана коришћењем хидратисаног креча као конвенционалне методе за третман киселих отпадних вода
- третиране рудничке воде употребом алтернативне методе имају карактеристике неопасног отпада погодног за испуштање у животну средину (Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада „Службени гласник РС“, бр. 56/10)
- чврсти остатак након третмана рудничких вода је обogaћен садржајем метала и може бити предмет даљег испитивања ревалоризације корисних компоненти

6. План истраживања и структура рада

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

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

У *Теоријском делу* биће описан значај рударства, економски бенефити рударења али и еколошки проблеми који настају као последица рударства, формирање киселих рудничких вода и последице формирања, као и врсте третмана киселих рудничких вода и најбоље и најзаступљеније методе за њихову санацију

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

- Различити могући агенси за неутрализацију киселих рудничких вода, са посебним освртом на употребу летећег пепела и флотацијске јаловине
- Утицај употребе различитих средстава за неутрализацију на животну средину
- Поступци неутрализације

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

- Софтверска симулација третмана киселих рудничких вода отпадом након рударења;
- Термодинамичка анализа помоћу HSC софтвера;
- Материјал и хемикалије коришћене за неутрализацију киселих рудничких вода;
- Испитивање хемијских и физичких карактеристика улазних сировина: киселе рудничке воде, флотацијске јаловине, летећег пепела;
- Испитивање стабилности чврстих сировина (ICP-OES, AAS, XRD, SEM);
- Испитивање физичких и хемијских особина раствора и талога након експерименталних анализа (ICP-OES, AAS, XRD, SEM);
- Испитивање капацитета неутрализације киселине.

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

- Резултати софтверских симулација;
- Приказ и дискусија физичких особина, хемијског састава летећег пепела;
- Приказ и дискусија физичких особина, хемијског састава флотацијске јаловине;
- Приказ и дискусија хемијског састава киселе рудничке воде;
- Приказ и дискусија избора репрезентативног односа неутралишућег агенса и киселе рудничке воде;
- Резултати тестова стабилности отпада;
- Дефинисање механизма таложења током третмана неутрализације;

- Предлог валоризације метала након третмана неутрализације;

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

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

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података Комисија сматара да је предложена тема докторске дисертације „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“ научно заснована и да кандидат Нела С. Петронијевић, мастер инжењер геологије испуњава 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 Инжењерство заштите животне средине, 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 Антоније Оџа, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Мирослав Сокић, научни саветник
Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина

.....
Др Драгана Радовановић, научни сарадник
Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког
факултета

.....
Др Срђан Станковић научни сарадник
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Хановер, Немачка
„Савезни институт за геонауке и природне ресурсе, Хановер, Немачка“