

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/333
(Број захтева)
12.1.2023.
(Датум)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Нела (Станко) Петронијевић
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму : **Инжењерство заштите животне средине**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

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

	Технолошко инжењерство		
из научне области:			
Универзитет је дана	27.10. 2020.	својим актом под бр.	61206-3569//2-20
која је гласила:	дао сагласност на предлог теме докторске дисертације		

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

Име и презиме ментора: др Жељко Камберовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 30.06.2022. одлуком факултета под бр. 35/166 , у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Антоније Оњиа	редовни професор	Аналитичка хемија	ТМФ
2.	Др Драгана Радовановић	научни сарадник	Металуршко инжењерство	ИЦ ТМФ
3.	Др Васо Манојловић	ванредни професор	Металуршко инжењерство	ТМФ
4.	Др Мирослав Сокић	научни саветник	Металуршко инжењерство	Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина
5.	Др Срђан Станковић	научни сарадник	Геологија	Савезни институт за геонауке и природне ресурсе, Хановер, Немачка

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **01.11.2022.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **29.12.2022.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **29.12.2022.**

одлуком факултета под бр. 35/335, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Антоније Оџић	редовни професор	Аналитичка хемија	ТМФ
2.	Др Васо Манојловић	ванредни професор	Металуршко инжењерство	ТМФ
3.	Др Мирослав Сокић	научни саветник	Металуршко инжењерство	Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина
4.	Др Драгана Радовановић	научни сарадник	Металуршко инжењерство	ИЦ ТМФ
5.	Др Срђан Станковић	научни сарадник	Геологија	Савезни институт за геонауке и природне ресурсе, Хановер, Немачка

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
др Петар Ускоковић, редовни професор

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/193
28.11.2022. год.
БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Нела Петронијевић**, број индекса 2016/4011, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2016/2017 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2025/2026 године.



Декан
Проф. др Петар Ускоковић

ДIVa

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Антоније Оџија, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Васо Манојловић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мирослав Сокић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд, Драгана Радовановић, научни сарадник Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета и др Срђан Станковић, научни сарадник Савезни институт за геонауке и природне ресурсе, Хановер, Немачка, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“** коју је поднела **Нела Петронијевић**, мастер инжењер геологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Неле Петронијевић, под називом **„Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“** Одлуком број: 61206-3569/2-20 од 27.10.2020. године.
Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **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 16, 2020, doi.org/10.3390/met10010016, ISSN 2075-4701, IF (2020) = 2.487;

Категорија M22:

1. **Petronijević, N.**, Radovanović, D., Štulović, M., Sokić, M., Jovanović, G., Kamberović, Ž., Stanković, S., Stopić, S., Onjia, A.; Analysis of the Mechanism of Acid Mine Drainage Neutralization Using Fly Ash as an Alternative Material: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule in Eastern Serbia, Water, Vol 14, No 20:3244, 2022, IF(2022)=3.53;

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

ДV

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Неле Петронијевић**, мастер инжењера геологије, са темом под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“, у саставу:

1. Др Антоније Оџија, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Васо Манојловић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Мирослав Сокић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд,
4. Драгана Радовановић, научни сарадник Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета,
5. Др Срђан Станковић, научни сарадник Савезни институт за геонауке и природне ресурсе, Хановер, Немачка.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Неле С. Петронијевић, мастер инж. геологије

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр 35/166 од 30. 06. 2022 именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Неле С. Петронијевић, мастер инж. геологије под називом

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

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2016/2017. кандидаткиња Нела С. Петронијевић, мастер инж. геологије уписала је први семестар докторских академских студија на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине, под менторством др Жељка Камберовића, редовног професора.

20. 05. 2020.-Кандидаткиња Нела С. Петронијевић је пријавила тему докторске дисертације под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“.

Одлуком број 35/86 од 28.05.2020. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације.

Одлуком број 35/279 од 24.09.2020. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и одобрена је израда докторске дисертације. За ментора је одређен др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Одлуком број 35/166 од 30.06.2022- На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Неле С. Петронијевић, мастер инж. геологије.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине за коју је Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду матична установа. Ментор др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, је на основу објављених публикација и искуства компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

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. Основне студије је завршила 2011. године са просечном оценом 9,61 а мастер студије 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, а била је 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. Била је ангажована 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 целини и у изводу. 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 Materials i Climate KIC Програм. Од 2018. године запослена је у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, у Београду, као истраживач приправник, а од 27.01.2021.год као истраживач сарадник.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Неле С. Петронијевић, мастер инжењера геологије под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“ написна је на укупно 127 страна и садржи 7 поглавља, 30 слика (графичких приказа), 33 табеле и 351 литературни навод. Састоји се од следећих поглавља: Увод, Теоријски део, Литературни преглед, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Дисертација садржи и изводе на српском и енглеском језику, изјаву захвалности, биографске податке кандидаткиње, списак научних радова и саопштења произашла из резултата докторске дисертације и 3 обавезна прилога, тј. изјаве.

2.2. Кратак опис појединачних поглавља

У **уводном делу** докторске дисертације приказан је значај рударства као главног ослоњаца привредног развоја друштва, са једне стране, и негативних последица које овај индустријски сектор може имати на животну средину, са друге стране. Због свега наведеног кандидаткиња је указала на неопходност мултидисциплинарног приступа приликом анализе утицаја рударских активности, у првом реду насталог рударског отпада, на животну средину. Као један од највећих еколошких проблема на глобалном нивоу су киселе рудничке воде (АМД од енг. *Acid Mine Drainage*), које су уско везане за рударске активности. Проблематика у управљању АМД, јесте веома захтевна, како због њихове токсичне природе и миграторности, тако и због великих запремина које се јако брзо генеришу када процес фомирања АМД једном започне. Токсични метали, као и остале штетне материје из АМД, постају главни извор загађења подземних и површинских токова чиме се смањују већ недовољне резерве квалитетних пијаћих вода. Као пример негативних последица изазваних рударским активностима и начином на који проблем може да се санира је град Бор у чијој се непосредној околини формирало вештачко акумулационо језеро киселих рудничких вода „Робуле“. Језеро је формирано испирањем рудне раскривке атмосфералијама и садржи високе концентрације метала као и ниску вредност рН. Зато је предмет докторске дисертације управо био развој и оптимизација процеса неутрализације киселих рудничких вода коришћењем отпадних сировина, у циљу смањења загађења животне средине. Дисертација обухвата процес неутрализације киселих рудничких вода „Робуле“ помоћу отпадних сировина и то: флотацијске јаловине, настале у процесу флотацијске концентрације руде бакра у руднику Мајданпек и летећег пепела насталог сагоревањем угља у термоелектранама „Дрмно“ Костолац и „Никола Тесла“ у Обреновцу. У уводном делу је експлицитно наглашено да су највећи проблеми данашњице, који су повезани са флотацијском јаловином и летећим пепелом, њихово правилно депоновање, као и санирања последица нерегуларног одлагања. Примена ове две врсте отпада у третману киселих рудничких вода представља еколошки и економски напредак у спровођењу принципа одрживог развоја. Императив је рационална употреба отпадних сировина, смањење количине отпадних материја и емисије загађујућих материја у околину (кроз воду или ваздух), а такође и превенција формирања нових количина отпада. За већ одложене количине отпадних материјала, најадекватнији сценарио јесте његова поновна

употреба. На тај начин се смањује њихов штетни утицај на околину који је је био присутан када су били депоновани као отпадни материјал.

У **теоријском делу** докторске дисертације описане су све врсте отпада које настају током експлоатације, екстракције и прераде минералних сировина са акцентом на киселе рудничке воде, флотацијску јаловину и летећи пепео. Кандидаткиња је указала на чињеницу да значајно место у загађењу животне средине у нашој земљи представљају јаловишта настала у екстрактивној индустрији (флотацијска јаловишта и одлагалишта Бора и Мајданпека, Рудника, Великог Мајдана, Зајаче, Рашке, Врања и друга), као и депоније пепела и шљаке настале у раду термоелектрана и топлана. За флотацијска јаловишта може се рећи да су највеће, али и најосетљивије депоније у индустријској пракси, а посебно оне настале процесима концентрације руда бакра. Формиране депоније флотацијске јаловине су један од највећих извора киселих рудничких вода. Такве депоније се налазе у Источној Србији у реону општина Бор и Мајданпек где се врши експлоатација руде бакра. Јаловишта некадашњег Рударско-топионичарског басена (РТБ) Бор, а данас „Serbian Zijin Copper“ формирају велике количине киселих вода које се сливају у језеро „Робуле“ и даље у Борску и Кривељску реку, затим у Тимок и Дунав. Осим што утичу на загађење животне средине, дисперзију загађујућих честица и формирање киселих рудничких вода, флотацијска јаловишта такође представљају и економски губитак због финансијског улагања у безбедно депоновање, појаве спонтаног излуживања корисних компонената, али и даљег додатног улагања у санацију тог неповратно изгубљеног излужења које загађује околину. Имајући у виду све негативне последице које могу да изазову велике количине трајно депоноване флотацијске јаловине, намеће се закључак да би се овај проблем могао решити адекватним додатним третманом јаловине. Тако би се смањила концентрација заосталих тешких метала као потенцијалних загађујућих елемената. Велике количине пепела и отпадних гасова (највише CO_2) настају сагоревањем угља у термоелектранама. Када је пепео на депонијама одложен на неадекватан начин може доћи до његовог разношење ветром, при чему се загађује животна средина. Загађењем ваздуха, земљишта, површинских и подземних вода долази до нарушавања вегетације, ланца исхране, али и нарушавања стабилности екосистема, што утиче и на здравље људи. Употребом летећег пепела као секундарне сировине, испуњавају се бројни бенефити, као што је смањење трошкова економске таксе за депоновање и одржавање и смањење негативаног утицаја на животну средину и људе. У теоријском делу докторске дисертације посебна пажња је посвећена киселим рудничким водама (АМД), као загађивачима, изворима њиховог настанка и негативног утицаја на околину. Посебан осврт је био на киселе отпадне воде из језера „Робуле“ које су предмет истраживања у докторској дисертацији у циљу утврђивања механизма њихове неутрализације применом флотацијске јаловине и летећег пепела. Приказане су потенцијалне методе за третман АМД, затим могући процеси који се одвијају приликом третмана, средства за неутрализацију АМД, са детаљним освртом на флотацијску јаловину и летећи пепео, као алтернативне агенсе.

У **литературном прегледу** докторске дисертације анализирана је доступна научна литература у којој су приказани резултати оних истраживача који се баве сличном или истом проблематиком у односу на ону која је приказана у овој дисертацији. Третман киселих рудничких вода је био предмет интересовања великог броја истраживача како са аспекта налажења адекватног поступка и средстава за третман, тако и са аспекта дефинисања механизма деловања примењених средстава. Тренутно се у свету санација већ формираних киселих рудничких вода углавном одвија кроз процес неутрализације

и лужења у циљу таложења метала и пречишћавања воде испод нивоа максимално дозвољених концентрација загађујућих материја у складу са законском регулативом. У овом делу докторске дисертације приказана су досадашња испитивања АМД језера „Робуле“ и примена различитих агенаса за њен третман, ко и различито конципираних поступака. Испитивања АМД језера „Робуле“ показала су високу киселост ове воде ($pH \geq 2$) и присуство метала (Al, Fe, Cu, Mn и Zn), као и сулфата. Према доступној литератури као средства за неутрализацију киселих вода могу да се примене NaOH, кречно млеко, летећи пепео, отпадни материјали из индустрије целулозе и папира, стакла, прераде глинице и производње хране. Истраживања су показала да је у појединим случајевима за ефикаснији третман рудничких вода које садрже метале добро комбиновати конвенционална и алтернативна средства. Велика пажња је посвећена примени биолужења у третману киселих рудничких вода, укључујући и АМД језера „Робуле“. Ова истраживања су показала да је боље креирати сложеније бактеријске конзорцијуме, него користити конзорцијуме бактерија узетих из животне средине чији је диверзитет по правилу веома ограничен. Такође, литературни подаци показују и могућност лужења бакра из флотацијске јаловине рудника бакра Бор у реактору са додавањем гвожђе-хлорида у $0,1 \text{ mol/dm}^3$ раствор сумпорне киселине, као оксиданса. Однос чврсте и течне фазе (S/L-solid/liquid) износио је 1:5. Након 30 сати испирања, остварен је принос бакра од 88%. Поједини истраживачи су спроводили лужење на истим узорцима флотацијске јаловине, само у колонама уз употребу сумпорне киселине концентрације $0,1 \text{ mol/dm}^3$, са или без оксидационих средстава у односу чврсте у течне фазе 1:1. Највећи постигнут принос бакра је 89,87% током лужења у колони, за узорак са 10 м дубине без додавања оксидационог средства. Пажњу је привукло и лужење бакра из флотацијске јаловине борског јаловишта раствором сумпорне киселине концентрације $0,2 \text{ mol/dm}^3$. Чврст остатак након лужења је даље тертиран поступком флотацијске концентрације. Просечан степен уклањања бакра у фази лужења је био 70%, док је након поновне флотације чврстог остатка тај степен повећан на 83-85%. Концентрација укупног бакра је на крају процеса смањена 3 пута у односу на садржај који је био у полазном узорку борске јаловине пре процеса лужења.

Истраживања могућности третмана АМД летећим пепелом су показала да се на овај начин може смањити концентрација сулфата у АМД при третману киселих рудничких вода до pH вредности 9. Такође, недавне студије су показале да се може користити комбинација летећег пепела и $Al(OH)_3$ при чему се концентрација сулфата смањила на ниво концентрације у води за пиће ($400-600 \text{ mg/dm}^3$ -Класа II). Доказано је да летећи пепео може да контролише стварање АМД „in situ“ у рудницима, али и за санацију киселих земљишта. Пепео повећава pH и имобилише загађујуће елементе као аморфне хидроксиде или оксихидроксиде. Како се pH повећава изнад 3, Fe^{3+} се таложи у облику аморфног хидроксида или/и оксихидроксида, за које је познато да имају велике специфичне површине и да могу да адсорбују и део SO_4^{2-} . Позната је употреба зеолитисаног летећег пепела за неутрализацију киселих рудничких вода и пракса је показала да пепео у облику синтетисаних зеолита има већи степен ефикасности. Имајући у виду да у Републици Србији настају велике количине летећег пепела, намеће се закључак да је то отпадна сировина која може да се примени за третман АМД. Литературни подаци указују да се у термоелектранама ЈП ЕПС (Јавно предузеће „Електропривреда Србије“) стварају велике количине пепела сагоревањем угља ниског квалитета, лигнита Костолац и Колубара. У Републици Србији годишње се произведе више милиона тона пепела. На депонијама до сада је одложено око $300 \times 10^6 \text{ t}$ пепела и шљаке заједно. Од укупне количине употреби се само 3%, док се остатак и даље складишти на депонијама.

У **експерименталном делу** докторске дисертације наведене су све фазе које су обухваћене приказаним истраживањима, као и основни циљеви истраживања. Дефинисани су материјали који су коришћени у експерименталном раду са прецизним описом формирања репрезентативног узорка, описани су сви нивои истраживања и све методе које су примењене за карактеризацију како полазних узорака, тако и производа добијених током истраживања (талога и раствора).

Главни циљеви истраживања приказани у докторској дисертацији су испитивање могућности третмана киселих рудничких вода употребом флотацијске јаловине и летећег пепела, дефинисање њиховог потенцијала као агенаса за санацију киселе рудничке воде и утврђивање механизма третмана киселих рудничких вода коришћењем отпадних материјала као улазних сировина. Такође, вршена је анализа и упоређивање ефикасности алтернативних агенаса за третман рудничких вода коришћењем отпадних сировина са третманом рудничких вода коришћењем натријум хидроксида као конвенционалног агенаса. Затим је урађена симулација третмана PHREEQC програмом за ФЈМ, ЕФ и КОСТ и резултати су приказани у облику индекса засићења (SI) одговарајућих минералних фаза, који су променили вредност при специфичним вредностима рН. Резултати моделовања су имали за циљ да допуне експерименталне резултате и дају додатно објашњење механизма уклањања метала током третмана.

Како би се дошло до коначних резултата, као основе за доношење закључака, прво је урађена комплетна карактеризација узорка флотацијске јаловине Мајданпек (ФЈМ) и узорака летећег пепела из две термоелектране „Никола Тесла“-Обреновац (ЕФ) и „Костолац“ (КОСТ) као агенаса који су примењени за третман киселе рудничке воде језера „Робуле“ и то: одређивање хемијског и минералног састава, уз примену стандардних тестова излуживања EN 12457-4 и Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), који су прихваћени и у националном закону, као и теста Acid Neutralization Capacity (ANC). Одређивање хемијског састава чврстих узорака вршено је растварањем материјала у царској води и мерењем концентрације елемената техником Атомске Апсорпционе Спектрометрије (AAS) и помоћу Оптичке емисионе спектрометрије са индуктивно куплованом плазмом (ICP-OES). Хемијска анализа течних узорака урађена је помоћу ICP-OES технике, док су вредности карбоната одређене стандардном волуметријском методом титрације, а вредност Fe^{3+} јона у раствору спектрофотометријски. У конципирању истраживања пошло се од претпоставке да флотацијска јаловина и летећи пепео могу бити ефикасни агенси за неутрализацију киселих рудничких вода, јер су базни материјали. Такође, на основу доступних научних резултата других истраживача и њихове примене у пракси, било је јасно да се алтернативни агенси за неутрализацију могу користити индивидуално, као и у комбинацији са конвенционалним агенсима за неутрализацију. У складу са тим, третман рудничке вода језера „Робуле“ употребом флотацијске јаловине (алтернативно средство) је даље настављен применом калцијум хидроксида (конвенционално средство) у циљу потпуног третмана киселе рудничке воде и таложења заосталог мангана и сребра на вишим рН вредностима.

У поглављу **резултати и дискусија** прво су приказани резултати карактеризације полазних узорака ФЈМ, ЕФ, КОСТ и киселе рудничке воде језера „Робуле“, као и резултати који су били критеријуми за одређивање репрезентативних узорака за даља истраживања. Затим су приказани резултати симулације помоћу PHREEQC софтвера. Након одређивања репрезентативног узорка за све три сировине, ФЈМ, ЕФ и КОСТ, које су коришћене за неутрализацију киселе рудничке воде, праћена је промена концентрације следећих метала: Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni и Pb. Садржај метала се

мењао са променом рН вредности раствора и временом трајања самог поступка неутрализације. Промена концентрације је праћена током временских интервала у периоду од 0 мин до 7 дана и то: 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 1440, 4320 и 10080 минута за узорак ФМЈ и 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 4320 и 10080 минута за неутрализацију урађену са узорцима ЕФ и КОСТ. Код примене све три сировине за неутрализацију киселе рудничке воде раствори су филтрирани и рађена је анализа ICP-OES техником. Циљ даљих истраживања је био да се добијени резултати у поступку неутрализације применом отпадних сировина, као алтернативних средстава, упореде са резултатима који се добијају применом конвенцијалних средстава за неутрализацију и то NaOH. Након неутрализације воде језера „Робуле“ помоћу флотацијске јаловине Мајданпек настављен је њен даљи третман калцијум хидроксидом $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Циљ овог третмана је пречишћавање воде од заосталог Mn и Ag и повећање рН вредности воде до 10. Током поступка неутрализације киселе рудничке воде језера „Робула“ применом ФЈМ, ЕФ и КОСТ дошло је до формирања талога, односно чврстог остатака. У даљем експерименту урађена је карактеризација талога формираних након 7 дана трајања поступка, ФЈМ7д, ЕФ7д и КОСТ7д. Добијени резултати су упоређивани са резултатима карактеризације репрезентативних узорака пре третмана у циљу утврђивања евентуалних промена у хемијском саставу и структури репрезентативних узорака током одвијања процеса неутрализације. Карактеризација је обухватила следеће анализе: хемијску анализу, рендгенску дифракцију (ХРД), СЕМ анализу, ANC тест, TCLP и EN 12457-4 тест. Истраживања која су обављена према процедурама предвиђеним TCLP и EN12457-4 тестовима на неутралишућим агенсима пре третмана ФЈМ, ЕФ и КОСТ и после третмана ФЈМ7д, ЕФ7д и КОСТ7д, дали су резултате за два гранична случаја: најгори сценарио-испирање киселином и испирање дејонизованом водом. Након тога настављено је испитивање додатним дуготрајним тестом испирања (лужења) отопљеним снегом у циљу испитивања утицаја атмосферских талога на одложене сировине.

Резултати су показали следеће: рудничка вода из вештачке акумулације језера „Робуле“ има изузетно ниску рН вредност од 2,47 што је сврстава у ред киселих рудничких вода. Такође, уочава се да доминирају сулфатни јони, $7,5 \text{ mg/dm}^3$, затим Al^{3+} јони, $1017,6 \text{ mg/dm}^3$, укупни Fe јони 287 mg/dm^3 који су скоро потпуно у облику Fe^{3+} јона, $286,9 \text{ mg/dm}^3$.

Резултати хемијске анализе ФЈМ су показали да је садржај Fe 10,7%, S 8,16%, а затим следе Mn 0,126%, Cu 0,066%, Zn 0,0918% и Pb 0,009%. Вредност рН је 8,48 што значи да се ради о базној средини. Рендгенском анализом утврђено је присуство следећих минерала: кварц, фелдспати (плагиоклас доминантнији у односу на К-фелдспате), минерали глина (каолинит), карбонати (калцит и доломит), лискуни, илит и пирит. Најзаступљенији минерал је кварц, затим пирит и минерали карбоната док су фелдспати, лискуни, глине и илит најмање заступљени. Семиквантитативни удео кристалних фаза (минерала) је следећи: кварц 50-55%, карбонати (укупно) 20-25%, пирит $\approx 5\%$, лискуни/илит $\approx 5\%$, каолинит 5-10%. Микроскопска анализа ФЈМ је показала да је пирит, као носилац Fe, најзаступљенији минерал ($\geq 90\%$), минерали Cu јављају се у виду сулфида (халкопирит и тетраедрити) и оксида (куприт). Најзаступљенији је куприт (око 70%), док су халкопирит (око 20%) и тетраедрити ($\leq 10\%$) мање заступљени. Гранулометријском анализом ФЈМ утврђена је средња величина честица (d_{50}) $147,81 \mu\text{m}$, док је горња гранична крупноћа (ggk) $261,2 \mu\text{m}$. Насипна густина (маса) ФЈМ износи $1,21 \text{ gcm}^{-3}$.

Карактеризацијом полазног узорка пепела ЕФ утврђено је следеће: хемијска анализа је показала присуство оксида силицијума SiO_2 53,13%, затим Al_2O_3 23,102%, Fe_2O_3 7,99%, CaO 6,38%, док су остали оксиди знатно мање заступљени. Од елемената

најзаступљенији је Mg 15000 mg/kg, zatim Ca 14100 mg/kg, Al 8500 mg/kg, Fe 7480 mg/kg, S 1999 mg/kg, Ba 78,6 mg/kg, Cu 25,2 mg/kg, V 24,3 mg/kg, Ni 18,1 mg/kg, Cr 15,3 mg/kg, As 11,4 mg/kg, Pb 9,45 mg/kg, Zn 6,38 mg/kg. Остали елементи су присутни у мањим концентрацијама. Губитак жарења (GZ) је 4,13%, а pH вредност 11,50. Рендгенска анализа ЕФ показала је присуство минерала кварца, који је доминантан и плагиокласа, док је СЕМ анализа показала доминантно присуство Si, Al, Ca, Fe и Mg.

Карактеризацијом полазног узорка пепела КОСТ утврђено је следеће: хемијска анализа КОСТ је показала доминантно присуство оксида силицијума SiO₂ 45,5%, затим Al₂O₃ 22,35%, Fe₂O₃ 8,93%, CaO 7,18% док су остали оксиди знатно мање заступљени. Од елемената је најзаступљенији Ca 19900 mg/kg, затим Mg 19800 mg/kg, Fe 10200 mg/kg, Al 9350 mg/kg, S 2895 mg/kg, Ba 82,8 mg/kg, V 33,2 mg/kg, As 24,2 mg/kg. Губитак жарења (GZ) је 10,62%, а pH вредност 9,29. Рендгенска анализа КОСТ је показала присуство минерала кварца (најдоминантнији минерал), плагиокласа, оливина, калцита и у трагу пирита. Уочено је доминантно присуство аморфне материје, што указује на веома низак степен кристалинитета. СЕМ анализа је показала спектар карактеристичних пикова који указују на доминантно присуство Si, Fe, Ca, Al и Mg.

У експериментима који су имали за циљ да се одреди оптимална концентрација ФЈМ, ЕФ и КОСТ при којима се најбрже постиже неутрални pH отпадне рудничке воде, тзв. репрезентативни узорак, закључено је следеће: код ФЈМ се неутрализација постиже за 7 дана при садржају јаловине од 7,5 g у 50 cm³ отпадне киселе воде, односно 15% чврсте фазе у пулпи. Код ЕФ се неутрализација постиже за 7 дана при садржају пепела од 12,5 g у 50 cm³ отпадне киселе воде, односно 25% чврсте фазе у пулпи. Код КОСТ се неутрализација постиже за 1 дан при садржају пепела од 10 g у 50 cm³ отпадне киселе воде, односно 20% чврсте фазе у пулпи.

На основу добијених резултата закључено је да флотацијска јаловина рудника бакра Мајданпек (ФЈМ) богата карбонатним минералима, калцитом и доломитом, поседује значајан капацитет неутрализације киселинене и представља веома ефикасно алтернативно средство за неутрализацију киселих рудничких вода и уклањање присутних метала. Лабораторијска испитивања су потврдила да се ФЈМ може применити у поступку неутрализације воде из изузетно киселог језера „Робуле“. Након неутрализације са флотацијском јаловином исталожено је преко 99% Al, Fe и Cu, 98% Pb и 92% Zn. Концентрације Cd и Mn су повећане услед испирања ових метала из флотацијске јаловине. Да би се концентрација Mn смањила испод дозвољених граница испуштања, био је неопходан додатни третман применом калцијум хидроксида како би се pH повећао до 10 и тако обезбедили услови за његово уклањање. Резултати су показали да се ФЈМ може применити у активном третману киселих рудничких вода у комбинацији са калцијум хидроксидом. Чврсти остатак флотацијске јаловине ФЈМ7д, након неутрализације АМД, има високу концентрацију С и повећан садржај тешких метала који су се исталожили у облику својих хидроксида током поступка неутрализације. Након неутрализације АМД применом ФЈМ, чврсти остатак има за око 4% више честица чије су димензије мање од 63 μm, док се садржај честица крупноће изнад 250 μm смањује. Овоме иду у прилог и измерене вредности запреминске густине 1,21 g/cm³ пре и 1,17 g/cm³ после АМД третмана. На основу ових података закључујемо да је поступак лужења праћен уситњавањем карбоната током третмана. Због концентрације Sb од 24 mg/kg, према EN 12457-4 тесту, ФЈМ пре третмана се класификује као опасан отпад, јер је максимална дозвољена концентрација 5 mg/kg Sb. Међутим, ФЈМ7д, као чврсти остатак након третмана је у категорији неопасног отпада, јер садржи 0,7 mg/kg Sb. На основу сва три теста лужења TCLP теста, EN 12457-4 теста и теста дуготрајног лужења снегом резултати ФЈМ7д показују концентрације опасних елемената знатно испод прописаних граница.

Лабораторијска испитивања су потврдила да се пепели ЕФ и КОСТ може применити у поступку неутрализације киселе воде језера „Робуле“. Механизам неутрализације киселе рудничке воде језера „Робуле“ употребом летећег пепела може се дефинисати процесима неутрализације киселине, што резултира повећањем рН вредности раствора, уклањањем Fe^{3+} и Al^{3+} јона, као главних јона метала у хемијском саставу киселих вода и формирањем нерастворних (окси)хидроксидних једињења која доводе до копреципитације других метала у траговима (Cu, Zn, Ni, Pb и Cd) из АМД-а, уз додатни ефекат адсорпције катјона на честице летећег пепела. рН и природа коначно добијеног раствора АМД зависи од количине хидролизујућих састојака доступних у АМД и времена трајања реакције. На основу резултата EN 12457-4 теста пепели ЕФ и КОСТ, и пре и после третмана неутрализације киселе рудничке воде језера „Робуле“, се сврставају у категорију опасног отпада због повећаног садржаја Sb. Концентрације осталих елемената у раствору су знатно испод прописаног нивоа TCLP и EN12457-4 тестова. Како би се утврдило да ли долази до спонтаног лужења Sb и других метала из одложеног отпада, урађени су и тестови дуготрајног испирања отопљеним снегом у циљу испитивања утицаја атмосферских талоба на одложене сировине. Закључено је да долази до спонтаног излуживања антимона и до могућег загађења животне средине услед излагања летећег пепела атмосферилијама.

У **закључку** докторске дисертације сумирани су најзначајнији резултати добијени у овој докторској дисертацији

У **литератури** докторске дисертације по абecedном реду систематизоване су све референце које су цитиране у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Развој и опстанак друштва у ери савремених технологија, недвосмислено, мора да се заснива на принципима одрживог развоја и очувања животне средине. Убрзани технолошки развој доводи до све веће потрошње и експлоатације минералних сировина, са једне стране, и стварања великих количина опасног отпада са друге. Како не би дошло до неповратне и трајне деградације животне средине намеће се, као императив модерног доба, стално праћење насталог отпада и изналажења могућности његове даље примене као техногене сировине. У спрези између све строжијих законских оквира са једне стране и све веће потражње за прерадом и употребом минералних сировина са друге, на третман и одлагање отпада је потребно гледати као на сигурно депоновање сировина за будуће генерације. Различите врсте и чврстог и течног отпада одликује веома комплексан састав са високим садржајем и контаминената и метала који могу да се валоризују и примене у различите сврхе. Такође, такав отпад негативно утуче на животну средину, загађује је, мења је и на тај начин ствара неповољан амбијент за живот, како биљака и животиња, тако и људи. Због тога је неопходан један мултидисциплинарни приступ у санацији и даљој примени насталог отпада, посебно у случајевима када се једним отпадом третира други, при чему се остварује еколошки и економски бенефит. Након детаљних истраживања приказаних у докторској дисертацији и изведеним закључцима скренута је пажња на ефикасност употребе три врсте отпада. Уместо одвојеног третмана опасног отпада јаловине, пепела и киселих рудничких вода, у докторској дисертацији су приказани

результати истраживања о употреби јаловине и пепела као агенаса за неутрализацију киселе рудничке воде језера „Робуле“. Након једног тако конципираног поступка добијена је пречишћена вода која је безбедна за испуштање у животну средину што је био и циљ рада. Методологија третмана дефинисана у овој докторској дисертацији представља економски и еколошки прихватљив вид интегралног третмана отпада који се заснива на принципима одрживог развоја, а то је: коришћење већ одложеног отпада, смањење садашњег и будућег загађења, смањење трошкова ремедијације и претварање токсичног отпада у бесплатан ресурс. Ово би требало да буде императив за садашњи рударски менаџмент базиран на резултатима ове докторске дисертације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирана је укупно 351 референца. Велики број цитираних референци представљају научни радови публиковани у последњих неколико година, што указује на актуелност теме ове докторске дисертације. Највећи број цитираних радова чине радови међународног значаја са тематиком релевантном за израду докторске дисертације. Међу цитираним референцама најзаступљеније су оне које се баве настанком киселих рудничких вода, њиховом превенцијом и методама и потенцијалним агенсима који се примењују за неутрализацију ових вода. Такође, тема ових публикација је и анализа ефикасности појединих агенаса у зависности од састава отпадне воде која се третира. У експериментима који су извођени током израде докторској дисертацији, као и приликом тумачења добијених резултата примењен је велики број тестова, анализа и литературе који спадају у званична документа, правилнике, приручнике и стандарде.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Хемијска анализа чврстих узорака, након растварања у царској води, урађена је техником атомске апсорпционе спектроскопије. Истовремено, хемијски састав узорака је испитиван и помоћу ICP-OES технике (Оптичка емисиона спектрометрија са индуктивно куплованом плазмом, енг. *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy*) мерењем концентрације одабраних хемијских елемената. За одређивање и праћење фазног састава узорка примењена је дифракциона анализа X зрачењем (ХРД). За квалитативну идентификацију минерала у узорцима примењена је микроскопска анализа и то оптичка и електронска (Скенирајућа електронска микроскопија). Према Правилнику о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Службени гласник Републике Србије, бр. 56/10 јасно је дефинисано да се за испитивање токсичних карактеристика отпада предвиђеног за одлагање користи TCLP тест (енг. *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), за испитивање отпада и дренажних вода из депонија инертног, неопасног или опасног отпада користи стандардни тест лужења EN 12457-4. TCLP тест дефинише мобилност органских и неорганских материја у чврстом, течном или вишефазном отпаду дефинисан од стране USEPA (енг. US Environmental Protection Agency). За одређивање пуферског капацитета узорка примењен је тест капацитета за неутрализацију киселине, ANC тест (енг. *Acid Neutralization Capacity*).

Током израде докторске дисертације примењен је програмски пакет за симулацију воденог третмана PHREEQC програмом за агенсе који су коришћени за третман киселе рудничке воде: јаловине, ФЈМ и оба летећа пепела, ЕФ и КОСТ. Резултати су приказани у облику индекса засићења (SI) одговарајућих минералних фаза, који су променили вредност при специфичним вредностима pH. Резултати моделирања су

имали за циљ да допуне експерименталне резултате и дају додатно објашњење механизма уклањања тешких метала током третмана.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу резултата истраживања приказаних у докторској дисертацији показано је да се флотацијска јаловина и летећи пепео, као базни материјали, могу применити као веома ефикасни агенси за неутрализацију киселих рудничких вода. Такође, могу да се користе индивидуално и у комбинацији са конвенционалним агенсима за неутрализацију. Као најефикаснији агенс показао се летећи пепео из термоелектране „Костолац“ (узорак КОСТ) где се постизање задовољавајуће рН вредности остварује за један дан. Употребом свих наведених агенаса за неутрализацију уклоњено је преко 99% Al, Fe и Cu, док је употреба оба летећа пепела показала већу ефикасност за уклањање Zn и то преко 99%, а ФЈМ 92%. Применом флотацијске јаловине, као агенса за неутрализацију уклоњено је 98% олова, а применом летећег пепела 89%. Све ово указују на могућност практичне примене поступка активних третмана киселих рудничких вода приказаних у докторској дисертацији.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Нела С. Петронијевић, дипл. инж. геологије, је током израде докторске дисертације показала способност планирања и реализације експеримената. Изразите истраживачке квалитете исказала је коришћењем различитих инструменталних метода, предлозима и поставкама нових и модификованих метода анализа, а при анализи резултата показала је самосталност, систематичност и креативност. На основу досадашњег рада и постигнутих резултата кандидаткиње, Комисија сматра да Нела С. Петронијевић поседује квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати добијени у оквиру докторске дисертације дају велики допринос у области санације и неутрализације киселих рудничких вода применом флотацијске јаловине и летећег пепела. Експериментално истраживање је конципирано тако да омогући детаљну карактеризацију полазних узорка, добијених талога и раствора, дефинисању репрезентативног узорка агенаса за неутрализацију, дефинисању времена за постизање неопходне рН вредности третиране киселе рудничке воде и дефинисању механизма неутрализације применом сва три агенса за неутрализацију. Такође, вршена је анализа и упоређивање ефикасности алтернативних агенаса за третман рудничких вода коришћењем отпадних сировина са третманом рудничких вода коришћењем натријум хидроксида као конвенционалног агенса.

Најзначајнији научни доприноси ове докторске дисертације су:

- Дефинисан је потенцијал флотацијске јаловине и летећег пепела за третман киселе рудничке воде.
- Дефинисан је механизам третмана киселих рудничких вода употребом флотацијске јаловине и летећег пепела као синергијских приступ примене отпадних сировина у неутрализацији киселих рудничких вода.

- Смањен је штетни утицај на животну средину уз максималано искоришћење отпадних материјала као улазних сировина у процесу неутрализације (флотацијске јаловине и летећег пепела).
- Утврђена је ефикасност третмана рудничких вода употребом отпадних материјала (алтернативна метода) и упоређена са ефикасношћу третмана коришћењем натријум хидроксида као конвенционалне методе за третман киселих отпадних вода.
- Показано је да 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).
- Анализом чврстог остатка након третмана рудничких вода утврђено је да је обогаћен металима и може бити предмет даљег испитивања у циљу валоризације корисних компоненти, а са друге стране, добијена је рудничка вода која има такав хемијски састав да је безбедна за испуштање у животну средину.
- Експлицитно и недвосмислено је указано на чињеницу да се депоновани отпад, флотацијска јаловина и летећи пепео, могу искористити за третман друге врсте отпада, као што су киселе рудничке воде. На тај начин се смањује негативан утицај насталог отпада на животну средину.

За разлику од досадашњих истраживања у овој дисертацији је указано на висок степен пречишћења киселих вода употребом флотацијске јаловине и летећег пепела који су по први пут коришћени као алтернативне сировине за третман киселих вода „Робуле“, у односу на претходна истраживања. Употребом флотацијске јаловине и летећег пепела отклоњено је преко 99% Cu, Al, Al и Zn за летећи пепео и преко 89% олова за обе врсте неутралишућег материјала, чиме су киселе воде стекле статус неопасног отпада погодног за испуштање у животну средину без икаквог даљег третмана.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу јасно дефинисаних предмета и циљева истраживања, а након детаљне анализе литературних података из области третмана киселих рудничких вода применом друге врсте отпада (алтернативни агенси) самостално или у комбинацији са конвенционалним агенсима одређена је методологија истраживања која је и примењена у докторској дисертацији. Актуелност теме докторске дисертације је све већа имајући у виду све строжије законе који дефинишу максимално дозвољене концентрације (МДК) штетних компоненти у отпаду који се одлаже или испушта у виду отпадних вода у природне водотокове. Киселе рудничке воде представљају опасан отпад са могућим великим утицајем на животну средину услед изразито комплексног састава како метала, тако и миграторних елемената. Са друге стране, флотацијска јаловина и летећи пепео су, такође, опасан отпад. Применом једне врсте отпада, флотацијске јаловине или летећег пепела, за неутрализацију друге врсте отпада као што су киселе рудничке воде представља најбољи пример синергије у третману једне врсте опасног отпада другом врстом у циљу добијања неопасног отпада који је погодан за безбедно испуштање или одлагање. Велики број испитиваних узорака и примењених анализа је допринео да се што прецизније испита ефикасност примењеног агенса за неутрализацију киселе рудничке воде, утврди неопходна количина агенса и оптимално време трајања процеса до потпуне неутрализације.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21:

- 21.1. **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 16, 2020, doi.org/10.3390/met10010016, ISSN 2075-4701, IF (2020) = 2.487;

Категорија M22:

- 22.1. **Petronijević N.**, Radovanović, D., Štulović, M., Sokić, M., Jovanović, G., Kamberović, Ž., Stanković, S., Stopić, S., Onjia, A.; Analysis of the Mechanism of Acid Mine Drainage Neutralization Using Fly Ash as an Alternative Material: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule in Eastern Serbia, *Water*, Vol 14, No 20:3244, 2022, IF(2022)=3.53;

Категорија M23:

- 23.1. 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, issn: 0367-598X, doi: 10.2298/HEMIND181009010S, 2019, IF 2018 = 0.566

Категорија M33:

- 33.1. 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
- 33.2. 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
- 33.3. 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

Категорија M34:

- 34.1. **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

- 34.2. 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
- 34.3. 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
- 34.4. 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

Категорија M51:

- 51.1. Nela Petronijevic, Vesna Alivojvodic, Miroslav Sokic, Branislav Markovic, Srđan Stankovic, Dragana Radovanovic, Sustainable mining towards accomplishing circular economy principles, Journal of Applied Engineering Science, Vol. 18, Issue 4, 2020, pp. 493 – 499

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Неле С. Петронијевић, дипл. инж. геологије, под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области Инжењерства заштите животне средине, што је и потврђено објављивањем радова у научним часописима међународног и националног значаја и саопштењима на међународним и националним скуповима. Комисија износи мишљење да је кандидаткиња током израде дисертације показала самосталност у научно-истраживачком раду и да су циљеви докторске дисертације у потпуности остварени. Комисија сматра да приказани резултати истраживања изузетно доприносе повећању знања о могућностима третмана опасног отпада, као што су киселе рудничке воде, другом врстом отпада, као што су флотацијска јаловина и летећи пепео. За ове отпадне материјале, који су комплексног састава са високим садржајем метала и миграторних елемената, изузетно су важни резултати добијени у докторској дисертацији, јер су дали велики допринос у домену добијања неопасног отпада погодног за испуштање уз поштовање све строжијих еколошких захтева и законских регулатива. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да поднету докторску дисертацију, под називом „Испитивање механизма неутрализације киселих рудничких вода коришћењем флотацијске јаловине и летећег пепела“ кандидаткиње

Неле С. Петронијевић, дипл. инж. геологије, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да се након завршетка ове процедуре кандидаткињу позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 24.10.2022.

МЕНТОР

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

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Антоније Оџиа, редовни професор
Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

Др Васо Манојловић, ванредни професор
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

Др Мирослав Сокић, научни саветник
Институт за технологију нуклеарних и других
минералних сировина, Београд

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

Др Срђан Станковић научни сарадник
„Савезни институт за геонауке и природне ресурсе,
Хановер, Немачка“