

Број захтева: _____

Датум: _____

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. став 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

мр Зорана (Обрад) Стевановића

КАНДИДАТ: **мр Зоран (Обрад) Стевановић**

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ЛУЖЕЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ФЛОТАЦИОНЕ ЈАЛОВИНЕ

Из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана **26.09.2011.** године својим актом под бројем **06-7092/19-11** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **ЛУЖЕЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ФЛОТАЦИОНЕ ЈАЛОВИНЕ**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

мр Зорана (Обрад) Стевановића

образована је на седници одржаној **25.10.2012.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-1-11**, у саставу:

Име и презиме члана комисије / звање / научна област / установа у којој је запослен

1. др Милан Антонијевић, ред. професор, хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, Технички Факултет у Бору, ментор
2. др Владица Цветковић, ред. професор, геологија, Рударско- геолошки факултет у Београду, члан
3. др Грозданка Богдановић, ред. професор, хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, Технички факултет у Бору, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **20.12.2012.** године, под бројем: **VI/4-3-6.**

Декан Факултета

Проф. др Милан Антонијевић

Прилог:

1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-3-6
Бор, 21. 12. 2012. године

На основу чл. 44. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 20. 12. 2012. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **мр Зорана Стевановића**, дипл. инж. рударства, под називом: „**Лужење тешких метала из флотационе јаловине**“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана 26. 09. 2011. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

III Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

1. **Zoran O. Stevanović**, Milan M. Antonijević, Grozdanka D. Bogdanović, Vlastimir K. Trujić, Mile M. Bugarin: Influence of the chemical and mineralogical composition on the acidity of an abandoned copper mine in the Bor river valley (Eastern Serbia), *GCHE Chemistry and Ecology Journal*, (ISSN: 0275-7540; Environmental Sciences; IF 2011: 0.615; M21), DOI: 10.1080/02757540.2011.575375, MS.ID: 575375 (2011), 1-14.
2. **Zoran O. Stevanović**, Milan M. Antonijević, Grozdanka D. Bogdanović, Mile M. Bugarin, Vlastimir K. Trujić, Radmila T. Marković, Dragutin M. Nedeljković: The effect of oxidants through a tailing dump depth and the leaching of copper, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, (ISSN: 1842-4090; Environmental Sciences; IF 2011: 1.450; M21), Vol. 8, 2013 – Nr 1, Online-<http://www.ubm.ro/sites/CJEES/viewTopic.php?topicId=291>.

IV Именовани ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Милан Антонијевић, редовни професор Техничког факултета у Бору – ментор;
2. др Владица Цветковић, редовни професор РГФ-а у Београду – члан;
3. др Грозданка Богдановић, ванредни професор Техничког факултета у Бору – члан.

V Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

VI О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Доставити:

- именованом
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Милан Антонијевић

Универзитет у Београду

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата Мр Зорана Стевановића, дипл.инж.рударства

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-1-11 од 26.10.2012 године, именовани смо у Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата мр Зорана Стевановића, дипл.инж. рударства под називом: „**ЛУЖЕЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ФЛОТАЦИОНЕ ЈАЛОВИНЕ**“. Након прегледа урађене докторске дисертације и пратеће документације која нам је достављена на увид, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације је **ЛУЖЕЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ФЛОТАЦИОНЕ ЈАЛОВИНЕ**, која је написана на 149 страна и састоји се од 6 поглавља. На крају дисертације се, у складу са упутствима за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду, налазе и списак коришћене литературе, кратка биографија аутора и прилози.

1.2. Хронологија одобравања у изради дисертације

Хронологија одобравања у изради дисертације одвијала се следећом динамиком:

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-14-5.2 од 13.05.2011. године именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-15-9/9.2 од 16.06.2011. године усвојен је Извештај Комисије за оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 26.09.2011. године донело је Одлуку број 06-7092/19-11, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-1-11 од 26.10.2012 године именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Предлог истраживања докторске дисертације припада научној области хемијске технологије, уже научне области инжињерство животне средине.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Зоран Стевановић рођен је 30.01.1967. године у Бору. Основну и средњу школу са матуrom завршио је у Бору. Технички факултет у Бору, рударски одсек, смер за Припрему минералних сировина уписао је 1985 год. а завршио 1993 год. са просечном оценом у току студија 8,11.

После дипломирања запослио се 1994 године, најпре у Борској флотацији, а након три месеца прешао је у Институт за бакар у Бору (сада Институт за Рударство и Металургију) у Завод за Припрему минералних сировина (ПМС) као приправник. Приправнички стаж завршава фебруара 1995 године одбраном приправничког испита у Институту за бакар у Бору у Заводу за ПМС.

Од 1995-1998 год. радио је у борској флотацији као инжењер на оперативним пословима у погону за уситњавање руде на Церову.

По повратку у Институт за бакар 1998 год., распоређен је у Одељење за хидрометалургију, а потом у Завод за ПМС-Одељење за хемијске методе концентрације, на пословима истраживања и пројектовања у области хемијских метода концентрације, где је радио до 2002 год.

Током 2002 године бива постављен на место Управника Одељења за Припрему Минералних Сировина Института за бакар, односно Института за Рударство и Металургију Бор. Стручни испит из области рударства положио је 1998 год.

На постдипломским студијама остварио је просек 9,25 и успешно одбранио 2001 године на Техничком факултету у Бору магистарску тезу *"Кинетика лужења бакра и злата из флотацијске јаловине."*

У периоду Март – Мај 2008 године похађао је и завршио међународни специјалистички курс "Environmental Protection and Management of Mining Area" JICA, Tokyo - Japan.

У досадашњем раду у Институту за Рударство и Металургију Бор, руководио је већим бројем пројеката из области експлоатације и припреме минералних сировина и заштите

животне средине. Има више објављених радова као аутор и коаутор и више изложених радова на скуповима националног и међународног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације

Дисертација је састављена у једну логичну целину уводним прегледом литературе и тренутног стања у свету из области теме дисертације, описом експерименталног рада и закључком који је дат у последњем поглављу дисертације. Написана је на 149 страна и састоји се од 6 поглавља:

1. Увод (обим 2 стране, 1 слика и 3 литературна цитата)
2. Флотацијска јаловишта и њихов утицај на животну околину (обим 23 страна, 8 слика, 5 табела и 121 литературних цитата)
3. Циљ рада (обим 1 страна)
4. Експериментални део (обим 71 страна, 134 слика, 11 табела и 18 литературних цитата)
5. Дискусија резултата (обим 21 страна, 24 слика и 72 литературна цитата)
6. Закључак (обим 6 страна)

2.2. Кратак приказ појединих поглавља

У *првом поглављу*, односно уводном делу описан је значај примене одрживих технологија, што имајући у виду карактер и век трајања Борске индустрије има огроман регионални и знатно шири значај. Приказан је карактер рударске индустрије у Бору, у смислу утицаја на животну средину, и дат оријентациони износ количина рударских отпадних материјала са процењеним садржајем бакра (више од 650×10^6 т чврстих отпадних материјала које садрже преко 900.000 т бакра). Дати су основни подаци о периоду експлоатације старог флотацијског јаловишта у Бору, начину формирања као и о количинама јаловине и садржаног бакра. Посебно је акцентирана важност испитивања понашања јона тешких метала садржаних у флотацијској јаловини под природним атмосферско – климатским условима са аспекта утицаја на околну земљиште, водотокове и биљни свет.

У *другом поглављу* дат је преглед литературе релевантне за обраду теме дисертације. У првом делу другог поглавља приказане су физичко – хемијске карактеристике флотацијске јаловине и јаловишта које проузрокују загађење животне средине фино уситњеном прашином, киселим водама и јонима тешких метала. У другом делу другог поглавља дат је преглед досадашњих истраживања о утицају флотацијских јаловишта на животну околину. Описан је утицај пирита као најзаступљенијег минерала у полиметаличним сулфидним лежиштима и јаловинама које се продукују прерадом ових типова руда. Приказани су механизми оксидације пирита различитим оксидансима (O_2 , H_2O_2 , *Ferrobacillus ferrooxidans*, *Ferrobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus thiooxidans*), као и механизми даље оксидације и растварања осталих јона тешких метала и настанка киселих рудничких вода познатих као AMD (Acid Mine Drainage). Посебан осврт дат је опису претходних

истраживања површинских процеса који се одвијају у воденим срединама а зависе од више фактора. Разматрање наведених фактора дато је са аспекта знатног утицаја на оксидацију пирита, а самим тим и на степен генерисања закишељених вода и гвожђе(III)оксида, који представља снажан оксиданс пирита у киселим срединама, што даље води ка контаминацији раствора и околине јонима тешких метала. Наведени су примери истраживања утицаја рударског отпада на животну средину на локалитетима Cœur d'Alene (CdA) у Ајдаху, Colorado Mineral Belt (CMB) у Колораду, Gold Quarry Mine и Crescent Valley у Невади сви у САД, као и случај пробијања бране флотацијског јаловишта рудника пирита Aznalcollar (јужна Шпанија) априла 1998 године. На крају другог дела, другог поглавља дат је и преглед са карактеристикма и примерима различитих поступака за неутрализацију закишељених раствора (употребом креча, фостерита, каустичне соде, црвеног муља, серпентинита, зеолита, лебдећег пепела) као и за спречавање даљег загађења јона тешких метала из рударских јаловина поступцима фиторемедијације. У трећем делу другог поглавља дат је преглед историјских дешавања, са аспекта рударства и прераде руде, на подручју Бора и консеквенце на животну средину проистекле из оваквих вишедеценијских активности. Такође, дати су подаци дефинисања зоне утицаја РТБ-а на основу претходних испитивања земљишта, вода и ваздуха у ближој и даљој околини Бора. Приказани су садржаји тешких метала који су упоређивани са лимитираним концентрацијама у правилницима и регулативама Републике Србије који прописују максимално дозвољене концентрације штетних елемената у земљишту и води. Посебна пажња дата је опису формирања и експлоатације старог борског флотацијског јаловишта са прегледом претходних истраживања која су имала за циљ, како ревалоризацију корисних компоненти тако и одређене поступке за спречавање загађења са овог јаловишта.

У трећем поглављу је детаљно изложен циљ рада.

У четвртом поглављу приказана је методологија експерименталног рада и резултати испитивања у оквиру предметне дисертације. Најпре је описан начин и локација узимања узорак јаловине на којима су вршена испитивања, њихове физичко – хемијске карактеристике и начин формирања узорак за испитивања. Приказани су резултати хемијске анализе узорак по којима се види да су повећане концентрације, изнад или близу МДК, у композитном узорку флотацијске јаловине и композитним узорцима по бушотинама утврђене за бакар, цинк, арсен, кадмијум и олово, док су концентрације осталих елемената испод лимитираних вредности. У површинском слоју јаловишта концентрације тешких метала су најниже док је значајно повећање концентрације метала забележено од 5м наниже. Дата је минералошка анализа којом је утврђено је да је пирит доминантни сулфидни минерал са 90,9% слободних зрна. Такође, минералошком анализом утврђено је да највећи део растворених и мобилисаних јона бакра потиче од ковелина и енаргита. Као главни носиоци цинка и арсена идентификовани су сфалерит, енаргит и арсенопирит док је лузонит идентификован само у траговима. Посебно је испитана активна и потенцијална киселост јаловине. Добијени резултати показали су да активна киселост јаловине нема устаљен тренд по дубини, већ неправилно расте и опада. Слични резултати добијени су и за потенцијалну киселост која прати исти тренд као и активна киселост. Приказана је анализа хемијског састава околног земљишта у оквиру које је утврђено да је концентрација токсичних елемената у узорцима земљишта повећана и то првенствено бакра, цинка и олова. Поред земљишта извршена је и хемијска анализа присутних биљака (коприва, једногодишња ливадарка, паламида, барска трска, бреза и

багрем). Највећи нивои акумулације забележени су за бакар, цинк и арсен и то у корену једногодишње ливадарке са наносног слоја земљишта на самом јаловишту. У задњем делу четвртог поглавља приказана је методологија испитивања лужења тешких метала из флотационе јаловине у оквиру којих је формирано паралелно шест различитих серија експеримента из композитних узорака флотацијске јаловине (0м, 1м, 5м, 10м, 15м и 20м), у киселој средини (0.01М H_2SO_4), са и без претходног испирања, са оксидансима (H_2O_2 и O_2) и без оксиданаса. Добијени резултати приказани су по серијама експеримената графички и табеларно, у самом тексту као и у Прилогу 1.

У *петом поглављу* је дата детаљна анализа и дискусија резултата испитивања лужења тешких метала из флотационе јаловине. Анализа резултата дата је по елементима (бакар, гвожђе, цинк, арсен и манган). Највећи део овог поглавља свакако чине приказ и тумачење добијених резултата током испитивања: утицај коришћених оксиданаса који су природно присутни на самом јаловишту, киселост јаловишта, концентрација тешких метала по дубини јаловишта, време трајања растварања. Изнети подаци указали су на: присуство лако растворних оксидних и сулфатних једињења у јаловини; претходну излуженост тешких метала из површинског слоја јаловишта услед дејства атмосферских вода; неравномерну расподелу пирита по запремини јаловишта што директно утиче на реактивност и мобилност присутних сулфидних минерала; неједнак степен његове оксидације по дубини јаловишта као и на водопропустност јаловине, што уз повећане концентрације и ослобођеност тешких метала указује на идеалне услове за дугорочно загађење околине.

У *шестом поглављу* су дати закључци донети на основу разматрања резултата добијених у оквиру ове дисертације који обухватају: опис повећане реактивности присутних сулфидних минерала и генерисање АМД-а, дефиницију доминантног сулфидног минерала и главних минерала загађивача тешким металима, опис ослобођености сулфидних минерала, киселост и пермеабилност флотацијске јаловине, акумулацију јона тешких метала у околном земљишту и биљкама, одређивање степена излужења и концентрације тешких метала у добијеним растворима по дубини јаловишта са различитим оксидансима. Након шестог поглавља дат је списак коришћене литературе, биографија и прилози.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Флотацијским поступцима концентрације минералних сировина стварају се огромне количине отпадног материјала, односно флотацијске јаловине, чије масено учешће обично износи између 97 и 98% од количине прерађене руде. Флотацијска јаловина са собом носи одређени део сулфидне и повећани део оксидне минерализације метала који нису концентрисани поступком флотирања, а чија су се физичко хемијска својства значајно изменила услед различитих електрохемијских реакција кроз процес флотацијске концентрације.

Одложена флотацијска јаловина представља изузетно уситњени материјал који је прошао све фазе уситњавања и класирања кроз погон флотације и обично је врло униформног

гранулосастава који се, у зависности од технолошких захтева процеса флотације, креће од 50-90% -0,074мм. Формирана флотацијска јаловишта рудника металичних сировина која више нису у оперативном периоду и на којима није извршена рекултивација, одликују се углавном повећаном кишелошћу материјала и повећаним садржајем токсичних елемената који се, у зависности од порозности и водопропусности јаловине, дистрибуирају по запремини јаловишта. До повећане киселости материјала долази услед оксидације присутних сулфидних минерала и настанка киселих рудничких вода са повећаним садржајем CO_4 јона, метала и металоида. Ови кисели и контаминирани раствори дренирају се са јаловишта и отичу у околну земљиште и водотокове значајно загађујући животну средину тешким металима.

На основу наведеног јасно је да флотацијска јаловишта представљају стални извор загађења контаминираним киселим рудничким водама и прашином. Због расположивости кисеоника и атмосферских вода, највећи степен самоизлуживања сулфида током периода одстојавања јаловине, одвија се у површинским слојевима па је стога и њихов садржај на површини најнижи. Степен оксидације сулфида и мобилизација јона тешких метала у дубљим слојевима јаловишта далеко је нижа због мање расположивости кисеоника и раствора па је самим тим и њихов садржај знатно виши. Међутим, управо ти минерали представљају „гориво“ за дуготрајну контаминацију дренажних вода јер се њихова мобилизација одвија веома споро али континуално.

Значај ових истраживања огледа се у утврђивању дистрибуције тешких метала по дубини јаловишта и њиховог утицаја на контаминацију рудничких вода што доприноси комплетнијем схватању утицаја нерехабилитованих флотацијских јаловишта на животну околину а пре свега у циљу одређивања приоритета решавања оваквих еколошких проблема.

У оквиру ових истраживања која дефинишу понашање јона одређених тешких метала садржаних у флотацијској јаловини, под природним атмосферско – климатским условима који владају на локацији јаловишта, одређена је мобилизација јона тешких метала по дубини флотацијског јаловишта и главни минерали носиоци загађења. Самим тим предметна истраживања представљају добру основу за даља истраживања, пре свега у дефинисању могућности спречавања загађења из овакве врсте отпадних материјала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је коришћена литература која обухвата чланке, који приказују резултате релевантне за тему докторске дисертације, објављене у часописима са SCI листе новијег датума као и неким другим међународним часописима. Стога се коришћена литература може оценити као адекватна и актуелна. Међу референцама, могу се издвојити неке које су послужиле као основа или инспирација за формирање истраживања:

1. Al-Abed Souhail R., Jegadeesan G., Purandare J., Allen D.: *Arsenic release from iron rich mineral processing waste: Influence of pH and redox potential*. Chemosphere, No.66, 775-782, (2007), doi:10.1016/j.chemosphere.2006.07.045.
2. Alastuey A., Garcia-Sánchez A., López F., Querol X.: *Evolution of pyrite mud weathering and mobility of heavy metals in the Guadiamar valley after the Aznalcollar spill, south-west Spain*. The Science of the Total environment, No.242, 41-55, (1999), doi:10.1016/S0048-9697(99)00375-7

3. Andrade S., Moffett J., Correa J.A.: *Distribution of dissolved species and suspended particulate copper in an intertidal ecosystem affected by copper mine tailings in Northern Chile*. Marine Chemistry, No.101 (3/4), 203-212, (2006), doi:10.1016/j.marchem.2006.03.002.
4. Antonijević M.M., Dimitrijević M.D., Stevanović Z.O., Šerbula S.M., Bogdanović G.D.: *Investigation of the possibility of copper recovery from flotation tailings by acid leaching*. Journal of Hazardous Materials, No.158, 23-34, (2008), doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.063.
5. Aydogan S.: *Dissolution kinetics of sphalerite with hydrogen peroxide in sulphuric acidic medium*. Chem. Eng. J., No.123, 65-70, (2006), doi:10.1016/j.cej.2006.07.001.
6. Bafghi M.Sh., Zakeri A., Ghasemi Z., Adeli M.: *Reductive dissolution of manganese ore in sulfuric acid in the presence of iron metal*. Hydrometallurgy, No.90, 207-212, (2008), doi:10.1016/j.hydromet.2007.07.003.
7. Bernier L.R.: *The potential use of serpentinite in the passive treatment of acid mine drainage: batch experiments*. Environmental Geology, No.47, 670-684, (2005), doi:10.1007/s00254-004-1195-9.
8. Bonnissel-Gissing P., Alnot M., Ehrhardt J.J., Behra P.: *Surface Oxidation of Pyrite as a function of pH*. Environmental Science & Technology, No.32, 2839-2845, (1998), doi:10.1021/es980213c.
9. Conesa H.M., Faz A., Arnolds R.: *Heavy metal accumulation and tolerance in plant from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Union mining district (SE Spain)*. Science Total Environment, No.266, 1-11, (2006), doi:10.1016/j.scitotenv.2006.12.008.
10. Dold B., Fontbote L.: *Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy and mineral processing*. Journal of Geochemistry Exploration, No.74, 3-35, (2001), doi:10.1016/S0375-6742(01)00174-1.
11. Evangelou V.P., Zhang Y.L.: *A review: pyrite oxidation mechanism and acid mine drainage prevention*. Environmental Science Technology, No.25, 141-199, (1995), doi:10.1080/10643389509388477.
12. Hansen H.K., Yianatos J.B., Ottosen L.M.: *Speciation and leachability of copper in mine tailings from porphyry copper mining: Influence of particle size*. Chemosphere, No.60, 1497-1503, (2005), doi:10.1016/j.chemosphere.2005.01.086.
13. Jiang T., Yang Y., Huang Zh., Zhang B., Qiu G.: *Leaching kinetics of pirolusite from manganese-silver ores in the presence of hydrogen peroxide*. Hydrometallurgy, No.72, 129-138, (2004), doi:10.1016/S0304-386X(03)00136-1.
14. Johnson D.B., Hallberg K.B.: *Acid mine drainage remediation options: a review*. Science Total Environment, No.338, 3-14, (2005), doi:10.1016/j.scitotenv.2004.09.002.
15. Pérez-López R., Nieto J.M., Ruiz de Almodóvar G.: *Immobilization of toxic elements in mine residues derived from mining activities in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain): Laboratory experiments*. Applied Geochemistry, No.22, 1919-1935, (2007), doi:10.1016/j.apgeochem.2007.03.055.

16. Rimstidt J.D., Vaughan D.J.: *Pyrite oxidation: a state of the art assessment of the reaction mechanism*. Geochimica Cosmochim. Acta, No.67, 873-880, (2003), doi:10.1016/S0016-7037(02)01165-1.
17. Stjernaman Forsberg L., Ledin S.: *Effect of sewage sludge on pH and plant availability of metals in oxidising sulphide mine tailings*. The Science of the Total Environment, No.358, 21-35, (2006), doi:10.1016/j.scitotenv.2005.05.038.
18. Todd E.C., Sherman D.M., Purton J.A.: *Surface oxidation of pyrite under ambient atmospheric and aqueous (pH 2 to 10) conditions: electronic structure and mineralogy from X-ray absorption spectroscopy*. Geochimica Cosmochim. Acta, No.67, 881-893, (2003), doi:10.1016/S0016-7037(02)00957-2.
19. Xueyi G, Kai H., Qihou L., Duomo Z., Dingfan Q.: *Electrochemical mechanism study on manganese dioxide dissolution in acidic chloride solution in presence of ferrous/ferric ions*. In: Young C.A., Alfantazi A.M., Anderson C.G., Dreisinger D.B., Harris B., James A. (Eds.), Hydrometallurgy 2003: Fifth International Conference in Honor of Professor Ian Ritchie, vol. 1. The Minerals, Metals and Materials Society, pp. 577-587, (2003), doi: 10.1016/j.hydromet.2003.07.012.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност

Истраживање је реализовано применом метода које су се показале као адекватне за испитивања постављеног проблема лужења тешких метала из флотационе јаловине. На основу релевантних литературних података и претходних истраживања, за извођење експеримената одабране су хемијске методе лужења тешких метала под природно – атмосферским условима који владају на самом флотацијском јаловишту. Предност оваког приступа огледа се у томе што се добијају егзактни подаци којима се стиче слика о хемијским процесима који се дешавају у реалним условима.

Лужење тешких метала из флотационе јаловине испитивано је кроз физичко - хемијску и минералошку анализу полазних узорака јаловине, киселост јаловине, хемијску анализу лужних раствора, као и хемијску анализу околног земљишта и биљака ради сагледавања утицаја јаловине на животну околину.

За одређивање хемијског састава узорака и концентрације метала у растворима коришћена је симултана оптичка емисиона спектрометрија са индуковано куплованом плазмом (ICP-AES) SPECTRO CIROS VISION. Предности ICP-AES технике представљају брза и прецизна анализа, висока осетљивост, ниски трошкови, и као највећа предност симултано одређивање више елемената у једном циклусу. На основу наведених предности ICP-AES техника се широко примењује за анализу састава чврстих узорака, узорака земљишта, вода, муљева, као и контролу квалитета широког спектра материјала и производа у пољопривреди, прехранбеној индустрији, фармацеутској индустрији, итд.

Квалитативна минералошка анализа рађена је под поларизационим микроскопом за одбијену светлост у ваздуху, са индентификацијом рудних и нерудних минерала. Квантитативна минералошка анализа вршена је на рудним препаратима за микроскопска испитивања израђеним у плексигласу са наношењем узорка средње густине, и површином препарата од 2,2cm². Коришћен је метод паралелних профила, са растојањем од 1mm. Увећање објектива је у функцији величине агрегата и креће се од 10 до 50x JENAPOL-U”,

Carl Zeiss-Jena. Површине испитиваних агрегата одређиване су помоћу програмског пакета OZARIA v2.5 и система за микрофотографију STUDIO PCTV (Pinnacle Systems). Применом описаних метода и опреме утврђен је прецизан квантитавни минералошки састав са садржајем присутних минерала. Поред тога одређен је квалитативни минералошки састав са приказима структурних склопова доминантних минерала у виду слободних зрна, уклопака, импрегнација, простих и сложених сраслаца, садржаја сулфидних и оксидних и минерала јаловине и ослобођеност минерала као један од најважнијих података за разматрање предметне проблематике.

Киселост флотацијске јаловине, одређена је на изузетим узорцима са сваког метра дубине из свих бушотина. Мерењем рН вредности одређиване су активна ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) и потенцијална киселост (pH_{KCL}) узорака флотацијске јаловине. Мерење активне и потенцијалне киселости јаловине, вршено је ради утврђивања повећане мобилности насталих јона, што њиховим каснијим преласком у околни водени систем и земљиште представља главни узрочник озбиљних загађења јонима тешких метала.

Примењене методе за изведена испитивања у овој докторској дисертацији су адекватне за дату врсту истраживања и користе се у истраживањима објављеним у најновијим публикацијама у часописима са импакт фактором.

3.4. Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Резултати до којих је дошао аутор су практични и применљиви, и могуће је кроз даљи рад на овој проблематици извршити њихову верификацију како проширењем испитивања у смислу сагледавања проблема и са неких других аспеката применом додатних метода, тако и модификовањем услова, и подизањем истраживања изнад лабораторијског нивоа.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, те проистекли публиковани научни радови, као и публиковани радови изван докторске дисертације и учешће у реализацији научно-истраживачких пројеката, указују на способност кандидата Мр Зорана Стевановића, дипл.инж. рударства, за самостални научни рад, као и за активно учешће у тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни допринос овог рада се састоји у следећем:

Испитана дистрибуција тешких метала по дубини јаловишта, околном земљишту и биљкама, као и њихов утицај на контаминацију рудничких вода доприноси комплетнијем схватању утицаја нерехабилитованих флотацијских јаловишта на животну околину.

У оквиру рада одређена је дистрибуција и садржај јона тешких метала у старом флотацијском јаловишту из узорак језгара истражних бушотина до дубине од 20м у интервалу од 5м чиме је утврђен садржај и степен оксидације присутних сулфидних минерала.

Одређен је квантитавни минералошки састав и квалитативни минералошки састав узорака са приказима структурних склопова доминантних минерала у виду слободних зрна, уклопака, импрегнација, простих и сложених сраслаца, садржаја сулфидних и оксидних и минерала јаловине и ослобођеност минерала као један од најважнијих података за разматрање предметне проблематике.

Одређена је дистрибуција и садржај јона тешких метала адсорбованих у околном земљишту и биљним врстама које се налазе на јаловишту и непосредној околини.

Утврђено је дејство природно присутних оксиданаса и утицај рН вредности раствора на степен излуживања тешких метала из флотацијске јаловине симулацијом процеса природног растварања тешких метала. Оваквим приступом омогућено је разумевање механизма растварања јона тешких метала у природним условима, по дубини јаловишта, односно под различитим степенима оксидације присутних сулфидних минерала.

Разматрање начина појављивања и понашања у контакту са оксидансима, присутних минерала у дубљим слојевима јаловишта омогућило је дефинисање минерала, главних извора загађења јонима тешких метала. Суштинска важност оваког приступа је та што оксидација пирита и осталих сулфидних минерала узрокује велике еколошке проблеме јер се спонтано самоизлуживање тешких метала може одвијати и више деценија.

Дефинисањем главних сулфидних минерала који представљају извор мобилисаних јона тешких метала могу се грубо предвидети периоди и обим загађења животне околине. Стога, презентовани резултати представљају допринос бољем познавању разматраних процеса са научне тачке гледишта, али и омогућују процену одређивања приоритета и праваца решавања еколошких проблема које проузрокује овај и слични отпадни рударски материјали.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру урађене докторске дисертације приказан је значајан број експерименталних података из којих је изведено више закључака. Описано је понашање јона тешких метала, и то бакра, гвожђа, цинка, арсена и мангана, на начин и под условима о којима има јако мало литературних података. Приказан је утицај природно присутних оксиданаса на минерале са различитим степеном оксидисаности који се налазе на различитим дубинама јаловишта. Показало се да највећи утицај на растварање јона тешких метала има 3%-тни раствор водоник пероксида у чијем је присуству најбрже и највеће растварање готово свих тешких метала. Поред тога, приказана је и дистрибуција јона тешких метала у околном земљишту и биљкама. С обзиром на то да, захваљујући биолошким процесима, поједине биљке могу абсорбовати токсичне елементе из земљишта преко корена и касније их акумулирати, нарочито у листовима, утврђен је значајан степен акумулације јона бакра, цинка и арсена у корену једногодишње ливадарке, док су нешто ниже концентрације, осим за арсен који има знатно нижу концентрацију, измерене у листовима вишегодишњих дрвенастих биљака (брезе и багрема). Такође, утврђено је да највећу мобилност, у киселој средини каква влада на посматраном флотацијском јаловишту, имају јони бакра и цинка, а знатно

мању јони арсена и мангана. Резултати су верификовани у облику два, до сада, објављена научна рада. Наравно, још материјала из оквира докторске дисертације биће накнадно припремљено за објављивање. Такође, остварени резултати биће дограђивани и приширивани у даљим истраживањима.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Политика Европске уније у односу на заштиту околине добија од краја прошлог века све веће значење. Разлог томе лежи у чињеници што се деградирање животне околине, развојем индустрије, отргло контроли и почело да добија глобалне размере. Тако, идеје о заштити животне околине и одрживим технологијама све више постају приоритетне и код нас, што имајући у виду карактер Борске индустрије, има огроман регионални али и знатно шири значај. Како добијени резултати указују на величину еколошких проблема које могу проузроковати слични отпадни рударски материјали, дефинисање главних сулфидних минерала који представљају извор мобилисаних јона тешких метала омогућава да се грубо предвиде периоди и обим загађења животне околине. На основу тога се може очекивати да приказани резултати у скорој будућности имају и практичну примену, пре свега са аспекта одређивања приоритета и праваца решавања еколошких проблема у рударским областима.

4.4. Верификација научних доприноса кроз објављене радове у часописима

Научни допринос предметне докторске дисертације је верификован кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру теме, о чему сведоче два рада објављена у међународним часописима M20 категорије:

1. **Zoran O. Stevanović**, Milan M. Antonijević, Grozdanka D. Bogdanović, Vlastimir K. Trujić, Mile M. Bugarin: Influence of the chemical and mineralogical composition on the acidity of an abandoned copper mine in the Bor river valley (Eastern Serbia), *GCHE Chemistry and Ecology Journal*, (ISSN: 0275-7540; Environmental Sciences; IF 2011: 0.615; M21), DOI: 10.1080/02757540.2011.575375, MS.ID: 575375 (2011), 1-14.
2. **Zoran O. Stevanović**, Milan M. Antonijević, Grozdanka D. Bogdanović, Mile M. Bugarin, Vlastimir K. Trujić, Radmila T. Marković, Dragutin M. Nedeljković: The effect of oxidants through a tailing dump depth and the leaching of copper, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, (ISSN: 1842-4090; Environmental Sciences; IF 2011: 1.450; M21), Vol. 8, 2013 – Nr 1, Online-<http://www.ubm.ro/sites/CJEES/viewTopic.php?topicId=291>.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификовани научни допринос кроз објављене радове у часописима (2 рада у међународним часописима категорије M20, у оба као првопотписани аутор), Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат **Мр Зоран Стевановић**, дипл. инж. рударства, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. Такође, комисија закључује да је урађена дисертација написана према стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Мр Зорана Стевановића**, дипл. инж. рударства, под називом: **ЛУЖЕЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ФЛОТАЦИОНЕ ЈАЛОВИНЕ**, и да исти упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да након тога кандидата позове на јавну одбрану.

У Бору,

ПОТПИСНИЦИ ИЗВЕШТАЈА – КОМИСИЈА

др Милан Антонијевић

редовни професор, Технички факултет у Бору - ментор

др Владица Цветковић

редовни професор, РГФ у Београду - члан

др Грозданка Богдановић

ванредни професор, Технички факултет у Бору - члан