

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 Радмиле (Томислав) Марковић

КАНДИДАТ: **Мр Радмила (Томислав) Марковић**

Пријавила је докторску дисертацију под називом:

ТРЕТМАН ОТПАДНИХ РАСТВОРА ИЗ ПРОЦЕСА ЕЛЕКТРОЛИТИЧКЕ РАФИНАЦИЈЕ БАКРА КОРИШЋЕЊЕМ БАКАРНИХ АНОДА НЕСТАНДАРДНОГ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА

Из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана **09.05.2011.** године својим актом под бројем **06-5642/19-11** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **ТРЕТМАН ОТПАДНИХ РАСТВОРА ИЗ ПРОЦЕСА ЕЛЕКТРОЛИТИЧКЕ РАФИНАЦИЈЕ БАКРА КОРИШЋЕЊЕМ БАКАРНИХ АНОДА НЕСТАНДАРДНОГ ХЕМИЈСКОГ САСТАВА**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Мр Радмиле (Томислав) Марковић** образована је на седници одржаној **19.11.2013.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-12-11.2.**, у саставу:

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

1. Др Јасмина Стевановић, научни саветник, електрохемијско инжењерство, ИХТМ Београд, ментор
2. Др Миле Димитријевић, ван. професор, хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, Технички факултет у Бору, члан
3. Др Милица Поповић Гвозденовић, доцент, електрохемијско инжењерство, Технолошко-металуршки факултет у Београду, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **20.02.2014.** године, под бројем: **VI/4-14-9.2.**

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/4-14-9.2.
Бор, 21. 02. 2014. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно научно веће Факултета, на седници одржаној 20. 02. 2014. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **мр Радмиле Марковић**, дипл. инж. неорг. технолог., под називом: „Третман отпадних раствора из процеса електролитичке рафинације бакра коришћењем бакарних анода нестандардног хемијског састава“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана 09. 05. 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:

Категорија M21:

1. **R. Marković**, B. Friedrich, J. Stajić–Trošić, B. Jordović, B. Jugović, M. Gvozdenović, J. Stevanović: Behaviour of non-standard composition copper bearing anodes from the copper refining process, *Journal of Hazardous Materials*, 182 (1-3), pp. 55–63, 2010 (**IF=3.723**) (ISSN: 0304-3894)
2. **R. Marković**, J. Stevanović, Lj. Avramović, D. Nedeljković, J. Stajić–Trošić, B. Jugović, M. Gvozdenović: Copper-Sulphate Pentahydrate as a Product of the Waste Sulfuric Acid Solution Treatment, *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 43B, pp. 1388—1392, 2012 (**IF=1.212**) (ISSN: 1073-5615)

Категорија M22:

1. **Radmila Marković**, Jasmina Stevanović, Milica Gvozdenović, Branimir Jugović, Aleksandar Grujić, Dragutin Nedeljković, Jasna Stajić–Trošić: Treatment of Waste Copper Electrolytes Using Insoluble and Soluble Anodes, *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8, no. 5., pp. 7357 – 7370, 2013 (**IF=3,729**, 2011) (ISSN 1452-3981)

IV Именована ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Јасмина Стевановић, научни саветник ИХТМ-а – ментор;
2. др Миле Димитријевић, ванредни професор Техничког факултета у Бору – члан;
3. др Милица Поповић Гвозденовић, доцент Технолошко-металуршког факултета у Београду – 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:

- именованој
- 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: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Радмиле Марковић, дипл.инж.технологије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, бр. VI/4-12-11.2, од 19.11.2013. год., именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Радмиле Марковић, дипл.инж.техн., под насловом

Третман отпадних раствора из процеса електролитичке рафинације бакра коришћењем бакарних анода нестандардног хемијског састава

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 25.10.2010. год., мр Радмила Марковић, пријавила је тему за израду докторске дисертације на Техничком факултету у Бору, пријава бр.VI-1-6/184.
- 24.12.2010. год., на седници Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, донета је Одлука бр. VI/4-11-11 о именовању чланова Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације мр Радмиле Марковић.
- 01.04.2011. год., на седници Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, донета је Одлука бр. VI/4-13-3, о усвајању извештаја Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације.
- 09. 05. 2011. год., Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку бр. 06-5642/19-11., којом је дата сагласност на предлог теме докторске дисертације.
- 19.11.2013. год., на седници Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, донета је Одлука бр. VI/4-12-11.2., о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Кандидат, мр Радмила Марковић, дипл.инж.тех., магистарски рад под насловом: "Синтеза и физичко механичке карактеристике Cu–оксидних слојева при добијању суперпроводних

материјала система Y-Ba-Cu-O", одбранила је 24.04.2001.год., на Технолошко-металуршком факултету у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство за коју је матична установа Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду. Ментор докторске дисертације је др Јасмина Стевановић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду и ванредни професор (датум избора: 04.12.2007) на Техничком факултету у Бору, из уже научне области Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, која је својим референцама потврдила компетентност за менторство.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Радмила Т. Марковић (девојачко Лозанче) рођена је 27. 08. 1961. године у Битољу. Основну и средњу школу завршила је у Бору. Основне студије уписала је 1980. год. на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер хемијско инжењерство, где је и дипломирала 1986. год. са просечном оценом 8,34 и оценом 10 на дипломском раду.

Магистарску тезу под називом "Синтеза и физичко механичке карактеристике Cu-оксидних слојева при добијању суперпроводних материјала система Y-Ba-Cu-O" одбранила је 24.04.2001. год. на Технолошко-металуршком факултету и тиме стекла звање магистра техничких наука. Израду докторске дисертације пријавила је 25.10.2010.год., на Техничком факултету у Бору.

У Институту за рударство и металургију Бор, ради од 10.11.1986. године, на пословима истраживања, развоја и примене нових технологија у процесима: електролитичке рафинације метала из примарних и секундарних сировина, добијања бакарног праха и метала повећаног степена чистоће, третмана чврстих и течних отпадних материјала, у области развоја хидрометалуршких процеса, на пословима пројектовања у области неорганске технологије и заштите животне средине.

Већи део експерименталних истраживања у оквиру ове докторске дисертације, кандидат мр Радмила Марковић, је реализовала у институту IME – Process Metallurgy and Metal Recycling Department and Chair of RWTH u Aachenu, Немачка, где је била ангажована у периоду октобар 2006-април 2007.год.

Као истраживач је учествовала у реализацији 3 пројекта финансираних од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије и то: 1. Хидрометалуршки третман анодног муља у циљу добијања племенитих метала (циклус 2005-2008); 2. Развој и примена механо-хемијских поступака за валоризацију минералног отпада (циклус 2008-2010) и 3. Интегрални третман рудничких вода и ванбилансних делова лежишта руда бакра у рудницима бакра Бор (циклус 2008-2010). Тренутно је ангажована на два пројекта које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (циклус 2011-2014) и то: 1. Утицај рударског отпада из РТБ-а Бор на загађење водотокова са предлогом мера и поступака за смањење штетног дејства на животну средину и 2. Развој технологија за рециклажу племенитих, ретких и пратећих метала из чврстог отпада Србије до висококвалитетних производа.

У периоду 2004-2006. год., била је ангажована на пројекту из групе ОП6 пројеката који су добили финансирање: Integrated treatment of industrial wastes towards prevention of regional water resources contamination (INTREAT).

У оквиру IPA програма прекограничне сарадње, Bulgaria – Serbia IPA Cross-border Programme CCI Br. 2007CB16IPO006 (2011-2012) била је ангажована као експерт на пројекту: Selenium as an essential natural microelement for the human health protection - SENMHP.

Учествовала је у изради великог броја студија и пројеката како за домаће тако и за иностране клијенте.

Стручни испит из области пројектовања технолошких процеса положила је 2002. год., а од 2004. год. поседује лиценцу одговорног пројектанта технолошких процеса. Објавила је 6 радова у часописима са SCI листе, 4 поглавља у монографијама међународног значаја, 5 радова у водећим часописима националног значаја, 6 радова у часописима националног значаја, 14 радова у националним часописима. Има 50 саопштења на конференцијама међународног значаја, 4 саопштења на конференцијама националног значаја, 10 техничких решења, 9 цитата у SCOPUS бази података.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Радмиле Марковић написана је на 125 страна, са укупно 5 поглавља, 102 слике, 20 табела и 85 литературних навода. Дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Литературни преглед и теоријске основе, Експериментални део, Резултати и дискусија и Закључак. На почетку дисертације дат је Резиме на српском и енглеском језику, а на крају рада приказани су наводи литературе, биографија аутора, списак радова проистеклих из резултата докторске дисертације и 3 (три) прилога.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру **првог поглавља**, обима 4 (четири) стране, истакнути су и образложени уводни појмови као и циљ предметне докторске дисертације. Истакнут је значај и дат краћи приказ историјата развоја модерне металургије бакра, указано на предности комерцијалне производње из примарних сировина као и на проблеме који се јављају током процеса производње катодног бакра. Садржај нечистоћа у бакарним анодама и комерцијалном електролиту истакнут је као један од основних проблема у процесу производње катодног бакра. Указано је и на чињенице да је рационална експлоатација и одговорно коришћење ресурса бакра важан фактор у остваривању концепта одрживог развоја. Чврсти отпадни материјали настали у процесу прераде бакра, који поред бакра најчешће садрже никл, олово, калај и антимон, су материјали које треба прерадити у циљу издвајања присутних корисних компоненти. Истакнуто је да подаци из литературе потврђују да примена бакарних анода добијених прерадом ових отпадних материјала доводи до низа проблема у комерцијалној производњи бакра. Такође је назначено да је јако мало података о употреби оваквих анода за третман отпадних раствора из електролизе бакра у циљу смањења концентрације бакра и повећања концентрације никла у раствору што је и био основни циљ истраживања предметне дисертације.

У **другом поглављу**, обима 20 (двадесет) страна, 6 (шест) табела, дат је преглед теоријских основа и релевантне литературе за обраду теме дисертације. Ово поглавље се састоји од три основне целине. Опште карактеристике процеса електролитичке рафинације метала из раствора са табеларним приказом карактеристичних параметара за неке метале дате су у првом делу предметног поглавља. У оквиру другог дела приказане су теоријске основе добијања бакра високе чистоће применом процеса електроекстракције и електролитичке рафинације. Теоријске основе и релевантна литература која се односи на утицај квалитета анодног бакра, са посебним освртом на понашање нечистоћа из анода, такође су дате у овом делу. Састав комерцијалних анода и присутне форме као и понашање нечистоћа које су предмет истраживања овог рада приказани су и табеларно. Дат је литературни преглед понашања никла, олова, антимона, калаја, арсена током процеса електролитичке рафинације са посебним освртом на изазивање пасивације анода. Обрађена је релевантна литература која се односи на особине и хемијски састав електролита, утицај нечистоћа које из анода прелазе у електролит. Анодни муљ који настаје као резултат електрохемијских и хемијских процеса на аноди и у маси електролита, обрађен је у оквиру целине која се односи на добијање катодног бакра поступком електролитичке рафинације. Предмет истраживања ове докторске дисертације детаљно је описан као посебна целина.

У **трећем поглављу**, обима 18 (осамнаест) страна, 3 (три) табеле и 19 (деветнаест) слика, детаљно је приказана методологија експерименталног рада. Метода анодне линеарне промене потенцијала коришћена је за прелиминарну карактеризацију бакарних анода нестандардног хемијског састава. Стандардни галваностатски услови за добијање бакра примењени су у циљу испитивања: промене хемијског састава радног раствора, промене напона на ћелији и анодног потенцијала, степена растворљивости анодног материјала, састава и масе анодног муља, масе катодног бакра. У првом делу дате су карактеристике опреме, начин припреме узорака, услови испитивања. У другом делу детаљно су изложене карактеристике увећаног лабораторијског постројења које је коришћено за тестове електролизе а текст је праћен и одговарајућим сликама. Карактеристике коришћених материјала и примењених метода за хемијску карактеризацију анодног бакра, електролита, анодног муља и катодног талога дате су у трећем делу овог поглавља. Описан је поступак добијања и припреме бакарних анода за галваностатска испитивања. Приказане су пројектоване и реалне вредности садржаја никла, олова, калаја, антимона и кисеоника у предметним анодама. Дате су и карактеристике полазне катодне и начин припреме за експерименте. Образложено је порекло радног раствора коришћеног за тестове електролизе и процедура припреме узорака за хемијску анализу. Технолошки поступак процеса рафинације бакарних анода описан је у четвртом делу трећег поглавља. Поступак припреме ћелија за тестове електролизе илустрован је и одговарајућим сликама.

У **четвртом поглављу**, обима 70 (седамдесет) страна, 11 (једанаест) табела и 83 (осамдесет три) слике, приказани су резултати електрохемијских мерења на опреми лабораторијског типа и резултати тестова електролитичке рафинације бакарних анода нестандардног хемијског састава. У првом делу приказани су и дискутовани резултати прелиминарних електрохемијских мерења изведених у лабораторијским условима, применом анодне линеарне промене потенцијала (АЛПП). У другом делу поглавља

приказани су и дискутовани резултати добијени током тринаест експерименталних серија, реализованих кроз седамдесет осам експеримената на опреми увећаног лабораторијског типа. Приказ добијених резултата као и анализа истих, односи се на: анодни бакар, електролит, анодни муљ, катодни талог, промену напона на ћелији и промену анодног потенцијала са временом. У посебном делу назначене тематске целине најпре су приказани резултати хемијских анализа анодног бакра. Свака анода анализирана је на 26 елемената, а у оквиру дисертације су приказани резултати добијени на случајним узорцима анода из различитих група у односу на садржај никла. Садржај кисеоника у бакарним анодама је још једна важна карактеристика анода која је пажљиво анализирана. У следећем делу приказани су резултати промене масе анода које су коришћене за тестове електролизе. Резултати су дискутовани за различите температуре радног раствора. Промена напона на ћелији мерена је и бележена на сваких 10 секунди током 72 сата трајања појединачног теста. Резултати су дискутовани за одређене групације анода и то на основу података приказаних у табелама и на основу различитих зависности које су изведене. Подаци из табеле коришћени су за приказ зависности времена трајања карактеристичних фаза промена напона од садржаја појединих нечистоћа. У трећем делу приказана је промена садржаја бакра, никла, арсена и антимона у електролиту на сваких 24 сата. Резултати су коришћени за успостављање зависности промене концентрације карактеристичних јона од садржаја појединих елемената у аноди. Четврта целина односи се на карактеризацију анодног муља. Табеларни приказ резултата коришћен је и за успостављање различитих зависности у односу на садржај нечистоћа у анодном бакру. Пету целину чине резултати за катодни талог. У оквиру шесте целине анализирани су вредности масе: растворених анода, катодног талоба као и бакра раствореног из аноде у односу на укупан садржај карактеристичних нечистоћа. Успостављене зависности илустроване су великим бројем слика.

У петом поглављу, обима 5 (пет) страна, изнети су закључци изведени на основу анализе резултата добијених у овом раду. Закључци се односе на понашање материјала током електролитичког третмана отпадног сумпорно-киселог раствора коришћењем бакарних анода нестандардног хемијског састава.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Константна производња и потрошња бакра и његових легура су кључни фактори развоја друштва, тако да рационална експлоатација и коришћење ресурса бакра представљају важне чиниоце друштвено одговорног понашања. Електролитичка рафинација је један од основних процеса за добијање бакра чије физичко-хемијске особине задовољавају строге критеријуме за примену у различитим областима индустрије. Пламено рафинисани бакар пречишћава се у бакарном сумпорно-киселом електролиту тачно дефинисаног састава. У анодама су, осим основног метала бакра, присутне и друге примесе које током процеса могу да из аноде пређу у електролит, анодни муљ, лебдећи муљ или да се исталоже на катодној основи. У току процеса, долази до концентрисања никла, арсена, антимона и других нечистоћа у раствору, изазивајући промену његовог хемијског састава, чиме се ремети процес производње бакра. Такав раствор изводи се из система циркулације а избор

метода за његово пречишћавање зависи од врсте и степена онечишћења. Истовремено, услед наглог раста потражње као и смањења садржаја бакра у рудама, употреба секундарних материјала за добијање анодног бакра комерцијалног квалитета све више добија на значају. Предметни материјали настају у процесу топљења бакра и садрже никл, олово, антимон и калај. Светска литература је врло ограничена подацима на тему утицаја повећаног садржаја ових елемената у анодама на сам процес електролизе.

Добијени резултати истраживања потврдили су да је у процесу електролизе могуће користити нове бакарне аноде, нестандардног хемијског састава, које у себи садрже и до 13 % нечистоћа и то до 10 % никла и 3 % олова, антимона и калаја. Значајно је напоменути да је и радни раствор нестандардних карактеристика, са високим садржајем јона бакра, никла и арсена и да представља отпадни електролит из комерцијалног процеса електролизе. Резултати су потврдили да је овакав избор анодног материјала омогућио да се у отпадном електролиту садржај бакра и арсена сведе на минимум, а да значајно порасте концентрација никла тако да га је могуће применом адекватног процеса валоризовати из насталих раствора. Добијени резултати представљају основу за даља истраживања на тему коришћења отпадних раствора различитог хемијског састава, добијање катодног бакра одговарајућег квалитета, валоризацију никла из третираног раствора, чиме се могу остварити и економски и еколошки бенефити.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације цитирано је 85 литературних навода, од којих највећи број чине најновији научни радови и остали релевантни радови са тематиком која је од суштинског значаја за израду докторске дисертације. Проучавање и анализа наведене литературе омогућили су да се прикаже стање у испитиваној области, као и да се на основу утврђених недостатака уоче смернице за истраживања спроведена у оквиру ове дисертације. Из образложења предложене теме докторске дисертације и објављених радова у пријави коју је кандидат поднео, као и из навода литературе која је коришћена у истраживању, може се закључити да кандидат адекватно познаје предметну област истраживања и актуелно стање у овој области у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За реализацију предметних истраживања коришћене су електрохемијске и аналитичке методе мерења и анализе. Од електрохемијских метода коришћене су: анодна линеарна промена потенцијала и галваностатска метода. Потенциостат PAR 273A, који својим карактеристикама омогућава прецизну контролу потенцијала у електрохемијској ћелији, коришћен је за лабораторијска испитивања. Галваностатска метода коришћена је за испитивања електролитичког третмана отпадних сумпорно-киселих раствора на увећаном лабораторијском постројењу. Једносмерна струја обезбеђена је са спољњег извора, HEINZINGER TNB-10-500, карактеристика 50 A i 10 V. Напон на ћелији и анодни потенцијал мерени су на сваких 10 s, током 72 h трајања појединачног експеримента. Систем DA100 Yokogawa, коришћен је за мерења, а софтвер MCPS 5,0 (CAD computer GmbH) за обраду података.

Хемијске анализе анодног бакра рађене су рендгено-флуоросцентном анализом (RFA) на опреми Axios, Company PANalytical. Коришћење RFA омогућава одређивање више

елемената у оквиру једне анализе, конкретно у овом случају се ради о 26 елемената. Садржај кисеоника у течной фази бакра контролисан је коришћењем Electro-Nite система (HERAEUS) за опсег концентрација кисеоника од 1 до 12000 ppm. Пре ливења, садржај кисеоника у узорку бакарне легуре анализиран је на инструменту Juwe-O-mat 8500. Симултана оптичка емисиона спектрометрија са индуковано куплованом плазмом (ICP-AES), на апарату SPECTRO CIROS VISION, коришћена је за хемијску анализу узорака електролита, анодних муљева и катодног талога. Ову технику одликује брзина и прецизност, висока осетљивост и као и код RFA технике, могућност истовременог одређивања већег броја елемената.

У области истраживања из домена предметне докторске дисертације, коришћење наведених експерименталних и аналитичких метода потпуно је оправдано, актуелно и адекватно.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати до којих је дошао кандидат су практични и применљиви. Испитивања која су урађена на опреми увећаног лабораторијског типа у трајању сваког појединачног експеримента од седамдесет два сата, са новим бакарним анодама тежине око 7 kg, при густини струје која одговара вредностима у комерцијалној производњи катодног бакра, представљају реалну основу за проверу и примену у полуиндустријским а након тога и у индустријским условима. Постигнути резултати такође представљају основу за наставак истраживања у циљу дефинисања технолошких параметара за добијање катодног бакра одговарајућих карактеристика као и за издвајање никла из електролита применом адекватних метода. Имајући у виду чињенице да је садржај бакра у рудама све нижи, а да потражња за баком расте, коришћење отпадних материјала све више добија на значају.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, публиковани научни радови проистекли из резултата докторске дисертације, као и публиковани радови ван области докторске дисертације и учешће у реализацији научно-истраживачких и других пројеката, указују на способност кандидата мр Радмиле Марковић, дипл.инж.технологије за самостални научни рад, као и за активно учешће у тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултатима истраживања у оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Постављене су експерименталне основе за дефинисање хемијског састава нових анода бакра које садрже високе концентрације никла, олова, антимоно и калаја, а које се могу добити из отпадних материјала насталих у различитим процесима прераде бакра.
- Испитан је оригинални поступак електролитичког третмана отпадних сумпорно-киселих раствора коришћењем нових анода бакра на опреми увећаног

лабораторијског типа. Доказано је да се овај поступак може успешно применити за: добијање катодног бакра, смањење концентрације јона бакра и арсена у раствору, концентрисање јона никла у радном раствору, добијање анодног муља.

- Тумачењем и квантификацијом зависности промене: хемијског састава радног раствора, напона на ћелији и анодног потенцијала, састава и масе анодног муља као и масе катодног бакра од хемијског састава бакарних анода дошло се до података о степену растворљивости анодног материјала и могућности коришћења истог у третману отпадних сумпорно-киселих раствора у којима је поред бакра присутна и висока концентрација никла и арсена.
- Постављене су експерименталне основе за добијање раствора богатог никлом, тако да ова врста прераде отпадних раствора може да постане и економски и еколошки оправдана.
- Комбиновањем отпадних сумпорно-киселих раствора и бакарних анода добијених из секундарних материјала на бази бакра постиже се побољшање у области интегралног управљања заштитом животне средине.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева и методологије истраживања као и добијених резултата, може се закључити да истраживачки рад који је мр Радмила Марковић спровела, у потпуности задовољава критеријуме једне докторске дисертације. Увидом у доступну литературу из ове области истраживања као и у велики број резултата добијених током истраживања, потврђујемо да су коришћене методе у складу са методама из литературе и да је кандидат дошао до значајних резултата. Реализована истраживања и добијени резултати доприносе извођењу битних закључака који пружају значајан научни и стручни допринос. Из урађене докторске дисертације проистекао је одређени број резултата (дато у поглављу 4.3), али је реално очекивати да ће списак радова бити проширен у наредном периоду.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос предметне докторске дисертације је верификован кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру теме, о чему сведоче три рада публикована у међународним часописима (категирија M20), два поглавља у књигама међународног значаја, осам радова која су саопштена на скуповима међународног значаја и штампана у целини.

Категорија M21:

1. **R.Marković**, B.Friedrih, J.Stajić–Trošić, B.Jordović, B.Jugović, M.Gvozdrenović, J. Stevanović: Behaviour of non-standard composition copper bearing anodes from the copper refining process, *Journal of Hazardous Materials*, 182 (1-3), pp. 55–63, 2010 (**IF=3.723**) (ISSN: 0304-3894)
2. **R. Marković**, J. Stevanović, Lj. Avramović, D. Nedeljković, J. Stajić-Trošić, B. Jugović, M. Gvozdrenović: Copper-Sulphate Pentahydrate as a Product of the Waste Sulfuric Acid Solution Treatment, *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 43B, pp. 1388—1392, 2012 (**IF=1.212**) (ISSN: 1073-5615)

Kategorija M22:

1. **Radmila Marković**, Jasmina Stevanović, Milica Gvozdenović, Branimir Jugović, Aleksandar Grujić, Dragutin Nedeljković, Jasna Stajić-Trošić: Treatment of Waste Copper Electrolytes Using Insoluble and Soluble Anodes, *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8, no. 5., pp.7357 – 7370, 2013 (IF=3,729, 2011) (ISSN 1452-3981)

Kategorija M14:

1. J. Stevanović, **R. Marković**, B. Friedrich, M. Gvozdenović, S. Šerbula: Treatment of the Waste Sulphur Acidic Solutions Obtained in the Conventional Electrolytic Copper Refining Process using the Soluble Anodes- (Part A), *Advances in Materials Science Research*, Volume 11, Edited by Maryann C. Wythers, New York, Nova Science Publishers US, Part A: Chapter 6, pp. 345-364, 2012-April (ISBN: 978-1-61470-594-9)
2. J. Stevanović, **R. Marković**, B. Jugović, Lj. Avramović, S. Šerbula, S. Pašalić: Treatment of the Waste Sulfur Acid Solution Obtained in the Standard Process of Copper Electrolysis using the Insoluble Anodes – (Part B), *Advances in Materials Science Research*. Volume 11, Edited by Maryann C. Wythers, New York, Nova Science Publishers US, Part B: Chapter 7, pp. 365-384, 2012-April (ISBN: 978-1-61470-594-9)

Kategorija M33:

1. **R. Marković**, B. Friedrich, J. Stevanović, B. Jegdić: *Electrochemical behaviour of copper with non-standard impurities content*, ISIRR 2009 - 10th International Symposium "Interdisciplinary Regional Research", 23-24. April, 2009, Hunedoara, 47-50 (ISBN: 1584-2665)
2. **R. Marković**, B. Friedrich, J. Stevanović, J. Stajić-Trošić, B. Jordović: *Electrolyte chemical composition changing during the electrolytic refinement of copper bearing anode*, 41st International October Conference on Mining and Metallurgy, 4-6 October 2009 Kladovo, Serbia, 533-538 (ISBN: 978-86-7827-033-8)
3. J. Stevanović, **R. Marković**, B. Friedrich, J. Stajić-Trošić, B. Jordović, *Study of copper bearing alloys corrosion characteristics*, 13th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2009, Hammamet, Tunisia, 16-21 October 2009, 157-159 (ISBN: 1840-4944)
4. **R. Marković**, B. Friedrich, J. Stevanović, R. Jonović, Lj. Avramović, S. Šerbula, P. Vukotić, *Cell Voltage Changes During the Electrorefining of Copper Anodes With Non-Standard Composition*, 42th International October Conference on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, 63-65, 2010 (ISBN: 978-86-80987-79-8)
5. **R. Marković**, B. Jugović, M. Gvozdenović, J. Stevanović, Z. Stevanović, M. Bugarin, *The use of anodic linear sweep voltammetry analysis (ALSV) for characterization the copper anodes used for sulphur acidic waste solution treatment*, 38th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Slovakia, May 23 – 27, 2011, 968-971, (ISBN 978-80-227-3503-2)
6. **R. Marković**, B. Jugović, M. Gvozdenović, J. Stevanović, Z. Stevanović, M. Bugarin, *Analyzing the corrosion characteristics of anodes used for the sulphur acidic waste water treatment*, 38th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Slovakia, May 23 – 27, 2011, 972-975, (ISBN 978-80-227-3503-2)
7. **Marković, R.**, Stevanović, J., Gvozdenović, M., Jugović, B., Jonović, R.: *Decopperization process of waste solutions from conventional copper electrolysis*, Editor: Markoš, J., In Proceedings of the 39th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Slovakia, 292–297, 2012., (ISBN: 978-80-89475-04-9, EAN: 9788089475049)
8. **Marković, R.**, Stevanović, J., Jugović, B., Gvozdenović, M., Avramović, L.: *The effect of Ni content on passivation of copper anodes with non-standard chemical composition*, Editor: Markoš, J., In Proceedings of the 39th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Slovakia, 1462–1466, 2012, (ISBN: 978-80-89475-04-9).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом: „Третман отпадних раствора из процеса електролитичке рафинације бакра коришћењем бакарних анода нестандартног хемијског састава“ кандидата мр Радмиле Марковић, дипл.инг.техн., представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос у области електролитичке рафинације бакра. Оригиналноост се огледа у примени нових, до сада неиспитаних бакарних анода са повећаним садржајем никла, олова, антимоно и калаја у процесу електролитичког третмана отпадних сумпорно киселих раствора из комерцијалног процеса електролизе бакра. Научни допринос и оригиналноост дисертације су потврђени и објављивањем радова у међународним часописима (3 рада као првопотписани аутор у међународним часописима категорије M20) и саопштавањем већег броја радова на међународним саветовањима чиме су испуњени и сви законски услови за одбрану докторске дисертације. Резултати дисертације су применљиви у погонима електролитичке рафинације бакра чиме ова дисертација може да има и веома важну, практичну примену. Закључак Комисије је и да је докторска дисертација кандидата мр Радмиле Марковић, дипл.инг.техн., написана према стандардима у научно-истраживачком раду као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, као и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Урађена докторска дисертација, публиковани научни радови, радови саопштени на међународним скуповима, учешће у реализацији научно-истраживачких пројеката, квалификују кандидата за самостални научни рад, као и за активно учешће у тимском раду.

Имајући у виду квалитет и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду да прихвати позитиван реферат о урађеној докторској дисертацији под називом: „Третман отпадних раствора из процеса електролитичке рафинације бакра коришћењем бакарних анода нестандартног хемијског састава“, кандидата мр Радмиле Т. Марковић, дипл. инж. техн., и исти реферат упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду када се за то стекну услови предвиђени Законом о Универзитету и Статутом Техничког факултета у Бору, те да након завршетка ове процедуре, позове кандидата на усмену одбрану дисертације.

У Бору, 05.12.2013.год

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Јасмина Стевановић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију

Проф. др Миле Димитријевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технички Факултет у Бору

Др Милица Поповић Гвозденовић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет