

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:

Александра (Миланче) Митовски

КАНДИДАТ: **Александра (Миланче) Митовски**

Пријавила је докторску дисертацију под називом:

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НЕСТАНДАРДНИХ КОНЦЕНТРАТА БАКРА И МОГУЋНОСТИ ЊИХОВЕ ПРЕРАДЕ

Из научне области: **Металуршко инжењерство**

Универзитет је дана **24.02.2014.** године својим актом под бројем **61206-5868/2-13** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НЕСТАНДАРДНИХ КОНЦЕНТРАТА БАКРА И МОГУЋНОСТИ ЊИХОВЕ ПРЕРАДЕ**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

Александра (Миланче) Митовски

образована је на седници одржаној **11.12.2014.** године, одлуком факултета под бр.**VI/4-21-8.4.**, у саставу:

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

1. Др Нада Штрбац, ред. професор, металуршко инжењерство, Технички факултет у Бору, ментор
2. Др Драгана Живковић, ред. професор, металуршко инжењерство, Технички факултет у Бору, члан
3. Др Жељко Камберовић, ред. професор, металуршко инжењерство, Технолошко-металуршки факултет у Београду, члан
4. Др Иван Михајловић, ван. професор, металуршко инжењерство, Технички факултет у Бору, члан
5. Др Мирослав Сокић, виши научни сарадник, металуршко инжењерство, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **19.02.2015.** године, под бројем: **VI/4-22-9.2.**

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/4-22-9.2.
Бор, 20. 02. 2015. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно научно веће Факултета, на седници одржаној 19. 02. 2015. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Александра Митовски**, дипл. инж. металург. под називом: „**Карактеризација нестандардних концентрата бакра и могућности њихове прераде**“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана 24. 02. 2014. 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:

Рад у међународном часопису

Категорија M22:

1. **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, M. Sokić, J. Stojanović, Thermodynamic and kinetic analysis of the polymetallic copper concentrate oxidation process, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118 (2)(2014), 1277-1285. (ISSN 1388-6150; DOI: 10.1007/s10973-014-3838-8; Ed. A. Kállay-Menyhárd; Publisher: Akadémiai Kiadó, Rt., Hungary) IF (2013)=2.206 (Chemistry, Analytical 33/76).
2. **A. Mitovski**, N. Štrbac, D. Manasijević, M. Sokić, A. Daković, D. Tivković, Lj. Balanović, Thermal analysis and kinetics of the chalcopryrite-pyrite concentrate oxidation process, *Metallurgija*, 54 (2)(2015), 311-314, (ISSN 0543-5846; On line: ISSN 1334-2576; Ed. I. Mamuzić, Publisher: Croatian Metallurgical Society) IF (2013)=0.755 (Metallurgy and Metallurgical Engineering, 31/75).

Категорија M23:

1. **A. Mitovski**, I. Mihajlović, N. Štrbac, M. Sokić, D. Tivković, T. Tivković, Optimization of the arsenic removal process from enargite based complex copper concentrate, *Hemijska industrija*, OnLine-First(00):42-42.(ISSN0367-598X; DOI:10.2298/HEMIND140203042M; Ed. B. Bugarski; Publisher: Association of the Chemical Engineers of Serbia) IF (2013)=0.562 (Engineering, Chemical, 103/133). (*у штампи*)

IV Именована ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Нада Штрбац, редовни професор Техничког факултета у Бору – ментор;
2. др Драгана Живковић, редовни професор Техничког факултета у Бору – члан;
3. др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду – члан;
4. др Иван Михајловић, ванредни професор Техничког факултета у Бору - члан;
5. др Мирослав Сокић, виши научни сарадник ИТНМС-а 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 Александре Митовски, дипл. инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду број VI/4-21-8.4. од 12. 12. 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александре Митовски, дипл. инж. металургије под насловом:

„Карактеризација нестандардних концентрата бакра и могућности њихове прераде“.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

Кандидат Александра Митовски, дипл. инж. металург., након завршених основних студија, на Катедри за екстрактивну металургију Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду школске 2004/2005. године, уписује магистарске студије школске 2005/2006. године на Катедри за металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору. Преусмерила се на докторске академске студије на студијском програму Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору, школске 2008/2009. године. Након полагања испита предвиђених курикулумом докторских студија, Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, одлуком број VI/4-3-8 од 21. 12. 2012. године одређује Комисију за одбрану семинарског рада у оквиру специјалног курса за дефинисање теме докторске дисертације под називом „Физичко-хемијска карактеризација нестандардних концентрата бакра и испитивање могућности њихове прераде“. Кандидат Александра Митовски полаже

семинарски рад са оценом 10 (десет), 6. 9. 2013. године пред Комисијом у саставу: проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду; проф. др Иван Михајловић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду и проф. др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду.

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације протекла је следећом динамиком:

- На седници Катедре за Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, одржаној 26. 09. 2013. године, констатовано је да је Александра Митовски, дипл. инж. металург., пријавила докторску дисертацију под називом „Карактеризација нестандартних концентрата бакра и испитивање могућности њихове прераде“ и Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду је предложена Комисија за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације у саставу: проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду; проф. др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду; проф. др Жељко Камберовић, Технолошко-металуршки факултет у Београду Универзитета у Београду; проф. др Иван Михајловић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду и др Мирослав Сокић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду. За ментора је предложена др Нада Штрбац, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-11-8.2 од 11. 10. 2013. године именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације „Карактеризација нестандартних концентрата бакра и испитивање могућности њихове прераде“.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-12-12.2 од 19. 11. 2013. године усвојен је Извештај Комисије за оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације.
- Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 16. 12. 2013. године доноси закључак број 61206-5868/2-13, о одлагању давања сагласности на предлог теме докторске дисертације, уз сугестије за корекцију извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме и подобности кандидата за израду докторске дисертације.
- Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 24. 2. 2014. године уважило је кориговани извештај Комисије за научну заснованост теме и донело је одлуку број 61206-5868/2-13, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације под називом „Карактеризација нестандартних концентрата бакра и могућности њихове прераде“.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-21-8.4. од 12. 12. 2014. године, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александре Митовски, у саставу:

проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*ментор*); проф. др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*члан*); проф. др Жељко Камберовић, Технолошко-металуршки факултет у Београду Универзитета у Београду (*члан*); проф. др Иван Михајловић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*члан*) и др Мирослав Сокић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду (*члан*).

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области Металуршко инжењерство (за коју је Технички факултет у Бору акредитовао студијске програме за сва три нивоа студија), ужа научна област – Металуршко инжењерство. За ментора је изабрана др Нада Штрбац, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду због истакнутих доприноса у домену карактеризације, термодинамичке и кинетичке анализе металних сулфида. Проф. др Нада Штрбац као аутор и коаутор публиковала је 51 рад у часописима са JCR листе цитираних 181 пут у 167 радова (*подаци према SCOPUS-у од 4. 1. 2015. године*).

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Александра Митовски рођена је у Бору 3. 7. 1977. године, где је завршила основну и средњу Рударско-металуршку школу, смер хемијско-технолошки техничар (1996.). Технички факултет у Бору - металуршки одсек, уписала 1996. године. Дипломирала 2005. године са темом „Термодинамичка анализа и испитивање фазне равнотеже у тернарном систему Ag-In-Sn“, под менторством проф. др Драгана Живковић, са оценом 10 (десет) на дипломском испиту и просечном оценом у току студија 8.44, чиме је стекла звање дипломирани инжењер металургије. Током основних студија била активно усмерена на научно-истраживачки рад (8 радова презентованих на истраживачким смотрама студената). Уписала последипломске-магистарске студије 2005. године, на Катедри за металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору. Преусмерила се на докторске студије 2008. године на студијском програму Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору, где је у међувремену положила све испите из курикулума докторских студија, са просечном оценом 9,83.

Запослена од 18. 2. 2008. године на Техничком факултету у Бору, прво као сарадник у настави за ужу научну област Екстрактивна металургија и метални материјали, да би за универзитетског сарадника у звању асистента за ужу научну област Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство била изабрана 12. 2. 2009. године. На Катедри за металуршко инжењерство у оквиру наставне активности тренутно је ангажована на основним академским студијама на следећим предметима: Металуршка термодинамика I, Теорија пирометалуршких процеса, Топлотна техника и пећи у металургији, Металургија секундарних сировина, Металургија ретких метала и Вакуум металургија.

Александра Митовски је аутор и коаутор 23 рада (49 цитата у 44 документа) публикована у међународним часописима категорисаним према JCR-листи (*подаци према SCOPUS-у од 4. 1. 2015. године*), 18 радова у националним часописима, 47 саопштења са конференција међународног значаја, 54 саопштења са конференцијама националног значаја и сарадник на развоју четири техничка решења. Учествовала у реализацији четири међународна (један у току) и два национална пројекта (један у току). Била члан организационих одбора шест међународних и три национална скупа. Од 2012. године као члан тима са Техничког факултета у Бору, активно учествује у промоцији науке међу младима кроз фестивал науке „Тимочки Научни Торнадо“, односно од 2014. године кроз манифестацију „БОНИС - Ноћ истраживача“. Члан Српског хемијског друштва од 2008. године и Академског културног клуба ТФ Бор од 2014. године.

Награђена Златном значком Бора (1992.), носилац Вукове дипломе (1992. и 1996.) и добитник Плакете Техничког факултета у Бору (1998.).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Александре Митовски, дипл. инж. металургије, написана је на 262 стране, у оквиру којих се налази 11 поглавља, са укупно 128 слика, 70 табела и 263 литературна навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Поступци производње бакра, Преглед досадашњих истраживања, Циљеви истраживања, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључна разматрања, Литература, Биографија и Публиковани и саопштени радови из оквира докторске дисертације. На почетку дисертације су дати изводи на српском и енглеском језику, а на крају дисертације прилози. По својој форми и садржају, поднети рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *уводном поглављу* дат је кратак осврт на историјски развој металургије бакра, распрострањеност бакра у природи и рудне резерве у свету и у Србији; наведене су најзначајније карактеристике бакра и комерцијалних минерала бакра. Дат је кратак осврт на концентрате бакра и детаљно описани штетни утицаји токсичних елемената присутних у концентратима бакра. На крају уводног дела представљени су актуелни трендови и перспективе у металургији бакра.

У *другом поглављу* описани су аутогени и класични поступци производње бакра.

Треће поглавље такође припада теоријском делу рада и у њему је је дат преглед и анализа досадашњих истраживања различитих концентрата бакра. Литературни преглед подељен је на истраживања везана за термодинамику и кинетику процеса оксидације испитиваних различитих сулфидних концентрата бакра, термодинамику и кинетику лужења сулфидних концентрата бакра, са посебним акцентом на концентрате са повишеним садржајем штетних

примеса; и истраживања могућности уклањања штетних примеса из концентрата лужењем са различитим реагенсима.

У *четвртом поглављу* су детаљно изложени циљеви истраживања.

У *петом поглављу* је објашњен хемизам оксидационог пржења концентрата бакра, и приказане теоријске основе термодинамичке и кинетичке анализе процеса оксидационог пржења. Такође, дат је осврт и на хемизам процеса уклањања загађујућих елемената из концентрата, са посебним нагласком на хемизам разлагања енаргита у киселим и алкалним растворима и хемизам лужења енаргита раствором натријум-хипохлорита. У овом делу су дате и теоријске основе факторског дизајна експеримента као применљивог математичког алата у оптимизацији индустријских процеса.

У експерименталном делу, датом у *шестом поглављу*, дефинисани су коришћени материјали за експериментална истраживања, објашњене су експерименталне методе карактеризације коришћене у експериментима, дата је експериментална техника за кинетичка испитивања у изотермским и неизотермским условима и за експерименте везане за уклањање загађујућих елемената из нестандартних концентрата бакра.

У *седмом поглављу* изнети су резултати истраживања из оквира предметне дисертације, као и дискусија добијених резултата. Резултати су систематизовани према испитиваним концентратима и то као:

- компаративни резултати карактеризације који су обухватили XRD анализу, хемијску анализу, EDXRF анализу, квантитативну минералошку анализу, оптичку микроскопију и SEM/EDS анализу;
- резултати термодинамичке анализе процеса оксидације концентрата бакра који су обухватили одређивање стабилности фаза и конструкцију дијаграма стабилности фаза у Me-S-O системима на температурама 450, 650 и 900 °C, где је $Me = Cu, Fe, Pb, Hg, Zn, Cd, Ni, As, Sb$; одређивање равнотежног састава испитиваних концентрата; конструкцију дијаграма равнотежног састава за испитиване концентрате и синтетисане мешавине, при различитим молским односима гаса и шарже, како би се пратило понашање пре свега додатих компонената при непотпуној и потпуној оксидацији, а у циљу утврђивања оптималног односа гаса и шарже при којима се добијају жељени продукти оксидационог пржења;
- резултати термијске анализе и одређивање механизма оксидације испитиваних концентрата и синтетисаних мешавина у атмосфери ваздуха;
- резултати кинетичке анализе процеса оксидације испитиваних концентрата и синтетисаних мешавина у атмосфери ваздуха; у изотермским и неизотермским условима;
- резултати оптимизације процеса уклањања штетних компоненти из концентрата применом математичког моделовања - вишеструке линеарне регресије на експерименталне резултате добијене путем факторског дизајна експеримента у циљу одређивања оптималних услова за управљање процесом уклањања арсена из нестандартних концентрата бакра. На основу тога, предложена је технолошка шема за снижење садржаја арсена у концентратима бакра.

У *осмом поглављу* изнети су најважнији закључци изведени на основу резултата добијених у докторској дисертацији.

У *деветом поглављу* је представљена коришћена литература, која обухвата 263 релевантна литературна навода. *Десето поглавље* се односи на биографију кандидата, док су у

једанаестом поглављу наведени публиковани и саопштени радови проистекли као резултат рада на дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Смањена концентрација бакра у рудним лежиштима и низак квалитет концентрата представљају незаобилазне проблеме у металургији бакра последњих година. Узимајући у обзир прогресивно осиромашивање постојећих рудних резерви са једне стране и растућу потребу за баком на глобалном нивоу са друге стране, постоји потреба за применом нестандардних концентрата бакра, који до скоро нису били у фокусу истраживачких интересовања. Реч је о концентратима бакра сулфидног типа неуједначеног састава у којима је повећана концентрација штетних примеса и пратилаца бакра: Pb, Zn, As, Cd, Hg, Ni, Sb и других.

Повећано присуство ових елемената у нестандардним концентратима додатно компликује пирометалуршку прераду и повећава цену финалног производа. Такође, неке од присутних примеса, пратилаца сулфидних минерала, образују и лако испарљива једињења, те са аспекта заштите животне средине представљају штетне компоненте у свим технолошким фазама процеса производње бакра.

Из наведених разлога, нестандардни концентрати бакра у последње време представљају предмет истраживања актуелан са еколошког и инжењерског аспекта, али и са аспекта економске оправданости. Због тога је познавање карактеристика таквих концентрата, као и истраживање могућности њихове прераде, од битног значаја за потврђивање претходно наведених аспеката и изналажење адекватног одговора у односу на захтеве савремених трендова у металургији бакра у свету данас.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације наведене су 263 литературне референце, од којих највећи број чине новији радови из међународних часописа и релевантних уџбеника и монографија са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Наведене референце, које садрже експерименталне резултате истраживања многих истраживачких група, послужиле су за обраду прегледа досадашњих истраживања, као и за упоредну анализу и дискусију добијених резултата и закључака. Из пописа литературе која је коришћена у истраживању, уочава се адекватно познавање предметне области истраживања, као и познавање актуелног стања истраживања у овој области у свету.

Међу важнијим радовима који су непосредно усмеравали ово истраживање налазе се они у којима су истраживани нестандардни концентрати бакра са аспекта карактеризације, термодинамичке и кинетичке анализе процеса оксидације и понашања штетних примеса приликом оксидације у атмосфери ваздуха и могућности њиховог уклањања из концентрата.

У наставку овог извештаја су, у том смислу, наведени најзначајнији радови коришћени и цитирани у дисертацији:

1. Conner K., Anderson C., Enargite treatments and pressure oxidation of concentrates, *Journal of Metallurgical Engineering*, 2(4)(2013), 115-123.
2. Dreisinger, D., The Hydrometallurgical Treatment of Arsenical Copper Concentrates: New Process Options to Unlock Metal Values and Fix Arsenic in Waste. Department of Materials Engineering, University of British Columbia, (2005).
3. Fornasiero, D., Fullston D., Li C., Ralston J., Separation of Enargite and Tennantite from Non-arsenic Copper Sulfide Minerals by Selective Oxidation or Dissolution, *International Journal of Mineral Processing*, 61 (2)(2001), 109–119.
4. Guo H., Yen W.-T., Selective Flotation of Enargite from Chalcopyrite by Electrochemical Control, *Minerals Engineering* 18 (6)(2005), 605–612.
5. Hughes M.F., Beck B.D., Chen Y., Lewis A.S., Thomas D.J., Arsenic exposure and toxicology, *Toxicological Sciences*, 123(2)(2011), 305-332.
6. Johnson K.M., Hammarstorm J.M., Zientek M.L., Dicken C.L., Estimate of undiscovered copper resources of the world, 2013, US Geological Survey Fact Sheet 2014-3004, 2014.
7. Kim B.S., Kim E.Y., Kim C.K., Lee H.I., Sohn J.S., Kinetics of oxidative roasting of complex copper concentrate, *Materials Transactions*, 49(3)(2008), 1192-1198.
8. Mihajlović I., Štrbac N., Nikolić Đ., Živković Ž., Potential metallurgical treatment of copper concentrates with high arsenic contents, *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(6)(2011), 409-416.
9. Padilla R., Girón D., Ruiz M.C., Leaching of enargite in H_2SO_4 -NaCl- O_2 media, *Hydrometallurgy*, (80)(2005), 272-279
10. Padilla R., Aracena A., Ruiz M.C., Reaction mechanism and kinetics of enargite oxidation at roasting temperatures, *Metallurgical and Materials Transactions*, 43B (2012), 1119-1126.
11. Peacey J.G., Gupta M.Z., Ford K.J.R., Review of Process Options to Treat Enargite Concentrates, In *Proceedings of Copper*, 3(2010), 1035–1050. Hamburg, Germany: GDMB.
12. Rosenquist T., Principles of extractive metallurgy, Tapir Academic Press, Trondheim, 2004.
13. Schlesinger M.E., King M.J., Sole K.C., Davenport W.G., Extractive metallurgy of copper, Elsevier, 2011.
14. Sokić M., Ilić I., Živković D., Vučković N., Investigation of mechanism and kinetics of chalcopyrite concentrate oxidation process, *Metallurgy*, 47(2)(2008), 109-113.
15. Štrbac N., Živković D., Živković Ž., Mihajlović I., Sulfidi-termijska, termodinamička i kinetička analiza, Punta Niš, 2005.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За успешну реализацију циљева научног истраживања у оквиру предметне дисертације коришћене су експерименталне методе и методе калкулације.

У оквиру примењених експерименталних метода, за карактеризацију узорака нестандардних концентрата бакра коришћено је више савремених, стандардизованих, високо резолутивних метода и аналитичких техника.

Просторна структура узорака концентрата, хемијски и фазни састав одређивани су:

- методама дифракције (EDXRF – енергетски дисперзивна рентгенска флуоресценција и XRD – рентгенска дифракција). Експериментална мерења вршена су на рентгенском дифрактометру марке “PHILIPS”, модел PW-1710, са закривљеним графитним монохроматором и сцинтилационим бројачем;

– спектроскопским методама (ICP-AES – атомска емисиона спектроскопија са индуковано куплованом плазмом и ААС – атомска апсорпциона спектроскопија). Експериментално одређивање хемијског састава ICP-AES методом вршено је на атомском емисионом спектрометру са индуковано куплованом плазмом, марке “Spectro” модел “Ciros Vision”, док је за ААС методу коришћен атомски апсорпциони спектрометар марке “Perkin Elmer”, модел 2380 са пламеном пећи;

– електроаналитичком методом (EG - електрогравиметрија) на уређају развијеном у Институту за рударство и металургију у Бору;

- микроскопским методама (ОМ – оптичка микроскопија и SEM/EDS – скенирајућа електронска микроскопија/ енергетски дисперзивна спектрометрија). Оптичка микроскопија рађена је под поларизационим микроскопом за одбијену и пропуштену светлост марке “JENAPOL-U”, фирме Carl Zeiss-Jena са идентификацијом рудних и нерудних минерала и системом за микрофотографију “STUDIO PCTV” (Pinnacle Systems).

Масене и топлотне промене, као и фазне трансформације у узорцима током њиховог загревања одређиване су:

- методом термијске анализе (симултана TG - термогравиметрија и DTA – диференцијална термијска анализа). Експериментална испитивања узорака концентрата вршена су на уређају марке “NETZSCH” модел STA 409 EP, који се састоји из пећи за загревање узорка, TG/DTA термоваге, командног дела и компјутера са програмом за обраду експерименталних резултата. Описани уређај коришћен је и за кинетичка испитивања у неизотермским условима.

Кинетичка испитивања у изотермским условима вршена су на уређају на Техничком факултету у Бору.

У оквиру примењених метода калкулације спроведених у оквиру дисертације, извршена је термодинамичка анализа вишekomпонентног Cu-Fe-S-O-Me система уз примену одговарајућег термодинамичког софтвера HSC Chemistry, чиме је омогућено предвиђање понашања компонената система и њихових трансформација током процеса оксидационог пржења, као и одређивање оптималног односа гаса и шарже у циљу добијања одговарајућих продуката процеса, што је од значаја за могућу имплементацију у индустријској пракси у циљу модификовања и унапређења текућих параметара процеса.

За утврђивање оптималне формуле свих утицајних параметара на процес смањења садржаја арсена из нестандардних концентрата бакра, искоришћен је метод планирања експеримента као значајни алат који налази примену у свим производним индустријама. Резултат планираног експеримента обезбедио је максимум информација по експерименту и објективно разумевање истраживачког система, а коришћење факторског дизајна експеримента и статистичких математичких алата применом софтвера SPSS, омогућили су добијање максималног броја података за даљу оптимизацију процеса уклањања арсена из нестандардних концентрата бакра уз минималан број експерименталних мерења.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања везани за карактеризацију нестандартних концентрата бакра применљиви су у индустријској пракси, с обзиром да се познавањем термодинамичких и кинетичких карактеристика концентрата и одређивањем равнотежног састава шарже добија увид у ефекте процесних параметара, као што су температура и количина сировина на састав добијених продуката, односно могуће је предвидети састав и количину преовладавајуће фазе у реактору током процеса пржења.

Резултати истраживања који се односе на оптимизацију процеса уклањања арсена из нестандартних концентрата путем лужења са натријум-хипохлоритом, такође су применљиви у индустријској пракси, с обзиром да је путем математичког моделовања утврђен оптимални сет параметара процеса који је резултовао високим степеном уклањања арсена, потврђеним експериментално, путем хемијске, EDXRF и SEM/EDS анализе чврстих продуката лужења. Наведени поступак може представљати основу предтретмана нестандартних концентрата у будућој пирометалуршкој производњи бакра.

У експерименталном делу дисертације су детаљно описани поступци припреме и анализе испитиваних нестандартних концентрата и мешавина, као и комплетне процедуре по којима су спроведена експериментална истраживања, што даје могућност понављања истоветних експеримената и њихову непосредну верификацију. Додатна верификација остварених резултата је могућа и проширењем испитивања у смислу примене додатних метода као и модификовањем услова истраживања.

3.5. Оцена достигнутих 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 Александре Митовски, дипл. инж. металургије за самостални научни рад као и за активно учешће у тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Познавање састава и карактеристика потенцијалних нестандартних концентрата бакра, термодинамичких и кинетичких параметара процеса оксидације, затим механизма процеса оксидационог пржења концентрата, основни је предуслов ефикасног управљања технолошким процесима у индустријским условима. Прегледом доступне литературе пронађено је мало литературних података о нестандартним концентратима бакра, њиховом термодинамичком и кинетичком понашању при процесима оксидације, као и понашању и утицају штетних примеса. Због тога истраживања изнета у овој докторској дисертацији представљају значајан научни допринос, који се огледа у:

- Добијању потпунијег увида у фазни састав, микроструктуру, продукте оксидације и термодинамичко понашање нестандартних концентрата бакра и утицаја примеса токсичних елемената при оксидацији у атмосфери ваздуха.
- Одређивању механизма оксидације нестандартних концентрата на основу термијске анализе, рентгеноструктурне анализе и анализе фазног састава.
- Одређивању кинетичких параметара оксидације нестандартних концентрата и утицају додатних штетних примеса на кинетичко понашање концентрата при оксидационом пржењу.
- Утврђивању оптималног односа гаса и шарже за вођење технолошког процеса пржења у смеру добијања адекватних продуката пржења.
- Добијању адекватног и поузданог модела технолошког процеса припреме нестандартних концентрата бакра пре њиховог даљег пирометалуршког третмана.
- Утврђивању технолошких могућности за имплементирање нестандартних концентрата бакра у текућу производњу путем увођења предтретмана концентрата у циљу снижавања садржаја арсена.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Узимајући у обзир све ригорознију законску регулативу везану за заштиту радне и животне средине како у свету тако и код нас, а такође и чињеницу да у овој области итекако има простора и интереса за даља истраживања, обзиром да у доступној литератури нема довољно података о испитиваној проблематици, а посебно је мало литературних података о нестандартним и сиромашним концентратима бакра, истраживање у оквиру ове докторске дисертације поседује значајну актуелност. Резултати експерименталних истраживања, до којих се дошло спроведеним експерименталним истраживањима у дисертацији, обезбеђују додатне корисне информације везане за проблематику третмана нестандартних концентрата бакра са повишеним садржајем штетних примеса у индустрији. Поред могућности имплементирања у постојећу пирометалуршку праксу производње бакра, добијени резултати могу бити од значаја и за смањење негативних утицаја загађења у складу са актуелним захтевима о заштити радне и животне средине.

Постављени циљеви и задаци истраживања остварени су у потпуности. Добијени резултати приказани у овој дисертацији представљају значајан оригинални допринос фундаменталним и примењеним истраживањима процеса оксидационог пржења у металургији бакра.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације верификован је кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру дисертације, али је реално очекивати да ће списак радова из оквира ове дисертације бити значајно проширен у наредном периоду, обзиром да је у припреми још радова за објављивање у међународним часописима са SCI листе. У даљем

тексту је дат списак до сада објављених радова у научним часописима и радова саопштених на конференцијама, који су проистекли из ове докторске дисертације:

Категорија M22:

1. **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, M. Sokić, J. Stojanović, Thermodynamic and kinetic analysis of the polymetallic copper concentrate oxidation process, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118 (2)(2014), 1277-1285. (ISSN 1388-6150; DOI: 10.1007/s10973-014-3838-8; Ed. A. Kállay-Menyhárd; Publisher: Akadémiai Kiadó, Rt., Hungary) IF (2013)=2.206 (Chemistry, Analytical 33/76).
2. **A. Mitovski**, N. Štrbac, D. Manasijević, M. Sokić, A. Daković, D. Živković, Lj. Balanović, Thermal analysis and kinetics of the chalcopyrite-pyrite concentrate oxidation process, *Metallurgija*, 54 (2)(2015), 311-314, (ISSN 0543-5846; On line: ISSN 1334-2576; Ed. I. Mamuzić, Publisher: Croatian Metallurgical Society) IF (2013)=0.755 (Metallurgy and Metallurgical Engineering, 31/75).

Категорија M23:

1. **A. Mitovski**, I. Mihajlović, N. Štrbac, M. Sokić, D. Živković, Ž. Živković, Optimization of the arsenic removal process from enargite based complex copper concentrate, *Hemijska industrija*, OnLine-First(00):42-42.(ISSN0367-598X; DOI:10.2298/HEMIND140203042M; Ed. B. Bugarski; Publisher: Association of the Chemical Engineers of Serbia) IF (2013)=0.562 (Engineering, Chemical, 103/133). (*y uтамну*)

Категорија M33:

1. N. Štrbac, I. Mihajlović, **A. Mitovski**, Ž. Živković, Đ. Nikolić, Modeling the process of copper extraction from the nonstandard raw materials using factorial experimental design, *5th International Symposium on Industrial Engineering (SIE 2012)*, Belgrade (Serbia), 14-15. June, 2012, Proceedings, 165-168, (ISBN 978-86-7083-758-4; Ed. D. Milanović, M. Misita; Publisher: Faculty of Mechanical Engineering Belgrade).
2. M. Sokić, **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, J. Stojanović, V. Andrić, Physical and chemical changes during hydrometallurgical treatment of non-standard copper concentrate, *1st Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MME SEE 2013)*, Belgrade (Serbia), 23-25 May 2013, Proceedings and book of abstracts, 255-261, (ISBN 987-86-87183-24-7; Ed. E. Romhanji, M. T. Jovanović, N. Radović; Publisher: Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES)).
3. N. Štrbac, I. Mihajlović, D. Živković, M. Sokić, V. Andrić, **A. Mitovski**, Physico-chemical characterization of polymetallic copper concentrate, *Međunarodni naučni skup "Savremeni materijali"*, Banja Luka, 5-7. Juli, 2012, Zbornik radova, 2013, Naučni skupovi, knjiga XXV, Odjeljenje prirodno-matematičkih i tehničkih nauka, knjiga 19, 63-70, (ISBN 978-99938-21-45-8; Ed. R. Kuzmanović, Publisher: Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, 2013).

4. N. Štrbac, Đ. Nikolić, I. Mihajlović, **A. Mitovski**, M. Vuković, P. Đorđević, M. Arsić, Arsenic removal from enargite concentrates: determination of optimal leaching conditions by Taguchi optimization method, *45th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor Lake, Bor (Serbia), 16-19. October, 2013, Proceedings, 782-785, (ISBN 978-86-6305-012-9; Ed. N. Štrbac, D. Živković, S. Nestorović; Publisher: Technical Faculty in Bor).
5. **A. Mitovski**, N. Štrbac, M. Sokić, D. Živković, Lj. Balanović, M. Vuković, G. Stojanović, Arsenic distribution in the environment and its influence on human health, *XXII International Conference Ecological Truth (EcoIst'14)*, Bor Lake, Bor (Serbia), 10-13 June 2014, Proceedings, 638-644, (ISBN 978-86-6305-021-1; Ed. R.V. Pantović, Z.S. Marković, Publisher: University of Belgrade, Technical Faculty in Bor).
6. N. Štrbac, **A. Mitovski**, M. Sokić, D. Manasijević, J. Stojanović, Đ. Nikolić, P. Đorđević, Characterization of copper based complex concentrate, *46th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor Lake, Bor (Serbia), 1-4. October, 2014, Proceedings, 697-700, (ISBN 978-86-6305-026-6; Ed. N. Štrbac, D. Živković, S. Nestorović; Publisher: Technical Faculty in Bor).

Kategorija M34:

1. N. Štrbac, **A. Mitovski**, I. Mihajlović, M. Vuković, M. Sokić, V. Andrić, Mogućnosti prerade nestandardnih koncentrata bakra i zaštita životne sredine, *Međunarodna naučna konferencija "Nove strategije i tehnologije zaštite životne sredine"*, Beograd, 18-20. April, 2012, Knjiga apstrakata, 97, (ISBN 978-86-89061-01-7 Ed. L. Jovanović; Izdavač: Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije-Ecologica).
2. N. Štrbac, I. Mihajlović, D. Živković, M. Sokić, V. Andrić, **A. Mitovski**, Physico-chemical characterization of polymetallic copper concentrate, *V International Scientific Conference Contemporary Materials 2012*, Banja Luka (BiH), 5-7 July 2012, Knjiga apstrakata, 84-85, (Ed. R. Kuzmanović; Publisher: Akademija Nauka i Umjetnosti Republike Srpske).
3. **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, M. Sokić, J. Stojanović, Thermodynamic and kinetic analysis of the polymetallic copper concentrate, *2nd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry*, Vilnius (Lithuania), 27-30 August, 2013, Book of abstracts, PS1.21, 183, (ISBN 978-3-940237-33-0; Ed. A. Rotaru, D. Matulis, Publisher: Central and Eastern European Committee for Thermal Analysis and Calorimetry).
4. **A. Mitovski**, N. Štrbac, D. Manasijević, M. Sokić, A. Daković, D. Živković, Thermal analysis and kinetics of the chalcopyrite-pyrite copper concentrate oxidation process, *11th International Symposium of Croatian Metallurgical Society (SHMD 2014)*, Šibenik (Croatia), 22-26 June 2014, Sumaries of Abstract, *Metalurgija* 53(3) 2014, 404, (ISSN 0543-5846; Ed. I. Mamuzić; Publisher: Croatian Metallurgical Society).

Kategorija M52:

1. N. Štrbac, **A. Mitovski**, I. Mihajlović, M. Vuković, M. Sokić, V. Andrić, Mogućnosti prerade nestandardnih koncentrata bakra i zaštita životne sredine, *Ecologica*, 19(67)(2012), 375-379, (ISSN 0354-3285; Ed. L. Jovanović; Izdavač: Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije-Ecologica).

Kategorija M63:

1. **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, V. Andrić, M. Sokić, Tehnološke mogućnosti za smanjenje sadržaja arsena u nestandardnim koncentratima bakra *XL Jubilarno Savetovanje Srpskog hemijskog društva*, Beograd, 14-15. Juni 2012, Knjiga radova, 75-79, (ISBN 978-86-7132-049-8; Ed. Ž. Tešić, A. Dekanski, Izdavač: Srpsko hemijsko društvo, Beograd).
2. **A. Mitovski**, N. Štrbac, M. Sokić, I. Mihajlović, D. Živković, Lj. Balanović, Natural waste as a potential heavy metals sorbent, *8. Simpozijum Reciklažne tehnologije i održivi razvoj*, Borsko jezero, 3-5, Jul 2013, Zbornik radova, 231-238, (ISBN 978-86-6305-010-5; Ed. M. Ž. Trumić, G. D. Bogdanović; Izdavač: Tehnički fakultet u Boru).

Kategorija M64:

1. A. Ivanović, P. Đorđević, **A. Mitovski**, I. Mihajlović, N. Štrbac, M. Sokić, Primena termijske analize za karakterizaciju polimetalnog koncentrata, *Peti Simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima*, Kladovo, 13. oktobar 2011, Zbornik izvoda radova, 25.
2. M. Ćirković, V. Andrejić, **A. Mitovski**, I. Mihajlović, N. Štrbac, Primena termijske analize u proučavanju procesa oksidacije u sistemu Cu-Fe-S-O *Peti Simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima*, Kladovo, 13. oktobar 2011, Zbornik izvoda radova, 24.
3. **A. Mitovski**, N. Štrbac, I. Mihajlović, V. Andrić, M. Sokić, Tehnološke mogućnosti za smanjenje sadržaja arsena u nestandardnim koncentratima bakra, *XL Jubilarno Savetovanje Srpskog hemijskog društva*, Beograd, 14-15. Juni 2012, Program i kratki izvodi radova, 70.
4. **A. Mitovski**, N. Štrbac, M. Sokić, I. Mihajlović, V. Andrić, Physical and chemical changes during polymetallic copper concentrates processing, *XX Konferencija Srpskog Kristalografskog Društva*, 13-15 Jun 2013, Beograd-Avala, Izvodi radova, 84-85.
5. N. Štrbac, M. Sokić, **A. Mitovski**, B. Marković, V. Andrić, D. Živković, Karakterizacija piritno-halkopiritnog koncentrata bakra, *Šesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima*, Borsko jezero, 19. Oktobar 2013, Zbornik izvoda radova, 17.

С обзиром да се тренутно новоприпремљени радови из оквира ове дисертације налазе на рецензијама у водећим међународним часописима, а да су у припреми и техничко-технолошка решења која произлазе из оквира тезе, реално је очекивати да ће наведени списак проистеклих резултата бити допуњен у будућем раду кандидата.

Испитивања обухваћена предметном докторском дисертацијом представљају део истраживања у оквиру пројекта технолошког развоја „Развој технолошких процеса prerade nestandardnih koncentrata bakra у циљу оптимизације емисије загађујућих материја“ Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (ТР34023, руководиоца: проф. др Нада Штрбац, циклус 2011-2014.).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација Александре Митовски, дипл. инж. металург., под називом „Карактеризација нестандартних концентрата бакра и могућности њихове прераде“ представља значајан и оригинални научни допринос у области Металуршког инжењерства. Добијени резултати представљају нова сазнања о нестандартним концентратима бакра, њиховим физичко-хемијским, термодинамичким и кинетичким карактеристикама, структурним и фазним променама при оксидацији, као и могућностима уклањања штетних примеса са аспекта њихове потенцијалне примене у текућу пирометалуршку производњу бакра. На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (3 рада као првопотписани аутор у међународним часописима категорије M22 и M23), Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат Александра Митовски, дипл. инж. металург., 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 и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Карактеризација нестандартних концентрата бакра и могућности њихове прераде“ кандидата Александре Митовски, дипл. инж. металург., изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Бору, 5.01.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....

др Нада Штрбац, редовни професор, *ментор*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....

др Драгана Живковић, редовни професор, *члан*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....

др Жељко Камберовић, редовни професор, *члан*
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки
факултет

.....

др Иван Михајловић, ванредни професор, *члан*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....

др Мирослав Сокић, виши научни сарадник, *члан*
Институт за технологију нуклеарних и других
минералних сировина, Београд