

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:

Сање (Јован) Петровић

КАНДИДАТ: **Сања (Јован) Петровић**

Пријавила је докторску дисертацију под називом:

ЛУЖЕЊЕ ХАЛКОПИРИТА У КИСЕЛОЈ СРЕДИНИ У ПРИСУСТВУ ВОДОНИК - ПЕРОКСИДА

Из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана **31.10.2016.** године својим актом под бројем **61206-5112/2-16** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **ЛУЖЕЊЕ ХАЛКОПИРИТА У КИСЕЛОЈ СРЕДИНИ У ПРИСУСТВУ ВОДОНИК - ПЕРОКСИДА**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Сање (Јован) Петровић** образована је на седници одржаној **18.04.2019.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-27-3.1.**, у саставу:

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

1. др Грозданка Богдановић, ред. професор, хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, Технички факултет у Бору, ментор
2. др Милан Антонијевић, ред. професор, хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, Технички факултет у Бору, члан
3. др Часлав Лачњевац, ред. професор у пензији, хемијско инжењерство, Пољопривредни факултет Београд, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **04.07.2019.** године, под бројем: **VI/4-30-8.**

Декан Факултета

Проф. др Нада Штрбац

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/4-30-8
Бор, 05. 07. 2019. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 04. 07. 2019. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Сање Петровић**, дипл. инж. руд., студента докторских академских студија на студијском програму Технолошко инжењерство, под називом: „**Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида**“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана **31. 10. 2016.** 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 - M21

Petrović, S.J., Bogdanović, G.D., Antonijević, M.M., 2018. Leaching of chalcopyrite with hydrogen peroxide in hydrochloric acid solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 28 (7), 1444-1455. (IF(2017) = 1,795) (ISSN 1003-6326).

IV Именована ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Грозданка Богдановић, редовни професор Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору;
2. др Милан Антонијевић, редовни професор Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору;
3. др Часлав Лачњевац, редовни професор, у пензији Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет.

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 Нада Штрбац

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата Сање Петровић, дипл. инж. рударства

Одлуком бр. VI/4-27-3.1 од 19.04.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Сање Петровић, под насловом:

Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Хронологија одобравања и израде дисертације одвијала се следећом динамиком:

30.06.2016. – Кандидат Сања Петровић, дипл. инж. рударства, пријавила је израду докторске дисертације катедри за Хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору предложена је Комисија за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације.

06.07.2016. – Одлуком бр. VI/4-11-11 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата.

22.09.2016.– Одлуком број VI/4-13-9 Наставно-научног Већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду прихваћен је предлог Комисије о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације под називом: „Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида“, а за ментора је именована др Грозданка Богдановић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду.

31.10.2016. – Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду прихватило је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме и донело је одлуку бр. 61206-5112/2-16 о сагласности на предлог теме докторске дисертације Сање Петровић, под називом: „Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида“ и одређивању проф. др Грозданке Богдановић за ментора.

11.04.2019. – На седици Већа катедре за Хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, потврђено је да је кандидат Сања Петровић завршила израду докторске дисертације и Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду предложена је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације.

19.04.2019. – Одлуком број VI/4-27-3.1 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Сање Петровић, дипл. инж. рударства, у саставу: др Грозданка Богдановић, редовни професор Техничког факултета у Бору (ментор), др Милан Антонијевић, редовни професор Техничког факултета у Бору (члан) и др Часлав Лачњевац, редовни професор у пензији, Пољопривредни факултет у Београду (члан).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација "Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида" припада научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство.

Ментор ове докторске дисертације, др Грозданка Богдановић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, на основу досадашњих објављених радова и на основу наставног и истраживачког искуства компетентна је да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Сања Петровић је рођена 17.01.1981. године у Бору. Основну школу завршила је у Кривељу 1996. године, а средњу Рударско-металуршку, смер рударски техничар, завршила је 2000. године у Бору са одличним успехом. Дипломирала је на Техничком факултету у Бору, на смеру за припрему минералних сировина са просечном оценом у току студија 9,28. Дипломски рад под називом: „Рециклажа пластике поступцима флотацијске концентрације“ одбранила је 29.09.2006. са оценом десет. Докторске академске студије на Техничком факултету у Бору уписала је школске 2015/2016. год. на студијском програму Технолошко инжењерство.

Од 2011. до 2012. године била је запослена у Институту ИХИС у Београду као истраживач приправник. Од 2012. године запошљава се у Институту за рударство и металургију Бор, где и данас ради као истраживач сарадник у Сектору за науку и научно-истраживачке пројекте. Ангажована је у пројектантским тимовима за израду рударских пројеката из области припреме минералних сировина, студија утицаја на животну средину, у лабораторијским технолошким испитивањима из области припреме минералних сировина. Такође је учесник на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Аутор је или коаутор већег броја радова објављених у часописима међународног и националног значаја, на међународним и домаћим научно-стручним скуповима и једног поглавља у монографији међународног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Сање Петровић, дипл.инж рударства, под називом "Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида" написана је на 158 страница стандардног формата А4, на српском језику и садржи 81 слику, 13 табела и 185 литературних цитата. Дисертација је подељена на шест функционално повезаних поглавља и осталих пратећих садржаја:

1. Уводна разматрања
 2. Литературни преглед досадашњих истраживања
 3. Теоријска разматрања
 4. Експериментални део
 5. Резултати и дискусија
 6. Закључак
- Литература

На почетку дисертације дата је захвалница кандидата, сажетак на српском и енглеском језику, а на крају дисертације биографија кандидата и изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и начину коришћења докторске дисертације. По својој форми, садржају и постигнутим резултатима, ова дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводна разматрања - у уводном делу рада укратко је изложен значај халкопирита као сулфидног минерала бакра, наведен значај и сложеност предмета истраживања, формулисани су циљеви и задаци дисертације и дате су полазне хипотезе.

Литературни преглед досадашњих истраживања – у другом поглављу детаљно су приказани најзначајнији публиковани радови релевантни за саму докторску дисертацију. Друго поглавље састоји се од 6 потпоглавља. Анализирани су радови везани за оксидационо лужење халкопирита у хлоридној средини, у сулфатној средини, као и у мешовитој сулфатно-хлоридној средини. Такође, приказан је преглед најзначајнијих истраживања о лужењу халкопирита у присуству водоник–пероксида, као и преглед истраживања оксидационог лужења халкопирита у присуству органских растварача и јонских течности.

У трећем поглављу дисертације – **Теоријска разматрања** приказани су најчешћи механизми оксидационог лужења халкопирита у киселој средини и основне поставке кинетике топохемијских реакција. Лужење халкопирита у киселој средини по природи представља електрохемијски процес при чему је кинетика растварања одређена брзином оксидације сулфидног минерала и редукције оксидационих агенаса. Пошто је укупна електрохемијска реакција сложена и пролази кроз низ сукцесивних појединачних реакционих ступњева, и за њу се примењују основне поставке које важе за сукцесивне хемијске реакције. Брзина укупне реакције зависи од брзине најспоријег ступња, односно од ступња са највећом активационом енергијом. У овом поглављу су наведене најчешће коришћене једначине за различите топохемијске реакције, односно једначине за обраду експерименталних резултата у циљу одређивања кинетичких параметара процеса.

Експериментални део – у четвртм поглављу дисертације описана је припрема узорка концентрата халкопирита за експериментална испитивања у оквиру ове дисертације. Приказане су и описане коришћене методе и уређаји за испитивање и карактеризацију

узорка концентрата халкопирита и чврстих остатака након лужења, које су обухватале: квалитативно-квантитативне минералошке анализе, рентгенску-дифракциону анализу, скенирајућу електронску микроскопију и ФТИР спектроскопију за испитивање могућих остварених веза у испитиваним узорцима. Метода атомске апсорпционе спектофотометрије (ААС) коришћена за одређивање садржаја бакра и гвожђа у лужним растворима. Поред тога, описана је експериментална апаратура и поступак рада.

Пето поглавље – *Резултати и дискусија* је уједно и најопширније и састоји се од више потпоглавља у којима су приказани експериментални резултати испитивања и дискусија у оквиру више целина као што су резултати карактеризације полазних узорака халкопиритног концентрата (хемијска и минералошка анализа), лужење халкопирита у хлоридној средини у присуству водоник-пероксида, лужење халкопирита у сулфатној средини у присуству водоник-пероксида, лужење халкопирита у систему $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ -алкохол и лужење халкопирита у систему $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -алкохол. Најпре су приказани резултати и дискусија истих при испитивању лужења халкопирита у хлоридној средини у присуству водоник-пероксида, при чему је испитан утицај следећих радних параметара: утицај односа чврсто:течно, утицај брзине мешања, утицај концентрације водоник-пероксида, утицај температуре, утицај концентрације хлороводоничне киселине и утицај начина додавања H_2O_2 на екстракцију бакра и гвожђа из халкопиритног концентрата, уз кинетичку анализу процеса лужења халкопирита у наведеном систему $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$. Код лужења у сулфатним растворима приказани су и дискутовани резултати добијени испитивањем истих радних параметара, аналогно претходно испитаном систему, и то: утицај односа чврсто:течно, утицај брзине мешања, утицај концентрације водоник-пероксида, утицај температуре, утицај концентрације сумпорне киселине и утицај начина додавања H_2O_2 на екстракцију бакра и гвожђа из халкопиритног концентрата. Такође, приказана је и кинетичка анализа процеса лужења халкопирита у систему $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$. Код лужења халкопирита у систему $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ -алкохол приказана је дискусија и резултати који су добијени испитивањем утицаја концентрације метанола и 2-пропанола на оксидацију халкопирита. Аналогно овоме, и у другом испитаном систему $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -алкохол дискутовано је о оствареним резултатима утицаја концентрације метанола и 2-пропанола на оксидацију халкопирита. Кинетичка анализа лужења халкопирита у присуству алкохола у киселим системима са алкохолом ($\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ -метанол и $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ -2-пропанол, као и у $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -метанол и $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -2-пропанол) такође је представљена и анализирана.

Закључак – у шестом поглављу на три стране изведени су најважнији закључци проистекли на основу резултата и дискусије истраживања у оквиру докторске дисертације. Генерално се може навести да је оксидационо лужење халкопирита у систему $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ дало већа излужења бакра и гвожђа у односу на постигнута излужења у систему $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$. Такође, примењени поларни органски растварачи (метанол и 2-пропанол) имају значајну улогу у оксидационом лужењу халкопирита, доводе до значајног повећања излужења бакра и представљају добру основу за даља истраживања у овој области.

Након ових шест поглавља дат је списак референтне литературе коришћене у току истраживања, биографија кандидата и обавезни прилози.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида“ кандидата Сање Петровић, дипл. инж. рударства, представља савремен и

оригиналан приступ истраживању у области оксидационог лужења сулфидних минерала. Савременост приступа овој проблематици се огледа у томе што су у оквиру дисертације анализирани референтни научни радови који се баве лужењем сулфида у киселој средини, те је уочен простор за допринос у овој области на основу чега је формиран приступ теми.

У референтној светској научној литератури у области хидрометалургије значајна истраживања су спроведена у циљу развијања ефикасних процеса за издвајање бакра из халкопиритних руда и концентрата. Највећи број истраживања оксидације халкопирита изведен је у растворима сумпорне киселине у присуству различитих оксиданаса (Fe(III) јони, водоник–пероксид, озон, калијум дихромат и др.). Међутим, досадашња истраживања оксидације халкопирита у киселој средини указују на то да не постоји потпуно слагање када се ради о механизму растварања халкопирита. Неки од литературних закључака или механизма оксидације халкопирита су потврђени али и даље има отворених питања у вези са хемизмом процеса, врстом насталих продуката и др. Због свега тога, проучавање процеса оксидације халкопирита и данас представља веома актуелну и привлачну тему за истраживаче у овој области.

Резултати из досадашњих истраживања лужења халкопирита у сулфатној средини у присуству јаких оксиданаса попут водоник–пероксида показују да је ова средина погодна за постизање значајних резултата у погледу екстракције метала. С друге стране, истраживања оксидације халкопирита у хлоридним растворима са водоник–пероксидом као оксидансом нису толико заступљена што оставља простор да се и овај систем детаљније истражи. Узимајући у обзир наведено, један од циљева ове дисертације је био да се испита лужење халкопирита у раствору хлороводоничне и сумпорне киселине у присуству водоник–пероксида у циљу разумевања утицаја бројних параметара на процес лужења овог минерала. Резултати испитивања у оквиру дисертације треба да омогуће одређивање кинетике растварања и објашњење могућег механизма лужења халкопирита у изабраним системима.

Посебан значај истраживања у овој дисертацији се огледа и у све већој потреби за применом еколошки прихватљивих оксиданаса у процесу лужења у које свакако спада водоник–пероксид.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена обимна научна литература из области оксидационог лужења сулфидних минерала у киселој средини при чему је наведено 185 литературних цитата. Коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе новијег датума али обухвата и фундаменталне радове из ове области старијег датума. Међу литературним цитатима велики је број радова у међународним часописима са импакт фактором. Стога се коришћена литература може оценити као адекватна и актуелна. Кандидат је детаљно претражио и анализирао одговарајућу литературу и на основу урађене анализе било је могуће сагледати актуелно стање у области која је била предмет дисертације. Експериментални резултати других истраживања приказани у литературном прегледу су анализирани и вршено је поређење са резултатима до којих је кандидат дошао у свом експерименталном раду.

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

1. Watling, H.R., 2013. Chalcopryrite hydrometallurgy at atmospheric pressure: 1. Review of acidic sulfate, sulfate–chloride and sulfate–nitrate process options. Hydrometallurgy 140, 163-180.

2. Watling, H.R., 2014. Chalcopyrite hydrometallurgy at atmospheric pressure: 2. Review of acidic chloride process options. *Hydrometallurgy* 146, 96–110.
3. Adebayo, A.O., Ipinmoroti, K.O., Ajayi, O.O., 2003. Dissolution kinetics of chalcopyrite with hydrogen peroxide in sulphuric acid medium. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 17(3), 213–218.
4. Agacayak, T., Aras, A., Aydogan, S., Erdemoglu, M., 2014. Leaching of chalcopyrite concentrate in hydrogen peroxide solution. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 50 (2), 657–666.
5. Antonijević, M., Dimitrijević, D., Janković, Z., 1997. Leaching of pyrite with hydrogen peroxide in sulphuric acid. *Hydrometallurgy* 46, 71–83.
6. Antonijević, M.M., Janković, Z.D., Dimitrijević, M.D., 2004. Kinetics of chalcopyrite dissolution by hydrogen peroxide in sulphuric acid. *Hydrometallurgy* 71, 3–4, 329–334.
7. Dimitrijević, M., Antonijević, M.M., Janković, Z., 1996. Kinetics of pyrite dissolution by hydrogen peroxide in perchloric acid. *Hydrometallurgy* 42, 377–386.
8. Dimitrijević, M., Antonijević, M.M., Dimitrijević, V., 1999. Investigation of the kinetics of pyrite oxidation by hydrogen peroxide in hydrochloric acid solutions. *Minerals Engineering* 12, 165–174.
9. Olubambi, P.A., Potgieter, J.H., 2009. Investigations on the mechanisms of sulfuric acid leaching of chalcopyrite in the presence of hydrogen peroxide. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 30, 327–345.
10. Turan, D.M., Atundogan, H.S., 2013. Leaching of chalcopyrite concentrate with hydrogen peroxide and sulfuric acid in an autoclave system. *Metallurgical and Materials Transactions* 44B, 809–819.
11. Dreisinger, D., Abed, N., 2002. A fundamental study of the reductive leaching of chalcopyrite using metallic iron, Part I: kinetic analysis. *Hydrometallurgy* 66 (1–3), 37–57.
12. Eto, I., Akiyoshi, M., Miyake, A., Ogawe, T., Matsunaga, T., 2009. Hazard evaluation of runaway reaction of hydrogen peroxide—Influence of contamination of various ions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 15–20.
13. Fatemi, N., Whitehead, R., Price, D., Dollimore, D., 1986. Some comments on the use of Avrami-Erofeev expressions and solid state decomposition rate constants. *Thermochimica Acta* 104, 93–100.
14. Mahajan, V., Misra, M., Zhong, K., Fuerstenau, M.C., 2007. Enhanced leaching of copper from chalcopyrite in hydrogen peroxide–glycol system. *Minerals Engineering* 20, 670–674.
15. Kremer, M.L., 2006. Promotion of the Fenton reaction by Cu^{2+} ions: Evidence for intermediates. *International Journal of Chemical Kinetics* 38 (12), 725–736.
16. Shu, Chi-Min, Yang, Yuh-Joang., 2002. Using VSP2 to separate catalytic and selfdecomposition reactions for hydrogen peroxide in the presence of hydrochloric acid. *Thermochimica Acta* 392–393, 259–269.
17. Ruiz-Sánchez, A., Lapidus, G.T., 2017. Study of chalcopyrite leaching from a copper concentrate with hydrogen peroxide in aqueous ethylene glycol media. *Hydrometallurgy* 169, 192–200.
18. Solis-Marcial, O.J., Lapidus, G.T., 2013. Improvement of chalcopyrite dissolution in acid media using polar organic solvents. *Hydrometallurgy* 131–132, 120–126.
19. Solis-Marcial, O.J., Lapidus, G.T., 2014a. Study of the dissolution of chalcopyrite in sulfuric acid solutions containing alcohols and organic acids. *Electrochimica Acta* 140, 434–437.
20. Solis-Marcial, O.J., Lapidus, G.T., 2014b. Chalcopyrite leaching in alcoholic acid media. *Hydrometallurgy* 147–148, 54–58.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање у овом дисертацији је реализовано применом метода које су адекватне за област хемијског оксидационог лужења сулфидних минерала.

У оквиру реализације докторске дисертације коришћене су стандардне аналитичке и инструменталне методе за карактеризацију полазних узорка, карактеризацију чврстих продуката реакције и одређивање садржаја бакра и гвожђа у лужним растворима.

Узорак халкопиритног концентрата је рефлотиран (пречишћен) вишеструком селективном флотацијом у циљу добијања што чистијег концентрата бакра. Рефлотирани узорак је затим просејан и за испитивања је издвојен концентрат класе крупноће – 0,075 mm (92,8%).

Квалитативна минералозна анализа полазног узорка изведена је под поларизационим микроскопом за одбијену светлост у ваздуху, са идентификацијом рудних и нерудних минерала. Квантитативна минералозна анализа рађена је методом паралелних профила. Површине испитиваних агрегата одређиване су помоћу програмског пакета "Carl Zeiss AxioVision SE64 Rel. 4.9.1." са модулом "Multiphase". Рендгенска дифракциона анализа коришћена је за одређивање и праћење фазног састава полазног узорка концентрата халкопирита и чврстих лужних остатака. Узорци су анализирани на рендгенском дифрактометру марке "PHILIPS", модел PW-1710, са закривљеним графитним монохроматором и сцинтилационим бројачем.

Карактеризација фазног и хемијског састава полазног узорка халкопирита и чврстих остатака након лужења изведена је и скенирајућом електронском микроскопијом са енергетско дисперзивним спектрометром (SEM/EDS). SEM/EDS анализа изведена је помоћу скенирајућег микроскопа марке JEOL JSM 5800 са енергетски дисперзивним спектрометром (EDS) Oxford Inca 3.2 (20 keV) и применом скенирајућег микроскопа Tescan VEGA 3 LM са енергетски дисперзивним спектрометром (EDS) Oxford X-act 10 mm² SDD (30 kV).

Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR) обухватала је анализу узорка полазног концентрата халкопирита и узорка чврстих остатака након лужења у присуству водоник–пероксида и органских растварача (алкохола) у циљу утврђивања могућих остварених веза у испитиваним узорцима. Спектроскопска испитивања су изведена на FTIR спектрофотометру марке BOMEM MB-100 (Hartmann & Braun, Канада).

Атомска апсорпциона спектроскопија коришћена је за одређивање садржаја бакра и гвожђа у лужним растворима. Одређивање садржаја ових метала је изведено на пламеном атомско-апсорпционом спектрофотометру марке "Perkin Elmer", модел 403.

pH вредност и потенцијал раствора мерени су pH метром типа HANNA 211 (произвођач Hanna Instruments, САД) и pH метром Inolab pH 7310 (произвођач WTH, Немачка).

Примењене методе за испитивања у оквиру ове докторске дисертације су потпуно адекватне за наведену врсту истраживања и примењује се у бројним истраживањима објављеним у најновијим публикацијама у међународним часописима са импакт фактором.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати до којих је дошао аутор су практични и применљиви, и могуће је кроз даљи рад на овој проблематици извршити њихову верификацију. Према прегледу до сада објављених експерименталних резултата и података који су приказани у оквиру предметне дисертације, остварен је значајан допринос у овој области.

У погледу добијених излужења бакра и гвожђа из халкопирита при оксидационом лужењу са водоник-пероксидом, показано је да је систем сумпорна киселина - водоник-пероксид повољнији систем у односу на систем хлороводонична киселина – водоник-

пероксид. У систему $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ показано је да долази до брзог каталитичког разлагања водоник-пероксида што утиче на значајно смањење његове концентрације и самим тим и на постигнута излужења. С друге стране, у киселим хлоридним и сулфатним растворима водоник-пероксида у присуству алкохола (метанол и 2-пропанол) постигнута излужења метала су значајно већа у односу на постигнута излужења у овим системима без присуства алкохола. У киселим хлоридним и сулфатним растворима водоник-пероксида са алкохолима испољава се и комплекснији механизам растварања халкопирита, а исти је предложен у складу са различитим продуктима насталим током процеса лужења, идентификованим коришћењем претходно наведених метода карактеризације површине. Примењени поларни органски растварачи (метанол и 2-пропанол) имају значајну улогу у оксидационом лужењу халкопирита и као такви представљају добру основу за будућа истраживања у оквиру наведене тематике. С обзиром да су резултати до којих је дошао кандидат веома значајни како у погледу разумевања механизма и кинетике процеса оксидације халкопирита у испитиваним киселим системима, тако и у погледу добијених излужења метала, могуће је кроз даљи рад на овој проблематици проширити испитивања у смислу изналажења најоптималнијих параметара процеса.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама. Кандидат је у потпуности реализовао планирано истраживање од почетне идеје до завршетка докторске дисертације. При томе је објавио рад у часопису категорије M21. На основу укупно остварених резултата у научно истраживачком раду, закључујемо да је кандидат способан за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација под насловом „Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида“ представља савремен и оригиналан рад који даје значајан научни допринос у области лужења сулфидног минерала халкопирита.

Остварени научни допринос овог рада се састоји у следећем:

- карактеризацијом испитиваног халкопиритног концентрата одређене су његове физичке, хемијске и минералошке карактеристике које значајно утичу на понашање халкопирита при оксидационом лужењу у киселој средини;
- утврђивање утицаја експерименталних параметара на излужење метала (бабра и гвожђа) из халкопиритног концентрата применом оксидационог лужења у киселој средини ($\text{HCl-H}_2\text{O}_2$, $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$, $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ - алкохол и $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ – алкохол);
- нова сазнања о могућности примене поларних органских растварача – алкохола (метанол и 2-пропанол) у процесу оксидационог лужења халкопирита у киселој средини;
- одређивање кинетике и могућег механизма растварања халкопирита у испитиваним системима ($\text{HCl-H}_2\text{O}_2$, $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$, $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ - алкохол и $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ – алкохол) на основу изабраних теоријских кинетичких модела и најбољег слагања са експериментално добијеним резултатима о брзини процеса лужења.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Постављени циљеви и задаци истраживања у дисертацији остварени су у потпуности. Добијени резултати експерименталног истраживања у дисертацији обезбеђују нове корисне информације везане за проблематику оксидационог лужења халкопирита и одређивања кинетике и механизма растварања овог минерала.

Остварени резултати имају значај у општем упознавању могућности растварања халкопирита у киселој средини применом еколошког реагенса попут водоник-пероксида. Такође, примена алкохола (метанол и 2-пропанол) као органских растварача у процесу растварања халкопирита у испитиваним киселим системима показала се као веома добро решење у погледу утицаја истих на стабилизацију разлагања водоник-пероксида, а самим тим и на постигнута излужења метала. Свакако је отворено поглавље за могућност даљих испитивања у овој области и то у погледу изналажења најоптималнијих параметара лужења.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос верификован је радом који је објављен у међународном часопису на коме је кандидат првопотписани аутор, а који је везан за истраживање које је спроведено у докторској дисертацији. У наставку су дати наслови три рада који верификују рад кандидата на дисертацији.

M21 – Рад у врхунском међународном часопису

Petrović, S.J., Bogdanović, G.D., Antonijević, M.M., 2018. Leaching of chalcopyrite with hydrogen peroxide in hydrochloric acid solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 28 (7), 1444-1455. (IF(2017) = 1,795) (ISSN 1003-6326).

M33 - саопштење са међународног скупа штампано у целини

Petrović, S., Bogdanović, G., Chalcopyrite leaching in acid solutions using hydrogen peroxide as oxidizing agent. *48th International October Conference on Mining and Metallurgy*, 28th September – 01st October, Bor Lake, Bor, Serbia, ISBN 978-86-6305-047-1, pp. 447-450.

Petrović, S., Bogdanović, G., Dissolution of chalcopyrite in acidic hydrogen peroxide solution. *50th International October Conference on Mining and Metallurgy*, 30th September – 3rd October, Bor Lake, Bor, Serbia, ISBN 978-86-7827-050-5, pp. 137-140.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација „**Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида**“ кандидата **Сање Петровић, дип.инж. рударства**, представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос у области Технолошког инжењерства. Дисертација је у сагласности са образложењем у пријави теме и садржи све елементе које предвиђа Правилник о докторским студијама Универзитета у Београду – Техничког факултета у Бору.

На основу прегледане докторске дисертације као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (1 рад у међународном часопису категорије M21), комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, закључује да урађена докторска дисертација кандидата Сање Петровић, дипл. инж. рударства, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. Такође, Комисија закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима о научно-истраживачком раду као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Техничког факултета и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду.

Комисија, на основу горе наведеног, предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору да прихвати Реферат о урађеној докторској дисертацији под називом „**Лужење халкопирита у киселој средини у присуству водоник-пероксида**“ кандидата Сање Петровић, дипл. инж. рударства, да исту изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре, позове кандидата на усмену одбрану.

У Бору, мај 2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Грозданка Богдановић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Проф. др Милан Антонијевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Проф. др Часлав Лачњевац, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет