

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

ТЕХНОЛОГИЈА ВАЛОРИЗАЦИЈЕ КОРИСНИХ МЕТАЛА ИЗ ЈАРОЗИТНОГ ОТПАДА

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Милош (Душан) Јаношевић**
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Технички факултет у Бору, Металургија

- Година завршетка претходног нивоа студија: **1999.**
- Година уписа на докторске студије: **2018.**
- Назив студијског програма докторских студија: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

1. Име и презиме ментора: **Проф. др Саша Марјановић**

Звање: **ванредни професор, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду**

За кандидата: **Милош Јаношевић**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Miloš Janošević, Vesna Conić, Dragana Božić, Ljiljana Avramović, Ivana Jovanović, Željko Kamberović, **Saša Marjanović**, *Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1)*, Minerals, ISSN 2075-163X, 13(4), 540, 2023., [Impact factor (IF) 2,818/2021], M21
2. Emina Požega, Nikola Vuković, Lidija Gomidželović, Miloš Janošević, Milenko Jovanović, **Saša Marjanović**, Milijana Mitrović, *Improving Thermoelectric Properties of p-type (BiSb)₂(TeSe)₃ Single Crystal by Zr Doping*, Science of Sintering, ISSN: 1820-7413 (online); 0350-820X (print), 55 (2023), pp. 57-70, [Impact factor (IF) 1,725/2021], M22
3. B. Trumić, L. Gomidželović, **S. Marjanović**, A. Ivanović, V. Krstić: *Platinum-Based Alloys: Investigation of the Effect of Impurities Content on Creep Rate, Rupture Time and Relative Elongation at High Temperatures*, Materials Research, ISSN 1516-1439, Vol. 20, No. 1, 2017., pp. 191 - 199, [Impact factor (IF) 0,884/2016], M23
4. E. Požega, P. Nikolić, S. Bernik, L. Gomidželović, N. Labus, M. Radovanović, **S. Marjanović**: *Synthesis and investigation of BiSbTeSe single crystal doped with Zr produced using Bridgman method*, Revista de Metalurgia, ISSN 0034-8570, Vol. 53, No. 3, 2017., [Impact factor (IF) 0,388/2016], M23
5. V. Cvetković-Stamenković, D. Manasijević, **S. Marjanović**, A. Ivanović, B. Trumić, V. Marjanović, M. Jovanović: *Influence of Thermomechanical Processing Regime on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity of PdNi₅ Alloy*, Hemijska Industrija, ISSN 0367-598X, Vol. 71, No. 5, 2017., pp. 419 - 428, [Impact factor (IF) 0,509/2016], M23

2. Име и презиме ментора: **др Весна Цонић**

Звање: **виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор**

За кандидата: **Милош Јаношевић**

1. Miloš Janošević, **V. Conić**, Dragana Božić, Ljiljana Avramović, Ivana Jovanović, Željko Kamberović, Saša Marjanović, *Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1)*, Minerals, ISSN 2075-163X, 13(4), 540, 2023., [Impact factor (IF) 2,818/2021], M21
2. D. Kržanović, **V. Conić**, D. Bugarin, I. Jovanović and D. Božić, Maximizing Economic Performance in the Mining Industry by Applying Bioleaching Technology for Extraction of Polymetallic Mineral Deposits, *Minerals*, 9(7) (2019) 400; doi:10.3390/min9070400. <https://doi.org/10.3390/min9070400>. ISSN: 2075-163X; IF (2018)= 2,250; Mining & Mineral Processing 6/19;
3. D. Kržanović, **V. Conić**, D. Stevanović, B. Kolonja, J. Vaduvesković, *Long-term Planning for Open Pits for Mining Sulphide-Oxide Ores in Order to Achieve Maximum Profit*, *Arch. Min. Sci.* 62 (2017) 4, 807-824. <http://mining.archives.pl>, doi: 10.1515/amsc-2017-0056. ISSN: 0860-7001; IF (2017)= 0.629; Mining & Mineral Processing 17/20;
4. Lj. Avramović, M. Bugarin, D. Milanović, **V. Conić**, M. Pavlović, M. Vuković, N. Nikolić, *The Pparticle Size Distribution (PSD) as Criteria for Comparison of Silver Powders Obtained by Different Methods of Synthesis and by Conditions of Electrolysis*, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 54 (3) B (2018) 291-300. ISSN: 1450-5339; IF (2018)= 0.859; Metallurgy & Metallurgical Engineering 52/76;
5. I. Jovanović *, F. Nakhaei *, D. Kržanović, **V. Conić**, D. Urošević Comparison of fuzzy and neural network computing techniques for performance prediction of an industrial copper flotation circuit, *Minerals* 12(2022) 1493 <https://doi.org/10.3390/min12121493>, ISSN: 2075-163X; IF (2021)= 2,989; Mining & Mineral Processing 6/20;

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **28.03.2024.** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Дејан Таникић

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-18-8
Бор, 28. 03. 2024. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 35. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно научно веће Факултета на седници одржаној 28. 03. 2024. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се предлог о испуњености услова и научној заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње **Милоша Јаношевића**, дипл. инж. металургије, студента докторских академских тудија студијског програма Металуршко инжењерство.

II Одобрава се именованом израда докторске дисертације под називом: „Технологија валоризације корисних метала из јарозитног отпада“.

III За менторе се именују **др Саша Марјановић**, ванредни професор Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору, и **др Весна Цонић**, виши научни сарадник у Институту за рударство и металургију у Бору.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности на одлуку о прихватању теме и оређивању ментора.

Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованом
- студентској служби
- архиви

**ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА**

декан

Проф. др Дејан Таникић

НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милоша Јаношевића, дипломираног инжењера металургије.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору број: VI/4-12-7 донетој на седници одржаној 22.02.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милоша Јаношевића, дипломираног инжењера металургије, студента докторских академских студија на студијском програму Металуршко инжењерство, под називом: **„Технологија валоризације корисних метала из јарозитног отпада“**. На основу достављеног материјала, приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милош (Душана) Јаношевић, рођен је у Бору, 05. 08. 1972. године. Основну школу и средњу Електромашинску школу, смер машински техничар завршио је у Бору 1991. године. Након завршене средње школе уписао је Технички факултет у Бору 1994/95. године а студије завршио 06.09.1999. године на металуршком одсеку са просечном оценом 8,17 (осам и 17/100) и оценом 10 (десет) на дипломском раду, под називом „Кинетика и механизам процеса оксидације Ga_2S_3 и In_2S_3 “ и стекао звање дипломирани инжењер металургије. Докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, на студијском програму

Металуршко инжењерство, уписао је школске 2018/2019. године и положио је све испите предвиђене програмом са просечним оценом 9,89 (девет и 89/100).

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Методологија научно истраживачког рада	10	15
2	Физичка металургија 4	10	15
3	Механичко понашање метала	10	15
4	Савремени метални материјали	10	15
5	Савремени поступци ливења и моделирање у ливарству	9	15
6	Докторска дисертација – дефинисање теме	10	15
7	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 1	10	30
8	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 2	10	30
9	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 3	10	10
средња оцена/ укупно ЕСПБ		9,89	160

По завршетку студија запослио се у Рударско топионичарском басену у Бору (РТБ) као инжењер приправник у погону електролизе, где је након обављеног приправничког стажа прешао у погон за добијање племенитих метала (златара) где је радио на свим инжењерским позицијама до позиције руководиоца. У току рада у златари учествовао је у низу експеримената и научних истраживања у сарадњи са Институтом за рударство и металургију. Нека од ових истраживања била су презентована на научним конференцијама и скуповима у земљи. Осам година касније прешао је у систем квалитета где је као руководиоца контроле квалитета био аутор свих докумената система ИСО 9001:2008 за погон производње племенитих метала и водио лабораторију у погону електролизе. Завршетком ових послова прешао је у погон топионице бакра. Преласком у погон топионице укључен је у послове везане за реконструкцију топионице и изградњу фабрике сумпорне киселине. Од 2010. године ради као руководиоца пржења и топљења на линији један. Касније поред ове дужности обавља уједно и дужност техничког руководиоца топионице (стара технологија Пламена пећ). Паралелно са овим обавезама, учествовао је, као члан тима за развој нове технологије, а затим и као сарадник, у изградњи „Fleash smelting furnace“ (FSF) и „Sulfuric Acid Factory“ (SAF). Похађао је теоријску обуку у Ототесу (Финска) и преносио своје стечено знање колегама за рад на новој технологији. Био је главни инжењер у тиму за пројектовање и уходавање FSF и нове технологије, што је представљало пројекат од националног значаја. Пуштањем у рад нове технолошке линије добијања бакра, постаје и управник топионице, где током 2015. године управља са две

технолошке линије топљења бакра паралелно све до краја уходавања нове технологије. Током рада, стекао је и додатна знања, укључујући звање аудитора система квалитета код Llojd Register Group 2013. године, као и звање проверивача система менаџмента квалитета, система управљања заштитом животне средине и система управљања заштитом здравља и безбедности на раду у 2014. години. Од 2018. године, обавља дужност заменика руководиоца службе за план и анализу производње у металуршкој преради у Генералној дирекцији компаније „Serbija Zijin copper doo“. А од 2021. године ради у Институту за рударство и металургију у Бору, на пословима главног инжењера у Центру за развојне технологије у металургији.

У оквиру досадашњег рада стекао је следеће референце:

1. Три рада у истакнутим међународним часописима, категорије M22
2. Четири рада саопштена на међународним скуповима у целини, категорије M33
3. Један рад у истакнутом домаћем часопису, категорије M51
4. Један рад саопштен на националном скупу у целини, категорије M63
5. Четири студије у Републици, један идејни пројекат и један елаборат, категорије M110
6. Учесник је на реализацији националног пројекта, Главног пројекта модернизације топионице и изградње фабрике сумпорне киселине.

Члан је Друштва за Истраживање Материјала Србије (MRS Serbia).

У периоду од 2015. године до 2018. године био је члан Скупштине ТИР ДОО БОР (Топионице и рафинације бакра Бор), као највиши орган управљања компанијом.

1.2 Списак објављених и саопштених радова

1. Радови објављени међународним часописима: (M22 у 2023. години)

1. **Miloš Janošević**, Vesna Conić, Dragana Božić, Ljiljana Avramović, Ivana Jovanović, Željko Kamberović, Saša Marjanović: Indium Recovery from Jarosite Pb – Ag Tailings Waste (Part–1), Minerals, 13 (4) (2023) 540, doi: <https://doi.org/10.3390/min13040540>
2. Emina Požega, Nikola Vuković, Lidija Gomidželović, **Miloš Janošević**, Milenko Jovanović, Saša Marjanović, Milijana Mitrović, Improving Thermoelectric Properties of p-type (BiSb)₂(TeSe)₃ Single Crystal by Zr Doping, Science of Sintering, 55 (2023) 57-70, doi: <https://doi.org/10.2298/SOS2301057P>
3. Emina Požega, Saša Marjanović, Nikola Vuković, Lidija Gomidželović, Milijana Mitrović, **Miloš Janošević**, Dragana Adamović, The Bridgman Method of (BiAs)₂ (TeSe)₃ Bulk

Single Crystal Growth by Spontaneous Nucleation, Science of sintering, 55 (2023), <https://doi.org/10.2298/SOS220619012P>

2. Радови саопштени у целини на међународним скуповима: (M33)

1. Velizar Stanković, **Miloš Janošević**, Increasing the capacity off the copper smelting company in the company „Serbija Zijin copper“ – challenges and consequences to the enviroment. 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC 2021, (ISBN 978-86-6305-119-5)
2. Saša Marjanović, Milijana Mitrović, Emina Požega, Biserka Trumić, **Miloš Janošević**, Hardnes of bimetallic strip Cu-Č.4571 after the cold rolling and annealing. 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC 2022
3. Milijana Mitrović, Saša Marjanović, Biserka Trumić, Jasmina Petrović, Emina Požega, **Miloš Janošević**, Influence of thermo-mechanical processing parametars on the tensile strength of copper wire produced by „Up cast“ process. 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC 2022,
4. Milijana Mitrović, Saša Marjanović, Jasmina Petrović, Emina Požega, **Miloš Janošević**, Influence of chemical composition on the quality of castings obtained by the easy melting models, 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC 2022,

3. Радови саопштени у целини у националном часопису (M51)

1. Dragana Božić, Vesna Conić, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Vanja Trifunović, **Miloš Janošević**, Razvoj nove tehnologije dobijanja feri-fosfata za primenu u proizvodnji litijumskih baterija, ECOLOGICA, Vol. 30, No 110 (2023), 291-297, <https://doi.org/10.18485/ecologica.2023.30.110.17>

4. Радови саопштени у целини на националним скуповима (M63)

- 1 Emina Požega, Nikola Vuković, Danijela Simonović, Milijana Mitrović, Slavica Miletić, **Miloš Janošević**, Miomir Mikić, Karakterizacija uzorka Holovim efektom i Vander Pauvom metodom, Sample characterization by the Hall Effect and Van der Pauw method, “MINING 2022“ 13th Symposium with international participation, Sustainable development in minig and energy, Chamber of commerce and industry of Serbia, 23.-26. Jun 2022. Vrnjačka Banja, str.74-78, (ISBN 978-86-80420-25-7)
5. Студије експертизе, у републици, регионима (M110):

1. Lj. Mladenović, D. Stanković, S. Stojić, **M. Janošević**, G. Slavković, R. Jonović, Lj. Avramović: Studija „Dobijanje rodijuma“ Bor, mart 2009. godine, str. 1-30, IRM Bor
2. Lj. Avramović, R. Jonović, **M. Janošević**, S. Stojić, G. Slavković, D. Stanković, Lj. Mladenović: Studija „Dobijanje telura iz šljake Dore peći“ Bor, februar 2009. godine, str. 1-74, IRM Bor
3. S. Dragulović, D. Božić, V. Conić, Lj. Avramović, V. Trifunović, **M. Janošević**: Studija „Laboratorijska ispitivanja procesa rastvaranja gvožđa iz izluženog prženca jarosita i daljeg tretmana dobijenog rastvora u cilju dobijanja koncentrata olova i srebra i feri-fosfata“, Bor, mart 2023. godine, str. 1-36, IRM Bor
4. Lj. Avramović, D. Božić, V. Conić, **M. Janošević**, V. Trifunović, A. Petrović: Studija „Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja tretmana rafinata u cilju dobijanja monokalcijum-fosfata (MKF)“, Bor, januar 2024. godine, str. 1-97, ELIXIR Prahovo DOO Prahovo
5. R. Jonović, D. Stanković, M. Petković, **M. Janošević**, S. Stojić, M. Stanisavljević Lj. Avramović: Idejni projekat „Idejni projekat postrojenja za hidrometalurško dobijanje plemenitih metala iz deseleniziranog anodnog mulja“ Bor, 2006. godine, str. 1-65, IRM Bor
6. I. Anđelović, Z. Mitrović, V. Spasojević, V. Janošević, **M. Janošević**: Elaborat „Prerada šljake Plamene peći iz tekuće proizvodnje“, Bor, januar 2012. godine, str. 1-29, RTB Bor

6. Проекти

Сарадник у реализацији националног пројекта

Пројекат Министарства економије, за период 2010 - 2015. године под називом: „Реконструкција топионице и изградња фабрике сумпорне киселине“, Реализатор: РТБ Бор

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Увидом у остварене резултате, ангажовање и искуства стечена током докторских студија и научно-истраживачког рада, Комисија констатује да кандидат Милош Јаношевић, дипломирани инжењер металургије, испуњава потребне формалне услове за рад на изради докторске дисертације, као и да има одговарајућу научно-стручну усмереност у области којој припада предложена тема дисертације (научна област: Металуршко инжењерство), те се оцењује подобним за рад на предложеној теми.

Сматрамо да кандидат Милош Јаношевић поседује знања и вештине, као и неопходно искуство и стручност за израду докторске дисертације под називом „Технологија валоризације корисних метала из јарозитног отпада“.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Конвенционалном технологијом пржења концентрата сфалерита и лужења насталог прженца у сумпорној киселини настаје нус производ - јарозит. Овакав отпад представља велики проблем за животну средину, пошто је његово одлагање на јаловиштима широм света постало значајно еколошко питање и потенцијална опасност. Међутим, коришћење јарозита може донети значајне користи у економичном и еколошком смислу, односно уштедети рударске ресурсе производњом вредних производа и смањити потенцијалне опасности од одлагања. Јарозитни Pb-Ag талог садржи значајне количине метала као што су цинк, олово, бакар и гвожђе, такође ретких као што су индијум, галијум, талијум и германијум и племенитих сребра и злата. Проблем нагомилавања индустријског отпада који угрожава животну средину присутан је на нашој планети већ дуже време. Из тих разлога неопходно је природне ресурсе разумно употребљавати и интезивирати коришћење индустријског отпада као техногене сировине. Веома брз и интезиван технолошки развој је наметнуо извесне проблеме у погледу: убрзане потрошње и исцрпљивљања примарних сировина, високе потрошње енергије као и узапредовало загађење животне средине. Ови разлози указују да се у свету све већа пажња посвећује раду управо на сакупљању, припреми и преради секундарних (техногених) сировина са циљем добијања корисних метала.

Предмет докторске дисертације биће примена новог технолошког поступка који ће омогућити добијање корисних метала садржаних у јарозитном отпаду. У литератури су истраживани и предложени различити поступци за прераду јарозитног отпада, као што су стабилизација за безбедно одлагање, хидрометалуршка и пирометалуршка прерада за валоризацију вредних метала. Стабилизација се не сматра погодном опцијом јер не обезбеђује рециклирање корисних метала из отпада, већ они остају неискоришћени, а сам процес је скуп због употребе разних стабилизатора и адитива. Пирометалуршки процеси, као што је Welc поступак, који се примењују широм света за обраду сличних отпада, представљају углавном изводљиве правце са индустријском потврдом али су скупа у погледу потрошње велике количине енергије. Њихов заједнички циљ је да се корисни метали искористе. Пирометалуршки процеси прераде секундарних сировина цинка и отпадних талоба из хидрометалургије цинка су веома ефикасни, међутим за њихову успешну имплементацију неопходна су скупа индустријска постројења великог капацитета, да би ова производња могла бити економски оправдана. Важно је напоменути да при овим процесима долази до ослобађања штетних гасова који могу имати озбиљан негативан утицај на околину и животну средину

У овој докторској дисертацији биће испитивани комбиновани процеси пржења јарозит Pb-Ag талоба на нижим температурама и лужења насталог продукта пржења погодним реагенсом. Први корак ће бити пржење јарозита на одговарајућој температури, а затим ће производ пржења бити лужен водом на собној температури. Очекује се висок степен екстракције током лужења. Након лужења прженца у води олово, сребро и већи део гвожђа остаће у чврстом остатку. Лужни раствор ће даље бити подвргнут поступку таложења са NaOH до $\text{pH}=4$ при чему ће исталожени индијум и гвожђе тако бити раздвојени од бакра и цинка. Талог који ће садржати хидроксиде индијума и гвожђа ће даље бити растваран у разблаженој сумпорној киселини. Извршиће се редукција Fe^{3+} до Fe^{2+}

употребом SO_2 гаса а затим цементација In са Al . Употребом HCl киселине биће уклоњен Al након чега ће бити добијен сирови индијум.

Након таложења In и Fe у раствору од таложења остаће као макрокомпоненте Cu и Zn који су присутни у облику сулфата. У циљу селективног издвајања бакра из раствора извршиће се цементација са цинком у праху. Карактеризацијом добијеног цементног бакра потврдиће се да је добијен производ комерцијалног квалитета. Након завршетка цементације бакра раствор ће бити припремљен за добијање цинк-карбоната из цинк-сулфата таложењем 10% раствором натријум-карбоната. Карактеризацијом цинк-карбоната потврдиће се да је и он произведен у комерцијалном квалитету. Након нискотемпературног пржења и лужења добиће се и чврсти остатак (талог) који ће садржати олово-сулфат који ће даље бити подвргнут хлоридном лужењу у циљу излужења олова. Из добијеног раствора биће таложено олово у облику олово-карбоната додавањем 10% натријум-карбоната. Карактеризацијом добијеног олово-карбоната биће утврђено да је добијен производ комерцијалног квалитета. Могућност добијања корисних производа из овакве сировине пре свега зависи од селективности примењене методе. У оквиру дисертације на узорку јарозита као техногене сировине биће спроведена широка испитивања, укључујући хемијска, испитивања, расподеле величине зрна, минеролошка, микроструктурна и термогравиметријска испитивања, као и испитивања степена излужења и металног баланса добијених производа.

2.2. Циљеви истраживања

Циљеви истраживања на којима базира предложена докторска дисертација укључује експериментална испитивања спроведена на узорку јарозит Pb-Ag талоба пржења истог под различитим условима и температурама, лужења и селективног раздвајања под различитим условима и примењеним параметрима процеса.

Циљеви којима се тежи у овом истраживању су следећи:

1. Физичко-хемијска карактеризација узорка јарозита Pb-Ag талоба, која обухвата уситњавање чврстог узорака, гранулометријску анализу, минералешку анализу, SEM-EDS анализу и хемијску карактеризацију узорка, SEM-EDS анализа и хемијска карактеризација јарозит Pb-Ag талоба.
2. Извршиће се експериментална испитивања процеса лужења јарозит Pb-Ag талоба. Лужење јарозита биће извршено у циљу екстракције Cu , Zn , Pb , Ag и In . Биће примењене четири врсте лужења. Хлоридно лужење коришћењем раствора NaCl , хлоридно лужење коришћењем раствора HCl , лужење у раствору азотне киселине и лужење у раствору сумпорне киселине.
3. Извршиће се термогравиметријска анализа јарозит Pb-Ag талоба, којом би се утврдио губитак масе узорка загревањем до потребне температуре и механизам термалне декомпозиције и дисоцијације јарозита.
4. Извршиће се експериментална истраживања комбинованог процеса који укључује сулфатизационо пржење јарозит Pb-Ag талоба и лужење насталог продукта сулфатизације.

- Биће испитани параметри процеса сулфатизације са и без додатка концентроване сумпорне киселине.
- Такође ће се испитати параметри лужења Cu, Zn, Fe и In из сулфатизационог продукта прженца.
- 5. Извршиће се избор технолошког процеса прераде јарозит Pb-Ag талоба.
 - Пржење и лужење јарозит Pb-Ag талоба,
 - Третман лужног раствора. У оквиру третмана лужног раствора извршиће се таложење Fe и In, цементација Cu из раствора након таложења Fe и In, таложење $ZnCO_3$ из раствора након цементације Cu, третман талоба $Fe(OH)_3$ и $In(OH)_3$ ради добијања индијума,
 - Третман чврстог остатка након лужења ради добијања $PbCO_3$
- 6. Извршиће се тест токсичности – TCLP (Toxicity characteristic leaching procedure) и тест лужљивости – LP (leaching procedure) чврстих остатака насталих у току валоризације поменутих метала из јарозит Pb-Ag талоба ради њиховог безбедног депоновања.
- 7. Урадиће се хемијска карактеризација добијених продуката из наведених процеса прераде јарозит Pb-Ag талоба.
- 8. Биће урађен материјални биланс
- 9. Извршиће се испитивања у циљу дефинисања оптималних технолошких параметара поступка третмана чврстог остатка након лужења прженца јарозита у циљу издвајања гвожђа и његове валоризације до производа фери-фосфата, уз истовремено добијање концентрата олова и сребра, као алтернативни поступак, поступку добијања олово-карбоната из чврстог остатка након лужења прженца јарозита.

Резултати који буду добијени у току израде ове докторске дисертације биће публиковани у форми научних радова у међународним часописима са SCI листе, домаћим часописима и саопштени на домаћим и међународним скуповима.

2.3. Осврт на релевантне библиографске изворе

Испитивање могућности добијања корисних метала и уопште комерцијалних производа из индустријског отпада који су настали дугогодишњом експлоатацијом примарних сировина, а уједно и као могућност решавања дугогодишњих еколошких проблема, тема је у радовима великог броја истраживача. Полазна литература која је подстакла истраживање и дефинисала предмет истраживања, односи се на испитивање карактеристика полазне сировине јарозита и примењених технологија за валоризацију корисних компонената.

Коришћена релевантна литература, расположива путем KoBSON–а кроз доступне базе Science Direct, Springer, SCOPUS, Web of Science и др., дата је у наставку:

1. Reyes, A.I.; Patiño, F.; Flores, U.M.; Pandiyan, T.; Cruz, R.; Gutiérrez, J.E.; Reyes, M.; Flores, H.V. Dissolution rates of jarosite-type compounds in H₂SO₄ medium: A kinetic analysis and its importance on the recovery of metal values from hydrometallurgical wastes. *Hydrometallurgy* 2017, 167, 16–29.
2. Conić, V.; Rajčić Vujasinović, M.; Trujić, V.; Cvetkovski, V. Copper, Zinc, and Iron Bioleaching from a Polymetallic Sulphide Concentrate. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 2014, 24, 3688–3695.
3. Zheng, Y.-X.; Lv, J.F.; Liu, W.; Qin, W.-Q.; Wen, S.-M. An innovative technology for recovery of zinc, lead and silver from zinc leaching residue. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2016, 52, 943–954.
4. Wang, Y.; Yang, H.; Zhang, W.; Song, R.; Jiang, B. Study on recovery of lead, zinc, iron from jarosite residues and simultaneous sulfur fixation by direct reduction. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2018, 54, 517–526.
5. Rashchi, F.; Dashti, A.; Arabpour-Yazdi, M.; Abdizadeh, H. Anglesite flotation: A study for lead recovery from zinc leach residue. *Miner. Eng.* 2005, 18, 205–212.
6. Lutandula, M.S.; Maloba, B. Recovery of cobalt and copper through reprocessing of tailings from flotation of oxidized ores. *J. Environ. Chem. Eng.* 2013, 1, 1085–1090.
7. Stanojević, D.; Filipović-Petrović, L. Doprinos integrisanoj valorizaciji metala u hidrometalurgiji cinka. *Zaštita Mater.* 2014, 55, broj1.
8. Sinadinović, D.; Kamberović, Ž.; Šutić, A. Leaching Kinetics of lead from Lead(II) Sulphate in Aqueous Calcium and Magnesium Chloride Solution. *Hydrometallurgy* 1997, 47, 137–147.
9. Kerolli-Mustafa, M.; Ćurković, L.; Fajković, H.; Rončević, S. Ecological Risk Assessment of Jarosite Waste Disposal. *Croat. Chem. Acta* 2015, 88, 189–196.
10. Creedy, S.; Glinin, A.; Matusewics, R.; Hughes, S.; Reuter, M. Outotec Ausmelt Technology for Treating Zinc Residues. *World Metall.-Erzmetall* 2013, 66, 230–235.
11. Hughes, S.; Reuter, M.A.; Baxter, R.; Kaye, A.; Hughes, S.; Reuter, M.A.; Baxter, R.; Kaye, A. Ausmelt Technology for Lead and Zinc Processing. *Lead Zinc* 2008, 2008, 147–162.
12. Kamberović, Ž.; Gajić, N.; Korać, M.; Jevtić, S.; Sokić, M.; Stojanović, J. Technologically Sustainable Route for Metals Valorization from Jarosite-PbAg Sludge. *Minerals* 2021, 11, 255.
13. Rus, A.; en Sunkar, A.S.; Topkaya, Y.A. Zinc and lead extraction from Cinkur leach residues hydrometallurgical method. *Hydrometallurgy* 2008, 93, 45–50.
14. Turan, M.D.; Altundoğan, H.S.; Tümen, F. Recovery of zinc and lead from zinc plant residue. *Hydrometallurgy* 2004, 75, 169–176.
15. Asokan, P.; Saxena, M.; Asolekar, S.R. Hazardous jarosite use in developing nonhazardous product for engineering application. *J. Hazard. Mater.* 2006, 137, 1589–1599.
16. Asokan, P.; Saxena, M.; Asolekar, S.R. Recycling hazardous jarosite waste using coal combustion residues. *Mater. Charact.* 2010, 61, 1342–1355.
17. Pelino, M. Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials. *Waste Manag.* 2000, 20, 561–568.
18. Pisciella, P.; Crisucci, S.; Karamanov, A. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes. *Waste Manag.* 2001, 21, 1–9.
19. Guler, E.; Seyrankaya, A.; Cöcen, I. Extraction of Lead and Silver from Zinc Leach Residue by Brine Leaching. In *Proceedings of the XIIth International Mineral Processing Symposium, Cappadocia Nevsehir, Turkey*, 6–8 October 2010.

20. Yudaev, P.; Chistyakov, E. Chelating Extractants for Metals. *Metals* 2022, 12, 1275.
21. James, S.E.; Watson, J.L.; Peter, J. Zinc Production-a Survey of Existing Smelters and Refineries. *Lead-Zinc* 2000, 2000, 205–225.
22. Xu, S.; Wang, G.; Fan, J.; Wang, Z.; Zhang, J.; Chen, J.; Zheng, L.; Pan, J.; Wang, R. Preparation of high purity indium by chemical purification: Focus on removal of Cd, Pb, Sn and removal mechanism. *Hydrometallurgy* 2020, 200, 105551.
23. Burkitbayeva, B.; Argimbayeva, A.; Rakhymbay, G.; Avchukir, K.; Tassibekov, K.; Nauryzbayev, M. Refining of Rough Indium by Method of Reactionary Electrolysis. In *Proceedings of the MATEC Web of Conferences REE-2016*, Amsterdam, The Netherlands, 23–25 March 2016.
24. Zelem, J. Application of Amalgam Metallurgy to the Extraction of Indium, Bachelors Theses and Reports, 1928–1970, Summer 6-4-1954, Montana Tech Library, Digital Commons @ Montana Tech. Available online: https://digitalcommons.mtech.edu/bach_theses (accessed on).
25. Li, D.-S.; Dai, Y.-N.; Yang, B.; Liu, D.-C. Purification of indium by vacuum distillation and its analysis. *J. Cent. South Univ.* 2013, 20, 337–341.
26. Alfantazi, A.M.; Moskalyk, R.R. Processing of indium: A review. *Miner. Eng.* 2003, 16, 687–694.
27. Conić, V.; Božić, D.; Dragulović, S.; Avramović, L.J.; Jonović, R.; Bugarin, M. Research on acid leaching of Cu, Zn and In from Jarosite waste. In *Proceedings of the XIV International Mineral Processing and Recycling Conference*, Belgrade, Serbia, 12–14 May 2021.
28. Frost, R.; Wills, A.; Klopogge, J.; Martens, W. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2006, 84, 489–496.
29. Hu, B.; Richeys, R.; Baird, J. Chemical Equilibrium and Critical Phenomena: Solubility of Indium Oxide in Isobutyric Acid Water Near the Consolute Point. *J. Chem. Eng.* 2009, 54, 1537–1540.
30. Lokanc, M.; Eggert, R.; Redlinger, M. The Availability of Indium: The Present, Medium Term, and Long Term; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2015; pp. 1–79. Available online: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/62409.pdf> (accessed on).
31. Kangas, P.; Lundström, M.; Orko, I.; Koukkari, P. The Jarogain Process for Metals Recovery from Jarosite and Electric Arc Furnace Dust; VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.: Espoo, Finland, 2017; ISSN 2242-1211, ISBN 978-951-38-8596-0.
32. Rocchetti, L.; Amato, A.; Beolchini, F. Recovery of indium from liquid crystal displays. *J. Clean. Prod.* 2016, 116, 299–305.

3. Основне хипотезе

Полазне хипотезе којима је дефинисан предмет истраживања докторске дисертације, а које су произашле из анализе прегледане литературе, постављене су на основу реалних потреба металуршке праксе, да се велике количине индустријског отпада преведу у корисне производе, због све убрзаније потрошње примарних сировина, а према захтевима најадекватнијих технологија.

Основне хипотезе будућег рада доторске дисертације су:

- Применом новог технолошког поступка нискотемпературног пржења јарозитног отпада, извршиће се превођење фери сулфата у нерастворни хематит у води,
- Селективним лужењем прженца и таложењем добијају се раствори и талози из којих је могуће валоризовати корисне метале,
- Добијени производи биће високог квалитета за комерцијалну употребу. Чврсти остаци, произведени у овом процесу, биће стабилизовани и безопасни за одлагање на депоније. Отпадне воде ће бити пречишћене и припремљене за безбедно испуштање у канализационе системе.
- Биће решен еколошки проблем превођења токсичног отпада у техногену сировину.

4. Методе истраживања

За успешну реализацију циљева истраживања и потврђивање постављених хипотеза у докторској дисертацији за карактеризацију предходно добијених комерцијалних производа, **новим технолошким поступком**, користиће се следеће експерименталне методе:

- Карактеризација – рендгеноструктурна анализа (XRD) биће коришћена за одређивање минералског састава узорака, а енергетско-дисперзивном спектрометријом (EDS анализа) одредиће се структурни састав узорака, термогравиметријском анализом одредиће се трансформација јарозита на одређеним температурама.
- Квантификација – биће урађена хемијска анализа узорака и материјални биланс.

Киселост раствора биће мерена комбинованом рН електродом. Садржај цинка, бакра и гвожђа у раствору биће одрђивани на атомском апсорпционом спектрофотометру (Перкин-Елмер 403). Концентрација индијума у раствору биће одређивана на индуктивно спрегнутој плазми оптичким емисионим спектрометром (ICP-OES). Анализа дифракције рендгенским зрацима (XRD) извршиће се на инструменту „Rigaku MiniFлек 600” са брзим детектором „D/teX Ултра 250” и рендгенском цеви са бакарном анодом. Идентификација минерала извршиће се у софтверу PDKSL 2 Version 2.4.2.0, а добијени дифрактограми ће бити упоређени са подацима из ICCD базе података (PDF-2 Release 2015 RDB). Елементарни анализатор LECO CHN 628 биће коришћен за одређивање азота, угљеника и водоника у узорку јарозита. Термогравиметријска анализа биће извршена на инструменту SDT K600 V20.9 Build 20, са температурним опсегом од 25°C до 700°C. TGA анализа биће изведена у струји азота са брзином протока од 100 ml/min и загревањем од 10°C/min, коришћењем керамичке посуде. Мерење величине честица дистрибуције узорка јарозита вршиће се на „Optical - Laser Particle-Size Analyzer“, MASTERSIZER 2000, Hidro 2000MU који има могућност да одреди величину зрна од 0,02 до 100 микрона. За анализу узорака користиће се скенирајући електронски микроскоп JSM IT 300LV (JOEL) који може да ради у условима ниског и високог вакуума, постижући високу резолуцију слике са увећањима до 300.000 и коришћењем волфрама, филамент као извор електрона (катода). Микроскоп је опремљен детектором секундарних електрона (SED) и повратно расејаних електрона (БЕД), као и савременим спектрометром за дисперзију енергије (EDS).

5. Очекивани резултати и научни допринос

Од докторске дисертације очекује се да ће истраживања дати допринос у области металуршког инжењерства, при чему ће неки резултати поред научног доприноса, имати и практични значај. Посебно се могу издвојити следећа очекивања:

- Очекује се да ће се карактеризацијом полазне сировине утврдити поступци за третман а карактеризацијом насталих продуката утврдиће се њихов квалитет.
- Очекује се да ће се моћи искористити резултати докторске дисертације за даље пројектовање технологије добијања сировог индијума, која би потом могла да послужи за даља истраживања у циљу производње чистог индијума. С обзиром да се у земљи не производи индијум могла би се покренути производња истог која би даље омогућила развој других грана индустрије, а посебно у области електронике и електротехнике.
- Покретање производње би могло да допринесе уклањању постојеће депоније јарозита која је близу града и која има токсичан утицај на околину. Током одређеног временског периода, производња би могла да допринесе уклањању овог отпада и да доведе до еколошки исправне околине.
- Очекује се да предложена технологија неће производити нове токсичне отпаде за време своје примене. Отпад који настаје након стабилизације би могао безбедно да се одложи, а отпадне воде које настају у процесу би се вратиле у производњу. Процесне воде које се испуштају у канализационе воде би морале да буду у складу са прописаним стандардима за такве типове вода.
- Очекује се да ће предложена технологија дати најмање могуће последице за радну средину у којој се буде спроводила за разлику од многих постојећих технологија у погледу добијања сировог индијума.

6. План истраживања и структура рада

6.1 План истраживања

План истраживања, који одређује ток рада на дисертацији, предвиђа следеће фазе:

1. Преглед одговарајуће научне литературе и сакупљање релевантних података
2. Дефинисање предмета и циља истраживања
3. Експериментална истраживања:
 - Термичка декомпозиција - пржење јарозит Pb-Ag талоба
 - Лужење водом уз примену одговарајућих параметара
 - Третман лужног раствора
 - Талочење Fe и In

- Цементација Cu из раствора након таложења Fe и In
 - Таложење $ZnCO_3$ из раствора након цементације Cu
 - Карактеризација раствора након таложења и издвајања $ZnCO_3$
 - Третман талога укључивањем поступка цементације
 - Третман чврстог остатка, добијеног након лужења у води, обавиће се лужењем са NaCl у циљу добијања раствора $NaPbCl_3$ и $NaAgCl_2$ и превођења Pb и Ag у $PbCO_3$ концентрат коришћењем Na_2CO_3 .
 - Третман чврстог остатка добијеног након лужења у води, обавиће се у циљу добијања фери-фосфата и концентрата Pb и Ag, применом поступка хлоридног лужења са HCl, растварања, таложења, филтрирања и испирања
4. Карактеризација свих продуката насталих по предложеној технолошкој шеми
 5. Израда материјалног биланса
 6. Анализа и дискусија резултата
 7. Формулисање одговарајућих закључака

6.2. Структура рада

Докторска дисертација ће у глобалу садржати следећа поглавља:

1. Јарозит Pb-Ag талог, формирање и могућности прераде
2. Циљ рада
3. Преглед досадашњих истраживања
4. План експеримента
5. Коришћене експерименталне методе и технике
6. Резултати испитивања, карактеризација свих продуката насталих по технолошкој шеми, материјални биланс процеса
7. Дискусија резултата испитивања
8. Закључак
 - Преглед и анализа научног доприноса
 - Предвиђени правци даљих истраживања
9. Литература

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве кандидата и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, закључује да кандидат Милош Јаношевић, дипломирани инжењер металургије, испуњава све

законске услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Комисија, такође, закључује да је предложена тема „Технологија валоризације корисних метала из јарозитног отпада“ научно заснована по предмету истраживања, циљевима, садржају и очекиваном научном доприносу и представља значајно подручје истраживања и као таква може бити предмет изучавања докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да се кандидату Милошу Јаношевићу, дипломираном инжењеру металургије, одобри израда докторске дисертације под називом „Технологија валоризације корисних метала из јарозитног отпада“ и да се за менторе именују проф. др Саша Марјановић, ванредни професор на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, и др Весна Цонић, виши научни сарадник у Институту за рударство и металургију у Бору који испуњавају све Законом предвиђене услове.

У Бору, 01.03.2024. године

КОМИСИЈА:

Др Жељко Камбировић, редовни професор

Универзитет у Београду, ТМФ у Београду

Др Мирослав Сокић, научни саветник

Институт за технологију нуклеарних и других
минералних сировина, ИТНМС у Београду

Др Љубиша Балановић, редовни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у
Бору
