



ТЕХНИЧКО I RAZVOJNO REŠENJE
NOVO TEHNIČKO REŠENJE PRIMENJENO NA NACIONALNOM
NIVOU-KOMERCIJALIZOVANO
(M82)

**„NOVO TEHNIČKO REŠENJE PROCESA PRERADE OTPADNOG Pb-Ag
JAROZITA U ZORKI OBOJENA METALURGIJA ŠABAC,
METALRECOVERY D.O.O U CILJU VALORIZACIJE INDIJUMA“**

Januar, 2024.

*„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“*



SADRŽAJ

Zahtev za pokretanje postupka za validacijom i verifikacijom tehničkog rešenja	3
1) Ime i prezime autora rešenja	4
2) Naziv tehničkog rešenja	4
3) Ključne reči	4
4) Za koga je rešenje rađeno (pravno lice ili grana privrede) – korisnik	4
5) Godina kada je rešenje kompletirano	4
6) Godina kada je počelo da se primenjuje i od koga	4
7) Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi	4
8) Problem koji se tehničkim rešenjem rešava	5
9) Stanje rešenosti tog problema u svetu	5
10) Opis tehničkog rešenja	6
10.1. Uvod	6
10.2. Konceptija prerade jarozita	7
10.3. Opis šeme tehnološkog procesa prerade jarozita	7
10.4. Prikaz dobijenog proizvoda sirovog Indijuma	11
10.5. Zaključak	11
11) Tehnička dokumentacija	12
11.1. Validan dokaz o primeni tehničkog rešenja	12
11.1.1. Rad u časopisu “Minerals” kategorije M22	13
11.1.2. Ugovor i Aneks ugovora o poslovno-tehničkoj saradnji između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i kompanije Zorka Šabac- Metal recovery d.o.o. Beograd, Izvod iz banke o uplati	29
11.1.3. Dokaz o primeni tehničkog rešenja	52
11.2. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja	54



Zahtev za pokretanje postupka za validacijom i verifikacijom tehničkog rešenja

NAUČNOM VEĆU INSTITUTA ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

Predmet: Pokretanje postupka za validizaciju i verifikaciju tehničkog rešenja

U skladu sa Pravilnikom o sticanju istraživačkih i naučnih zvanja ("Službeni glasnik RS", br. 159 od 30.12.2020., obraćamo se Naučnom Veću Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor, sa molbom da pokrene postupak za validizaciju i verifikaciju tehničkog rešenja pod nazivom:

„NOVO TEHNIČKO REŠENJE PROCESA PRERADE OTPADNOG Pb-Ag JAROZITA U ZORKI OBOJENA METALURGIJA ŠABAC, METAL RECOVERY D.O.O. BEOGRAD U CILJU VALORIZACIJE INDIJUMA“

Autora:

1. Dr Vesna Conić, dipl.ing.met., viši naučni saradnik,
2. Dr Dragana Božić, dipl.ing.met., viši naučni saradnik,
3. Dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.teh., naučni saradnik,
4. Dr Dejan Bugarin, dipl. ecc., naučni saradnik,
5. Dr Ivana Jovanović, dipl.ing.rud., viši naučni saradnik,
6. Mr Miloš Janošević, istraživač saradnik,
7. Prof. dr. Željko Kamberović, redovni profesor

Tehničko rešenje – (M82) rezultat je finansijski podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, ugovor br. 451-03-47/2023-01/200052.

Prijava tehničkog rešenja Matičnom naučnom odboru za materijale i hemijske tehnologije Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

U Boru, 05.12.2023.

Podnosilac zahteva:

Dr Vesna Conić, viši naučni saradnik

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



1) Ime i prezime autora rešenja

- 1.1) Dr Vesna Conić, dipl.ing.met., viši naučni saradnik, IRM Bor
- 1.2) Dr Dragana Božić, dipl.ing.met., naučni saradnik, IRM Bor
- 1.3) Dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.teh., naučni saradnik, IRM Bor
- 1.4) Dr Dejan Bugarin, dipl. ecc., naučni saradnik, IRM Bor
- 1.5) Dr Ivana Jovanović, dipl.ing.rud., viši naučni saradnik, IRM Bor
- 1.6) Mr Miloš Janošević dipl.ing.met., istraživač saradnik, IRM Bor
- 1.7) Prof. dr Željko Kamberović, dipl.ing.met., redovni profesor, TMF Beograd

2) Naziv tehničkog rešenja

Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki obojena Metalurgija Šabac, Metal recovery d.o.o. u cilju valorizacije indijuma.

3) Ključne reči

Pb-Ag Jarozit talog, Piro-hidrometalurgija, Novi tehnološki postupak, Novo Pilot postrojenje, Cementacija indijuma.

4) Za koga je rešenje rađeno (pravno lice ili grana privrede)

Zorka Obojena metalurgija-Šabac, koja posluje u sastavu Elixir Group d.o.o.

5) Godina kada je rešenje kompletirano

2022. godina.

6) Godina kada je počelo da se primenjuje i od koga

Novo tehničko rešenje realizovano je u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor i komercijalizovano 2022. godine u kompaniji Zorka Obojena metalurgija-Šabac, koja posluje u sastavu Metal Recovery d.o.o Beograd.

7) Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi

Tehničko rešenje pripada oblasti: Materijali i hemijske tehnologije

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“



8) Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Ovim tehničkim rešenjem predlaže se inovativni tehnološki proces prerade jarozita jer za preradu jarozita ne postoji adekvatna tehnologija u pogledu ekonomičnosti i održivosti procesa.

Primena inovativnog tehnološkog procesa u procesu dobijanja metala iz sirovine jarozita omogućava: redukciju troškova, redukciju potrošnje energije, povećanje budžeta i dobijanje novčanih sredstava.

Primena inovativne tehnologije za tretman jarozita je glavni tehnološki proboj u dobijanju metala iz ove sirovine. Veliki interes postoji od strane internacionalnih kompanija za novom tehnologijom dobijanja metala kao su: Cu, Zn, Pb, Ag i In iz sirovine jarozita – nus produkta metalurgije Zn. Uvođenje novog tehnološkog procesa osigurava bolju ekonomiju, nova radna mesta kompanije kao i rešavanje problema akumulacije sirovinom jarozita.

Novim tehnološkim postupkom gotovo totalno se eliminiše bilo kakav rizik od zagađenja voda, vazduha, zemljišta.

Ukupni ciljevi se oslanjaju na primeni novog tehnološkog procesa za eksploataciju novih nekonvencionalnih vrsta sirovina. Novi tehnološki postupak će maksimizirati dobit tretmanom tehnogene sirovine jarozita uz minimalnu potrošnju energije, minimalnog ukupnog efekta staklene bašte bez proizvedenog čvrstog otpada.

Korisne komponenta In je dovedene do oblika komercijalnog proizvoda.

Metali Cu, Zn, Pb, Au i Ag se takođe mogu dovesti komercijalnih proizvoda.

Čvrsti ostatak se inovativnim procesima prerade dalje tretira takođe do komercijalnog proizvoda.

9) Stanje rešenosti tog problema u Svetu

Jarozit kao sekundarna sirovina dobijena u procesu proizvodnje cinka je hemijska struktura koja je veoma stabilna i slabo rastvorna u razblaženoj kiselini [1]. Prisutni metali iz jarozita obično se dobijaju Waelz pirometalurškim postupkom. Pirometalurški procesi prerade sekundarnih sirovina cinka i otpadnih taloga iz hidrometalurgije cinka su veoma efikasni, ali podrazumevaju skupa industrijska postrojenja velikog kapaciteta, da bi mogla biti ekonomična. Pri ovim procesima oslobađaju se štetni gasovi koji mogu da imaju ozbiljan uticaj na životnu sredinu. Neki autori prikazali su da se primenom pirometalurških procesa kao što su Waelz i Ausmelt metode troši ogromna količina uglja da bi se obezbedila snaga potrebna za postizanje visoke radne temperature (1100-1300⁰C) [2, 3]. Ove metode nisu ekonomski isplative pa se zbog toga jaroziti obično deponuju.

Postoje mnoga istraživanja u kojima su prikazani različiti postupci tretmana sirovine jarozita. Neki autori, prikazali su postupak luženja kiselinom kao i luženje rastvorom soli (brine leaching) radi ekstrakcije Zn i Pb [4]. Dok su neki autori, razvili postupak mešanja sirovine sa H₂SO₄, prženja, luženja sa vodom i konačno luženje sa NaCl u cilju valorizacije Zn i Pb [5]. U Indiji i

*„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“*



Italiji neki istraživači nameravaju da proizvode građevinske i keramičke materijale sa ovim jarozitom kao što je prikazano u radovima [6–9]. Tako nastaje rizik od zagađenja a ujedno mogu biti izgubljeni dragoceni metali. Izdvajanje olova i srebra luženjem u slanom rastvoru (brine leaching) a zatim precipitacija sa Na_2S radi dobijanja Pb-Ag koncentrata takođe je jedan od predloga autora [10]. Jarogain hidrometalurški postupak prikazuje dobijanje više metala, ali primenom sulfidne precipitacije, rastvaranja u NH_4 rastvoru i vrućoj H_2SO_4 . Rad u ovakvoj agresivnoj sredini ne bi bio bezbedan i može izazvati ekološku štetnost [11].

10. Opis tehničkog rešenja

10.1. Uvod

Proizvodnja cinka u “Zorka” Šabac kompaniji krenula je sredinom 1956 g. Projektovani kapacitet bio je 12.000 t Zn godišnje. Nakon tri rekonstrukcije kapacitet proizvodnje je povećan na 30.000 t cinka/god. Rezerve rude cinka su se sve više iscrpljivale a tokom proizvodnje došlo je do nagomilavanja nus produkta jarozita u količini od oko 300.000 t. Pojavila se zainteresovanost od strane kompanije za valorizacijom skoncentrisanih korisnih metala (Zn, Cu, Pb, Ag i In) iz ove sirovine.

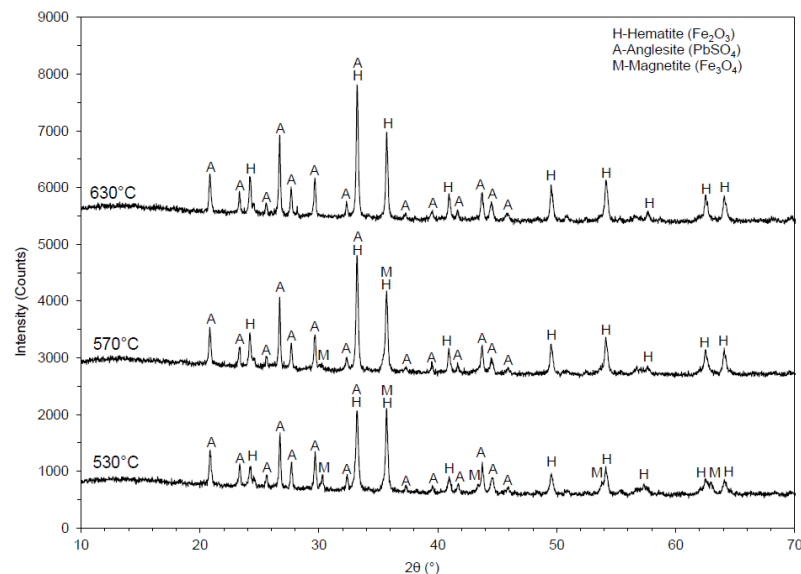
U Fabrici cinka HI „Zorka“ u Šapcu uveden je postupak tretmana jarozita u primarnoj, relativno primitivnoj formi, zbog čega su ostvarena iskorišćenja metala Zn bila relativno niska. Drugi metali prisutni u koncentratima cinka nisu bili predviđeni za industrijsku valorizaciju.

Ideja se javila da se pored cinka, valorizuju i neki od pratećih metala. Koncentrati cinka, pored cinka, u sebi sadrže i čitav niz komercijalno značajnih metala od kojih je jedan indijum. Indijum ne stvara sopstveno mineralno ležište, već se kao pratilac cinka, u hidrometalurškoj proizvodnji cinka, koncentriše u izlaznim talozima tzv. jarozitima kao nusprodukat. Na taj način ovakav nusprodukat predstavlja novi resurs i čini rezervu. Prerada nusprodukta je problem koji se tehničkim rešenjem rešava. Preradom nusprodukta može da se proizvede indijum što povoljno utiče na ukupnu ekonomiju osnovnog procesa, jer je cena ovog metala relativno visoka.

Indijum je značajan metal koji se široko koristi u elektronici, medicini i zdravstvenoj zaštiti, fotoelektronici, kompjuterima itd. To je jedan od pretežno rasejanih metala i nalazi se uglavnom u sfaleritu kao izomorfna nečistoća. Iz tog razloga sfalerit postaje najvažnije sredstvo za dobijanje indijuma koji je potreban za nacionalnu ekonomičnu izgradnju.

10.2. Konceptija prerade jarozita

Prva istraživanja su pokazala da se luženjem jarozita u sumpornoj kiselini dobijaju najbolja izluženja metala Cu, Zn i In. Međutim pored ovako visokih izluženja metala od interesa, dolazi i do visokog izluživanja Fe [12]. Istraživanja su takođe pokazala da precipitacijom Fe sa NaOH nastaje velika masa precipitata. U tako velikoj masi precipitata značajan deo Cu i Zn biva okludovan i zajedno sa Fe istaložen u precipitat kao nepovratni gubitak. Iz tog razloga Jarozit uzorak je podvrgnut procesima prženja. Prženja su vršena na 530⁰C, 570⁰C i 630⁰C. Na slici 1. prikazan je difraktogram prženaca jarozita dobijenih prženjem jarozita na 530⁰C, 570⁰C i 630⁰C.



Slika 1. Difraktogram prženaca jarozita dobijenih prženjem jarozita na „530⁰C“, „570⁰C“ i „630⁰C“

XRD analiza je pokazala da je na 630⁰C gvožđe potpuno prešlo u Fe₂O₃ slika 1., koji je nerastvoran u vodi i slabo rastvoran u kiselinama.

10.3. Opis šeme tehnološkog procesa prerade prženca

Nakon prženja vršena su luženja prženca sa vodom. Najbolja izluženja metala dobijena su prženjem jarozita 4h na 530⁰C a zatim luženjem prženca sa vodom, pri odnosu faza Č:T=1:5, vremenu od t=1h. Pri ovim uslovima dobijen je sulfatni lužni rastvor sa relativno niskim izluženjem gvoždja 9.6% i visokim izluženjem Cu, Zn i In, i to 91.07%, 91.97% i 100% respektivno, što je takođe bio jedan od preduslova za prihvatanje uslova pri kojima bi se sirovina jarozita tretirala.

Roasting time 4 h		Leaching with H ₂ O (S:L=1:5), t = 1 h and pH after leaching	Extent of leaching				
Sample mass (g)	Roasting temperature (°C)		pH	Cu %	Zn %	Fe %	In %
1.	100	530	2.25	91.07	91.97	9.60	100.00
2.	100	570	2.73	72.74	74.23	1.30	37.91
3.	100	630	4.97	42.87	71.10	0.51	0.08

U poređenju sa izmerenim pH rastvora dobijenih u eksperimentima 2 (pH = 2,73) i 3 (pH = 4,79), može se primetiti da je u eksperimentu 1 bilo dovoljno kiseline za izvođenje procesa luženja; drugim rečima, kiselina nije potrošena. Razlog većeg stepena ispiranja In, Cu i Zn tokom procesa prženja na niskim temperaturama je taj što su ostali u obliku sulfata koji se lako izlužuju u vodi, dok je gvožđe prešlo u hematit, koji je praktično nerastvorljiv. Dodatno, u eksperimentu 1, pored luženja Cu, Zn i In, dobijeno je više izluženje Fe u poređenju sa eksperimentima 2 i 3, međutim, izluženje Fe je bilo relativno nisko u poređenju sa direktnim luženjem jarozita u sumpornoj kiselini [12]. Merenjem pH nakon luženja rastvorom sumporne kiseline utvrđeno je da nema potrebe za izvođenjem te vrste luženja jer je pH bio niži od 1. Iz tog razloga je odlučeno da se za proces luženja koristi voda. Na osnovu dosadašnjeg iskustva stečenog kroz dugogodišnja istraživanja, odlučeno je da odnos faza Č:T bude 1:5, što je razuman odnos. Odabrano vreme luženja od 1 h je bilo dovoljno jer su sulfati lako rastvorljivi u vodi.

Sulfatni lužni rastvor u kome se nalaze Cu, Zn, Fe i In tretiran je radi razdvajanja prisutnih metala. Tretiranjem sulfatnog rastvora sa NaOH na pH = 3.5–4.5 istaložen je indijum-hidroksid, In(OH)₃, čija je rastvorljivost u vodi vrlo mala (6×10^{-3} g/l) [13]. Zajedno sa indijumom istaloženo je i gvožđe kao Fe(OH)₃. Precipitacija je urađena na pH=4 korišćenjem 1M NaOH. Iz rastvora je istaloženo 94% Fe i 98% In. Na taj način su odvojeni Fe i In u obliku precipitata – taloga, koji sadrži Fe(OH)₃ i In(OH)₃, obogaćenog indijumom. U rastvoru su prisutni bakar i cink u vidu lako rastvornih sulfatnih soli (cinksulfata, i bakarsulfata) čije taloženje sa 1M NaOH kreće tek na pH>4.5.

Hidroksidni talog (precipitat) obogaćen indijumom tretiran je sa razblaženom 50g/L H₂SO₄ na sobnoj temperaturi radi prevođenja indijuma u rastvor. Kiseli rastvor je pažljivo dodavan uz mešanje, do potpunog rastvaranja hidroksidnog taloga. Nakon rastvaranja hemijska analiza je pokazala prisustvo trovalentnog železa u rastvoru. Pošto u procesima cementacije Fe³⁺ nije poželjan potrebno ga je redukcijom prevesti u Fe²⁺. Iz tog razloga prisutno trovalentno železo u rastvoru redukovano je do dvovalentnog sa SO₂ gasom. Nakon redukcije kiselost rastvora je porasla a kako se proces cementacije odvija na pH=2, bilo je potrebno podesiti pH vrednost. Dodavanjem rastvora 1M NaOH podešena je pH vrednost. Indijum je iz sulfatnog

*„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“*



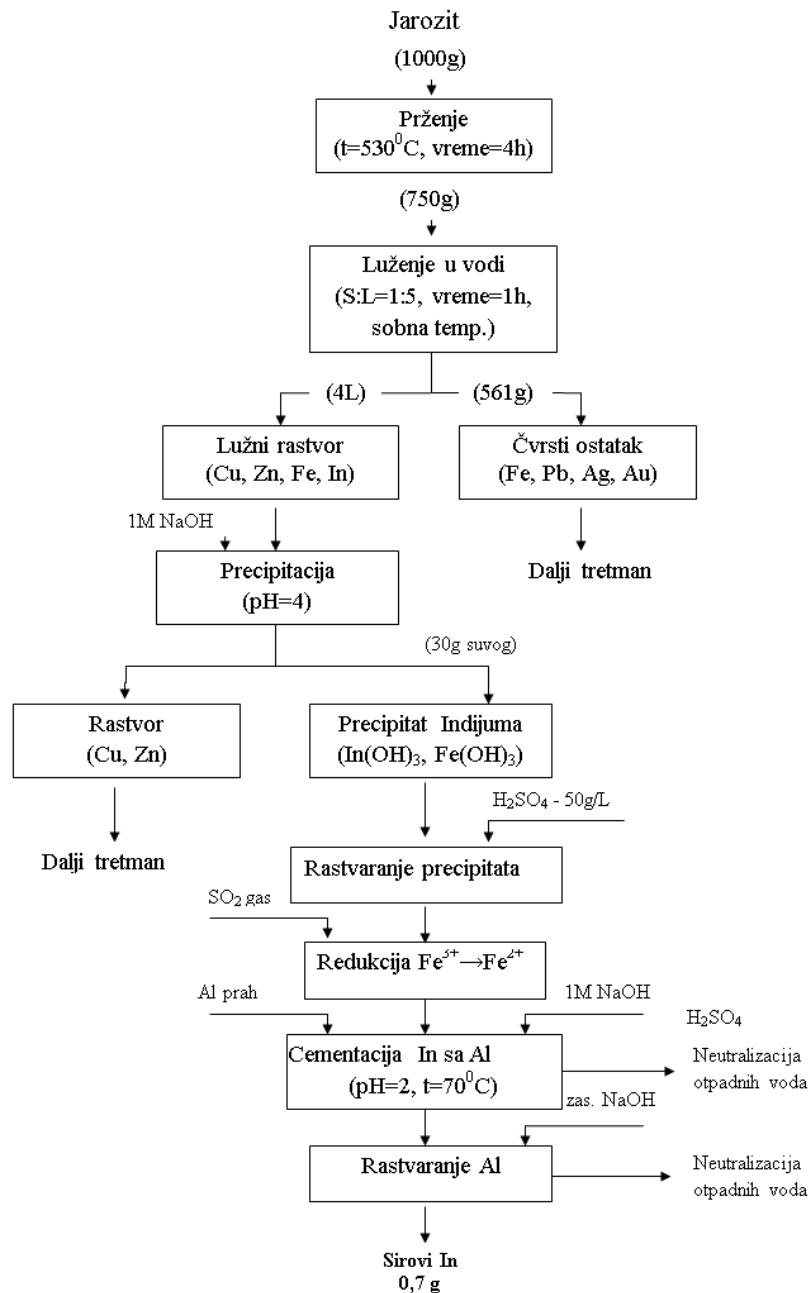
rastvora tretiran postupkom cementacije, tj. procesom u kojem se elektronegativniji metal oksidiše i prelazi u rastvor, a elektropozitivniji metal se redukuje i taloži iz rastvora. Za cementaciju indijuma obično se upotrebljava cinkov prah. U našim eksperimentima korišćen je Al-prah.

Cementacija In sa Al u prahu izvršena je na povišenoj temperaturi ($t=70^{\circ}\text{C}$).

Cementacija je rađena na povišenoj temperaturi, radi povećanja efikasnosti i brzine procesa cementacije. Nakon završene cementacije (što je utvrđeno analizom sadržaja In u rastvoru pre i posle cementacije), cementni talog je isfiltriran i ispran vodom. Filtrat zajedno sa ispirnim vodama se dalje neutralise do $\text{pH}=7$. Cementacija In sa Al odvija se prema reakciji (1):



Cementacija je izvršena sa Al jer je veoma jednostavno razdvojiti Al od In. Nakon cementacije izvršeno je rastvaranje Al sa zasićenim rastvorom NaOH pri čemu je In izdvojen u talogu kao sirovi In. Dobijeni sirovi In je isfiltriran i ispran vodom. Filtrat zajedno sa ispirnim vodama se dalje neutralise do $\text{pH}=7$. Sirovi indijum nije čist, već je to indijumov koncentrat, mešavina cementacionog mulja indijuma i drugih metala (kadmijuma, bakra). Koncept metodološkog pristupa prerade jarozita u cilju dobijanja In dat je na slici 2. Dobijeni sirovi indijum sadrži 49.66% indijuma i prikazan je na slici 3.



Slika 2. Šematski prikaz tehnoloških operacija dobijanja sirovog indijuma

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
 Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“

10.4. Prikaz dobijenog proizvoda sirovog Indijuma



Slika 3. Sirovi indijum dobijen u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru

10.5. Zaključak

Indijum iz jarozitnog otpada je dobijen kroz sledeće glavne faze tretmana:

- prženje jarozita 4h, na 530⁰C radi prevođenja sulfata gvožđa u nerastvorni hematit
- luženje 1h u vodi, na sobnoj temperaturi pri odnosu faza Č:T=1:5 u cilju izluživanja In
- precipitacija In iz lužnog rastvora na pH=4 sa 1MNaOH
- rastvaranje precipitata sa razblaženom sumpornom kiselinom i cementacija In iz rastvora sa Al.
- rastvaranje Al sa zasićenim NaOH radi dobijanja sirovog In.

Ovo tehničko rešenje pokazuje da se kombinacijom niskotemperaturnog prženja i luženja može dobiti In iz jarozitnog mulja hidrometalurgije cinka. U poređenju sa istraživanjima mnogih autora ovaj predloženi tehnološki proces nije samo efikasan, već isplativ i ekološki prihvatljiv.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“



11. Tehnička dokumentacija

11.1. Validan dokaz o primeni tehničkog rešenja

11.1.1. Rad u časopisu „Minerals“ kategorije M22

13

11.1.2. Ugovor i Aneks ugovora o poslovno-tehničkoj saradnji između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i kompanije Zorka Šabac-Metal recovery d.o.o. Beograd i Izvod iz banke o uplati

29

11.1.3. Dokaz o primeni tehničkog rešenja

30

11.2. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja

52

11.1.1. Rad u časopisu „Minerals“ kategorije M22



Article

Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1)

Miloš Janošević¹, Vesna Conić^{1,*}, Dragana Božić¹, Ljiljana Avramović¹, Ivana Jovanović¹,
Željko Kamberović² and Saša Marjanović³

¹ Mining and Metallurgy Institute Bor, Zelena Bulevar 35, 19210 Bor, Serbia

² Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11120 Belgrade, Serbia

³ Technical Faculty in Bor, University in Belgrade, Vojke Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia

* Correspondence: vesna.conic@irmbor.co.rs; Tel.: +381-63-1628-224

Abstract: The processing of zinc ore using hydrometallurgical methods leads to the formation and accumulation of a by-product called jarosite, which contains concentrated precious metals. In this study, we propose the recovery of In and its separation from Cu, Zn, Fe, Pb, and Ag. This study also presents a proposal for a new technological procedure for jarosite treatment. First we roasted the jarosite, and then the calcine collected was leached in water. The leaching extraction values obtained for Cu, Zn, Fe, and In were 91.89%, 91.99%, 9.60%, and 100.0%, respectively. Following the leaching of the roasted material in water, Pb, Ag, and most of the Fe obtained remained in the solid residue. The leaching solution was treated further by a precipitation process using NaOH, where In and Fe were precipitated and consequently separated from Cu and Zn. The In(OH)₃ and Fe(OH)₃ precipitates were dissolved further in a diluted H₂SO₄ solution, and then the cementation of In with Al was performed. We used HCl acid to remove Al from the In, after which unwrought In was obtained.

Keywords: hydrometallurgy; jarosite treatment; roasting; water dissolution (water leaching); precipitation; indium recovery



Citation: Janošević, M.; Conić, V.; Božić, D.; Avramović, L.; Jovanović, I.; Kamberović, Z.; Marjanović, S. Indium Recovery from Jarosite Pb–Ag Tailings Waste (Part 1). *Minerals* **2023**, *13*, 540. <https://doi.org/10.3390/min13040540>

Academic Editors: Rajesh Kumar Jyothi, Nawshad Haque, Mohan Yellishetty and Usang Niyaman Yu

Received: 4 March 2023

Revised: 5 April 2023

Accepted: 5 April 2023

Published: 12 April 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Minerals **2023**, *13*, 540. <https://doi.org/10.3390/min13040540>

<https://www.mdpi.com/journal/minerals>

1. Introduction

Increased ore-processing activity and the demand for metals worldwide have inevitably led to the depletion of high-grade ore resources. The new challenges faced by the industry, in terms of the economic and sustainable exploitation of complex low-content ore deposits, are the subject of research being conducted by many scientists to date [1,2].

In addition to zinc, zinc concentrates also contain several commercially important metals, one of which is indium. This metal does not occur in its own mineral deposit, but rather as a companion with zinc. During the hydrometallurgical production of zinc by roasting, leaching, and electrolytic extraction processes, indium is concentrated in the output sediments of so-called jarosite as a by-product [3,4]. Thus, the by-product creates a new resource and forms a reserve [5,6]. In Serbia, this by-product occurs throughout a large area of the country, the processing of which, in addition to Cu, Zn, Pb, Ag, and Au, can also produce indium, which favorably affects its overall economic value, since the price of these metals is relatively high [7,8].

Jarosite, as a newly formed mineral, is very stable and poorly soluble in diluted acid [9]. The accompanying zinc metal collected from jarosite is usually obtained using the Waelz pyrometallurgical process. The pyrometallurgical methods of processing the secondary raw materials and waste sludge produced by zinc hydrometallurgies are very efficient; however, they involve the use of expensive, high-capacity industrial plants in order to be economical. These processes release harmful gases that can have a serious impact on the environment. Some authors have shown in the literature that the application of pyrometallurgical processes, such as the Waelz and Ausmelt methods, expends a considerable amount of coal to provide the power required to attain a high operating temperature (1100–1300 °C) [10,11].

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb–Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“

These methods are not economically viable in the industry; therefore, jarosite is usually deposited as a waste product.

Additionally, in a study conducted by a group of authors [12], the processes of treating Pb-Ag jarosite sludge using magnetic separation, flotation, and melting are presented. From the results, it can be concluded that none of the applied procedures produced satisfactory results because it was not possible to achieve metal selectivity.

There are several studies that present different procedures useful for the treatment of jarosite-rich raw materials. Some authors have shown the processes of acid and brine leaching for the extraction of Zn and Pb [13], whereas other authors successfully developed a mixing process using H_2SO_4 , roasting, water leaching, and finally leaching with NaCl to obtain Zn and Pb [14]. In India and Italy, some researchers, at present, intend to produce construction and ceramic materials with jarosite [15–18]. This activity creates a risk of environmental pollution, and valuable elements can be lost in the process. The extraction of lead and silver using brine leaching and then Na_2S precipitation to obtain the Pb-Ag concentrate is also one of the methods proposed by the authors [19]. The Jarogain hydrometallurgical process produces additional metals; however, it requires sulfide precipitation, dissolution in the NH_4 solution, and hot H_2SO_4 . Working in such an aggressive environment is unsafe and can lead to environmental damage.

Data from the literature show that liquid extraction enables the isolation and separation of almost all metals with high efficiency and selectivity [20]. Moreover, these data also show that using amino acids to conduct the extraction process requires a long time to establish an extraction equilibrium in the form of stable complexes, and the amino acids produced are toxic. They accumulate in the environment and are not readily biodegradable. The use of oxime and azomethine for the extraction of heavy metals, especially those present in multimetallic solutions, showed that the extraction was not complete.

Our study also incorporated the SX extraction process; however, since high selectivity and utilization parameters were not achieved, we did not conduct additional tests. In addition, extraction was used for an unlimited quantity of raw materials that can be exploited for many years. Since the extractants used in the research are very expensive, we decided to continue the research by adopting the classic hydrometallurgical treatment method. Since the jarosite used in the study was not formed naturally, but as a by-product during the production of Zn, its quantity was limited because the production of Zn was terminated. For such a limited quantity of the product, the extraction procedure using organic extractants was expensive, and the hydrometallurgical procedure we utilized presented good selectivity and relatively high utilization properties.

Indium is an important metal that is widely used in the fields of electronics, medicine and healthcare, photo-electronics, and computers. It is predominantly one of the most widely dispersed metals and is found mainly in sphalerite as an isomorphous impurity. For this reason, sphalerite is the most important source of indium, which is required for improving the national economy [21].

To successfully produce a very pure form of indium, such as that used in the semiconductor industry, the following raw-metal-refining processes were used: chemical, electrolytic refining, vacuum distillation, and zonal refining.

Chemical purification processes, in which indium is obtained with only 10⁻³%–10⁻⁴% impurities, include (a) melting under a layer of sodium hydroxide, where, at 320–350 °C, most of the remaining zinc, aluminum, lead, and tin obtained from indium are converted into sodium hydroxide slag; (b) melting under a layer of ammonium chloride and glycerin where, at 160–170 °C, impurities with affinities closer to chlorine than indium (zinc, cadmium, iron) are converted into chlorides; and (c) melting under a layer of potassium iodide and glycerin, where indium is purified from cadmium and thallium, which form very stable iodides [22].

Ordinary electrolytic refining processes using unwrought indium anodes are generally performed in weakly acid chloride solutions, which usually contain 40–60 g/L In and 30–80 g/L NaCl. Sheets of pure indium, aluminum, or titanium, on which indium is

deposited, can serve as cathodes. This process can produce indium that does not contain more than $10^{-4}\%$ of any impurities [23].

Amalgam refining occurs in a three-part electrolyzer with a mercury bipolar electrode. The unwrought indium at the anode first becomes an electrolyte and then forms an amalgam on a mercury cathode. In the middle space, the amalgam is decomposed anodically and then indium is converted back into an electrolyte. These amalgamations and dissolutions are repeated until indium, cleansed of any impurities, finally settles on the platinum. This procedure produced a product containing 99.999% indium [24].

The vacuum-refining process conducted at 600–900 °C and 1.3×10^5 Pa pressure removes any evaporable impurities, such as zinc, cadmium, and mercury [25].

The zonal-refining process is usually used in the final stage of obtaining a high-purity form of indium. In this way, nickel, silver, and copper can be almost completely removed; however, this method is not suitable for the removal of lead, cadmium, and zinc [26].

This paper describes a hydrometallurgical method for processing jarosite Pb–Ag tailings waste. The present study presents the possibility of separating the metals and obtaining commercial, unwrought In. Jarosite + Pb–Ag sludge, obtained from the Elixir Zorka factory in Šabac, Serbia, is the residue produced by hot-acid leaching. The product is obtained by using traditional refining technology to obtain zinc, where, in addition to Pb–Ag precipitates, jarosite is also obtained. The jarosite + Pb–Ag sludge obtained from the factory, presented in Figure 1, was the residue produced by the hot-acid leaching process. It was obtained according to the traditional refining method used to obtain zinc, where, in addition to Pb–Ag precipitates, jarosite was also obtained.



Figure 1. View of jarosite waste tailings at the Elixir Zorka Šabac factory.

2. Materials and Methods

The sample of jarosite tailings waste used in this study was a by-product collected from the Elixir Zorka Šabac factory. The sample was homogenized, dried, and re-homogenized, followed by exposure to granulometric, mineralogical, SEM-EDS, and chemical analyses.

Analytical Determinations

The solution acidity was measured using a combined pH electrode produced in Germany. Zinc, copper, and iron present in the solution were measured by absorption spectrometry (PerkinElmer 403, USA). The concentration of indium in the solution was determined by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES; Spectro Arcos model) manufactured in Germany. X-ray diffraction (XRD) analysis was performed on a Rigaku MiniFlex 600 instrument produced in Japan with a D/teX Ultra 250 high-speed detector and an X-ray tube with a copper anode. The recording conditions were the following: angle range: 3° – 90° , step: 0.02° , and recording rate: $10^{\circ}/\text{min}$. The X-ray tube's voltage was 40 kV and the current was 15 mA. Mineral identification was performed using PDXL 2 Version 2.4.2.0 software, and the diffractograms we obtained were compared to the data obtained from the ICDD database (PDF-2 Release 2015 RDB). The detection limit for the XRD analysis was approximately 1%. The elemental analyzer LECO CHN 628, produced in the USA, was used to determine the presence of N_2 , C, and H_2 in the jarosite sample. Thermogravimetric analysis was performed using an SDT Q600 V20.9 Build 20 instrument (Milford, MA, USA), with the temperature ranging from

25 to 700 °C. TGA analysis was performed in a stream of nitrogen with a flow rate of 100 mL/min and heating value of 10 °C/min using a ceramic pot. Particle size distribution measurement of the jarosite sample was performed using an optical laser particle size analyzer (MASTERSIZER 2000, Hydro2000MU) produced in the United Kingdom, which could determine grain sizes ranging from 20 nanometers to 100 microns. For the analysis of the samples, a scanning electron microscope (JSM IT 300 LV (JEOL, Japan)) was used, which can function in both low- and high-vacuum conditions, achieving high image resolutions with magnifications of up to 300,000× by using a tungsten filament as an electron source (cathode). The microscope was equipped with a detector for the secondary electrons (SEDs) and backscattered electrons (BEDs), and with a modern energy-dispersive spectrometer (EDS).

3. Results and Discussion

3.1. Grain Size Distribution of the Jarosite Sample

The particle size distribution measurement of the jarosite sample was performed on an optical laser particle size analyzer. The sample was measured three times and the average value of the three measurements was used as the final result. The particle size distribution of the jarosite sample is presented in Figure 2.

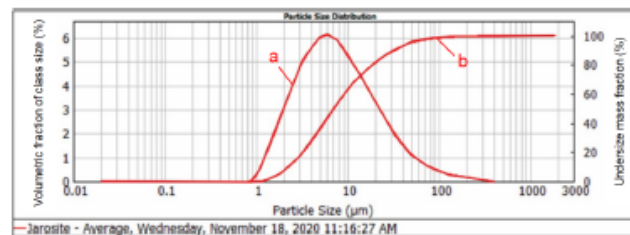


Figure 2. Graphical presentation of the identified size classes and particle size distribution of the jarosite sample: (a) incremental (direct) curve values that correspond to the left axis; (b) undersize distribution curve values that correspond to the right axis.

It can be observed from the graph that the size class of 31.467 µm is represented by 90%, the size class of 7.258 µm is represented by 30%, and the size class of 2.307 µm is represented by 10%.

It can also be observed in Figure 2 that a fine jarosite size was obtained as an intermediate during the production of zinc. This fine size of jarosite does not need to be exposed to additional crushing or pulverizing for further treatment.

3.2. Mineralogical Composition of the Jarosite Sample

The XRD pattern obtained for the jarosite sample is presented in Figure 3. The XRD of the pulverized samples was performed prior to and following the roasting process of the jarosite.

The diffractogram produced by the XRD analysis of the jarosite tailings waste sample is presented in Figure 2. The following minerals were identified in the sample: (a) jarosite, in the form of $(KFe_3(SO_4)_2(OH)_6)$ and/or $(NH_4Fe_3(SO_4)_2(OH)_6)$; (b) magnetite (Fe_3O_4); and (c) anglesite ($PbSO_4$). Jarosite and magnetite were the most prevalent minerals in the sample, while anglesite was less abundant. For the analyzed sample of jarosite, the peaks of potassium jarosite and ammonium jarosite matched each other because their angles also matched one another; therefore, these minerals presented the same crystal structures.

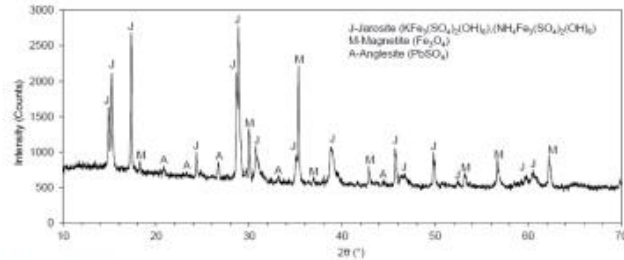


Figure 3. Diffractogram of the jarosite tailings waste sample.

3.3. SEM-EDS Analysis

SEM-EDS analysis was performed on the jarosite sample. Figure 4 presents the SEM images (a: SED image; b: BED) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification at two different positions.

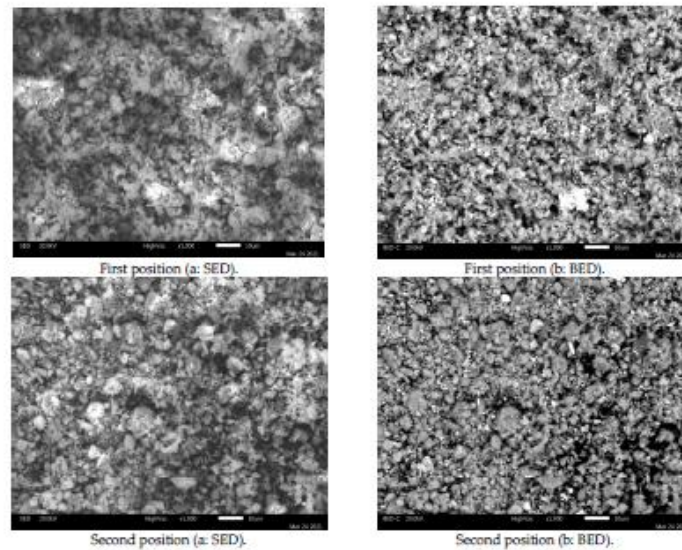
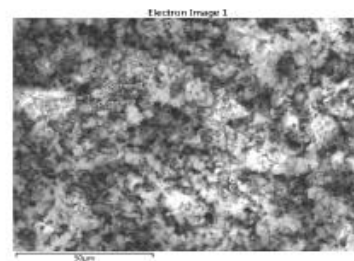


Figure 4. SEM (a: SED; b: BED) images of the jarosite sample recorded at 1000× magnification at two different positions.

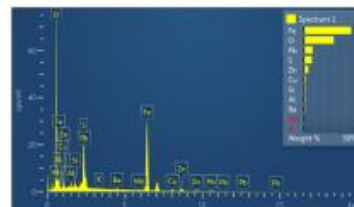
Clearly visible in the SEM images is that most particles range between approx. 1 and 10 μm in size, with a few exceeding 10 μm . The results of the SEM analysis are in good agreement with the laser diffraction grain size analysis results, when considering the difference between the volume fraction (obtained using the laser-diffraction method) and numerical frequency (observable when using SEM).

The BED images, acquired in the compositional mode, present a distinct domination by a single mineral phase: jarosite (observe EDS spectra in Figures 5 and 6). However,

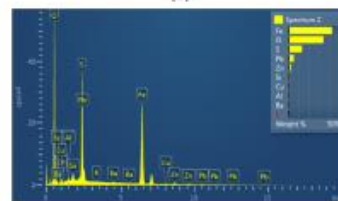
numerous bright particles can be observed in these images corresponding to magnetite and anglesite, the two phases also identified by XRD analysis. Moreover, a few dark particles are evident in the images, corresponding to silicate residuum.



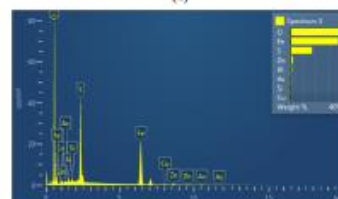
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5. EDS image (a) with EDS spectra (b–d) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification, first position.

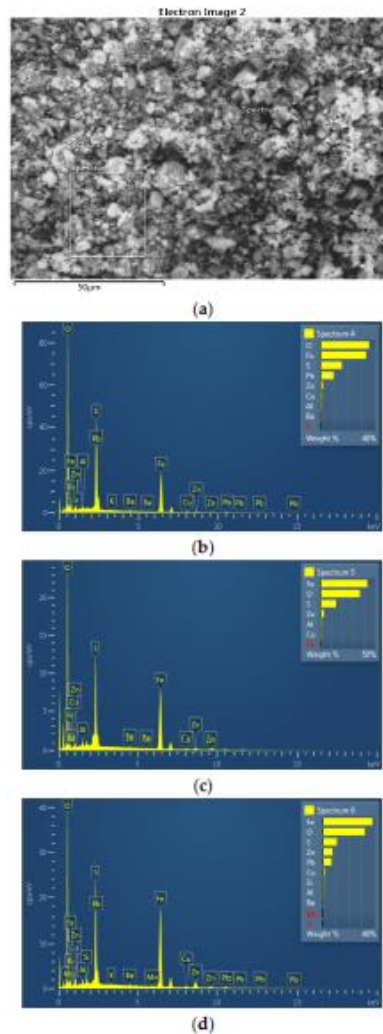


Figure 6. EDS image (a) with EDS spectra (b–d) of the jarosite sample recorded at 1000× magnification; second position.

Jarosite occurs in generally irregular, tabular, and pseudo-cubic crystals, unevenly fractured and frequently rounded. The presence of well-developed hexagonal crystals, revealing its true hexagonal scalenohedral symmetry, is quite rare.

Based on the SEM EDS analysis of the jarosite sample, it can be observed in Table 1 that the jarosite sample contains 33.35% to 45.97% iron, 0.65% to 1.48% copper, 5.11% to

9.85% lead, and 2.04% to 7.44% zinc, in the form of oxides and sulfates. Indium and silver were not detected when using the EDS method of analysis because their content in the sample was less than the detection limit.

Table 1. EDS analysis of jarosite sample recorded at 1000× magnification (Figures 4 and 5).

	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4	Spectrum 5	Spectrum 6
O (%)	28.95	34.25	39.29	35.88	36.21	32.22
Al (%)	1.14	0.66	1.11	0.94	1.38	0.86
Si (%)	1.14	0.81	0.65	-	-	0.93
S (%)	7.50	12.91	17.15	15.92	14.39	11.07
K (%)	0.11	0.07	-	0.12	-	0.10
Mn (%)	0.22	-	-	-	-	0.29
Fe (%)	45.97	42.72	38.24	33.35	42.81	38.19
Cu (%)	1.48	0.74	0.65	1.19	1.31	1.43
Zn (%)	4.22	2.09	2.08	2.04	3.15	7.44
As (%)	-	-	0.83	-	-	-
Ba (%)	0.90	0.64	-	0.71	0.75	0.71
Pb (%)	8.37	5.11	-	9.85	-	6.76
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

“-” indicates that there are no values of those elements in those spectrums.

3.4. Chemical Analyses

The chemical analysis of jarosite is presented in Table 2.

Table 2. Element content values (wt% dry basis) for the jarosite sample.

Element	Cu %	Zn %	Fe %	Ag %	Pb %	In %	S %
Content	0.7	5.39	30.61	0.034	5.68	0.034	9.61

3.5. Jarosite Roasting

Previous research has shown that the leaching of jarosite in 15% H₂SO₄ under the conditions of 90 °C, 6 h, and S:L = 1:10 produces the best leaching results for Cu, Zn, and In, namely, 93.76%, 91.64%, and 97.59%, respectively [27]. However, in addition to this high leaching capacity of the metals of interest, the leaching of Fe over 80% also occurs. Studies have also shown that the precipitation of Fe with NaOH produces a large mass of precipitates. When this occurs, a significant amount of Cu and Zn is occluded and, together with Fe, settles in the precipitate as an irreversible loss. For this reason, the jarosite sample was subjected to roasting processes.

3.5.1. Roasting Pb–Ag Jarosite Sludge

XRD analyses for each roasted sample were performed to determine the relevant decomposition effect. Diffractograms, obtained by the XRD analysis of a sample roasted at 530, 570, and 630 °C, are presented in Figure 7.

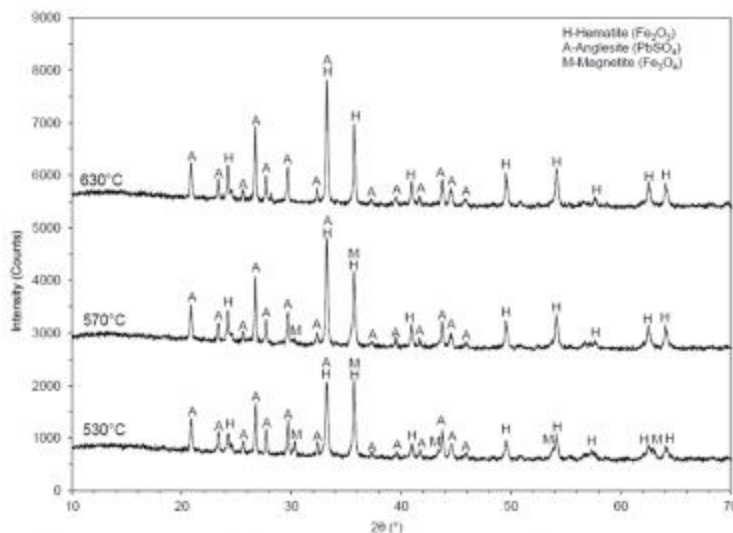


Figure 7. Diffractogram of calcined jarosite samples at 530, 570, and 630 °C.

A diffractogram obtained from XRD analysis of the jarosite sample roasted at 570 °C is presented in Figure 6. In this sample, the following minerals were identified: hematite (Fe_2O_3), anglesite (PbSO_4), and magnetite (Fe_3O_4). Hematite was the most common mineral identified in the sample, anglesite was less evident, while magnetite was the least evident. By comparison, the magnetite peak intensities presented in the diffractograms of the samples at 530 and 570 °C showed that the presence of magnetite in the jarosite sample roasted at 570 °C was less than in the sample roasted at 530 °C.

A diffractogram obtained from XRD analysis of a sample roasted at 530 °C is presented in Figure 6. In this sample, hematite (Fe_2O_3) and anglesite (PbSO_4) were identified. Hematite was the more common mineral in the sample, while anglesite was less evident. The XRD analysis showed that, at 630 °C, iron was completely transformed into Fe_2O_3 .

With increasing roasting temperature the sulfate decomposed, releasing SO_2 that entered the atmosphere and thus reduced the acidity in the environment; therefore, the metal leaching activity was reduced (Table 3). According to the data, the sulfates of some metals, as well as sulfuric acid, decompose when exposed to the following temperatures [28]:

CuSO_4	500–600 °C
ZnSO_4	740 °C
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	480 °C
$\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$	600 °C
H_2SO_4	338 °C

At temperatures higher than 480 °C, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ decomposes and transforms into FeO , and by increasing the temperature to 630 °C, Fe_3O_4 and Fe_2O_3 completely transform into Fe_2O_3 , which is insoluble in water and slightly soluble in a weak sulfuric acid solution. Here, the separation of iron from other metals can be achieved by leaching.

Table 3. Conditions for the jarosite roasting and leaching process.

Roasting Time 4 h		Leaching with H ₂ O (S:L = 1:5), t = 1 h and pH after Leaching		Extent of Leaching			
Sample Mass (g)	Roasting Temperature (°C)	pH	Cu %	Zn %	Fe %	In %	
1. 100	530	2.25	91.07	91.97	9.60	100.00	
2. 100	570	2.73	72.74	74.23	1.30	37.91	
3. 100	630	4.97	42.87	71.10	0.51	0.08	

After the roasting stage, the material was leached in water. Table 3 displays the roasting and leaching conditions for the experiments we performed, presenting only those that provided the best recovery of metals.

It can be observed in Table 3 that the best leaching result for the metals is obtained after roasting the jarosite at a temperature of 530 °C under a roasting time of 4 h and leaching the roasted material in water, where 91.07%, 91.97%, and 100.00% of Cu, Zn, and In were leached separately. It can also be observed from the results that in experiment 1, following the roasting of jarosite at 530 °C and the leaching of the roasted material in water under the conditions of S:L = 1:5 and a leaching time 1 h, the measured pH of the solution after leaching was 2.25. Compared with the measured pH of the solutions obtained in experiments 2 (pH = 2.73) and 3 (pH = 4.79), it can be observed that in experiment 1, there was sufficient acid to perform the leaching process; in other words, the acid was not spent. The reason for the greater degree of In, Cu, and Zn leaching during the roasting process at low temperatures was that they remained in the form of sulfates that are easily leached in water, while the iron was transformed into hematite, which is virtually insoluble. Additionally, in experiment 1, in addition to the leaching of Cu, Zn, and In, the increased leaching activity of Fe was obtained in comparison to experiments 2 and 3; however, Fe leaching activity was relatively low compared to the direct leaching of the raw jarosite in sulfuric acid [27]. Since the jarosite sample was obtained as a by-product during the zinc production process by the conventional electrolytic refining process, it is well known from the literature that focuses on the structure of sulfate minerals. Extensive research on the leaching process in both acid and water, separately, has been conducted. By measuring pH after leaching, it was determined that there was no need to perform leaching in acid because the pH was lower than 1. For this reason, we decided to use water for the leaching process. Based on the previous experience gained through long-term research, it was decided that the S:L ratio should be 1:5, which is a reasonable ratio. The selected leaching time of 1 h was sufficient because sulfates are easily soluble in water.

The degree of metal leaching ξ (%) was calculated according to the following equation:

$$\xi = \frac{\sum Me_{kac.sol}}{Me_{calcine}} \times 100\%, \quad (1)$$

where ξ is the mass of the metal $Me_{kac.sol}$ (g) that was transferred into the solution by leaching.

$$\sum Me_{kac.sol} = C_{Me} (g/L) \times V (L), \quad (2)$$

where C_{Me} (g/L) is the concentration of the metal in the solution obtained by chemical analysis, and V (L) is the volume of the leaching solution. $Me_{calcine}$ (g) is the mass of the metal in the initial calcine solution, which is calculated according to the following equation:

$$Me_{calcine} = C_{Me_{calcine}} (\%) \times m_{calcine} (g) / 100\%. \quad (3)$$

$C_{Me_{calcine}}$ (%): metal concentration in calcine.

m_{calcine} (g): the mass of calcine for leaching.

Table 4 presents the metal content in the solution following the leaching of calcine, on the basis of which the metal leaching activity was calculated.

Table 4. Metal concentrations in the leaching solution.

Cu (g/L)	Zn (g/L)	Fe (g/L)	In (g/L)
0.63	4.95	2.93	0.034

3.5.2. TGA Analyses of Jarosite Pb–Ag Sludge

Figure 8 presents the thermogravimetric analysis of jarosite Pb–Ag sludge. The TGA curve shows that the sample is thermally stable up to 260 °C. In the temperature range 260–610 °C, a loss of mass in the sample was detected during two steps. It could be observed that a more significant mass loss from the sample started at 430 °C and was almost complete at a temperature of 610 °C, amounting to approximately 25%, and at higher temperatures it increased to 34.83%.

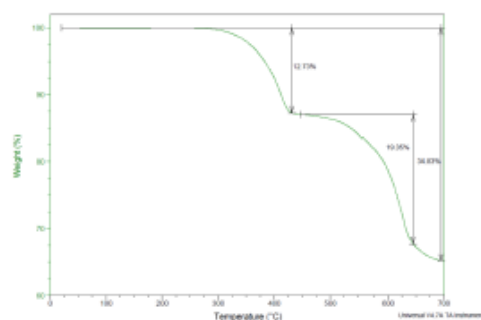
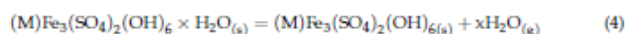


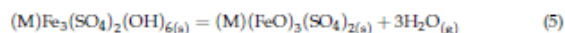
Figure 8. TGA curve of jarosite Pb–Ag sludge.

The mechanisms of thermal decomposition and dissociation occur in four stages:

1. Up to 120 °C (loss of absorbed water)

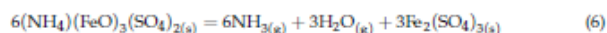


2. At 120–260 °C (dihydroxylation, loss of OH[−])



(M) present in jarosite can be NH₄, K, Na, Pb.

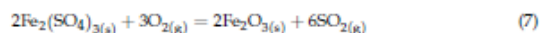
3. At 260–389 °C (loss of ammonia and water)



This equation represents a loss of ammonia and water.

4. At 465–610 °C (loss SO₂)

This equation represents the overall decomposition equation for iron sulfate.



This equation represents the loss of sulfur dioxide from iron sulfate.

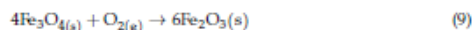
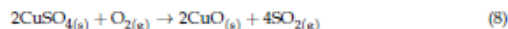
At temperatures up to 120 °C for reaction 1, the moisture present in the sample evaporated, the mass loss was almost negligible, and it coincided with the TGA curve.

At 260–389 °C for reaction 3, the theoretical mass loss related to the loss of ammonia and water presented small deviations in relation to the TGA curve.

At 465–610 °C according to reaction 4, there were also certain deviations of the theoretical values from the results presented by the TGA curve.

Ammonium jarosite was stable up to 260 °C, after which there was a loss of structurally connected water, followed by a loss of ammonia and water at 389 °C and sulfur dioxide at temperatures higher than 465 °C.

Possible reactions during roasting include



Destruction reactions of other sulfates, such as zinc and lead sulfates, occurred at temperatures of 740 °C and more than 1000 °C, respectively; therefore, they were not considered for this study because we were only interested in roasting at a temperature of 530 °C.

In the sample of ammonium jarosite, a subsequent analysis determined the contents of N₂—1.315%, C—0.126%, and H₂—1.670%, which confirmed the XRD analysis result that confirmed the presence of ammonium jarosite.

The total mass loss for up to 610 °C according to the TGA curve and the results obtained in the experiment during the drying of the ammonium jarosite sample was approximately 25%; however, there is a slight discrepancy in the theoretically calculated values we obtained based on the assumed reactions that occurred in the system during the drying process.

The loss of mass during roasting at temperatures higher than 610 °C was not important to us for these investigations because at higher temperatures, and as can be observed in reaction 4, there was a significant increase in the formation of SO₂, which indicates a loss of sulfur that was required for the additional leaching of sulfate compounds in the water.

3.6. Leaching of the Roasted Jarosite Sample

After roasting the sample, leaching with water was performed. The best leaching result for the metals was obtained by jarosite roasting for 4 h at 530 °C and then the leaching of the roasted material with water. In experiment 1 (Table 1), a sulfate solution was obtained with a relatively low iron leaching value of 9.6% and high leaching values of Cu, Zn, and In, namely, 91.07%, 91.97%, and 100%, respectively; this is also one of the prerequisites for accepting the conditions in which the raw material of jarosite would be treated.

3.7. Treatment of the Sulfate Solution

The sulfate solution containing Cu, Zn, Fe, and In was treated to separate the metals present. During the precipitation phase, the pH level was controlled and maintained at 4. By applying this pH, selectivity was achieved in terms of separating Cu and Zn from Fe and In. Fe and In were precipitated in the form of hydroxides. The precipitation of Cu and Zn occurred at a pH greater than 4.5; therefore, Cu and Zn remained in the solution. Copper and zinc were present in the solution in the form of easily soluble sulfate salts (zinc and copper sulfates). The treatment of the sulfate solution with NaOH produced indium hydroxide, In(OH)₃, in the form of a precipitate. The solubility of In(OH)₃ in the water was very low at (6 × 10⁻³ g/L) [29]. In addition to indium, iron was deposited as Fe(OH)₃. Precipitation was carried out by using 1 M NaOH, where 94% Fe and 98% In were precipitated from the solution. In this way, Fe and In were separated in the form of precipitate enriched with indium, which contained Fe(OH)₃ and In(OH)₃.

The treatment of 100 g of the Pb-Ag jarosite sample by roasting, leaching, and precipitation processes produced approximately 3 g of dry precipitate, which means that In was concentrated 30 times, indicating that 0.9% In was present in the precipitate.

It is well known in the literature that the main sources in the world for obtaining In are intermediate and waste products from the processing of zinc, lead, tin, and other ones. In these raw materials, In is present in amounts as much as 0.001% [30]. It can certainly be concluded that the treated sample is far richer in indium than the usual raw materials from which it is exploited. The percentages of tested metals in the solution after leaching and precipitation processes are presented in Table 5.

Table 5. Percentages of metals in the solution after leaching and precipitation.

Metals	Fe	In
Leaching degree, %	9.60	100.00
Percentage of metal content in solution after precipitation, %	0.61	2.10
Concentration in solution, g/L	2.93	0.034
Concentration of metal content in solution after precipitation, g/L	0.018	0.00071

It can be observed from Table 4 that Fe and In are almost absent from the solution following precipitation, thus indicating nearly complete precipitation. In this way, indium and iron were separated from the basic mass of copper and zinc, which remained in the solution.

The sulfate solution can be treated further to recover Cu and Zn, and a solid leaching residue can be treated further for the recovery of Pb, Ag, and Au.

3.8. Indium Recovery Procedure

The indium-enriched hydroxide precipitate was treated with diluted 50 g/L H₂SO₄ at room temperature to transfer it into the solution. The acid was carefully added and stirred until the hydroxide precipitate was completely dissolved. Following its dissolution, the chemical analysis showed the presence of trivalent iron in the solution. Since Fe³⁺ is detrimental in the cementation process, it must be transformed into Fe²⁺ by reduction [31]. For this reason, SO₂ was used to reduce trivalent iron present in the solution to divalent iron. Following its reduction, the acidity of the solution increased and, as the cementation process occurred at pH = 2, it was necessary to adjust the pH. The pH was adjusted by the addition of 1 M NaOH solution. Indium obtained from the sulfate solution was treated by cementation, i.e., a process in which more electronegative metal is oxidized and transferred into the solution and a greater amount of electropositive metal is reduced and precipitated from the solution.

Zinc powder is commonly used for indium cementation [32]. Al powder was used in our experiments. The cementation of In with Al powder was performed at an elevated temperature (t = 70 °C). Cementation was performed at an elevated temperature to increase the efficiency and rate of the cementation process. After the completion of the cementation, which was determined by the analysis of the In content in the solution prior to and following cementation, the cement sludge obtained was filtered and rinsed with water. The filtrate, together with rinsing water, was neutralized further to pH = 7. The cementation of In with Al occurred according to the following reaction (10):



Cementation was performed with Al due to the very easy separation of Al from In. Following cementation, the dissolution of Al with saturated NaOH solution was performed, in which In was isolated as unwrought In. The unwrought In obtained was filtered and

washed with water. The filtrate, together with the washing water, was neutralized further to pH = 7. The unwrought indium obtained was not pure; however, it produced the desired indium concentrate, a mixture of the cementation sludge of indium and other metals (cadmium and copper).

The unwrought indium contained 49.66% In, 12.62% Cu, 12.88% Fe, 9.40% As, 0.07% Ag, 0.86% Zn, and 14.5% Cd. The methodological approach for processing the jarosite tailings waste with the aim of recovering In is presented in Figure 9.

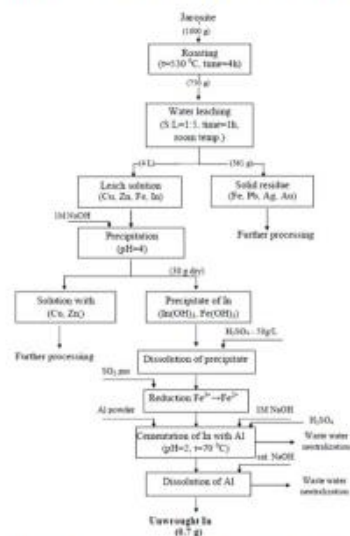


Figure 9. Methodological approach for processing jarosite tailings waste.

4. Conclusions

Indium in jarosite tailings waste was recovered through the following main stages of treatment

- Jarosite roasting to convert iron sulfate into insoluble hematite;
- Leaching in water in order to leach In;
- The precipitation of In from the leaching solution, 1 M NaOH;
- The dissolution of precipitate with dilute sulfuric acid and the cementation of In from solution with Al;
- The dissolution of Al with saturated NaOH, in which In was isolated as unwrought In.

This study showed that the combination of roasting and leaching provided a promising process for obtaining unwrought In. By using methods such as chemical processes, electrolytic refining, vacuum distillation, and zonal refining, it was possible to refine raw indium into high-purity indium. By treating the jarosite sample, a technological procedure for obtaining In, Cu, Zn, Pb, Ag, and Au was developed and presented in the technological schema. In this study (part I), we presented a procedure for obtaining raw In; in part II, a procedure for obtaining commercial products based on other metals was presented. Compared to the research conducted by many authors, our proposed technological process was not only efficient, but can be both cost-effective and environmentally friendly.

Future research should aim to valorize all useful metals from waste to commercial products.

Author Contributions: Investigation, Writing—original draft, Data curation, Visualization, Writing—review and editing, M.J. and V.C., Conceptualization, Methodology, Ž.K., Resources, Validation, Funding acquisition, L.A., Supervision, S.M., Investigation, Data, D.B., Review, I.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The authors would like to thank Elixir Zorka, Serbia, for providing the sample and for their financial support in obtaining a solution to manage this waste; contract number 1061/19.

Data Availability Statement: Data are contained within the article.

Acknowledgments: This work was financially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, Grant No. 451-03-47/2023-01/200052 and 451-03-47/2023-01/200135. The authors wish to thank Nikoli Vuković, the Institute of Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, and Emini Požega and Suzani Dragulović from the Mining and Metallurgy Institute Bor for their assistance while preparing the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

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. [CrossRef]
2. Conić, V.; Rajčić Vujanović, M.; Trujić, V.; Cvetkovski, V. Copper, Zinc, and Iron Bioleaching from a Polymetallic Sulphide Concentrate. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **2014**, *24*, 3688–3695. [CrossRef]
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. [CrossRef]
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. [CrossRef]
7. Stanojević, D.; Filipović-Petrović, L. Doprinosi integrisanog valorizaciji metala u hidrometalurgiji cinka. *Zaštita Mater.* **2014**, *55*, 11–25.
8. Sinadinović, D.; Kamberović, Z.; Šutić, A. Leaching Kinetics of lead from Lead(II) Sulphate in Aqueous Calcium and Magnesium Chloride Solution. *Hydrometallurgy* **1997**, *47*, 137–147. [CrossRef]
9. Kerolić-Mustafa, M.; Čurković, L.; Fajković, H.; Rončević, S. Ecological Risk Assessment of Jarosite Waste Disposal. *Croat. Chem. Acta* **2015**, *88*, 189–196. [CrossRef]
10. Creedy, S.; Glinin, A.; Matusewics, R.; Hughes, S.; Reuter, M. Outotec Ausmelt Technology for Treating Zinc Residues. *World Metal-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, Z.; Gajić, N.; Korać, M.; Jevtić, S.; Sokić, M.; Stojanović, J. Technologically Sustainable Route for Metals Valorization from Jarosite-PbAg Sludge. *Minerals* **2021**, *11*, 255. [CrossRef]
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, E. Recovery of zinc and lead from zinc plant residue. *Hydrometallurgy* **2004**, *75*, 169–176. [CrossRef]
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. [CrossRef]
16. Asokan, P.; Saxena, M.; Asolekar, S.R. Recycling hazardous jarosite waste using coal combustion residues. *Mater. Charact.* **2010**, *61*, 1342–1355. [CrossRef]
17. Pelino, M. Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials. *Waste Manag.* **2000**, *20*, 561–568. [CrossRef]
18. Piscicella, P.; Crisucci, S.; Karamanov, A. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes. *Waste Manag.* **2001**, *21*, 1–9. [CrossRef]
19. Güler, E.; Seyrancı, A.; Cöken, I. Extraction of Lead and Silver from Zinc Leach Residue by Brine Leaching. In Proceedings of the XIIIth International Mineral Processing Symposium, Cappadocia Nevşehir, Turkey, 6–8 October 2010.
20. Yudaev, P.; Chistyakov, E. Chelating Extractants for Metals. *Metals* **2022**, *12*, 1275. [CrossRef]
21. James, S.E.; Watson, J.L.; Peter, J. Zinc Production—a Survey of Existing Smelters and Refineries. *Lead-Zinc* **2000**, *2000*, 205–225.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“



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. [CrossRef]
23. Burkitbayeva, B.; Argimbayeva, A.; Rakhymbay, G.; Avchukiz, K.; Yassibekov, 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 1 January 2020).
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. [CrossRef]
26. Alfantazi, A.M.; Moskalyk, R.R. Processing of indium: A review. *Miner. Eng.* **2003**, *16*, 687–694. [CrossRef]
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. Thermal decomposition of ammonium jarosite $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2006**, *84*, 489–496. [CrossRef]
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. [CrossRef]
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/ty16osti/62409.pdf> (accessed on 7 April 2023).
31. Kangas, P.; Lundström, M.; Orko, I.; Koukkari, P. *The Jaroguin Process for Metals Recovery from Jarosite and Electric Arc Furnace Dust*; VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.: Espoo, Finland, 2017; ISBN 978-951-38-8596-0, ISSN 2242-1211.
32. Rocchetti, L.; Amato, A.; Beolchini, F. Recovery of indium from liquid crystal displays. *J. Clean. Prod.* **2016**, *116*, 299–305. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



11.1.2. Ugovor i Aneks ugovora o poslovno-tehničkoj saradnji između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i kompanije Zorka Šabac-Metal recovery d.o.o. Beograd i Izvod iz banke o uplati



Naručilac, kompanija **METAL RECOVERY d.o.o.**, ul. Knjeginje Zorke br. 2, 11000 Beograd, matični broj: 21035939, PIB: 108622149, koga zastupa Samir Krak u funkciji direktora društva (u daljem tekstu: **Naručilac**)

i
Izvršilac **Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor**, Zelene bulevar br. 35, 19210 Bor, matični broj 07130279, PIB: 100627146, koga zastupa Dr Mile Bugarin, naučni savetnik, u funkciji direktora, (u daljem tekstu: **Izvršilac**), sačinile su sledeći

UGOVOR

PREDMET UGOVORA

Član 1.

Ugovorne strane su postigle saglasnost da će Izvršilac za potrebe Naručioca izraditi: **Prethodnu studiju opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman sirovine PbAg taloga Jarosita iz proizvodnje cinka**, a u svemu prema revidovanoj i usvojenoj Ponudi broj P-154/21-R1 od 19.11.2021. god., koja se daje kao **Prilog 1** ovog Ugovora i čini njegov sastavni deo.

Postrojenje za tretman sirovine PbAg Jarosita taloga je kapaciteta 40.000 t/god referirano na suhu ulaznu sirovinu (projektovano cca 8 godina eksploatacije), locirano u IHP Prahovu, i obuhvata dve glavne tehnološke linije:

- Liniju za pirometalurški tretman PbAg taloga i
- Liniju za hirometalurški tretman prženca.

VREDNOST USLUGA

Član 2.

Ugovorne strane su saglasne da je cena za navedenu uslugu:

90.000,00 EUR

(slovima: **devedesethiljada eura**)

Cena je iskazana u evrima (EUR), dok se plaćanje vrši u RSD, shodno važećim propisima. Cena je data bez uračunatog poreza na dodatu vrednost (PDV).

POČETAK I ROK ZAVRŠETKA RADOVA

Član 3.

Početak posla je definisan potpisivanjem ovog Ugovora, uplatom avansa i dostavom overenog Projektnog zadatka. Raspoloživu tehničku dokumentaciju vezano za lokaciju postrojenja i njegovu infrastrukturu, Investitor će dostaviti na zahtev Izvršioca u toku izrade Projekta.

Kraj posla je definisan završetkom Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman sirovine PbAg taloga Jarosita iz proizvodnje cinka i predajom iste Naručiocu.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarosita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“



Rokovi za završetak posla su:

Sveska I: Generalni projekat: 4 meseca od definisanog početka posla,
Sveska II: Prethodna studija opravdanosti: 1,5 mesec od zajedničkog definisanja tržišta prodaje i
prihodne strane finansijske analize i ocene.

USLOVI, NAČIN I ROKOVI PLAĆANJA

Član 4.

Ugovorene usluge Naručilac će platiti Izvršiocu na sledeći način:

- 20 % od ugovorenog iznosa kao beskamatni avans, na osnovu Avansnog računa u roku od 15 dana,
- 70 % od ugovorenog iznosa progresivno shodno stepenu završenosti posla, na osnovu izdatih mesečnih računa,
- 10 % nakon završetka Prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom u roku od 15 dana od ispostavljanja fakture.

Naplata će se obračunavati u RSD po srednjem kursu NBS za EUR na dan fakturisanja.

PRAVA I OBAVEZE UGOVORNIH STRANA

Član 5.

Izvršilac je dužan da prilikom pružanja usluge, odnosno izrade projektne dokumentacije pokaže dužnu pažnju, da iste izvršava efikasno i ekonomično, pridržavajući se u svemu tehničkih uslova, usvojenih standarda, normi i pravila struke za ugovorenu vrstu usluga.

Naručilac ima obaveze da obezbedi sledeće:

- Neophodne podloge kako je definisano u Članu 3,
- Pristup lokaciji radi eventualnih dodatnih snimanja,
- Definisanje tržišta prodaje i prihodne strane finansijske analize i ocene uz stručnu saradnju Izvršioca.

UGOVORNA KAZNA

Član 6.

Za slučaj kašnjenja sa završetkom posla prouzorkovanog krivicom Izvršioca, Naručilac ima pravo na ugovornu kaznu u visini od 1% od ugovorene cene za svaku nedelju kašnjenja do maksimalnog iznosa od 10% od ugovorene cene.

Zaduženje za ugovornu kaznu, koje Naručilac ispostavlja Izvršiocu mora da sadrži detaljan obračun broja dana u kašnjenju u odnosu na ugovoren, usaglašen termin plan.

RASKID UGOVORA

Član 7.

Naručilac može da raskine ovaj Ugovor uz ostavljanje roka koji ne može biti kraći od 30 (trideset) dana od dana saopštenja otkaza Izvršiocu pisanim putem i to iz sledećih razloga:

- ukoliko Izvršilac grubo krši obaveze predviđene ovim Ugovorom, i iste ne ispravi u roku od 30 (trideset) dana od dana obaveštavanja o nedostacima ili u naknadnom periodu



- ostavljenom od strane Naručioca;
- ako nad Izvršiocem bude otvoren postupak stečaja ili likvidacije;
 - ako, usled dejstva više sile, Izvršilac bude sprečen da pruža usluge u period od 30 (trideset) dana neprekidno.

Izvršilac je ovlašćen da raskine ovaj Ugovor, uz ostavljanje roka koji ne može biti kraći od 30 (trideset) dana od dana saopštenja otkaza Naručiocu pisanim putem i to iz sledećih razloga:

- ako Naručilac ne izvrši plaćanje iznosa po dospelim fakturama ili u naknadnom roku ostavljenom od strane Naručioca;
- ako, usled dejstva više sile, Izvršilac bude sprečen da izvršava usluge u periodu od 30 (trideset) dana neprekidno.

VIŠA SILA

Član 8.

Ukoliko bilo koja Ugovorna strana bude sprečena ili odlaganje njenih obaveza nastupi usled nastajanja događaja i okolnosti koje se ne mogu predvideti i na koje ni jedna strana ne može uticati, odnosno usled razloga više sile, u tom slučaju takva Ugovorna strana neće biti odgovorna za propuštanje da izvrši svoje obaveze po ovom Ugovoru i imaće opravdanje da ne izvršava uredno predmetne obaveze u periodu u kome traje slučaj više sile.

Kontekst „viša sila“ uključuje, ali se ne ograničava na rat, neprijateljstva, akte stranog neprijatelja, invazije, ratu slične operacije, akte terorizma ili građanske neposlušnosti, blokade, građanski rat, loše vremenske uslove, epidemiju zarazne bolesti, zemljotres, poplavu, požar ili drugu prirodnu katastrofu, štrajk, akte državnih organa, zaključavanje ili druge zajedničke radnje radnika, koji pripadaju delatnostima Naručioca i Izvršioca.

Ni u kom slučaju nedostatak finansijskih sredstava ili nemogućnost ispunjenja iz razloga finansijskog statusa bilo koje Ugovorne strane neće predstavljati višu silu na strani takve Ugovorne strane.

Strana koja trpi slučaj više sile dužna je da u roku od 5 dana od njenog nastanka obavesti drugu stranu a u slučaju da dejstvo više sile traje duže od 3 meseca druga strana može raskinuti Ugovor.

Svaka ugovorna strana ima pravo da raskine ovaj Ugovor ukoliko viša sila jednu ugovornu stranu sprečava da izvrši bilo koju svoju obavezu iz ovog Ugovora u periodu dužem od 30 (trideset) dana od trenutka kada je ta ugovorna strana dužna izvršiti predmetnu obavezu.

POVERLJIVOST INFORMACIJA I POSLOVNA TAJNA

Član 9.

Ugovorne strane se obavezuju da tretiraju ovaj Ugovor kao strogo poverljiv i obavezuju se da neće koristiti poverljive informacije u vezi sa ovim Ugovorom za bilo koju drugu svrhu osim ispunjenja obaveza iz ovog Ugovora, te da njegovu sadržinu i druge poverljive informacije neće otkriti bilo kom trećem licu, osim kada je to neophodno za ispunjenje ovog Ugovora i to u obimu koji je neophodan za ispunjenje Ugovora. Ova obaveza se ne odnosi na informacije koje je bilo koja od strana dužna da saopšti u skladu sa merodavnim zakonima, ali samo u obimu i prema licu i/ili organu za koje postoji propisana dužnost. U slučaju da dođe do otkrivanja informacija iz ovog Ugovora bez prethodnog dogovora i saglasnosti svih strana, ugovorna strana koja je otkrila informaciju dužna je da o tome odmah obavesti druge ugovorne strane. U slučaju da je otkrivanje informacija imalo za posledicu štetu drugih ugovornih strana, strana koja je prekršila svoje obaveze



dužna je istu naknaditi.

Ugovorne strane se takođe obavezuju da na poverljivost informacija obavežu i svoje zaposlene i da poverljive informacije koriste samo u vezi i u svrhu implementacije ovog Ugovora.

VAŽENJE I IZMENE UGOVORA

Član 10.

Ovaj Ugovor stupa na snagu kada ga potpišu obe ugovorne strane. Ovaj Ugovor predstavlja celokupan dogovor ugovornih strana u pogledu njegovog predmeta, te će sve izmene, dopune, odnosno modifikacije imati važnost samo ukoliko su sačinjene u pisanom obliku i potpisane od svih ugovornih strana. Sve izjave, uslovi i garancije, usmene ili pismene, date izričito ili prećutno, osim onih sadržanih u ovom tekstu, odnosno obaveštenju ili izmeni učinjenoj u skladu sa odredbama ovog Ugovora, izričito su isključene.

NADLEŽNOST SUDA

Član 11.

Sve eventualne sporove po ovom Ugovoru, ugovorne strane će nastojati da reše sporazumno, u duhu dobrih poslovnih odnosa i prijateljski, a u slučaju da do sporazuma ne dođe, spor će se rešavati pred Privrednim sudom u Beogradu.

ADRESE

Član 12.

Za potrebe međusobnog obaveštavanja ugovornih strana kao merodavne uzeće se adrese sedišta ugovornih strana koje kao takve budu registrovane kod nadležnih registara u trenutku slanja predmetnih obaveštenja.

U momentu zaključenja Ugovora, važeće adrese Ugovornih strana su:

Za Izvršioca:

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR
ul. Zelene bulevar 35, 19210 Bor

Za Naručioca:

METAL RECOVERY D.O.O. BEOGRAD
ul. Knjeginje Zorke br. 2, 11000 Beograd

Sva pisana obaveštenja i/ili pozive i/ili zahteve predviđene ovim Ugovorom ugovorne strane mogu, osim na adrese sedišta ugovornih strana iz prethodnog stava ovog člana, dostavljati i putem elektronske pošte, pri čemu će se smatrati da je obaveštenje i/ili poziv i/ili zahtev uručen odgovarajućoj ugovornoj strani u trenutku kada je isti poslat na adresu elektronske pošte navedenu u ovom Ugovoru i to:

Sva obaveštenja koja Izvršilac dostavlja elektronskom poštom Naručiocu će se dostavljati na adresu: zoran.stankovic@mmpfrontier.com

Sva obaveštenja koja Naručilac elektronskom poštom dostavlja Izvršiocu će se dostavljati na e-mail adresu: aca.jovanovic@globalinnovation.rs



Ugovorne strane su dužne da obaveste jedna drugu u pisanoj formi o svakoj promeni adrese elektronske pošte i/ili drugim informacijama potrebnim kako bi se omogućilo slanje i prijem informacija putem elektronske pošte.

ZAVRŠNE ODREDBE

Član 13.

Ovaj Ugovor sačinjen je u 4 (četiri) istovetna primerka od kojih po 2 (dva) primerka zadržava svaka ugovorna strana.

SASTAVNI DELOVI

Član 14.

Sastavni deo i priloge ovog Ugovora čine:

Prilog 1 - Ponuda br. P-154/21 R1 od 19.11.2021.god. za Prethodnu studija opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja za tretman PbAg jarosit taloga iz proizvodnje cinka.

U Beogradu, 07.12.2021. god.

OVAJ UGOVOR POTPISUJU

ZA NARUČIOCA :



Metal Recovery d.o.o Beograd
Direktor Samir Krak

ZA IZVRŠIOCA :

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Direktor Dr Mile Bugarin, naučni savetnik

M.A.





Metal Recovery d.o.o. Beograd
ul. Knjeginje Zorke br.2.
11000 Beograd

Датум: 19/11/2021
Date:

PONUĐA BROJ P-154/21- R1

Veza: Ranija sprovedena eksperimentalna istraživanja
Usvojeni Projektni zadatak na sastanku održanog 19.10.2021.god. u prostorijama Instituta
za rudarstvo i metalurgiju, Predstavništvo na Novom Beogradu

I PREDMET PONUDE

Predmet ove Ponude je izrada Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom Postrojenja
za tretman PbAg jarosit taloga iz proizvodnje cinka.

Postrojenje za tretman sirovine PbAg Jarosit taloga obuhvata dve glavne tehnološke linije:

- Linija za pirometalurški tretman PbAg taloga Jarosita u cilju dobijanja prženca pogodnog za
dalji hidrometalurški tretman,
 - Tehnološko rešenje u okviru Generalnog projekta će biti razvijeno i dato od strane
TMF-Tehnološko-metalurški Fakultet Beograd,
 - Ostala tehnička rešenja u okviru Generalnog projekta će biti razvijena i data od strane
IRM Bor.
- Linija za hirometalurški tretman prženca u cilju valorizacije korisnih komponenata.
 - Tehnološko rešenje i ostala tehnička rešenja će biti razvijena i data od strane IRM Bor.

Opšte napomene

Namena objekta: Proizvodno-skladišni kompleks
Kapacitet: 40 000 t/god
Lokacija: IHP Prahovo

Ponuda je urađena na osnovu:

1. Zahteva za ponudu,
2. Rezultata laboratorijskih istraživanja mogućnosti tretmana nestandardnog jarosit PbAg
taloga na laboratorijskom i uvećanom laboratorijskom nivou,
3. Usaglašavanja na zajedničkim sastancima,
4. Usvojenog Projektnog zadatka, i
5. Važeće zakonske regulative u Republici Srbiji.



II OBIM POSLA

Generalni projekat predmetnog postrojenja uključuje sledeće tehnološke faze:

II.1. PIROMETALURŠKI TRETMAN PBAG TALOGA – JAROSITA obuhvata:

II.1.1. Postrojenje za sušenje i prženje Jarosita -PbAg taloga

Tehnološko rešenje koje će biti razvijeno od strane TMF Beograd:

- Definisane glavne fizičko-hemijske karakteristike ulaznog materijala (granulometrijski sastav, gustinu i prividnu gustinu, oblik pojedinačnih čestica i aglomerata veličine 20-50 μm, svodenje na poznatu geometriju)
- Definisane glavne fizičko-hemijske karakteristike finalnih produkata (hemijski, mineraloški i granulometrijski sastav prženca)
- Obradu varijantnih rešenja i odabir reaktora u odnosu na kapacitet, strukturu i vlažnost ulaznog materijala
- Prilikom projektovanja, definisanje oblasti u reaktoru izvršiti prema:
 - o hemizmu reakcija u zonama sušenja, uklanjanja amonijaka, sumpora i hlađenja
 - o mehanici fluida u sistemu čestica – fluid (oblik čestica, granulometrija, brzina gasova u reaktoru, odnošenje prašine)
- Za razmatrana varijantna rešenja tehnološkog procesa:
 - o Izrada materijalnog i toplotnog bilansa
 - o Izrada liste i dimenzionisanje opreme i postrojenja
 - o Izrada liste sirovina, energenata i fluida potrebnih za odvijanje tehnološkog procesa sa normativima potrošnje, specifikacija radne snage

II.1.2. Projektovanje postrojenja za tretman otpadnih gasova i proizvodnju amonijum-sulfata

Tehnološko rešenje koje će biti razvijeno od strane TMF Beograd:

- Izrada materijalnog i energetskog bilansa procesa (hlađenje gasova, proračun koeficijenata prenosa mase, pH, Eh i Redox potencijala tečne faze)
- Izrada liste i dimenzionisanje opreme za uklanjanje čestične emisije (hlađenje gasova, otprašivanje i filtracija) i sistema za tretman gasovitih produkata procesa (H₂O, NH₃, SO_x)
- Izrada liste sirovina, energenata i fluida potrebnih za odvijanje tehnološkog procesa sa normativima potrošnje, specifikacija radne snage

Za celo postrojenje za pirometalurški tretman Jarosit_PbAg taloga biće izrađena:

- Grafička dokumentacija (situacioni plan, dispozicija opreme sa karakterističnim preseccima, P&I i PFD dijagrami)
- Analiza osnovnih parametara zaštite životne sredine i bezbednosti i zdravlja na radu, kao i bilans i karakteristike otpadnih materija sa predlogom načina postupanja (emisija vazduh/voda, po domaćim propisima i prema Evropskim standardima za ispuštanje sa i bez predtretmana u prirodne vodotokove)
- Analiza usaglašenosti sa referentnim BREF BAT dokumentima



II.1.3. Ostala tehnička rešenja

Ostala tehnička rešenja će biti razvijena od strane IRM Bor, i to:

- Generalno rešenje mašinske opreme i instalacija,
- Generalno rešenje elektrotehničkih instalacija,
- Arhitektonsko-gradevinsko generalno rešenje.

Tehnička rešenja će biti razvijena na nivou Generalnog projekta, kroz:

- Sagledavanja prostornih mogućnosti i ograničenja,
- Usvajanja generalne koncepcije, makrolokacije i prostorne dispozicije objekata i opreme,
- Odnos prema prostoru i životnoj sredini,
- Budžet za izgradnju postrojenja, kao osnov za ekonomsku analizu.

II.2. POSTROJENJE ZA HIDROMETALURŠKI TRETMAN PRŽENCA

Tehnološko rešenje i ostala tehnička rešenja će biti razvijena od strane IRM Bor.

Tehnološko rešenje obuhvata sledeće faze tretmana prženca:

1. Luženje prženca u vodi

- Definisane kapaciteta bunkera za skladištenje prženca
- Definisane transporta sirovine od skladišta do reaktora
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima u cilju efikasnog procesa luženja
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese za filtriranje pulpe
- Definisane pratećih agregata (prihvatni rezervoar za pulpu, pumpe, prihvatni kontejner za čvrsti ostatak i rezervoar za lužni rastvor)

2. Precipitacija Fe i In

- Definisane transporta lužnog rastvora do reaktora za precipitaciju Fe i In
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima, radi efikasnog razdvajanja Fe i In od Cu i Zn
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa, prihvatni rezervoar za filtrirani u kome se nalaze Cu i Zn, i kontejner za precipitat u kome se nalaze Fe i In)

3. Tretman precipitata uključivanjem postupka cementacije In

- Definisane transporta precipitata do reaktora za rastvaranje
- Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa za cementaciju In, bunker za cementni mulj i sirovi In)

4. Cementacija Cu iz rastvora nakon precipitacije Fe i In

- Definisane transporta rastvora dobijenog nakon precipitacije Fe i In
- Definisane kapaciteta reaktora za cementaciju Cu sa pratećim detaljima
- Definisane kapaciteta i vrste filter prese
- Definisane pratećih agregata (bunker za skladištenje reagensa za cementaciju Cu, skladišni kontejner za cementni Cu)



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Зелени булевар 35, п.ф.152
19210 Бор, Србија

ИНСТИТУТ
MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR
35 Zeleni bulevar, POB 152
19210 Bor, Serbia

Тел: +381 (0) 30-436-826 *Факс: +381 (0) 30-435-175 * E-mail:institut@irmbor.co.rs
ПИБ : 100627146 * МБ : 07130279 *Жиро рачун: 160 - 42 - 434 -38

5. **Taloženje $ZnCO_3$ iz rastvora nakon cementacije Cu**
 - Definisane transporta rastvora od rezervoara do reaktora za taloženje $ZnCO_3$
 - Definisane kapaciteta i vrste filter prese
 - Definisane pratećih agregata (skladišni bunker, kontejner za $ZnCO_3$)
6. **Hloridno luženje čvrstog ostatka, dobijenog nakon luženja u vodi, radi valorizacije Pb i Ag**
 - Definisane transporta čvrstog ostatka nakon dobijenog luženja u vodi do reaktora za hloridno luženje
 - Definisane kapaciteta reaktora sa pratećim detaljima u cilju efikasnog izdvajanja Pb i Ag
 - Definisane kapaciteta i vrste filter prese za filtriranje pulpe
 - Definisane pratećih agregata (prihvatni rezervoar za pulpu, prihvatni kontejner za $PbCO_3$ i rezervoar za rastvor)
7. **Tretman otpadnih voda**

Tretman otpadnih voda nastalih nakon taloženja $ZnCO_3$ i $PbCO_3$ vršiće se u saglasnosti sa zakonskim regulativama za ispuštanje u javnu kanalizaciju.
8. **Karakterizacija čvrstih ostataka nastalih u procesu hidrometalurškog tretmana**
 - Karakterizacija čvrstog ostatka nastalog u procesu luženja olova i srebra
 - Karakterizacija čvrstog ostatka nastalog nakon neutralizacije otpadnih voda iz procesa cementacije indijuma

U skladu sa marketinškom analizom i u dogovoru sa investitorom biće definisan dalji tok ovih čvrstih ostataka.

Ostala tehnička rešenja Postrojenja za hidrometalurški tretman prženca su:

- Generalno rešenje mašinske opreme i instalacija,
- Generalno rešenje elektrotehničkih instalacija,
- Arhitektonsko-građevinsko generalno rešenje.

Tehnička rešenja će biti razvijena na nivou Generalnog projekta, kroz:

- Sagledavanje prostornih mogućnosti i ograničenja,
- Usvajanje generalne koncepcije, makrolokacije i prostorne dispozicije objekata i opreme,
- Odnos prema prostoru i životnoj sredini,
- Budžet za izgradnju postrojenja, kao osnov za ekonomsku analizu.



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Зелени булевар 35, п.ф.152
19210 Бор, Србија

ИНСТИТУТ

MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR
35 Zelene bulvar, POB 152
19210 Bor, Serbia

Тел: +381 (0) 30-436-826 *Факс: +381 (0) 30-435-175 * E-mail:institut@irmbor.co.rs

ПИБ : 100627146 * МБ : 07130279 *Жиро рачун: 160 - 42 - 434 -38

Obim posla, odnosno, spisak potrebne tehničke dokumentacije dat je u sledećoj tabeli:

R.br	Projekat/Sveska	Napomena
I	PRETHODNA STUDIJA OPRAVDANOSTI SA GENERALNIM PROJEKTOM IZGRADNJE POSTROJENJA ZA TRETMAN PbAg JAROSIT TALOGA IZ PROIZVODNJE CINKA	
I.1.	Sveska I Tehnička rešenja 1. Tehnološka rešenja, 2. Mašinska oprema i instalacije 3. Snabdevanje električnom energijom, elektromotomi razvod i upravljanje 4. Arhitektonsko-gradjevinsko rešenje, 5. Budžet za izgradnju postrojenja	
I.2.	Sveska II Prethodna studija opravdanosti*	

*Definisane tržišta prodaje i prodajnih cena nije deo ove ponude i biće deo posebnog dogovora.

III PODLOGE

Podloge za izradu Generalnog projekta i tehničkih rešenja su:

- Laboratorijska tehnološka ispitivanja hidrometalurške prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga, IRM Bor 2019. god.,
- Tehnološka ispitivanja prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou, TMF Beograd i IRM Bor 2021, god.,
- Usvojeni Projektni zadatak, i
- Raspoloživa tehnička dokumentacija Investitora.

III ROKOVI

Generalni rokovi su:

Sveska I: Generalni projekat: 4 meseca od potpisivanja ugovora i usvajanja osnovne koncepcije Postrojenja
Sveska II: Prethodna studija opravdanosti: 1,5 mesec od zajedničkog definisanja tržišta prodaje i prihodne strane finansijske analize i ocene.

IV CENA

Ponuđena cena za pružanje inženjerskih usluga iz predmeta ove Ponude iznosi:

90.000,00 EUR

(slovima: devedesethiljada eura)

Fakturisanje će se obračunavati u RSD po srednjem kursu NBS za EUR na dan fakturisanja.
Cena je data bez uračunatog poreza na dodatu vrednost (PDV).



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР Зелени булевар 35, п.ф.152 19210 Бор, Србија		MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR 35 Zeleni bulevar, POB 152 19210 Bor, Serbia
Тел: +381 (0) 30-436-826 *Факс: +381 (0) 30-435-175 * E-mail:institut@irmbor.co.rs		
ПИБ : 100627146 * МБ : 07130279 *Жиро рачун: 160 - 42 - 434 -38		

V NAČIN PLAĆANJA

- Avans 20% sedam dana od potpisivanja Ugovora,
- 70 % od ugovorene cene u mesečnim ratama shodno gotovosti posla,
- Preostalih 10 % posle završetka Prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom.

OPCIJA

Za sve komercijalno tehničke elemente ove ponude (cena, rokovi i dr.) ostajemo u obavezi 30 dana od predaje ove Ponude. Nakon ovog roka zadržavamo pravo na eventualnu izmenu komercijalno tehničkih elemenata naše ponude.

ДИРЕКТОР



/Dr Mile Bugarin, naučni savetnik/

Prilog: Usvojeni Projektni zadatak



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И
МЕТАЛУРГИЈУ БОР

Број 2733/20

26. 11. 20 20 год.

Б О Р, Зелени булевар 35

У Г О В О Р

О ИЗРАДИ ТЕХНОЛОШКИХ ИСПИТИВАЊА ПРЕРАДЕ NESTANDARDNOG JAROSIT PbAg TALOGA NA UVEĆANOM LABORATORIJSKOM NIVOU

Zaključen dana 25.11.2020. između:

1. **METAL RECOVERY D.O.O**, ul. Kneginje Zorke br.2, 11000 Beograd, Mat. broj: 21035939, PIB: 108622149, koga zastupa direktor Samir Krak, (u daljem tekstu: **Naručilac**),
i
2. **Grupe ponuđača:**
 - **INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR**, ul. Zelene bulevar 35, 19210 Bor, Mat. broj: 07130279, PIB: 100627146, KAO Nosilac posla-lider, koga zastupa direktor dr Mile Bugarin, naučni savetnik i
 - **UNIVERZITET U BEOGRADU, TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET**, ul. Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Mat. broj: 07032552, PIB: 100123813, KAO član grupe ponuđača, koga zastupa dekan Prof. dr. Petar Uskoković

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR, kao Nosilac posla-lider u grupi ponuđača (u daljem tekstu: **Izvršilac**) zastupa grupu ponuđača pred Naručiocem i ovlašćen je da u ime grupe sa Naručiocem komunicira i potpiše Ugovor, u skladu sa odredbama Sporazuma o zajedničkom nastupu, kojim su definisane obaveze i odgovornosti članova grupe na realizaciji prihvaćene ponude br. 2680/20 od 16.11.2020. godine.

Ugovorne strane, u svojim gore navedenim svojstvima, su se sporazumele o sledećem:

PREDMET UGOVORA

Član 1.

Predmet Ugovora je izrada tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg na uvećanom laboratorijskom nivou u skladu sa prihvaćenom ponudom br. 2680/20 od 16.11.2020. godine, koja je sastavni deo ovog Ugovora.

Ispitivanja će biti realizovana u Institutu za Rudarstvo i Metalurgiju (IRM) Bor i Tehnološko Metalurškom Fakultetu Univerziteta u Beogradu (TMF) po programu definisanim u ponudi br. 2680/20 od 16.11.2020. godine. U prvoj fazi istraživanja predviđena su laboratorijska i uvećana laboratorijska ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga postupkom sulfatizacionog prženja u rotacionoj peći u cilju formiranja faznog sastava pogodnog za dalji hidrometalurški tretman. U drugoj fazi istraživanja uradiće se hidrometalurški tretman prženca dobijenog u procesu sulfatizacionog prženja Jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou u cilju valorizacije korisnih komponentata.

Predviđena ispitivanja i obuhvataju sledeće faze i aktivnosti:

**„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“**



I FAZA ISTRAŽIVANJA

1. Pirometalurški tretman Jarosit PbAg taloga

- 1.1 Priprema uzorka uzorka za sulfatizaciono prženje, sušenje, određivanje tehnološki optimalne količine vlage, granulost sastava i načina uvođenja agensa (formiranje šarže)
- 1.2 Termodinamika i hemijske reakcije u sistemu Jar-PbAg-sumpor, izbor parametara od interesa za projektovanje. Slobodna energija reakcija, ravnotežni dijagrami i uticaj parametara procesa
- 1.3 Izbor optimalnog faznog sastava proizvoda, analiza rastvaranja produkata sulfatizacije
- 1.4 Izbor sulfatizacionog agensa, stehiometrija i izbor metodologije određivanja stepena reagovanja. Termijske analize, kuplovano sa MS i FTIR
- 1.5 Izrada matrice eksperimentalnog ispitivanja u laboratorijskoj rotacionoj peći

2. Ispitivanje kinetičkih parametara procesa prženja i luženja

- 2.1 Ispitivanje uticaja količine sulfatizacionog agensa i kiseonika u gasnoj fazi na stepen reagovanja
- 2.2 Ispitivanje uticaja temperature i vremena reakcije na stepen reagovanja
- 2.3 Određivanje optimalnih parametara, prilog određivanju mehanizma procesa, prenos mase i energije
- 2.4 Odabir optimalnih parametara procesa luženja dobijenih prženaca
- 2.5 Hemijska i XRD karakterizacija przenaca
- 2.6 Hemijska karakterizacija rastvora nastalih nakon luženja
- 2.7 Izrada materijalnog bilansa
- 2.8 Reakcije u gasnovitoj fazi, optimizacija predneutralizacije u sistemu amonijak/sumporni oksidi
- 2.9 Sinergetske sirovine i ponašanje kritičnih i toksičnih metala

3. Primena optimanih uslova prženja na uzorku od 100kg

- 3.1 Pilot testiranje u optimizovanom režimu radi formiranja lota prženca od 100 kg
- 3.2 Hemijska i XRD karakterizacija przenaca
- 3.3 Izrada tehničko tehnološkog rešenja sulfatizacije

II FAZA ISTRAŽIVANJA

4. Hidrometalurški tretman prženca dobijenog sulfatizacionim prženjem uzorka Jarosit PbAg taloga od 100 kg

- 4.1 Luženje prženca u vodi
- 4.2 Precipitacija Fe i In
- 4.3 Tretman precipitata uključivanjem postupka cementacije In
- 4.4 Cementacija Cu iz rastvora nakon precipitacije Fe i In
- 4.5 Taloženje $ZnCO_3$ iz rastvora nakon cementacije Cu
- 4.6 Hloridno luženje čvrstog ostatka, dobijenog nakon luženja u vodi, sa NaCl
- 4.7 XRD analiza, TCLP i LP test čvrstog ostatka nakon luženja Pb i Ag
- 4.8 Hemijska karakterizacija dobijenih produkata iz navedenih procesa prerade Jarosit PbAg taloga
- 4.9 Tehnološka šema procesa prerade nestandardnog Jarosit PbAg taloga
- 4.10 Materijalni bilans

A2 Izrada Finalnog izveštaja o dobijenim rezultatima tretiranja Jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac Metal recovery d.o.o. Beograd u cilju valorizacije indijuma“



MEĐUSOBNE OBAVEZE

Član 2.

Obaveze Izvršioca:

- Da predmetna laboratorijska ispitivanja izvrši kvalitetno u skladu sa planom datim u članu 1. ovog Ugovora
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja
- Da dostavi Finalni zveštaj o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja
- Da čuva kao strogu poslovnu tajnu sve podatke i informacije do kojih dođe tokom realizacije ovog Ugovora.

Obaveze Naručioca:

- Da dostavi reprezentativni tehnološki uzorak Jarosit PbAg taloga
- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.

ROK ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

Član 3.

Rok za realizaciju tehnoloških laboratorijskih ispitivanja i izradu Finalnog Izveštaja je 6 (šest) meseci od dana dostavljanja tehnološkog uzorka. Termin plan realizacije aktivnosti dat je u predmetnoj ponudi br. 2680/20 od 16.11.2020. godine u Prilogu.

CENA

Član 4.

- Cena za realizaciju tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga po specificiranom obimu poslova u članu 1. ovog Ugovora iznosi:

1.412.910,00 (jedanmilijončetiristinedvanaesthiljadadevetstotinadeset) dinara +PDV

U cenu nije uključen PDV i isti će se zaračunavati prilikom ispostavljanja faktura.

NAČIN PLAĆANJA

Član 5.

Za realizaciju tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga važi sledeća dinamika isplate:

- 50% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana potpisivanja Ugovora, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- preostalih 50% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 10 (deset) dana od dana dostavljanja Finalnog izveštaja Investitoru, prema ispostavljenoj fakturi Izvršioca

POVERLJIVOST INFORMACIJA I POSLOVNA TAJNA

Član 6.

Ukoliko nije drugačije predviđeno ovim Ugovorom, ugovorne strane se obavezuju na poverljivost svih poslovnih tajni i drugih tehničkih informacija koje će primiti u vezi sa ovim Ugovorom. Ugovorne strane se takođe obavezuju da na poverljivost informacija obavežu i svoje zaposlene i da poverljive informacije koriste samo u vezi i u svrhu implementacije ovog Ugovora.



VIŠA SILA

Član 7.

Ugovorne strane su saglasne da se odredbe više sile primenjuju u slučaju nastajanja događaja i okolnosti koje se ne mogu predvideti i na koje ni jedna strana ne može uticati a kao što su: zemljotres, poplava, požar, odron, klizište, druge elementarne nepogode većeg obima, štrajk zaposlenih, epidemije, nerad ili zastoj po naredbi nadležnih državnih organa i drugi događaji i okolnosti, koje naši i međunarodni sudovi priznaju kao višu silu.

Strana koja trpi slučaj više sile dužna je da u roku od 5 dana od dana njenog nastanka obavesti drugu stranu a u slučaju da dejstvo više sile traje duže od 3 meseca druga strana može raskinuti Ugovor.

OSTALE ODREDBE

Član 8.

Ugovorne strane potvrđuju da ne postoje drugi ugovori koji regulišu predmetnu materiju. Ovaj Ugovor predstavlja celoviti sporazum koji se odnosi na ovaj predmet Ugovora i svi prethodni razgovori, pregovori ili sporazumi se ovim ukidaju i važe samo odredbe ovog Ugovora.

Član 9.

Sve eventualne izmene i dopune ovog Ugovora vršice se posebnim aneksom, koji mora biti zaključen u pisanom obliku. Aneks se smatra zaključenim kada ga potpišu obe ugovorne strane. Svi aneksi ovog Ugovora, čine njegov sastavni deo.

Član 10.

Za sve što nije predviđeno ovim Ugovorom, primeniće se pozitivni zakonski propisi.

PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Član 11.

Sve eventualne sporove po ovom Ugovoru, ugovorne strane će nastojati da reše sporazumno, a u slučaju da do sporazuma ne dodje, spor će se rešavati pred Privrednim sudom u Zaječaru.

Ugovor stupa na snagu danom potpisivanja od strane ovlašćenih predstavnika ugovarača.

Ovaj Ugovor sastavljen je u 6 (šest) istovetnih primerka, od kojih svaka ugovorna strana zadržava po 3 (tri) za svoje potrebe.

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И
МЕТАЛУРГИЈУ
БОР



Direktor dr Mile Bugarin,
naučni savetnik

FD

METAL RECOVERY D.O.O
BEOGRAD D.O.O.



Samir Krak, direktor



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
I METALURGIJU BOR
19210 BOR, ul. Zeleni bulevar 35
PAK : 602001

PIB 100627146
MB 07130279
Tel/Fax. 030 / 454 - 127; Faks: 030 / 436 - 731
Tekući račun - 160 - 42434 - 38
e-mail: tanja.mihajlovic@irmbor.co.rs

KUPAC	401731
METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD	
Kneginje Zorke br. 2	
11000 Beograd	
PAK :	
PIB:	108622149 MB 21035939

RAČUN br.

94110637-21

Mesto izdavanja : BOR
Datum izdavanja : 16.08.2021.
Datum prometa : 16.08.2021.
Valuta : 26.08.2021.

Ugovor br. 2733/20 od 26.11.2020.

Šifra projekta	Naziv	Poreska osnovica	stopa PDV	Iznos PDV	Vrednost sa PDV
	<i>Tehnološka ispitivanja prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou</i>	1.412.910,00	20%	282.582,00	1.695.492,00
UKUPNA VREDNOST sa PDV		1.412.910,00	20%	282.582,00	1.695.492,00
Avansni račun br. 94110828/A-20 od 22.12.2020.		706.455,00	20%	141.291,00	847.746,00
Za uplatu		706.455,00	20%	141.291,00	847.746,00

Napomena o poreskom oslobodjenju:

Nema osnova za poresko oslobodjenje

NAPOMENA : UPLATU IZVRŠITE NA TEKUĆI RAČUN. PRILIKOM UPLATE OBAVEZNO SE POZOVITE NA BROJ RAČUNA
U slučaju neblagovremene uplate zaračunavamo zakonsku zateznu kamatu i tražimo naplatu sudskim putem bez prethodne opomene.
U slučaju sudskog spora priznajemo nadležnost Privrednog suda u Zaječaru.
Reklamacije se primaju u roku od 8 dana od datuma izdavanja računa. Reklamacija ne zadržava isplatu.

Fakturisao

Tanja Mihajlović



Rukovodilac

Vesna Florić, dipl.ecc.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Број: 1168/19
19. 07. 2019 год.
БОР, Зелени булевар 35

U G O V O R

**O IZRADI LABORATORIJSKIH TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA
HIDROMETALURŠKE PRERADE NESTANDARDNOG JAROSIT PbAg TALOGA**

Zaključen dana 16.07.2019.godine u Beogradu, između:

- 1. INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR**, ul. Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Mat. broj: 07130279, PIB: 100627146, koga zastupa direktor dr Mile Bugarin, naučni savetnik (u daljem tekstu : **Izvršilac**)
- 2. METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD**, ul. Kneginje Zorke br. 2, 11000 Beograd, Mat. broj: 21035939 PIB: 108622149, koga zastupa direktor Samir Krak, (u daljem tekstu: **Naručilac**),

Ugovorne strane, u svojim gore navedenim svojstvima, su se sporazumele o sledećem:

PREDMET UGOVORA

Član 1.

Predmet Ugovora je izrada tehnoloških ispitivanja hidrometalurške prerade Jarosit PbAg na laboratorijskom nivou u skladu sa prihvaćenom ponudom br. 1061/19 od 03.07.2019. godine, koja je sastavni deo ovog Ugovora.

Plan ispitivanja na tehnološkom uzorku je dat u ponudi br. 1061/19 od 03.07.2019. godine i obuhvata sledeće faze i aktivnosti:

1.FAZA ISTRAŽIVANJA

1. Formiranje tehnoloških uzoraka Jarosit PbAg taloga
2. Hemijska karakterizacija uzoraka Jarosit PbAg taloga
3. Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja procesa luženja Jarosit PbAg taloga
- 3.1. Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja procesa hloridnog luženja Jarosit PbAg taloga
- 3.1.1. Ispitivanje parametara luženja Jarosit PbAg taloga rastvorom kalcijum hlorida (ili natrijum hlorida) na efikasnost procesa izdvajanja metala (Zn, Pb, Ag Cu)
 - Uticaj koncentracije hloridnog rastvora za luženje
 - Uticaj gustine pulpe
 - Uticaj temperature procesa
 - Uticaj vremena procesa
- 3.1.2. Hemijska karakterizacija rastvora nakon luženja

**„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki
Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“**

- 3.1.3. Cementacija bakra, olova i srebra sa cinkom iz hloridnog lužnog rastvora
Rastvaranje bakra iz cementnog mulja i dobijanje Pb-Ag koncentrata
- 3.1.4. Izdvajanje olova iz hloridnih lužnih rastvora cementacijom sa cinkom
- 3.1.5. Izdvajanje cinka iz hloridnih lužnih rastvora postupkom neutralizacije i dobijanje cink hidroksida
- 3.1.6. Analiza raspodele retkih elementa u toku procesa hloridnog luženja
- 3.2. Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja procesa luženja Jarosit PbAg taloga rastvorom sumporne kiseline
 - 3.2.1. Ispitivanje parametara luženja Jarosit PbAg taloga rastvorom sumporne kiseline na efikasnost procesa izdvajanja metala (Zn, Cu, In, Ga):
 - Uticaj koncentracije sumporne kiseline
 - Uticaj gustine pulpe
 - Uticaj temperature procesa
 - Uticaj vremena procesa
 - 3.2.2. Hemijska karakterizacija rastvora nakon luženja
 - 3.2.3. Izbor hemijskih metoda (cementacija, jonska izmena, solventna ekstrakcija) za izdvajanja cinka, bakra i retkih elementa (indijum, galijum)
 - 3.2.4. Karakterizacija čvrstog ostatka nakon luženja (hemijska i mineraloška)
 - 3.2.5. Izdvajanje olova i srebra iz čvrstog ostatka (dato u tački 4)
- 3.3. Eksperimentalna laboratorijska ispitivanja kombinovanog procesa koji uključuje sulfatizaciju Jarosit PbAg taloga i luženja nastalog produkta sulfatizacije
 - 3.3.1. Ispitivanje parametara procesa sulfatizacije:
 - Uticaj gustine pulpe
 - Uticaj temperature procesa
 - Uticaj vremena procesa
 - 3.3.2. Ispitivanje parametara luženja cinka i indijuma iz sulfatizacionog produkta - prženca:
 - I stepen: Luženje cinksulfata vodom
Cementacija u cilju selektivnog taloženja bakra
Izdvajanje cinka iz lužnih rastvora
 - II stepen: Kiselinsko luženje indijuma
Solventna ekstrakcija indijuma (izbor optimalnih parametara)
Proces reekstrakcije
Cementacija na aluminijumu i izdvajanje "sirovog" indijuma
 - 3.3.3. Hemijska i mineraloška karakterizacija čvrstog ostatka nakon luženja

II FAZA ISTRAŽIVANJA

4. Tretman čvrstog ostatka nastalog nakon luženja (iz procesa luženja sumpornom kiselinom i kombinovanog procesa), uključuje dve opcije (4.1. ili 4.2)
- 4.1. Primena kombinovanog procesa prženje-sulfidizacija-flotiranje u cilju dobijanja PbAg koncentrata
 - 4.1.1. Ispitivanje parametara redukcionog prženje uz dodatak ugljene prašine i pirita (uticaj temperature, vremena, dodatak ugljene prašine i pirita)
 - 4.1.2. Ispitivanje parametara flotiranja prženca (produkta redukcionog prženja) u cilju dobijanja PbAg koncentrata:
 - Uticaj vrste i koncentracije kolektora
 - Uticaj regulatora sredine
 - Uticaj pH pulpe
 - Uticaj gustine pulpe



- 4.2. Hloridno luženje čvrstog ostatka u cilju izdvajanja olova i srebra
- Uticaj koncentracije hlorida u rastvoru za luženje
 - Uticaj gustine pulpe
 - Uticaj temperature procesa
 - Uticaj vremena procesa
- 4.2.1. Taloženje olova i srebra iz hloridnih lužnih rastvora primenom Na_2S u cilju dobijanja sulfidnog koncentrata olova i srebra koji je pogodan za pirometalurški tretman
5. Hemijska karakterizacija dobijenih produkata iz navedenih procesa prerade Jarosit PbAg taloga

III FAZA ISTRAŽIVANJA

6. Izbor tehnološkog procesa prerade nestandardnog Jarosit PbAg taloga
- Optimalni parametri procesa
 - Tehnološka šema svih faza procesa
 - Iskorišćenja dobijena u laboreatorijskim opitima
 - Materijalni bilans
 - Kvalitet produkata procesa sa komercijalnog i ekološkog aspekta

A.2. Izrada Finalnog izveštaja o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja za sve tri faze istraživanja

MEĐUSOBNE OBAVEZE

Član 2.

Obaveze Izvršioca:

- Da predmetna laboratorijska ispitivanja izvrši kvalitetno u skladu sa planom datim u članu 1. ovog Ugovora
- Da ispitivanja završi u ugovorenom roku
- Da Investitoru obezbedi uvid u stanje istraživanja tokom realizacije ispitivanja
- Da dostavi Izveštaje o stepenu realizacije istraživanja na mesečnom nivou
- Da dostavi Preliminarne izveštaje o ispitivanjima nakon svake realizovane faze istraživanja
- Da dostavi Finalni zveštaj o dobijenim rezultatima laboratorijskih ispitivanja
- Da čuva kao strogu poslovnu tajnu sve podatke i informacije do kojih dođe tokom realizacije ovog Ugovora.

Obaveze Naručioca:

- Da dostavi reprezentativni tehnološki uzorak u količini od 90 kg Jarosit PbAg taloga (po 30 kg kompozitnog uzorka iz svake bušotine)
- Da poštuje predviđenu dinamiku isplate ugovorene cene za realizaciju posla.

ROK ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA

Član 3.

Rok za realizaciju tehnoloških laboratorijskih ispitivanja i izradu pratećih Izveštaja je 5 (pet) meseci od dana dostavljanja tehnološkog uzorka. Termin plan realizacije aktivnosti dat je u predmetnoj ponudi br. 1061/19 od 03.07.2019. godine u Prilogu 1.



CENA
Član 4.

- Cena za realizaciju laboratorijskih tehnoloških ispitivanja hidrometalurške prerade Jarosit PbAg taloga po specificiranom obimu poslova u članu 1. ovog Ugovora iznosi:

2.950.000,00 din (DVAMILIONADEVETSTOPEDESETHILJADA din) + PDV

U cenu nije uključen PDV i isti će se zaračunavati prilikom ispostavljanja faktura.

NAČIN PLAĆANJA
Član 5.

Za realizaciju tehnoloških ispitivanja prerade Jarosit PbAg taloga važi sledeća dinamika isplate:

- > 10% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana potpisivanja Ugovora, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- > 30% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana dostavljanja Prvog preliminarnog izveštaja Investitoru o realizovanoj I fazi istraživanja, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- > 30% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana dostavljanja Drugog preliminarnog izveštaja Investitoru o realizovanoj II fazi istraživanja, prema ispostavljenoj profakturi Izvršioca
- > preostalih 30% od ukupne cene iz člana 4. ovog Ugovora - Naručilac će platiti u roku od 7 (sedam) dana od dana dostavljanja Finalnog izveštaja Investitoru, prema ispostavljenoj fakturi Izvršioca

POVERLJIVOST INFORMACIJA I POSLOVNA TAJNA
Član 6.

Ukoliko nije drugačije predviđeno ovim Ugovorom, ugovorne strane se obavezuju na poverljivost svih poslovnih tajni i drugih tehničkih informacija koje će primiti u vezi sa ovim Ugovorom. Ugovorne strane se takođe obavezuju da na poverljivost informacija obavežu i svoje zaposlene i da poverljive informacije koriste samo u vezi i u svrhu implementacije ovog Ugovora.

VIŠA SILA
Član 7.

Ugovorne strane su saglasne da se odredbe više sile primenjuju u slučaju nastajanja događaja i okolnosti koje se ne mogu predvideti i na koje ni jedna strana ne može uticati a kao što su: zemljotres, poplava, požar, odron, klizište, druge elementarne nepogode većeg obima, štrajk zaposlenih, nerad ili zastoj po naredbi nadležnih državnih organa i drugi događaji i okolnosti, koje naši i međunarodni sudovi priznaju kao višu silu.

Strana koja trpi slučaj više sile dužna je da u roku od 5 dana od dana njenog nastanka obavesti drugu stranu a u slučaju da dejstvo više sile traje duže od 3 meseca druga strana može raskinuti Ugovor.

OSTALE ODREDBE
Član 8.

Ugovorne strane potvrđuju da ne postoje drugi ugovori koji regulišu predmetnu materiju.



Ovaj Ugovor predstavlja celoviti sporazum koji se odnosi na ovaj predmet Ugovora i svi prethodni razgovori, pregovori ili sporazumi se ovim ukidaju i važe samo odredbe ovog Ugovora.

Član 9.

Sve eventualne izmene i dopune ovog Ugovora vršiče se posebnim aneksom, koji mora biti zaključen u pisanom obliku.

Aneks se smatra zaključenim kada ga potpišu obe ugovorne strane.

Svi aneksi ovog Ugovora, čine njegov sastavni deo.

Član 10.

Za sve što nije predviđeno ovim Ugovorom, primeniće se pozitivni zakonski propisi.

PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Član 11.

Sve eventualne sporove po ovom Ugovoru, ugovorne strane će nastojati da reše sporazumno, a u slučaju da do sporazuma ne dodje, spor će se rešavati pred Privrednim sudom u Zaječaru.

Ugovor stupa na snagu danom potpisivanja od strane ovlašćenih predstavnika ugovarača.

Ovaj Ugovor sastavljen je u 6 (šest) istovetnih primerka, od kojih svaka ugovorna strana zadržava po 3 (tri) za svoje potrebe.

INSTITUT ZA RUDARSTVO I
METALURGIJU
-BQR

Direktor dr Mile Bugarin,
naučni savetnik

METAL RECOVERY D.O.O
BEOGRAD



Samir Krak, direktor



**INSTITUT ZA RUDARSTVO
I METALURGIJU BOR**
19210 BOR, ul. Zelene bulevar 35
PAK : 602001

PIB 100627146

MB 07130279

Tel/Fax. 030 / 454 - 127; Faks: 030 / 436 - 731

Teкући račun - 160 - 42434 - 38

e-mail: tanja.mihajlovic@irmbor.co.rs

KUPAC	401731
METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD	
<i>Kneginje Zorke br. 2</i>	
<i>11000 Beograd</i>	
PAK :	
PIB:	108622149 MB 21035939

KONAČNI RAČUN br.

94110513-20

Mesto izdavanja : BOR

Datum izdavanja : 28.08.2020.

Datum prometa : 28.08.2020.

Valuta : 08.09.2020.

Ugovor br. 1168/19 od 17.07.2019.

Šifra projekta	Naziv	Poreska osnovica	stopa PDV	Iznos PDV	Vrednost sa PDV
	<i>Izrada laboratorijskih ispitivanja hidrometalurške prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga</i>	2,950,000.00	20%	590,000.00	3,540,000.00
	Avansni račun br. 94110690-19	-295,000.00	20%	-59,000.00	-354,000.00
	Avansni račun br. 94110082-20	-885,000.00	20%	-177,000.00	-1,062,000.00
	Avansni račun br. 94110248/A-20	-885,000.00	20%	-177,000.00	-1,062,000.00
	Za uplatu:	885,000.00	20%	177,000.00	1,062,000.00
UKUPNA VREDNOST sa PDV		2,950,000.00	20%	590,000.00	3,540,000.00

Napomena o poreskom oslobodjenju:

Nema osnova za poresko oslobodjenje

NAPOMENA : UPLATU IZVRŠITE NA TEKUĆI RAČUN. PRILIKOM UPLATE OBAVEZNO SE POZOVITE NA BROJ RAČUNA

U slučaju neblagovremene uplate zaračunavamo zakonsku zateznu kamatu i tražimo naplatu sudskim putem bez prethodne opomene.

U slučaju sudskog spora priznajemo nadležnost Privrednog suda u Zajčaru.

Reklamacije se primaju u roku od 8 dana od datuma izdavanja računa. Reklamacija ne zadržava isplatu.

Fakturisao

Tanja Mihajlović



Rukovodilac

Vesna Florić, dipl.ecc.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

19210 Бор, Зелени булевар 35
Тел: (030)436-826; факс: (030)435-175; E-mail: institut@irmbor.co.rs



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
ZELENI BULEVAR 35, 19210, BOR
MB: 07130279

PROKNIŽIŽENE PROMENE (broj računa: 160-000000042434-38) na dan 23.11.2023.

Redni broj	Poslovno ime i sedište platioca - primaoca plaćanja Broj računa	Poreklo naloga datum izvršenja	IZNOS u RSD		Šifra	Svrha plaćanja	Poziv na broj (začuđenje) Poziv na broj (odobrenje)	Referentna oznaka transakcije (podaci)
			duguje	potražuje				
1	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005841 Pančevo, Karadžićeva 2-4 25 10 2019	0.00	354.000.00	221	teh. ispitivanja hidrometalurške prerade sirovina		13511891281001
2	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005841 Pančevo, Karadžićeva 2-4 24 02 2020	0.00	1.062.000.00	221	301. UČES. UČES. O. LAB. I TEHNO. ISPITIVANJA JAKOSTI 1188-19		841PLPI2005501JO (57303564)
3	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005841 Pančevo, Karadžićeva 2-4 19 05 2020	0.00	1.062.000.00	221	račun 94110023		841PLPI2014002PO (97989708)
4	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005108 Novi Beograd, Milenija Popovića 7b 04.12.2023	0.00	1.062.000.00	221	račun br.94110513-20		108PLPI2033900RT (2050002004)
Ukupno			0.00	3.540.000.00				

Štampano: 23.11.2023.



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
ZELENI BULEVAR 35, 19210, BOR
MB: 07130279

PROKNIŽIŽENE PROMENE (broj računa: 160-000000042434-38) na dan 23.11.2023.

Redni broj	Poslovno ime i sedište platioca - primaoca plaćanja Broj računa	Poreklo naloga datum izvršenja	IZNOS u RSD		Šifra	Svrha plaćanja	Poziv na broj (začuđenje) Poziv na broj (odobrenje)	Referentna oznaka transakcije (podaci)
			duguje	potražuje				
1	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005177 Novi Beograd, Bulevar Arsenija Karađevića 44 13 01 2022	0.00	2.930.810.00	221	predračun br 94110078		177PLPI22013000Z (4497827430)
2	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005177 Novi Beograd, Bulevar Arsenija Karađevića 44 13 02 2022	0.00	3.562.048.71	221	račun br 94010219-22		177PLPI221330001 (57303564)
3	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005177 Novi Beograd, Bulevar Arsenija Karađevića 44 12 10 2022	0.00	2.027.093.00	221	uplata po račun br 94010749-22		177PLPI222850001 (0093278268)
Ukupno			0.00	8.519.951.71				

Štampano: 23.11.2023.



ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
ZELENI BULEVAR 35, 19210, BOR
MB: 07130279

PROKNIŽIŽENE PROMENE (broj računa: 160-000000042434-38) na dan 23.11.2023.

Redni broj	Poslovno ime i sedište platioca - primaoca plaćanja Broj računa	Poreklo naloga datum izvršenja	IZNOS u RSD		Šifra	Svrha plaćanja	Poziv na broj (začuđenje) Poziv na broj (odobrenje)	Referentna oznaka transakcije (podaci)
			duguje	potražuje				
1	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005108 Novi Beograd, Milenija Popovića 7b 22 12 2023	0.00	847.746.00	221	predračun br 94110097		108PLPI203370001 (2181076293)
2	METAL RECOVERY d.o.o. BEOGRAD BEOGRAD, VUČA 160-000000415575-92	005177 Novi Beograd, Bulevar Arsenija Karađevića 44 12 11 2023	0.00	847.746.00	221	po račun br 94110037-21		177PLPI2131900DX (4637703400)
Ukupno			0.00	1.695.492.00				

Štampano: 23.11.2023.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarožita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



11.1.3.Dokaz o primeni tehničkog rešenja

METAL RECOVERY D.O.O.

Predmet: Dokaz o verifikaciji Tehničkog rešenja pod nazivom:

NOVO TEHNIČKO REŠENJE PROCESA PRERADE OTPADNOG Pb-Ag JAROSITA U CILJU VALORIZACIJE INDIJUMA

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor je za potrebe METAL RECOVERY d.o.o. Beograd izradio Tehničko rešenje pod nazivom:

NOVO TEHNIČKO REŠENJE PROCESA PRERADE OTPADNOG Pb-Ag JAROSITA U CILJU VALORIZACIJE INDIJUMA

Ustanova/Autori rešenja:

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor/ dr Vesna Conić dipl.ing.met., dr Dragana Božić, dipl.ing.met., dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.tehn., dr Dejan Bugarin, dipl.ecc., dr Ivana Jovanović, dipl.ing.rud., mr Miloš Janošević, dipl.ing.met., prof.dr. Željko Kamberović, dipl.ing.met., redovni profesor.

POTVRDA O IZVRŠENOJ USLUZI (METAL RECOVERY d.o.o. Beograd)

U ovom Tehničkom rešenju razvijena je nova tehnologija dobijanja indijuma koji se široko koristi u elektronici, medicini i zdravstvenoj zaštiti, fotoelektronici, kompjuterima itd. Kao polazna sirovina korišćen je jarosit-PbAg talog dobijen kao nusproizvod iz procesa proizvodnje cinka u Elixiru, Šabac. Izrada, laboratorijskih tehnoloških ispitivanja hidrometalurške prerade nestandardnog jarosit Pb-Ag taloga, je realizovana u skladu sa predmetom Ugovora br. 1168/19 od 17.07.2019. god., zaključenog između Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Metal Recovery Beograd.

Ispitivanja tretmana nestandardnog jarosit-PbAg taloga u cilju valorizacije korisnih i visokovrednih metala, urađena su na uvećanom nivou (Pilot postrojenju) i sistematizovana u formi izveštaja, od strane Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor (IRM Bor), pod nazivom: Tehnološka ispitivanja prerade nestandardnog jarosit PbAg taloga na uvećanom laboratorijskom nivou: Izveštaj (link: <https://plus.cobiss.net/cobiss/sr/sr/bib/ubsm/65960969>).

U cilju valorizacije indijuma i ostalih korisnih i visoko vrednih metala urađena su detaljna laboratorijska ispitivanja kombinovanog postupka koji uključuje prženje Jarosit PbAg taloga i luženje nastalog produkta. Nakon prženja uzorka Pb-Ag jarosita u vremenu od 4h na temperaturi od 530°C i luženja prženca vodom pri odnosu faza Č:T=1:5 za vreme od 1h dobijena su visoka izluženja metala Cu (91,07%), Zn (91,97%), In (99,95%) i nisko izluženje Fe (9,6%). Sulfatni lužni rastvor u kome se nalaze Cu, Zn, Fe i In tretiran je radi razdvajanja prisutnih metala primenom rastvora 1MNaOH na pH = 3.5–4.5 pri čemu je istaložen indijum kao In(OH)₃ i gvožđe kao Fe(OH)₃. Iz sulfatnog lužnog rastvora je istaloženo 94% Fe i 98% In. Na taj način su odvojeni Fe i In u obliku pecipitata - taloga, obogaćenog indijumom. Hidroksidni talog (precipitat) obogaćen indijumom tretiran je dalje sa razblaženom 50g/L H₂SO₄ radi prevođenja indijuma u rastvor. Nakon rastvaranja prisutno trovalentno železo u rastvoru redukovano je do dvovalentnog sa SO₂ gasom. Indijum je iz sulfatnog rastvora tretiran postupkom cementacije, korišćenjem Al-praha. Opisanim

Ul. Knežinje Zorke br.2; 11000 Beograd; Tel/fax +381 11 3093; PIB: 108622149; MB: 21035939; TR: 160-415575-92 Banca Intesa ad

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarosita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



METAL RECOVERY D.O.O.

tehnološkim postupkom proverenim i dokazanim na Pilot postrojenju dobijen je sirovi indijum koji sadrži 49.66% indijuma.

Ovim se potvrđuje da je u okviru Tehničkog rešenja razvijen novi tehnološki postupak dobijanja komercijalnog proizvoda sirovog Indijuma koji sadrži 49,66% indijuma.

METAL RECOVERY d.o.o. Beograd će nastaviti sa neophodnim aktivnostima radi stvaranja uslova za pocetak proizvodnje sirovog Indijuma primenom navedene tehnologije.

U Beogradu, 10.01.2024.godine





11.2. Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno

Dr Vesna Conić, dipl.ing.met., viši naučni saradnik:

M82:

1. Vladimir Cvetkovski, **Vesna Conić**, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Branka Pešovski, Danijela Simonović, Dana Stanković, Zoran Vaduvesković, "Nova Proizvodna Linija Za Dobijanje Bakar Sulfata Solventnom Ekstrakcijom Rudničkih Voda", Projekat Tr 34004:-2011. Razvoj Ekoloških i Energetski Efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojenih i Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije I Elektrolitičke Rafinacije.
2. Vladimir Cvetkovski, **Vesna Conić**, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Danijela Simonović, Silvana Dimitrijević, Zorica Ljubomirović, "Nova Proizvodna Linija Za Proizvodnju Bakra Solventnom Ekstrkcijom Rudničkih Voda" Br.T1/34004-2012. Projekat Tr 34004: Razvoj Ekoloških I Energetski Efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojeni I Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije I Elektrolitičke Rafinacije.
3. Branka Pešovski, Vladimir Cvetkovski, Danijela Simonović, Zdenka Stanojević Šimšić, Smiljana Jakovljević, Ljiljana Mladenović, **Vesna Conić**, Tehn. Res. 2011. Nova proizvodna linija fleksibilnog postrojenja za proizvodnju soli i čistih hemikalija br IV/8.5 od 06.12..2011., Projekat Tr 34004: Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih Tehnologija Za Proizvodnju Obojenih i Plemenitih Metala Kombinacijom Bioluženja, Solventne Ekstrakcije i Elektrolitičke Rafinacije.

M83:

1. Silvana Dimitrijević, Vlastimir Trujić, Suzana Dragulović, Radmila Marković, **Vesna Conić**, Biljana Madić, Zdenka Stanojević Šimšić, "Reciklaža Bakra I Srebra Iz Posrebrenih Mesinganih Kućišta Kombinacijom Pirometalurških , Elektrometalurških I Hemijskih Postupaka" Br. T1/2012, Projekat Tr 34024: Razvoj Tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda
2. **Vesna Conić**, Silvana Dimtrijević, Dragan Milanović, Radmila Marković, Suzana Dragulović, Sanja Bugarinović, Ivana Jovanović, Tehn.reš. T1 34004 – Izdvajanje selena iz procesa elektrolitičke rafinacije bakra,. Tehnicko resenje, Broj odluke Naučnog veća IRM Bor:, (M83) od XXIX/6. 13.11.2015. godine. Tehničko rešenje je rezultat projekta TR 34004 i TR 33023.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



M85:

1. Suzana Dragulović, Danijela Simonović, Branka Pešovski, **Vesna Conić**, Zdenka Stanojević Šimšić, Emina Požega, Vesna Krstić, Dobijanje olovo (II) oksida iz čvrstog ostatka dobijenog bioluženjem polimetalčnih sulfidnih koncentrata, Projekat MPN br. TR34004 (2011-2018). Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije

Dr Dragana Božić, dipl.ing.met., viši naučni saradnik:

M82:

1. S. Dragulović, V. Trujić, S. Dimitrijević, Z. Ljubomirović, B. Trumić, R. Marković, **D. Božić**, M. Gorgievski, „Dobijanje rodijuma visoke čistoće(min 99,95%)iz sekundarnih sirovina metodom solventne ekstrakcije“, 2011.,TR 34024

M83:

2. S. Dragulović, S. Dimitrijević, B. Trumić, R. Marković, **D. Božić**, M. Gorgievski, S. Alagić, Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog cijanida, IRM Bor, 2015.,TR 34024.

Dr Ljiljana Avramović, dipl.ing.teh., naučni saradnik:

M82:

1. Radmila Marković, Jasmina Stevanović, Radojka Jonović, **Ljiljana Avramović**, Mile Dimitrijević, Renata Kovačević, Vojka Gardić, Izdvajanje bakra iz otpadnih sumporno-kiselih rastvora elektrolitičkom rafinacijom bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.3. od 27.12.2013.
2. Radmila Marković, Jasmina Stevanović, Radojka Jonović, **Ljiljana Avramović**, Mile Dimitrijević, Renata Kovačević, Vojka Gardić, Izdvajanje bakra iz otpadnih sumporno-kiselih rastvora elektrolitičkom rafinacijom bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.3. od 27.12.2013.
3. Silvana Dimitrijević, Mile Bugarin, Aleksandra Ivanović, Radmila Marković, **Ljiljana Avramović**, Milan Jovanović, Stevan Dimitrijević: Reciklaža dijamantata iz dijamantskih krunica bušaćih garnitura, Projekat MNTR br. TR-34024 i TR-37001, 2019. NV IRM-a broj XV/6.2. od 16

M83:

1. R.Jonović, **Lj.Avramović**, S.Magdalinić, D.Milanović, Tehnološki postupak dobijanja volframtrioksida iz koncentrata šelita poreklom iz polimetalčne rude sa rudnog tela »Nova jama«-ad Rudnik, tehničko i razvojno rešenje – novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR 19002, 2008-2010., Odluka br. X/10.3. od 16.04.2009.
2. Lj. Obradović, Z. Stevanović, R.Marković, R. Jonović, **Lj.Avramović**, Laboratorijsko postrojenje za kontinualno perkolaciono luženje u kolonama, tehničko i razvojno rešenje

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



- novo laboratorijsko postrojenje, Projekat MNTR br. TR 21008, 2008-2010. Odluka br.573 od 24.04.2009.
3. M.Bugarin, Lj. Obradović, Z. Stevanović, R.Marković, R. Jonović, **Lj.Avramović**, R.Stevanović, Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 471/13.04.2010.
 4. R.Jonović, **Lj.Avramović**, S. Radosavljević, S.Magdalinović, D.Milanović, Tehnološki postupak dobijanja bizmuta iz koncentrata volframa dobijenog sa rudnog tela »Nova jama«-ad Rudnik, tehničko rešenje – novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR 19002, IRM Bor – 203/07.02.2011
 5. S. Dimitrijević, R. Marković, M. Bugarin, J. Stevanović, B.Jugović, **Lj. Avramović**, S. Dragulović, Uvećano laboratorijsko postrojenje za elektrohemijaska ispitivanja, Odluka Naučnog veća IRM-a o prihvatanju tehničkog rešenja br. X/7.4. od 09.10.2012.
 6. Mile Bugarin, Radojka Jonović, **Ljiljana Avramović**, dr Zoran Stevanović, Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić, Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, Projekat MNTR br. TR 37001, Odluka NV IRM-a broj XVII/2.2. od 27.12.2013.
 7. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, **Ljiljana Avramović**, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014.

M84:

1. Radojka Jonović, **Ljiljana Avramović**, mr Radmila Marković, mr Zoran Stevanović, dr Milica Gvozdrenović, dr Jasmina Stevanović, Ljubiša Obradović, "Razaranje sulfida iz vanbilansnih materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra", Odluka Naučnog veća IRM-a o prihvatanju tehničkog rešenja br. X/7.3. od 09.10.2012.

M85:

1. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, **Lj.Avramović**, R.Jonović, Z.Stevanović, Lj.Obradović, Novi softver za određivanje ekstrakcione konstante i konstante dimerizacije metodom najmanjih kvadrata iz eksperimentalnih podataka za ekstrakciju bakra sa LIX ekstragensima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 515/21.04.2010.
2. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, R.Marković, **Lj.Avramović**, R.Jonović, Z.Stevanović, Lj.Obradović, Novi softver za simulaciju ekstrakcije bakra iz kiselih sulfatnih rastvora hidroksioksimima, Tehničko i razvojno rešenje – novi softver, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor – 514/21.04.2010.
3. R.Stevanović, M.Tufegdžić, R.Marković, **Lj.Avramović**, R.Jonović, Izračunavanje rastvorljivosti bakar-sulfata pentahidrata u vodenim rastvorima sumporne kiseline i

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



izračunavanje napona pare iznad takvog rastvora – razvoj softvera, Projekat MNTR br. TR 21008.4.

4. S. Dimitrijević, R. Marković, **Lj. Avramović**, M. Bugarin, A. Ivanović, V. Trifunović, Novo tehničko rešenje (nije komercijalizovano) - Elektrolitičko dobijanje cinka iz otpadne prašine elektrolučne peći, Odluka NV o prihvatanju tehničkog rešenja br. XII/5 od 02.02.

Dr Dejan Bugarin, dipl, ecc., naučni saradnik,

Nema ni jedno.

Dr Ivana Jovanović, dipl.ing.rud., viši naučni saradnik

M 82:

1. Daniel Kržanović, dr Dragan Milanović, Daniela Urošević, Milenko Ljubojev, **Ivana Jovanović**, Bojan Drobňaković, Sanja Petrović, Novo tehničko rešenje procesa pripreme (drobljenje i Prosejavanje) rude bakra u rudniku bakra Majdanpek u cilju povećanja kapaciteta prerade, Rudnik bakra Majdanpek, koji posluje u sastavu Rudarsko topioničarski basen Bor, 2018.
2. **Ivana Jovanović**, Sanja Petrović, Dragan Milanović, Bojan Drobňaković, Miomir Mikić, Daniela Urošević, Lidija Đurđevac-Ignjatović, Implementacija nove linije osnovnog flotiranja minerala bakra iz ležišta "Cerovo" u flotaciji Veliki Krivelj, Tehničko rešenje, 2015.

Mr Miloš Janošević dipl.ing.met., istraživač saradnik,

Nema ni jedno.

Prof. dr Željko Kamberović, dipl.ing.met., redovni profesor:

M82:

1. Z. Anđić, **Ž. Kamberović**, S. Arandelović, Tehničko-tehnološko rešenje procesa stabilizacije i solidifikacije odabranih visokotoksičnih migratornih elemenata, „Yunirisk“ d.o.o., Beograd, 2018.
2. **Željko Kamberović**, Zoran Anđić, Marija Štulović, Dr Dragana Radovanović, Sanja Jevtić, Vesna Nikolić, Tehnoloski postupak tretmana otpadnih voda nastalih na proizvodnom kompleksu Eco Met reciklaža doo Zajaca, 2023.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“

**M83:**

1. **Ž. Kamberović**, M. Korać, Z. Anđić, M. Gavrilovski, D. Ivšić-Bajčeta, Novi tehnološki postupak stabilizacije/solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u Topionici bakra RTB Bor, RTB Bor, MPN br. 34033, 2012
2. **Ž. Kamberović**, M. Korać, Z. Anđić, M. Knežević-Štulović, A. Vujović, V. Cvetković, „Novi tehnološki postupak tretmana otpadne alkalne šljake iz sekundarne metalurgije olova“, Domaći prerađivači sekundarnog olova, MPN br. 34033, 2012
3. **Ž. Kamberović**, M. Korać, Z. Anđić, V. Nikolić, A. Mihajlović, Projektaovanje i izrada laboratorijskog postrojenja za dobijanje monolitnih Ni/Al₂O₃ katalizatora, MPNTR, 34033, 2014
4. Stevan Dimitrijević, **Željko Kamberović**, Milisav Ranitović, Marija Korać, Silvana Dimitrijević, Pобољшanje karakteristika srebrnog praha mikrometarske veličine i optimizacija troškova proizvodnje u proizvodnom pogonu Chimet S.p.A.

M84:

1. **Ž. Kamberović**, M. Gavrilovski, Z. Anđić, M. Korać, V. Nikolić, Bitno poboljšan tehnološki postupak sinteze monolitnih pena na bazi Al₂O₃ kao nosača katalitički aktivnih komponenti i filtera za istopljene metale, „11. mart“ a.d. Srebrenica, MPN br. 34033, 2013. god.
2. **Ž. Kamberović**, M. Korać, Z. Anđić, V. Nikolić, A. Mihajlović, Pобољшан tehnološki postupak sporog hlađenja šljake iz primarne proizvodnje bakra, MPNTR, br. 34033, 2014. god.
3. **Ž. Kamberović**, D. Radovanović, Z. Anđić, N. Jovanović, Tehnološki postupak stabilizacije/solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u Topionici bakra RTB Bor, 2018. god.

M85:

1. Z. Stević, M. Rajčić-Vujasinović, S. P. Dimitrijević, S. B. Dimitrijević, Z. Stojiljković, **Ž. Kamberović**, Pulsno-reverzni izvor napajanja za primenu u galvanotehnici, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2017. god.
2. Zoran Stević, Zoran Stojiljković, Stevan Dimitrijević, Silvana Dimitrijević, Miša Stević, Dragan Milenković, Predrag Stolić, **Ž. Kamberović**, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje; 2022. god.

ZAHVALNOST

Tehničko rešenje – (M82) rezultat je finansijski podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, ugovor br. 451-03-47/2023-01/200052.

„Novo tehničko rešenje procesa prerade otpadnog Pb-Ag jarozita u Zorki Obojena metalurgija – Šabac u cilju valorizacije indijuma“



REFERENCE

- [1] P. Asokan, M. Saxena, S.R. Asolekar, Hazardous jarosite use in developing nonhazardous product for engineering application, *Journal of Hazardous Materials* 137 (2006) 1589–1599.
- [2] S.Creedy, A.Glinin, R. Matusewics, S. Hughes, M.Reuter, 2013. Outotec Ausmelt Technology for Treating Zinc Residues. *World Metall. - ERZMETALL* 66, 230–235.
- [3] S. Hughes, M. Reuter, R. Baxter, A. Kaye, Ausmelt Technology for Lead and Zinc Processing, in: *Lead and Zinc 2008*. pp. 147–162.
- [4] A. Rus, A.S. Sunkar, Y.A. Topkaya, Zinc and lead extraction from Cinkur leach residues hydrometallurgical method, *Hydrometallurgy* 93 (2008) 45–50.
- [5] M.Turan, H. Altundoğan, F. Tümen, Recovery of zinc and lead from zinc plant residue. 75 (1-4):*Hydrometallurgy*, 2004, 169-176.
- [6] P. Asokan, M. Saxena, S.R. Asolekar, Hazardous jarosite use in developing nonhazardous product for engineering application, *Journal of Hazardous Materials* 137 (2006) 1589–1599.
- [7] P. Asokan, M. Saxena, S.R. Asolekar, Recycling hazardous jarosite waste using coal combustion residues, *Materials Characterization* 61 (2010) 1342–1355.
- [8] M. Pelino, Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass ceramic materials, *Waste Management* 20 (2000) 561–568.
- [9] P. Piscicella, S. Crisucci, A. Karamanov, Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes, *Waste Management* 21 (2001) 1–9.
- [10] E. Guler, A. Seyrankaya, I. Cöcen, Extraction of Lead and Silver from Zinc Leach Residue by Brine Leaching, *Proceedings of the XII th International Mineral Processing Symposium 6-8 October 2010 Cappadocia Nevsehir Turkey*, pp.653-663.
- [11] P. Koukkari, P. Kangas, M. Lundström, S. Kinnunen, J. Rastas, P. Saikkonen, *The Jarogain Process for Metals Recovery from Jarosite and Electric Arc Furnace Dust*, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER ISSN 2242-1211, ISBN 978-951-38-8596-0.
- [12] V. Conić, D. Božić, S. Dragulović, Lj. Avramović, R. Jonović, M. Bugarin, 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*.
- [13] B. Hu, R. Richeys, J. Baird, Chemical Equilibrium and Critical Phenomena: Solubility of Indium Oxide in Isobutyric Acid Water Near the Consolute Point. *J. Chem. Eng.* 2009, 54, 1537–1540.