

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Katedra za pripremu mineralnih sirovina



Z B O R N I K R A D O V A

**X KOLOKVIJUM
O PRIPREMI MINERALNIH SIROVINA**

Beograd, 8. decembar 2023.

**X Kolokvijum o pripremi mineralnih sirovina
ZBORNIK RADOVA**

RECENZENTI:

Prof. dr Predrag Lazić

Prof. dr Milena Kostović

UREDNIK:

Prof. dr Milena Kostović

PREDSEDNIK UREĐIVAČKOG ODBORA RUDARSKO-GEOLOŠKOG FAKULTETA:

Doc. dr Dragana Nišić

ČLANOVI UREĐIVAČKOG ODBORA:

Dr Marija Živković, van. prof.; dr Dragana Nišić, docent; dr Milanka Negovanović, van. prof.; dr Ivana Vasiljević, van. prof.; dr Danica Srećković Batočanin, red. prof.; dr Biljana Ablomasov, red. prof.; dr Ranka Stanković, van. prof.; dr Nevenka Đerić, red. prof.; dr Suzana Lutovac, van. prof.; Marina Bukavac

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Katedra za pripremu mineralnih sirovina

Radovi su štampani u izvornom obliku uz neophodnu tehničku obradu. Autori odgovaraju za svoje stavove i saopštene podatke. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovan, presniman ili prenošen bez pismene saglasnosti izdavača

KOMPJUTERSKI SLOG:

Dr Đurica Nikšić

ŠTAMPA: SaTCIP, Vrnjačka Banja

Tiraž: 150 komada

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

622.7(082)

КОЛОКВИЈУМ о припреми минералних сировина (10 ; 2023 ; Београд)

Zbornik radova / X kolokvijum o pripremi mineralnih sirovina, Beograd, 8. decembar 2023. ; [urednik Milena Kostović]. - Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, Katedra za pripremu mineralnih sirovina, 2023 (Vrnjačka Banja : SaTCIP). - [15], 195 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 150. - Str. [9-10]: Predgovor / Organizacioni odbor. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-395-8

а) Руде -- Припрема -- Зборници

COBISS.SR-ID 131574793

Beograd, 2023. godine

ISBN 978-86-7352-395-8

©Sva prava zadržava izdavač

ORGANIZATOR:

**Katedra za pripremu mineralnih sirovina
Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd**

POČASNI ODBOR:

Prof. emeritus dr Nadežda ČALIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Slaven DEUŠIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Svetlana POPOV, red. prof. u penziji
Prof. dr Rudolf TOMANEC, red. prof. u penziji
Prof. dr Dušica VUČINIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Vladimir ČEBAŠEK, rukovodilac Rudarskog odseka, RGF
Prof. dr Biljana ABOLMASOV, dekan Rudarsko-geološkog fakulteta

NAUČNI ODBOR:

Prof. dr Predrag LAZIĆ, RGF - Beograd
Prof. dr Milena KOSTOVIĆ, RGF - Beograd
Dr Đurica NIKŠIĆ, RGF - Beograd
Prof. dr Jovica SOKOLOVIĆ, Tehnički fakultet - Bor
Dr Dragan RADULOVIĆ, ITNMS - Beograd
Dr Dragan MILANOVIĆ, IRM - Bor
Mr Zorica VUKADINOVIĆ, Ministarstvo rudarstva i energetike R. Srbije
Mr Jasmina NEŠKOVIĆ, Rudarski institut - Zemun

ORGANIZACIONI ODBOR:

Prof. dr Milena KOSTOVIĆ, predsednik
Master ing. Marina BLAGOJEV, sekretar
Prof. dr Predrag LAZIĆ, član
Dr Đurica NIKŠIĆ, član
Dipl. ing. Branislav MIKOVIĆ, član

**Organizovanje X Kolokvijuma o pripremi mineralnih
sirovina i štampanje zbornika radova finansijski su pomogli:**

**Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i
inovacija Republike Srbije**

**Rudarski odsek Rudarsko-geološkog
fakulteta, Beograd**

Elixir Prahovo

SADRŽAJ:

SADRŽAJ:.....	5
PROFESOR DR DRAGIŠA DRAŠKIĆ.....	9
ISPITIVANJE SEPARABILNOSTI UGLJEVA PRIMENOM KOEFICIJENTA SEPARABILNOSTI, IW I NGMI INDEKSA.....	1
LABORATORIJSKO I POLUINDUSTRIJSKO ISPITIVANJE USPEŠNOSTI FLOTACIJSKE KONCENTRACIJE MINERALA CERUZITA RUDNOG LEŽIŠATA OČEKALJ, RUDNIKA GEOMET D.O.O. OLOVO BIH.....	12
KARAKTERIZACIJA PEPELA, ŠLJAKE I GIPSA U CILJU RAZVOJA TEHNOLOGIJE NJIHOVOG ZAJEDNIČKOG ODLAGANJA.....	30
POLIMORFNE PROMENE MATERIJE NASTALE MLEVENJEM MINERALA.....	39
PROCENA RIZIKA OD UDESA NA FLOTACIJSKOM JALOVIŠTU RUDNIKA „LECE” PRE I POSLE SANACIJE.....	54
UTVRĐIVANJE PARAMETARA MOKROG MLEVENJA FOSFATA U KOMPANIJI „ELIXIR“ PRAHOVO.....	66
SAVREMENA OPREMA ZA ODVODNJAVANJE PROIZVODA FLOTACIJSKE KONCENTRACIJE.....	75
ANALIZA RIZIKA FLOTACIJSKIH JALOVIŠTA.....	84
MODERNIZACIJA FLOTACIJA U OKOLINI BORA.....	92
STUDIJA IZVODLJIVOSTI NADZEMNE GASIFIKACIJE LIGNITA KAO MOGUĆE KONCEPTUALNO REŠENJE ZA STRATEŠKI PRISTUP PRAVEDNOJ ENERGETSKOJ TRAZICIJI.....	103
UNAPREĐENJE PROCESA PRIPREME I PRERADE LIMONITNE RUDE U POSTROJENJU GMS – OMARSKA.....	111
PROIZVODNJA UGLJA IZ SEKUNDARNOG TEHNOGENOG LEŽIŠTA NA RUDNIKU UGLJA KOVIN.....	122
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA I TRETMAN MULJA IZ POSTROJENJA ZA PMS- PREDUSLOVI, METODE I IZAZOVI.....	136
OPŠTI FAKTORI ODLAGANJA CEMENTNIH SMEŠA JALOVINE KAO ZAPUNA U RUDNICIMA.....	153
EU POJEKTI -MOGUĆNOST I ŠANSA ZA UKLJUČIVANJE I ANGAŽMAN NAUČNIH KADROVA IZ GEOLOGIJE I RUDARSTVA (POSEBNO PMS-STRUKE). SA OSVRTOM NA PROJEKAT RIS-	

DUSTREC-II NO 22009 IZ OBLASTI EIT' RAW MATERIALS (SEKUNDARNIH SIROVINA).....	168
RECIKLAŽA I PONOVNNA UPOTREBA FLOTACIJSKE JALOVINE RUDNIKA „RUDNIK“ U CILJU OSVAJANJA TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA PRERADE SEKUNDARNIH SIROVINA U SRBIJI – PROJEKAT IZ PROGRAMA PRIZMA (2024-2026) - REASONING.....	180

RECIKLAŽA I PONOVA UPOTREBA FLOTACIJSKE JALOVINE RUDNIKA „RUDNIK“ U CILJU OSVAJANJA TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA PRERADE SEKUNDARNIH SIROVINA U SRBIJI – PROJEKAT IZ PROGRAMA PRIZMA (2024-2026) - REASONING

*Dragan S. Radulović¹, Jovica Stojanović¹, Grozdanaka Bogdanović², Vladimir Simić³,
Milena Kostović³, Vladimir Jovanović¹, Dejan Todorović¹, Branislav Ivošević¹*

¹ *Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše D' Eperea 86,
11000 Beograd, Srbija, e-mail: itnms@itnms.ac.rs*

² *Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor,
Srbija, e-mail: gbogdanovic@tfbor.bg.ac.rs*

³ *Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Đušina 7, 11000 Beograd, Srbija,
e-mail: vladimir.simic@rgf.bg.ac.rs; milena.kostovic@rgf.bg.ac.rs*

Sažetak: *Velike količine flotacijske jalovine stvaraju se u Srbiji (preko 20 Mt), kao i u svetu (20.000-25.000 Mt). Zbog zaostalih teških metala (Pb, Cu, Fe i Zn...) ona predstavlja potencijalno opasan otpad koji bi trebalo zbog vrednosti plemenitih i obojenih metala u njoj reciklirati. Na Rudniku „Rudnik“ svake godine se generiše oko 250.000 t, flotacijske jalovine, od 1953. god. oko 11 Mt.*

Naučno istraživačkim radom i obavljenim ispitivanjima u okviru Projekta-REASONING (2024.-2026.) *dobiće se rezultati i osvojiće se nova inovativna rešenja i znanja čija će implementacija omogućiti osvajanje tehnoloških postupaka reciklaže i prerade flotacijske jalovine Rudnika “Rudnik”.*

Ključne reči: *flotacijska jalovina Rudnik “Rudnik”, reciklaža, prerada sekundarnih sirovina*

UVOD

Rudarska jalovina uopšte, može predstavljati globalnu opasnost po zdravlje, životnu sredinu i privredu, jer rudarski otpad predstavlja izvor teških metala i drugih potencijalno toksičnih materija. Flotacijska jalovina, dobijena iz postupaka flotiranja metalčnih mineralnih sirovina potencijalno predstavlja opasan otpad. Stoga bi potencijalna ponovna upotreba i reciklaža takvih materijala trebalo da bude primarni cilj, jer poboljšava ne samo ekonomska, već još više ekološka i društvena pitanja. Glavni fokus naučno istraživačkog rada projekta REASONING bila je flotacijska jalovina Rudnik “Rudnik” sa utvrđivanjem načina mogućnosti njene valorizacije i ponovne primene u različitim privrednim granama.

Rudnik “Rudnik” se bavi eksploatacijom i preradom Pb-Zn rude od 1953. godine do danas. Eksploataciju je neminovno pratila i izgradnja jalovišta, koje se

vremenom proširivalo i danas zahvata prostor od preko 30 ha. Od početka prerade do danas u jalovištu Rudnika "Rudnik" deponovano je preko 11.000.000 t flotacijske jalovine. Ovaj materijal predstavlja ostatak nastao posle postupka flotiranja kojim su dobijeni koncentracije K/PbS, K/CuFeS₂ i K/ZnS. Ovaj sitnozrni materijal, u jalovištu Rudnika "Rudnik" zauzima veliki prostor i zapreminu (preko 7 miliona m³). Sam postupak bezbednog odlaganja i deponovanja flotacijske jalovine predstavlja za bilo koji rudnika, pa tako i za Rudnik "Rudnik" ozbiljan trošak koji značajno opterećuje i materijalno i tehnički tekuću proizvodnju. Zbog svega ovoga rukovodstvo Rudnika "Rudnik" i kompanije Contango, koja je vlasnik rudnika iskazali su veliku zainteresovanost za realizaciju Projekta REASONING.

Ciljevi projekta REASONING su detaljna karakterizacija flotacijske jalovine Rudnika „Rudnik“ sa fokusom na sadržaj različitih ekonomski interesantnih elemenata kao što su Pb, Zn, Cu, Au, Ag, Bi, V, REE, PGE, odabrani kritični elementi, i definisanje novih saznanja, procedure, i tehnološka rešenja koja će omogućiti reciklažu i ponovnu upotrebu dela flotacione jalovine iz rudnika „Rudnik“. Da bi se postigao ovaj cilj, izvršiće se detaljna i multidisciplinarna mineraloška, geohemijska i geofizička karakterizacija jalovine. Prvi put u Srbiji biće merena magnetna osetljivost u flotacijskoj jalovini. Reprezentativni uzorci biće obezbeđeni bušenjem i uzorkovanjem flotacijske jalovine. Na osnovu postignutih rezultata definišće se najefikasniji postupci prerade minerala kojima se ove korisne komponente mogu ekstrahovati u tržišne proizvode. Ispitivaće se potencijalna primena kako sirovog materijala jalovine, tako i prečišćenog od gline i metalnih minerala, posebno u građevinskoj industriji. Novostečena znanja i tehnološka rešenja trebalo bi da budu primer za primenu u budućim istraživačkim projektima u Srbiji koji imaju slične probleme sa flotacijskom jalovinom.

PRELIMINARNA FIZIČKO-HEMIJSKA I MINERALOŠKA KARAKTERIZACIJA

Hemijska analiza

Hemijska analiza uzoraka flotacijske jalovine se redovno obavlja u Hemijskoj laboratoriji Rudnika "Rudnik", radi pravljenja materijalnog bilansa prerade postrojenja za flotacijsku koncentraciju Rudnika "Rudnik". Ove podatke za potrebe formiranja Projekta ustupili su predstavnici Rudnika "Rudnik" saradnicima Projekta REASONING. Hemijska analiza jalovine i određeni sadržaji glavnih korisnih elemenata Pb, Zn i Cu prikazana je u Tabeli 1.

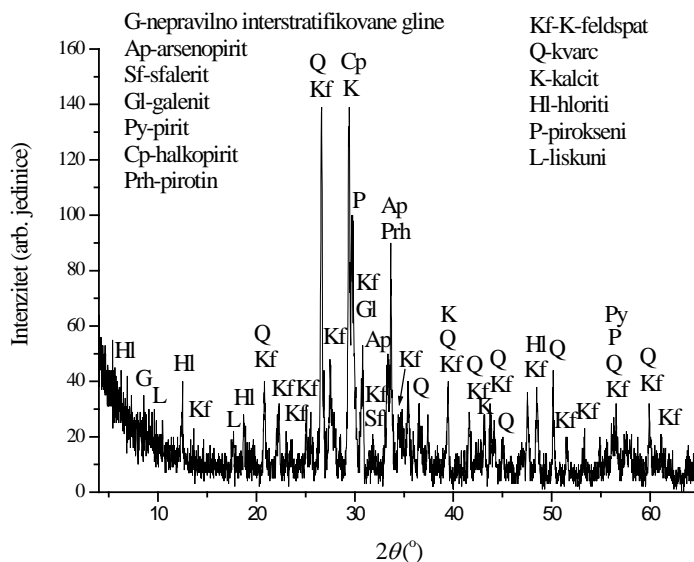
Tabela 1. Sadržaj glavnih korisnih metala u flotacijskoj jalovini Rudnika "Rudnik" po godinama

Godina	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2009-22
Količina jalovine, t	213.000	210.500	245.500	238.000	240.000	247.000	270.000	268.000	265.000	266.000	275.000	276.000	271.000	182.000	3.467.000
Sadržaj olova, %	0,34	0,31	0,16	0,14	0,14	0,20	0,16	0,16	0,15	0,12	0,15	0,18	0,13	0,16	0,175
Sadržaj cinka, %	0,37	0,42	0,28	0,30	0,20	0,19	0,16	0,19	0,20	0,31	0,17	0,22	0,16	0,17	0,235
Sadržaj bakra, %	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,059

Rendgenska difrakciona mineraloška analiza (XRD) na polikristalnom uzorku (prahu) flotacijske jalovine Rudnika „Rudnik“

Rendgenska difrakciona analiza korišćena je za određivanje i praćenje mineralog sastava uzoraka. Uzorci su analizirani na rendgenskom difraktometru marke “PHILIPS”, model PW-1710, sa zakrivljenim grafitnim monohromatorom i scintilacionim brojačem. Intenziteti difraktovanog $CuK\alpha$ rendgenskog zračenja ($\lambda=1.54178\text{\AA}$) mereni su na sobnoj temperaturi u intervalima $0,02^\circ 2\theta$ i vremenu od 1 s u opsegu od 4 do $65^\circ 2\theta$. Rendgenska cev je bila opterećena sa naponom od 40 kV i struji 30 mA, dok su prorezi za usmeravanje primarnog i difraktovanog snopa bili 1° i 0,1 mm.

U analiziranom uzorku utvrđeno je prisustvo sledećih minerala: **K-feldspati, kvarc, kalcit, hloriti, pirokseni, arsenopirit, pirotin, nepravilno interstratifikovane gline, liskuni, sfalerit, galenit, halkopirit, pirit**. Najzastupljeniji minerali su K-feldspati, kvarc i kalcit, manje pirokseni, hloriti, arsenopirit, pirit, pirotin, gline, liskuni, dok su najmanje zastupljeni sfalerit, galenit (trag) i halkopirit (trag). Difraktogram ispitivanog uzorka dat je na slici 1.



Slika 1. Difraktogram praha uzorka flotacijske jalovine Rudnik “Rudnik”

Optička polarizaciona mineraloška analiza uzorka flotacijske jalovine Rudnik "Rudnik"

Kvalitativna rudno mikroskopska analiza rađena je pod polarizacionim mikroskopom za odbijenu svetlost, sa identifikacijom prisutnih rudnih i nerudnih minerala. Uvećanja objektivna na mikroskopu su od 10, 20, 50 (vazduh) i 100x (imerzija – kedrovo ulje).

Oprema:

1. Polarizacioni mikroskop za odbijenu i propuštenu svetlost marke "JENAPOL-U", firme Carl Zeiss-Jena, sa mernim uređajem.
2. Programski paket „Carl Zeiss AxioVision SE64 Rel. 4.9.1.” sa „Multiphase” modulom.
3. Kamera „AxioCam 105 color”.

Strukturne karakteristike agregata podeljene su u pet motiva:

1. **Slobodna zrna** – predstavljaju slobodna mineralna zrna sa oko 100 % vidljive površine.
2. **Uklopci** – predstavlja ispitivani mineral, koji u sebi sadrži druge minerale čije ukupne površine ne prelaze 10-30 % (inkluzija, relik, izdvajanje, pseudomorfoza, i dr.).
3. **Impregnacije** – predstavlja ispitivani mineral, koji je uklopljen u drugim mineralima, gde njegova ukupna površina ne prelazi 10-30 % (inkluzija, relik, izdvajanje, pseudomorfoza, i dr.).
4. **Prosti sraslac** – predstavlja ispitivani mineral, koji je srastao ili se graniči sa jednim mineralom, a njegova ukupna površina se kreće od 30-70 % (drugi mineral može biti rudni ili mineral jalovine).
5. **Složeni sraslac** – predstavlja ispitivani mineral, koji je srastao sa dva i više minerala, gde se njegova ukupna površina kreće od 10-50 % (drugi minerali mogu biti rudni ili minerali jalovine).

Mineralni sastav: pirit, sfalerit, galenit, halkopirit, arsenopirit, pirotin, samorodno srebro/zlato/pge (**platinska grupa elemenata**), samorodni bizmut, pb-bi sulfosoli, čvrsti rastvor halkozin-kovelin, limonit, rutil, magnetit, silikati, kvarc, karbonati.

Mikro opis: Najzastupljeniji sulfidni minerali su Fe-sulfidi: pirit, arsenopirit i pirotin. Javljaju se vidu u samostalnim zrna, ili u u vidu prostih do složenih sraslaca sa sfaleritom, galenitom, mineralima jalovine. U sebi po nekad sadrže kapljicaste uklopke halkopirita (5 – 10 μm). Pirit je intenzivno kataklaziran i izmenjen, dok je arsenopirit svež i neizmenjen. Pirit u sebi sadrži samorodno zlato/srebro/PGE. Pirotin je najčešće u asocijaciji sa piritom, arsenopiritom i mineralima jalovine kada formira proste do složene sraslace sa galenitom,

sfaleritom i halkopiritom. Kao i pirit, u sebi sadrži samorodno zlato/srebro/PGE.

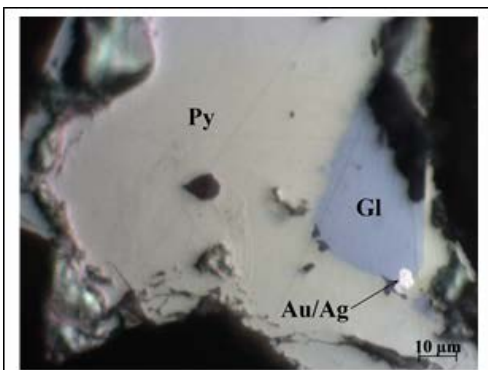
Sfalerit je sledeći po zastupljenosti sulfidnih minerala. Najčešće se javlja u vidu prostih sraslaca sa mineralima jalovine i ređe piritom, manje u vidu uklopaka kada u sebi sadrži halkopirit, a najređe u vidu slobodnih zrna. U ulju su karakteristični crveni refleksi što ukazuje na povišen sadržaj gvožđa (varijetet marmatit). Veličina zrna slobodnog sfalerita, odnosno sa uklopcima halkopirita je do čak 500 μm , a sraslog do 200 μm .

Nakon sfalerita sledeći po zastupljenost je galenit. Slično sfaleritu i ovaj mineral se javlja u vidu prostih sraslaca sa mineralima jalovine i ređe piritom, a najređe u vidu slobodnih zrna. Treba istaknuti da se samородni bizmut i Pb-Bi sulfosoli, iako zastupljeni u tragu, uvek srasli sa galenitom ili halkopiritom. Galenit u sebi sadrži samorodno srebro/zlato/PGE. Veličina zrna slobodnog galenita se kreće do 170 μm , a sraslog do 120 μm .

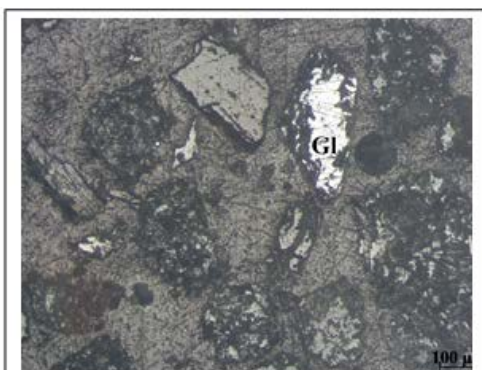
Najmanje zastupljeni sulfidni mineral je halkopirit koji se javlja isključivo u vidu prostih sraslaca sa jalovinom, piritom, pirotinom ili u vidu impregnacija u sfaleritu. Od ostalih minerala bakra utvrđeno je prisustvo čvrstog rastvora halkozin-kovelin u tragu. Ovi minerali se javljaju kao proizvod zamene po obodu halkopirita („tekstura plamena”). Veličina zrna sraslog halkopirita se kreće do 120 μm .

Samorodno srebro/zlato/PGE (**platinska grupa elemenata**) utvrđeno je u vidu sitnih emulzionih zrna od submikronskih do mikronskih dimezija ($\approx 10 \mu\text{m}$) koja su vezana za minerale jalovine, limonit, pirit, sfalerit, pirotin ili galenit.

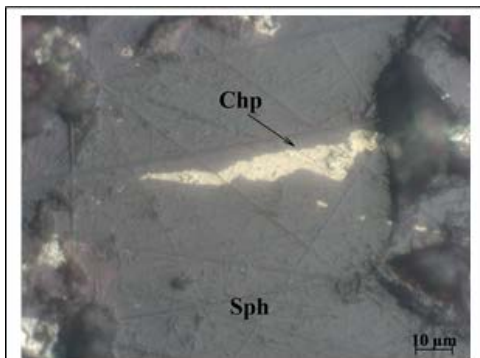
Od minerala oksida nazastupljeniji je limonit, a nakon njega rutil pa najmanje magnetit. Jalovina je kvarc-silikatno-karbonatna. Strukturno-teksturni izgled mineralnih zrna ovog uzorka prikazan je mikrofotografijama na Slikama 1-12.



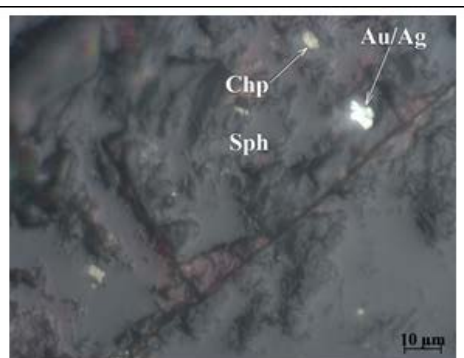
Slika 1. Samorodno zlato/srebro/PGE u sraslacu piritu i galenita. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



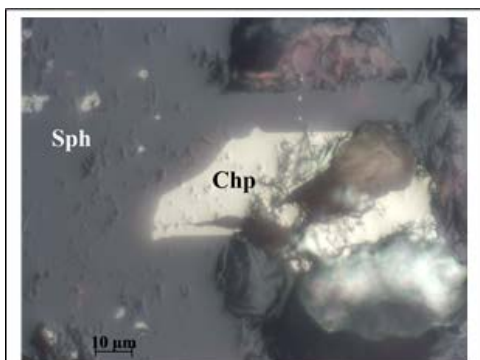
Slika 2. Slobodno zrno galenita. Odbijena svetlost, IIN, vazduh.



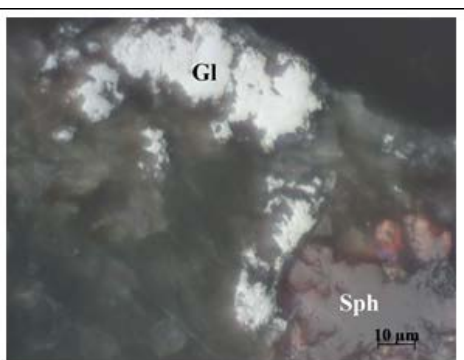
Slika 3. Izdvajanje (impregnacija) halkopinita u sfaleritu. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



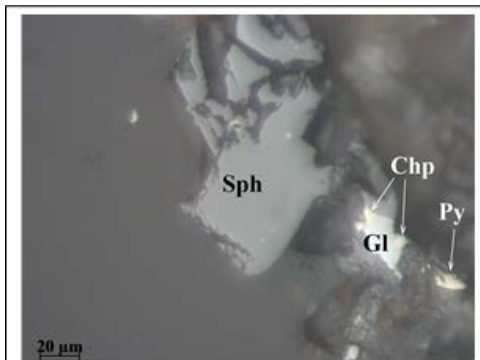
Slika 4. Samorodno zlato/srebro/PGE u sfaleritu. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



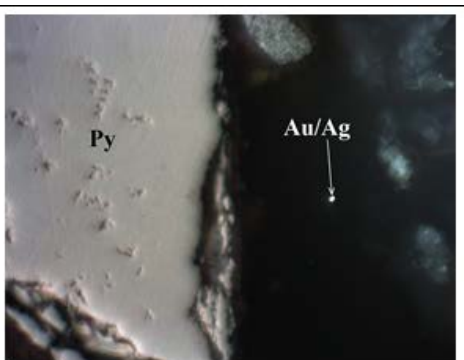
Slika 5. Prosti sraslac halkopinita, i sfalerita. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



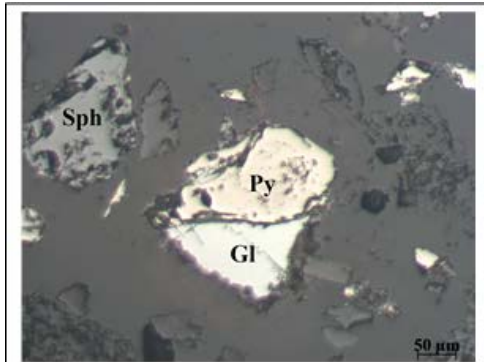
Slika 6. Prosti sraslac galenita i sfalerita. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



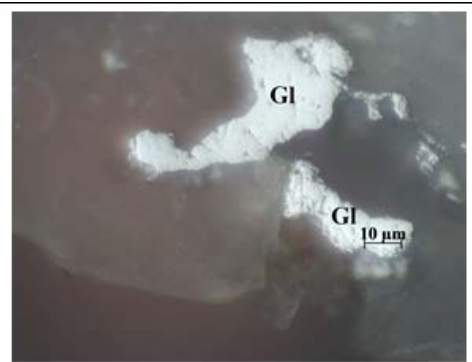
Slika 7. Složeni sraslac sfalerita, halkopirita, galenita i pirita. Odbijena svetlost, IIN, vazduh.



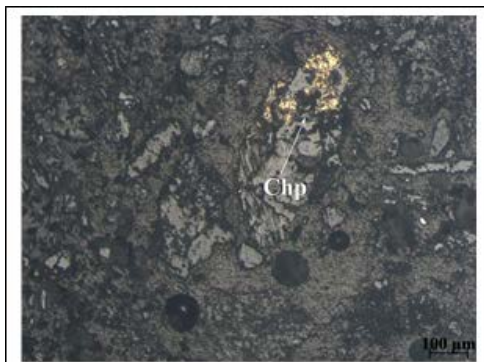
Slika 8. Samorodno zlato/srebro/PGE u jalovini pored pirita. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



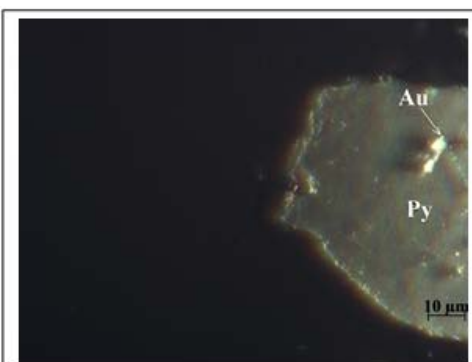
Slika 9. Prosti sraslac piritu i galenita pored slobodnog sfalerita. Odbijena svetlost, IIN,



Slika 10. Prosti sraslac galenita i jalovine. Odbijena svetlost, IIN, ulje.



Slika 11. Prosti sraslac halkopinita i jalovine. Odbijena svetlost, IIN, vazduh.



Slika 12. Samородno zlato/srebro/PGE u piritu. Odbijena svetlost, IIN, ulje.

Skraćenice minerala: Py-pirit, Chp-halkopirit, Gl-galenit, Sph-sfalerit, Au/Ag-samородno zlato/srebro, PGE (platinska grupa elemenata), Chc-Cv-čvrsti rastvor halkozin-kovelin, Gt-limonit/getit.

PREDVIĐENE ISPITIVANJA FLOTACIJSKE JALOVINE RUDNIKA “RUDNIK” U OKVIRU PROJEKTA REASONING

Ispitivanjima flotacijske jalovine Rudnika “Rudnik” u okviru projekta REASONING predviđeno je da se ovaj mineralni resurs razmatra sveobuhvatno kao resurs za dobijanje i metaličnih i nemetaličnih mineralnih proizvoda. Ovim ispitivanjima istraživači će pokušati da slede način, smernice, preporuke i ciljeve naučnoistraživačkog rada koji se sprovode u EU, kojima se teži da se obavi sveobuhvatna prerada svih sekundarnih sirovina (u koje spada i flotacijska jalovina) u cilju ne samo valorizacije korisnih komponenti, već i pokušaja da se ukupna količina otpada smanji ili eliminiše.

U tom smislu na početku Projekta obaviće se detalja fizičko-hemijska i mineraloška analiza, reprezentativnog uzorka jalovine, radi utvrđivanja mineralnog sastava ovog mineralnog resursa. Potom će se izvršiti sagledavanje načina javljanja korisnih, štetnih i inertnih mineralnih komponenti u jalovini. Takođe, ovim ispitivanjama utvrdiće se sraslost (oslobođenost) korisnih pre svih metaličnih minerala u odnosu na prateće minerale jalovine kao i mogućnost njihove separacije u zasebne proizvode. Osim toga utvrdiće se i prisustvo vidljivih i nevidljivih plemenitih metala i njihova raspodela u mineralima jalovine. Na taj način ova ispitivanja će razjasniti sve u pogledu mineralnog sastava, odnosno utvrđivanja mogućnosti valorizacije korisnih minerala svih metaličnih komponenti u cilju dobijanja komercijalnih proizvoda. Na kraju će se utvrditi mogućnost dobijanja komercijalnih proizvoda na bazi nemetalnih minerala iz jalovine, koji bi se mogli upotrebiti u građevinarstvu, keramičkoj i putarskoj industriji.

Tehnološka ispitivanja

Valorizacija plemenitih metala (platinske grupe elemenata)

U okviru ovih ispitivanja, trebalo bi da se postigne povećanje koncentracija ove grupe elemenata u proizvodima koji će se dobiti primenom različitih postupaka PMS-a, na polaznom reprezentativnom uzorku flotacijske jalovine. Prema preliminarnim mineraloškim ispitivanjima laki platinski elementi (rodijum, rutenijum i paladijum) prisutni su u Pb-Zn-Cu rudi Rudnika „Rudnik“, i da su vezani za pirotin-FeS. Ovi elementi nisu do sada nikada valorizovani u nekom od tri koncentrata koji se izdvajaju u postupku flotacijske koncentracije (K/PbS, K/CuFeS₂ i K/ZnS), odnosno odlazili su u jalovinu. Zbog njihove velike tržišne vrednosti (cena ovih metala na dan 01.11.2023. je bila Ru-rutenijuma 14.950 \$/kg, Pd-paladijuma 36.298\$/kg i Rh-rodijuma 136.640 \$/kg, <https://www.dailymetalprice.com>). Ovim ispitivanjima će se utvrditi kako i gde se javljaju ovi elementi kao i načini njihove separacije i koncentracije u proizvode koji se mogu smatrati komercijalnim.

Potrebno je ova ispitivanja potvrditi detaljnim fizičko-hemijskim i mineraloškim ispitivanjima koja će se obaviti u okviru projekta REASONING. Utvrđivanjem načina javljanja minerala platinske grupe elemenata kao i njihovih dimenzija u pirotinu, postaviće se osnove za mogućnost njegove separacije.

Magnetska separacija polaznih uzoraka jalovine

Opitima magnetske separacije će se prvo ispitati način separacije jalovine u cilju izdvajanja minerala pirotina i dugih minerala gvožđa u kojima se mogu nalaziti minerali platinske grupe elemenata u zaseban proizvod postupcima magnetne separacije. Kako su minerali gvožđa pirotin –paramagnetičan a pirit-slabomagnetičan, to bi se pirotin izdvajao na slabointezivnom magnetnom

separatoru, a pirit na visokintezivnom magnetnom separatoru. Ispitivanja magnetne separacije uz stalnu karakterizaciju proizvoda će omogućiti da se utvrdi optimalna magnetna indukcija magnetnog polja separatora kojom se postigne najveće iskorišćenje ovih elemenata u magnetičnoj frakciji magnetnih separatora MF (magnetična frakcija) koja će predstavljati pretkoncentrat ili koncentrat PK/PGE.

U drugoj fazi ovih ispitivanja određiće se uslovi usitnjavanja PK/PGE kojima bi se oslobodili elementi platinske grupe od minerala gvožđa. Ova ispitivanja treba obaviti tako da se odrede uslovi optimalne oslobođenosti PGE da bi bili slobodni za dalje postupke koncentracije, a da se ne preusitne. Za ovu vrstu ispitivanja treba ispitati postupke i mokrog i suvog mlevenja u laboratorijskim uslovima rada. Prilikom ovih opita treba odrediti optimalno vreme mlevenja kojim se postigne efikasno oslobađanje PGE. U opitima mokrog mlevenja magnetične frakcije potrebno je pored vremena mlevenja odrediti i pravu količinu tečne faze (%T) koja daje najsvrsishodniju oslobođenost PGE u odnosu na minerale gvožđa.

Separacija PGE metala, primenom gravitacijske koncentracije i centrifuge

U trećoj fazi ovih ispitivanja postupcima gravitacijske koncentracije će se ispitati mogućnost dobijanja koncentrata K/PGE iz samlevene (MF) magnetične frakcije. Ova ispitivanja će se posle klasiranja mineralne sirovine i određivanja kriterijuma koncentracije obavljati na uređajima za gravitacijsku koncentraciju sitnih klasa u tankom sloju vode - laboratorijskim klatnim stolovima. Teorijska podloga za ova ispitivanja, bila bi velika razlika u specifičnoj težini između minerala gvožđa pirovina $\gamma=4,61\text{g/cm}^3$ i pirita $\gamma=5,01\text{g/cm}^3$ u odnosu na specifičnu težinu PGE elemenata: Ru- $\gamma=12,2\text{g/cm}^3$; Pd- $\gamma=11,55\text{g/cm}^3$ i Rh- $16,51\text{g/cm}^3$. Ovim eksperimentima će se ispitati sledeći parametri rada uređaja:

- Kriterijum koncentracije: za sistem minerali gvožđa-PGE
- Optimalni sadržaj čvrste faze sirovine koja dolazi na klatni sto
- Brzina i broj obrataja motora koji pokreće klatni sto (odnosno broj klaćenja u minutu)
- Amplituda klaćenja klatnog stola

Utvrđivanje najoptimalnijih parametara rada uređaja prilikom izvođenja opita gravitacijske koncentracije, omogućiće da se odrede pokazatelji najcelishodnijih uslova rada kojim će se dobiti koncentrat u kojima će biti povišen sadržaj PGE u proizvodu sa najvećom gustinom ΔT -frakciji.

Ukoliko dobijeni rezultati prethodnih eksperimenata ne budu dali zadovoljavajuće rezultate u pogledu sadržaja PGE, obaviće se razdavjanje dalja separacija ΔT -frakcije dobijene na klatnom stolu. Prethodna detaljna

karakterizacija će nas usmeriti na to da li je potrebno ΔT -frakciju sa klatnog stola, dodatno usitnjavati u cilju daljeg oslobađanja PGE. Ako bude potrebno da se ovo obavi ponoviće se za ove uslove opiti usitnjavanja (mlevenja). Odnosno za ove uslove rada (ispitivanja na centrifugi) potrebno je ponovo odrediti optimalno vreme mlivenja kojim se postiže efikasno oslobađanje PGE. To znači i ovde da će se u opitima mokrog mlivenja ΔT - frakcije pored vremena mlivenja određivati i najsvrsishodnija količinu tečne faze (%T) koja daje optimalnu oslobođenost PGE u odnosu na minerale gvožđa. Ova ispitivanja obaviće se na centrifugi, gde će doći do razdvajanja ΔT od ΔL frakcije. U ispitivanjima na centrifugi za sistem minerali gvožđa-PGE će se vršiti utvrđivanje parametara rada centrifuge za ovu mineralnu sirovinu:

- Optimalni sadržaj čvrste faze sirovine koja u obliku pulpe dolazi na centrifugu
- Brzina i broj obrataja motora koji se prenosi na centrifugu (prečnik remenice)

Utvrđivanje najoptimalnijih parametara rada uređaja (centrifuge) prilikom izvođenja opita delovanja centrifugalne sile na pulpu, omogućiće da se odrede pokazatelji najcelishodnijih uslova rada kojim će se dobiti koncentracije u kojima će biti povišen sadržaj PGE u proizvodu sa najvećom gustinom ΔT -frakciji.

Postupci valorizacije minerala obojenih metala

U okviru ovih ispitivanja, primenom različitih postupaka PMS-a trebalo bi da se postigne povećanje koncentracija ove grupe minerala obojenih metala u proizvodima koncentracije. Cilj ispitivanja projekta REASONING u okviru Teme 2 je da se jedan deo minerala obojenih metala koji se nalaze u jalovini valorizuje i da se na taj način jalovina reciklira, odnosno ponovo iskoristi. Minerali obojenih metala su uglavnom primarno sulfidni za olovo to je galenit-PbS, za bakar to je halkopirit -CuFeS₂ i za cink je sfalerit odnosno marmatit- ZnS kod koga Fe izomorfno zamenjuje Zn. Iz tog razloga marmatit sa Rudnika „Rudnik“ sadrži u sebi izvesnu količinu gvožđa i intimno je srastao sa piritom. Zbog toga su i sadržaji Zn u K/ZnS na Rudnika „Rudnik“ maksimalno 48%. Pošto je tokom čitavog perioda rada postrojenja za flotiranje, izvesna količina sulidnih minerala obojenih metala završavala na jalovištu, to je cilj ovog projekta da se ovi minerali valorizuju i da se smanji njihov sadržaj u jalovištu. Ovo će imati dva benefita: pod jedan da će se ovim izdvajanjem smanjiti količina teških metala u jalovini što je ekološki potrebno, pod dva izdvojiće se korisna komponenta u zaseban proizvod koji se može komercijalizovati (cena ovih metala na dan 01.11.2023. je bila Pb-olova 2.082 \$/t, Zn-cink 2.498 \$/t i bakra 8.029 \$/t, <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous>).

Detaljnim mineraloškim ispitivanjima će se utvrditi kako i gde se javljaju ovi minerali u flotacijskoj jalovini, da li su i dalje sulfidi ili su vremenom oksidisali i u kojoj meri, kao i razlozi zbog kojih nisu prešli u flotacijske koncentrate. Naime, prilikom mlevenja za postupak flotiranja po pravilu dolazi do preusitnjavanja galenita kao najmekšeg minerala u mineralnoj paragenezi. Ovako preusitnjena zrna galenita (i pored toga što je poznato da galenit odlično flotira i da se lako hidrofobizuje) postaju neflotabilna i ne mogu u flotacijskoj ćeliji da isflotiraju i da pređu u koncentrat galenita. Sa druge strane zrna sfalerita koja nisu isflotirala po pravilu nisu dovoljno oslobođena i trebalo bi ih domleti da bi se oslobodila od pratećih minerala galenita i minerala gvožđa. Sve odgovore na ova pitanja daće mineralogija i na osnovu toga će se isplanirati detaljna tehnološka ispitivanja valorizacije minerala obojenih metala iz flotacijske jalovine Rudnika „Rudnik“. Sa datim nivom podataka i znanja mogu se isplanirati sledeća ispitivanja.

Luženje polaznih uzoraka flotacijske jalovine

U ovoj fazi će se istražiti luženje polaznog uzorka flotacijske jalovine. Izluživanje metala iz flotacijske jalovine proučavaće se u prirodnim atmosferskim klimatskim uslovima u smislu uticaja na životnu sredinu, uz istovremeno razmatranje mogućnosti valorizacije teških metala. U tom smislu utvrdiće se sadržaj teških metala u uzorcima flotacijske jalovine, uticaj prirodno prisutnih oksidanata i pH vrednost rastvora na stepen luženja metala iz jalovine. Za određivanje stepena luženja metala biće formirane različite serije eksperimenata sa agensima za luženje, sa i bez dodavanja oksidanata (H_2O_2 i O_2), sa i bez prethodnog ispiranja uzoraka destilovanom vodom. Predispiranje uzoraka će se vršiti u cilju uklanjanja lako rastvorljivih elemenata iz uzoraka i utvrđivanja razlika u daljem rastvaranju teških metala u odnosu na eksperimente bez prethodnog ispiranja uzoraka. Tokom eksperimenata će se pratiti pH vrednost rastvora i koncentracija Cu, Fe, Zn, Pb, As, Ni i Mn u funkciji vremena.

Separacija minerala glina iz flotacijske jalovine

U okviru ove faze će se ispitati način pripreme jalovine u cilju seaparacije minerala glina i podizanja sadržaja obojenih metala, postupcima klasiranja pranja i odmuljivanja. Za ovu namenu biće obavljeno klasiranje flotacijske jalovine na seriji sita:

- otvor sita: 0,025mm; u cilju dobijanja odseva -0,45+0,025mm, i proseva -0,025+0,00mm
- otvor sita: 0,037mm; u cilju dobijanja odseva -0,45+0,037mm, i proseva -0,037+0,00mm
- otvor sita: 0,044mm; u cilju dobijanja odseva -0,45+0,044mm, i proseva -0,044+0,00mm

- otvor sita: 0,053mm; u cilju dobijanja odseva $-0,45+0,053$ mm, i proseva $-0,053+0,00$ mm
- otvor sita: 0,063mm; u cilju dobijanja odseva $-0,45+0,063$ mm, i proseva $-0,063+0,00$ mm

Ova ispitivanja će se obaviti u cilju ispitivanja uslova u kojima će se separisati minerali glina od minerala obojenih metala i minerala alumo-silikatne jalovine. Svi proizvodi će se analizirati u cilju da se u najfinijoj klasi ne izgube preusitnjeni minerali galenita. Na ovaj način će se odrediti uslovi kojima se postiče da se ne izgube korisni minerali, a da se ostvari postupak predkoncentracije i podizanje sadržaja minerala obojenih metala u odsevu sita odgovarajućeg otvora.

Magnetna separacija odmuljene jalovine

U okviru ove faze će se ispitati način pripreme odmuljene jalovine u cilju seaparacije minerala gvožđa i podizanja sadržaja obojenih metala, postupcima magnetne separacije. Za ovu namenu biće izvedeni opiti magnetne separacije na različitim mokrim magnetnim separatorima u cilju uklanjanja minerala gvožđa i dobijanja pretkoncentrata minerala obojenih metala sa alumo-silikatnom jalovinom. Ova ispitivanja će biti izvedena pri različitim uslovima rada magnetnih separatora. Prilikom ispitivanja biće primenjen različit sadržaj čvrste faze u (Č%) u pulpi koja dolazi na magnetni separator, a ispitivaće se i uticaj magnetne indukcije odnosno jačine magnetnog polja na efekat separacije minerala gvožđa od minerala obojenih metala i alumosilikatne jalovine. Prilikom ovih opita magnetne separacije vršiće se analiza svih proizvoda, da bi se izbeglo da dođe do gubitka marmatita Zn(S, Fe) u magnetičnoj frakciji. Ovaj gubitak može nastupiti zbog izomorfne zamene Zn i Fe, kao i zbog sraslosti marmatita sa mineralima gvožđa (pirotinom). Zbog toga je potrebno odrediti uslove u kojima se sa optimalnom jačinom magnetnog polja postiče najmanji gubitak Zn u MF, odnosno da što više minerala obojenih metala pređe u NMF. Dobijeni proizvodi uzoraka očišćene jalovine biće analizirani hemijski i mineraloški u cilju određivanja sadržaja obojenih metala u njima.

Gravitacijska koncentracija NMF-nemagnetične frakcije

U okviru ove faze će se ispitati način pripreme NMF u cilju seaparacije alumo-silikatne jalovine od minerala obojenih metala. Separacijom minerala alumosilikatne jalovine će se podići sadržaj obojenih metala, u ΔT frakciji gravitacijske koncentracije. Ova ispitivanja će se posle klasiranja mineralne sirovine i određivanja kriterijuma koncentracije (odnosno broja klasa krupnoće) koje će se tretirati na gravitacijskom koncentracijom. Postupak gravitacijske koncentracije će biti izveden na uređajima za gravitacijsku koncentraciju sitnih klasa u tankom sloju vode-laboratorijskim klatnim stolovima. Teorijska podloga za ova ispitivanja, bila bi razlika u specifičnoj masa između minerala obojenih

metala i minerala alumo-silikatne jalovine. Tako je specifična masa sfalerita - $\gamma=4,1\text{g/cm}^3$, galenita- $\gamma=7,4\text{g/cm}^3$ i halkopirita - $\gamma=4,2\text{g/cm}^3$ u odnosu na specifičnu masu alumo-silikatne jalovine: kvarca- $\gamma=2,66\text{g/cm}^3$; i feldspata- $\gamma=2,8\text{g/cm}^3$. Ovim eksperimentima će se ispitati sledeći parametri rada uređaja:

- Kriterijum koncentracije: za sistem minerala marmatit-feldspat, koji je $\eta=1,72$
- Optimalni sadržaj čvrste faze sirovine koja dolazi na klatni sto
- Brzina i broj obrataja motora koji pokreće klatni sto (odnosno broj klaćenja u minutu)
- Amplituda klaćenja klatnog stola

Utvrđivanje najoptimalnijih parametara rada uređaja prilikom izvođenja opita gravitacijske koncentracije, omogućiće da se odrede pokazatelji najcelishodnijih uslova rada kojim će se dobiti pretkoncentrati u kojima će biti povišen sadržaj minerala obojenih metala u proizvodu sa najvećom gustinom ΔT -frakciji. Dobijeni proizvodi uzoraka očišćene jalovine biće analizirani hemijski i mineraloški u cilju određivanja sadržaja obojenih metala u njima. Takođe će mineraloška analiza pokazati da li su minerali obojenih metala prisutni u ΔT -frakciji u obliku oksida ili sulfida ili njihova mešavina.

Luženje očišćenih uzoraka flotacijske jalovine od minerala glina, minerala gvožđa i alumo-silikata

U okviru ove faze obaviće se ispitivanje mogućnosti luženja očišćene flotacijske jalovine od minerala glina i minerala gvožđa i alumo-silikatne jalovine u cilju prevođenja u lužni rastvor obojenih metala. Da bi se definisali optimalni parametri luženja potrebno je uraditi mineralošku i hemijsku karakterizaciju uzorka flotacijske jalovine. Eksperimenti luženja uzorka jalovine biće sprovedeni kako bi se stekao uvid u sposobnost luženja jalovine i izdvajanja bakra, cinka i olova. Ovim eksperimentima ispitivaće se uticaj brzine mešanja, odnosa čvrstog i tečnog, vrste reagensa za luženje, koncentracije primenjenih reagensa za luženje metala iz flotacijske jalovine. Opiti luženja treba da rezultiraju određivanjem kinetike procesa, hemijskog sastava rastvora za luženje i lužnog ostatka, kao i stepena luženja metala iz jalovine.

Flotacijska koncentracija očišćenih uzoraka flotacijske jalovine od glina, minerala gvožđa i minerala alumo-silikatne jalovine

U okviru ove faze obaviće se ispitivanje mogućnosti flotacijske koncentracije uzoraka flotacijske jalovine dobijenih nakon ispitivanja sprovednih pod tačkom 3.1.2.5. Ukoliko bi se utvrdilo da su minerali obojenih metala sulfidni ili mešavina oksidnih i sulfidnih (što je verovatnije) onda bi bilo veoma teško lužiti sulfide i u tom slučaju bilo bi logično da se posle pretkoncentracije obavi

flotacijska koncentracija sulfidnih minerala olova, cinka i bakra. Cilj flotacijske koncentracije obojenih metala iz pretkoncentrata bio bi dobijanje flotacijskih koncentrata K/PbS, K/CuFeS₂ i K/ZnS. Preostali oksidni minerali obojenih metala koji ne bi isflotirali u koncentrate onda bi išli na luženje.

Postupci reciklaže i primene flotacijske jalovine u građevinarstvu

U okviru ovih eksperimenata će se ispitati mogućnost primene flotacijske jalovine u putogradnji za zasipe. Za ovu svrhu pripremiće se 3 različite vrste uzoraka po dva od svake vrste ukupno šest. Prva dva uzorka će biti polazni uzorci flotacijske jalovine u netretiranom stanju. Sledeća dva će biti uzorci iz kojih će biti odstranjeni minerali glina i u poslednja dva uzorka će biti odstranjeni minerali glina i maksimalna količina minerala gvožđa, tako da je za ova ispitivanja potrebno postupcima PMS pripremiti 6 uzoraka na bazi flotacijske jalovine. Minerali glina kao nepovoljni u putnoj privredi će se separisati primenom postupaka klasiranja, a minerali gvožđa magnetnom separacijom.

ZAKLJUČAK

Dosadašnja preliminarna ispitivanja obavljena u okviru projekta REASONING i buduća planirana u okviru ovog Projekta treba da daju sveobuhvatno rešenje za flotacijsku jalovinu i jalovište Rudnika „Rudnik“. Angažovanje istraživača u okviru Projekta-Prizma će imati za cilj da svojim delovanjem tokom ovih ispitivanja dođu do novoosvojenih znanja, postupaka i tehnoloških rešenja kojima će se veliki deo jalovine sa jalovišta Rudnika “Rudnik” valorizovati i reciklirati. Stoga, bilo kakva valorizacija materijala iz jalovišta predstavljala bi benefit za Rudnik po dva osnova:

- prvo, valorizacija zaostalih korisnih minerala iz jalovine, odnosno dobijanje komercijalnih proizvoda na bazi materijala iz jalovišta, donela bi komercijalnu korist Rudniku
- sa druge strane dobijanjem ovih proizvoda smanjila bi se količina materijala u jalovištu, što bi automatski popravilo performanse samog jalovišta a posledično tome i Rudnika, jer bi to dovelo do povećanja prostora i zapremine jalovišta za odlaganje nove flotacijske jalovine iz tekuće proizvodnje. Ovaj reciklažni efekat (primene i korišćenje jalovine) će imati veliki uticaj na mnoge druge faktore, jer će popraviti ekološku funkcionalnost Rudnika. Ovaj pozitivan efekat na ekologiju ogleda se pre svega u smanjenju njene količine (koja predstavlja rudarski otpad) koja se odlaže u prirodno okruženje. A smanjenje količine jalovine u jalovištu takođe će dovesti do produženja veka eksploatacije sadašnjeg jalovišta. Osim toga, sve ovo će neminovno dovesti do smanjenja troškova i investicija Rudnika u eksploataciji jalovišta, kojima se finansira obezbeđivanje prostora i zapremine za deponovanje jalovine. Ceo ovaj

koncept doveo bi do velikih ušteda na viši nivo u postupku eksploatacije i prerade rude u Rudniku "Rudnik".

Zahvalnost: U ovom radu je prikazan preliminarni deo istraživanja i plan naučnoistraživačkog rada Projekta Characterisation and technological procedures for recycling and reusing of the Rudnik mine flotation tailings - REASONING, koji je odobren za realizaciju i biće finansiran od strane Fonda za Nauku Republike Srbije u periodu 2024-2026. u oblasti tehničko-tehnoloških nauka u okviru Programa PRIZMA pod rednim brojem 17 i šifrom 7522.

LITERATURA:

1. <https://eitrawmaterials.eu/>
2. <https://eitrawmaterials.eu/call-for-projects/eit-rm-ris-capacity-building-guidance-kava-11/>
3. <https://www.eitmanufacturing.eu/wp-content/uploads/2022/09/EIT-Manufacturing-IP-Policy-final.pdf>
4. Nagaraj, D. R., 2005. Minerals Recovery and Processing. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology of Chemical Technology*, (Ed.), Wiley-VCH. doi:10.1002/0471238961.1309140514010701.a01.pub2
5. Lottermoser, Bernd. (2010). Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Ed. 3, 404 pp.
6. Tailing spill, landslide and mine waste failures in Serbia (<https://serbia-energy.eu/tailing-spill-landslide-and-mine-waste-failures-in-serbia>)
7. History of Mine Waste Failures in Serbia Sheds Light on New Threats (<https://earthworks.org/blog/history-of-mine-waste-failures-in-serbia-sheds-light-on-new-threats>)
8. <https://www.obnova.gov.rs/uploads/useruploads/Documents/Izvestaj-o-proceni-potreba-za-oporavak-i-obnovu-posledica-poplava.pdf>
9. Jalovišta u Srbiji (<https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%88%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%88%D1%82%D0%B0%D1%83%D0%A1%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%98%D0%B8>)
10. Službeni glasnik Republike Srbije br. 88/2010. Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa. (in English: Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 88/2010. Regulation on the program of systematic monitoring of soil quality, indicators for assessing the risk of soil degradation and methodology for the development of remediation programs).
11. Studija detaljnih fizičko-hemijskih i mineraloških ispitivanja flotacijske jalovine Rudnika "Rudnik", 2012., Arhiv ITNMS-Beograd

12. <https://www.dailymetalprice.com>
13. <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous>)
14. Milosavljevic, R: “Methods of tests of mineral raw materials in the preparation of mineral raw materials”, Belgrade, 1985.
15. Ćalic, N: “Theoretical bases of preparation of mineral raw materials”, Belgrade, 1990.
16. Lesic, Dj, Markovic, S: “Preparation of mineral raw materials”, Belgrade, 1968
17. Taggart, A.F.: “Handbook of mineral dressing”, New York, 1960.