



**ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
НАУЧНО ВЕЋЕ
Број: XIV/5.3.
Од 26.03.2010. године**

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.38/2008), Научно веће је на XIV-ој седници одржаној дана 26.03.2010. године дошло:

ОДЛУКУ
о покретању поступка за валидацијом и верификацијом
техничког решења и именовању рецензената

I

На захтев Љубише Обрадовића, дипл.инж.руд. Института за рударство и металургију у Бору, Научно веће је покренуло поступак за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом „**Ново лабораторијско постројење за интегрални третман рудничких вода и коповске раскривке рудника Церво**“ и донело Одлуку о именовању следећих рецензената за давање мишљења о наведеном техничком решењу:

1. Проф.др Милан Антоњијевић, редовни професор – Технички факултет Бор
2. Др Јасна Стевановић, научни саветник, ИХТМ Београд

ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА

Др Миленко Љубојев, дипл.инж.руд.
Научни саветник

**NAUČNOM VEĆU IRM-a
Bor**

Predmet: Recenzija Tehničkog rešenja br. T2/2010

**NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN
RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CEROVO**

Autori:

Dr Mile Bugarin, dipl.inž.geol.
Ljubiša Obradović, dipl.inž.rud.
Radojka Jonović, dipl. inž.teh.
Mr Zoran Stevanović, dipl.inž.rud.
Mr Radmila Marković, dip. inž.teh.
Ljiljana Avramović, dipl. inž.teh.
Dr Radomir Stevanović, dipl.inž.teh.

Mišljenje recenzenta

Odlukom Naučnog Veća IRM-a od 26.03.2010. god. br. XIV/5.3, određen sam za recenzenta Tehničkog rešenja br. T2/2010 pod nazivom: NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CEROVO.

Ovo tehničko rešenje predstavlja rezultat projekta TR 21008: *INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I VANBILANSNIH DELOVA LEŽIŠTA RUDA BAKRA U RUDNICIMA BOR*, finansiran od strane MNTR Srbije, (period 2008 - 2010 godine), čiji je rukovodilac dr Mile Bugarin, viši naučni saradnik (IRM).

U skladu sa iznetim iznosim svoje mišljenje na osnovu priložene tehničke dokumentacije. Tehničko rešenje predstavljeno na 14 strana, obuhvata 1 tabelu, 6 slika i jednu kompletnu tehnološku šemu sa pratećom legendom, prikazanu na posebnom prilogu br. 1. Sadržaj tehničkog rešenja je prikazan kroz sledeća pripadajuća poglavlja:

1. Opšti deo
2. Oblast primene Tehničkog rešenja
3. Detaljan opis Tehničkog rešenja
- 3.1. *Tehničke karakteristike pojedinačnih pozicija ugrađene opreme*
- 3.2. *Opis rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu*
4. Ispitivanje rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu luženjem oksidne raskrivke sa kopa Cerovo
5. Zaključak

Prikazano tehničko rešenje je urađeno u skladu sa zahtevima definisanim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008. Dokumentacija prethodnih poglavlja je potkrepljena šemom kompletnog postrojenja sa svim pripadajućim pozicijama, koju prati odgovarajuća legenda sa pratećim objašnjenjima pojedinačnih pozicija. Navedena poglavlja sadrže dovoljno informacija i daju jasnu sliku o upotrebljivosti navedenog postrojenja, u skladu sa napred navedenim pravilnikom.

Zaključak

Tehničko rešenje pod nazivom: *NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CEROVO*, pripremljeno je u skladu sa važećim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008.

U tehničkom rešenju su prikazane sve neophodne informacije o oblasti na koje se tehničko rešenje odnosi, problem koji se njime rešava, dat je detaljan opis rada postrojenja kao i samog postrojenja.

Ostvareni tehnološki rezultati i pokazatelji potvrđuju upotrebljivost postrojenja za tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke i drugih kopovskih raskrivki u okviru RTB-a i šire, a ne samo predmetnog rudnika Cerovo.

S obzirom da u regionu ne postoji slično postrojenje njegov se značaj i upotrebljivost time uvećava, kako za razvojna tako i za tehnološka istraživanja.

Na osnovu izloženih argumenata preporučujem da se Tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju M 83, novo laboratorijsko postrojenje, novo eksperimentalno postrojenje, novi tehnološki postupak, pomenutog pravilnika.

Datum: 08.04.2010. god.

RECENZENT:

Prof. dr Milan Antonijević, redovni profesor, TF Bor

**NAUČNOM VEĆU IRM-a
Bor**

Predmet: Recenzija Tehničkog rešenja br. T2/2010

**NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN
RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CERОВО**

Autori:

Dr Mile Bugarin, dipl.inž.geol.
Ljubiša Obradović, dipl.inž.rud.
Radojka Jonović, dipl. inž.teh.
Mr Zoran Stevanović, dipl.inž.rud.
Mr Radmila Marković, dip. inž.teh.
Ljiljana Avramović, dipl. inž.teh.
Dr Radomir Stevanović, dipl.inž.teh.

Mišljenje recenzenta

Odlukom Naučnog Veća IRM-a od 26.03.2010. god. br. XIV/5.3, određena sam za recenzenta Tehničkog rešenja br. T2/2010 pod nazivom: NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CERОВО, koji predstavlja rezultat projekta TR 21008: *INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I VANBILANSNIH DELOVA LEŽIŠTA RUDA BAKRA U RUDNICIMA BOR*, finansiran od strane MNTR Srbije, (period 2008 - 2010 godine), čiji je rukovodilac dr Mile Bugarin, viši naučni saradnik (IRM). U skladu sa iznetim iznosim svoje mišljenje na osnovu priložene tehničke dokumentacije.

Tehničko rešenje predstavljeno na 14 strana, obuhvata 1 tabelu, 6 slika i jednu kompletnu tehnološku šemu sa pratećom legendom, prikazanu na posebnom prilogu br. 1.

Tehničko rešenje je urađeno u skladu sa zahtevima definisanim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008.

Sadržaj tehničkog rešenja je prikazan kroz sledeća poglavlja:

1. Opšti deo
2. Oblast primene Tehničkog rešenja
3. Detaljan opis Tehničkog rešenja
- 3.1. *Tehničke karakteristike pojedinačnih pozicija ugrađene opreme*
- 3.2. *Opis rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu*
4. Ispitivanje rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu luženjem oksidne raskrivke sa kopa Cerovo
5. Zaključak

Navedena poglavlja sadrže dovoljno informacija i daju jasnu sliku o upotrebljivosti navedenog postrojenja, u skladu sa napred navedenim pravilnikom.

Dokumentacija prethodnih poglavlja je potkrepljena šemom kompletnog postrojenja sa svim pripadajućim pozicijama, koju prati odgovarajuća legenda sa pratećim objašnjenjima pojedinačnih pozicija.

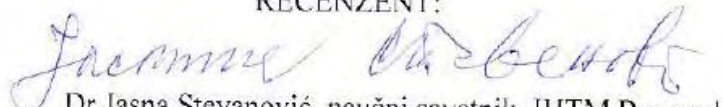
Zaključak

Dokumentacija tehničkog rešenja pod nazivom: NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CEROVO, pripremljena je u skladu sa važećim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008, i pruža sve neophodne informacije o oblasti na koje se tehničko rešenje odnosi, problem koji se njime rešava, dat je detaljan opis rada postrojenja kao i samog postrojenja. Prikazani tehnološki rezultati dokazuju upotrebljivost postrojenja za tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo, kao i drugih kopovskih raskrivki kojih u okviru RTB-a ima i na drugim lokacijama. Kako u regionu ne postoji slično postrojenje njegov se značaj i upotrebljivost time uvećava, kako za razvojna tako i za tehnološka istraživanja.

Na osnovu izloženih argumenata preporučujem da se Tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju M 83, novo laboratorijsko postrojenje, novo eksperimentalno postrojenje, novi tehnološki postupak, pomenutog pravilnika.

Datum: 07.04.2010. god.

RECENZENT:


Dr Jasna Stevanović, naučni savetnik, IHTM Beograd



Датум:
Date: 13.04.2010.

Наш знак: 471
Our sign: Your sign:

Predmet: Verifikacija Tehničkog rešenja T2/2010 pod nazivom "Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo"

Institut za rudarstvo i metalurgiju (IRM) Bor, u okviru projekta (TR 21008, period 2008-2010) čiju realizaciju finansira Ministarstvo za tehnološki razvoj Republike Srbije, a na osnovu rezultata luženja kopovske raskrivke, ekstrakcije i elektrolitičkog izdvajanja bakra iz dobijenog lužnog rastvora na postojećoj opremi, izradio i testirao novo laboratorijsko postrojenje u cilju integralnog tretmana rudničkih voda i kopovske raskrivke pod nazivom:

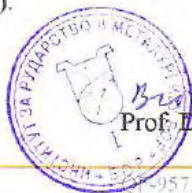
"Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo"

Autori:

Dr Mile Bugarin, dipl.inž.geol.
Ljubiša Obradović, dipl.inž.rud.
Radojka Jonović, dipl.inž.teh.
Mr Zoran Stevanović, dipl.inž.rud.
Mr Radmila Marković, dipl.inž.met.
Ljiljana Avramović, dipl.inž.teh.
Dr Radomir Stevanović, dip.inž.teh.

Postrojenje je namenjeno za ispitivanje procesa luženje-SX-EW nesulfidnih ruda bakra, kopovske raskrivke sa povećanim sadržajem oksidnih i drugih nesulfidnih minerala bakra, otpadnih oksidnih materijala na bazi bakra, kao i minerala i ruda drugih obojenih metala. Za dizajniranje i dimenzionisanje novog laboratorijskog postrojenja iskorišćeni su rezultati preliminarnih eksperimenata navedenog procesa na postojećoj laboratorijskoj opremi u IRM Bor. Verifikacija tehničkog rešenja i njegove efikasnosti izvršena je tokom eksperimentalnih istraživanja luženja oksidne rude sa Cerova, ekstrakcije bakra iz lužnog rastvora i elektrolitičkog izdvajanja bakra iz obogaćenog rastvora u obliku katodnog bakra. Rezultati su potvrdili mogućnost korišćenja novog laboratorijskog postrojenja iz navedenog tehničkog rešenja za definisanje procesa luženje-SX-EW. Korisnik novog laboratorijskog postrojenja je IRM Bor. Postrojenje je locirano u prostorijama IRM-a, u laboratoriji za upravljanje otpadom, a kako u regionu ne postoji slično postrojenje, upotrebljivost istog se time uvećava, kako za razvojna istraživanja, tako i za simulaciju realnih uslova na terenu.

Prihvataмо da Tehničko rešenje: *"Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo"* uvrstimo u novo laboratorijsko postrojenje, a u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača (Sl. Glasnik RS, br 38/2008).



Direktor IRM-a

Prof. Dr Vlastimir Trujić, dipl.ing.met.



ТЕХНИЧКО I RAZVOJNO REŠENJE (M 83)

NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CERОВО br. T2/2010

Autora:

Dr Mile Bugarin, dipl.ing.geol.
Ljubiša Obradović, dipl.inž.rud.
Radojka Jonović, dipl. inž.teh.
Mr Zoran Stevanović, dipl.inž.rud.
Mr Radmila Marković, dip. inž.teh.
Ljiljana Avramović, dipl. inž.teh.
Dr Radomir Stevanović, dipl.inž.teh.

Tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta TR-21008: *INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I VANBILANSNIH DELOVA LEŽIŠTA RUDA BAKRA U RUDNICIMA BOR* u oblasti zaštite životne sredine, period 2008 - 2010 godine.

Bor, mart 2010 godine

**PROJEKAT:****INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I VANBILANSNIH DELOVA
LEŽIŠTA RUDA BAKRA U RUDNICIMA BAKRA BOR****TEHNIČKO I RAZVOJNO REŠENJE (M-83)*****NOVO LABORATORIJSKO POSTROJENJE ZA INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH
VODA I KOPOVSKE RASKRIVKE RUDNIKA CEROVO***

Autori: M. Bugarin, Lj. Obradović, R. Jonović, Z. Stevanović, R. Marković,
Lj. Avramović, R. Stevanović

UVOD

U okviru planiranog programa istraživanja, po projektu TR 21008: *INTEGRALNI TRETMAN RUDNIČKIH VODA I VANBILANSNIH DELOVA LEŽIŠTA RUDA BAKRA U RUDNICIMA BOR*, za verifikaciju i potvrđivanje laboratorijskih istraživanja u toku prve istraživačke godine, neophodno je bilo uraditi seriju opita kontinualnog laboratorijskog luženja, simulirajući na taj način realne uslove koji postoje na terenu, pri luženju kopovske raskrivke i haldišta. U tu svrhu je izrađeno laboratorijsko postrojenje za kontinualno luženje u kolonama, čiji rad je verifikovan kroz Tehničko rešenje T1/2009 (u skladu sa važećim pravilnikom 38/2008) - predstavljeno u rezultatima prve istraživačke godine.

Planom i programom rada za drugu istraživačku godinu predviđeno je da se lužni rastvori sa povećanim sadržajem bakra, dalje tretiraju postupcima solventne ekstrakcije i elektrolitičkog izdvajanja bakra iz rastvora, u cilju dobijanja finalnog proizvoda u obliku katodnog bakra odgovarajuće čistoće. Kako Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru ne poseduju takvu opremu, nametnula se potreba za izradom laboratorijskog postrojenja za solventnu ekstrakciju i elektrolizu, sa mogućnošću spajanja u jednu celinu sa već postojećim laboratorijskim postrojenjem za luženje u kolonama. Na taj način bi se dobila kompletna linija za luženje kopovske raskrivke, solventnu ekstrakciju i elektrolizu.

Radi verifikacije i kontrole rada laboratorijskog postrojenja, vršeno je luženje kopove raskrivke sa rudnika bakra Cerovo, u neprekidnom vremenskom trajanju od 15 dana. Dobijeni lužni rastvor sa preko 1g/l Cu je dalje tretiran solventnom ekstrakcijom i elektrolizom na novoj laboratorijskog opremi.

Tehničko rešenje je usklađeno sa važećom zakonskom regulativom iz ove oblasti, odnosno sa važećim PRAVILNIKOM O POSTUPKU I NAČINU VREDNOVANJA I KVANTITATIVNOM ISKAZIVANJU NAUČNOISTRAŽIVAČKIH REZULTATA ISTRAŽIVAČA (Sl. glasnik RS, br. 38/2008).



Predloženo Tehničko rešenje je obrađeno na ukupno 13 strana uključujući naslovne strane i prateći Prilog, sa sledećim sadržajem:

1. Opšti deo
2. Oblast primene Tehničkog rešenja
3. Detaljan opis Tehničkog rešenja
 - 3.1. *Tehničke karakteristike pojedinačnih pozicija ugrađene opreme*
 - 3.2. *Opis rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu*
4. Ispitivanje rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu luženjem oksidne raskrivke sa kopa Cerovo
5. Zaključak

1. Opšti deo

Svetski trend razvoja tehnologije za rešavanje problema rudničkih voda danas ide u dva pravca - prvi ka sprečavanju zagađenja i drugi ka dodatnom iskorišćenju potencijalno korisnih komponenti koje se nalaze u rudničkim vodama. Analizama rudničkih voda utvrđeno je da je sadržaj bakra odgovarajući za primenu savremenih hidrometalurških postupaka koncentrisanja i valorizacije bakra. To dovodi do razvoja tehnologija zasnovanih na hidrogeologiji i hidrometalurgiji, a koje imaju za cilj prikupljanje svih kontaminiranih rudničkih voda, njihov hidrometalurški tretman i na kraju prečišćavanje.

Za izdvajanje bakra iz bakronosnih rastvora mogu se koristiti različite tehnologije. Najširu primenu u svetu ima proces solventne ekstrakcije i elektrolitičkog dobijanja bakra (SX-EW), koji sa procesom kontrolisanog luženja zatvara krug manipulacije rastvorima. Komercijalna proizvodnja bakra metodom SX-EW prvi put je zabeležena na lokaciji rudnika u Arizoni, USA, Bluebird Mine i Bagdad Mines. Tokom godina kapacitet i broj instaliranih postrojenja u svetu raste, tako da se danas više od 30% svetske proizvodnje bakra, bazira na hidrometalurškim procesima koji u sebi uključuju SX-EW proces. Primena ovih tehnologija je zasnovana na činjenici da je sadržaj bakra u raspoloživim sirovinama sve niži, što je i slučaj sa rudnim rezervama na području Istočne Srbije. Utrošak energije, u poređenju sa klasičnim metodama dobijanja bakra je znatno manji, a što je najbitnije proces SX-EW je ekološki opravdan, obzirom da je lakše kontrolisati zagađivače životne sredine.

2. Oblast primene Tehničkog rešenja

Predloženo Tehničko rešenje (prikazano na Slici br. 1 kao i na Prilogu br. 1) ima primenu kod hidrometalurške valorizacije nesulfidnih ruda bakra, raskrivke sa površinskih kopova sa povećanim sadržajem oksidnih i drugih nesulfidnih minerala bakra, kao i oksidnih minerala i ruda drugih obojenih metala.

Ova oprema dobija na većem značaju naročito ako se uzmu u obzir raspoloživost i količine materijala u RTB-u koje se na ovaj način mogu tretirati. Hidrometalurški proces dobijanja bakra u svetu je danas veoma rasprostranjen jer spada u najprofitabilnije i najekonomičnije procese.

Svetski trend proizvodnje bakra je u porastu posmatrajući hidrometalurški proces uključujući SX-EW. U RTB-u, našem regionu, odnosno šire i u Srbiji, hidrometalurški proces dobijanja bakra nema širu industrijsku primenu. Istraživanja u okviru projekta TR-21008 uz korišćenje

predloženog tehničkog rešenja, pokazuju da je moguće na ekonomski isplativ način valorizovati bakar iz rudničkog otpada, uz najmane dva pozitivna efekta:

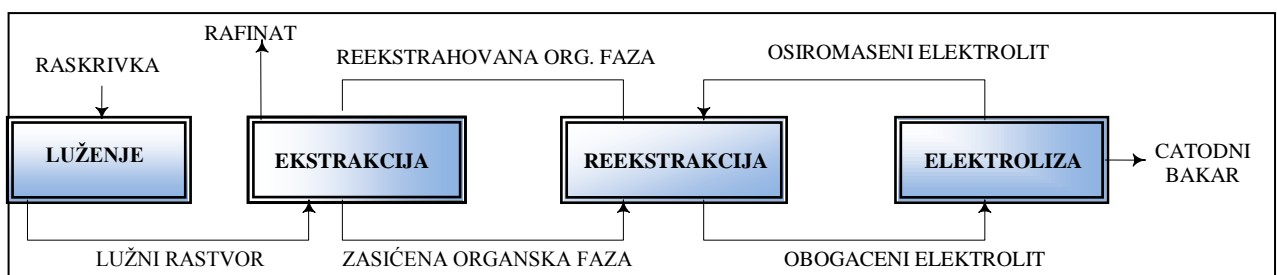
1. niska proizvodna cena katodnog bakra;
2. rešavanje i saniranje ekoloških problema koje prouzrokuju lako rastvorive oksidne rude i raskrivke jer se sprečava njihovo dalje razlaganje, čime se štite okolni površinski i podzemni vodni resursi.



Sl. 1 - Kontinualno laboratorijsko postrojenje za luženje, solventnu ekstrakciju, i elektrolizu

Predloženo Tehničko rešenje se može koristiti zajedno sa luženjem, kada se lužni rastvori tretiraju i valorizuju postupcima SX-EW ili bez hidrometalurškog dela. To praktično znači da se bakrom bogati, prirodni lužni rastvori koji postoje na Cerovu u slivu Cerove reke (ovi kiseli rastvori sadrže preko 1g/l Cu), mogu direktno tretirati u laboratorijskom postrojenju, pri čemu se kao proizvodi dobijaju rafinat (osiromašeni rastvor) i katodni bakar. Osiromašeni rastvor sa znatno smanjenim sadržajem bakra, daleko manje ugrožava životnu sredinu, dok se katodni bakar može direktno valorizovati kao finalni proizvod sa tržišnom cenom.

Blok šema laboratorijskog postrojenja za proces luženja, solventnu ekstrakciju i elektrolizu prikazana je na sledećoj Slici br. 2.



Sl. 2 - Blok šema procesa luženje - solventna ekstrakcija - elektroliza



3. Detaljan opis Tehničkog rešenja

Izgled kompletnog postrojenja može se videti na Slici br. 1. Detaljna šema sa pripadajućom legendom i prikazom svih sastavnih delova predmetnog postrojenja data je na Prilogu br. 1.

U poglavlju 3.1. date su sve tehničke karakteristike ugrađene opreme po svim pozicijama prikazanim u Prilogu 1. U poglavlju 3.2. dat je tehnički opis rada kompletnog postrojenja.

3.1. Tehničke karakteristike pojedinačnih pozicija ugrađene opreme

a) Deo 1 - Laboratorijsko postrojenje za luženje u kolonama

Pojedinačni opis opreme laboratorijskog postrojenja za luženje u kolonama prikazane su u pratećoj legendi, Prilog 1. Kompletan prikaz svih tehničkih karakteristika je dat u verifikovanom Tehničkom rešenju T1/2009 pod nazivom: *Laboratorijsko postrojenje za kontinualno perkolaciono luženje u kolonama.*

b) Deo 2 - Laboratorijsko postrojenje za solventnu ekstrakciju

Šematski prikaz laboratorijskog postrojenja za solventnu ekstrakciju dat je na Slici br. 5, gde su prikazane sve pozicije ugrađene opreme. Takođe na Prilogu br. 1 prikazana je sva pripadajuća oprema sa pratećom legendom. Izgled postrojenja može se videti na Slici br. 1. Pojedinačne tehničke karakteristike ugrađene opreme prikazane su redom po pozicijama kao i na Prilogu 1.

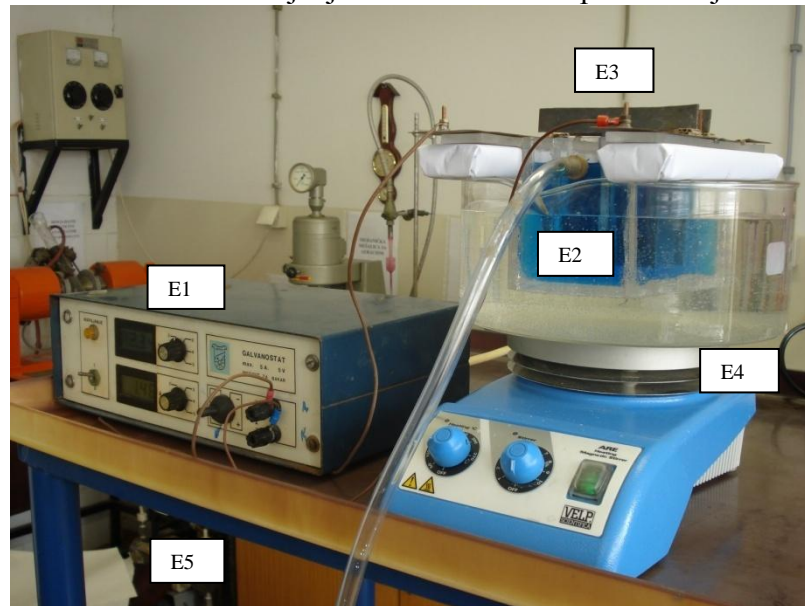
Poz. - oprema

- M1 - Rezervoar od kiselo-otpornog čelika, namena za lužni rastvor, zapremine $v=1,8 \text{ dm}^3$
- M1' - Staklena cevčica spojena sa izlazom iz rezervoara, za kontrolu nivoa u rezervoaru;
- M2 - Regulacioni ventil, reguliše protok iz rezervoara M1ka pumpi M3;
- M3 - Kiselootporna pumpa, sa kontinualnom regulaciom protoka od 0 do 100%,
- M4 - Mesto ulaza lužnog rastvora u mikser-setler poz. M9, kraj potisa pumpe M3;
- M5 - Rezervoar od kiselo-otpornog čelika, namena za organsku fazu,
- M5' - Staklena cevčica spojena sa izlazom iz rezervoara, za kontrolu nivoa u rezervoaru;
- M6 - Regulacioni ventil, reguliše protok iz rezervoara M5 ka pumpi M7;
- M7 - Kiselootporna pumpa, sa kontinualnom regulaciom protoka od 0 do 100%,
- M8 - Mesto ulaza organske faze u mikser-setler poz. M9, kraj potisa pumpe M7;
- M9 - Mikser-setler za ekstrakciju bakra iz vodenog rastvora, zapremine $v=$
- M10 - Mešač mikser-setlera, kiselo-otporan;
- M11 - Dve metalne kiselo-otporne rešetke za stabilizaciju tečne faze;
- M12 - Prelivna brana organske faze;
- M13 - Regulator za usmeravanje prelivne (organske) faze;
- M14 - Mesto izlaza obogaćene organske faze iz setlera;
- M15 - Regulator nivoa odvajanja vodene faze u setleru; pomoću njega se reguliše odnos organske i vodene faze;
- M16 - Mesto izlaza rafinata iz setlera;
- M17 - Rezervoar za sakupljanje rafinata pre ponovnog luženja, $V=5\text{dm}^3$
- M18 - Mesto ulaza obogaćene organske faze u mikser-setler, poz. M23;
- M19 - Kiselootporni rezervoar za elektrolit za reekstrakciju, $V=1,5\text{dm}^3$
- M20 - Regulacioni ventil, reguliše protok iz rezervoara M19 ka pumpi M21;
- M21 - Kiselootporna mikro pumpa, sa kontinualnom regulaciom protoka od 0 do 10, kapacitet

- max 3 dm³/h
- M22 - Mesto ulaza elektrolita u mikser-setler poz. M23
 - M23 - Mikser-setler za reekstrakciju bakra iz organske u vodenu fazu, zapremine $v=0.085 \text{ dm}^3$, zapremina setlera, $v=0.175 \text{ dm}^3$
 - M24 - Mešač mikser-setlera, kiselo-otporan;
 - M25 - Dve metalne kiselo-otporne rešetke za stabilizaciju tečne faze;
 - M26 - Regulator za usmeravanje prelivne (organske) faze
 - M27 - Regulator nivoa odvajanja vodene faze u setleru, pomoću njega se reguliše odnos organske i vodene faze;
 - M28 - Mesto izlaza reekstrahovane organske faze iz setlera;
 - M29 - Mesto izlaza obogaćenog elektrolita iz setlera;
 - M30 - Prenosnik obrtaja EM poy. M31 na mešače mikser-setlera;
 - M31 - Elektromotor,
 - M32 - Tiristorski regulator broja obrtaja EM poy. M31;
 - M33 - Elektromotor pumpi poz. M3 i poz. M7;
 - M34 - Elektromotor pumpi poz. M21 i poz. E6
 - M40 - Komandna tabla za mikser-setler;
 - M41 - Glavni prekidač za napajanje komandne table-spoljni, (0-isključen/1 uključen);
 - M42 - Glavni prekidač za napajanje komandne table na tabli, dva položaja (0-isklj./1 uklj.);
 - M43 - Prekidač za uključivanje pumpi poz. M3 i M7 sa utičnicom poz. M43', (0-isklj./1 uklj.);
 - M44 - Prekidač za uključivanje pumpi poz. M21 i E6 sa utičnicom poz. M44', (0-isklj./1 uklj.);
 - M45 - Prekidač za uključivanje EM mešača mikser-setlera sa utičnicom poz. M45'; (0-isk/1-uk);
 - M46 - Monofazna produžna kabla sa prekidačem poz. M 46', struje-16A, max. snage 3500 W;
 - M47 - PVC creva različite dužine za spajanje mikser-setlera i elektrolitičke ćelije sa pumpama;

c) Deo 3 - Laboratorijsko postrojenje za elektrolizu

Izgled aparature za elektrolitičko izdvajanje bakra iz rastvora prikazana je na sledećoj Slici br.3.



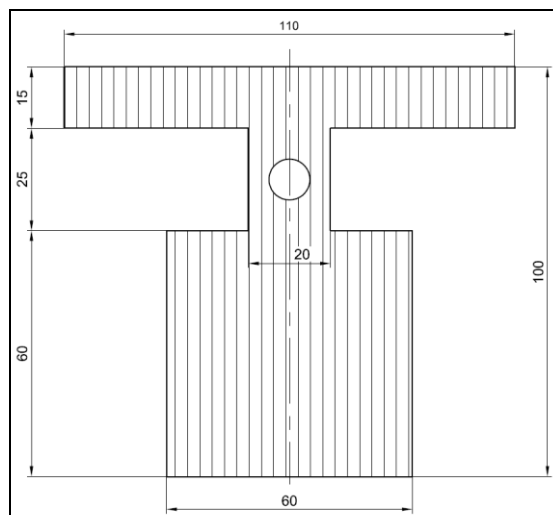
Sl.3- Aparatura za proces elektrolitičkog izdvajanja Cu iz rastvora

Šematski prikaz laboratorijskog postrojenja za elektrolitičko izdvajanje bakra sa pripadajućom legendom prikazano je na Prilogu br. 1. Pojedinačne tehničke karakteristike ugrađene opreme prikazane su redom po pozicijama kao i na Prilogu 1.

Poz. - oprema

- E1 - Galvanostat, max struja =5A, max napon =5V, napon napajanja 220V;
- E2 - Elektrolitička ćelija od pleksiglasa, radna zapremina $v=0,55 \text{ dm}^3$;
- E3 - Elektrode, dve olovne i jedna bakarna, oblik i dimenzije prikazani na Slici br. 4;
- E3' - Bakarne šine za ostvarivanje kontakta između galvanostata i elektroda;
- E4 - Uređaj za grejanje elektrolitičke ćelije;
- E5 - Stakleni rezervoar za elektrolit,
- E6 - Kiselo-otporna pumpa za elektrolit sa regulacijom protoka.

Oblik i dimenzije jedne elektrode prikazani su na sledećoj Slici br. 4.



Sl. 4 - Oblik i dimenzije jedne elektrode

3.2. Opis rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu

a) Opis rada laboratorijskog postrojenja za luženje

Postrojenje za kontinualno luženje je projektovano i izvedeno za rad u polu-automatskom režimu rada. Postupak stavljanja postrojenja u rad je kompletno opisan u tehničkom rešenju T1/2009, zato u ovom slučaju zbog nedostatka prostora neće biti ponavljan.

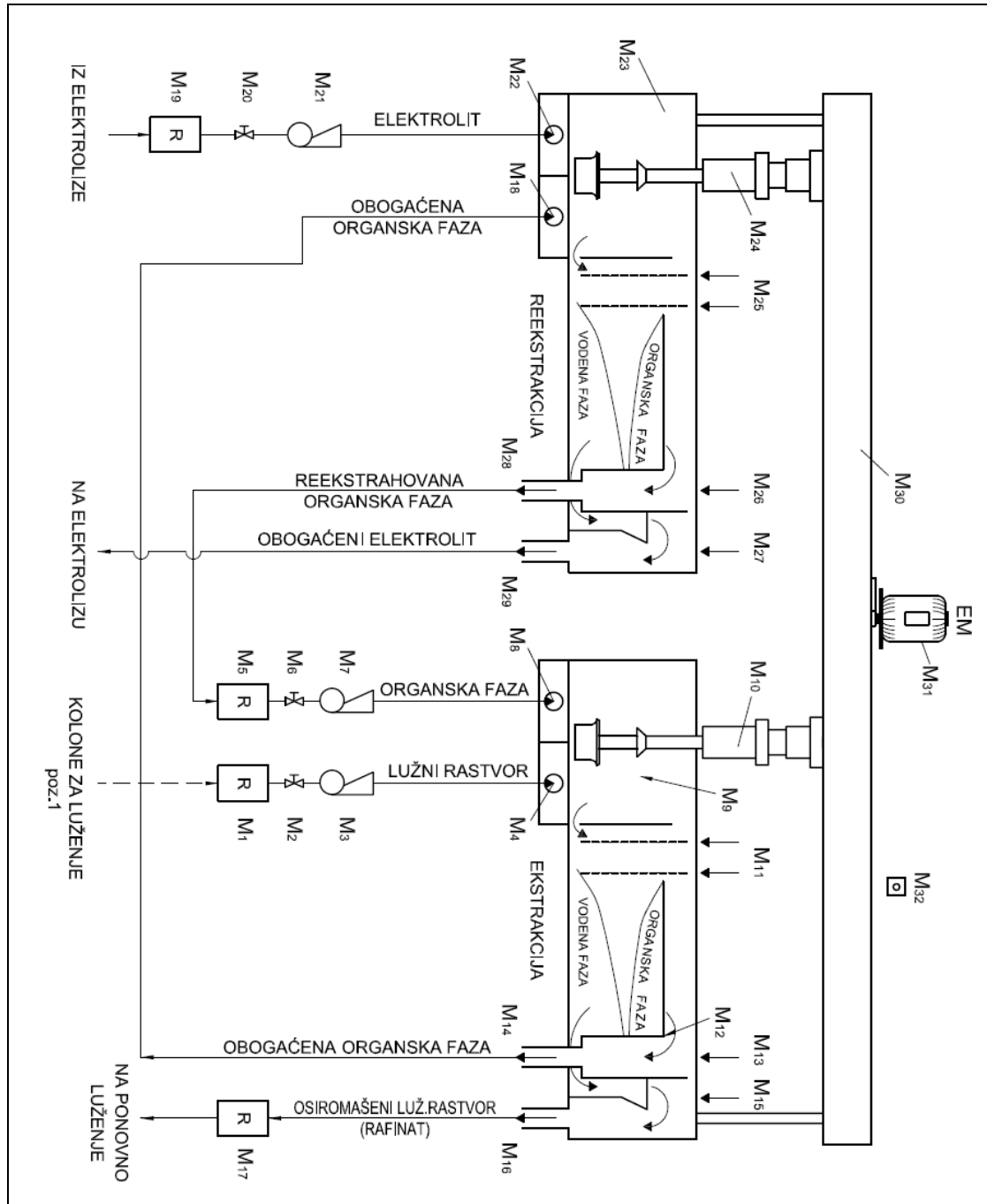
b) Opis rada laboratorijskog postrojenja za solventnu ekstrakciju

- Pre puštanja u rad postrojenja za solventnu ekstrakciju izvrši se kalibracija pumpi poz. M3, M7 i M21. Rezervoar poz. M1, pre početka rada postrojenja, napuni se do preлива sa lužnim rastvorom, rezervoar poz. M5 sa organskim ekstragensom LIX 984, a rezervoar poz. M19 sa osiromašenim elektrolitom dobijenim iz elektrolize bakra (na startu rada postrojenja veštački dobijenim rastvorom sa koncentracijom Cu^{2+} od $30,7 \text{ g/dm}^3$ i $190 \text{ g/dm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$).

Procedura puštanja postrojenja u rad se odvija na sledeći način:

- Uključuju se glavni prekidači za napajanje komandne table poz. M41 i M42 i produžna kabla poz. M46 sa prekidačem poz. M46'
- Rad kiselo otpornih pumpi poz. M3 i M7 startuje se pomoću prekidača M43 i time započinje dovod lužnog rastvora iz rezervora poz. M1 i dovod organske faze iz rezervora poz. M5 preko odgovarajućih otvora poz. M4 i M8 u uređaj Mixer-setler za ekstrakciju poz. M9. Neophodna je dodatna kontrola protoka vodene i organske faze do postizanja i usaglašavanja protoka od $0,48 \text{ dm}^3/\text{h}$.
- Kiselo otporna mikro pumpa poz. M21 se aktivira uključivanjem prekidača poz. M44 čime počinje dovod osiromašenog elektrolita iz rezervora poz. M19 preko otvora poz. M22 u Mixer-setler za reekstrakciju poz. M23 u koji se istovremeno preko otvora poz. M18 uvodi obogaćena organska faza.
- Uključuju se mešači mikser-setlera poz. M10 i poz. M24 preko elektromotora poz. M31 i reguliše broj obrtaja.
- Proces ekstrakcije se odvija u mikseru poz. M9 uz intenzivno mešanje faza. Odvajanje faza vrši se u setleru poz. M9 u kome su rešetke poz. M11 gde se postiže stabilizacija nivoa tečne faze - rafinat, koja se dalje pomoću regulatora nivoa, poz. M15 i otvora za izlaz na setleru poz. M16 odvodi u sabirni rezervoar poz. M17. Nakon ekstrakcije, obogaćena organska faza se usmerava pomoću prelivne brane poz. M12 i regulatora poz. M13 prema otvoru za izlaz iz setlera poz. M14.
- Procesu reekstrakcije se odvija u mikseru poz. M23 uz intenzivno mešanje faza. Odvajanje faza vrši se u setleru poz. M23 u kome su rešetke poz. M25 gde se postiže stabilizacija nivoa tečne faze – obogaćeni elektrolit, koja se dalje pomoću regulatora nivoa, poz. M27 i otvora za izlaz na setleru poz. M29 odvodi u sabirni rezervoar poz. M35. Nakon reekstrakcije, osiromašena organska faza se usmerava pomoću regulatora poz. M26 prema otvoru za izlaz iz setlera poz. M28 u rezervoar poz. M5 u ponovni ciklus procesa ekstrakcije.

Šematski prikaz laboratorijskog postrojenja za solventnu ekstrakciju je prikazan na slici 5 i prilogu 1.



Sl. 5 - Šematski prikaz laboratorijskog postrojenja za solventnu ekstrakciju



c) Opis rada laboratorijskog postrojenja za elektrolizu

- Priprema procesa elektrolitičkog izdvajanja bakra iz rastvora - provera ispravnosti galvanostata, poz. E1, pumpe za recirkulaciju elektrolita, poz. E6, sistema za grejanje elektrolita, poz. E4, čišćenje elektrodnih nosača, strujnih kontakata i elektroda. Merenje polazne katode i uranjanje elektroda u ćeliju na odgovarajuća međuosna rastojanja.
- Uzorak elektrolita nakon reekstrakcije bakra iz organske faze procesa solventne ekstrakcije uzet je za analizu pre početka procesa. Iz rezervoara, poz. E5, elektrolit je pumpom E6 prebacivan u elektrolitičku ćeliju, poz. E2. Nakon uspostavljanja cirkulacije i postizanja odgovarajuće temperature elektrolita uključivan je galvanostat, poz. E1 koji je obezbeđivao snabdevanje sistema jednosmernom strujom.
- Tokom procesa meren je napon na ćeliji i kontrolisan rad elektroda. Svi poremećaji u sistemu otklanjani su tokom procesa. Koncentracija Cu, Fe i sumporne kiseline određivana je na svakih 30 min.
- Nakon 90 min., prekidano je strujno kolo, isključivanjem dovoda jednosmerne struje na galvanostatu, poz. E1, zaustavljana cirkulacija elektrolita isključivanjem pumpe, poz. E6, pražnjen elektrolit iz sistema a elektrode prane.
- U sledećem koraku, elektrolit iz ćelije, poz. E2 je pretakan u rezervoar za elektrolit, poz.E5, odakle je korišćen za proces reekstrakcije Cu iz zapunjene organske faze.

4. Ispitivanje rada laboratorijskog postrojenja za luženje, solventnu ekstrakciju i elektrolizu luženjem oksidne raskrivke sa kopa Cerovo

a) Luženje oksidne raskrivke sa kopa Cerovo

Uzorak raskrivke sa površinskog kopa Cerovo sa sadržajem bakra od 0,21% lužen je sa otpadnom vodom iz akumulacije površinskog kopa pH vrednosti 1,5 i sa koncentracijom bakra od 0,2 g/dm³, u dve kolone kako bi se obezbedio kontinualni proces faza luženja i oksidacije. Količina materijala u kolonama i intenzitet orošavanja prema površini materijala, preračunati su tako da simuliraju periode luženja i oksidacije koji bi vladali na terenu, odnosno tokom procesa na industrijskom nivou.

Koncentracija bakra u obogaćenom rastvoru nakon 120 sati luženja iznosila je 0.87g/dm³, dok je nakon 240 sati dostigla nivo od 1.08 g/dm³, a koncentracija gvožđa nakon 240 sati luženja bila je 0,92 g/dm³. Ovako dobijeni rastvor zadovoljava uslove za dalji tretman postupkom solventne ekstrakcije.

b) Solventna ekstrakcija dobijenog lužnog rastvora

Za ekstrakciju bakra iz sumpornokiselih lužnih rastvora korišćeni su ekstragensi LIX 984, LIX 984N i LIX 622N rastvoreni u kerozinu.

Ispitivanja procesa solventne ekstrakcije (SX) rađena su u opisanom laboratorijskom uređaju MIXER - SETTLER POLUX C TYPE.

Nakon razdvajanja faza analiziran je sadržaj bakra i gvožđa iz vodene faze, metodom atomske absorpcione spektrofotometrije (AAS).



Nakon procesa ekstrakcije analiziran je sadržaj bakra i gvožđa iz vodene faze, metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS), a nakon procesa reekstrakcije analiziran je sadržaj bakra iz vodene faze elektrogravimetrijskom metodom (EG), sadržaj gvožđa metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) i koncentracija sumpornom kiselinom titracijom (T). Najbolji rezultati ekstrakcije bakra postignuti su primenom ekstragensa LIX 984 pri sledećim uslovima:

- odnos aq/org faza: 1/1
- Vodena faza: lužni rastvor bakra koncentracije $1,08 \text{ g/dm}^3 \text{ Cu}$ i $0,92 \text{ g/dm}^3 \text{ Fe}$, pH=2,0
- Organska faza: LIX 984 (9%) u kerozinu
- Protok: 0.48 l/h

Pri ovim uslovima stepen ekstrakcije bakra iznosio je 96 %, a stepen ekstrakcije gvožđa 9%.

Zasićena organska faza je reekstrahovana pri sledećim uslovima:

- odnos aq/org faza: 1/10
- rastvor za reekstrakciju: $30,7 \text{ g/dm}^3 \text{ Cu}^{2+}$ i $190 \text{ g/dm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$

Stepen reekstrakcije bakra bio je 97%.

c) Elektrolitička izdvajanje bakra iz rastvora

Hemijska karakterizacija rastvora

Rastvor dobijen nakon procesa reekstrakcije Cu iz organske faze u procesu solventne ekstrakcije korišćen je za proces elektrolitičkog izdvajanja bakra iz navedenog rastvora. Polazni bakronosni rastvor predstavlja lužni rastvor koji dobijen luženjem kopovske raskrivke rudnika Cerovo. Hemijski sastav rastvora za elektrolitičko izdvajanje bakra:

- Cu^{2+} - $35,73 \text{ g/dm}^3$
- Fe^{3+} - $0,06 \text{ g/dm}^3$
- H_2SO_4 - $201,1 \text{ g/dm}^3$

Bakar je analiziran gravimetrijskom metodom(G), H_2SO_4 standardnom titracionom metodom (VT) a Fe je analizirano metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije - AAS na aparatu Perkin-Elmer – 403.

Tehnološko-tehnički parametri procesa

Za proces su korišćene jedna polazna katoda i dve anode koje su unete u ćeliju kroz koju je recirkulisao obogaćeni elektrolit.

Polazna bakarna katoda pripremljena je od katodnog bakra proizvedenog u Elektrolizi bakra u Boru. Hemijski sastav polazne katode (ppm): As < 3; Sb < 2; Bi < 1; Fe < 5; Pb < 2; Ni < 1; Si < 9; Ag < 5; Te < 0.1; Sn < 2; Zn < 5; Al < 10; Se < 0.7 and Cu = 99.96 %. Ukupna aktivna površina katode iznosi $0,0074 \text{ m}^2$.

Olovo sa 6 % antimona korišćeno je kao anodni materijal. Dimenzije anode i aktivna površina bile su istovetne dimenzijama katode. Organizacija elektroda u ćeliji bila je anoda – katoda –



anoda. Usvojena je vrednost katodne gustine struje od 200 A/m^2 , što je odgovaralo jačini struje od $I = 1,46 \text{ A}$.

Radna zapremina elektrolita u cirkulaciji (Cu – 35,73, H_2SO_4 – 201,21 and Fe – 0,06 g/l) bila je $0,65 \text{ dm}^3$ a brzina cirkulacije odgovarala je jednoj izmeni zapremine ćelije za sat vremena. Temperatura elektrolita tokom procesa održavana je u granicama 55 do 60°C a vreme trajanja eksperimenta 90 min.

Opis procesa i rezultata

Priprema procesa elektrolitičkog izdvajanja bakra iz rastvora uključila je proveru ispravnosti galvanostata, pumpe za recirkulaciju elektrolita, sistema za grejanje elektrolita, čišćenje elektrodnih nosača, strujnih kontakata i elektroda.

Pre ulaganja u elektrolitičku ćeliju površina polazne bakarne katode je očišćena od mehaničkih nečistoća, isprana etil alkoholom i izmerena. Ostale elektrode su uronjene u ćeliju na odgovarajuća međuosna rastojanja koja omogućuju nesmetanu cirkulaciju elektrolita.

Laboratorijski grejač i posuda od bor-silikatnog stakla u koju je bila uronjena elektrolitička ćelija predstavljali su sistem za grejanje elektrolita.

Uzorak elektrolita nakon reekstrakcije bakra iz organske faze procesa solventne ekstrakcije uzet je za analizu pre početka procesa. Nakon uspostavljanja cirkulacije i postizanja odgovarajuće temperature elektrolita uključivan je galvanostat koji je obezbeđivao snabdevanje sistema jednosmernom strujom. Tokom procesa meren je napon na ćeliji i kontrolisan rad elektroda. Svi poremećaji u sistemu otklanjani su tokom procesa. Koncentracija Cu i sumporne kiseline određivana je na svakih 30 min. a koncentracija Fe na kraju procesa. Nakon 90 min., prekidano je strujno kolo, zaustavljena cirkulacija elektrolita, pražnjen elektrolit iz sistema a elektrode prane. Katoda je nakon sušenja merena a razlika u masi u odnosu na polaznu vrednost predstavljala je istaloženu masu bakra. Ovaj podatak je korišćen za preračunavanje stepena efikasnosti procesa.

U sledećem koraku, elektrolit iz ćelije je skladiran u posudu za elektrolit odakle je korišćen za proces reekstrakcije Cu iz zapunjene organske faze.

Proces elektrolitičkog izdvajanja bakra iz rastvora prekinut je nakon 90 min. Srednja vrednost napona na ćeliji bila je 2,34 V.

Vrednosti za koncentraciju bakra, gvožđa i sumporne kiseline tokom i na kraju procesa prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1: Koncentracija Cu, Fe i H_2SO_4 u elektrolitu

Element	*Start	30 min.	60 min.	90 min
Cu, g/dm^3	35,73	34,9	34,04	33,45
H_2SO_4 , g/dm^3	201,1	202,61	206,64	208,63
Fe, g/dm^3	0,06	0,06	0,06	0,06

Preračunata teorijska vrednost mase katodnog bakra za trajnje procesa od 90 min. je 2,64 g a vrednost dobijena na osnovu hemijske analize 2,28 g. Na osnovu ovih podataka strujno iskorišćenje je 86,36 %.

Koncentracija sumporne kiseline se tokom procesa povećava a koncentracija gvožđa ostaje nepromenjena.

Izgled katodne površine na početku i kraju procesa prikazan je na Slici 6.



Polazne katode (a)



Katode na kraju procesa (b)

Sl. 6 – Izgled katode na početku i kraju procesa

ZAKLJUČAK

Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke Rudnika Cerovo predstavlja funkcionalni višekomponentni sistem uređaja i prateće opreme u kojima je omogućeno ispitivanje procesa luženja i SX-EW procesa, za valorizaciju prisutnog bakra.

Konstrukcija postrojenja je izvedena tako da svaki deo postrojenja koji se odnosi na jednu tehnološku celinu može da funkcioniše pojedinačno. Na ovaj način omogućeno je paralelno ispitivanje pojedinih faza procesa. Nakon usvajanja odgovarajućih tehnoloških parametara za svaku fazu ponaosob, moguće je adekvatnim povezivanjem opreme izvršiti proveru istih u kontinuitetu.

Važna činjenica je da ovo laboratorijsko postrojenje može da se koristi za hidrometalurški tretman različitih vrsta siromašnih bakronosnih sirovina a da do sada, u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurhiju u Boru, nije postojalo takvo postrojenje.