

Институт за рударство и металургију Бор

e-mail: ana.kostov@irmb.ac.rs

Председник научног већа: др Ана Костов

Датум: 28.08.2023. године

Поштовани,

На основу Вашег захтева P041.501.22.10-1 од 25.10.2022. године за потврду оцене техничког решења под називом „Развој процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу“, аутора: др Зоран Стевановић, дипл.инг.руд., др Радмила Марковић, дипл.инг.техн., др Драгана Божић, дипл.инг.мет., Војка Гардић, дипл. инг.техн., Ненад Магдалиновић, дипл.инг.маш., др Ивана Ћипранић, дип.инг.грађ., проф. др Masuda Nobuyuki.

Обавештавам Вас следеће:

Након прибављеног мишљења о наведеном техничком решењу чланови МНО за уређење, заштиту и коришћење вода, земљишта и ваздуха су, на седници одржаној 28.08.2023. године, усвојили предлог да техничко решење под називом „Развој процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу“, аутора: др Зоран Стевановић, дипл.инг.руд., др Радмила Марковић, дипл.инг.техн., др Драгана Божић, дипл.инг.мет., Војка Гардић, дипл. инг.техн., Ненад Магдалиновић, дипл.инг.маш., др Ивана Ћипранић, дип.инг.грађ., проф. др Masuda Nobuyuki, **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене Правилником о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник РС“, број 159/2020 и 14/2023) за доделу категорије **M81 – Ново техничко решење примењено на међународном нивоу.**

Предлог се доставља Министарству науке, технолошког развоја и иновација ради процене и прихватања истог.

Председник МНО за уређење, заштиту и коришћење вода, земљишта и ваздуха:

Проф. др Саша Орловић

TEHNIČKO REŠENJE

Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou

(M81)

**RAZVOJ PROCESA DVOSTEPENE
NEUTRALIZACIJE KISELIH RUDNIČKIH
VODA NA NOVOM PILOT POSTROJENJU**

U Boru, 05.10.2022.

Prijava tehničkog rešenja sadrži:

- 1) Ime i prezime autora rešenja;
- 2) Naziv tehničkog rešenja;
- 3) Ključne reči;
- 4) Za koga je rešenje rađeno (pravno lice ili grana privrede);
- 5) Godinu kada je rešenje kompletirano;
- 6) Godinu kada je počelo da se primenjuje i od koga;
- 7) Oblast i naučnu disciplinu na koju se tehničko rešenje odnosi;
- 8) Problem koji se tehničkim rešenjem rešava;
- 9) Stanje rešenosti tog problema u svetu;
- 10) Opis tehničkog rešenja;
- 11) Tehničku dokumentaciju (osim za genske probe gde je potrebno dostaviti dokaze da je proba registrovana na sajtu NCBI, validan dokaz o primeni tehničkog rešenja (potvrda ustanove/kompanije koja ga koristi i dr.), listu ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno.

1) Ime i prezime autora rešenja;

Dr Zoran Stevanović, dipl.ing.rud.

Dr Radmila Marković, dipl.ing.tehn.

Dr Dragana Božić, dipl.ing.met.

Vojka Gardić, dipl.ing.tehn.

Nenad Magdalinović, dipl.ing.maš.

Dr Ivana Ćipranić, dipl.ing.grad.

Prof. dr Masuda Nobuyuki, dipl.ing.rud.

2) Naziv tehničkog rešenja;

**RAZVOJ PROCESA DVOSTEPENE NEUTRALIZACIJE KISELIH RUDNIČKIH
VODA NA NOVOM PILOT POSTROJENJU**

3) Ključne reči;

Rudarstvo, pilot postrojenje, otpadne vode, prečišćavanje, neutralizacija

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

Nik Com d.o.o.

Bulevar Mihajla Lalića 16, Podgorica, Crna Gora

PIB: 02369621

Grana privrede: Zaštita životne sredine

Kao rezultat Projekta:

RESEARCH ON THE INTEGRATION SYSTEM OF SPATIAL ENVIRONMENT ANALYSES AND ADVANCED METAL RECOVERY TO ENSURE SUSTAINABLE RESOURCE DEVELOPMENT“ (E³).

Realizovanog od 2015 – 2020 god. u okviru programa „Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development“ (**SATREPS**) preko Japanskih institucija za međunarodnu saradnju: Japan International Cooperation Agency (**JICA**) i Japan Science and Technology Agency (**JST**). Resorna Ministarstva Republike Srbije za koja je realizovan Projekat su Ministarstvo rudarstva i energetike i Ministarstvo zaštite životne sredine.

Partneri na realizaciji Projekta:

Akita Univerzitet – Centar za Geo-ekološke nauke (**CGES**)

Akita Univerzitet – Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetske resursa (**ICREMER**)

Akita Univerzitet – Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke

Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (**MINDECO**)

Japan Space System (**J-spacesystems**)

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor (**IRM Bor**)

Tehnički Fakultet Bor (**TF Bor**)

5) Godina kada je rešenje kompletirano;

2018.

6) Godina kada je počelo da se primenjuje i kod koga;

2019 – Nik Com d.o.o.

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

Tehničko rešenje pripada oblastima:

- Uređenje, zaštita i korišćenje voda, vazduha i zemljišta

Naučna disciplina: Zaštita životne sredine.

8) Problem koji se tehničkim rešenjem rešava;

Otpadne rudničke vode ili kisele rudničke vode (*Acid Mine Drainage – AMD*) predstavljaju jedan od najvećih negativnih uticaja na životnu sredinu u rudarskim oblastima. Zbog transporta vodenim sistemima, zagađenje koje izazivaju odražava se i na lokacijama koje su značajno udaljene od mesta nastanka kiselih rudničkih voda. Često, ovaj problem može imati i prekogranični uticaj, kao što je to slučaj i sa kiselim rudničkim vodama koje nastaju u okviru rudničkog kompleksa u Boru i Majdanpeku. Kisele rudničke vode se preko sistema okolnih reka ulivaju u Timok i kasnije Dunav.

Imajući u vidu da rudarstvo kao grana privrede u Srbiji i generalno na celom Balkanskom poluostrvu, beleži značajan razvoj tokom više od stotinu zadnjih godina, jasno je da pojave kiselih rudničkih voda imaju sve veći uticaj na životnu sredinu. Na teritoriji Srbije nalazi se i veliki broj napuštenih rudnika koji takođe predstavljaju izvor nastanka ovih otpadnih voda. Primera radi, na teritoriji Srbije postoji lokalitet Rudna Glava u blizini Majdanpeka, sa arheološkim tragovima koji ukazuju na rudarske aktivnosti iz ranog V milenijuma PNE (5400 PNE) [1] čime ovaj lokalitet zapravo predstavlja najstariji rudnik bakra u Evropi. Takođe, zadnjim istraživanjima u okviru projekta “Katastar rudarskog otpada u Republici Srbiji” utvrđeno je preko 200 napuštenih rudarskih lokacija sa manje ili više rudarskog otpada koji generiše nastanak kiselih rudničkih voda. Navedene činjenice i primeri ilustruju obim pojave nastanka kiselih rudničkih voda na teritoriji Srbije iz čega se može zaključiti da je rešavanje ovog problema jedan od prioriteta u zaštiti životne sredine. Sa druge strane, rešavanje navedenih problema predstavlja i deo obaveza Republike Srbije u sklopu sa harmonizacijom zakonske direktive sa “EU Acquis Communautaire in the field of environment” što je deo pregovaračkog postupka za pristupanje EU u okviru Poglavlja 27.

S obzirom na navedenu situaciju vezanu za kisele rudničke vode u Srbiji i preuzete obaveze u okviru pristupanja EU, vršena su detaljna istraživanja neutralizacije kiselih rudničkih voda radi formiranja mobilnog postrojenja koje će moći da tretira veće količine otpadnih voda u kontinuitetu kako bi se dobijeni parametri mogli koristiti kao rezultati “pilot” testa neutralizacije otpadnih voda. Za definisanje tehnološkog postupka neutralizacije vršena su paralelna ispitivanja na prirodnim i veštačkim rastvorima u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Akita Univerziteta u Japanu. Predloženi proces treba da na osnovu kontrolisanih pH vrednosti neutralizacije obezbedi efikasno izdvajanje prisutnih metala iz tretiranih otpadnih voda kao i selektivno taloženje istih u muljevima koji nastaju na različitim pH vrednostima. Istraživanjem se došlo do polaznih podataka za dizajniranje pilot postrojenja i njegovu kasniju instalaciju u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor. Ovo pilot postrojenje ima mogućnost tretmana većih količina otpadnih voda u kontinuitetu u okviru Instituta a takođe je moguće i da se postavi na terenu i da praktično radi u kontinuitetu sa zadatim kapacitetom. Na ovaj način, istraživači iz Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor, pa i iz cele Srbije i regiona, imaju mogućnost da korišćenjem postrojenja koje je bazirano na primeni neutralizacionih procesa, daju značajan doprinos za rešavanje problema zaštite životne sredine od uticaja rudničkih, pa i drugih industrijskih otpadnih voda. Pored toga, aktivnosti na realizaciji Projekta E-Cube sa Japanskim partnerima, rezultirale su formiranjem, verovatno najsavremenijeg, pilot postrojenja na teritoriji Republike Srbije, lociranog u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor čime su značajno povećani kapaciteti i konkurentnost Instituta za naučno istraživački i privredni rad.

Nakon puštanja postrojenja u rad, Univerziteti i naučne Institucije, pa i komercijalni klijenti iz Republike Srbije i inostranstva iskazali su jasan interes za naučnu i tehničku saradnju iz oblasti zaštite životne sredine, odnosno za ispitivanja mogućnosti neutralizacije otpadnih voda što indicira veličinu problema koje zagađene rudničke vode prouzrokuju na ovim prostorima. Jedna od prednosti postrojenja je što tehnološkom šemom i fleksibilnošću faza tehnološkog procesa omogućava da se na kvalitetan i pouzdan način utvrde mogućnosti neutralizacije otpadnih rudničkih i pojedinih industrijskih otpadnih voda različitih kvaliteta. Uz laboratorijske kapacitete Inst

ituta za hemijsku analitiku na savremenim mernim instrumentima, omogućeno je da se na jednom mestu dobije kompletan odgovor na mogućnost neutralizacije otpadnih voda sa precizno

definisanim rezultatima neutralizacije istih. Posebna prednost postrojenja je u tome što se u slučaju ispunjenja svih neophodnih infrastrukturnih uslova može postaviti i na lokaciji tretmana ili se uz obezbeđivanje adekvatne količine otpadnih rudničkih voda ispitivanja vrše u okviru formirane laboratorije Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor.

9) Stanje rešenosti tog problema u svetu;

Rudarstvo je jedna od najstarijih privrednih aktivnosti. Ogromne količine jalovine koje se stvaraju prilikom iskopavanja i prerade rude predstavljaju veliku opasnost po životnu sredinu. Odlaganjem jalovine uništava se obradivo zemljište i šume, a prašina koju vetar razvejava sa jalovišta se taloži na obližnjim usevima. Jalovišta su takođe izvor kiselih rudničkih voda koje sadrže visoke koncentracije katjona metala, posebno gvožđa, a često i toksične hemijske elemente kao što je arsen. Kisele rudničke vode su jedan od najznačajnijih ekoloških rizika na globalnom nivou. Stotine hiljada hektara zemljišta i hiljade kilometara vodotokova širom sveta su ugroženi oticanjem kiselih rudničkih voda [2]. Napušteni rudnici i jalovišta mogu generisati kisele vode desetinama, stotinama, pa i hiljadama godina. Na primer, procenjeno je da napušteni rudnik pirita Ričmond u Kaliforniji (SAD) može generisati ekstremno kisele vode narednih 3000 godina, dok je za mali rudnik cinka i bakra u severozapadnom Ontariju (Kanada) procenjeno da će stvarati kisele rudničke vode u narednih 10000 - 35000 godina. Iako su ovo ekstremni primeri, nije neuobičajeno da napuštena rudnička okna i jalovišta imaju kapacitet stvaranja kiselih voda u periodu koji se meri stotinama godina. U Evropi postoji deset hiljada aktivnih i napuštenih rudnika iz kojih godišnje ističe $5-10 \times 10^9 \text{ m}^3$ veoma zagađene vode [3].

Kisele rudničke vode (eng. *Acid Mine Drainage* ili *Acid Rock Drainage*) nastaju u oblastima u kojima se vrši ili je vršena eksploatacija rude. Kisele rudničke vode nastaju oksidacijom sulfidnih minerala, pre svega pirita. Nakon iskopavanja sulfidni minerali dolaze u kontakt sa vodom i kiseonikom iz atmosfere. Posledica oksidacije sulfidnih minerala je nastanak kiselih rudničkih voda koje karakteriše niska pH vrednost i visoke koncentracije katjona metala, pre svega gvožđa, a često su prisutni bakar, cink, mangan i drugi metali.

Neke od najvećih globalnih rudarskih kompanija nalaze se u Kanadi, Australiji, Sjedinjenim Državama i Južnoj Africi. Troškovi sanacije AMD iz napuštenih rudnika Severnu Ameriku

koštaju otprilike 10 milijardi dolara. Kanadu troškovi neutralizacije kiselih rudničkih voda koštaju od 2-5 milijarde. Australija je jedan od vodećih proizvođača mnogih minerala, trenutno postoji oko 380 rudnika u eksploataciji dok tačan broj zatvorenih rudnika nije poznat. Godišnje Australija troši na sanaciju AMD preko 500 miliona dolara. Ekološki i ekonomski uticaji AMD podstakli su razvoj isplativih rešenja i prevencije stvaranja AMD [4].

Postoji niz pristupa za sprečavanje i degradaciju podzemnih i površinskih voda iz rudničkih otpadnih voda. Među raznim strategijama sanacije za prečišćavanje AMD-a su zamena pokrova za sprečavanje ulaska atmosferskog O_2 i infiltracije padavina, sakupljanje i tretiranje kontaminirane podzemne i površinske vode, pasivni tretman površinske vode pomoću izgrađenih močvarnih područja i propusne reaktivne barijere za tretman podzemnih voda in situ. Izgrađena močvarna područja deluju kao pasivno postrojenje za prečišćavanje vode. Kontaminirani rudarski otpad se usmerava u močvarna područja gde se metali uklanjaju, a pH povećava kombinacijom reakcija bioakumulacije i smanjenja sulfata. Ova metoda sanacije pokazala se efikasnom i delotvornom, ali nije poznato koliko će močvarna područja ostati stabilna tokom dugog vremenskog perioda ili hoće li močvarna površina izdržati opterećenje metalima.

Propusne reaktivne barijere koriste se za prečišćavanje i sprečavanje prodiranja kontaminirane podzemne vode s rudničkih nalazišta koja su se infiltrirala u podzemne ili susedne vodotokove.

Neposredno nakon deponovanja jalovine ili otpada, prvi pristup je kontrola ulaska atmosferskog O_2 . Ovaj pristup uključuje dodavanje pokrova nad rudarskim otpadom. Fizičke barijere koje se primenjuju ili predlažu uključuju vodene poklopce, poklopce od sitnozrnog materijala koje mogu da izdrže visoku vlažnost, poklopce od organskih materijala ili postavljanje sintetičkog pokrova poput plastike, asfalta ili betona. Poklopci mogu da sadrže i jalovinu i otpadne stene koje sprečavaju eroziju vetrom i vodom. Da bi bili najefikasniji, poklopci se moraju primenjivati ili u trenutku kad deponovanje rudarskog otpada prestane ili ubrzo nakon toga, jer je brzina oksidacije sulfida najveća odmah nakon deponovanja rudarskog otpada .

Prikupljanje i tretman uključuje prikupljanje rudarskog otpada i tretiranje kontaminirane vode pre ispuštanja iz rudničkog mesta. Ova metoda sanacije je česta i koristi se na mnogim nalazištima rudnika u Severnoj Americi. Za ovu metodu tretiranja, pH se neutrališe dodavanjem kreča sa naknadnim taloženjem metala u obliku mulja feritnog hidroksida.

Konvencionalne metode uklanjanja jona metala iz vodenih rastvora detaljno su proučavane, kao što su jonska izmena, hemijska taloženja, adsorpcija na aktivnom uglju, elektrohemijska obrada, membranske tehnologije, itd. Međutim, elektrohemijska obrada i hemijska taloženja su neefikasni, naročito kada su koncentracije metala u vodama visoke, jer se na taj način proizvode velike količine mulja koje je kasnije teško tretirati. Proces adsorpcije aktivnim ugljem, jonske izmene i membranske tehnologije su skupe, posebno kada se u malim koncentracijama tretiraju velike količine otpadnih voda i vode koje sadrže teške metale.

Postrojenja za prečišćavanje jonskom izmenom

Ova tehnologija zasniva se na svojstvu određenih supstanci da vrše reverzibilne razmene jona unutar zasićenih rastvora. Te supstance mogu biti različite prirode, a najčešće se koriste sintetičke smole velike molekulske težine. Nakon završetka samog postupka, smola se regeneriše i zatim ponovo koristi. Među glavnim prednostima ove metode su mala tvrdoća i niska koncentracija rastvorenih čvrstih materija u krajnjim otpadnim vodama i mala potrošnja kreča. Najveći nedostatak su poteškoće pri rukovanju i toksičnost dobijenog mulja [5].

Postrojenja za neutralizaciju reverznom osmozom

Ova tehnika koristi polupropusne membrane koje omogućavaju prolazak vode, zadržavajući rastvorene ili suspendovane čestice. Tipične membrane, spužvaste i porozne, debljine 100 mikrona, izrađene su od modifikovanog celuloznog acetata s jedne strane prekrivenog gustim slojem.

Biosorpcija – kao alternativni proces

Bio-tretman teškim metalima uglavnom uključuje bioakumulaciju mrtvom ili živom biomasom i primenu žive biomase kao što su bakterije, alge, gljivice i morske alge kao biosorbent. Ova vrsta biološkog tretmana pojavila se kao isplativiji proces od ostalih hemijskih procesa i takođe ekološko prihvatljiv proces, koji minimizira nusprodukte [4].

Proces biosorpcije, uključuje upotrebu dve faze, čvrste supstance sastavljene od biološkog materijala i tečne faze (voda). Upotreba biosorpcije za postupak sanacije teških metala u podzemnim vodama poreklom od kiselih rudničkih voda (pH niži od 4) testirana je samo u laboratorijskim uslovima, pa je potrebna dodatna evaluacija na terenu kako bi se validirala kao tehnika koja efikasno uklanja teške metale iz AMD.

Fitoremedijacija

Tehnologija koja se sve više razvija, poznata je pod raznolikim nazivima kao što su Wastewater Gardens – Vrtovi otpadnih voda ili Living Machines – Žive mašine. U industrijskoj ekologiji je široko rasprostranjen naziv fitoremedijacija ili bioremedijacija. Ali osnovni principi su slični: sistem koji je projektovan da olakša prirodni proces čišćenja otpadnih voda, obnove jezera, potoka ili močvara, obrade kanalizacionih voda ili, što je diskutabilnije, mesta sa toksičnim otpadom.

Sistem se oslanja na upotrebu specijalno izabranih autohtonih vrsta biljaka i nepatogenih mikroba namenjenih određenom sistemu. Sa raznolikošću oblasti i primena, stručnjaci unapređuju svoje sisteme naročito u ekoregionima koji već imaju druge uspešne projekte koji su poslužili kao model. Sistemi su bili korišćeni u SAD-u, Meksiku, Indoneziji, Australiji, Filipinima i na drugim mestima. Generalno, ova mesta koriste se za benigne tipove otpadnih i kanalizacionih voda, ali se takođe koriste i kako bi se očistila naftna polja, napušteni rudnici, mesta za testiranje oružja, mesta izlivanja đubriva i druga mesta zagađena toksinima.

U napuštenom Rudniku Matsuo, koji je nekada bio najveći rudnik sumpora u Aziji nalazi se postrojenje sa najvećim kapacitetom za prečišćavanje vode u japanskim napuštenim rudnicima, a proces prečišćavanja započeo je 1982. Od tada se vrši neutralizacija kiselih rudničkih voda koje sadrže otrovne metale, poput gvožđa i arsena, brzinom od 18 tona u minuti. Sam proces prečišćavanja voda sastoji se u neutralizaciji rudničkih voda korišćenjem kalcijum-karbonata. Samo korišćenje kalcijum-karbonata kao neutralizacionog sredstva rezultira značajnim smanjenjem troškova samog tretmana kiselih rudničkih voda. Mulj nakon neutralizacije se odvaja i taloži na brani za otpad, dok se voda nakon neutralizacije ispušta u lokalne vodotokove [6].

Što se tiče rešenosti ovog problema u Srbiji, postojeći industrijski kapaciteti u okviru naselja su najčešće priključeni na javnu kanalizaciju naselja. Pouzdanih podataka o vrsti i količinama industrijskih otpadnih voda postojećih industrijskih pogona nema u meri neophodnoj za merodavne zaključke. Kod industrije je evidentno da najčešće nema izgrađenih postrojenja za predtretman industrijskih otpadnih voda pre njihovog upuštanja u gradsku kanalizaciju, odnosno u recipijente, ili je njihov rad neefikasan, što može da ugrozi i funkcionisanje postojećih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, kao i živi svet u vodi i priobalju. Treba

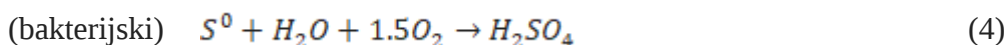
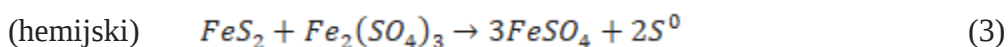
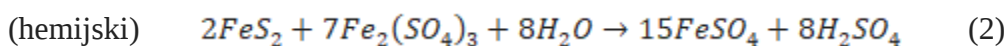
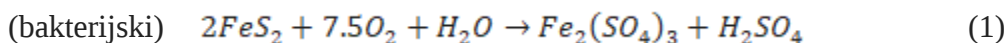
istaći da je osamdesetih godina prošlog veka bilo više od stotinu postrojenja za predtretman industrijskih otpadnih voda, što je uglavnom podrazumevalo neutralizaciju u metaloprerađivačkoj industriji, kao i nekoliko samostalnih postrojenja za konačan tretman, najčešće u okviru fabrika celuloze i papira, kao i šećerana. Zbog nepovoljne ekonomske situacije u zemlji, izvršene privatizacije i restrukturiranja privrede, mnogo pogona je prestalo da radi ili je promenilo delatnost, tako da su njihova postrojenja za predtretman zapuštena ili ne odgovaraju stvarnim potrebama.

10) Opis tehničkog rešenja;

Prirodni resursi kao što su ugalj, gvožđe, obojeni metali, plemeniti metali, industrijski minerali itd., od suštinske su važnosti za razvoj ljudskog društva. Tokom Svetskog samita o održivom razvoju (Johanesburg, 2002), odlučeno je da se koncept održivog razvoja zasniva na zaštiti životne sredine kao jednom od tri glavna stuba, kako za razvijene, tako i za zemlje u razvoju. Rudarstvo i prerada mineralnih sirovina na Balkanskom poluostrvu, uključujući Albaniju, Bosnu i Hercegovinu, severnu Makedoniju, Kosovo (teritoriju pod privremenom administracijom UN-a), Crnu Goru i Srbiju, odigrali su vitalnu ulogu u evropskoj istoriji i ekonomiji. Zapravo je ovo područje bilo glavni deo snabdevanja bakra, olova i cinka u Evropi do 1990. godine [7]. Globalne rudarske aktivnosti sa tehnološkim procesima prerade minerala i proizvodnje metala generišu nekoliko milijardi tona čvrstog neorganskog otpada ili nusproizvoda, uključujući tečni otpad [8]. Prema studiji izrađenoj za DG Environment, Evropska komisija, više od 4,7 milijardi tona rudarskog otpada i 1,2 milijarde tona flotacijske jalovine je odloženo širom Evropske unije [9]. Površinska i podzemna eksploatacija ruda uglavnom imaju ozbiljan negativan uticaj na životnu sredinu kao što su zagađenje vazduha, upotreba zemljišta i biodiverzitet i dostupnost vode. Buka i vibracije, upotreba izvora energije, vizuelni efekti, itd., ponekad su takođe negativne posledice rudarskih i metalurških aktivnosti. Pored aktivnih lokacija, u regionu su raštrkane hiljade starih i napuštenih lokacija. Takođe, neki efluenti generisani u rudarskoj industriji sadrže velike količine toksičnih supstanci (cijanidi, teški metali i druge štetne i opasne materije), koje imaju ozbiljne ljudske zdravstvene i ekološke implikacije [10-12].

Otpadna rudnička voda koja nastaje iz aktivnih, kao i iz napuštenih rudnika, jedna je od glavnih hemijskih pretnji podzemnim i površinskim vodama. Rudarske vode su po pravilu kisele sa pH

vrednošću uglavnom između 2,5 i 4 zbog povišene koncentracije sumporne kiseline, kao drugi proizvod bakterijske oksidacije sulfidnih minerala. Pirit je najzastupljeniji mineral u ležištima polimetalnih sulfidnih ruda i na deponijama rudarskog otpada. Oksidacija pirita u vodenoj sredini se odvija putem dva simultana mehanizma, tj. biohemijski koji uključuje bakterije i hemijski način, koji se mogu opisati sledećim stehiometrijskim reakcijama [13-15]:



Generisanje i oslobađanje AMD-a koji sadrže povišene koncentracije metala iz rudničkog otpada izaziva ekološki problem globalnog obima pa je za rešavanje ovog problema potrebna neka od metoda aktivnog ili pasivnog tretmana [16]. Aktivne metode tretmana koriste neutrališuća sredstva za povišenje pH do standarda kvaliteta otpadnih voda [17-21]. Otpadna rudnička voda koja potiče iz aktivnih ili napuštenih rudnika sadrži jone metala ponekad u značajnoj koncentraciji, obično povezanih sa ekvivalentnom ili čak dvostruko većom koncentracijom jona Fe^{2+} / Fe^{3+} , kao posledicom bakterijskog luženja sulfidnih minerala. Prisustvo jona teških metala (Cu, Mn, Cd, Zn, Pb, Ni itd.) u ovim vodama zavisi generalno od mineralizacije rudnog tela. Najefikasnije tehnike koje su na raspolaganju za tretman AMD su metode neutralizacije, vodeni pokrivači i procesi biološke / prirodne razgradnje. Brojni faktori diktiraju nivo sistema za prečišćavanje koji je neophodan kako bi se osiguralo da se ispune standardi za otpadne vode. Tu spadaju: hemijske karakteristike AMD-a, količina vode kojoj je potreban tretman, lokalna klima, karakteristike mulja, itd.. Hemikalije koje se obično koriste za tretman AMD uključuju krečnjak, hidratizovani kreč, soda pepeo, kaustična soda, karbidni kreč, amonijak, kalcijum peroksid i leteći pepeo.

Neutralizacija gašenim krečom, koja se u rudarskim krugovima naziva „hemijskim procesom”, često se koristi za tretman AMD-a u rudarskoj industriji. Prethodne studije su pokazale da gašeni kreč može efikasno tretirati otpadne vode. Ima sposobnost da poveća pH vrednost i takođe može da tretira teške metale, na primer u rasponu pH 10-11 za cink, 9,2-11,6 za olovo, 4-11,8 za gvožđe i 7-11,8 za bakar [22]. Drugo istraživanje je pokazalo da se gašeni kreč može koristiti za prečišćavanje otpadnih voda sa životinjskih farmi primenom tehnika koagulacije, a rezultati su

pokazali da su smanjene suspendovane čvrste supstance, organske materije, azotna i fosfatna jedinjenja [23].

Naučno istraživački rad kroz koji je izgrađeno novo pilot postrojenje

Imajući u vidu da su otpadne rudničke vode sa teritorije Balkanskog poluostrva u prethodnom periodu oticale bez tretmana rečnim slivovima koji pripadaju egejskom, crnomorskom i jadranskom basenu jasno je da ovi problemi imaju uglavnom prekogranični uticaj. Shodno tome definisan je jedan od ciljeva istraživanja u okviru Projekta „Research on the integration system of spatial environment analyses and advanced metal recovery to ensure sustainable resource development“ (E³)“ sa Japanskim partnerima. Projekat je realizovan preko programa SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) u organizaciji JICA (Japan International Cooperation Agency) i JST (Japan Science and Technology Agency). Cilj dela projekta koji se odnosi na tretman otpadnih rudničkih voda bio je da se ispituju metode i postupci na laboratorijskom nivou koji bi na optimalan način sa aspekta investicionih i operativnih troškova kao i efikasnosti postupka mogli da prečiste otpadne rudničke vode do nivoa predviđenih zakonskom regulativom. Jedan od najvažnijih segmenata Projekta bio je taj što bi se na osnovu tih ispitivanja obezbedile osnove za projektovanje i izradu pilot postrojenja koje bi se instaliralo u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor i koje bi se dalje, nakon završetka Projekta koristilo za dalja istraživanja i dizajniranje postupaka prečišćavanja otpadnih rudničkih voda.

Tokom prvog dela realizacije Projekta vršen je monitoring velikog broja realnih otpadnih rudničkih voda generisanih kao posledica rudarskih aktivnosti u zoni uticaja rudnika bakra Bor u cilju izbora voda koja će se koristiti za laboratorijska ispitivanja procesa neutralizacije. U okviru ovog tehničkog rešenja prikazan je deo rezultata koji se odnosi na ispitivanja neutralizacije realnih Jamskih voda, a srednje vrednosti sadržaja pojedinih elemenata za nefiltrirane uzorke realnih otpadnih voda tokom monitoringa realizovanog u 2017. god., date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Srednji hemijski sastav Jamskih voda za 2017. god.

Element	Jedinica mere	Srednja vrednost za 2017
Ca	mg/l	373,160
Fe	mg/l	414,180
Mg	mg/l	244,280

Al	mg/l	242,070
Cu	mg/l	95,630
Mn	mg/l	19,520
Zn	mg/l	5,160
Co	mg/l	0,450
Ni	mg/l	1,000
As	mg/l	0,500
Cd	mg/l	0,100
Cr	mg/l	0,016
Se	mg/l	0,034
Pb	mg/l	0,005
Cs	mg/l	0,0004

Na navedenim otpadnim rudničkim vodama izvršena su laboratorijska ispitivanja neutralizacije, a dobijeni rezultati hemijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije: I stepen: od startne pH vrednosti (2,65) do pH 3,5 i 4, II stepen: od pH 3,5 do pH 7 i 8 i od pH 4 do pH 7 i 8., prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati hemijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije Jamskih voda u laboratorijskim uslovima

Element	Jedinica mere	Start pH 2,6	Do pH 3,5	Do pH 4	pH 3,5 do pH 7	pH 4 do pH 7	pH 3,5 do pH 8	pH 4 do pH 8
Fe	mg/l	499,200	244,000	13,800	0,050	0,030	0,040	0,030
Mg	mg/l	154,800	126,850	118,200	124,610	114,480	119,480	112,580
Al	mg/l	81,700	84,260	76,540	0,32	0,310	0,140	0,140
Cu	mg/l	135,300	134,930	132,800	0,310	0,180	0,050	0,040
Mn	mg/l	16,200	12,530	12,000	11,320	9,970	8,280	7,880
Zn	mg/l	3,100	2,870	2,780	0,750	0,480	0,030	0,020
Co	mg/l	0,211	0,199	0,189	0,143	0,103	0,040	0,030
Ni	mg/l	0,231	0,221	0,209	0,159	0,098	0,044	0,048
As	mg/l	0,002	0,001	0,0007	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003
Cd	mg/l	0,044	0,041	0,044	0,029	0,023	0,006	0,006
Cr	mg/l	0,006	0,005	0,003	0,0006	0,0007	0,0006	0,0007
Pb	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,0006	0,0007	0,0006

Sva laboratorijska ispitivanja realizovana su u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Akita Univerziteta u Akiti u Japanu. Postignuti rezultati pokazali su da je postupak pH kontrolisane dvostepene neutralizacije dao dobre rezultate, snizio sadržaje teških metala i

drastično popravio kvalitet voda. Rezultati velikog broja laboratorijskih eksperimenata koji nisu sastavni deo predmetnog tehničkog rešenja kao i ovih istraživanja poslužili su kao osnov za projektovanje i izradu pilot postrojenja u okviru Projekta E³. Novo pilot postrojenje sa projektovanim kapacitetom 2 -7 l/min AMD-a i mogućnošću instaliranja na terenu, proizvedeno je u Japanu, od strane Mitsui Mineral Development Engineering Co. i instalirano u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, a detaljniji opis dat je u Poglavlju 10.2.2. Nakon isporuke i instalacije pilot postrojenja u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor izvršena su probna testiranja opreme, a takođe je realizovan i uvećani eksperiment pH kontrolisane dvostepene neutralizacije na odgovarajućem uzorku Jamskih voda koje su testirane i na laboratorijskom nivou. Rezultati ispitivanja na pilot postrojenju dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati hemijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije Jamskih voda na pilot postrojenju

Element	Jedinica mere	Start pH 2,65	pH 3,8	pH 7
Ca	mg/l	435,100	1056,900	1321,800
Fe	mg/l	506,600	98,000	<0,007
Mg	mg/l	313,600	301,200	250,300
Al	mg/l	328,500	183,300	<0,030
Cu	mg/l	187,070	180,570	<3,300
Mn	mg/l	22,460	22,280	10,900
Zn	mg/l	8,630	8,180	0,031
Co	mg/l	0,650	0,630	0,040
Ni	mg/l	1,530	1,360	0,084
As	mg/l	0,290	0,009	<0,0021
Cd	mg/l	0,088	0,084	0,012
Cr	mg/l	0,041	0,005	<0,0017
Se	mg/l	0,043	0,043	0,035
Pb	mg/l	0,004	0,002	<0,0021
Cs	mg/l	0,0004	0,0004	0,0005

Koncentracija svih elemenata u otpadnim vodama, osim kalcijuma i magnezijuma, se nakon pH kontrolisane dvostepene neutralizacije smanjila. Povećanje koncentracija Ca je posledica unosa krečnog mleka koje se koristi kao neutralizator dok koncentracija Mg nije zakonski limitirana jer ovaj zemnoalkalni metal nema štetnih uticaja na zdravlje ljudi. Koncentracija Fe je smanjena

tokom prvog stepena neutralizacije ispod maksimalno dozvoljene vrednosti što potvrđuje dominantno prisustvo Fe (III) jona [24]. Step en uklanjanja Fe bio je preko 99 %. Na osnovu dobijenih rezultata je potvrđena efikasnost pilot postrojenja i primenjenog postupka koji je dao dobre rezultate, snizio sadržaje teških metala u zakonski dozvoljene okvire i drastično popravio kvalitet voda. Pored sadržaja teških metala u prečišćenoj vodi, analiziran je i sadržaj dobijenih muljeva koji je dat u Tabeli 4.

Tabela 4. Rezultati hemijskih analiza muljeva nakon dvostepene neutralizacije Jamskih voda na pilot postrojenju do pH 3,8 i pH 7

Element	Jedinica mere	Jamske vode, pH 3,8	Jamske vode, pH 7
Cr	ppm	27,100	12,900
Co	ppm	12,600	186,400
Ni	ppm	65,000	377,500
Zn	ppm	89,900	2288,200
As	ppm	131,300	6,000
Se	ppm	4,400	8,900
Cd	ppm	0,430	24,300
Cs	ppm	0,400	0,400
Pb	ppm	17,900	14,400
Mn	%	0,008	0,440
Al	%	7,950	7,700
Fe	%	22,430	3,550
Cu	%	0,410	3,890

Ispitivanjima na pilot postrojenju, utvrđeno je da dvostepeni proces neutralizacije na pH 3,8 i 7 efikasno razdvaja Fe od ostalih elemenata prisutnih u otpadnim vodama.

Dobijeni mulj na pH 3,8 (prvi stepen neutralizacije) sadržao je 22,43 % Fe, a potvrda toga je i smanjenje početne koncentracije Fe u tretiranim vodama u vrednosti od oko 80 %, što dokazuje da je najveći deo prisutnog gvožđa precipitirao tokom prvog stepena neutralizacije. Mulj dobijen pri pH 7 (drugi stepen neutralizacije) sadržao je 3,89 % Cu, a potvrda toga je i smanjenje početne koncentracije Cu u tretiranim vodama u vrednosti od preko 99 %. Na osnovu vrednosti sadržaja Cu moguće je da se ovaj mulj iskoristi kao sirovina za valorizaciju Cu primenom hemijskih /elektrohemijskih postupaka. Pored Cu, mulj dobijen na pH 7 sadrži i druge metale (Zn, Co, Ni) koji bi se takođe mogli valorizovati. Prednost primenjenog postupka pH kontrolisane dvostepene

neutralizacije je u selektivnom razdvajanju Fe od ostalih prisutnih elemenata u dva fizički razdvojena mulja različitih karakteristika, čime se ovaj postupak može smatrati ekološki i ekonomski primenljivim, odnosno održivim, na otpadnim rudničkim vodama. Pored toga, sprovedenim ispitivanjima na novom pilot postrojenju, isto je potvrdilo efikasnost i pouzdanost u radu sa realnim otpadnim vodama.

Komercijalni potencijal pilot postrojenja

S obzirom na to da je opšte poznato da na teritoriji Balkanskog poluostrva postoji veliki broj otpadnih rudničkih voda koje stvaraju ogromne probleme u zaštiti životne sredine, novo postrojenje je ubrzo moglo da potvrdi svoju kompletnost i primenljivost na primeru drenažnih otpadnih rudničkih voda generisanih iz napuštenog jalovišta Gradac rudnika Šuplja Stijena u Crnoj Gori (Slika 1).



Slika 1. *Napušteno jalovište rudnika Šuplja Stijena u Gradcu*

Vlada Crne Gore je dobila kredit od Svetske banke za realizaciju projekta „Industrial Waste Management and Clean-up Project“ sa osnovnom komponentom zaštita životne sredine i

remedijacija degradiranih površina. Jedna od pet posmatranih lokacija je i napušteno jalovište Gradac rudnika olova i cinka Šuplja Stijena. Imajući u vidu Ugovor „Preparation of Technical Design for the Remediation of the Mine Tailings Disposal Facility Gradac – Pljevlja“ koji je Nik Com d.o.o. sklopio sa Agencijom za Zaštitu Prirode i Životne Sredine 2018. godine u kome kao podizvođač nastupa i Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Nik Com je od Instituta zatražio da u okviru hemijskih i fizičko mehaničkih ispitivanja tla i voda sa lokaliteta Gradac – Pljevlja izvrši i ispitivanja mogućnosti neutralizacije drenažnih otpadnih rudničkih voda. Kako na lokaciji od interesa nije bilo moguće, a ni ekonomski opravdano transportovati i montirati pilot postrojenje, kao i da su za rad postrojenja potrebne veće količine predmetnih voda, naručilac je dostavio hemijski sastav voda sa svoje lokacije i predložio da se ispitivanja mogućnosti neutralizacije vrše na vodama sličnih hemijskih karakteristika koje se mogu naći u blizini Bora. Pored toga, Nik Com je tražio da se ispitivanja neutralizacije voda vrše prema limitiranim vrednostima na sadržaj elemenata u skladu sa domaćom i evropskom regulativom. Na osnovu predhodnog iskustva, autori tehničkog rešenja predložili su da to budu vode sa lokacije jezera Robule, koje se nalazi u neposrednoj blizini Bora (Slika 2).



Slika 2. Robule jezero – kisele rudničke vode pored rudarskog kompleksa u Boru

Uporedni kvaliteti voda na osnovu monitoringa hemijskog sastava voda sa lokacije Robule jezero za 2018. godinu i drenažnih voda sa jalovišta Gradac, prikazani su u Tabeli 5. Upoređivanjem kvaliteta voda, od naručioca je prihvaćeno da se ispitivanja realizuju na pilot postrojenju sa vodama sa lokacije Robule. Takođe, Tabela 5 sadrži i podatke za maksimalno dozvoljene koncentracije emisija zagađujućih supstanci u otpadnim vodama saglasno zakonodavstvu Republike Crne Gore. Iz navedene tabele se vidi da su u drenažnim otpadnim vodama sa jalovišta Gradac van limitiranih vrednosti: pH kao i koncentracija Zn i Fe pa su na osnovu tih karakteristika i koncipirana istraživanja mogućnosti primene postupka dvostepene neutralizacije na novom pilot postrojenju u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor.

Tabela 5. Uporedni kvaliteti otpadnih rudničkih voda sa jalovišta u Gradcu i jezera Robule

Opis	Jedinica mere	Drenažne AMD - Jalovište Gradac	AMD - Robule jezero	MDK*
pH	/	3,0	2,9	6,5-9,0
As	mg/l	0,003	0,002	0,100
Pb	mg/l	0,122	< 0,0021	0,500
Cd	mg/l	0,021	0,005	0,100
Cr	mg/l	0,002	< 0,0017	0,500
Cu	mg/l	0,021	45,300	0,500
Ni	mg/l	0,048	0,517	0,500
Hg	mg/l	< 0,0005	< 0,0005	0,010
Zn	mg/l	27,700	23,110	2,000
Fe	mg/l	179,300	336,800	2,000
Co	mg/l	0,027	1,051	1,000
Mg	mg/l	424,000	855,000	/
Sn	mg/l	< 0,001	< 0,001	2,000

Napomena: MDK* - maksimalno dozvoljene vrednosti [25]

Ispitivanja neutralizacije vršena su prema pravilima zakonodavstva Republike Crne Gore. U okviru realizovanih istraživanja, primenjena je metoda dvostepene neutralizacije sa kontrolisanjem pH vrednosti u cilju taloženja prisutnih elemenata u različitim muljevima dobijenim pri unapred definisanim pH vrednostima do kojih je vršena neutralizacija. Efikasnost taloženja prisutnih elemenata tokom procesa neutralizacije na različitim pH vrednostima

ispitivana je u laboratorijskim uslovima, a optimalni parametri potvrđeni su testom na novom pilot postrojenju, a na osnovu dobijenih rezultata predložen je tehnološki postupak.

10.1. Materijali i metode

10.1.1. AMD uzorak

Laboratorijska ispitivanja su izvedena sa realnim uzorkom AMD sa lokacije Robule jezero (Slika 2.), čiji je hemijski sastav prikazan u tački 10.3.1. Test na pilot postrojenju je takođe rađen sa realnim AMD vodama sa navedene lokacije, a vrednosti koncentracije karakterističnih elemenata su prikazane u tački 10.3.2., Tabela 9.

10.1.2. Gašeni kreč

Sadržaj minerala u uzorku gašenog kreča koji se koristi kao reagens za neutralizaciju, određen je difrakcijom Ks-zraka pomoću GNR Explorer difraktometra pod sledećim uslovima: Cu K α na talasnoj dužini 1,54 Å; napon U = 40 kV; struja I = 30 mA; detektor: scintilacioni brojač; geometrija aparata: θ - θ . Identifikovani minerali su sledeći: 60,3 mas.% Ca(OH)₂ i 39,7 mas.% CaCO₃. Aktivnos kreča iznosila je 69,3%. Gašeni kreč je lokalno dostupan.

10.1.3. Flokulant

Flokulant ACCOFLOC/ARONFLOC, marke A-95 (MT Akua Polimer, Inc., Japan), korišćen je u procesu taloženja suspendovanih čestica nakon različitih stepena neutralizacije. Flokulant A-95 je poliakrilamid, slabi anjon, molekulska težina 1700.

10.1.4. Metode kvantitativne analize elemenata

Koncentracije metala u ispitivanim uzorcima voda i hemijski sastav mulja su određivani atomskom emisionom spektrometrijom sa indukovanom kuplovanom plazmom (AES-ICP, Spectro Ciros Vision) i masenom spektrometrijom sa indukovanom kuplovanom plazmom (ICP-MS, Agilent 7700). Uzorci voda koji su korišćeni za hemijsku analizu pripremani su na na samoj lokaciji uzorkovanja i adekvatno transportovali do laboratorija Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor. Priprema nije uključivala filtriranje uzoraka. Priprema uzorka za analizu, rađena je u skladu sa zahtevima metode.

10.2. Neutralizacija

10.2.1. Laboratorijska ispitivanja

Ispitivanja su izvršena sa 1000 ml realnog AMD uzorka. Krečno mleko, koncentracije od 2,5 % masenih korišćeno je kao neutralizator da bi se postiglo pH 3,5 ili 4 u prvom stepenu neutralizacije. Uzorku AMD kontinuirano je dodavano krečno mleko u šaržnom reaktoru. Mešanje je izvedeno magnetnom mešalicom, konstantnom brzinom od 400 o/min kako bi se izbeglo taloženje. Nakon postizanja pH vrednosti rastvora od 3,5 ili 4, svaki rastvor je filtriran vakuumskom filtracijom da bi se odvojila čvrsta od tečne faze. Vlažan mulj sušen je do konstantne mase na 40 °C. Tečna faza je data na hemijsku analizu u skladu sa hemijskom karakterizacijom početnog uzorka. Uzorci AMD neutralizovani u prvom stepenu neutralizacije korišćeni su kao početni uzorci za drugi stepen neutralizacije. Krečno mleko (2,5 % mas.) je korišćeno kao neutralizator da bi se postiglo pH od 7; 7,5 i 8. Kao i u prvom stepenu neutralizacije, tečna i čvrsta faza su razdvojene vakuumskom filtracijom. Za hemijske analize korišćena je tečna faza, a čvrsta faza je sušena na 40 °C i merena nakon dostizanja vrednosti konstantne mase.

10.2.2. Dvostepena neutralizacija na pilot postrojenju

Osnovu za dizajniranje i izgradnju pilot postrojenja predstavljali su rezultati ispitivanja izvedeni u laboratorijskim uslovima, koji su pokazali da je pH kontrolisani postupak efikasan za neutralizaciju otpadnih rudničkih voda i selektivno razdvajanje metala. Sva prethodna laboratorijska ispitivanja realizovana su u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Akita Univerziteta u Akiti u Japanu. Novo pilot postrojenje proizvedeno je u Japanu, od strane Mitsui Mineral Development Engineering Co., tokom aktivnosti na realizaciji projekta: „*Research on the integration system of spatial environment analyses and advanced metal recovery to ensure sustainable resource development*“ (E³)“ od 2015. do 2020. god., koji su sprovedi Univerzitet Akita, Japanski svemirski sistem, Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. i Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor gde je novo postrojenje i instalirano. Projektovani kapacitet postrojenja je 2 -7 l/min AMD-a sa mogućnošću instaliranja na terenu.

Generalni opis pilot postrojenja za dvostepenu neutralizaciju

Specifikacija pilot postrojenja prikazanog na Slici 3. koje se sastoji od pet jedinica, kompresora i kontrolnog ormana, kontinualne kontrole pH i flokulacije-taloženja metala iz AMD u dva stepena, data je u Tabeli 6., dok je na Slici 4. prikazana dispozicija opreme pilot postrojenja u laboratoriji Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor.

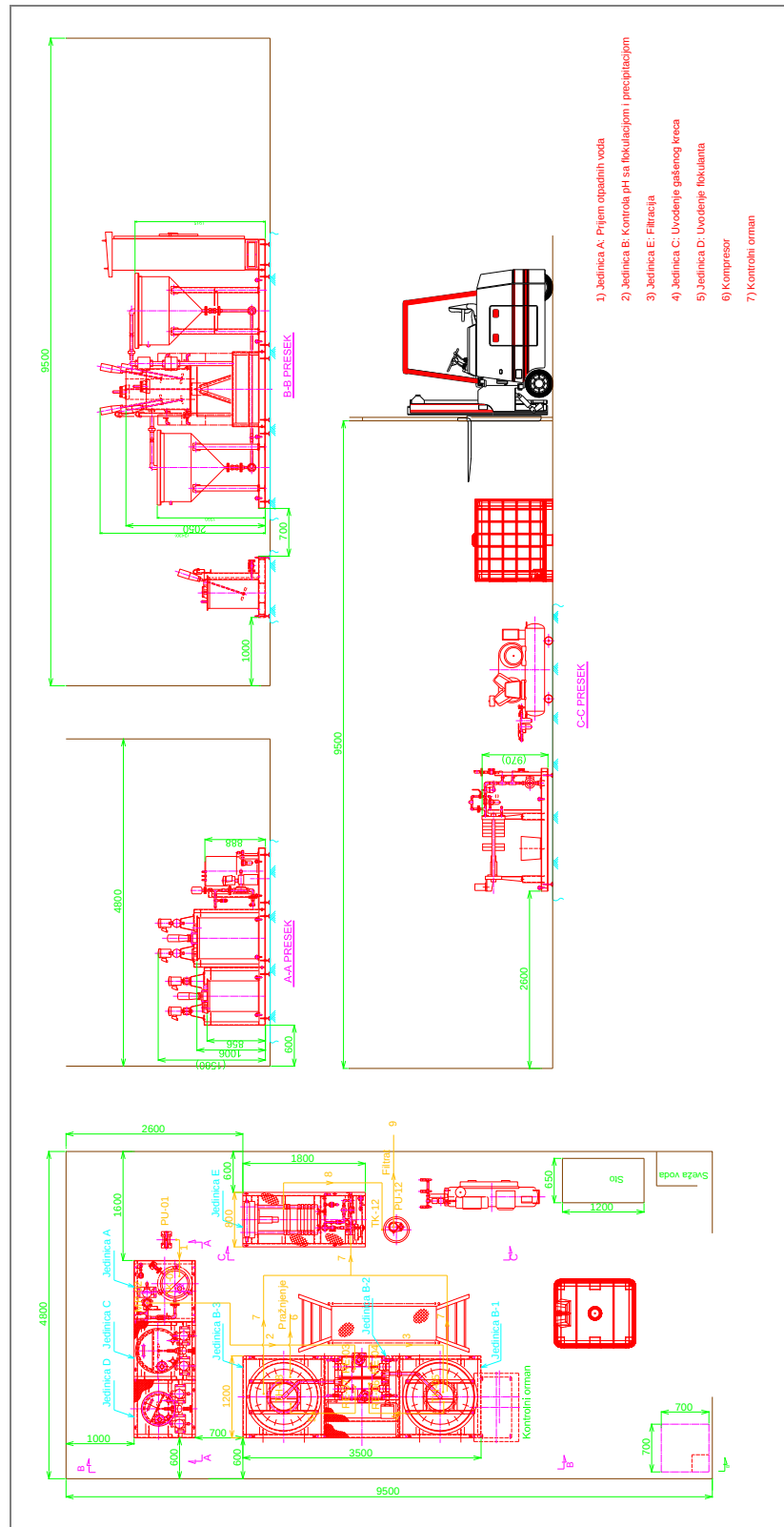


Slika 3. Pilot postrojenje za dvostepenu neutralizaciju

Tabela 6. Specifikacija pilot postrojenja za dvostepenu neutralizaciju

Jedinica	Opis
Jedinica A: Prijem otpadnih voda	Muljna pumpa, protok: 20 l/min, koristi se za uvođenje otpadnih voda u prihvatni rezervoar otpadnih voda.
	Prihvatni rezervoar otpadnih voda, za skladištenje otpadnih voda.
	Muljna pumpa, protok: 2 - 7 l/min, koristi se za transport otpadnih voda iz prihvatnog rezervoara u Jedinicu B.

Jedinica B: kontrola pH i flokulacija – taloženje, sastavljena od jedinica: B-1, B-2 i B-3	Jedinica B-1: Zgušnjivač A, zapremina 410 l, koristi se za razdvajanje čvrste i tečne faze iz otpadnih voda na kojima je izvršen prvi stepen neutralizacije (primarna kontrola pH vrednosti prema prvoj podešenoj vrednosti pH) i flokulacija.
	Jedinica B-2: pH kontrolni rezervoar A/B (50 l svaki), Rezervoar flokulanta A/B, (50 l svaki). Koristi se za primarnu pH kontrolu (prema prvoj podešenoj vrednosti pH), sekundarna pH kontrola (prema drugoj podešenoj vrednosti pH) i flokulacija ulaznih otpadnih voda. pH kontrolni agitator A/B, koristi se za mešanje rastvora u pH kontrolnom rezervoaru A/B. Flokulacioni agitator A/B, koristi se za mešanje rastvora u rezervoaru flokulanta.
	Jedinica B-3: Zgušnjivač B, zapremina 410 l, koristi se za razdvajanje čvrste i tečne faze iz otpadnih voda na kojima je izvršena sekundarna kontrola pH vrednosti (prema drugoj podešenoj vrednosti pH) i flokulacija.
Jedinica E: Filtracija	Zgušnjivač A i Zgušnjivač B Jedinice B treba redovno vizuelno proveravati zbog taloženja mulja, i kada se nivo značajno poveća, treba otvoriti ručno kontrolisane ventile za pražnjenje mulja muljnom pumpom protoka 20 l/min ka Filter presi kapaciteta 3 l. Filtrat se ispušta pomoću pumpe u recipijent ili se vraća u rezervoar otpadnih voda u zavisnosti od kvaliteta. Filter presa je automatskog tipa.
Jedinica C: Uvođenje gašenog kreča	Gašeni kreč i voda se uvode u rezervoar krečnog mleka, zapremine 250 l, masene koncentracije 2,5 %. Pripremljeno krečno mleko se muljnom pumpom A/B, (0,5 l/min) uvodi u pH kontrolne rezervoare A/B i dozira prema podešenim pH vrednostima.
Jedinica D: Uvođenje flokulanta	Anjonski flokulant i voda se uvode u rezervoar Flokulanta (zapremine 100 l) sa kontrolom njegove koncentracije do 0,05 g/l. Kondicionirani flokulant se transportuje u rezervoar Flokulanata A/B sa konstantnim protokom, bez obzira na protok vode, sa pumpom za flokulant A/B, protoka 0,05 l/min.
Kompresor	Kompresor kapaciteta 370 l/min koristi se za snabdevanje filter prese i ventila komprimovanim vazduhom.
Kontrolni orman	Koristi za kontrolu, upravljanje i elektro snabdevanje opreme pilot postrojenja.



Slika 4. Dispozicija opreme pilot postrojenja za dvostepenu neutralizaciju u laboratoriji IRM

Bor

Skladišni rezervoari zapremine 1 m³ (plastični kubitejneri) korišćeni su za skladištenje uzorkovanih AMD-a sa izabраниh lokacija. Ambijentalni uslovi: 5 - 40 °C; Napajanje: 220 V AC x 3-fazni x 50Hz, 13 kVA. Oprema je napravljena od kiselo otpornog materijala zbog činjenice da je kiselost AMD uglavnom između 2,5 i 4.

Opis tehnološkog postupka procesa dvostepene neutralizacije na pilot postrojenju

Otpadne vode se iz skladišnog rezervoara transportuju muljnom pumpom konstantnog protoka od 20 l/min do prihvatnog rezervoara za otpadne vode. Prihvatni rezervoar za otpadne vode ima regulator nivoa koji automatski isključuje/uključuje muljnu pumpu. Pumpom konstantnog protoka od 5 l/min otpadne vode sa ulivaju u pH kontrolni rezervoar A. Istovremeno, u pH kontrolni rezervoar A kontinualno se dodaje 2,5 % mas. krečnog mleka iz rezervoara za pripremu i skladištenje krečnog mleka pomoću muljne pumpe. U rezervoaru A za kontrolu pH vrednosti postavljen je pH metar kojim se kontroliše pH vrednost prvog stepena neutralizacije. Postavlja se prva pH vrednost, prema kojoj se tokom testa manuelno podešava doziranje krečnog mleka. Suspenzija iz rezervoara za kontrolu pH preliva se u rezervoar za flokulaciju A. Flokulant (0,05 % mas.) uvodi se pumpom za flokulant A sa konstantnim protokom od 0,025 l/min u rezervoar za flokulaciju A. Suspenzija se preliva u zgušnjivač A, a neutralizacioni mulj se taloži na dnu zgušnjivača A. Neutralisane otpadne vode iz preliva zgušnjivača A se uzorkuju za hemijsku analizu i gravitaciono odvede do pH kontrolnog rezervoara B za sekundarnu kontrolu pH (prema drugoj postavljenoj pH vrednosti). Nakon toga vrši se flokulacija u rezervoaru za flokulaciju B, a zatim razdvajanje faza u zgušnjivaču B. Neutralizovana otpadna voda iz preliva zgušnjivača B takođe se uzorkuje za hemijsku analizu i gravitaciono ispušta kao prečišćena voda. Zgušnjivač A i zgušnjivač B prazne se jedan po jedan u cilju filtracije mulja na filter presi. Filtrat se ispušta pumpom za filtrat kao prečišćena voda, a mulj se meri i suši na 40 °C do konstantne mase i uzorkuje za hemijsku analizu. Na osnovu rezultata hemijskih analiza izračunavan je i stepen uklanjanja metala iz tretiranih otpadnih voda.

10.3. Rezultati i diskusija

10.3.1. Laboratorijska ispitivanja

Hemijskom analizom otpadnih rudničkih voda (AMD) sa lokacije jezera Robule utvrđene su vrednosti koncentracija prisutnih katjona (mg/l): Al - 209,800; Ca – 508; Fe_(ukupno) - 322,600;

Mg - 893,100; Mn - 90,800; Zn - 12,800; Cu - 34,700; Co - 0,870; S - 2376,200; Sr - 1,700; Ni - 0,413; As - 0,004; Se - 0,008 i Cd - 0,039. Koncentracija Pb, Cr i Cs bila je ispod granica osetljivosti korišćene analitičke metode. Vrednosti koncentracija prisutnih anjona (mg/l): SO_4^{2-} - 12426,22; Cl^- - 42,64; Na^+ - 137,62; K^+ - 2,81; koncentracije NO_2^- ; NO_3^- ; PO_4^{3-} i Li^+ bile su ispod granica osetljivosti korišćenih metoda. Merenjima na mestu uzorkovanja utvrđeno je: pH - 2,87; oksidoredukcioni potencijal (ORP) - 793 mV i protok - 3489 l/min. Uzorak za određivanje koncentracije Fe^{2+} pripremljen je na terenu prema standardnoj proceduri, a merenja su vršena na spektrofotometru (Fe^{2+} - 5,90). Koncentracija Fe^{3+} se izračunava kao razlika do vrednosti koncentracije $\text{Fe}_{(\text{ukupno})}$. Sadržaj suspendovanih materija (mg/l): 40, električna provodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – 8264.

Osnovna ideja prečišćavanja otpadnih voda metodom neutralizacije pomoću krečnog mleka je konverzija rastvorljivih oblika metala u nerastvorljive. Povećanje pH omogućava da reakcije između jona metala prisutnih u otpadnoj vodi i hidroksidnih jona formiraju sledeće taloge: $\text{Al}(\text{OH})_3$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$; $\text{Co}(\text{OH})_2$; $\text{Ni}(\text{OH})_2$; $\text{Cu}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Zn}(\text{OH})_2$; $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dok se Pb taloži u formi nerastvornog sulfata (25-27).

Tabela 7. prikazuje rezultate laboratorijskih testova neutralizacije tokom prvog stepena neutralizacije na pH vrednostima: 3,5 i 4.

Tabela 7. Koncentracija elemenata posle prvog stepena neutralizacije AMD

Neutralizacija od početne pH vrednosti 2,87	Element						Neutralizator
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	2,5 % krečno mleko
	koncentracija, mg/l						potrošnja, ml/l
start	322,600	34,700	12,800	0,040	0,870	0,410	-
do pH 3,5	12,300	31,200	12,100	0,041	0,870	0,420	20,8
do pH 4	1,000	31,500	12,000	0,041	0,860	0,420	25,0

Na osnovu rezultata za početnu koncentraciju svakog elementa i koncentraciju nakon neutralizacije pri različitim pH vrednostima (Tabela 7.), izračunat je stepen izdvajanja za svaki element. Pri pH 3,5 i pH 4 stepen izdvajanja Fe imao je vrednosti 96,20 mas.%, odnosno 99,70 mas.%. Ovi podaci pokazuju da je maksimalna konverzija Fe u nerastvorni oblik nastala na pH 4. Tako je potvrđeno da se Fe izdvoja iz AMD tokom prvog stepena neutralizacije. Stepenn izdvajanja Zn iznosio je oko 6,5 % mas. pri pH vrednosti 4. Vrednosti za koncentraciju Co, Cd i

Ni pokazuju da nema promene za ispitivane pH vrednosti. Ovi elementi generalno imaju veću rastvorljivost na pH oko 4. Stoga se smatra da je uklanjanje ovih elemenata izazvano koprecipitacijom sa hidroksidima Fe. Potrošnja krečnog mleka manja je za 17 % mas. tokom neutralizacije AMD do pH 3,5 u poređenju sa potrošnjom krečnog mleka tokom neutralizacije AMD do pH 4 (Tabela 7.). Stepenn izdvajanja Cu pri različitim pH vrednostima je gotovo identičan (10,06 mas.% i 9,37 mas.% za pH 3,5 i 4, respektivno).

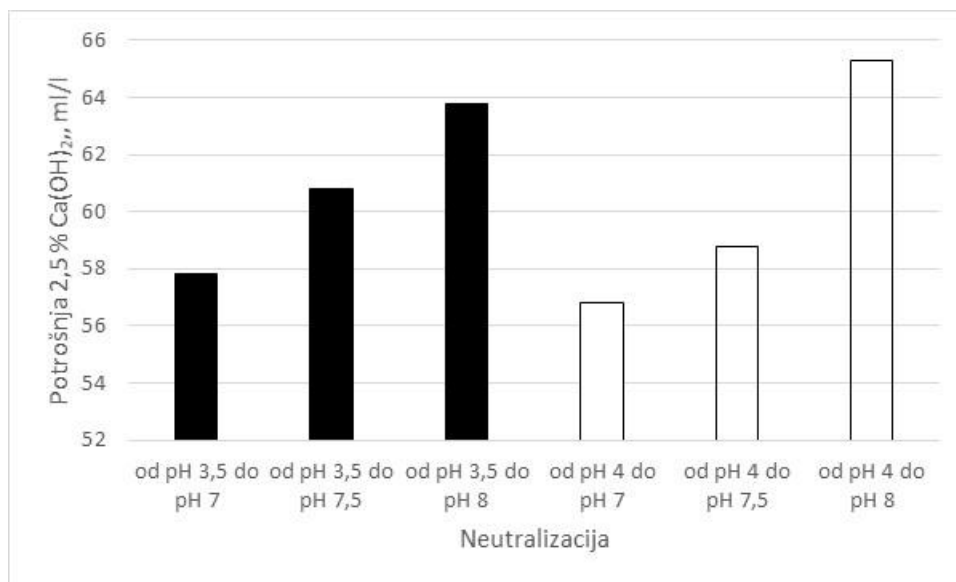
Vrednosti koncentracije pojedinih elemenata nakon drugog stepena neutralizacije date su u Tabeli 8.

Tabela 8. Koncentracija elemenata posle drugog stepena neutralizacije AMD

Neutralizacija od pH 3,5	Element						Neutralizator
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	2,5 % krečno mleko
	koncentracija, mg/l						potrošnja, ml/l
do pH 7	0,021	0,060	1,042	0,022	0,410	0,242	37,0
do pH 7,5	0,020	0,031	0,273	0,013	0,201	0,125	40,0
do pH 8	0,020	0,030	0,071	0,007	0,091	0,073	43,0
Neutralizacija od pH 4							
do pH 7	0,011	0,042	0,651	0,019	0,331	0,214	31,8
do pH 7,5	0,012	0,051	0,223	0,015	0,231	0,142	33,8
do pH 8	0,011	0,034	0,114	0,010	0,164	0,105	40,3

Koncentracija ostalih elemenata je smanjena tokom neutralizacije na različitim pH vrednostima (7, 7,5 i 8) za više od 98 %.

Slika 5. prikazuje ukupnu potrošnju kreča pri različitim vrednostima pH tokom dvostepene neutralizacije otpadnih rudničkih voda iz jezera Robule.



Slika 5. Ukupna potrošnja krečnog mleka tokom dvostepene neutralizacije voda iz Jezera Robule

Ukupna potrošnja krečnog mleka imala je minimalnu vrednost za prvi stepen neutralizacije na pH 4, a za drugi stepen neutralizacije na pH 7 (Slika 5.). Na osnovu prethodno prikazanih rezultata, koncentracije elemenata nakon dvostepene neutralizacije i vrednosti ukupne potrošnje krečnog mleka pri različitim pH vrednostima, ispitivanje na novom pilot postrojenju realizovaće se po sledećim fazama: neutralizacija do pH 4 kao prvi stepen neutralizacije i neutralizacija do pH 7 kao drugi stepen neutralizacije.

10.3.2. Dvostepena neutralizacija na pilot postrojenju

Za neutralizaciju otpadnih rudničkih voda na pilot postrojenju korišćen je realni uzorak AMD u količini od oko 1800 l. Vrednosti koncentracija karakterističnih elemenata i pH vrednost vode iz jezera Robule prikazane su u Tabeli 9. Uzorkovanje je realizovano potapajućom pumpom pri čemu je voda iz jezera Robule transportovana u dva (2) plastična kubitejnera (zapremine od po 1000 l svaki) . Ovako skladištene vode su kamionski transportovane u Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, do laboratorije u kojoj je locirano pilot postrojenje za dvostepenu neutralizaciju otpadnih voda.

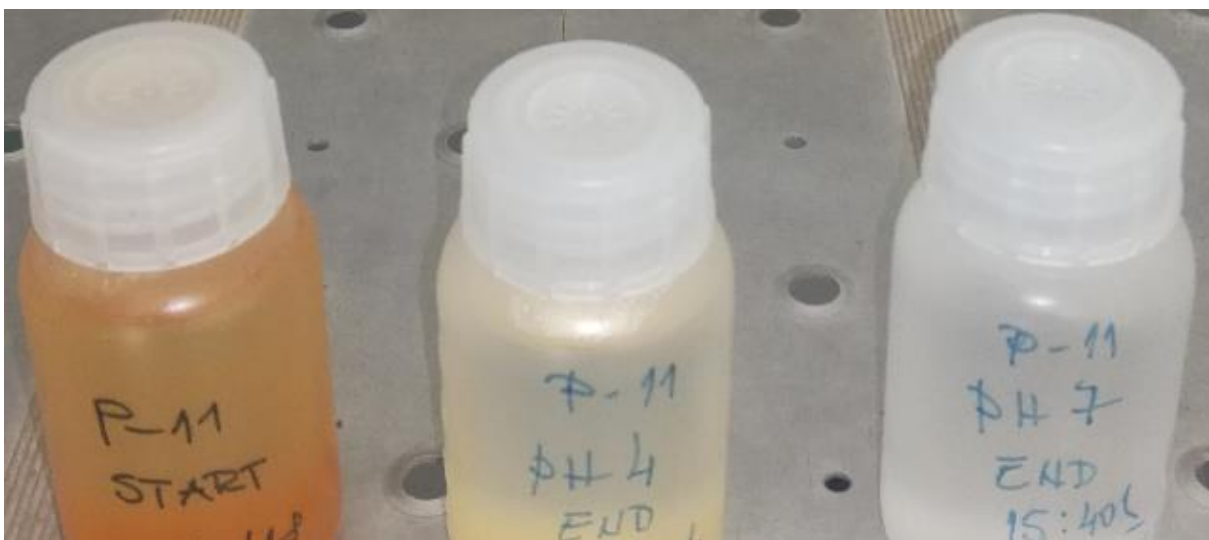
Tokom dvostepene neutralizacije mereni su i kontrolisani sledeći parametri: pH vrednost u rezervoarima za kontrolu pH, protok AMD, protok krečnog mleka i protok flokulanta. Proces neutralizacije je trajao 6 h. Uzorci voda za hemijske analize uzimani su iz zgušnjivača A, svakog

sata tokom ispitivanja. Uzorkovanje iz zgušnjivača B započelo je 3 sata nakon što je krenuo preliv neutralizovanih voda u drugom stepenu. Rezultati hemijskih analiza otpadnih voda tokom dvostepene neutralizacije prikazani su u Tabeli 9.

Tabela 9. *Koncentracija elemenata na startu i posle dvostepene neutralizacije AMD u pilot postrojenju*

Lokacija uzorkovanja (trajanje testa)	Element						
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	Ca
	koncentracija, mg/l						
Robule Jezero (0 h)	461,800	45,300	16,900	0,055	1,050	0,520	453,000
Prva faza neutralizacije, pH 4							
Zgušnjivač A (1 h)	16,000	35,900	15,000	0,050	0,920	0,440	797,000
Zgušnjivač A (2 h)	11,500	36,600	14,700	0,050	0,940	0,460	861,000
Zgušnjivač A (3 h)	12,500	38,100	15,000	0,051	0,970	0,470	772,000
Zgušnjivač A (4 h)	7,500	37,000	15,200	0,052	0,970	0,460	783,000
Zgušnjivač A (5 h)	0,700	45,400	15,600	0,054	0,990	0,490	516,000
Zgušnjivač A (6 h)	8,300	40,300	15,000	0,050	0,910	0,430	860,000
Druga faza neutralizacije, pH 7							
Zgušnjivač B (3 h)	0,078	0,380	0,430	0,011	0,110	0,047	1430,000
Zgušnjivač B (4 h)	0,016	0,200	0,380	0,011	0,120	0,053	1107,000
Zgušnjivač B (5 h)	0,017	0,200	0,360	0,011	0,130	0,064	1298,000
Zgušnjivač B (6 h)	0,044	0,310	0,450	0,012	0,130	0,079	1312,000

Dobijeni rezultati su pokazali da se koncentracija svih elemenata, osim kalcijuma, smanjila. Povećanje koncentracije Ca nastalo je usled unosa krečnog mleka koje se koristi kao neutralizator. Koncentracija Fe je smanjena tokom prvog stepena neutralizacije ispod maksimalno dozvoljene vrednosti [25]. Tokom prvog stepena neutralizacije stepen uklanjanja Fe kretao se u rasponu od 96,5 % mas. do 99,85 % mas. Koncentracija Zn i Cu je tokom prvog stepena neutralizacije smanjena maksimalno do 10 %. Na osnovu rezultata ustanovljeno je da je najveći deo Fe jona uklonjen na pH 4, a ostalih jona na pH 7. Ovi rezultati potvrđuju da metoda dvostepene neutralizacije ima veliki potencijal za efikasan tretman otpadnih rudničkih voda u cilju razdvajanja gvožđa od ostalih prisutnih elemenata. Na Slici 6. prikazani su uzorci ulaznih otpadnih voda i voda iz preliva dvostepene neutralizacije.



Slika 6. Uzorci ulaznih otpadnih voda i voda iz preliva dvostepene neutralizacije

10.3.3. Karakterizacija mulja dobijenog nakon dvostepene neutralizacije

Iz rezultata laboratorijskih ispitivanja i rada pilot postrojenja, utvrđeno je da dvostepeni proces neutralizacije na pH 4 i 7 efikasno uklanja Fe, Cu, Zn, Co, Ni i Cd iz realnih otpadnih voda. Takođe je potvrđeno da se Fe, odnosno Cu i Zn, većinski mogu izdvojiti pri pH 4, odnosno pH 7, respektivno. Tabela 10. prikazuje hemijski sastav uzorka mulja dobijenog nakon dvostepenog procesa neutralizacije. Tokom drugog stepena neutralizacije tendencija smanjenja sadržaja elemenata je: Cu > Zn > Co > Ni > Cd.

Tabela 10. Hemijski sastav mulja pri različitim stepenima neutralizacije

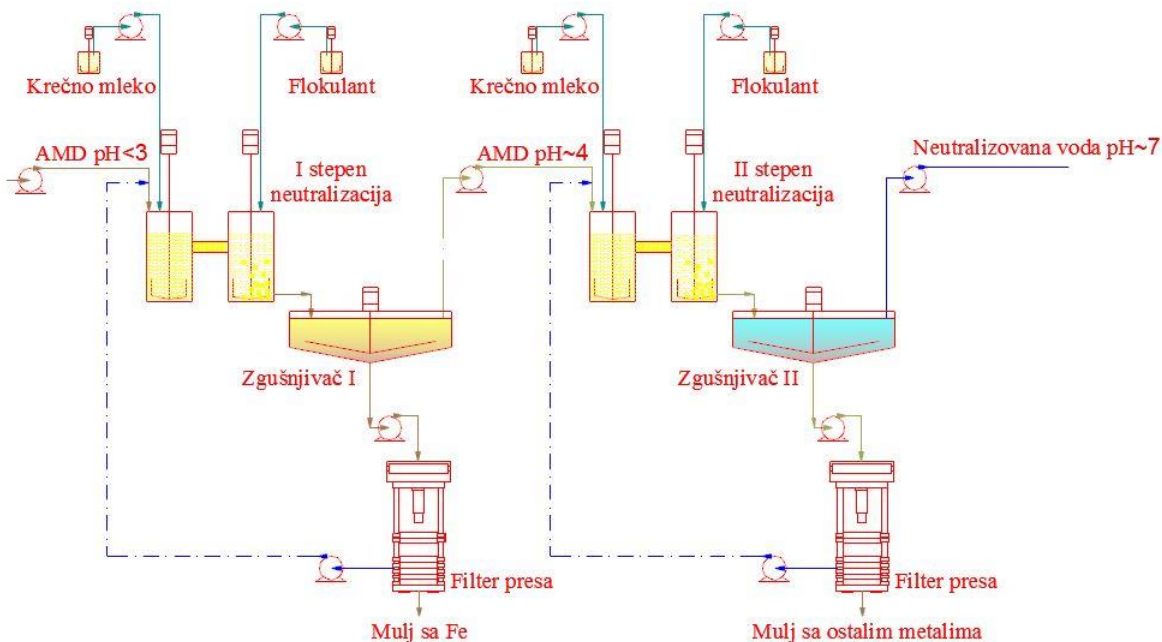
Element, mas %	Prvi stepen neutralizacije (pH inicijalno - pH 4)	Drugi stepen neutralizacije (pH 4 - pH 7)
Cu	0,15	1,24
Fe	33,52	0,47
Ca	3,07	11,77
Zn	0,013	0,5
Cd	0,000018	0,00174
Co	0,000885	0,0374
Ni	0,000651	0,0189

Dobijeni mulj na pH 4 (prvi stepen neutralizacije) sadržao je 33,5 % mas. Fe, a koncentracija Fe jona u realnom uzorku otpadnih voda se drastično smanjila na pH 4 (> 99 %) čime je potvrđeno da je došlo do selektivnog razdvajanja Fe od ostalih elemenata prisutnih u vodama koje su neutralisane. Takođe, dobijeni mulj pri pH 7 (drugi stepen neutralizacije) sadržao je i 1,24 % masenih Cu i 0,5 % masenih Zn. Na osnovu sadržaja Cu i Zn moguće je da se ovaj mulj iskoristi kao sirovina za dobijanje navedenih metala odgovarajućim hemijskim/elektrohemijskim postupcima. Muljevi dobijeni neutralizacijom AMD voda na različitim pH vrednostima (pH 4 i pH 7) prikazani su na Slici 7.



Slika 7. Neutralizacioni muljevi dobijeni iz postupka dvostepene neutralizacije

Na osnovu navedenog može se zaključiti da se na otpadnim rudničkim vodama navedenog kvaliteta može efikasno primeniti postupak dvostepene neutralizacije. Na Slici 8., dat je šematski prikaz predloženog tehnološkog postupka tretmana otpadnih rudničkih voda. Predloženim postupkom prisutni elementi na različitim pH vrednostima formiraju nerastvorna jedinjenja koja se talože u mulju čime se postiže fizičko razdvajanja gvožđa od ostalih elemenata prisutnih u vodama.



Slika 8. Tehnološka šema razvijenog postupka neutralizacije otpadnih rudničkih voda

Na osnovu dobijenih rezultata je potvrđeno da je postupak dvostepene neutralizacije efikasan za prečišćavanje predmetnih rudničkih voda u cilju dobijanja:

- efluenta koji se u odnosu na sadržaj prisutnih elemenata može ispustiti u recipijent i
- čvrste faze (neutralizacioni mulj) različitog hemijskog sastava, koja se može koristiti za dalji tretman u cilju valorizacije korisnih komponenata.

Deo rezultata prikazanih u tehničkom rešenju publikovan je u časopisu sa SCI liste [26].

10.4. Zaključak

U ovom tehničkom rešenju ispitana je mogućnost selektivnog uklanjanja jona metala iz otpadnih rudničkih voda, na laboratorijskom nivou i na novom kontinualnom pilot postrojenju. Predloženi postupak podrazumeva metodu dvostepene neutralizacije, a primenjen je na realnim otpadnim rudničkim vodama sa lokacije jezera Robule u okolini Bora. Rezultati eksperimenata dvostepene neutralizacije sa kontrolisanim pH vrednostima, realizovanih na pilot postrojenju potvrdili su efikasnost predloženog tehnološkog postupka. Takođe, potvrđeno je da je u odnosu na sadržaj metala, postignut kvalitet otpadnih voda u saglasnosti sa važećom zakonskom regulativom za ispuštanje otpadnih voda u lokalne recipijente. Pored izlaznog efluenta, izlaz iz ovog procesa predstavljaju i dve čvrste faze (neutralizacioni muljevi) različitog hemijskog sastava. Rezultati hemijskih analiza su pokazali da je mulj dobijen na pH 4 sadržao: 33,52 % Fe; 0,15 % Cu i

0,013% Zn, a na pH 7: 0,47 % Fe; 1,24 % Cu i 0,5 % Zn, na osnovu čega se može zaključiti da se postupak dvostepene neutralizacije (kontrolom pH vrednosti) može primeniti za selektivno razdvajanje metala. Pored ekološkog efekta, postupak može da ostvari i ekonomski efekat valorizacijom prisutnih metala što predstavlja predmet daljih istraživanja.

REFERENCE

- [1] B. Jovanovic, (2009) Beginning of the Metal Age in the Central Balkans according to the results of the Archeometallurgy. *Journal of Mining and Metallurgy*, 45 (2) B, 143-148
- [2] Johnson D.B., Hallberg K.B. (2005) Acid mine drainage remediation options: a review, *Science of the Total Environment* 338: 3-14
- [3] Dimitrijević M.D. (2012) Kisele rudničke vode, *Bakar* 37 (1): 33-44
- [4] G. Naidu et al. / *Environmental Pollution* 247 (2019) 1110-1124
- [5] <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n186.38436>
- [6] https://doi.org/10.2473/shigentosozai1953.100.1160_1031
- [7] Stevanović Z.; Obradović Lj.; Marković R.; Jonović R.; Avramović Lj.; Bugarin M.; Stevanovic J. (2013). Mine Waste Water Management in the Bor Municipality in Order to Protect the Bor River Water, *Waste Water - Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*, Fernando Sebastian García Einschlag and Luciano Carlos, IntechOpen, DOI: 10.5772/51902. <https://www.intechopen.com/books/waste-water-treatment-technologies-and-recent-analytical-developments/mine-waste-water-management-in-the-bor-municipality-in-order-to-protect-the-bor-river-water>
- [8] Iakovleva, E.; Mäkilä, E.; Salonen, J.; Sitarz, M.; Wang, S.; Sillanpää, M. (2015). Acid mine drainage (AMD) treatment: Neutralization and toxic elements removal with unmodified and modified limestone. *Ecol Eng*, 81, 30-40.
- [9] Charbonier, B. (2004). Management of mining, quarrying, and ore-processing waste in the European Union 2001. <https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mining/0204finalreportbrgm.pdf>

- [10]Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *J Clean Prod* 2004, 12, 639-662.
- [11]ICME and UNEP, (1998). Case Studies on Tailings Management. International Council on Metals and the Environment and United Nations Environment Programme 1998, p.58.
http://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/26442/Tailings_management.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12]Akci, A. Koldas, S. (2004). Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *J Clean Prod* 2004, 14, 1139-1145.
- [13]Dimitrijević M. D.; Antonijević M. M.; Dimitrijević V.Lj. (2002). Oxidation of pyrite: Consequences and significance, *Hem Ind* 2002, 56, 299-316.
- [14]Abratis, P.K.; Patrick, R.A.D.; Vaughan, D.J. (2004). Variations in the compositional, textural and electrical properties of natural pyrite: a review. *Int J Miner Process* 2004,74, 41-59.
- [15]Gorgievski, M.; Božić, D.; Stanković, V.; Bogdanović, G. (2009). Copper electrowinning from acid mine drainage: A case study from the closed mine “Cerovo”. *J Hazard Mater* 2009, 170, 716-721.
- [16]Hilson, G.; Murck, B. (2001). Progress toward pollution prevention and waste minimization in the North American gold mining industry. *J Clean Prod* 2001, 9, 405-415.
- [17]Akinwekomi, V.; Kefeni, K.K.; Maree, J.P.; Msagati, T.A.M. (2016). Integrated acid mine drainage treatment using $Mg(OH)_2$ or $Mg(HCO_3)_2$ and $Ca(OH)_2$: Implications for separate removal of metals and sulphate. *Int J Miner Process* 2016, 155, 83-90.
- [18]Seo, E.Y.; Cheong, Y.W.; Yim, G.J.; Min, K.W.; Geroni, J.N. (2017). Recovery of Fe, Al and Mn in acid coal mine drainage by sequential selective precipitation with control of pH. *Catena* 2017, 148, 11–16.
- [19]Bailey, S.; Olin, T.J.; Bricka, R.M.; Adrian, D.D. (1999). A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Res* 1999, 33, 2469-2479.

- [20]H.C. van Zyl.; Maree, J.P.; A.M. van Niekerk.; G.J. van Tonder.; Naidoo, C. (2001).
Collection, treatment and re-use of mine water in the Olifants River Catchment. *J S Afr I Min Metall* 2001, 41-46.
- [21]Saha, S.; Sinha, A. (2018). A review on treatment of acid mine drainage with waste materials: A novel approach. *Global NEST J* 2018, 20, 512-528.
- [22]R. Ayeche, O. Hamdaoui, (2012). Valorization of carbide lime waste, a by-product of acetylene manufacture, in wastewater treatment, Desalin. *Water Treat.* 2012, 50, 87–94.
- [23]Ayeche, R. (2012). Treatment by coagulation of dairy wastewater with the residual lime of National Algerian Industrial Gases Company (NIGC-Annaba). *Energy Procedia* 2012, 18, 147-156.
- [24]Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. Glasnik RS", broj 50/2012).
- [25]Pravilnik o kvalitetu i sanitarno-tehničkim uslovima za ispuštanje otpadnih voda, načinu i postupku ispitivanja kvaliteta otpadnih voda i sadržaju izveštaja o utvrđenom kvalitetu otpadnih voda, na osnovu člana 79 stav 2 i člana 84 stav 3 Zakona o vodama („Službeni list RCG“, broj 27/07 i „Službeni list CG“, br. 32/11, 48/15, 52/16 i 84/18.
- [26]Sajjad Jannesar Malakooti, Majid Shahhosseini, Faramarz Doulati Ardejani, Saied Ziaeddin Shafaei Tonkaboni, Mohammad Noaparast, *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-015-4355-1, published on-line: 10 April 2015.
- [27]D.B. Johnson, K.B. Hallberg / *Science of the Total Environment* 338 (2005) 3–14
- [28]H .L. Yadav, A. Jamal et. al. / *International Journal of New Technologies in Science and Engineering* Vol. 2, Issue 3, Sep 2015, ISSN 2349-0780
- [29]Markovic Radmila, Bessho Masahiko, Masuda Nobuyuki, Stevanovic Zoran, Bozic Dragana, Apostolovski-Trujic Tatjana, Gardic Vojka, *New Approach of Metals Removal from Acid Mine Drainage, Appl. Sci.* 2020, 10(17), 5925; (ISSN: 2076-3417),
<https://doi.org/10.3390/app10175925>, (IF:2.474, 2019, oblast: Materials Science, Multidisciplinary (161/314), Publisher: Open access, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5925>

11) Tehnička dokumentacija i lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno;

Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno

1. Dr Zoran Stevanović, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
2. Dr Radmila Marković, dipl.ing.teh., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
3. Dr Dragana Božić, dipl.ing.met., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
4. Vojka Gardić, dipl.ing.teh., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. Dr Zoran Stevanović, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. dr Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Zoran Stevanović, mr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić: Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2013. NV IRM-a broj XVII/2.2. od 27.12.2013. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2013p37001.pdf> (M83).
2. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdenović: 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. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2014p37001.pdf> (M83).
3. Lj. Obradović, **Z. Stevanović**, R. Marković, R. Jonović, LJ. Avramović: *Laboratorijsko postrojenje za kontinualno perkolaciono luženje u kolonama*. Tehničko i razvojno rešenje – novo laboratorijsko postrojenje. Projekat MNTR br. 21008, IRM Bor 573/24.04.2009, (M83).
4. M. Bugarin, R. Marković, **Z. Stevanović**, LJ. Obradović, R. Jonović, LJ. Avramović: *Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo*. Tehničko i razvojno rešenje – novo laboratorijsko postrojenje, Projekat MNTR br. TR 21008, IRM Bor 471/13.04.2010. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2010p37001.pdf> (M83).
5. R. Rajković, M. Bugarin, **mr Z. Stevanović**, LJ. Obradović: *Tehnologija čišćenja taložnog materijala iz filter taložnika postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Ogranka „Prerada“ - Vreoci*, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – 760/15.06.2010, (M84).
6. dr Mile Bugarin, Ljubiša Obradović, mr Radmilo Rajković, Vladan Marinković, **mr Zoran Stevanović**: *Trodimenzijski model Oštrejskog planira u funkciji analize uticaja kiselih otpadnih voda na životnu sredinu*, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – X/7.1, 09.10.2012. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr4y2012p37001.pdf> (M84).

7. Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, mr Radmila Marković, **mr Zoran Stevanović**, dr Milica Gvozdenović, dr Jasmina Stevanović, Ljubiša Obradović: *Razaranje sulfida iz vanbilansnih materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra*, Tehničko rešenje – nova tehnologija, IRM Bor – X/7.3, 09.10.2012. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2012p37001.pdf> (M84).
8. 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. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2010p37001.pdf> (M85).
9. 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. <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr3y2010p37001.pdf> (M85).

2. Dr Radmila Marković, dipl.ing.teh., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. S. Dragulović, V. Trujić, S. Dimitrijević, Z. Ljubomirović, B. Trumić, **R. Marković**, D. Božić, M. Gorgievski: Dobijanje rodijuma visoke čistoće (min. 99,95% Rh) iz sekundarnih sirovina metodom solventne ekstrakcije, Projekat MNTR br. TR 34024, 2011 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2011p34024.pdf> (M82).
2. Silvana Dimitrijević, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Aleksandra Ivanović, Vojka Gardić, **Radmila Marković**, Biserka Trumić: Elektrolitička rafinacija bakarnih anoda sa nestandardnim oblikom elektroda, br. T3/2012, Projekat MPN br. TR 34024, 2012 - Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr3y2012p34024.pdf>. (M82).
3. **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, br. T2/2013, Projekat MPN br. TR 37001, 2013 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2013p37001.pdf>. (M82).
4. Silvana Dimitrijević, Mile Bugarin, Aleksandra Ivanović, **Radmila Marković**, Ljiljana Avramović, Milan Jovanović, Stevan Dimitrijević: Reciklaža dijamanta iz dijamantskih krunica bušaćih garnitura, Projekat MNTR br. TR-34024 i TR-37001, 2019. NV IRM-a broj XV/6.2. od 16.01.2019., (M82).
5. M. Petrov, **R. Marković**, LJ. Mladenović, M. Vukadinović: Valorizacija mineralnog otpada iz borske flotacijske jalovine, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 – Novi tehnološki postupak, (M83).
6. M. Bugarin, **R. Marković**, Z. Stevanović, LJ. Obradović, R. Jonović, LJ. Avramović: Novo laboratorijsko postrojenje za integralni tretman rudničkih voda i kopovske raskrivke rudnika Cerovo, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 - Novo laboratorijsko postrojenje, (M83).
7. **R. Marković**, V. Trujić, S. Dimitrijević, S. Dragulović, O. Dimitrijević, Z. Ilić, A. Ivanović: Novo poluindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakarnih anoda nestandardnog

hemijskog sastava – Linija I, Projekat MNTR br. TR 34024, 2011 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2011p34024.pdf>. (M83).

8. S. Dimitrijević, V. Trujić, S. Dragulović, **R. Marković**, V. Conić, B. Madić, Z. Stanojević-Šimšić: Reciklaža bakra i srebra iz posrebranih mesinganih kućišta kombinacijom pirometalurških, elektrometalurških i hemijskih postupaka, br. T1/2012, Projekat MPN br. TR 34024, 2012 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2012p34024.pdf>. (M83).
9. S. Dimitrijević, **R. Marković**, M. Bugarin, J. Stevanović, B. Jugović, Lj. Avramović, S. Dragulović: Uvećano laboratorijsko postrojenje za elektrohemijska ispitivanja, T2/2012, Projekat MPN br. TR 34024 i TR 37001, 2012 – Novo eksperimentalno postrojenje, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2012p37001.pdf>. (M83).
10. S. Dimitrijević, V. Trujić, **R. Marković**, S. Dragulović, O. Dimitrijević, S. Alagić, B. Trumić: Polindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakra, mesinga i srebra, br. T1/2013, Projekat MNP br. TR34024, 2013- Novo poluindustrijsko postrojenje, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2013p34024.pdf>. (M83).
11. Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, **Radmila Marković**, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, Vojka Gardić: Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, br. T1/2013, Projekat MNP br. TR37001, 2013 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2013p37001.pdf>. (M83).
12. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, **dr Radmila Marković**, Ljubiša Obradović, Vojka Gardić, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdenović: 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, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2014p37001.pdf>. (M83).
13. Dr Vesna Conić, Dr Silvana Dimitrijević, Dr Dragan Milanović, **dr Radmila Marković**, Suzana Dragulović, Sanja Bugarinović, Ivana Jovanović, dipl.inž.rud.: IZDVAJANJE SELENA IZ PROCESNOG ELEKTROLITA ZA DOBIJANJE KATODNOG BAKRA, br.

T1/2015, Projekat MNP br. TR34004, 2015 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2015p34004.pdf>. (M83).

14. Suzana Dragulović, dr.Silvana Dimitrijević, dr Biserka Trumić, **dr Radmila Marković**, Dragana Božić, dr Milan Gorgievski, dr Slađana Alagić: Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog cijanida, T1/2015, Projekat MPN br. TR 34024, 2015., <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2015p34024.pdf>. (M83).
15. M.Petrov, **R.Marković**, LJ.Mladenović, S.Mihajlović, V.Jovanović, M.Vukadinović, B.Ivošević: Modifikovanje površine nemetalične mineralne komponente BFJ za proizvodnju hidrauličnog vezivnog sredstva u građevinarstvu, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 – Bitno poboljšán tehnološki postupak. (M84).
16. M.Petrov, **R.Marković**, LJ.Mladenović, B.Ivošević: Tehnološki postupak prerade mehanohemijski aktiviranog pirita borske flotacijske jalovine, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 - Bitno poboljšán tehnološki postupak. (M84).
17. R. Jonović, Lj. Avramović, **R. Marković**, Z. Stevanović, M.Gvozdenović, J Stevanović, Lj. Obradović: Razaranje sulfida iz vanbilansnih materijala dobijenih u procesu prerade rude bakra, Projekat MNTR br. TR 37001, 2013 – Bitno poboljšana tehnologija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2012p37001.pdf>. (M84).
18. 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, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 – Novi softver. (M85).
19. R.Stevanović, S.Čupić, M.Bugarin, **R.Marković**, LJ.Avramović, R.Jonović, LJ.Obradović, Z.Stevanović: Novi softver za simulaciju ekstrakcije bakra iz kiselih sulfatnih rastvora hidrohioksimima, Projekat MNTR br. TR 21008, 2010 – Novi softver. (M84).

3. Dr Dragana Božić, dipl.ing.met., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. S. Dragulović, V. Trujić, S. Dimitrijević, Z. Ljubomirović, B. Trumić, R. Marković, **D. Božić**, M. Gorgievski: Dobijanje rodijuma visoke čistoće (min. 99,95% Rh) iz sekundarnih sirovina metodom solventne ekstrakcije, Projekat MNTR br. TR 34024, 2011 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2011p34024.pdf> **(M82)**.
2. Z. Stanojević Šimšić, S. Dragulović, V. Conić, M. Bugarin, A. Kostov, D. Božić, D. Simonović, Dobijanje kalijum pirofosfata ($K_4P_2O_7$) u kristalnom obliku, tehničko rešenje, Projekat TR34004, (TR1 2019). <https://irmbor.co.rs/o-nama/tehnicka-resenja-patenti/> **(M82)**.
3. Suzana Dragulović, dr.Silvana Dimitrijević, dr Biserka Trumić, dr Radmila Marković, **Dragana Božić**, dr Milan Gorgievski, dr Slađana Alagić: Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog cijanida, T1/2015, Projekat MPN br. TR 34024, 2015., <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2015p34024.pdf>. **(M83)**.
4. Dragana Božić, Suzana Dragulović, Vesna Conić, Mile Bugarin, Ljiljana Avramović, Zdenka Stanojević Šimšić, Danijela Simonović, Dobijanje bakar (II)-hlorida ($CuCl_2$) u kristalnom obliku (2019). **(M85)**.

4. Vojka Gardić, dipl.ing.teh., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. Silvana Dimitrijević, Suzana Dragulović, Zdenka Stanojević Šimšić, Aleksandra Ivanović, **Vojka Gardić**, Radmila Marković, Biserka Trumić: Elektrolitička rafinacija bakarnih anoda sa nestandardnim oblikom elektroda, br. T3/2012, Projekat MPN br. TR 34024, 2012 - Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr3y2012p34024.pdf>. (M82).
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, br. T2/2013, Projekat MPN br. TR 37001, 2013 – Nova proizvodna linija, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2013p37001.pdf>. (M82).
3. Mile Bugarin, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, Zoran Stevanović, Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Gordana Slavković, **Vojka Gardić**: Integralni tretman otpadnih voda i rudarskog otpada iz RTB-a Bor, br. T1/2013, Projekat MNP br. TR37001, 2013 – Novi tehnološki postupak, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr1y2013p37001.pdf>. (M83).
4. dr Mile Bugarin, dr Zoran Stevanović, dr Radmila Marković, Ljubiša Obradović, **Vojka Gardić**, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović, dr Jasmina Stevanović, dr Milica Gvozdenović: 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, <https://irmbor.co.rs/wp-content/uploads/2017/04/tr2y2014p37001.pdf>. (M83).

SPISAK PRILOGA:

1. Contract Gradac Design
2. Račun Nik Com doo
3. Potvrda Nik Com
4. Knjigovodstvena analitička kartica
5. Izvod banke



Broj 101/2-389-1205/1
Podgorica, 28.05. 2018 god.

MONTENEGRO

MINISTRY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
AND TOURISM

Environmental Protection Agency

**CONTRACT FOR CONSULTANT'S SERVICES
Lump-Sum**

**Project Name: Montenegro Industrial Waste Management and Clean-up
Project (IWMCP)**

Loan No. 8428

**Contract No MNE-IWMCP-8428-QCBS-CS-17-1.1.1/1
Preparation of Technical Design for the Remediation of The Mine tailings disposal
facility Gradac-Pljevlja**

between

**Ministry of Sustainable Development and Tourism/Environmental Protection Agency
(hereinafter called the "Client")**

and

**Joint Venture "NIK COM-MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR"
(hereinafter called the "Consultant")**

Dated: 28 May, 2018

Contract

LUMP-SUM

This CONTRACT (hereinafter called the "Contract") is made the 28 day of the month of May, 2018, between, on the one hand, **Ministry of Sustainable Development and Tourism/Environmental Protection Agency**, address: *IV Proleterske 19, 81000 Podgorica, Montenegro* (hereinafter called the "Client") and, on the other hand, a **Joint Venture "NIK COM-MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR"**, address: *Mihaila Lalića 16, 81000 Podgorica, Montenegro*, consisting of the following entities, each member of which will be jointly and severally liable to the Client for all the Consultant's obligations under this Contract, namely, **"NIK COM" D.O.O.** and **"MINING AND METALLURGY INSTITUTE BOR"** (hereinafter called the "Consultant").

WHEREAS

- (a) the Client has requested the Consultant to provide certain consulting services as defined in this Contract (hereinafter called the "Services");
- (b) the Consultant, having represented to the Client that it has the required professional skills, expertise and technical resources, has agreed to provide the Services on the terms and conditions set forth in this Contract;
- (c) the Client has received a loan from the *International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)* toward the cost of the Services and intends to apply a portion of the proceeds of this loan to eligible payments under this Contract, it being understood that (i) payments by the Bank will be made only at the request of the Client and upon approval by the Bank; (ii) such payments will be subject, in all respects, to the terms and conditions of the loan agreement, including prohibitions of withdrawal from the loan account for the purpose of any payment to persons or entities, or for any import of goods, if such payment or import, to the knowledge of the Bank, is prohibited by the decision of the United Nations Security Council taken under Chapter VII of the Charter of the United Nations; and (iii) no party other than the Client shall derive any rights from the loan agreement or have any claim to the loan proceeds;

NOW THEREFORE the parties hereto hereby agree as follows:

- 1. The following documents attached hereto shall be deemed to form an integral part of this Contract:
 - (a) The General Conditions of Contract (including Attachment 1 "Bank Policy – Corrupt and Fraudulent Practices);
 - (b) The Special Conditions of Contract;

(c) Appendices:

- Appendix A: Terms of Reference
- Appendix B: Key Experts
- Appendix C: Breakdown of Contract Price
- Appendix D: Form of Advance Payments Guarantee

In the event of any inconsistency between the documents, the following order of precedence shall prevail: the Special Conditions of Contract; the General Conditions of Contract, including Attachment 1; Appendix A; Appendix B; Appendix C; Appendix D. Any reference to this Contract shall include, where the context permits, a reference to its Appendices.

2. The mutual rights and obligations of the Client and the Consultant shall be as set forth in the Contract, in particular:
- (a) the Consultant shall carry out the Services in accordance with the provisions of the Contract; and
 - (b) the Client shall make payments to the Consultant in accordance with the provisions of the Contract.

IN WITNESS WHEREOF, the Parties hereto have caused this Contract to be signed in their respective names as of the day and year first above written.

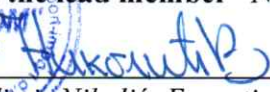
**For and on behalf of Ministry of Sustainable Development and Tourism/
Environmental Protection Agency**



Mr. Nikola Medenica, Director of Environmental Protection Agency

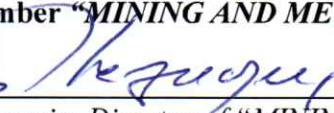
**For and on behalf of each of the members of the Joint Venture "NIK COM-MINING
AND METALLURGY INSTITUTE BOR"**

Name of the lead member "NIK COM" D.O.O.



Mr. Vladimir Nikolić, Executive director of "NIK COM" D.O.O.

Name of member "MINING AND METALURGY INSTITUTE BOR"



Ph.D. Mile Bugarin, Director of "MINING AND METALURGY INSTITUTE BOR"



**INSTITUT ZA RUDARSTVO
I METALURGIJU BOR**

19210 BOR, ul. Zeleni bulevar 35

PIB 100627146

PE PDV - 122193906

Tel.+38130454101 Faks:+38130435175

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

KUPAC : 401337

Nik Com doo

**ul. Milana Papića bb
Nikšić**

Crna Gora

RAČUN br.

95210100 - 19

Mesto izdavanja : BOR

Datum izdavanja : 18.02.2019.

Datum prometa : 18.02.2019.

Valuta : 05.03.2019.

Ugovor br.101/2-389-1205/1

Šifra projekta	Naziv	Poreska osnovica	stopa PDV	PDV	Vrednost EUR
195210	Izveštaj o izvršenim laboratorijskim (hemijskim i fizičko - mehaničkim) ispitivanjima tla i vode sa lokaliteta Gradac - Pljevlja				27.986,00
UKUPNA VREDNOST u EUR		0,00		0,00	27.986,00

Napomena o poreskom oslobodjenju:

Nije oporezivo na osnovu člana 12. st.4. Zakona o PDV-u.

Fakturisao

T. Mihajlović
Tanja Mihajlović



Rukovodilac

Vesna Florić
Vesna Florić, dipl.ecc.

D.O.O. "NIK COM"

Broj 03/0208NIKŠIĆ, 02.08. 20 19 gPodgorica, 02.08.2019. godine

Predmet: Dokaz o verifikaciji Tehničkog rešenja pod nazivom:

RAZVOJ PROCESA DVOSTEPENE NEUTRALIZACIJE KISELIH RUDNIČKIH VODA NA NOVOM PILOT POSTROJENJU

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor je za potrebe firme Nik Com d.o.o. iz Podgorice u Crnoj Gori izradio Tehničko rešenje pod nazivom:

RAZVOJ PROCESA DVOSTEPENE NEUTRALIZACIJE KISELIH RUDNIČKIH VODA NA NOVOM PILOT POSTROJENJU

Ustanova / Autori rešenja:

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor / dr Zoran Stevanović, dipl.ing.rud., dr Radmila Marković, dipl.ing.tehn., dr Dragana Božić, dipl.ing.met., Vojka Gardić, dipl.ing.tehn., Nenad Magdalinović, dipl.ing.maš.,

Građevinski Fakultet, Univerzitet Crne Gore u Podgorici / dr Ivana Čipranić, dipl.ing.građ.,
Center for Research and Education on Mineral and Energy Resources, Akita University, Akita, Japan / Prof. dr Masuda Nobuyuki.

POTVRDA O IZVRŠENOJ USLUZI

(Nik Com d.o.o. – Podgorica)

Vlada Crne Gore je dobila kredit (zajam br. IBRD 84280 ME) od Svjetske banke za realizaciju projekta „Industrial Waste Management and Clean-up Project (IWMCP)“ koji se odnosi na 5 odabranih lokacija i to: odlagalište pepela TE Pljevlja – Maljevac; napušteno jalovište Gradac rudnika Šuplja Stijena; bazeni „crvenog mulja“ KAP Podgorica; deponija čvrstog otpada KAP Podgorica i bivše brodogradilište Bijela.

Osnovna komponenta i cilj realizacije ovog Projekta je zaštita životne sredine i remedijacija degradiranih površina. Jedna od posmatranih lokacija je i napušteno jalovište Gradac rudnika

olova i cinka Šuplja Stijena. Imajući u vidu Ugovor „Preparation of Technical Design for the Remediation of the Mine Tailings Disposal Facility Gradac – Pljevlja“ koji je Nik Com d.o.o. sklopio sa Agencijom za Zaštitu Prirode i Životne Sredine 2018. godine u kome kao podizvođač nastupa i Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Nik Com je od Instituta zatražio da u okviru hemijskih i fizičko mehaničkih ispitivanja tla i voda sa lokaliteta Gradac – Pljevlja izvrši i ispitivanja mogućnosti neutralizacije otpadnih rudničkih voda. S obzirom da na lokaciji Gradca nije bilo moguće, a ni ekonomski opravdano transportovati i montirati pilot postrojenje kao i da su za rad postrojenja potrebne veće količine otpadnih rudničkih voda, Nik Com je predložio da se ispitivanja mogućnosti neutralizacije vrše na vodama sličnih hemijskih karakteristika koje se mogu naći u blizini Bora. Pored toga, Nik Com je tražio da se ispitivanja neutralizacije voda vrše prema limitiranim vrednostima na sadržaj metala u skladu sa domaćom i evropskom regulativom. Ovim se potvrđuje da su u okviru Tehničkog rešenja izvršena detaljna laboratorijska i istraživanja na novom pilot postrojenju dvostepene neutralizacije i predložen tehnološki postupak za prečišćavanje otpadnih rudničkih voda. Rezultati eksperimenta dvostepene neutralizacije sa kontrolnim pH vrednostima i selektivnim izdvajanjem Fe od ostalih metala u posebnim muljevima potvrdili su efikasnost metode. Takođe, potvrđeno je da je kvalitet otpadnih voda drastično poboljšan. Pored toga, dobijeni mulj na pH 7 sadržao je 1,2 % bakra i 0,95 % cinka na osnovu čega je pretpostaljeno da se pH kontrolisani postupak dvostepene neutralizacije može primeniti ne samo za prečišćavanje kiselih rudničkih voda već i za dobijanje muljeva različitog hemijskog sastava u cilju valorizacije prisutnih korisnih komponenata. Na osnovu dobijenih rezultata Nik Com je dalje koncipirao tehničko rešenje remedijacije jalovišta Gradac.

*Nik Com D.O.O.***Izvršni direktor:****Vladimir Nikolić**

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU
PROBNA DEVIZNA I DINARSKA ANALITIČKA KARTICA
ZA 2019 GODINU

FKT2011_DD
02.04.2021. - 10:18:15

NALOG	DATUM	BROJ RAČUNA	DATUM		OPIS	DUGUJE DEV / DIN	POTRAŽUJE DEV / DIN	VAL
			DPO	VAL				
Konto 20520 - KUPCI ZA PROIZVODE I USLUGE U INOSTRANSTVU								
Šifra knjiženja		0401337	NIK COM					
012/99001	01.01.19	POČETNO STANJE	01.01.19	01.01.19	POČETNO STANJE	195.146,00		EUR
						23.065.203,42		
820/99006-	16.01.19	93150817-18	16.01.19	16.01.19	NIK KOM		167.160,00	EUR
							19.791.326,10	
820/99016-	27.02.19	95210100-19	27.02.19	27.02.19	NIK KOM		27.986,00	EUR
							3.307.715,71	
007/99002	28.02.19	95210676-18	31.10.18	15.11.18	NIK COM-UG.101/2-389-	-27.986,00		EUR
						-3.311.342,70		
007/99002	28.02.19	95210100-19	18.02.19	05.03.19	NIK KOM-UG.101/2-389-	27.986,00		EUR
						3.304.195,08		
012/99016	31.03.19	007/02/19,007/10/18	31.03.19	31.03.19	95210676-18 NIK KOM			EUR
						3.548,62		
012/99016	31.03.19	007/02+820/16	31.03.19	31.03.19	95210100-19 NIK KOM			EUR
						3.520,63		
012/99016	31.03.19	820/06/19,007/12/18	31.03.19	31.03.19	93150817-18 NIK KOM			EUR
						33.916,76		
NIK COM						195.146,00	195.146,00	EUR
						23.099.041,81	23.099.041,81	
20520 - KUPCI ZA PROIZVODE I USLUGE U INOSTRANSTVU						195.146,00	195.146,00	EUR
						23.099.041,81	23.099.041,81	

Izvod deviznog računa br. 23/2019 / FX Account Statement

Za datum: 27.02.2019 / Date

Partija: 00-508-0000503.2 / Account

820/ 18 - 23

EUR INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU

ZELENI BULEVAR 3519210 Bor

MB:07130279

IBAN:RS35160005080000503252

R. br. No	Transakcija Transaction	Iznos / duguje Debit	Iznos/potražuje Credit	Din.protivvredn Counterv. in RSD	Datum knjiženja Booking date
					Datum valute Value date
					Datum prijema Entry date

EUR/ Konto: / Subaccount: 5002000200 - Devizni računi javnih preduzeća

Početno stanje 573,730.25
/Previous balance:

1	/ME25530005010009486702 NIK COM DOO NIKSIC UL. MILANA PAPICA	0.00	27,986.00	3,307,715.71	2019.02.27 2019.02.27 2019.02.27
Nalog br. 0743050061794 Predmet br. 0743-3844048/MS NBS: Slog 60 Šifra osnova : 303 Kontrolnik :02/19 Opis trans:SIF- 101 INVOICE NO.95210100-19		0.00	27,986.00		

Novo stanje: 601,716.25
/New balance:

1	NAZIV BANKE BANCA INTESA AD, BEOGRAD MILENTIJA POPOVIĆA 7B ----- Telefon	07759231 Stefan Zdravković Referent	2	KORISNIK NAPLATE EUR INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU ZELENI BULEVAR 3519210 Bor	60 1 07130279	
3	Nalog broj: 0743050061794		Br reference/predmeta: 0743-3844048/MS			
4	Na zahtev NLB BANKA A.D. BEOGRAD, NOVI BEOGRAD, REPUBLIKA SRBIJA			688	CONARS22	
5	Po nalogu: /ME25530005010009486702 NIK COM DOO NIKSIC UL. MILANA PAPICA				499	
6	Preko NARODNA BANKA SRBIJE				NBSRRSBG	
7	Svrha naplate: SIF-101 INVOICE NO.95210100-19					
8	Uplaćujemo vam:	Oznaka valute: EUR	Iznos u valuti: 27,986.00	Priliv smo proknjižili sa valutom:	27.02.2019	
9	Po nalogu banke odbijeno:				0.00	
10	Na teret NARODNA BANKA SRBIJE BEOGRAD-STARI GRAD		0601001	0000	978	00-521-0000088.1
	U korist EUR INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU Bor		5002000200	0000	978	00-508-0000503.2
	Na teret					
	U korist					
11	Protivvrednost u dinarima obračunata po srednjem i zvaničnom kursu BEOGRAD, 27.02.2019 Mesto i datum			DIN	3,307,715.71	
Ovaj nalog važi bez pečata i potpisa						
PODACI KORISNIKA NAPLATE						
12	PODACI ZA STATISTIKU (opis svih transakcija koje su povezane sa ovom naplatom):					
	Redni broj	Šifra osnova	Br.ug. iz kontrol.	God.ug. iz kontrol.	Opis transakcije	Iznos bruto potraživanja (+) Iznos smanjenja naplate (-)
	1	303	02	2019	istraživanje i razvoj	27,986.00
	Neto iznos u valuti naplate					27,986.00
13	Registarski broj kredita		Godina kredita		Posebna oznaka	0
	Napomena: Priliv iz inostranstva (kliring)					