



*Матичном научном одбору за уређење,
заштиту и коришћење вода, земљишта и
ваздуха*

*Министарство просвете, науке и
технолошког развоја
Београд
Његошева бр.12.
11000 Београд*

Датум: 04.06.2021.
Date:

Наш знак:

P041.501.21.06-1

Ваш

Our sign:

знак:

Your

sign:

Предмет: Достава документације за техничко решење

На основу Одлуке Научног већа Института за рударство и металургију Бор о прихватању техничког решења бр. IV/3 од 03.06.2021. године, као и мишљења рецензента и корисника, достављамо Вам комплетну документацију за техничко решење под називом: „Развој процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу“, аутори: Зоран Стевановић, Радмила Марковић, Драгана Божић, Војка Гардић, Ненад Магдалиновић, Ивана Ћипранић и Masuda Nobuyuki.

Техничко решење упућујемо Матичном научном одбору за уређење, заштиту и коришћење вода, земљишта и ваздуха.

Прилог: Комплетна документација за техничко решење



Председник Научног већа

Др Ана Костов, научни саветник

	<p style="text-align: center;">NAZIV ZAPISA:</p> <p style="text-align: center;">Pokretanje postupka za validaciju i verifikaciju tehničkog rešenja</p>	<p style="text-align: center;">MATIČNI DOKUMENT/ BROJ PRILOGA:</p>	<p style="text-align: center;">Oznaka:</p> <p style="text-align: center;">P031.201-21.002</p>
---	---	--	--

Datum: 05.04.2021.

NAUČNOM VEĆU INSTITUTA ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

Prema PRAVILNIKU o sticanju istraživačkih i naučnih zvanja, "Službeni glasnik RS", broj 159 od 30. decembra 2020., obraćam se Naučnom veću Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa molbom da pokrene postupak za validaciju i verifikaciju tehničkog rešenja M-81 pod nazivom:

TEHNIČKO REŠENJE

Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou
(M81)

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.

Predloženo tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta:

„RESEARCH ON THE INTEGRATION SYSTEM OF SPATIAL ENVIRONMENT ANALYSES AND ADVANCED METAL RECOVERY TO ENSURE SUSTAINABLE RESOURCE DEVELOPMENT“ (E3) koji je realizovan za Resorna Ministarstva ispred Republike Srbije: Ministarstvo rudarstva i energetike (MRE) i Ministarstvo zaštite životne sredine (MZŽS) u saradnji Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa Akita Univerzitetom – Centar za Geo-ekološke nauke (CGES); Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetskih resursa (ICREMER) i Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) i Tehničkim Fakultetom Bor (TF Bor) 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), Japan, (2015-2020) i naučno-tehničke saradnje sa Nik Com d.o.o. iz Crne Gore.

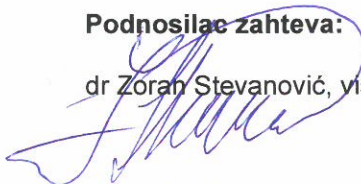
Predloženo tehničko rešenje pripada naučnoj oblasti: Uređenje, zaštita i korišćenje voda, vazduha i zemljišta.

Za recenzente predlažem:

1. dr Tomislav Trišović, naučni savetnik, Institut tehničkih nauka SANU
2. dr Miroslav Sokić, naučni savetnik, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS) Beograd

Podnosilac zahteva:

dr Zoran Stevanović, viši naučni saradnik





NAZIV ZAPISA:
ОДЛУКА НАУЧНОГ ВЕЋА

MATIČNI DOKUMENT/
BROJ PRILOGA:

Oznaka:
P031.-501.20.II/4

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
НАУЧНО ВЕЋЕ
Број: II/4.
Од 15.04.2021.

На основу Правилника о стицању истраживачких и научних звања („Сл. гласник РС“ 159/20), Научно веће Института за рударство и металургију Бор је на II-ој седници одржаној дана 15.04.2021. године донело:

ОДЛУКУ
о покретању поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења

I

На захтев др Зорана Стевановића, вишег научног сарадника Института за рударство и металургију Бор, Научно веће је донело Одлуку о покретању поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом:

„РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ ПОСТРОЈЕЊУ“

аутори:

др Зоран Стевановић, виши научни сарадник
др Радмила Марковић, виши научни сарадник
др Драгана Божић, научни сарадник
Војка Гардић, истраживач сарадник
Ненад Магдалиновић, виши стручни сарадник
Др Ивана Ћипранић, дипл.инж.грађ.
Проф.др Masuda Nobuyuki

Предложени рецензенти:

1. др Томислав Тришовић, научни саветник, Институт техничких наука САНУ
2. др Мирослав Сокић, научни саветник, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС) Београд

ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА

Др Ана Костов, дипл.инж.мет.
Научни саветник

TEHNIČKO REŠENJE

Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou

(M81)

RAZVOJ PROCESA DVOSTEPENE NEUTRALIZACIJE KISELIH RUDNIČKIH VODA NA NOVOM PILOT POSTROJENJU

U Boru, 05.04.2021.

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 Mjadanpeku. 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 kombinovanjem najsavremenijih metoda u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor i Akita Univerziteta u Japanu. Istraživanjem i kombinovanjem ovih metoda došlo se 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 savremenih metoda neutralizacije, 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 u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor čime su značajno povišeni 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 sadržaja i kvaliteta. Uz laboratorijske kapacitete Instituta 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 šuma, a prašina koju vetar razvejava sa jalovišta se taloži na obližnjim usevima. Jalovišta su takođe izvor kiselih rudničkih voda koje sadrže velike 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 kiseli rastvor 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 rastvora 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 velike 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 pročišćavanje 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 opterećenja metala.

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 pomoću alkalnih rastvora i zatim ponovo koristi. Među glavnim prednostima ove metode su mala tvrdoća i količina 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 process

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 process od ostalih hemijskih procesa i takođe ekološko prihvatljiv process, koji minimizira nusprodukte [4].

Process biosorpcije, uključuje upotrebu dve faze, prva je čvrsta supstanca sastavljena 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 kakobi 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.

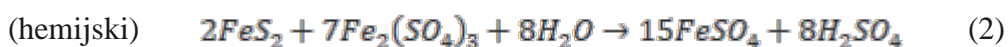
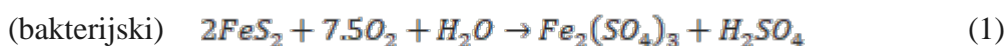
Sistem se oslanja na upotrebu specijalno izabраниh autohtonih vrsta biljaka i nepatogenih mikroba namenjenih određenom sistemu. Sa raznolikošću oblasti i primena, stručnjaci unapređuju svoje sisteme naročito u ekoregionima koji već imaju druge uspešne projekte koji su poslužili kao model. Sistemi su bili korišćeni u SAD-u, Meksiku, Indoneziji, Australiji, Filipinima i na drugim mestima. Generalno, ova mesta koriste se za benignije 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.

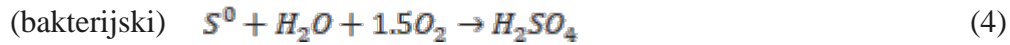
U napuštenom Rudniku Matsuo, koji je nekada bio najveći rudnik sumpora u Aziji nalazi se postrojenje sa najvećim kapacitetom za pročišćavanje vode u japanskim napuštenim rudnicima, a process pročišćavanja započeo je 1982. Od tada se vrši neutralizacija kiselih rudničkih voda koja sadrži otrovne metale, poput gvožđa i arsena, brzinom od 18 tona u minuti. Sam proces pročišćavanja 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 [6].

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 rečni slivovima koji pripadaju egejskom, crnomorskom i jadranskom basenu jasno je da ovi problemi imaju uglavnom prekogranični uticaj. Shodno tome definsan 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.

Za laboratorijska ispitivanja neutralizacije vršen je monitoring nekoliko otpadnih rudničkih voda tokom prvog dela realizacije Projekta. Tako su za ispitivanja neutralizacije izabrane Jamske vode za koje su rezultati hemijskih analiza tokom monitoringa 2017. god. dati u Tabeli 1.

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

Element	Jedinica mere	Srednja vrednost za 2017
Ca	mg L ⁻¹	373,16
Fe	mg L ⁻¹	414,18
Mg	mg L ⁻¹	244,28
Al	mg L ⁻¹	242,07
Cu	mg L ⁻¹	95,63
Mn	mg L ⁻¹	19,52
Zn	mg L ⁻¹	5,16
Co	mg L ⁻¹	0,45
Ni	mg L ⁻¹	1,00
As	mg L ⁻¹	0,50
Cd	mg L ⁻¹	0,10
Cr	mg L ⁻¹	0,0160
Se	mg L ⁻¹	0,0340
Pb	mg L ⁻¹	0,0050
Cs	mg L ⁻¹	0,0004

Na navedenim otpadnim rudničkim vodama izvršena su laboratorijska ispitivanja neutralizacije a dobijeni rezultati laboratorijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije: I stepen: od startne pH

vrednosti (2,65) do pH 3,5 ili 4, II stepen: od pH 3.5 do pH 7 ili 8 i od pH 4 do pH 7 ili 8., prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati laboratorijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije Jamskih voda

Element	Jedinica mere	Start 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 ⁻¹	499,2	244,0	13,8	0,05	0,03	0,04	0,03
Mg	mg L ⁻¹	154,8	126,85	118,2	124,61	114,48	119,48	112,58
Al	mg L ⁻¹	81,7	84,26	76,54	0,32	0,31	0,14	0,14
Cu	mg L ⁻¹	135,30	134,93	132,8	0,31	0,18	0,05	0,04
Mn	mg L ⁻¹	16,20	12,53	12	11,32	9,97	8,28	7,88
Zn	mg L ⁻¹	3,1	2,87	2,78	0,75	0,48	0,03	0,02
Co	mg L ⁻¹	0,211	0,199	0,189	0,143	0,103	0,04	0,03
Ni	mg L ⁻¹	0,231	0,221	0,209	0,159	0,098	0,044	0,048
As	mg L ⁻¹	0,002	0,0011	0,00067	0,0004	0,00031	0,0004	0,00031
Cd	mg L ⁻¹	0,044	0,0411	0,044	0,029	0,023	0,006	0,006
Cr	mg L ⁻¹	0,0057	0,0047	0,0027	0,00056	0,0007	0,00056	0,0007
Pb	mg L ⁻¹	0,002	0,002	0,002	0,00076	0,00057	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 u zakonski dozvoljene okvire i drastično popravio kvalitet voda. Rezultati 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⁻¹ AMD-a sa 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 Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor izvršena su probna testiranja opreme a takođe je izvršen i uvećani eksperiment pH kontrolisane dvostepene neutralizacije na većem uzorku Jamskih voda koje su testirane i na laboratorijskom nivou. Rezultati ispitivanja na pilot postrojenju dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati laboratorijskih analiza nakon dvostepene neutralizacije Jamskih voda na pilot postrojenju, pH start 2,65

Elementat	Jedinica mere	Start	pH 3.8	pH 7
Ca	mg L ⁻¹	435,1	1056,9	1321,8
Fe	mg L ⁻¹	506,6	98,0	<0,007
Mg	mg L ⁻¹	313,6	301,2	250,3
Al	mg L ⁻¹	328,5	183,3	<0,030
Cu	mg L ⁻¹	187,07	180,57	<3,3
Mn	mg L ⁻¹	22,46	22,28	10,9
Zn	mg L ⁻¹	8,63	8,18	0,0311
Co	mg L ⁻¹	0,65	0,63	0,0403
Ni	mg L ⁻¹	1,53	1,36	0,0842
As	mg L ⁻¹	0,2901	0,0090	<0,0021
Cd	mg L ⁻¹	0,0876	0,0838	0,0119
Cr	mg L ⁻¹	0,0409	0,0046	<0,0017
Se	mg L ⁻¹	0,0435	0,0431	0,0346
Pb	mg L ⁻¹	0,0037	0,0025	<0,0021
Cs	mg L ⁻¹	0,0004	0,0004	0,0005

Koncentracija svih elemenata u otpadnim vodama, osim kalcijuma i magnezijuma, se nakon pH kontrolisane dvostepene neutralizacije smanjila. 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 kao teški metali. Koncentracija Fe je smanjena tokom prvog koraka neutralizacije ispod maksimalno dozvoljene vrednosti [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 laboratorijskih analiza muljeva nakon dvostepene neutralizacije na pilot postrojenju na pH start 3,8 i pH 7

Elementi	Jedinica mere	Jamske vode pH-3,8	Jamske vode pH-7
Cr	ppm	27,1	12,9
Co	ppm	12,6	186,4

Ni	ppm	65,0	377,5
Zn	ppm	89,9	2288,2
As	ppm	131,3	6,0
Se	ppm	4,4	8,9
Cd	ppm	0,43	24,3
Cs	ppm	0,40	0,40
Pb	ppm	17,9	14,4
Mn	%	0,0083	0,44
Al	%	7,95	7,70
Ca	%	5,25	13,95
Fe	%	22,43	3,55
Mg	%	0,083	1,41
S	%	9,89	11,24
Cu	%	0,41	3,89

Uvećanim ispitivanjima na pilot postrojenju, utvrđeno je da dvostepeni proces neutralizacije na pH 3,8 i 7 efikasno uklanja Fe, Cu, Zn, Co, Ni i Cd iz otpadnih rudarskih voda. Takođe je potvrđeno da se pojedini metali (Fe, Cu) mogu valorizovati pri pH 3,8, odnosno 7.

Dobijeni mulj na pH 3,8 (prvi stepen neutralizacije) sadržao je 22,43 % Fe što ukazuje da je ovaj mulj uglavnom bio gvožđe hidroksid i da se koncentracija Fe u otpadnim vodama drastično smanjila do pH 3,8. Mulj dobijen pri pH 7 (drugi stepen neutralizacije) sadržao je 3,89 % Cu što je viša koncentracija od koncentracije bakra u rudi koja se trenutno eksploatiše na površinskim kopovima. Na osnovu koncentracije Cu moguće je da se ovaj mulj iskoristi kao sirovina za dobijanje Cu primenom postupaka luženja kiselinama, solventnom ekstrakcijom i elektrohemijskim metodama. Pored Cu, mulj dobijen na pH 7 sadrži i druge metale (Zn, Co, Ni) koji bi se određenim postupcima mogli valorizovati. Prednost primenjenog postupka ogleda se u tome što je rezultat prečišćena voda koja se može ispustati u recipijente i selektivno izdvajanje metala u dva različita mulja na dve različite pH vrednosti čime se ovaj postupak može smatrati ekološki i ekonomski primenljivim, odnosno održivim, na otpadnim rudničkim vodama. Pored toga, sprovedenim uvećanim ispitivanjima, novo pilot postrojenje potvrdilo je efikasnost i pouzdanost u radu na 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 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 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 otpadnih rudničkih voda, Naručilac je

dostavio hemijski sastav otpadnih rudničkih 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 metala u skladu sa domaćom i evropskom regulativom. Na osnovu predhodnog iskustva, autori tehničkog rešenja predložili su da to budu vode sa lokacije Robule Jezero, 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 voda sa jalovišta Gradac, prikazani su u Tabeli 5. Upoređivanjem kvaliteta voda, vidi se da je osnovna razlika u koncentraciji bakra dok su sadržaji ostalih elemenata istog reda veličina tako da je od Naručioca prihvaćen rad i sprovođenje uvećanih ispitivanja na pilot postrojenju sa vodama sa lokacije Robule pored Bora. 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 otpadnim rudničkim 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.

Cilj istraživanja bio je da se ispita mogućnost prečišćavanja otpadnih rudničkih voda dvostepenom neutralizacijom na novom pilot postrojenju kako bi Naručilac kasnije dalje razmatrao opcije tehničkih rešenja remedijacije jalovišta.

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

Opis	Jedinica mere	Jalovište Gradac	Robule jezero u Boru	MDK*
pH	/	3,0	2,9	6,5-9,0
As	mg L ⁻¹	0,003	0,0017	0,1
Pb	mg L ⁻¹	0,122	< 0,0021	0,5
Cd	mg L ⁻¹	0,021	0,0055	0,1
Cr (total)	mg L ⁻¹	0,0021	< 0,0017	0,5
Cu	mg L ⁻¹	0,021	45,3	0,5
Ni	mg L ⁻¹	0,048	0,517	0,5
Hg	mg L ⁻¹	< 0,0005	< 0,0005	0,01
Zn	mg L ⁻¹	27,7	23,11	2
Fe	mg L ⁻¹	179,3	336,8	2
Co	mg L ⁻¹	0,0274	1,051	1
Mg	mg L ⁻¹	424,0	855,0	/
Sn	mg L ⁻¹	< 0,001	< 0,001	2

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 metalnih jona u različitim muljevima dobijenim pri unapred definisanim pH vrednostima do kojih je vršena neutralizacija. Efikasnost taloženja jona teških metala 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 tehnološki postupak.

10.1. Materijali

10.1.1. AMD uzorak

Ekperimentalni postupak je izveden sa realnim uzorkom AMD sa lokacije Robule jezero (Slika 2.), generisanom iz jalovišta rudnika sa polimetaličnim orudnjenjem porfirskog tipa sa hemijskim sadržajem elemenata prikazanim u Tabeli 5. Na osnovu rezultati hemijskih analiza potvrđeno je da ove vode imaju tipične karakteristike AMD-a generisanih iz jalovišta polimetaličnih porfirskih orudnjenja kao što je i jalovište Gradac.

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. 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 koraka neutralizacije. Flokulant A-95 je poliakrilamid, slabi anjon, molekulska težina 1700, predložen za rastvore sa rasponom pH od 6 - 8.

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 i 4 u prvom stepenu neutralizacije. Uzorku AMD kontinuirano je dodavana određena količina krečnog mleka 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. Isušeni mulj osušen je do konstantne mase na 40 °C. Tečni uzorak je sakupljen i dat 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 odvojene 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 različiti rezultati ispitivanja izvedeni u laboratorijskim uslovima, koji su pokazali da je pH kontrolisani postupak efikasan za neutralizaciju otpadnih rudničkih voda i selektivno izdvajanje 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., koji su sproveli 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 opreme je 2 -7 L min⁻¹ 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 ormara, koje kontinuirano vrše kontrolu pH i flokulaciju-taloženje metala iz AMD u dva stepena, data je u Tabeli 6. dok je na Slici 4. prikazana dispozicija opreme pilot postrojenja.

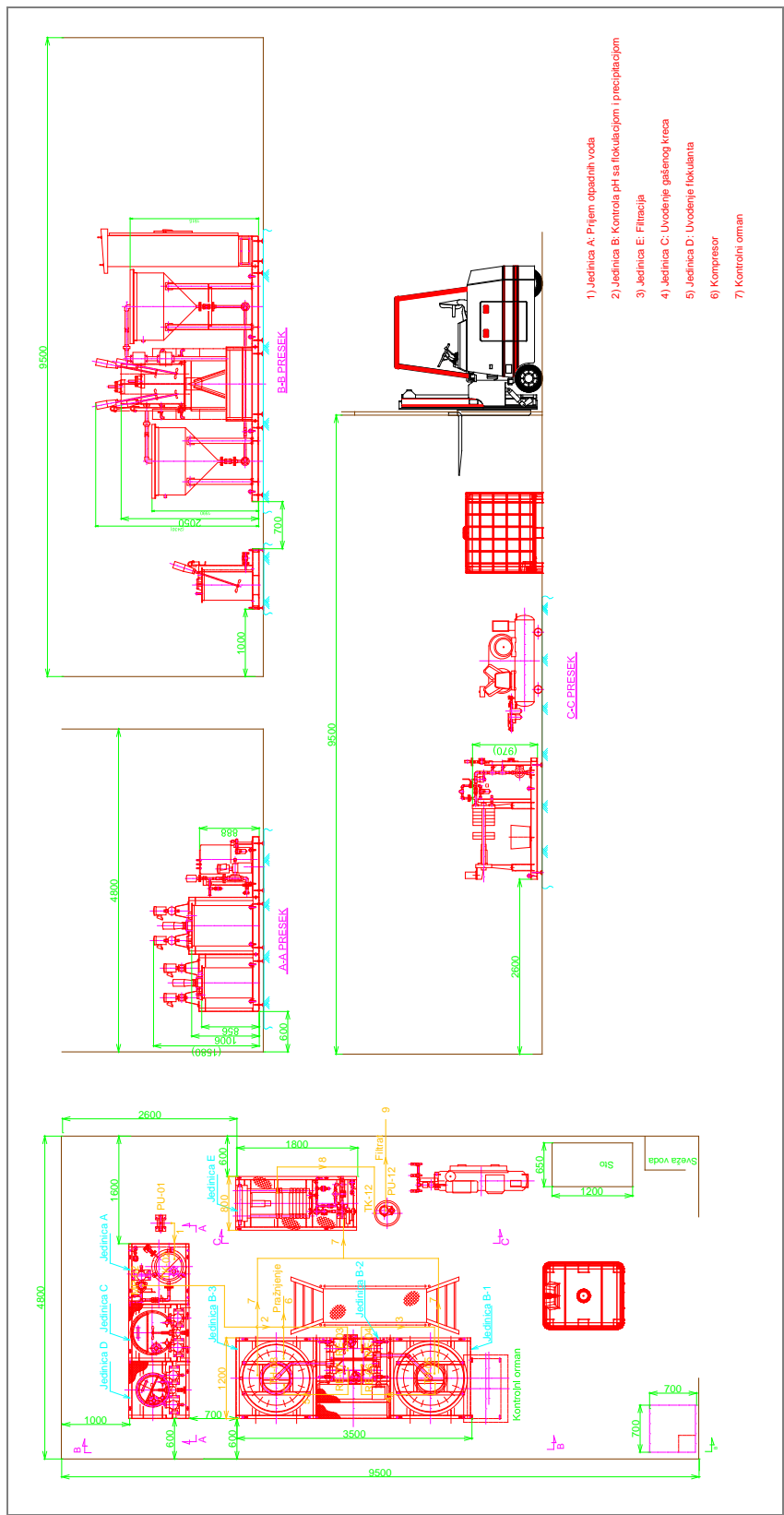


Slika 3. Pilot postrojenje za dvostepenu neutralizaciju.

Tabela 6. Specifikacija pilot postrojenja za dvostepenu neutralizaciju

Jedinica	Opis
Jedinica A:	Muljna pumpa, protok: 20 L min ⁻¹ , koristi se za uvođenje otpadnih voda u prihvatni rezervoar otpadnih voda.
Prijem otpadnih voda	Prihvatni rezervoar otpadnih voda, za skladištenje otpadnih voda.
	Muljna pumpa, protok: 2 - 7 L min ⁻¹ , koristi se za transport otpadnih voda iz prihvatnog rezervoara u Jedinicu B.

Jedinica B:	<p>Jedinica B-1: Zgušnjivač A, zapremina 410 L, koristi se za razdvajanje čvrste i tečne frakcije iz otpadnih voda na kojima je izvršen prvi stepen neutralizacije (primarna kontrola pH vrednosti prema prvoj podešenoj vrednosti pH) i flokulacija.</p>
kontrola pH i flokulacija – taloženje, sastavljena od jedinica: B-1, B-2 i B-3	<p>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.</p> <p>Jedinica B-3: Zgušnjivač B, zapremina 410 L, koristi se za razdvajanje čvrste i tečne frakcije iz otpadnih voda na kojima je izvršeno sekundarna kontrola pH vrednosti (prema drugoj podešenoj vrednosti pH) i flokulacija.</p>
Jedinica E: Filtracija	<p>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 sa muljnom pumpom protoka 20 L min⁻¹ ka Filter presi kapaciteta 3 L. Filtrat se ispusta preko pumpe ili se vraća u rezervoar otpadnih voda u zavisnosti od kvaliteta. Filter presa je automatskog tipa.</p>
Jedinica C: Uvođenje gašenog kreča	<p>Gašeni kreč i voda se uvode u rezervoar krečnog mleka, zapremine 250 L, masena koncentracija 2,5 %. Kondicionirano krečno mleko se muljnom pumpom A/B, (0,5 L min⁻¹) automatski uvodi u pH kontrolni rezervoar A/B i dozira prema podešenim pH vrednostima.</p>
Jedinica D: Uvođenje flokulanta	<p>Polimerni flokulant i voda se uvode u rezervoar Flokulanta (zapremine 100 L) sa kontrolom njegove koncentracije do 0,5 g L⁻¹. Kondicionirani flokulant se šalje u rezervoar Flokulanta A/B sa konstantnim protokom, bez obzira na protok vode, sa pumpom za flokulant A/B, protoka 0,05 L min⁻¹.</p>
Kompresor	<p>370 L min⁻¹ koristi se za snabdevanje filter prese i ventila komprimovanim vazduhom.</p>
Kontrolni orman	<p>Koristi za kontrolu, upravljanje i elektro snabdevanje opreme pilot postrojenja.</p>



Slika 4. Dispozicija opreme pilot postrojenja za dvostepenu neutralizaciju.

Rezervoar za otpadne vode zapremine 1000 L koristi se za skladištenje uzorkovanih AMD-a sa predložene lokacije. Ambijentalni uslovi: 5-40 °C; Napajanje: 220 VAC 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 iz skladišnog rezervoara transportuju se muljnom pumpom sa konstantnim protokom od 20 L min⁻¹ do prihvatnog rezervoara za otpadne vode. Prihvatni rezervoar za otpadne vode ima regulator nivoa koji isključuje / uključuje muljnu pumpu. Pumpa za otpadne vode sa konstantnim protokom od 5 L min⁻¹ šalje otpadne vode do pH kontrolnog rezervoara A. Istovremeno, u pH kontrolni rezervoar A kontinualno se dodaje 2,5 % mas. krečnog mleka iz rezervoara sa krečom pomoću muljne pumpe. U rezervoaru A za kontrolu pH vrednosti postavljen je pH metar kojim se kontroliše pH vrednost prvog stepena neutralizacije. Prva pH vrednost postavljena je na 4, prema čemu se tokom testa automatski 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⁻¹ u rezervoar za flokulaciju A. Talog se taloži na dnu zgušnjivača A. Neutralizovane 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 7). Nakon toga prati se flokulacija u rezervoaru za flokulaciju B, a zatim se vrši razdvajanje faza u zgušnjivaču B. Neutralizovana otpadna voda iz preliva zgušnjivača B takođe se uzorkuje za hemijsku analizu i gravitaciono ispuštana 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.

10.2.3. Kvantitativna analiza elemenata

Koncentracije metala u ispitivanim uzorcima i hemijski sastav mulja su mereni atomskom emisionom spektrometrijom sa indukovanom kuplovanom plazmom (AES-ICP, Spectro Ciros Vision) i masenom spektrometrijom sa indukovanom kuplovanom plazmom (ICP-MS, Agilent 7700). Na osnovu rezultata ovih analiza izračunat je i stepen uklanjanja metala iz otpadnih voda.

10.3. Rezultati i diskusija

10.3.1. Laboratorijska ispitivanja

Hemijskom analizom otpadnih rudničkih voda (AMD) sa lokacije Robule Jezero utvrđene su vrednosti koncentracija prisutnih jona (mg L^{-1}): Al - 209,8; Fe - 322,6; Mg - 893,1; Mn - 90,8; Zn - 22,8; Cu - 34,7; Co - 0,87; S - 2376,2; Sr - 1,7; Ni - 0,413; As - 0,004; Se - 0,008 i Cd - 0,039. Merenjima na mestu uzorkovanja utvrđeno je: pH - 2,87; ORP - 793 mV i protok - 3489 L min^{-1} . Koncentracija Pb, Cr i Cs bila je ispod granica osetljivosti korišćene analitičke metode.

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: $\text{Al}(\text{OH})_3$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$; $\text{Co}(\text{OH})_2$; $\text{Ni}(\text{OH})_2$; $\text{Cu}(\text{OH})_2$; $\text{Pb}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Zn}(\text{OH})_2$; $\text{Mg}(\text{OH})_2$, itd.

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

Tabela 7. Koncentracija elemenata u AMD posle prvog stepena neutralizacije

Neutralizacija od početne pH vrednosti 2,87	Element						Neutralizator
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	2,5 % krečno mleko
	Koncentracija, mg L^{-1}						Potrošnja, mL L^{-1}
start	322,6	34,7	22,8	0,040	0,87	0,41	-
do pH 3,5	12,3	31,2	22,1	0,041	0,87	0,42	20,8
do pH 4	1,0	31,5	22,0	0,041	0,86	0,42	25,0

Na osnovu rezultata za početnu koncentraciju svakog elementa i koncentraciju nakon neutralizacije pri različitim pH vrednostima (Tabela 7.), izračunat je stepen uklanjanja za svaki element. Pri pH 3,5 i pH 4 stepen uklanjanja Fe imao je vrednosti 96,20 mas.%, odnosno 99,70 mas.%. Ovi podaci pokazuju da je maksimalna konverzija Fe u nerastvorni hidroksidni oblik nastala na pH 4. Tako je potvrđeno da Fe može biti izdvojen iz AMD tokom prvog stepena neutralizacije. Stepenski uklanjanja 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 pri oko pH 4. Stoga se smatra da je uklanjanje ovih elemenata izazvano ko-taloženjem 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.). Stepen uklanjanja Cu pri različitim pH vrednostima je gotovo identičan (10,06 mas.% i 9,37 mas.% za pH 3,5 i 4, respektivno).

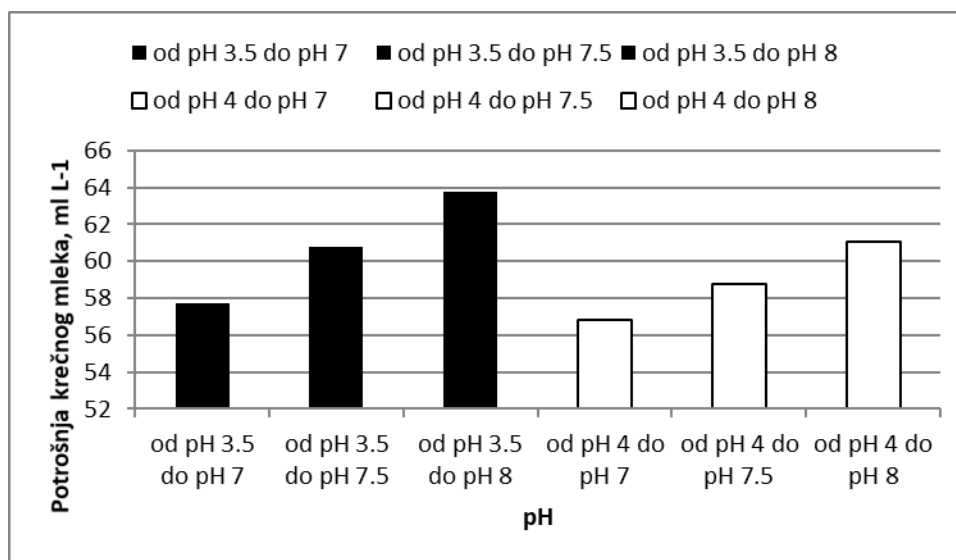
Vrednosti koncentracije pojedinih elemenata nakon drugog stepena neutralizacije date su u Tabeli 8.

Tabela 8. Koncentracija elemenata u AMD posle drugog stepena neutralizacije

Neutralizacija od pH	Element						Neutralizator
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	2,5 % krečno mleko
3,5	Koncentracija, mg L ⁻¹						Potrošnja, mL L ⁻¹
do pH 7	0,02	0,06	1,04	0,022	0,41	0,24	37
do pH 7,5	0,02	0,03	0,27	0,013	0,20	0,12	40
do pH 8	0,02	0,03	0,07	0,007	0,09	0,07	43
4							
do pH 7	0,01	0,04	0,65	0,019	0,33	0,21	31,8
do pH 7,5	0,01	0,05	0,22	0,015	0,23	0,14	33,8
do pH 8	0,01	0,03	0,11	0,010	0,16	0,10	40,3

Koncentracija bakra drastično je smanjena tokom neutralizacije na različitim pH vrednostima (7, 7,5 i 8).

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 i drugi stepen neutralizacije na pH 7 (Slika 5.). Na osnovu prethodno prikazanih rezultata koncentracija elemenata nakon dvostepene neutralizacije i vrednosti ukupne potrošnje krečnog mleka pri različitim pH vrednostima, planirano je uvećano ispitivanje na novom pilot postrojenju 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

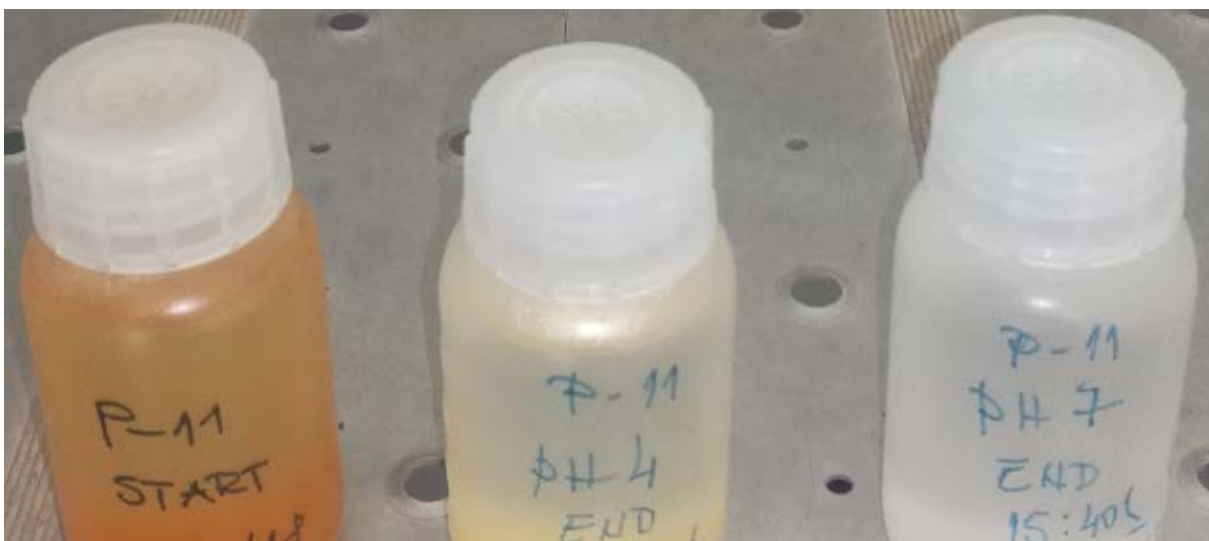
Za neutralizaciju otpadnih rudničkih voda na pilot postrojenju korišćen je realni uzorak AMD u količini od oko 1800 L. Karakteristike AMD koji je uzorkovan iz jezera Robule date su u Tabeli 9. AMD je uzorkovan pumpom iz jezera Robule u kontejnere zapremine od po 1000 L i transportovan u Institut za Rudarstvo i Metalurgiju Bor u laboratoriju u kojoj je smešteno 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 flokulanta. Trajanje procesa je bilo 6 sati. 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 započeo preliv neutralizovanih voda u drugom stepenu. Rezultati hemijskih analiza otpadnih voda tokom dvostepene neutralizacije dati su takođe u Tabeli 9.

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

Lokacija uzorkovanja (trajanje testa)	Element						
	Fe	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	Ca
Robule Jezero (0 h)	461,8	45,3	26,9	0,055	1,05	0,52	453
Prva faza neutralizacije, pH 4							
Zgušnjivač A (1 h)	16,0	35,9	25,0	0,050	0,92	0,44	797
Zgušnjivač A (2 h)	11,5	36,6	24,7	0,050	0,94	0,46	861
Zgušnjivač A (3 h)	12,5	38,1	25,0	0,051	0,97	0,47	772
Zgušnjivač A (4 h)	7,5	37,0	25,2	0,052	0,97	0,46	783
Zgušnjivač A (5 h)	0,7	45,4	25,6	0,054	0,99	0,49	516
Zgušnjivač A (6 h)	8,3	40,3	25,0	0,050	0,91	0,43	860
Druga faza neutralizacije, pH 7							
Zgušnjivač B (3 h)	0,078	0,38	0,43	0,011	0,11	0,047	1430
Zgušnjivač B (4 h)	0,016	0,20	0,38	0,011	0,12	0,053	1107
Zgušnjivač B (5 h)	0,017	0,20	0,36	0,011	0,13	0,064	1298
Zgušnjivač B (6 h)	0,044	0,31	0,45	0,012	0,13	0,079	1312

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 koraka neutralizacije ispod maksimalno dozvoljene vrednosti [25]. Tokom prve faze neutralizacije u trajanju od 6 sati, koncentracija Fe postepeno se smanjivala. Stepenn uklanjanja Fe bio je u rasponu od 96,5 % mas. do 99,85 % mas. Koncentracija Zn i Cu je tokom prvog stepena neutralizacije smanjena maksimalno do 10 mass. % 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, odnosno AMD-a. 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 na pH vrednosti 7

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, uglavnom mogu valorizovati pri pH 4, odnosno 7, respektivno. Tabela 10 prikazuje hemijski sastav dobijenog mulja nakon dvostepenog procesa neutralizacije. Tokom drugog stepena neutralizacije tendencija smanjenja koncentracije elemenata je: Cu > Zn > Co > Ni > Cd.

Tabela 10. Hemijski sastav mulja nakon dvostepene neutralizacije

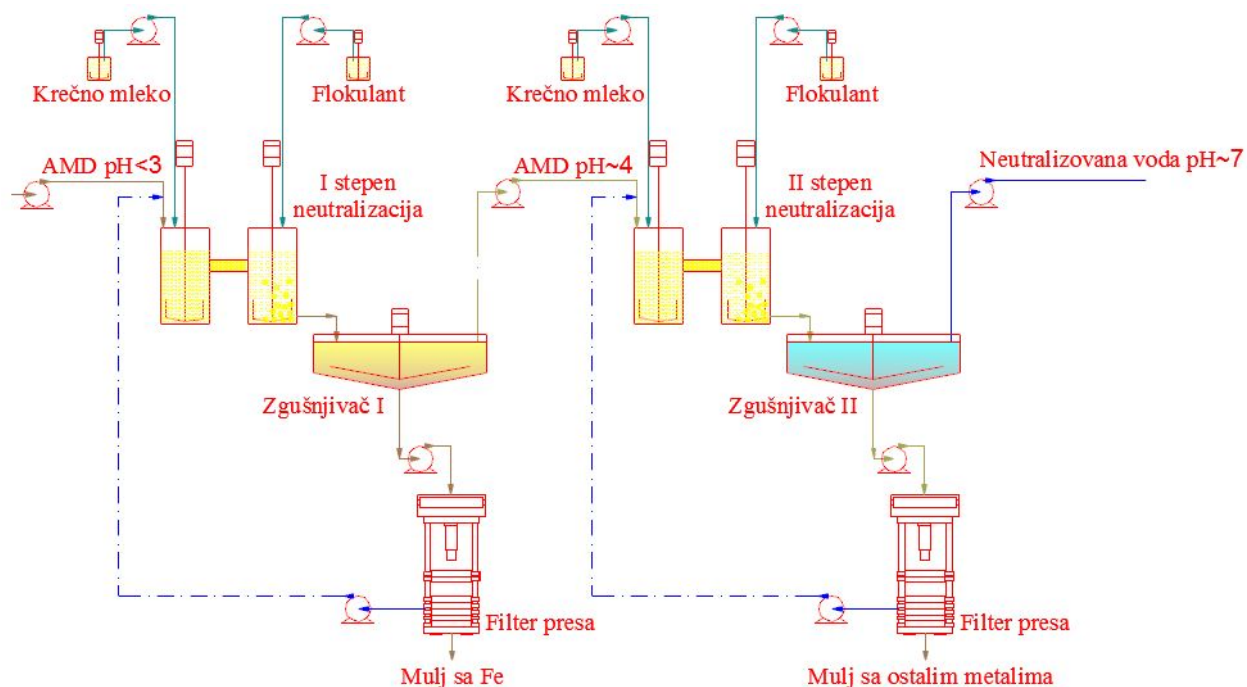
Element mas %	Prvi stepen neutralizacije (pH inicijalno - pH 4)	Drugi stepen neutralizacije (pH 4 - pH 7)
Al	2,73	7,13
Cu	0,15	1,24
Fe	33,52	0,47
Ca	3,07	11,77
Mg	0,015	2,79
Zn	0,013	0,95
As	0,0024	0,0014
Cd	0,000018	0,00174
Co	0,000885	0,0374
Ni	0,000651	0,0189

Dobijeni mulj na pH 4 (prvi stepen neutralizacije) sadržao je 33,5 % mas. Fe što ukazuje da je ovaj mulj uglavnom bio gvožđe hidroksid i da se koncentracija Fe u realnom uzorku otpadnih voda drastično smanjila na pH 4. Takođe, dobijeni mulj pri pH 7 (drugi stepen neutralizacije) sadržao je i 1,2 % masenih Cu (što je viša koncentracija od koncentracije bakra u rudi koja se trenutno eksploatiše na površinskim kopovima) i 0,95 % masenih Zn. Na osnovu sadržaja Cu i Zn moguće je da se ovaj mulj iskoristi kao sirovina za dobijanje navedenih metala odgovarajućim tehnološkim postupcima. Selektivni muljevi dobijeni na pH 4 i pH 7 prikazani su na Slici 7.



Slika 7. Selektivni muljevi iz postupka dvostepene neutralizacije

Na osnovu navedenog može se zaključiti da se na tretiranoj vrsti otpadnih rudničkih voda iz polimetaličnih porfirskih ležišta, odnosno AMD, može efikasno primeniti postupak dvostepene neutralizacije. Na Slici 8 dat je šematski prikaz pretpostavljenog postupka tretmana otpadnih rudničkih voda za uklanjanje i iskorišćenje metala.



Slika 8. Tehnološka šema razvijenog postupka neutralizacije otpadnih rudničkih voda

Na uzorku otpadnih rudničkih voda sa lokacije jalovišta Gradac sa pH vrednošću od oko 3 primenjuje se dvostepeni postupak neutralizacije pri pH 4 i 7. Kroz ovaj proces Fe prelazi u mulj na pH 4, a ostali prisutni metali na pH iznad 4 čime je postignuto selektivno izdvajanje gvožđa od ostalih metala. Ovom metodom je za tretirane otpadne rudničke vode dobijen izlazni efluent, odnosno prečišćena voda, koja se prema limitima za otpadne vode na sadržaj obojenih metala i pH vrednosti može ispustati u okolne recipijente. Na osnovu rezultata je potvrđeno da bi postupak dvostepene neutralizacije mogla biti efikasna metoda za neutralizaciju i prečišćavanje tretiranih otpadnih rudničkih voda sa efluentima koji se uklapaju u limitirane vrednosti definisane zakonskom regulativom.

10.4. Zaključak

U ovom tehničkom rešenju ispitana je mogućnost uklanjanja jona metala iz otpadnih rudničkih voda, odnosno AMD na novom kontinualnom pilot postrojenju. Tehnološki postupak podrazumeva metodu dvostepene neutralizacije, a primenjen je na realnim otpadnim rudničkim vodama generisanim iz jalovine polimetaličnog porfirskog orudnjenja. Rezultati eksperimenta dvostepene neutralizacije sa kontrolnim pH vrednostima i selektivnim izdvajanjem Fe od ostalih metala, izdvajanjem u posebnim muljevima, potvrdili su efikasnost metode. Takođe, potvrđeno je da je postignut kvalitet otpadnih voda u saglasnosti sa važećom zakonskom regulativom za ispuštanje otpadnih voda u lokalne recipijente. Pored toga, dobijeni mulj na pH 7 sadržao je 1,2 % bakra i 0,95 % cinka na osnovu čega se može pretpostaviti da se pH kontrolisani postupak dvostepene neutralizacije može primeniti ne samo za prečišćavanje kiselih rudničkih voda (AMD) već i za dobijanje selektivnih muljeva različitog hemijskog sastava u cilju valorizacije prisutnih korisnih komponenata.

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) 1110e1124
- [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] Akcil, 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] Abraitis, 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 izvještaja 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.

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 Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014. <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**: *Trodimenzionalni 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 Gvozdrenović, 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 bušećih 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 posebnih 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 nemetalne mineralne komponente BFJ za proizvodnju hidrauličnog vezivnog sredstva u građevinarstvu, Projekat MNTR br. TR 19021, 2010 – Bitno poboljšan 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 poboljšan tehnološki postupak. (M84).
17. R. Jonović, Lj. Avramović, **R. Marković**, Z. Stevanović, M.Gvozdinović, 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. 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. 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 Gvozdrenović: Integralni tretman flotacijske jalovine bakra sa polja 1 starog flotacijskog jalovišta RTB-a Bor, Novi tehnološki postupak, Projekat MNTR br. TR-37001, 2014. NV IRM-a broj XXIV/2.1. od 26.12.2014, <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 METALURGY 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.

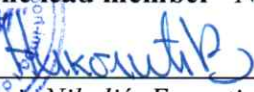
For and on behalf of *Ministry of Sustainable Development and Tourism/
Environmental Protection Agency*



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 Nikolic, 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 03/0208

NIKŠIĆ, 02.08.2019

Podgorica, 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 Ćipranić, 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

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	

820/ 16 - 23

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

Za datum: 27.02.2019 / Date

Partija: 00-508-0000503.2 / Account

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 PAPIĆA	499				
6	Preko NARODNA BANKA SRBIJE	NBSRRSBG				
7	Svrha naplate: SIF-101 INVOICE NO.95210100-19					
8	Upplaćujemo 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)					

Научном већу Института за рударство и металургију (ИРМ) Бор

Предмет: Рецензија техничког решења

РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ ПОСТРОЈЕЊУ

Аутора:

Институт за рударство и металургију Бор /

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.,

Грађевински Факултет, Универзитет Црне Горе у Подгорици /

др Ивана Ћипранић, дипл.инг.графј.,

Center for Research and Education on Mineral and Energy Resources, Akita University, Akita, Japan /

Prof. dr Masuda Nobuyuki, редовни професор.

Одлуком Научног већа ИРМ Бор, бр. II/4. од 15.04.2021, именован сам за рецензента техничког решења под називом: **РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ ПОСТРОЈЕЊУ.**

Ово техничко решење представља резултат рада на пројекту:

„RESEARCH ON THE INTEGRATION SYSTEM OF SPATIAL ENVIRONMENT ANALYSES AND ADVANCED METAL RECOVERY TO ENSURE SUSTAINABLE RESOURCE DEVELOPMENT (E³)“ реализованог за Министарство рударства и енергетике (МРЕ) и Министарство заштите животне средине (МЗЖС) кроз сарадњу Института за рударство и металургију Бор са Акита Универзитетом – Центар за Гео-еколошке науке (ЦГЕС); Међународни Центар за истраживање и образовање минералних и енергетских ресурса (ИЦРЕМЕР) и Одсек за инжењерство у примењеној хемији, Инжењерство и ресурсне науке; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) и Техничким Факултетом Бор (ТФ Бор) преко Програма: SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), Japan, чији је руководиоц др Зоран Стевановић, виши научни сарадник.

На основу добијеног писаног материјала (Пријава техничког решења) који се састоји од следећих целина:

- 1) Име и презиме аутора решења;
- 2) Назив техничког решења;
- 3) Кључне речи;
- 4) За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде);

- 5) Годину када је решење комплетирано;
- 6) Годину када је почело да се примењује и од кога;
- 7) Област и научну дисциплину на коју се техничко решење односи;
- 8) Проблем који се техничким решењем решава;
- 9) Стање решености тог проблема у свету;
- 10) Опис техничког решења;
- 11) Техничку документацију са листом раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно.

износим своје

МИШЉЕЊЕ

Предложено техничко решење је представљено на 43 страна са прилозима: Уговор „Preparation of Technical Design for the Remediation of the Mine Tailings Disposal Facility Gradac – Pljevlja“, Nik Com d.o.o. (2018), Црна Гора; Доказ о верификацији техничког решења, Nik Com d.o.o. (2019), Црна Гора и доказа о плаћању услуга од стране Nik Com d.o.o., Црна Гора.

Приказ техничког решења урађен је у складу са захтевима дефинисаним ПРАВИЛНИКОМ о стицању истраживачких и научних звања, "Службени гласник РС", број 159. од 30. децембра 2020

Документација Поглавља 10) Опис техничког решења, која се односи на детаљан опис техничког решења садржи следеће целине: *Научно истраживачки рад кроз који је изграђено ново пилот постројење, Комерцијални потенцијал пилот постројења, Материјали, АМД узорак, Гашени креч, Флокулант, Неутрализација, Лабораторијска испитивања, Двостепена неутрализација на пилот постројењу, Генерални опис пилот постројења за двостепену неутрализацију, Опис технолошког поступка процеса двостепене неутрализације на пилот постројењу, Квантитативна анализа елемената, Резултате и дискусију, Лабораторијска испитивања, Двостепена неутрализација на пилот постројењу, Карактеризација муља добијеног на рН вредности 7 и Закључак* у којима су детаљно описана спроведена лабораторијска и истраживања на пилот постројењу са циљем развоја процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу. Кроз опис пилот постројења приложена је детаљна спецификација са диспозицијом опреме и на крају је предложена технолошка шема развијеног поступка неутрализације отпадних рудничких вода. Приложена документација садржи осам слика и десет табела.

Наведена поглавља садрже довољно информација и дају јасну слику о употребљивости предложеног начина развоја поступка двостепене неутрализације на новом пилот постројењу у складу са напред наведеним правилником.

Закључак

Техничко решење под називом

РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ ПОСТРОЈЕЊУ

припремљено је у складу са важећим ПРАВИЛНИКОМ о стицању истраживачких и научних звања, "Службени гласник РС", број 159. од 30. децембра 2020.

У техничком решењу приказане су све неопходне информације о области на коју се техничко решење односи и проблем који се њиме решава, као и детаљан опис развоја процеса двостепене неутрализације на новом пилот постројењу.

Само техничко решење представља савремен и инвентивни приступ решавању проблема загађења услед генерисања отпадних рудничких вода.

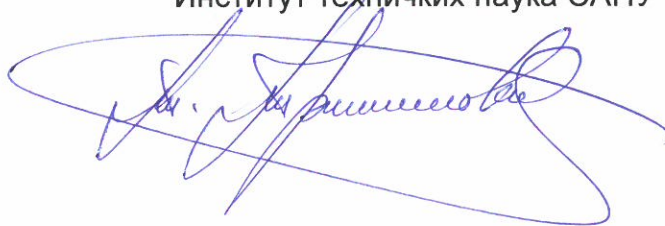
Остварени резултати потврђују употребљивост новог поступка развоја процеса за двостепену неутрализацију отпадних рудничких вода.

На основу изложених аргумената препоручујем да се Техничко решење прихвати и сврста у категорију М81 – Ново техничко решење примењено на међународном нивоу.

Датум: 21.4..2021. год.

Рецензент

др Томислав Тришовић, научни саветник
Институт техничких наука САНУ



Институт за рударство и металургију (ИРМ) Бор
Научно веће ИРМ Бор

Предмет: Рецензија техничког решења:

**"РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ
РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ ПОСТРОЈЕЊУ"**

Аутори: Институт за рударство и металургију Бор /

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.,

Грађевински Факултет, Универзитет Црне Горе у Подгорици /

др Ивана Ћипранић, дипл.инг.грађ.,

**Center for Research and Education on Mineral and Energy Resources, Akita
University, Akita, Japan /**

Prof. dr Masuda Nobuyuki, редовни професор.

Одлуком Научног већа ИРМ Бор, бр. П/4. од 15.04.2021., одређен сам за рецензента
техничког решења под називом: **РАЗВОЈ ПРОЦЕСА ДВОСТЕПЕНЕ
НЕУТРАЛИЗАЦИЈЕ КИСЕЛИХ РУДНИЧКИХ ВОДА НА НОВОМ ПИЛОТ
ПОСТРОЈЕЊУ** које представља резултат научно техничког рада на пројекту:

**„RESEARCH ON THE INTEGRATION SYSTEM OF SPATIAL
ENVIRONMENT ANALYSES AND ADVANCED METAL RECOVERY TO
ENSURE SUSTAINABLE RESOURCE DEVELOPMENT (E³)“** реализованог са
Јапанским институцијама преко Програма: SATREPS (Science and Technology
Research Partnership for Sustainable Development) Japan.

На основу прегледа достављених материјала прилажем следеће:

МИШЉЕЊЕ

Техничко решење под називом „Развој процеса двостепенe неутрализације киселих
рудничких вода на новом пилот постројењу“ је образложено на 43 страница са осам слика
и 10 табела. Техничко решење урађено је у складу са захтевима дефинисаним
ПРАВИЛНИКОМ о стицању истраживачких и научних звања, "Службени гласник РС",
број 159. од 30. децембра 2020 и обухвата:

- 1) Име и презиме аутора решења;
- 2) Назив техничког решења;
- 3) Кључне речи;
- 4) За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде);
- 5) Годину када је решење комплетирано;
- 6) Годину када је почело да се примењује и од кога;

- 7) Област и научну дисциплину на коју се техничко решење односи;
- 8) Проблем који се техничким решењем решава;
- 9) Стање решености тог проблема у свету;
- 10) Опис техничког решења;
- 11) Техничку документацију са листом раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно.

Техничко решење садржи прилоге:

- 1) Уговор „Preparation of Technical Design for the Remediation of the Mine Tailings Disposal Facility Gradac – Pljevlja“, Nik Com d.o.o. (2018), Црна Гора
- 2) Доказ о верификацији техничког решења, Nik Com d.o.o. (2019), Црна Гора
- 3) Доказ о плаћању услуга од стране Nik Com d.o.o., Црна Гора.

Лабораторијска и увећана истраживања на новом пилот постројењу доказала су да се коришћењем овог пилот постројења може развити процес двостепене неутрализације који се може ефикасно користити за неутрализацију отпадних рудничких вода. Поред тога, доказано је да се овим поступком добијају муљеви са значајним садржајима метала што индицира да се развијени поступак може применити не само за пречишћавање отпадних вода већ и за добијање селективних мујева различитог хемијског састава у циљу даље валоризације присутних метала по предложеној технолошкој шеми развијеног поступка. На основу свега наведеног износим следећи:

ЗАКЉУЧАК

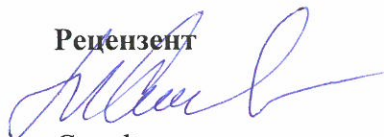
Техничко решење „Развој процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу“ припремљено је у складу са важећим ПРАВИЛНИКОМ о стицању истраживачких и научних звања, "Службени гласник РС", број 159. од 30. децембра 2020.

Обрађене целине садрже довољно информација и дају јасну слику о употребљивости предложеног начина развоја поступка двостепене неутрализације на новом пилот постројењу. Приступ аутора за решавање проблема загађења узрокованог отпадним рудничким водама резултирао је иновативним техничким решењем применљивим на различитим врстама ових вода и такође значајно увећао техничке капацитете и конкурентност ИРМ Бор за рад у овој области.

На основу изложених аргумената препоручујем да се Техничко решење прихвати и сврста у категорију М81 – Ново техничко решење примењено на међународном нивоу.

Датум: 19. 04. 2021. 2021. год.

Рецензент



др Мирослав Сокић, научни саветник
Институт за технологију нуклеарних и других
минералних сировина, (ИТНМС) Београд

	<p style="text-align: center;">NAZIV ZAPISA: Zahtev za prihvatanje tehničkog rešenja</p>	<p style="text-align: center;">MATIČNI DOKUMENT/ BROJ PRILOGA:</p>	<p style="text-align: center;">Oznaka: P031.201-21.003</p>
---	---	--	---

Datum: 26.04.2021.

NAUČNOM VEĆU INSTITUTA ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

Prema PRAVILNIKU o sticanju istraživačkih i naučnih zvanja, "Službeni glasnik RS", broj 159 od 30. decembra 2020., obraćam se Naučnom veću Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa molbom za prihvatanje tehničkog rešenja M-81 pod nazivom:

TEHNIČKO REŠENJE
 Novo tehničko rešenje primenjeno na međunarodnom nivou
(M81)

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 Ćipranić, dipl.ing.građ.,
Center for Research and Education on Mineral and Energy Resources, Akita University, Akita, Japan / Prof. dr Masuda Nobuyuki.

Predloženo tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta:

„RESEARCH ON THE INTEGRATION SYSTEM OF SPATIAL ENVIRONMENT ANALYSES AND ADVANCED METAL RECOVERY TO ENSURE SUSTAINABLE RESOURCE DEVELOPMENT“ (E3)“ koji je realizovan za Resorna Ministarstva ispred Republike Srbije: Ministarstvo rudarstva i energetike (MRE) i Ministarstvo zaštite životne sredine (MZŽS) u saradnji Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor sa Akita Univerzitetom – Centar za Geo-ekološke nauke (CGES); Međunarodni Centar za istraživanje i obrazovanje mineralnih i energetske resursa (ICREMER) i Odsek za inženjerstvo u primenjenoj hemiji, Inženjerstvo i resursne nauke; Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. (MINDECO); Japan Space System (J-spacesystems) i Tehničkim Fakultetom Bor (TF Bor) 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), Japan, (2015-2020) i naučno-tehničke saradnje sa Nik Com d.o.o. iz Crne Gore.

Na osnovu pokrenutog postupka za validacijom i verifikacijom Tehničkog rešenja od 05.04.2021. god., Odluke Naučnog veća br. II/4. od 15.04.2021. god. o imenovanju recenzenata, mišljenja recenzenata (dr Tomislav Trišović, naučni savetnik, Institut tehničkih nauka SANU i dr Miroslava Sokića, naučni savetnik, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS) Beograd) i korisnika usluge Nik Com d.o.o. iz Crne Gore, kao i dokaza o izvršenoj usluzi, obraćam vam se sa zahtevom za prihvatanje navedenog Tehničkog rešenja.

Podnosilac zahteva:



dr Zoran Stevanović, viši naučni saradnik



**ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
НАУЧНО ВЕЋЕ**

Број: IV/3.

Од 03.06.2021. године

На основу Правилника о стицању истраживачких и научних звања, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.159/2020), Научно веће је на IV-ој седници одржаној дана 03.06.2021. године донело:

ОДЛУКУ
о прихватању техничког решења

I

На основу покренутог поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом: „Развој процеса двостепене неутрализације киселих рудничких вода на новом пилот постројењу“, аутори: Зоран Стевановић, Радмила Марковић, Драгана Божић, Војка Гардић, Ненад Магдалиновић, Ивана Ћипранић и Masuda Nobuyuki и мишљења рецензената и корисника о наведеном техничком решењу, Научно веће је донело Одлуку о прихватању наведеног техничког решења.



ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА

А. Костов
Др Ана Костов, дипл.инж.мет.

Научни саветник