



**Здружение на рударски и геолошки инженери
на Република Македонија**

**XIII-то СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ
СО МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

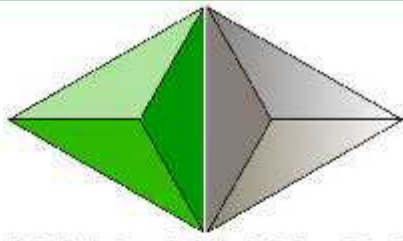
ПОДЕКС - ПОВЕКС '22

**14-16. Октомври. 2022 год.
Охрид**

**ЗБОРНИК
НА
ТРУДОВИ**



**ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА
ЕКСПЛОАТАЦИЈА
НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**



SASA

рудник за олово и цинк



Рудник САСА ДООЕЛ
Рударска 28, МК-2304
Македонска Каменица
Република С. Македонија

Тел. +389 (0) 33 279 200
Тел. +389 (0) 33 279 201
contact@sasa.com.mk
<http://www.sasa.com.mk>



ЗРГИМ

**XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

**14 ÷ 16. 10. 2022 година
Охрид**

**ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА
ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Зборник на трудови:

ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

Издавач:

Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија
www.zrgim.org.mk

Главен и одговорен уредник:

Проф. д-р Стојанче Мијалковски

За издавачот:

м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.

Техничка подготовка:

Проф. д-р Стојанче Мијалковски

Изработка на насловна страна:

Доц. д-р Ванчо Аџиски

Печатница:

“2-ри Август”, Штип

Година:

2022

Тираж:

200 примероци

Сите права и одговорности за одпечатените трудови ги задржуваат авторите. Не е дозволено ниту еден дел од оваа книга да биде репродуциран, снимен или фотографираан без дозвола на авторите и издавачот.



ОРГАНИЗАТОР:

**ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ
ИНЖЕНЕРИ НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА**

www.zrgim.org.mk



КООРГАНИЗАТОР:

**УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО**

НАУЧЕН ОДБОР:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Дејан Мираковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Блажо Боев**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Војо Мирчовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Доц. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, УКИМ, Градежен факултет, Скопје, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Ивица Ристовиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Раде Токалиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Војин Чокорило**, РГФ, Белград, Р. Србија;
Проф. д-р **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;
Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Верослав Молнар**, БЕРГ Факултет, Технички Универзитет во Кошице, Р. Словачка;
Проф. д-р **Иваило Копрев**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Димитар Анастасов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Павел Павлов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Венцислав Иванов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;
Проф. д-р **Кемал Зекири**, Факултет за геонауки, Митровица, Косово;
д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР:

Претседател:

Проф. д-р **Ѓорги Димов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија.

Потпретседатели:

Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Драган Димитровски**, ДИТИ, Скопје;
Митко Крмзов, Геомин, Струмица.

Генерален секретар:

м-р **Горан Сарафимов**, Рудник “Боров Дол”, Радовиш.

ЧЛЕНОВИ НА ОРГАНИЗАЦИОНИОТ ОДБОР:

Проф. д-р **Радмила Каранакова – Стефановска**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;
м-р **Кирчо Минов**, Рудник “Бучим”, Радовиш;
м-р **Драги Пелтечки**, “Рудплан” ДООЕЛ, Струмица;
м-р **Благоја Георгиевски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Сашо Јовчевски**, Dekra Arbeit, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
м-р **Андреј Кепевски**, Цементарница “Усје”, Скопје;
м-р **Дејан Ивановски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Лазе Атанасов**, ДИТИ, Скопје;
м-р **Дејан Петров**, Геотехника, Штип;
м-р **Горан Стојкоски**, ЗРГИМ, Прилеп;
Триантафилос Триантафилиу, Мермерен комбинат, Прилеп;
Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;
Зоран Костоски, Мармобанко, Прилеп;
Шериф Алиу, ЗРГИМ, Кавадарци;
Антонио Антовски, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;
Ангелчо Заковски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Тони Митевски, Рудник “САСА”, М. Каменица;
Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје;
Александар Стоилков, АД ЕЛЕМ,
Миланчо Дамески, МИСА-МГ, Скопје;
Сашко Дамески, МИСА-МГ, Скопје;
Лазар Пончев, Машинокоп, Кавадарци;
Игор Трајанов, Рудник “Боров Дол”, Радовиш;
Виктор Шотаровски, Метсо минералс, Скопје;
Никола Механциски, “Кнауф”, Дебар;
Пепи Мицев, “Геомин”, Струмица;
Мартин Здравкин, “ТЕТА - КОП”, Велес;
Илија Лозановски, “Теиком Тим”, Битола.

**XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
“ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА
НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ”
- со меѓународно учество –**

14 Октомври 2022, Охрид
Република Северна Македонија

ОРГАНИЗАТОР:

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ
НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА
www.zrgim.org.mk

КООРГАНИЗАТОР:

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
www.ugd.edu.mk



ЗРГИМ

XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

**Охрид
14 ÷ 16. 10. 2022 год.**

ПРЕДГОВОР

Меѓународното стручно советување за подземната експлоатација на минералните сировини (ПОДЕКС), за првпат се одржа на 06.12.2007 год. во Пробиштип во организација на Сојузот на Рударските и Геолошките Инженери на Македонија (СРГИМ).

Од 2012 година советувањето е проширено со трудови од површинската експлоатација на минерални сировини и е именувано како ПОДЕКС-ПОВЕКС.

Стручното советување, на тема: технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини, традиционално се одржуваше секоја година во месец ноември. По пауза од три години, поради пандемијата од COVID-19, од оваа година започнува со одржување во октомври. На ова советување земаат учество голем број на стручни лица од: рударската индустрија, универзитетите, научно - истражувачките и проектантските организации, производителите на опрема и др.

На досегашните дванаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 и 2019 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 337 стручни трудови.

За ова тринаесетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '22) пријавени се 29 труда, на автори од 3 држави.

Големиот број на трудови од домашните автори произлезе како резултат на научно-истражувачката работа реализирана на високообразовните институции во Р. С. Македонија. Меѓутоа, посебно не радува учеството на автори од непосредното рударско производство, кои што презентираат постигнати резултати во рударската пракса.

Се надеваме дека традицијата за собирање на сите специјалисти од областа на подземната и површинската експлоатација на минералните сировини, ќе продолжи и дека во идниот период ова советување ќе прерасне во меѓународен симпозиум.

Уредници



AMGEM

XIII EXPERT CONFERENCE THEMED:

“Technology of underground and surface mining of mineral raw materials”

PODEKS - POVEKS '22

**Ohrid
14 ÷ 16. 10. 2022.**

FOREWORD

The International expert conference on underground mining of mineral raw materials (PODEKS), organized by the Association of Mining and Geology Engineers of Macedonia (AMGEM), was first held on 06.12.2007 in Probishtip.

Since 2012, in this counseling, surface exploitation of mineral resources is included too, and it is called PODEKS-POVEKS.

This expert conference called: Technology of underground and surface mining of mineral raw materials, traditionally, was been organized annually during November. After a three-year hiatus, due to the COVID-19 pandemic, this year it starts taking place in October. A number of experts from the mining industry, universities, research institutions, planning companies, and equipment manufacturing companies participate in this conference.

Many authors from 12 countries participated in the previous twelve conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019) presenting 337 expert papers.

Twenty-nine authors from 3 countries have registered their expert papers for the XIIIth conference (PODEKS - POVEKS '22).

The large number of expert papers from the domestic authors has emerged as a result of the research work carried out at the higher education institutions in the Republic of North Macedonia. We are particularly delighted by the participation of the authors involved in the immediate mining production who will be presenting the achieved results in the mining practice.

We hope that the tradition of gathering of all specialists from the field of underground and surface mining of mineral raw materials will continue and that this conference will grow up to an international conference in the future.

The Editors



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Македонија

XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

**Технологија на подземна и површинска експлоатација
на минерални сировини**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

**Охрид
14 ÷ 16. 10. 2022 год.**

СОДРЖИНА

HOVERMAP & SIROVISION – USE OF NOVEL TECHNOLOGIES FOR REMOTE AND AUTONOMY MAPPING AND ANALYSIS * Lyudmila Moskovska.....	1
МОРФОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА АЛУВИЈАЛНО ЗЛАТО КАКО КРИТЕРИУМ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА НЕГОВОТО ПРИМАРНО ПОТЕКЛОТО * Виолета Стефанова, Виолета Стојанова, Гоше Петров.....	11
ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ ПРИ ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА НА ТЕХНИЧКИ ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски.....	17
КВАЛИТАТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕРМЕРИТЕ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ЦРКОВНИ РИД (ВАРДАРСКА ЗОНА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА) КАКО ОСНОВА ЗА НИВНА УПОТРЕБА КАКО ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Спасовски, Благица Донева.....	27
МОЖНОСТИ ЗА ДОИСТРАЖУВАЊЕ НА ЈАГЛЕНОВО НАОЃАЛИШТЕ ЖИВОЈНО * Бојан Ивановски, Александар Стоилков, Благојче Митревски, Симона Ивановски, Ласте Ивановски.....	35
НАОЃАЛИШТА НА БЕНТОНИТСКИ ГЛИНИ, ЕКСПЛОАТАЦИЈА И НИВНА ПРИМЕНА ВО ИСТРАЖНОТО ДУПЧЕЊЕ * Ласте Ивановски, Ванчо Ангелов, Орце Петковски, Бојан Ивановски.....	42
ХИДРОГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОГНОЗЕН МОДЕЛ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ ЗДРАВЕВЦИ, КРАТОВСКО * Орце Спасовски, Благица Донева.....	51
ГЕОЛОГИЈАТА НА МАРС * Иван Боев, Елида Лецај	60

ПРИМЕНА НА ГЕОФИЗИЧКИТЕ МЕТОДИ ВО РУДАРСТВОТО * Благица Донева, Марјан Делипетрев, Ѓорги Димов, Ристо Поповски.....	75
ПРИМЕНА НА МЕТОДИ ЗА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дејан Мираковски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева, Ванчо Гоцевски.....	82
ЗАПОЧНУВАЊЕ СО ИЗРАБОТКА НА ГЛАВЕН ТРАНСПОРТЕН И СЕРВИСЕН НИСКОП ОД ПОВРШИНАТА ДО ХОРИЗОНТ 750 ВО РУДНИКОТ ЗА ОЛОВО И ЦИНК “САСА” * Дејан Ивановски, Борче Гоцевски, Стојанче Мијалковски, Чедо Ристовски, Тони Митевски, Цеце Стојчев, Сашко Цветковски.....	89
МОДИФИЦИРАНА ПОДГРАДНА МЕТОДА СО ЗАШТИТЕН ЧАДОР, СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ГЛАВЕН НИСКОП, РУДНИК „САСА“ * Николинка Донева, Зоран Десподов, Стојанче Мијалковски, Дејан Ивановски, Афродита Зенделска, Марија Хаџи-Николова.....	98
ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКОПУВАЊЕ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ ВО ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ ЗА МЕТАЛИ ВО МАКЕДОНИЈА * Зоран Десподов, Сојанче Мијалковски.....	106
ПРЕДВИДУВАЊЕ НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ * Илија Дамбов.....	118
ФРАГМЕНТАЦИЈА НА КАРПИ – МОДЕЛИРАЊЕ НА ПРОЦЕНКА ПРЕД И ПО МИНИРАЊЕ * Зоран Панов, Лазо Пекевски, Радмила Каранакова Стефанова, Ристо Поповски.....	129
АНАЛИЗА НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ * Ристо Дамбов, Илија Дамбов, Јован Лотески.....	138
ТЕХНОЛОГИЈА НА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТРАВЕРТИНСКИ БЛОКОВИ ВО РУДНИКОТ ГОЛУБОВА ПЕШТЕРА С. БЕШИШТЕ – ПРИЛЕП * Ристо Дамбов, Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Костоски, Илија Дамбов, Магдалена Костоска.....	150
СЕИЗМИЧКИ ЕФЕКТИ ПРИ МИНИРАЊЕ НА ПК „ТРОЈАЦИ“, ПЛЕТВАР, ПРИЛЕП * Јован Лотески, Ристо Дамбов, Илија Дамбов.....	161
ИЗРАБОТКА НА КОНТУРНИ МИНСКИ ДУПНАТИНИ НА ЕКСПРЕСНИОТ ПАТ ГРАДСКО - ПРИЛЕП, ПОДДЕЛНИЦА ДРЕНОВО - ФАРИШ * Миле Стефанов, Зоран Ужевски, Пепи Мицев.....	173
A STOCHASTIC APPROACH FOR DETERMINING A SUSTAINABLE CUTTING PATTERN FOR IRREGULARLY SHAPED STONE BLOCKS * Dimitar Kaykov, Ljupcho Dimitrov.....	183

AN INTRODUCTION ON ASSESSMENT OF THE LIGNITE PRICE- CASE STUDY KOSOVO'S LIGNITE * Kemajl Zeqiri, Naser Peci.....	194
НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ МЕТОДИ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЈАГЛЕНИ * Александар Стоилков, Пеце Муртановски, Маја Јованова, Сашо Цветковски, Миле Арсовски.....	200
РАБОТНИ УСЛОВИ ПРИ ПРОЦЕСОТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	207
ТЕХНИЧКИ ПРЕГЛЕД НА ОПРЕМАТА КОЈА СЕ КОРИСТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНА СУРОВИНА * Игор Максимов.....	219
ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ И ОДЛАГАЊЕ НА ЈАЛОВИНАТА НА ЈАЛОВИШТЕ 2 – ТОРАНИЦА * Благој Голомеов, Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска, Стојанче Мијалковски.....	226
МОНИТОРИНГ НА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА МУЛТИСПЕКТРАЛНО ДАЛЕЧИНСКО НАБЉУДУВАЊЕ * Ванчо Аџиски, Стојанче Мијалковски.....	235
ОТСТРАНУВАЊЕ НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ОД КИСЕЛА РУНИЧКА ДРЕНАЖА СО НЕУТРАЛИЗАЦИЈА * Афродита Зенделска, Адријана Трајанова, Мирјана Голомеова, Благој Голомеов, Дејан Мираковски, Николинка Донева, Марија Хаџи-Николова.....	247
ВКЛУЧУВАЊЕТО И УЧЕСТВОТО НА ВРАБОТЕНИТЕ КАКО ЗНАЧАЕН ФАКТОР ЗА КОНТИНУИРАНО ПОДОБРУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСТА И ЗДРАВЈЕТО ПРИ РАБОТА * Анкица Илијева Стошиќ.....	256
СЕИЗМИЧНОСТ НА РЕГИОНОТ ШТИП-РАДОВИШ ВО ПЕРИОДОТ ОД 2000 ГОДИНА ДО 2021 ГОДИНА * Јасмина Најдовска, Катерина Дрогрешка, Ивана Молеровиќ, Моника Андреевска, Марјан Делипетрев, Драгана Черних Анастасовска, Љубчо Јованов.....	267



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIII TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

ОТСТРАНУВАЊЕ НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ОД КИСЕЛА РУНИЧКА ДРЕНАЖА СО НЕУТРАЛИЗАЦИЈА

**Афродита Зенделска¹, Адријана Трајанова², Мирјана Голомеова¹,
Благој Голомеов¹, Дејан Мираковски¹, Николинка Донева¹,
Марија Хаџи-Николова¹**

¹Факултет за природни и технички науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип,
Република Северна Македонија

²Рудник Бучим, Радовиш, Република Северна Македонија

Апстракт: Неколку неутрализирачки агенси, вклучувајќи $BaCO_3$, Na_2CO_3 , $NaOH$, KOH , K_2CO_3 , MgO , $CaCO_3$ и $Ba(OH)_2$, се испитувани во оваа студија со цел да се отстранат тешките метали од кисели руднички дренажи. Експериментите се изведувани во лабораториски услови користејќи повеќекомпонентен синтетички воден раствор со иста почетна концентрација (10 mg/l) на секој јон (Cu, Mn, Zn, Fe и Pb) и почетна pH вредност од 1,90. Споредбата на испитуваните неутрализирачки агенси за отстранување на тешки метали од водени раствори покажа дека најефикасниот неутрализирачки агенс е MgO , додека најмала ефикасност се добива со Na_2CO_3 .

Процентот на тешки метали отстранети од водените раствори се зголемува заедно со зголемувањето на pH вредноста. Најголемо отстранување има при pH 12 за сите испитувани тешки метали и речиси 80-82% се отстранети Pb, Fe и Cu, додека Zn и Mn се отстранети скоро 74%.

Клучни зборови: неутрализирачки агенс, бакар, цинк, олово, манган, железо, варовник, хидратна вар, водени раствори.

USE OF NEUTRALIZING AGENS IN THE REMOVAL OF HEAVY METALS FROM ACID MINE DRAINAGE

**Afrodita Zendelska¹, Adrijana Trajanova², Mirjana Golomeova¹,
Blagoj Golomeov¹, Dejan Mirakovski¹, Nikolinka Doneva¹,
Marija Hadzi-Nikolova¹**

¹Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Shtip, Republic of
North Macedonia

²Bucim mine, Radovish, Republic of North Macedonia

Abstract: Several neutralizing agents, including $BaCO_3$, Na_2CO_3 , $NaOH$, KOH , K_2CO_3 , MgO , $CaCO_3$ and $Ba(OH)_2$, are explored in this study in order to remove heavy metals from acid mine drainage. The experiments are performed in laboratory conditions using multi-component synthetic aqueous solution with same initial concentration (10 mg/l) of each ion, such as Cu, Mn, Zn, Fe and Pb and initial pH value of 1.9. Comparison of studied neutralizing agents for heavy metals removal from aqueous solutions shown that the most effective neutralizing agent is MgO , while the lowest efficiency is obtained with

Na₂CO₃. The percentage of heavy metals removed from aqueous solutions increases along with rising pH values. The highest removal is obtained at pH 12 for all studied heavy metals and almost 80-82% removed of Pb, Fe and Cu, while almost 74% of Zn and Mn.

Keywords: *neutralizing agent, copper, lead, zinc, iron, soda ash, caustic soda, limestone, hydrated lime.*

1. ВОВЕД

Значителна количина на минерални наоѓалишта кои содржат пирит, сфалерит, галенит или други сулфидни минерали кои се наоѓаат во слоевите на карпите под површината на земјата, каде што има малку или нема кислород со радарски активности се изложуваат на површински услови односно воздух и вода кои ќе помогнат во оксидацијата на сулфидните минерали за да се добие кисела рудничка дренажа [1].

Пиритот е познат како главен извор на кисели руднички дренажи, поради неговото изобилство во животната средина [2] но постојат и другите метали кои вообичаено се наоѓаат во киселата рудничка дренажа, како што се алуминиум, бакар, олово, никел, цинк итн, бидејќи тие се присутни во седиментите, рудните наоѓалишта, минерализираните вени и почвите со пирит [3,4].

Киселите руднички дренажи претставуваат едно од најсериозните еколошки прашања поврзани со рударството, преработката на минерали и други големи ископувања низ светот [5,6]. Оксидативното растворање на сулфидните минерали во присуство на вода и кислород доведува до појава на овие кисели води со висока концентрација на растворени метали. Како што се случува процесот на оксидација, киселата вода влегува во интеракција со карпите кои содржат различни минерали и ги раствора токсичните метали [7]. Високата киселост на киселата рудничка дренажа и големите количини на растворени тешки метали, како што се бакар, цинк, манган, железо, арсен, олово итн., генерално ги прават киселите руднички дренажи исклучително токсични за повеќето живи организми [8].

Третманот на рудничките дренажи најчесто се заснова на две основни технологии т.е. технологии за активен третман и технологии за пасивен третман. Главната разлика помеѓу овие технологии е во тоа што системите за активен третман (како што покажува името) бараат постојано одржување на системот, додека системите за пасивни третмани бараат помалку одржување (или без одржување) [9].

Активниот третман е најчестиот метод за третирање на киселата рудничка дренажа, кој вклучува додавање на алкални минерали - неутрализирачки агенси [11] со цел преципитација на металите, адсорпција или јонска измена [12]. Овие методи обично се користат за третирање на кисели руднички дренажи со многу високи нивоа на киселост, но способни се да се прилагодат и на различните геохемиски својства. Сепак, активниот третман е ограничен поради неговата цена и создавање тиња, што го прави неодржлив на долг рок [13]. За споредба, пасивните третмани се сметаат за поисплатливи за употреба кај затворени и напуштен рудници поради стабилната хемија на овие рудници, како и достапното земјиште за системи за санација [14,15].

Без разлика кој процес на третман на кисели руднички дренажи се користи (активен или пасивен), мора да се користи процесот на неутрализација за да се подигне рН вредноста на водата над 7,0 пред истата да се испушти во природните водотеци. Најчесто користени материјали кои создаваат алкалност

се варовник (CaCO_3), хидрирана вар ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), вар (CaO), жива вар (CaO), магнезит (MgCO_3), периклаза (MgO), бруцит ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), летечка пепел, натриум карбонат (Na_2CO_3), каустична сода (NaOH) и амонијак (NH_3) [7,22,23]. Исто така, отпадни нуспроизводи може да се користат како материјал кој што генерира алкалност, како што се отпадоци од лушпи од јајца [16], пепел од дрво [17], фосфатни јалови карпи [18], бетонски агрегат [19] и серпентинит пронајден во рударски јалови карпи кои припаѓаат на серпентинската група на минерали кои се сметаат за богати со алкалност [7].

Главната цел на ова истражување беше да се испита ефикасноста на неутрализирачките агенси, како што се BaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , KOH , K_2CO_3 , MgO , CaCO_3 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ со цел отстранување на тешките метали (Cu , Fe , Mn , Pb и Zn) од повеќекомпонентен синтетички кисел воден раствор и можноста за нивна примена во третман на кисели руднички дренажи. Користењето на неутрализирачки агенси за отстранување на тешки метали од кисели руднички дренажи е испитувано од повеќе автори [25-27], но само неколку студии се спроведени со споредба на ефикасноста на неутрализирачките агенси под исти услови. Токму поради тоа, беа спроведени експерименти за испитување на ефикасноста на неутрализирачките агенси под исти услови, користејќи го најчесто користениот неутрализирачки агенс, како и некои од поретко користените средства.

Општо земено, металите може да се отстранат од киселите дренажи со преципитација и сорпција. Железото преципитира како хидроксид, додека манганот се отстранува со комбинација на оксидација и преципитација. Некои двовалентни метали (на пр. Fe , Zn , Pb) може да се отстранат со преципитација како сулфидни минерали. Сорпција, копреципитација и размена за преципитација на Fe и Mn , органски материјали и материјали слични на почва се дополнителни механизми за отстранување на металите. Сорпцијата на органски материјали е важна за Al и двовалентни преодни метали и Pb , додека сорпцијата за преципитација на Fe и Mn , па дури и на варовничките површини може да придонесе за отстранување на металните во траги [25].

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ

Повеќекомпонентниот синтетички кисел воден раствор со концентрација од 10 mg/l јони на Cu , Mn , Zn , Fe и Pb е подготвен во лабораториски услови, со користење на дестилирана вода и стандардни сертифицирани раствори од Perkin Elmer во форма на нитрати од бакар, железо, манган, цинк и олово. Поради содржината на 2% азотна киселина во стандардните сертифицирани раствори, почетната рН вредност на повеќекомпонентниот синтетички воден раствор е 1,90. За контрола и следење на рН, користен е рН 1000L VWR кој е комбиниран со рН на електрода 221 (есп: 662-1161). Мерењето на концентрацијата на металите е извршено со помош на атомска апсорпциона спектроскопија. Користената инструментална техника е атомски апсорбер AAAnalyst 400 Perkin Elmer. Средствата за неутрализирање подготвени во концентрации од 0,025 mol/l се додаваат со пипета од 10 ml А класа во 100 ml од повеќекомпонентен синтетички воден раствор со употреба на чаша од 300 ml. Неутрализирачкиот агенс се додава континуирано, додавајќи по 10 ml се до постигнување на константна рН вредност во повеќекомпонентниот синтетички воден раствор. Растворот се меша со помош на магнетна мешалка, модел: As One HS-4DC /1-262-01 Starler со батерија. Користените неутрализирачки агенси

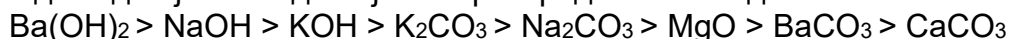
во овие експерименти се: BaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , KOH , K_2CO_3 , MgO , CaCO_3 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

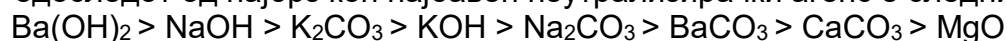
Споредба на ефикасноста на осум различни неутрализирачките агенси за отстранување на тешки метали од кисели руднички дренажи, како што се: BaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , KOH , K_2CO_3 , MgO , CaCO_3 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ е прикажана во овој труд. Експериментите се изведени со употреба на повеќекомпонентен синтетички воден раствор со почетна концентрација од 10 mg/l јони на Cu , Mn , Zn , Fe и Pb и почетна pH вредност од 1,90 и концентрација на неутрализирачки агенс од 0.025 mol/l.

Во табела 1, за секој неутрализирачки агенс посебно, се прикажани резултатите за максимална pH вредност што може да се постигне со секои од испитуваните неутрализатори, како и времето за нејзино постигнување изразено во секунди.

Во однос на постигнување на највисока pH вредност, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ се покажа како неутрализатор со кој се постигнува највисока pH вредност, а CaCO_3 е неутрализатор со кој се постигнува најниска pH вредност на растворот. Редоследот од највисока до најниска pH вредност е следниот:



Додека во однос на брзината на постигнување на максималната pH вредност, кај сите осум неутрализатори тоа е различна. Најбрз беше $\text{Ba}(\text{OH})_2$, додека најбавен MgO . Редоследот од најбрз кон најбавен неутрализирачки агенс е следниот:



Табела 1. Потребно време за постигнување на максимална pH на растворот

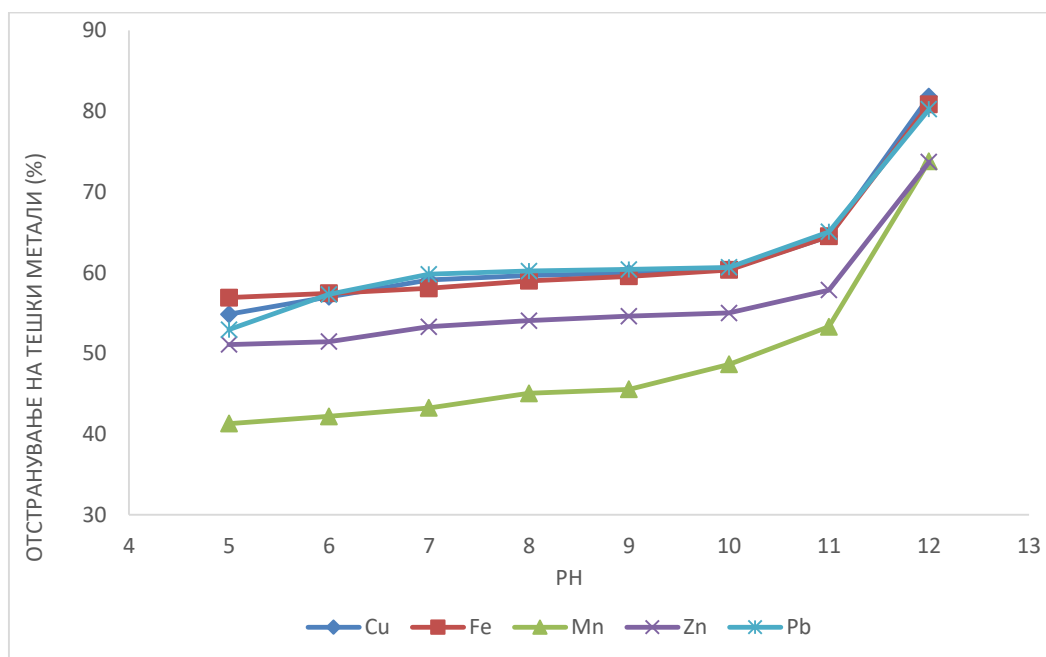
Неутрализирачки агенс	Време потребно за неутрализација (s)	Максимална pH вредност постигната со неутрализација
$\text{Ba}(\text{OH})_2$	387.5	12.15
NaOH	733.5	11.99
K_2CO_3	749.0	10.53
KOH	756.0	11.67
Na_2CO_3	1777.0	10.47
BaCO_3	2128.5	7.34
CaCO_3	2938.5	7.26
MgO	5308.0	9.84

На слика 1 се прикажани резултатите од испитувањето за утврдување на оптимална pH вредност при која се постигнува максимално отстранување на тешки метали од водени раствори. Од прикажаните резултати јасно може да се види дека процентот на отстранети тешки метали се зголемува заедно со зголемувањето на pH вредноста. Овој тренд се прати кај сите испитувани тешки метали. При максимално добиената pH 12, испитуваните метали како што се: Pb , Zn и Cu се отстрануваат речиси 80-82%, додека Zn и Mn се отстрануваат околу 74%.

Добиените резултати во ова истражување не одговараат со оние што се добиени од Jefferey et al (2000). Според нив, потребна за таложење на повеќето метали од водата се движи од pH 6 до 9 (освен Fe^{+3} , кое таложи при pH >3,5) [24]. Fe^{+2} се претвора во цврст синкаво-зелен $\text{Fe}(\text{OH})_2$ при pH >8,5. Во присуство на кислород, Fe^{+2} оксидира до Fe^{+3} , а $\text{Fe}(\text{OH})_3$ формира жолтеникаво-портокалова

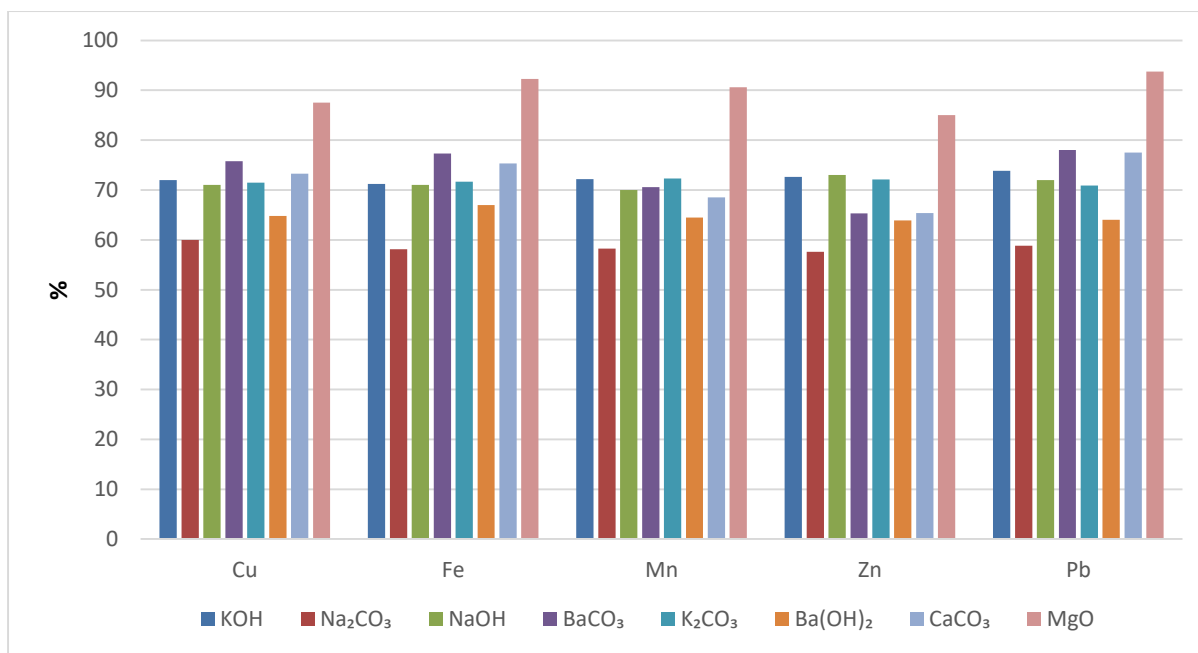
цврста материја (најчесто наречена yellow boy) која таложи на pH >3,5. Во сиромашните со кислород кисели руднички дренажи, каде Fe е првенствено во форма на Fe⁺², мора да се додаде доволно алкалност за да се зголеми pH на растворот до 8,5 пред да се таложи Fe(OH)₂ [24].

Преципитацијата од манган е променливи поради неговите многубројни оксидациски состојби, но генерално се таложи на pH 9,0 - 9,5. Интеракциите меѓу металите, исто така, влијаат на брзината и степенот до кој металите таложат. На пример, преципитацијата на Fe во голема мера ќе го отстранат Mn од водата при pH 8 поради истовременото таложење, но само ако концентрацијата на Fe во водата е многу поголема од содржината на Mn (околу 4 пати повеќе или поголема). Ако односот Fe:Mn е помал од 4, Mn не се отстранува со истовремена преципитација и потребна е pH вредност на растворот >9 за да се отстрани од растворот [24].



Слика 1. pH опсег за таложење на метал со КОН

Бидејќи максималното отстранување на тешките метали се добива со највисока pH вредност, следните експерименти беа спроведени со највисока pH вредност што може да се постигне во согласност со употребениот неутрализирачки агенс. Слика 2 покажува споредба на испитуваните неутрализирачки агенси за отстранување на тешки метали од водени раствори. Според добиените резултати, MgO е најефикасниот неутрализирачки агенс за отстранување на тешки метали од повеќекомпонентни водени раствори, додека Na₂CO₃ има најмала ефикасност.



Слика 2. Споредба на неутрализирачки агенси за отстранување на тешки метали

Според Jefferey et al (2000) [24] NaOH често се користи ако концентрациите на Mn во киселите руднички дренажи се високи, но според резултатите добиени во оваа студија, таложењето на Mn беше поефикасно користејќи MgO, K₂CO₃, KOH и BaCO₃ отколку NaOH.

Во табела 2 е прикажан редоследот на отстранување на металите со неутрализација за секој неутрализирачки агенс поединечно. Овие серии може да помогнат при изборот на неутрализатор во ситуација кога е позната содржината на тешки метали.

Табела 2. Серии на отстранување на тешки метали

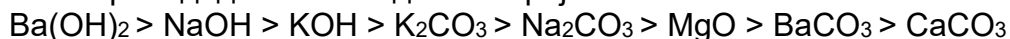
Неутрализирачки агенс	Серија на отстранување на тешки метали со примена на соодветниот неутрализирачки агенс
MgO	Pb > Fe > Mn > Cu > Zn
KOH	Pb > Zn > Mn > Cu > Fe
NaOH	Zn > Pb > Fe > Cu > Mn
Ba(OH) ₂	Fe > Cu > Mn > Pb > Zn
BaCO ₃	Pb > Fe > Cu > Mn > Zn
CaCO ₃	Pb > Fe > Cu > Mn > Zn
K ₂ CO ₃	Mn > Zn > Fe > Cu > Pb
Na ₂ CO ₃	Cu > Pb > Mn > Fe > Zn

Од резултатите прикажани во Табела 2 и Слика 2 јасно може да се заклучи дека секој од испитуваните неутрализирачки агенс различно се однесува во однос на отстранувањето на тешките метали од растворот.

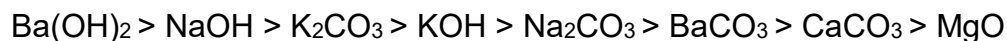
4. ЗАКЛУЧОК

Резултатите од испитуваните осум различни неутрализирачки агенси, како што се: BaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , KOH , K_2CO_3 , MgO , CaCO_3 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$, се споредени со цел добивање на наједикасен неутрализатор за отстранување на тешки метали од кисели руднички дренажи.

Максимална рН вредност што може да се постигне со секои од испитуваните неутрализатори е дадена со следнава серија:



додека брзината на постигнување на максималната рН вредност е дадена во продолжение:



Процентот на тешки метали отстранети од водените раствори се зголемува заедно со зголемувањето на рН вредноста. Највисоко отстранување се добива при рН 12 за сите испитувани тешки метали.

Во однос на отстранувањето на испитуваните тешки метали од повеќекомпонентни водени раствори, MgO е најефикасниот неутрализирачки агенс, додека Na_2CO_3 е со најмала ефикасност.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jenkins, D.A., Johnson, D.B. and Freeman, C. (2000). Mynydd Parys Cu-Pb-Zn mines: mineralogy, microbiology and acid mine drainage. In: Cotter-Howells, J.D., Campbell, L.S., Valsami-Jones, E., Batchelder, M. (editors.) Environmental mineralogy: microbial interactions, anthropogenic influences, contaminated land and waste management. The Mineralogy Society Series no.9. Mineralogical Society, London, UK, 161-180.
- [2] Evangelou, V.P. (1998). Pyrite chemistry: the key for abatement of acid mine drainage. In: Geller, A., Klapper, H., Salomons, W., editors. Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation. Berlin: Springer; 197– 222.
- [3] Motsi, T. (2010). Remediation of acid mine drainage using natural zeolite, Doctoral thesis, United Kingdom: School of Chemical Engineering, The University of Birmingham.
- [4] Huyen, D., Tabelin, C., Thuan, H., Dang, D., Truong, P., Vonghuthone, B., Kobayashi, M. and Igarashi, T. (2019). The solid-phase partitioning of arsenic in unconsolidated sediments of the Mekong Delta, Vietnam and its modes of release under various conditions. *Chemosphere* 233, 512–523.
- [5] Igarashi, T., Herrera, P., Uchiyama, H., Miyamae, H., Iyatomi, N., Hashimoto, K. and Tabelin, C. (2020). The two-step neutralization ferrite-formation process for sustainable acid mine drainage treatment: Removal of copper, zinc and arsenic, and the influence of coexisting ions on ferritization. *Sci. Total Environ.* 715, 136877.
- [6] Skousen, J., Ziemkiewicz, P. and McDonald, L. (2019). Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. *Extr. Ind. Soc.* 6, 241–249.
- [7] Turingan, C.O.A., Singson, G.B., Melchor, B.T., Alorro, R.D., Beltran, A.B. and Orbecido, A.H. (2020). Evaluation of Efficiencies of Locally Available Neutralizing Agents for Passive Treatment of Acid Mine Drainage. *Minerals*, 10, 845. <https://doi.org/10.3390/min10100845>

- [8] Penreath, R.J. (1994). The discharge of waters from active and abandoned mines. In: Hester, R.E. and Harrison, R.M. (editors.) Mining and its environmental impact. Issues in Environmental Science and Technology no. 1. Royal Society of Chemistry, Herts, UK, 121-132.
- [9] Golomeova, M., Zendelska, A., Krstev, B., Golomeov, B. and Krstev, A. (2012) Mine drainage treatment. In: 4th Congress of ecologists of the Republic of Macedonia with international participation, 12-15 Oct 2012, Ohrid, Macedonia.
- [10] Waters J.C., Santomartino S., Cramer M., Murphy N. and Taylor J.R. (2003). Acid rock drainage treatment technologies – identifying appropriate solutions. Proceedings, 6th International Conference on Acid Rock Drainage. 12–18 July, Cairns, Queensland, Australia. 831 843.
- [11] Coulton, R., Bullen, C. and Hallet, C. (2003). The design and optimization of active mine water treatment plants. *Land Contamination and Reclamation*, 11, 273–279.
- [12] Kefeni, K., Msagati, T. and Mamba, B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. *J. Clean. Prod.*
- [13] Park, I., Tabelin, C., Jeon, S., Li, X., Seno, K., Ito, M. and Hiroyoshi, N. (2019). A review of recent strategies for acid mine drainage prevention and mine tailings recycling. *Chemosphere* 219, 588–606.
- [14] Skousen, J.G., Sexstone, A., Ziemkiewicz, P. (2000). Acid mine drainage control and treatment. *Reclam. Drastically Disturb. Lands*.
- [15] Skousen, J. and Ziemkiewicz, P. (2005). Performance of 116 passive treatment systems for acid mine drainage. In Proceedings of the 2005 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Breckenridge, CO, USA, 19–23 June 2005.
- [16] Muliwa, A. and Leswifi, T. (2018). Performance evaluation of eggshell waste material for remediation of acid mine drainage from coal dump leachate. *Miner. Eng.* 122, 241–250.
- [17] Heviánková, S. and Bestová, I. (2014). The application of wood ash as a reagent in acid mine drainage treatment. *Miner. Eng.* 56, 109–111.
- [18] Ouakibi, O. and Hakkou, R. (2014). Phosphate carbonated wastes used as drains for acidic mine drainage passive treatment. *Procedia Eng.* 83, 407–414.
- [19] Kamal, N.M. and Sulaiman, S.K. (2014). Bench-Scale study of acid mine drainage treatment using local neutralisation agents. *Malays. J. Fundam. Appl. Sci.* 10, 150–153.
- [20] Trumm, D. (2010). Selection of active and passive treatment systems for AMD—flow charts for New Zealand conditions, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 53:2-3, 195-210, DOI: 10.1080/00288306.2010.500715
- [21] Loza, N. and Aduvire, O. Acid Mine Drainage Treatment Process Optimization for Manganese Content Reduction by Sequential Neutralization. Available at: <https://www.srk.com/en/publications/acid-mine-drainage-treatment-process-optimization-for-manganese-content-reduction-by-sequential-neut>
- [22] Kapil, N. and Bhattacharyya, K.G. (2017). A comparison of neutralization efficiency of chemicals with respect to acidic Kopili River water, *Appl Water Sci* (2017) 7:2209–2214, DOI 10.1007/s13201-016-0391-6
- [23] Turingan, C., Singson, G., Melchor, B., Alorro, R., Beltran, A. and Orbecido, A. (2020). A comparison of the acid mine drainage (AMD) neutralization potential of low grade nickel laterite and other alkaline generating materials, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 778, doi:10.1088/1757-899X/778/1/012142
- [24] Skousen, J.G. Sexstone, A., and Ziemkiewicz, P.F. (2000). Acid mine drainage control and treatment, Chapter 6. *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*,

- American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation. Volume No. 41. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr41.c6>
- [25] Skousen, J., Zipper, C.E., Rose, A., Ziemkiewicz, P.F., Nairn, R., McDonald, L.M. and Kleinmann R.L. (2017). Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment, *Mine Water Environ* (2017) 36:133–153, DOI 10.1007/s10230-016-0417-1
- [26] Bologo, V., Maree, J.P. and Carlsson, F. (2012). Application of magnesium hydroxide and barium hydroxide for the removal of metals and sulphate from mine water, *Water SA* Vol. 38 No. 1, <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v38i1.4>
- [27] Maila, M.D., Maree, J.P. and Cele, L.M. (2014). Acid mine water neutralisation with ammonium hydroxide and desalination with barium hydroxide, *Water SA* Vol. 40 No. 3, <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v40i3.16>