



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

ВТОРА КОНФЕРЕНЦИЈА ЗА ХИДРОЈАЛОВИШТА

SECOND CONFERENCE ON TAILINGS STORAGE FACILITIES

21.10÷22.10. 2022 год.
21.10÷22.10. 2022

Штип, Р.С. Македонија
Shtip, R.N. Macedonia

ОРГАНИЗАТОР Здружение Македонски комитет за големи брани	ORGANIZED BY Macedonian Committee on Large Dams
Издавач Здружение Македонски комитет за големи брани	PUBLISHED BY Macedonian Committee on Large Dams
ЗА ИЗДАВАЧОТ Проф. д-р Љупчо Петковски Претседател на Здружение Македонски комитет за големи брани	FOR THE PUBLISHER Prof. Ljupcho Petkovski, PhD President of Macedonian Committee on Large Dams
ТЕХНИЧКА ОБРАБОТКА Стевчо Митовски, Фросина Пановска	TECHNICAL PREPARATION BY Stevcho Mitovski, Frosina Panovska
ЛЕКТУРА Тања Стевановска-Цветковска	PROOFREADER Tanja Stevanovska-Cvetkovska
ПЕЧАТЕЊЕ Промедиа - Скопје	PRINTED BY Promedia - Skopje
ТИРАЖ 50 примероци	PRINTING RUN 50 copies
ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНА Хидројаловиште Саса 3-2, поглед од узводна страна	COVER PHOTO Tailings dam Sasa 3-2, view from upstream side

© Сите права се заштитени. Публикацијата не смее да биде преведувана или копирана во целина или во делови без писмена дозвола на издавачот.

© All rights reserved. The publication can not be translated or copied at full or any part of it without written permission from the publisher.

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

627.8:622.7'17(062)

КОНФЕРЕНЦИЈА за хидројаловишта (2 ; 2022 ; Штип)

Втора конференција за хидројаловишта : зборник на трудови :
21.10-22.10.2022 год. Штип, Р.С. Македонија / [уредници Стевчо Митовски,
Фросина Пановска] = Second conference on tailings storage facilities :
proceedings : 21.10-22.10.2022 Shtip, R. N. Macedonia / [editors Stevcho
Mitovski, Frosina Panovska]. - Скопје : Здружение Македонски комитет за
големи брани ; Skopje : Macedonian committee on large dams, 2022. - 142
стр. : илустр. ; 29 см

Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-4953-01-2

а) Хидројаловишта -- Собири
COBISS.MK-ID 58382853

Предговор

Јаловишните брани се хидротехнички конструкции, кај кои при проектирањето и градбата, која се реализира истовремено со користењето на хидројаловиштата, но и во фаза на рекултивација во постексплоатациониот период, до полн израз доаѓа нивниот мултидисциплинарен карактер. Мултидисциплинарноста на хидројаловиштата упатува на фактот дека само со рамноправно учество на експерти по хидротехника, рударство, геотехника и животна средина може да се добие коректно и складно решение за овие комплексни инженерски објекти. Сложеноста на хидројаловиштата произлегува од следните два фактора. Прво, јаловиштата се составени од бројни објекти: иницијална брана, песочна брана, таложно езеро, пулповод, дренажен систем, водопроводници за одведување на избистрена вода и објекти за заштита од надворешни води (осреднети протекувања и поплавни бранови), поради што треба да бидат проверени голем број сигурности: конструкциска (статичка и динамичка), филтрациска, хидролошка, хидраулична, технолошка, еколошка и социолошка. И второ, поради огромниот волумен на таложното езеро, јаловишните брани претставуваат насипни конструкции со највисок потенцијален hazard за опкружувањето. Имено, при евентуално уривање на песочната брана и нагло празнење на таложното езеро, можни се огромни материјални штети и човечки жртви, но и трајна деградација на животната средина во низводната речна долина.

Во Р. С. Македонија постојат четири активни хидројаловишта, за рудниците „Бучим“ и „Боров Дол“ (Радовиш), „Саса“ (М. Каменица), „Злетово“ (Пробиштип) и „Тораница“ (Кр. Паланка), и две пасивни јаловишта на рудниците „Лојане“ (Куманово) и „Југохром“ (Јегуновце). Колку е значајно рударството во Р. С. Македонија најдобро говорат официјалните податоци за домашниот бруто-производ (БДП) во 2011 година, каде што индустријата учествува со 18.0 % во вкупната структура на БДП, а секторот рударство учествува со 1,5 %. Според податоците за додадената вредност од 2010 година, учеството на одделот „производство на метали“ изнесува 9,34 % во вкупното индустриско производство. Затоа, не е тешко да се предвиди дека јаловишните брани, иако се градежни објекти со највисок потенцијален hazard за околината, како во минатото така и во иднината ќе бидат актуелни градби во Македонија. Од тие причини во организација на ЗМКГБ во 2012 година беше успешно организирана и одржана конференција на тема: *Хидројаловиштата во Република Македонија*, односно Прва конференција за хидројаловишта. Независно што проблематиката за јаловишните брани беше застапена во поттеми на манифестациите реализирани од ЗМКГБ во изминатиот период поради нивното исклучително значење и нивната актуелност (истраги, проектирање, градење/користење, оскултација, рекултивација) во последната деценија, беше одлучено да се одржи Втора конференција за хидројаловишта. На тој начин, денешната генерација на хидротехничари, рудари и геотехничари востановува традиција со конференции за хидројаловишта. Засега скромна, но за која сме убедни дека е благородна и дека ќе биде одржана од следните генерации. Воедно, беше одлучено Втората конференција да биде организирана од Здружението „Македонски комитет за големи брани“ (ЗМКГБ или MACOLD), кое претставува еден од главните стожери на хидротехниката во земјава, а во иднина овие конференции да се одржуваат барем еднаш на секои пет години.

ЗМКГБ е експертска, невладина и непрофитна инженерска организација и е член на Меѓународната комисија за големи брани (ICOLD) од 1950 година, како дел од поранешниот YUCOLD. Како независна организација, MACOLD е член на ICOLD од 1994 година и член на Европскиот клуб на ICOLD од 2006 година. Основната мисија на Здружението е преку организација на домашни и меѓународни научни манифестации да обезбеди рамка за размена на искуства и трансфер на знаење на неговите членови, која е неопходна за унапредување на македонската хидротехничка школа. Покрај тоа, ЗМКГБ има важна улога во процесот на проектирање, градење и одржување на големите брани во Р. С. Македонија, преку директно учество на нејзините членови во реализацијата на проектите.

Во минатиот период Здружението се потврди во реализацијата на поголем број научни собири: (1) Советување на тема: Проектирање и изградба на браната „Козјак“ (1999), (2) Прв

конгрес за брани (2004), (3) Советување на тема: Браната „Козјак“ – искуство од изградбата, првото полнење и почетната експлоатација (2005), (4) Втор конгрес за брани (2009), (5) International Workshop "Advanced methods and materials for dam construction", with lecturers from Greece, Switzerland and R. Macedonia (2009), (6) International Symposium "Dams - recent experiences on research, design, construction and service", organized by MACOLD and SLOCOLD (2011), (7) Конференција на тема: Хидројаловиштата во Р. Македонија (2012), (8) Трет конгрес за брани (2013), (9) 10. Советување за водостопанство и хидротехника (2014), (10) Конференција на тема: Состојбата со водостопанската инфраструктура (2015), (11) 11. Советување за водостопанство и хидротехника (2016), (12) Четврт конгрес за брани (2017), (13) Трибина на тема: 80 години од инженерството за брани во Р. Македонија (2018), (14) 12. Советување за водостопанство и хидротехника (2019), (15) Second International Symposium "Water reservoirs – an Active Measure in Adapting to Climate Change", organized by MACOLD and SLOCOLD (2020) и (13) Петти конгрес за брани (2021).

Одлуката за организација на Втората конференција за хидројаловишта беше донесена на седница на претседателството на ЗМКГБ, одржана на 29.3.2022 година, во согласност со Планот на активности на Здружението, усвоен на Годишното собрание на ЗМКГБ, одржано на 23.12.2021 година.

За Втората конференција за хидројаловишта пристигнаа одреден број реферати, од кои 11 беа прифатени од Редакцискиот одбор да бидат отпечатени во зборникот посветен на конференцијата. Рефератите се на македонски јазик (9) и на англиски јазик (2), а се подготвени од експерти од Р. С. Македонија, Канада и од Босна и Херцеговина. Рефератите во зборникот, главно, се подредени според петте теми предвидени за конференцијата и се приспособени според широкиот спектар на проблеми што се третирали во трудовите. Подвлекуваме дека најголемиот број реферати се илустрирани со резултати од истражувања, проектирање, градење и оскултација на јаловишните брани на рудникот „Саса“, кои претставуваат главно обележје на Втората конференција. Затоа, за хидројаловиштата Саса 3-2 и Саса 4, на рудникот „Саса“ од М. Каменица ќе се организира стручна посета, која е традиционална за сите манифестации на ЗМКГБ.

Очекуваме на Втората конференција за хидројаловишта да има успешни презентации и дискусии по рефератите, како и трансфер на знаење меѓу учесниците од хидротехничката и рударската фела, кои припаѓаат на различни сектори, од практика до научноистражувачки центри, односно од проектантски и изведувачки компании до оператори со хидројаловишта. На тој начин ќе се претстави искуството на членовите на MACOLD и на сите инволвирани во инженерството за брани и рударството стекнато при истражување, проектирање, градење, експлоатација и рекултивација на хидројаловишта, одржување и оскултација на јаловишните брани со придружните објекти, што претставува главна цел на конференцијата.

Во моментниот постпандемски период очекуваме манифестацијата, која ќе се одржи во хотелот „Оаза“ во Штип, со почитување на здравствените протоколи, да биде собир за пријатно дружење, нови познанства и неформална размена на мислења за хидротехничката, геотехничката и рударската проблематика.

Ја користам оваа пригода да им се заблагодарам на авторите на рефератите за нивниот вложен труд, и за стручниот и научен придонес во хидротехниката и рударството во Македонија, на членовите на Редакцискиот одбор, кои ги евалвираа пристигнатите трудови, на членовите на Организациониот одбор за нивната пожртвувана работа, како и на спонзорите и на учесниците на настанот. Сите тие, во рамките на своите можности, придонесоа да се одржи овој научен собир и да се состави зборникот посветен на Втората конференција за хидројаловишта, со што знаењето на оваа генерација хидротехничари и рудари ќе остане во трајно наследство на идните генерации во Р. С. Македонија.

Скопје,
октомври 2022 година

Претседател на ЗМКГБ,
проф. д-р Љупчо Петковски

Preface

Tailings dams are hydraulic constructions, where during the design and construction, which is realized simultaneously with the use of the tailings facilities, but also in the reclamation phase in the post-exploitation period, their multidisciplinary character comes to full expression. The multidisciplinary nature of tailings dams points to the fact that only with the equal participation of experts in hydrotechnics, mining, geotechnics and the environment can a correct and harmonious solution be obtained for these complex engineering structures. The complexity of tailings dams stems from the following two factors. First, tailings are composed of numerous structures: initial dam, sand dam, tailings pond, pulp line, drainage system, water mains for the removal of clarified water and structures for protection against external waters (average flow and flood waves), which is why they need to be checked a large number of certainties: structural (static and dynamic), filtration, hydrological, hydraulic, technological, ecological and sociological. And secondly, due to the huge volume of the tailings pond, tailings storage facilities represent embankment structures with the highest potential hazard for the environment. Namely, in the eventual collapse of the sand dam and sudden emptying of the tailings pond, huge material damages and human casualties are at stake, as well as permanent degradation of the environment in the downstream river valley.

In R. N. Macedonia, there are four active tailings storage facilities, for the mines "Buchim" and "Borov Dol" (Radovis), "Sasa" (M. Kamenica), "Zletovo" (Probishtip) and "Toranica" (Kr. Palanka), and two passive tailings on mines "Lojane" (Kumanovo) and "Jugohrom" (Jegunovce). How significant is mining in R. N. Macedonia is best represented by the official data on the gross domestic product (GDP) in 2011, where the industry participates with 18.0% in the total GDP structure, and the mining sector participates with 1.5%. According to the data on added value from 2010, the participation of the department "production of metals" is 9.34% in the total industrial production. Therefore, it is not difficult to predict that tailings dams, although they are construction facilities with the highest potential hazard for the environment, both in the past and in the future will be current constructions in Macedonia. For those reasons, in the organization of MACOLD in 2012, a conference was successfully organized and held on the topic: Tailings dams in the Republic of Macedonia, i.e. the First Conference on Tailings dams. Regardless of the fact that the problem of tailings dams was represented in subtopics of the manifestations realized by MACOLD in the past period due to their exceptional importance and their actuality (investigations, design, construction/use, auscultation, reclamation) in the last decade, it was decided to hold a Second Conference on tailings dams. In this way, today's generation of hydrotechnicians, miners and geotechnicians is establishing a tradition with conferences on tailings facilities. So far, modest, but which we are convinced is noble and will be maintained by the next generations. At the same time, it was decided that the Second Conference will be organized by the Association "Macedonian Committee for Large Dams" (MACOLD), which represents one of the main pillars of hydrotechnics in the country, and in the future these conferences will be held at least once every five years.

MACOLD is an expert, non-governmental and non-profit engineering organization and has been a member of the International Commission on Large Dams (ICOLD) since 1950, as part of the former YUCOLD. As an independent organisation, MACOLD has been a member of ICOLD since 1994 and a member of the European Club of ICOLD since 2006. The main mission of the Association, through the organization of domestic and international scientific events, is to provide a framework for the exchange of experiences and transfer of knowledge to its members, which is necessary for the advancement of the Macedonian hydrotechnical school. In addition, MACOLD has an important role in the process of designing, building and maintaining large dams in R. N. Macedonia, through the direct participation of its members in the realization of the projects.

In the past period, the Association confirmed itself in the realization of a large number of scientific gatherings: (1) Consulting on the topic: Design and construction of the "Kozjak" dam (1999), (2) First congress on dams (2004), (3) Consulting on the topic : "Kozjak" Dam - experience from construction, first filling and initial operation (2005), (4) Second congress on dams (2009), (5) International Workshop "Advanced methods and materials for dam construction", with lecturers from Greece, Switzerland and R. Macedonia (2009), (6) International Symposium "Dams - recent

experiences on research, design, construction and service", organized by MACOLD and SLOCOLD (2011), (7) Conference on the topic: Tailings dams in R. Macedonia (2012), (8) Third congress on dams (2013), (9) 10. Consulting on water management and hydrotechnics (2014), (10) Conference on the topic: The situation with the water management infrastructure (2015), (11) 11. Consulting on Water Management and Hydrotechnics (2016), (12) Fourth Congress on Dams (2017), (13) Tribune on the topic: 80 years of dam engineering in R. Macedonia (2018), (14) 12. Consulting on water management and hydrotechnics (2019), (15) Second International Symposium "Water reservoirs – an Active Measure in Adapting to Climate Change", organized by MACOLD and SLOCOLD (2020) and (13)) Fifth Congress on Dams (2021).

The decision to organize the Second Conference on Hydroponics was made at a session of the presidency of MACOLD, held on 29.3.2022, in accordance with the Plan of Activities of the Association, adopted at the Annual Assembly of MACOLD, held on 23.12.2021.

A certain number of papers were received for the Second Conference on Tailings Storage Facilities, 11 of which were accepted by the Editorial Board to be printed in the proceedings dedicated to the conference. The abstracts are in Macedonian (9) and English (2), and were prepared by experts from R. N. Macedonia, Canada and from Bosnia and Herzegovina. The abstracts in the proceedings are mainly arranged according to the five topics provided for the conference and are adapted according to the wide range of problems treated in the papers. We underline that the largest number of abstracts are illustrated with the results of research, design, construction and auscultation of the tailings dams of the "Sasa" mine, which represent the main feature of the Second Conference. Therefore, for the Sasa 3-2 and Sasa 4 tailings dams, at the "Sasa" mine from M. Kamenica a technical tour will be organized, which is traditional for all manifestations of the MACOLD.

We expect the Second Conference on Tailings Storage Facilities to have successful presentations and discussions after the papers, as well as knowledge transfer between the participants from the hydrotechnical and mining fields, who belong to different sectors, from practice to scientific research centers, i.e. from design and construction companies to operators with tailings dams. In this way, the experience of MACOLD members and all those involved in dam engineering and mining acquired during research, design, construction, exploitation and reclamation of hydro tailings, maintenance and auscultation of tailings dams with associated facilities, will be presented, which is the main objective of the conference.

In the current post-pandemic period, we expect the event, which will be held at the "Oaza" hotel in Shtip, in compliance with health protocols, to be a gathering for pleasant socializing, new acquaintances and an informal exchange of opinions on hydrotechnical, geotechnical and mining issues.

I use this opportunity to thank the authors of the papers for their hard work, and for their professional and scientific contribution to hydrotechnics and mining in Macedonia, to the members of the Editorial Board, who evaluated the submitted papers, to the members of the Organizing Board for their sacrifice work, as well as the sponsors and participants of the event. All of them, within their possibilities, contributed to holding this scientific gathering and compiling the proceedings dedicated to the Second Conference on Tailings Storage Facilities, so that the knowledge of this generation of hydrotechnicians and miners will remain a permanent legacy of future generations in the Republic of N. Macedonia.

Skopje,
October 2022

President of MACOLD,
Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР / ORGANIZING BOARD

Проф. д-р Љупчо Петковски

Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

М-р Славко Милевски

АД Електрани на Република Северна Македонија, ХЕС Црн Дрим

Slavko Milevski, MSc

AD Power Plants of Republic of North Macedonia, HES Crn Drim

Вонр. проф. д-р Стевчо Митовски

Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Stevcho Mitovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Драги Дојчиновски

Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Dragi Dojchinovski, PhD

Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

Игор Николоски

Градежен Институт Македонија АД Скопје, Р.С. Македонија

Igor Nikoloski

Civil Engineering Institute Macedonia AD Skopje, R.N. Macedonia

Д-р Драган Димитриевски

ГЕИНГ Кребс унд Кифер Инт., Скопје, Р.С. Македонија

Dragan Dimitrievski, PhD

GEING Krebs und Kiefer Int., Skopje, R.N. Macedonia

Ѓорѓи Чакаровски

Чакар&Партнерс, Скопје, Р.С. Македонија

Gjorgji Chakarovski

Chakar&Partners, Skopje, R.N. Macedonia

Лидија Зафировска

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Lidija Zafirovska

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Шпресим Ибраими

Институт за земјотресно инженерство и климатски промени, Скопје

Shpresim Ibraimi

Institute for earthquake engineering and climate changes, Skopje

Илија Кондински

ЈП Стрежево – Битола, Р.С. Македонија

Pija Kondinski

JSC Strezhevo – Bitola, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Игор Пешевски

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Igor Peshevski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Здравко Јаковлевски

МГМ Инженеринг, Скопје, Р.С. Македонија

Zdravko Jakovlevski

MGM Inzenering, Skorje, R.N. Macedonia

Даниел Цекон

АДИНГ АД Скопје, Р.С. Македонија

Daniel Cekov

ADING AD Skorje, R.N. Macedonia

Орце Мангаровски

ДГ БЕТОН АД Скопје, Р.С. Македонија

Orce Mangarovski

DG BETON AD Skorje, R.N. Macedonia

Илбер Мирта

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Iber Mirta

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Борче Гоцевски

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Borche Gocevski

SASA Mine, Makedonska Kamenica, R.N. Macedonia

Никола Горгиев

Рудник БУЧИМ Радовиш, Р.С. Македонија

Nikola Gorgiev

BUCHIM Mine Radovish, R.N. Macedonia

Љупчо Георгиевски

Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија

Nikola Gorgiev

BULMAK Mine Radovish, R.N. Macedonia

Блашко Димитров

Комора на овластени архитекти и инженери, Скопје, Р.С. Македонија

Vlashko Dimitrov

Chamber of certified engineers and architects, Skorje, R.N. Macedonia

Љупчо Благоевски

ЈП Злетовица, Пробиштип, Р.С. Македонија

Ljupcho Blagoevski

PE Zletovica, Probishtip, R.N. Macedonia

Методија Граматковски

ЈП Стрежево – Битола, Р.С. Македонија

Methodija Gramatkovski

PE Strezhevo – Bitola, R.N. Macedonia

Панче Иванов

ЈП Лисиче, Р.С. Македонија

Panche Ivanov

PE Lisiche, R.N. Macedonia

Ванчо Ангелов

Геохидро консалтинг – Скопје, Р.С. Македонија

Vancho Angelov

Geohidro konsalting – Skorje, R.N. Macedonia

Добре Тасевски

СИНТЕК Специфик, Р.С. Македонија

Dobre Tasevski

SINTEK Specifik, R.N. Macedonia

Теодор Цоневски

ГТИ, Скопје, Р.С. Македонија

Teodor Conevski

GTI, Skopje, R.N. Macedonia

Снежана Мартулкова

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Snezhana Martulkova

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Александар Сапунџиовски

Министерство за земјоделство, шумарство и водостопанство на Р.С. Македонија

Aleksandar Sapundziovski

Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy of R.N. Macedonia

Јосиф Каевски

ХЕИ Скопје, Р.С. Македонија

Josif Kjaevski

HEI Skopje, R.N. Macedonia

Д-р Станислава Додева

Швајцарска амбасада во Скопје, Р.С. Македонија

Stanislava Dodeva, PhD

Swiss Cooperation Office, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Маријана Лазаревска

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Marijana Lazarevska, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Грозде Алексовски

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Grozde Aleksovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Јован Б. Папиќ

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Jovan B. Papic, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Фросина Пановска

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Frosina Panovska

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

ПОЧЕСЕН ОДБОР / HONORARY BOARD

Љупчо Николовски, Министер

Министерство за земјоделство, шумарство и водостопанство на Р.С. Македонија

Ljupcho Nikolovski, Minister

Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy of R.N. Macedonia

Благоја Бочварски, Министер

Министерство за транспорт и врски на Р.С. Македонија

Blagoja Bochvarski, Minister

Ministry of transport and connections of R.N. Macedonia

Христина Оцаклиеска, Заменик министер

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Hristina Odzaklieska, Deputy minister

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Васко Ковачевски, Генерален директор

АД ЕСМ, Р.С. Македонија

Vasko Kovachevski, CEO

AD ESM, R.N. Macedonia

Љокман Лимани, Главен извршен директор

АД Водостопанство на Р. С. Македонија

Llokman Limani, CEO

AD Vodostopanstvo R.N. Macedonia

Проф. д-р Горан Марковски, Декан

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Goran Markovski, PhD, Dean

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Влатко Шешов, Директор

Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Vlatko Sheshov, PhD, Director

Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

Проф. д-р Дејан Мираковски, Ректор

Универзитет Гоце Делчев, Штип, Р.С. Македонија

Prof. Dejan Mirakovski, PhD, Rector

Goce Delechev University, Shtip R.N. Macedonia

Крис Колбурн, Генерален директор

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Chris Colburn, CEO

SASA Mine, Makedonska Kamernica, R.N. Macedonia

Илија Горанов, Генерален директор

Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија

Pija Goranov, CEO

BULMAK Mine Radovish, R.N. Macedonia

Олег Чусовитин, Генерален директор

Рудник БУЧИМ Радовиш, Р.С. Македонија

Oleg Chusovitin, CEO

BUCHIM Mine Radovish, R.N. Macedonia

Ивица Карапетров, Управител

Рудник Боров дол Радовиш, Р.С. Македонија

Ivica Karapetrov, Manager

Borov dol Mine Radovish, R.N. Macedonia

Проф. д-р Љубомир Танчев

Почесен претседател на ЗМКГБ

Prof. Ljubomir Tanchev, PhD

Honorary president of MACOLD

Илија Андонов - Ченто

Заслужен член на ЗМКГБ

Ilija Andonov – Chento

Honorary member of MACOL

Нестор Ангеловски

Заслужен член на ЗМКГБ

Nestor Angelovski

Honorary member of MACOLD

Проф. Наум Гапковски

Заслужен член на ЗМКГБ

Prof. Naum Gapkovski

Honorary member of MACOLD

Проф. Станислав Миловановиќ

Заслужен член на ЗМКГБ

Prof. Stanislav Milovanovic

Honorary member of MACOLD

Проф. Коста Талаганов

Заслужен член на ЗМКГБ

Prof. Kosta Talaganov

Honorary member of MACOLD

Славчо Михајловски

Заслужен член на ЗМКГБ

Slavcho Mihajlovski

Honorary member of MACOLD

РЕДАКЦИСКИ ОДБОР / EDITORIAL BOARD

Проф. д-р Љупчо Петковски, Претседател на ЗМКГБ

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD, President of MACOLD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Емилија Беднарова, Претседател на Словачкиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Братислава, Словачка

Prof. Emilia Bednarova, PhD, President on Slovak Committee on Large Dams

Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Проф. д-р Хасан Тосун

Факултет за инженерство и архитектура, Универзитет во Османгази, Ескисехир, Турција

Prof. Hasan Tosun, PhD

Faculty of Engineering and Architecture, Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

Проф. д-р Алтан Абдуламит, Претседател на Романскиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Букурешт, Романија

Prof. Altan Abdulamit, PhD, President on Romanian Committee on Large Dams

Technical University in Bucharest, Romania

Проф. д-р Џорџ Дуњас, Претседател за Здружението за големи брани во Грција

Империјал Колеџ Лондон, Англија; Здружение за големи брани во Грција

Prof. George Dounias, PhD, President on Greek Committee of Large Dams

Imperial College of Science and Technology, London, UK; Greek Committee of Large Dams

Доц. д-р Андреј Крижановски

Факултет за градежништво и геодезија, Универзитет во Љубљана, Словенија

Assoc. prof. Andrej Kryžanowski, PhD

Faculty of engineering and geodesy, University in Ljubljana, Slovenia

Проф. д-р Тина Дашиќ

Градежен факултет, Универзитет во Белград, Србија

Prof. Tina Dasic, PhD

Civil Engineering Faculty, University of Belgrade, Serbia

Проф. д-р Димитар Кислиаков, Претседател на Бугарскиот комитет за големи брани

Универзитет по архитектура, градежништво и геодезија, Бугарија

Prof. Dimitar Kisliakov, PhD, President on Bulgarian Committee of Large Dams

University of Architecture, Civil engineering and Geodesy, Bulgaria

Проф. д-р Зекирија Идризи

Универзитет Мајка Тереза, Р.С. Македонија

Prof. Zekirija Idrizi, PhD

Mother Teresa University, R.N. Macedonia

Проф. д-р Благоја Голомеов

Факултет за технички и природни науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип, Р.С. Македонија

Prof. Blagoja Golomeov, PhD

Faculty of technical and natural sciences, University Goce Delchev, Shtip, R.N. Macedonia

Проф. д-р Вилос Илиос

Технички факултет, Универзитет Св. Климент Охридски во Битола, Р.С. Македонија

Prof. Vilos Ilios, PhD

Technical faculty, University Ss Clement of Ohrid, R.N. Macedonia

Одржувањето на **Втората конференција за хидројаловишта** го поддржаа повеќе компании и институции, за што Организациониот одбор на Конгресот срдечно им се заблагодарува. Спонзори на манифестациите оранизирани од ЗМКГБ во 2021 година и заклучно со датумот на печатењето на Зборникот посветен на конференцијата:

1. Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје
2. Саса, М. Каменица
3. Градежен Институт Македонија, Скопје
4. АДИНГ, Скопје
5. Бучим, Радовиш
6. Боров Дол, Радовиш
7. Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија - ИЗИИС, УКИМ, Скопје
8. ГеоХидроКонсалтинг, Скопје
9. Чакар-партнерс, Скопје
10. ДИГИТЕКС, Скопје
11. СТЕНТОН Градба, Битола
12. ГЕИНГ, Скопје
13. ЈП Стрежево, Битола
14. БУЛМАК, Пробиштип
15. Хидроконсулт, Скопје
16. ХЕИ, Скопје
17. Институт за земјотресно инженерство и климатски промени, Скопје
18. ГеоМап Дизајн, Скопје
19. Државен инспекторат за животна средина, Скопје
20. ЈП Студенчица, Кичево
21. АД ЕСМ, ХЕС Црн Дрим, Струга
22. АД ЕСМ, ХЕС Маврово, Гостивар
23. ЈП Лисиче, Велес
24. ЈП Водовод, Куманово
25. АД Водостопанство на Р. Македонија, Скопје
26. ЈП Злетовица, Пробиштип
27. Факултет за природни и технички науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип

The organization of the **Second conference on tailings storage facilities** was supported by number of companies and institutions, for what the conference Organizing Board expresses sincere gratitude. Supporters of MACOLD events for 2021 and till the date of conference Proceedings print:

1. Faculty of Civil Engineering, SCMU, Skopje
2. Sasa, M. Kamenica
3. Civil Engineering Institute "Macedonia" CEIM, Skopje
4. ADING AD, Skopje
5. Buchim, Radovish
6. Borov Dol, Radovish
7. Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology - IZIIS, SCMU, Skopje
8. GeoHydroKonsalting - GHK, Skopje
9. Chakar&Partners, Skopje
10. DIGITEX, Skopje
11. STENTON Gradba, Bitola
12. Geing, Skopje
13. PE HS Strezhevo, Bitola
14. BULMAK, Probishtip
15. HydroKonsult, Skopje
16. HydroEnergoInzenering - HEI, Skopje
17. Institute for earthquake engineering and climate changes, Skopje
18. GeoMap Design, Skopje
19. State Inspectorate for Environment, Skopje
20. PE Studenchica, Kichevo
21. AD ESM, HPP Crn Drim, Struga
22. AD ESM, HPP Mavrovo, Gostivar
23. PE Lisiche, Veles
24. PE Water supply, Kumanovo
25. AD Water economy of RN Macedonia, Skopje
26. PE HS Zletovica, Probishtip
27. Faculty of natural and technical sciences, Goce Delchev University, Shtip

СОДРЖИНА

1	ОСВРТ ВРЗ ПОВРЕДЛИВОСТА И УПРАВУВАЊЕТО СО ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ Ана Наневска, Виолета Мирчевска, Мирослав Настев	<u>1</u>
2	ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА ИЗГРАДБА НА ЈАЛОВИШТЕ БР. 2 ТОРАНИЦА – ТЕХНОЛОШКИ АСПЕКТИ Благој Голомеов, Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска	<u>11</u>
3	КОНЦЕПЦИСКО РЕШЕНИЕ ЗА НОВ ХИДРОЈАЗЕЛ НА ЈАЛОВИШТЕ, ДЕЛ ОД КАСКАДЕН СИСТЕМ СО ПОСТОЈНО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ Стевчо Митовски, Љупчо Петковски, Фросина Пановска	<u>21</u>
4	ЈАЛОВИШНИ БРАНИ – СПОРЕДБА НА ДВА МЕТОДИ ЗА СЕИЗМИЧКА СТАБИЛНОСТ НА КОСИНИ Виолета Мирчевска, Ана Наневска, Мирослав Настев	<u>33</u>
5	НАДГРАДБА НА ПОСТОЈНИ ТАЛОЖНИ ЕЗЕРА – ОБЈЕКТИ СО НАЈВИСОК РИЗИК ЗА СТАБИЛНОСТА НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ Љупчо Петковски, Стевчо Митовски, Фросина Пановска	<u>43</u>
6	АСПЕКТИ ЗА ЕВАЛУАЦИЈА НА СЕИЗМИЧКА СТАБИЛНОСТ НА ЈАЛОВИШНИ БРАНИ Ана Наневска, Виолета Мирчевска	<u>57</u>
7	ПОЧЕТНАТА ФАЗА НА КОРИСТЕЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА – КРИТИЧНА ЗА СТАБИЛНОСТА НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ Љупчо Петковски, Стевчо Митовски, Фросина Пановска	<u>67</u>
8	ТЕХНИКИ ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТА Николинка Донева, Марија Хаци-Николова, Дејан Мираковски, Благој Голомеов, Афродита Зенделска	<u>77</u>
9	ТЕХНИЧКО НАБЉУДУВАЊЕ – ОСКУЛТАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО „СКРДОВО“ КАЈ ПРОБИШТИП Ласте Ивановски, Ванчо Ангелов, Орце Петковски, Борислав Ѓошевски	<u>87</u>
10	СЕИЗМИЧКИ МОНИТОРИНГ НА ЈАЛОВИШНИ БРАНИ Марта Стојмановска, Драги Дојчиновски, Игор Ѓорѓиев, Марина Попоска, Горан Чапрагоски, Ирена Ѓорѓеска, Стево Савиќ, Татјана Шаренац, Маја Станојевиќ, Борис Илиќ, Синиша Новичиќ	<u>95</u>
11	ИСКУСТВА ОД ГЕОТЕХНИЧКО И ГЕОДЕТСКО НАБЉУДУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО ТОПОЛНИЦА ВО ПЕРИОД ОД 2016 - 2021 Игор Пешевски, Златко Богдановски, Јован Бр. Папиќ, Сеад Абази	<u>103</u>

CONTENT

1	CONVENTIONAL TAILINGS DAM MANAGEMENT PRACTICES IN VIEW OF RECENT FAILURES	<u>1</u>
	Ana Nanevska, Violeta Mircevska, Miroslav Nastev	
2	CONCEPTUAL SOLUTION FOR THE CONSTRUCTION OF A LANDFILL NO. 2 TORANICA – TECHNOLOGICAL ASPECTS	<u>11</u>
	Blagoj Golomeov, Mirjana Golomeova, Afrodita Zendelska	
3	CONCEPTUAL SOLUTION OF NEW HYDRAULIC SCHEME FOR TAILINGS DAM, PART OF CASCADE SYSTEM WITH EXISTING TAILINGS STORAGE FACILITY	<u>21</u>
	Stevcho Mitovski, Ljupcho Petkovski, Frosina Panovska	
4	TAILINGS DAMS - COMPARISON OF TWO SEISMIC SLOPE STABILITY METHODS	<u>33</u>
	Violeta Mircevska, Ana Nanevska, Miroslav Nastev	
5	UPGRADE OF EXISTING TAILINGS PONDS – STRUCTURES WITH HIGHEST STABILITY RISK ON TAILINGS DAMS	<u>43</u>
	Ljupcho Petkovski, Stevcho Mitovski, Frosina Panovska	
6	ASPECTS FOR EVALUATING THE SEISMIC STABILITY OF TAILINGS DAMS	<u>57</u>
	Ana Nanevska, Violeta Mircevska	
7	THE STARTING PHASE OF USE OF TAILINGS DAMS STORAGE FACILITIES – CRITICAL FOR THE STABILITY OF TAILINGS DAMS	<u>67</u>
	Ljupcho Petkovski, Stevcho Mitovski, Frosina Panovska	
8	TECHNICS FOR TAILINGS DAM RECULTIVATION	<u>77</u>
	Nikolinka Doneva, Blagoj Golomeov, Dejan Mirakovski, Marija Hadzi-Nikolova, Afrodita Zendelska	
9	TECHNICAL OBSERVATION - MONITORING OF TAILING DAM “SKRDOVO” IN PROBISHTIP	<u>87</u>
	Laste Ivanovski, Vanco Angelov, Orce Petkovski, Borislav Gjoshevski	
10	SEISMIC MONITORING OF TAILING DAMS	<u>95</u>
	Marta Stojmanovska, Dragi Dojchinovski, Igor Gjorgjiev, Marina Poposka, Goran Chapragoski, Irena Gjorgjeska, Stevo Savic, Tatjana Sharenac, Maja Stanojevic, Boris Ilic, Sinisa Novicic	
11	EXPERIENCES FROM GEOTECHNICAL AND GEODETIC MONITORING OF THE TAILING DAM TOPOLNICA IN THE PERIOD 2016-2021	<u>103</u>
	Igor Peševski, Zlatko Bogdanovski, Jovan Br. Papić, Sead Abazi	



ТЕХНИКИ ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТА

Николинка Донева¹, Благој Голомеов¹, Дејан Мираковски¹, Марија Хаџи-Николова¹, Афродита Зенделска¹

Резиме

Хидројаловиштата како значајни хидротехнички објекти постојано се предмет на анализа, со цел утврдување соодветни техники на нивно покривање и рекултивација. Тешко е да се обезбедат општи процедури за покривање и рекултивација на хидројаловиштата, а при тоа да се постигнат целите и барањата врз основа на направена процена заснована на низа критериуми, вклучувајќи ги карактеристиките на хидројаловината и материјалот за покривање, хидролошките и почвените услови на локацијата, како и барањата за идна употреба на земјиштето.

Во овој труд се прикажани можните техники на покривање со природни и вештачки материјали со прифатливи карактеристики

и рекултивација со соодветни растителни видови на примерот на хидројаловиште „Скрдово“, рудник „Злетово“.

Клучни зборови: хидротехнички објекти, локација, материјал за покривање

TECHNICS FOR TAILINGS DAM RECULTIVATION

Nikolinka Doneva¹, Blagoj Golomeov¹, Dejan Mirakovski¹, Marija Hadzi-Nikolova¹, Afrodita Zendelska¹

Summary

Tailings dam as important hydrotechnical objects are constantly subject to analysis, in order to determination appropriate techniques for their coverage and recultivation. It is difficult to provide general procedures for coverage and recultivation of tailings dam, while achieving goals and requirements based on an assessment based on a range of criteria, including characteristics of the tailings and covering material, hydrological and soil conditions of the site, as well as the requirements for future land use.

This paper shows the possible techniques of covering with natural and geosynthetic materials with acceptable characteristics and recultivation with appropriate plant species on the example of the Skrdovo tailing dam on Zletovo mine.

Key words: hydrotechnical structures, location, covering material

¹ Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип, Факултет за природни и технички науки

blagoj.golomeov@ugd.edu.mk; nikolinka.doneva@ugd.edu.mk; dejan.mirakovski@ugd.edu.mk; marija.hadzi-nikolova@ugd.edu.mk; afrodita.zendelska@ugd.edu.mk

1. ВОВЕД

Тешко е да се обезбедат општи упатства за процедури за покривање при управување со објектите за сместување на хидројаловината. Поставените цели и барања треба да се постигнат со направена процена заснована на низа критериуми, вклучувајќи ги и природата на хидројаловината, материјалот за покривање, хидролошките и почвените карактеристики на локацијата за рехабилитација, барањата за идна употреба на земјиштето, како и какви било технички тешкотии што може да се појави, а се поврзани со локацијата и достапноста на соодветен материјал за покривање. Во зависност од горенаведените специфични карактеристики на локацијата, цели на програмата за покривање би биле [1]:

- да се спречи аблација на ветровите на хидројаловиштата, а оттука и пренос на загадувачите низ воздухот во околината;
- да се обезбеди локацијата да остане инертна на долг рок;
- да се спречи или минимизира формирањето кисели руднички дренажи, преку исклучување на пристапот на кислородот во хидројаловината;
- да се спречи истекување метални и други загадувачи од хидројаловината преку спречување на инфилтрацијата на водата од одложените материјали;
- да се промовира воспоставување одржлив екосистем во хармонија со околното опкружување.

Природата на хидројаловината и матичните карпи во рудникот значително се разликуваат во зависност од минералните сировини што се ископуваат во рудникот. Следствено на тоа, се разликуваат и условите и барањата за покривање, па затоа е важно да се одредат својствата на материјалот што треба да се покрие, со цел да се проценат потенцијалните влијанија врз животната средина и ризиците поврзани со материјалот, пред да се донесе одлука за спроведување одредена стратегија [2].

Исто така, важно да е се оценат експлоатацијата и транспортот на материјалот за покривање до локацијата што ќе се рекултивира бидејќи оваа фаза може сама по себе да има значително влијание врз околината. Во многу случаи, разумно решение, финансиски и во смисла на минимално влијание врз животната средина, е привремено складирање на откритка и друг материјал во непосредна близина до рудникот на начин што ќе овозможи нивно подоцнежено искористување. На слика 1 е даден дијаграм којшто го прикажува процесот на дизајнирање и спроведување на програмата за покривање [2].

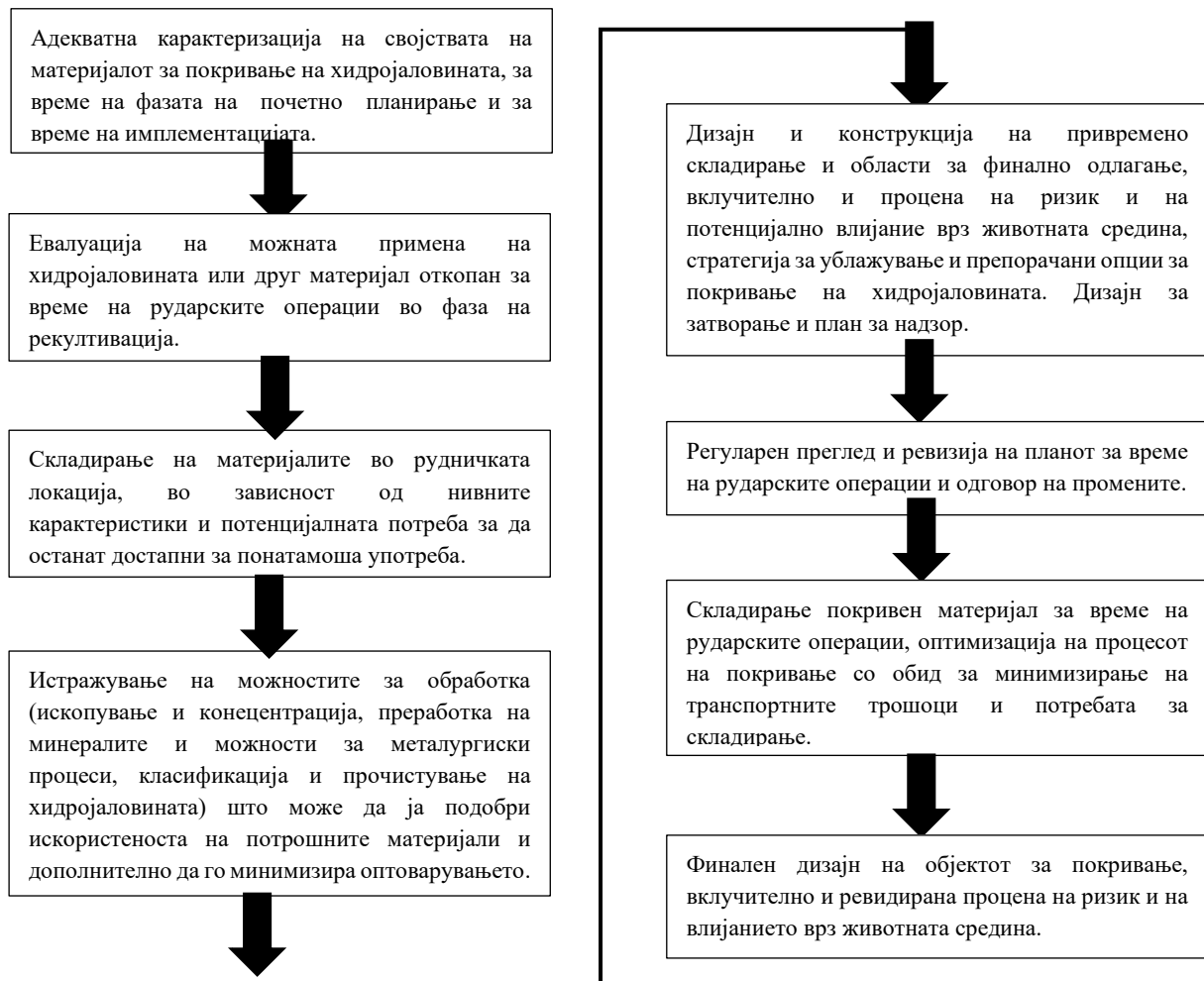
При подготовка на специфични програми за рекултивација, исто така, треба да ѝ се даде приоритет на усогласеноста со законските прописи [3].

2. НАЧИНИ ЗА ИЗОЛИРАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТА

Во суштина, постојат два начина за изолирање на хидројаловината: поставување слој над површината од истата (сув покривен слој) и нејзино покривање со вода. Исто така, можна е и варијантата хидројаловината да се остави непокриена [2].

2.1. МОЖНОСТИ ЗА ОСТАВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО НЕПОКРИЕНО

Наједноставната постапка е по затворање на рудникот хидројаловиштето да се остави непокриено. Тоа може да биде прифатливо само ако може да се докаже дека управувањето со хидројаловиштето е стабилно и истото не претставува здравствен или безбедносен ризик за луѓето или животот свет преку загадување на подземните води или аблација на прашина. Сепак, потребно е да се преземат долгорочни мерки против можноста за ерозија, со воспоставување вегетација или контролирање на протокот на вода низ областа.



Слика 1. Проектирање на покривањето на областите од хидројаловишта

2.2. СУВ ПОКРИВЕН СЛОЈ

Покривање на хидројаловиштето со сув слој на откривка е ефикасен начин за ублажување на создавањето прав, инфилтрација на вода и дифузија на кислород. Во исто време, овој пристап генерално обезбедува подобрување на условите за раст на растенијата, го намалува ризикот од ерозија и може да се интегрира со реставрација на пределот [4]. Пред да се покрие, вообичаено е да се изврши исцедување на водата од хидројаловиштето и да се овозможи консолидација на хидројаловината. Во некои случаи е потребна привремена мерка за покривање во оваа фаза за да се спречи аблација на прав. Исто така, потребно е справување со потенцијална ерозија и собирање на површинската вода во објектите за управување, со проектирање косини со соодветен агол на пад и користење бразди и канали за зафаќање и пренасочување на водата [3]. Дебелината, структурата и својствата на покривниот слој ќе се утврдат според природата на јаловината и другите карактеристики на локацијата, вклучително и локалната водена површина и достапност и пристап до извори на материјал, при што сите темелно треба да се земат предвид. Ако материјалот што треба да се покрие е реактивен или создава кисел исцедок и намерата е да се изолира хидројаловината од дифузија на кислород и инфилтрација на вода, треба да се испитаат внимателно следниве карактеристики [5]:

- Потенцијалот за интеракција помеѓу атмосферата и хидројаловината, на пример преку растителен коренов систем или нарушување на интегритетот на површината со слегнување или некој друг механизам.

- Можноста сезонската температура и флукуациите кај врнежите од дожд да предизвикаат мрзнење или суво пукање и со тоа да влијаат врз ефективоста на слојот за покривање.
- Исто така, треба да се преземат мерки за ублажување на ефектот на ерозијата, земајќи ги предвид екстремните и неверојатни настани, како што се поплавување или замрзнување и блокирање на дренажната мрежа.

Ризикот од прекумерно создавање киселина може да се реши со регулирање на рН вредноста на материјалот што треба да се покрие со додавање суровина што создава алкална средина, како на пример, вар, кршен варовник или летечка пепел, пред да се покрие.

Наједноставен метод за покривање е распостилање на материјалот за покривање без обид за набивање или консолидација. Ова е соодветно во ситуации кога нема потреба да се спречи навлегувањето на водата во покривниот материјал. Ако материјалот за покривање е суштински релативно непропустлив, тогаш е можно да се направи ефикасна непропустлива бариера со ширење и набивање на два или повеќе слоја. Дифузија на кислород може да се реши со дизајнирање на таков системот што водената површина лежи во покривниот слој, но во овој случај потребно е да се осигура дека не постои можност за случајно ослободување на кисели дренажи или цврст отпаден материјал.

Поефикасен пристап за спречување на инфилтрација на кислород и вода е со поставување два одделни слоја, слој за запечатување (на пример, набиена непропустлива глина) и површински слој. На тој начин горниот слој го штити долниот слој од ефектите на ерозијата и структурната деградација поради сезонска дехидрација или замрзнување, како и минимизирање на директната интеракција со луѓе и други животни, растенија и микробиолошки активности. Покрај тоа, оваа слоевита структура го нарушува капиларниот проток нагоре и фаворизира задржување на кој било метални комплекси транспортирани од порната вода.

Дополнителна опција за овој метод е кога набиениот слој е прекриен со друг слој наменет за спречување на инфилтрацијата на вода, кој ќе овозможи сушење на подлогата [3]. Сепак, прекумерно сушење и потенцијално испарување на површинскиот слој може да доведе до инфилтрација на кислород до подлабоко ниво. Покрај тоа, на долг рок, геотекстилот меѓу слоевите може да се влоши, што доведува до мешање на слоевите и намалување на ефективоста на слојот за сушење [9].

2.3. УПОТРЕБА НА ВОДЕНА ПОКРИВКА

Употребата на водена покривка е соодветна во ситуации кога целта е да се спречи инфилтрација на кислород во хидројаловината која е подложна на производство на киселина. Главна причина е фактот што стапките на дифузија на кислород се за четири пати помали кај водата отколку кај воздухот [6]. Сепак, за покривање со слој вода потребно е да се исполнети следниве услови:

- Водата мора да биде достапна, дури и ако областа е во сушен период, и тоа во доволни количини, за да се обезбеди дека и водата и нејзиниот хемиски состав остануваат стабилни.
- Браните и таложните езера треба да се структурно стабилни во долг период.
- Каналите за одлив да се стабилни и проектирани со капацитет за справување со изолирани екстремни поплави и други природни катастрофи, какви што се ледени брани и замрзнување на таложното езеро.
- Длабочината на водата над хидројаловината треба да е таква да дејството на нејзините бранови не предизвикува ерозија или хидраулично одвојување и концентрација на хидројаловина.

Затворањето ќе функционира најдобро ако е интегрирано со околниот слив и се дополнува од природните текови. Ова ја забрзува реставрацијата на природниот екосистем со снабдување на органска материја, хранливи материи и воден биодиверзитет. Покрај тоа, приливот и таложењето

талог ја подобрува постојната бариера за дифузија на кислород во хидројаловината. Најголемите неизвесности во врска со овој пристап се јавуваат при обезбедување долгорочна стабилност на браните кај хидројаловиштето и потребата да се одржува соодветно снабдување со вода на подолг рок, дури и по прекилот на надзорот на локацијата.

3. РЕВЕГЕТАЦИЈА ВО РЕСТАВРИРАНИОТ ПРЕДЕЛ

Програмите за ревегетација не само што овозможуваат естетско подобрување на поранешните рударски локации, туку ги ублажуваат и сите негативни ефекти од одложената хидројаловина, без оглед дали тоа се должи на проблеми со дренажа или нестабилност на наклонот. Покривката со вегетација, исто така, ефикасно ги изолира потенцијално опасните материјали од контакт со луѓето, животните и површинските води и спречува потенцијални опасности од прав, во комбинација на зацврстената почва со кореновите системи на вегетацијата и горнолежечкиот слој, како и спречување на ефектот од ветрот на ниво на земјата. Внимателна регенерација на вегетацијата, исто така, дава можност за реверзија до избалансиран и одржлив екосистем што е приближен на тој што го имало пред почетокот на рударењето, што, пак, ја подобрува вредноста на локацијата, и естетски и во однос на алтернативните активности за користење на земјиштето. Растенијата имаат капацитет и да врзат токсични соединенија во кореновиот систем и во зеленилото, а со тоа да овозможат намалување на нивната биорасположивост и нивно влегување во околината.

Покривката од вегетација, исто така, го спречува формирањето киселински комплекси, барем оние од биолошко потекло, преку внесување кислород и влага од коренов систем, а со тоа се намалува активноста на бактериите чијшто метаболизам генерира кисели соединенија [7]. Овој ефект ќе биде дополнително засилен во присуство на хетеротрофни бактерии и габи, кои го користат кислород и го зголемуваат нивото на јаглерод диоксид во почвите.

Изборот на соодветни растителни видови за регенерација бара разгледување на својствата на почвата и на климатските фактори, како и процена на идните опции за употреба на земјиштето (табела 1). Хидројаловината, генерално, е сиромашна со хранливи и органски материи и има недостиг на нормална популација на микроби во почвата, а, од друга страна, има тенденција да биде кисела и со покачени концентрации на потенцијално токсични елементи. Затоа, идеални видови за освежување се приспособливи сорти коишто ’ртат ефикасно и брзо растат, формирајќи ефикасно копнено покривие, и коишто се способни да вегетираат на подлоги сиромашни со хранливи материи и на порозни подлоги. Идеално, таквите растенија би требало да бидат толерантни на екстремна топлина, мраз и ветер и да имаат можност да формираат хумус. Сепак, опстанокот на индивидуалните видови не е толку важен како промовирањето прогресивно воспоставување на природно одржлив вегетациски режим. Иако природната регенерација би била идеална, во практика, обично, е потребно да се преземе систематска програма за садење, по можност со ендемични видови. Проблемот со ерозијата може да се минимизира со канализирање на истекувањето надвор од областа за истата да биде ревегетабилна. Најпрво областа се стабилизира со треви и други форми на брзо зафаќање на површината, пред да се насадат поголеми грмушки и дрвја.

Табела 1. Препорака на стратегии за садење според намената за користење на земјиштето [2]

Намена за користење на земјиштето	Ревегетациона стратегија
Шумска плантажа	<ul style="list-style-type: none"> • Препорачано, ако намерата е економски одржливо производство на шуми • Брзорастечки растенија со висок принос
Рекреација	<ul style="list-style-type: none"> • Растенија отпорни на физичко влијание, како трева за спортски терени и терени за играње • Видови со бавно растење на земја
Земјоделство или пасишта	<ul style="list-style-type: none"> • Бара внимателна процена на ризикот и следење за време и по рехабилитацијата

Природен пејзаж без специфична комерцијални или конзервациски цели	• Олеснета брза колонизација на вегетацијата со ендемични видови
Неспецифично дефинирана употреба на земјиште	• Видови кои брзо ја стабилизираат локацијата, вклучувајќи комерцијални сорти на трева
Заштита на природата	• Да се зголеми цветната разновидност во согласност со постојниот екосистем на локацијата

4. СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ – ХИДРОЈАЛОВИШТЕ „СКРДОВО“

4.1. ХИДРОЈАЛОВИШТЕ „СКРДОВО“

Хидројаловиштето „Скрдово“ претставува функционален комплекс од повеќе поврзани објекти. Главни објекти во состав на хидројаловиштето се [8]:

1. низводна песочна брана со дренажен систем;
2. возводна насипна брана;
3. таложно езеро;
4. одводен колектор со преливни отвори.

Придружни објекти на јаловиштето се: транспортниот систем на јаловината - пулповод и пумпната станица за повратна технолошка вода.

Ова хидројаловиште е во функција од 1986 година, неговото концептуално решение се состои во изградба на две преградни брани на Киселичка Река, со што е формиран акумулационен простор. Транспортот на флотациската јаловина во вид на пулпа до хидројаловиштето се врши најпрво гравитациски преку армиранобетонски каналетки до пумпна станица, а потоа со помош на пумпи и пулповод изграден од пластични цевки до хидроциклоните поставени на низводната песочна брана.



Слика 2. Таложно езеро на хидројаловиште „Скрдово“ [8]

4.2. ПЛАН ЗА РЕМЕДИЈАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО „СКРДОВО“

Имајќи ги предвид направените анализи, локалните услови, итноста на акцијата за рекултивација на низводната брана и сегашната состојба, покривањето/каптирањето е предложено како најсоодветна опција, со можност во иднина јаловината да се искористи за друга намена доколку се покаже изводливо/потребно (за пополнување на откопаниот простор). Имајќи предвид дека хидројаловиштето „Скрдово“ сè уште е активно, извршувањето на оперативните работи што треба да се реализираат и финансиските можности, предлагаме рекултивацијата, односно затворањето на хидројаловиштето, да се одвива во две фази поделени во повеќе групи на активности.

Првата фаза ја опфаќа рекултивацијата на низводната брана. Оваа фаза треба да започне во што пократок рок поради фактот дека е достигната максималната кота на круната на низводната брана $K_{kr}=485.0$ м.н.в. и е потребна што поефикасна заштита на населението од аерозагадување. За таа цел во оваа фаза ќе се врши рекултивација на низводната косина на браната.

Втората фаза ги вклучува сите активности за целосно затворање на хидројаловиштето „Скрдово“, што подразбира:

➤ *Планирање и проектирање* Оваа фаза опфаќа:

- Дизајн на мерките за ремедијација – концептуален модел на локацијата и детално проектирање дополнителни алтернативи и изготвување план и спецификација за нивна изведба; темелна проверка на техничка исправност и инженерска изводливост на алтернативата, вклучително и системи за контрола на квалитетот, безбедноста и здравјето при работа и елаборирање на процената на влијанието врз животната средина како резултат на работните активности за деталниот дизајн.
- Обезбедување дозволи – соодветни дозволи и сертификати за изведба на проектот и извршување на работите.
- Договарање – најчест пристап на договарање за изведба на ваквите проекти за ремедијација е со потпишување на целиот проект како посебен договор од типот „клуч на рака“, при што во овој случај главната договорна страна ќе биде одговорна за обезбедување на останатите договорни страни кои располагаат со потребната специјализирана опрема и искуство и целосно завршување на работите.

➤ *Имплементација на проектот.* Оваа фаза ја вклучува реализацијата на финалните корективни мерки. Предвидените задачи во овој чекор се:

- Мобилизација – подготвување на локацијата за извршување на планираните активности.
- Обезбедување на потребните услови на локацијата за извршување на активностите – паркинг-простор за возилата и машините, магацински простор, канцеларии, основни услови за работниците, опрема за деконтаминација на машините, приклучоци за снабдување со електрична енергија....
- Санација и подобрување на пристапните патишта каде што е потребно за да се овозможи пристап на машините.
- Отстранување на вегетацијата – за да се овозможи пристап до областа што треба да биде покриена со каптажниот систем, во некои области треба да бидат исечени дрвја.
- Одржување во исправна состојба на веќе конструирани ободни канали за да се спречи навлегување на водите од околниот дренажен простор кои гравитираат кон хидројаловиштето и спречување на ширењето на загадувањето по пат на водена ерозија.
- Конструкција на површинскиот слој за заптивање.
- Креирање вегетациона покривка.
- Инженеринг, контрола на квалитетот, надзор, процени и известување /рапортирање.

➤ *Мерки по затворањето.* Овие мерки се фокусирани на одржување во период од 30-50 години, постмониторинг на животната средина по реализација на мерките за ремедијација.

Во овој труд ќе се задржиме на конструкцијата на површинскиот слој за заптивање/каптирање и на биолошката рекултивација.

4.2.1. Конструкција на површинскиот слој за заптивање/каптирање

Изведбата на површинскиот слој за заптивање е една од најважните и најскапи активности при рекултивација на хидројаловишта. Имајќи предвид дека флотациската јаловина што се одлага во хидројаловиштето на рудник „Злетово“ е категоризирана во групата 01 03 04* јаловина од преработка на сулфидни руди што создава кисел отпад, меѓународната практика и искуство за превенција од појава на кисели руднички дренажи наложуваат површинскиот слој за заптивање, каптирање, да биде така дизајниран да ги задоволи следните критериуми:

- минимизирање на инфилтрацијата на вода во отпадот (јаловината);

- минимизирање на навлегувањето кислород во отпадот (јаловината).

Во согласност со А-интегрирана еколошка дозвола заради исполнувањето на нормативите од Правилникот за условите што треба да ги исполнуваат депониите (Сл. весник на РМ бр. 78 од 2009 год.), а врз основа на прилогот даден во истиот правилник, во делот 4, Барања за системот за површинско заптвивање, за заптвивањето на хидројаловиштето „Скрдово“ беа разработени две варијанти.

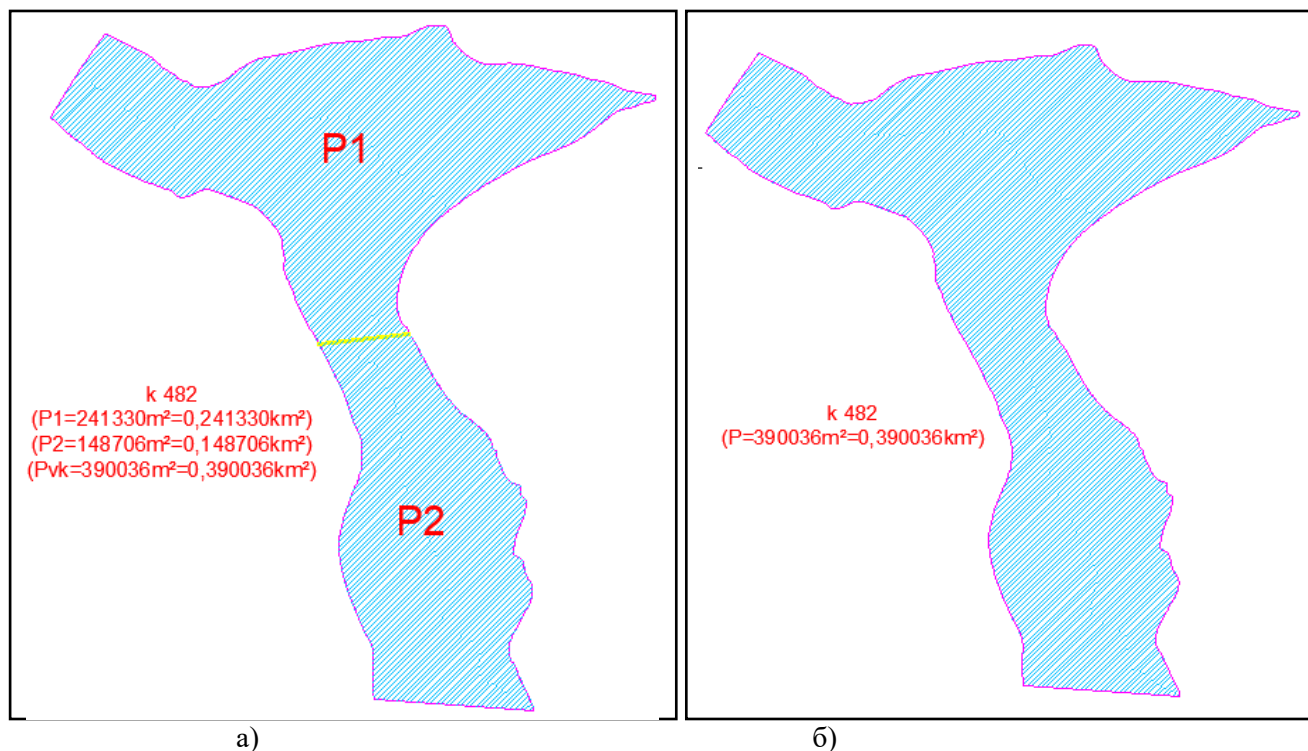
Варијанти за конструкција на површинскиот слој за заптвивање/каптирање

Прва варијанта

Кај првата варијанта на еден дел од таложното езеро со завршна кота 482 ќе се изврши заптвивање со водена покривка ($P_1 = 241330 \text{ m}^2$), а другиот дел кон низводната брана ($P_2 = 148706 \text{ m}^2$) најнапред ќе биде порамнет со помош на тенок слој од рудничка јаловина, а потоа ќе бидат поставени сите потребни слоеви за заптвивање, коишто ќе бидат објаснети подолу (слика 3, а).

Втора варијанта

Во втората варијанта целата површина на таложното езеро ($P = 390036 \text{ m}^2$) најнапред ќе биде порамнета со помош на тенок слој од рудничка јаловина, а потоа ќе бидат поставени сите потребни слоеви за заптвивање, коишто ќе бидат објаснети подолу (слика 3, б).



Слика 3. а) Прва варијанта за заптвивање

б) Втора варијанта за заптвивање

Кај двете варијанти на површината на која ќе се направи суво површинско заптвивање, потребно е да се постават следниве слоеви:

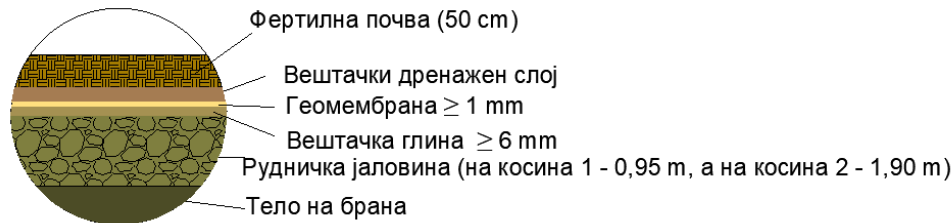
1. Поставување вештачка глина со коефициент на водопропустност од $K \leq 1.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$;
2. Геомембрана со дебелина $\geq 1 \text{ mm}$;
3. Материјал за дренажа (вештачки) со коефициент на водопропустност од $K \leq 1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

Како што веќе беше кажано, заптвивањето на хидројаловиштето „Скрдово“ ќе се врши во две фази, и тоа:

1. Заптвивање на косината и круната на низводната песочна брана со површина од 28267 m^2 .
2. Заптвивање на таложното езеро со површина од 148706 m^2 кај прва варијанта и 390036 m^2 кај втора варијанта.

4.2.2. Биолошка рекултивација

Биолошката рекултивација се состои од 50 см горен почвен слој којшто е засаден со растенија со плитки корени, каква што е тревата, и со нискостеблести растенија и овозможува ревегетација на покриените површини и заштита на изолацискиот слој од ерозија, како и подобро вклопување во околниот пејзаж.



Слика 4. Рекултивација на тело на низводна брана на хидројаловиште „Скрдово“



Слика 5. Рекултивација на таложното езеро на хидројаловиште „Скрдово“

5. ЗАКЛУЧОК

Хидројаловиштата се значајни хидротехнички објекти, коишто треба да се анализираат детално, со цел утврдување на соодветните техники за рекултивација. Фактори што го условуваат изборот на соодветни техники за рекултивација се: својствата на хидројаловината, кои значително се разликуваат во зависност од минералните сировини што се ископуваат во рудникот, својствата на материјалот за покривање, како и начинот на негова експлоатација и транспорт, доколку станува збор за природен материјал и др. со цел да се проценат потенцијалните влијанија врз животната средина и ризиците. При подготовка на специфични програми за рекултивација треба да ѝ се даде приоритет на усогласеноста со законските прописи.

Во случајот на хидројаловиштето „Скрдово“, каде што се одлага хидројаловина којашто е категоризирана во групата 01 03 04* јаловина од преработка на сулфидни руди што создаваат кисел отпад, неопходно е техниките за рекултивација да спречат појава на кисели руднички дренажи, заради што е потребно минимизирање на инфилтрацијата на вода и кислород во хидројаловината.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] L.R. Rossner and F.M. Rons: “Reclamation of Mine Tailings”, Advances in Soil Science, Vol.17, 1992, Springer-Verlag New York Inc.
- [2] P. M. Heikkinen, P. Noras, and R. Salminen: “Mine Closure Handbook, Environmental techniques for the extractive industries” Espoo, 2008
- [3] European Commission, Joint Research Centre, Barthe, P., Eder, P., Saveyn, H., et al., Best available techniques (BAT) reference document for the management of waste from extractive industries: in accordance with Directive 2006/21/EC, Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/35297>

- [4] Bernd G. Lottermoser: "Mine Wastes, Characterisation, Treatment, Environmental Impacts, Second Edition" 2007, Springer
- [5] Naturvårdsverket 2002. Uppföljning av efterhandlingsprojekt inom gruvsektorn – Åtgärder, kostnader och resultat. Rapport 5190 Maj 2002. Noras, P. 2005a. Sulkemisen
- [6] Robertson, J. D., Tremblay, G. A. and Fraser, W. W.: "Subaqueous Tailing Disposal: A Sound Solution for Reactive Tailing", Proc. 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, Canada, May 31–June 6 1997, Vol. 3, pp. 1027–1044.
- [7] Ledin, M. & Pedersen, K.: „The environmental impacts of mine wastes – Roles of micro-organisms and their significance in treatment of mine wastes“. Earth-Science Reviews 41, 1996, pp. 67–108.
- [8] Проект за Рекултивација на хидројаловиштето Скрдово, рудник ИММ „Злетово" Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, 2020
- [9] Golomeov B., Kostadinov Lj.: "The use of geosynthetic material in the design of the tailing dam", 2018, Lap Lambert Academic Publishing.