

Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови Proceedings

Conference on topic

**Dam engineering
during energy
transition and
aging hydrotechnics
infrastructure**

Конференција на тема

**Инженерството
за брани во услови
на енергетска
транзиција и остарена
хидротехничка
инфраструктура**

Конференција на тема: Инженерството за брани во услови на енергетска транзиција и остарена хидротехничка инфраструктура, Скопје, 18-19.10.2024
Conference on topic: Dam engineering during energy transition and aging hydrotechnics infrastructure, Skopje, 18-19.10.2024

Конференција на тема:
Инженерството за брани во услови на
енергетска транзиција и остарена
хидротехничка инфраструктура
Скопје, 18-19.10.2024

Conference on topic:
Dam engineering during energy
transition and aging hydrotechnics
infrastructure
Skopje, 18-19.10.2024

18-19.10.2024 го дини
18-19.10.2024

Скопје, Р.С. Македонија
Skopje, R.N. Macedonia



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

КОНФЕРЕНЦИЈА НА ТЕМА:

**ИНЖЕНЕРСТВОТО ЗА БРАНИ ВО УСЛОВИ НА
ЕНЕРГЕТСКА ТРАНЗИЦИЈА И ОСТАРЕНА
ХИДРОТЕХНИЧКА ИНФРАСТРУКТУРА**

CONFERENCE ON TOPIC:

**DAM ENGINEERING DURING ENERGY
TRANSITION AND AGING HYDROTECHNICS
INFRASTRUCTURE**

18.10÷19.10. 2024 год.
18.10÷19.10. 2024

Скопје, Р.С. Македонија
Skopje, 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**

Фросина П. Георгиевска, Стевчо Митовски

TECHNICAL PREPARATION BY

Frosina P. Georgievska, Stevcho Mitovski

УРЕДНИК

Проф. Д-р Љупчо Петковски

ЛЕКТУРА

Тања Стевановска Цветковска

EDITOR

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

PROOFREADER

Tanja Stevanovska Cvetkovska

ПЕЧАТЕЊЕ

Промедиа - Скопје

ТИРАЖ

70 примероци

МЕСТО И ГОДИНА НА ОБЈАВУВАЊЕ

Скопје, 2024

ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНА

Брана „Маврово“

PRINTED BY

Promedia - Skopje

PRINTING RUN

70 copies

LOCATION AND DATE OF PUBLISHING

Skopje, 2024

COVER PHOTO

‘Mavrovo’ dam

© 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

627.8.04/.09(497.7)(062)

621.311.21(497.7)(062)

ЗБОРНИК на трудови / Конференција на тема: инженерството за брани во услови на енергетска
транзиција и остарена хидротехничка инфраструктура, 18.10-19.10.2024 год., Скопје, Р. С. Македонија ;
[уредник Љупчо Петковски] = Proceedings / Conference on topic: dam engineering during energy transition
and aging hydrotechnics infrastructure, 18.10-19.10.2024, Skopje, R. N. Macedonia ; [editor Ljupcho
Petkovski]. - Скопје : Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian committee on
large dams, 2024 (Скопје : Промедиа ; Skopje :
Promedia). - [200] стр. : илустр. ; 21 см

Фусноти кон текстот. - Текст на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-4953-03-6

а) Брани -- Хидротехнички аспекти -- Хидроенергетски аспекти -- Македонија -- Собири

COBISS.MK-ID 64549381

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

Рудник „Булмак“, Пробиштип

Lidija Zafirovska

Mine ‘Bulmak’, Probishtip

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

Ilija 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, Skopje, R.N. Macedonia

Даниел Цеков

АДИНГ АД Скопје, Р.С. Македонија

Daniel Cekov

ADING AD Skopje, R.N. Macedonia

Орце Мангаровски

ДГ БЕТОН АД Скопје, Р.С. Македонија

Orce Mangarovski

DG BETON AD Skopje, R.N. Macedonia

Љубе Димов

АД Водостопанство на Р.С. Македонија

Ljube Dimov

AD Water economy in 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 Gocovski

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

Blashko Dimitrov

Chamber of certified engineers and architects, Skopje, 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

Metodija 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 – Skopje, 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

Вонр. проф. д-р Гоце Тасески

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

Assoc. prof. Goce Taseski, PhD

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

Фросина Пановска Георгиевска

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

Frosina Panovska Georgievska

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

ПОЧЕСЕН ОДБОР / HONORARY BOARD

Цветан Трипуновски, Министер

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

Cvetan Tripunovski, Minister

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

Александар Николоски, Министер

Министерство за транспорт и врски на Р.С. Македонија

Aleksandar Nikoloski, Minister

Ministry of transport and connections of R.N. Macedonia

Izet Mexhiti, Министер

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

Izet Mexhiti, Minister

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

Филип Филиповски, Главен извршен директор

АД Водостопанство на Р. С. Македонија

Filip Filipovski, CEO

AD Water economy in R.N. Macedonia

Лазо Узунчев, Генерален директор

АД ЕСМ, Р.С. Македонија

Lazo Uzunchev, CEO

AD ESM, 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

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

Крис Колбурн, Генерален директор

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Chris Colburn, CEO

SASA Mine, Makedonska Kamenica, R.N. Macedonia

Илија Горанов, Генерален директор

Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија

Ilija Goranov, CEO

BULMAK 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 ЗМКТБ Pija Andonov – Chento Honorary member of MACOL
--

Нестор Ангеловски
Заслужен член на ЗМКТБ
Nestor Angelovski
Honorary member of MACOLD

Проф. Наум Гапковски
Заслужен член на ЗМКТБ
Prof. Naum Gapkovski
Honorary member of MACOLD

Проф. Станислав Миловановиќ
Заслужен член на ЗМКТБ
Prof. Stanislav Milovanovic
Honorary member of MACOLD

Проф. Коста Талаганов
Заслужен член на ЗМКТБ
Prof. Kosta Talaganov
Honorary member of MACOLD

Славчо Михајловски
Заслужен член на ЗМКТБ
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 Илиос Вилос

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

Prof. Ilios Vilos, PhD

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



МОДИФИКАЦИЈА НА НАПРЕЧНИОТ ПРЕСЕК НА СВРТУВАЧКА КОМБИНИРАНА БРАНА ВО ФАЗНО НАДВИШУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

Љупчо Петковски¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска Георгиевска³

Резиме

Најголемиот дел од водостопанската, енергетската и од рударската инфраструктура во Северна Македонија, во чијшто состав се хидротехнички објекти, се од постар датум и се наметнува проблемот за подобрување на сигурноста и функционалноста на старите брани. Подобрувањето на браните се однесува на повеќе сегменти, од кои доминантни се следните три. Прво, во изборот на инвентивни и уникатни решенија за зголемување на капацитетот на акумулациите (кај водните брани) и таложните езера (кај јаловишните брани), што е резултат смалувањето на расположливите води и порастот на потребите за вода (за водните брани) и лимитираниот простор за развој на рударството (за јаловишните брани). Второ, во иновирањето на техничката документација во согласност со најновите критериуми за хидролошка и конструкциска (статичка и сеизмичка) стабилност, зашто за населението низводно од браната сосема е небитно дали потенцијалната опасност би била од евентуално уривање на стара или нова брана. И трето, во навремената детекција и санацијата на оштетувањата на хидротехнички објекти, кои не може целосно да се избегнат зашто се предизвикани од изложеноста на активното дејство на водата, со цел да се спречи нивниот прогресивен карактер.

Клучни зборови: јаловишни брани, таложни езера, надвишување

CROSS-SECTION MODIFICATION OF A COMBINED DIVERSION DAM IN A TAILINGS STORAGE FACILITY HEIGHTENING PHASE

Ljupcho Petkovski¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska Georgievska³

Summary

The largest part of the water economy, energy and mining infrastructure in North Macedonia, which includes hydrotechnical facilities, are of an older date and the problem of improving the reliability and functionality of the old dams is being imposed. The improvement of dams refers to several segments, of which the following three are dominant. First, the selection of inventive and unique solutions for increasing the capacity of water reservoirs and tailings (at tailings storage facilities), which is a result of the reduction of available water and the increase in the needs for water and limited space for mining development (for tailings storage facilities). Second, the innovation of the technical documentation according to the latest criteria for hydrological and structural (static and seismic) stability, since for the population downstream of the dam it is completely irrelevant whether the potential danger would come from a possible collapse of an old or a new dam. And thirdly, in the timely detection and remediation of damages to hydrotechnical facilities, which cannot be completely avoided because they are caused by exposure to the active action of water, in order to prevent their progressive nature.

Key words: tailings dams, waste lagoons, heightening

¹Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, N. Macedonia, petkovski@gf.ukim.edu.mk

²Assoc. Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, N. Macedonia, smitovski@gf.ukim.edu.mk

³Assist. MSc, CEng, FCE, SCMU, Skopje, N. Macedonia, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

1. КРИТИЧНА СОСТОЈБА НА ТОВАРЕЊЕ ПРИ НАДВИШУВАЊЕ НА ПОСТОЈНИТЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА

Најголема стабилност на јаловишна брана се постигнува со низводен метод на градење, при што циклонираниот песок се одлага во коси слоеви по низводната косина. Најмала стабилност на јаловишна брана се добива со узводен метод на фазно градење, при што песочните брани се над исталожена јаловишна кал. Надвишување на хидројаловиште со нова јаловишна брана над таложно езеро или јаловишна брана со узводен метод на градба е подложна на ликвидација при статичко и динамичко (циклично) оптоварување. Затоа, хетерогените геосредини оформени со узводен метод на градба се третираат како хидроградежни објекти од највисок ризик и не се препорачуваат во сеизмички активни региони. Меѓутоа, потребата од обезбедување дополнителен волумен за депонирање јаловиштен материјал, неопходен за редовно работење на рудниците во услови на наметнати просторни ограничувања за опстанок и растеж на рударскиот сектор, ја актуализира надградбата на постојните хидројаловишта, која понекогаш е можна единствено со узводен метод на напредување.

Анализата на стабилноста на овие хетерогени геосредини потврдила дека критична состојба на товарење со споредба на: (а) долготрајната статичка (со највисок потребен коефициент на сигурност 1.5), (б) краткотрајните статички (со понизок потребен коефициент на сигурност 1.3), (в) сеизмичката отпорност во тек на земјотресното дејство (каде се толерираат куси екскурзии со коефициент на сигурност помал од 1.0), и (г) инцидентно оптоварувања при појава на ликвидација (со потребен коефициент на сигурност 1.1) е појавата на ликвидација. Затоа, сметаеме дека појавата на ликвидација (статичка и динамичка) мора да стане задолжителна состојба на товарење на јаловишните брани, зашто најчесто усвоената геометрија и композиција на напречниот пресек (распоредот на локалните материјали) со кој се гарантира потребната стабилност зависи од оваа товарна состојба.

Ваквото надвишување се карактеризира со детални теренски геотехнички испитувања на постојното хидројаловиште и софистицирани конструкциски анализи за инвентивни и уникатни варијантни решенија за зголемување на капацитетот на таложните езера. Тие се илустрирани во овој реферат со варијантите за модификација на напречниот пресек на свртувачка комбинирана брана во фазно надвишување на хидројаловиштето Тораница#1, оформено со долна брана (слика 1.1) и горна брана (слика 1.2), во долината на Крива Река, во близина на Крива Паланка, во североисточниот дел на Македонија. Комбинираната брана е добиена со надвишувањето на првобитната свртувачка камено-земјена брана со круна на 977.5 м.н.в, со глинен екран (наклонет кон воздушната страна), со јаловишна песочна брана над таложното езеро (низводно од камено-земјената брана), слика 1.3.



Слика 1.1. Хидројаловиште Тораница#1, таложно езеро узводно од долната брана, круна и низводна (воздушна) косина на низводната јаловишна брана од циклонираниот песок, со височина околу 70 м, за состојба во 2023 година



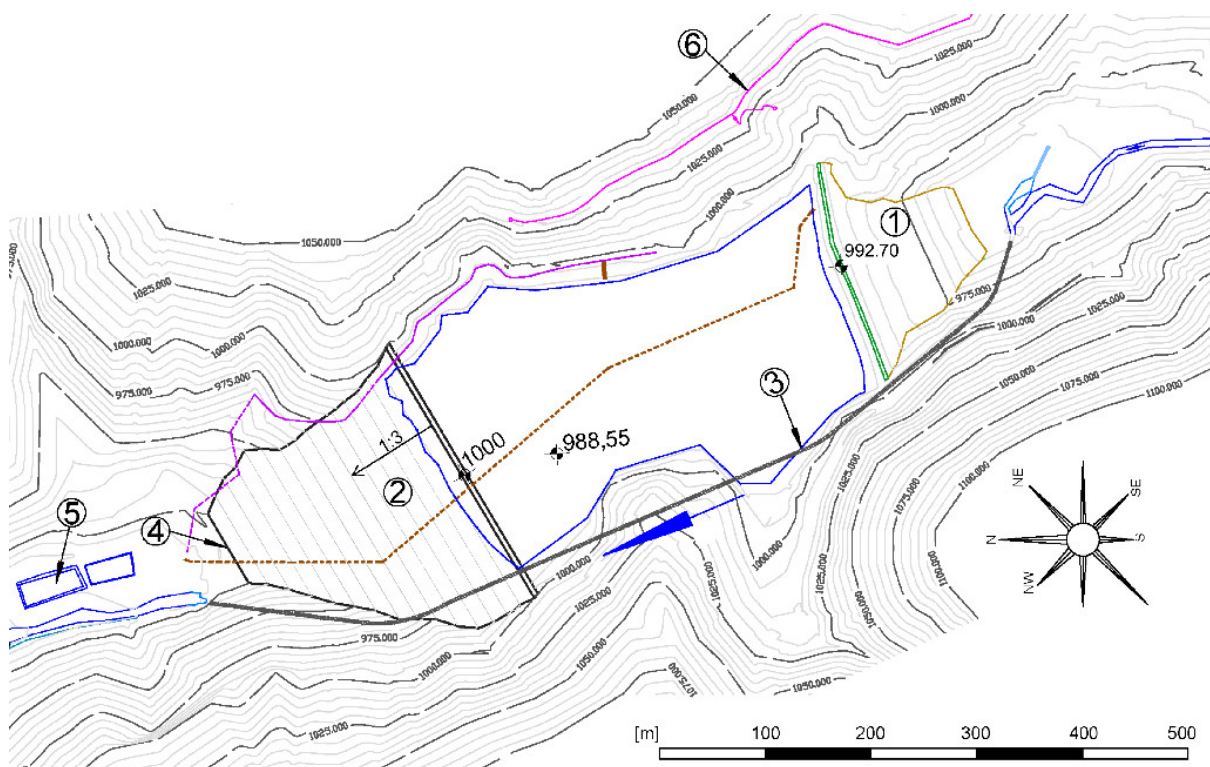
Слика 1.2. Хидројаловиште Тораница#1, таложно езеро низводно од горната брана, круна и низводна (водна) косина на узводната комбинирана свртувачка брана, со височина околу 50 м за состојба во 2023 година



Слика 1.3. Хидројаловиште Тораница#1, узводна (воздушна) косина на узводната комбинирана свртувачка брана, со берма на 977.5 мнв во ниво на круната на првобитната каменоземјена брана) за состојба во 2023 година

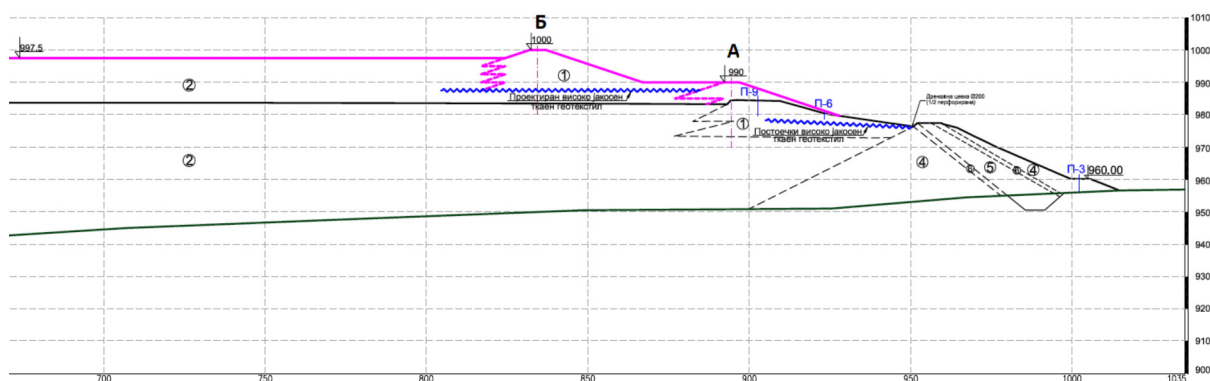
2. МОДИФИКАЦИИ НА НАПРЕЧНИОТ ПРЕСЕК НА СВРТУВАЧКАТА БРАНА ВО ФАЗНОТО НАДВИШУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО ТОРАНИЦА#1

Рудникот „Тораница“ во Крива Паланка (Булмак) моментно работи со производство на руда од околу 320.000 t/god. За потребите на тоа производство планирано е ново хидројаловиште Тораница#2. Меѓутоа, сега во функција е само постојното јаловиште Тораница#1. Таложното езеро на јаловиштето Тораница#1 се оформува со градба на узводна (горна) и низводна (долна) брана „слика 2.1“, со круни барем 2.5 над нормалното ниво во езерото. Узводната (свртувачка или ретензиона) брана е конвенционална брана (камено-земјена со глинен екран) со круна на 977.5 м.н.в. Низводната брана е јаловишна брана со низводна градба од циклонирани јаловиштен песок. Постојното јаловиште Тораница#1 е надвишувано двапати.



Слика 2.1. Ситуација на хидројаловиштето Тораница#1, според геодетска подлога од септември 2023 година. (1) узводна или ретензиона или свртувачка брана, (2) низводна или јаловишна брана, (3) обиколен тунел, (4) габионски сид за заштита на излезната градба на тунелот, (5) таложници за дренирана и избистрена вода, (6) пулповод

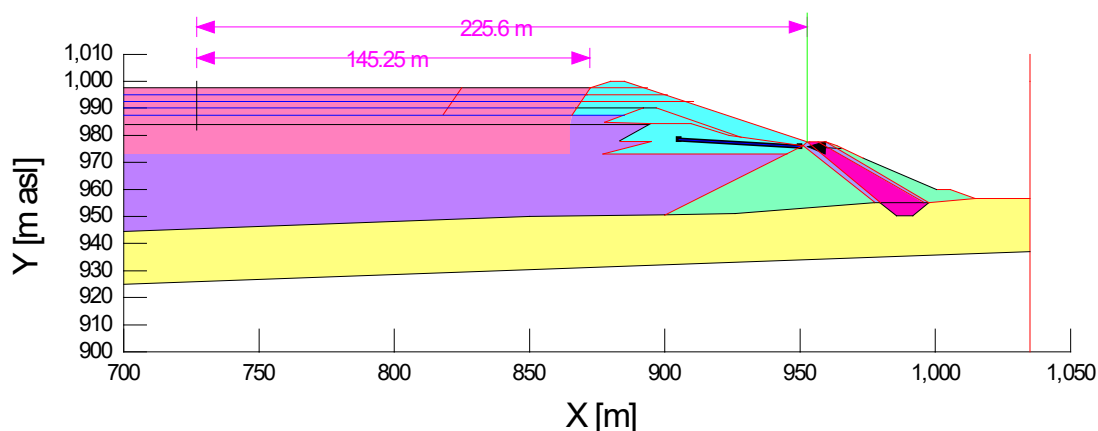
Првото надвишување било до кота на круна 990.0 м.н.в. Ретензионата брана била надвишена со јаловишна брана со централен метод на градба, но со круна поместена од конвенционалната брана, односно фундирана врз таложното езеро, на позиција „А“ (слика 2.2). Второто надвишување, кое е во фаза на изведба, беше проектирано до кота 1.000 м.н.в., во согласност со најновата техничка документација за јаловиштето на рудникот „Тораница“ (Геинг - Скопје, 2018.09.12). Со овој проект беше предвидено ретензионата брана да биде надвишена со јаловишна брана со круна на 1.000 м.н.в. од циклонираниот песок со централен метод на градба, фундирана врз таложното езеро, на позиција „Б“.



Слика 2.2: Скица на надвишување на узводна (ретензиона) брана на хидројаловиштето Тораница#1, до кота 1,000 мнв, според прилог 3 од Основен проект од 2018.09.12

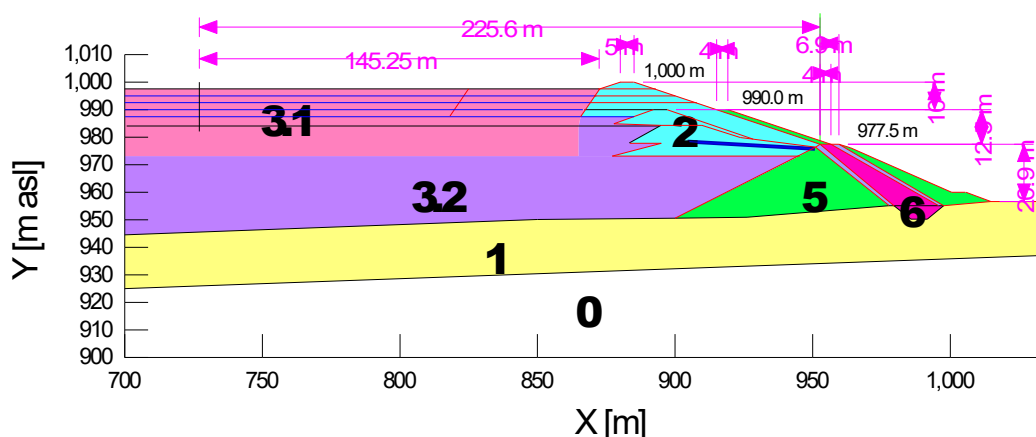
Алтернативно решение за надвишувањето на узводната брана до кота 1.000 м.н.в. (ДИПКО – Скопје, 2022.08.30), слика 2.3, е со местоположба на циклонирање во близина на „А“, односно узводно поместена за 47.25 м споредено „Б“. Со споредба на варијантите „Б“ (2018) и „А“ (2022),

на исто ниво на техничка истраженост, во услови на статичко оптоварување, со примена на метод на гранична рамнотежа и со јакост на смолкнување во неденирани услови во постојното таложно езеро, се потврди дека варијантата „А“ има поголема стабилност.



Слика 2.3: Модел на надвишување на узводна (ретензиона) брана до кота 1,000 мнв на хидројаловиштето Тораница#1, според Анекс 1 од 2022.08.20 година

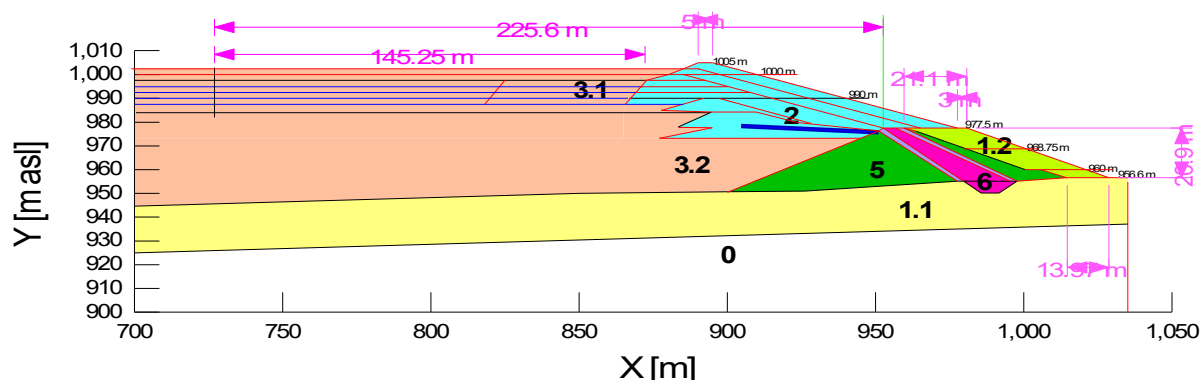
Во септември 2023 година, надвишувањето на узводната (ретензиона) брана (слика 2.4) до кота 1.000 м.н.в. се изведуваше според Анекс 2 (ДИПКО - Скопје, 2023.07.03), изработен со користење на податоци од SPT и CPT теренски геотехнички истражувања (ДИПКО – Скопје, 2023.03.16). Со динамичката анализа во Анекс 2 за решението на напречниот пресек според Анекс 1 се доби фактор на стабилност понизок од 1.0 за постземјотресната состојба со појава на ликвидација во таложното езеро. Усвоена беше варијанта со минимална количина на вграден руднички камен и со која се обезбедува фактор на стабилност (F) барем колку што е дозволениот за состојбата после земјотрес при појава на ликвидација (F_{doz}), односно со вредност на $F = 1.152 > F_{doz} = 1.1$. Таа форма на „потпрена дренажа“ е со следните димензии: ширина на бермата од 4.0 м и височина од 12 м, односно од кота на круна на првобитната свртувачка брана на 977.5 м.н.в. (со ширина во круната од 6.9 м) до кота 990 м.н.в.



Слика 2.4: Модел за надвишување на узводната брана на Тораница#1 до 1,000 мнв, според Анекс 2, 2023.07.03, 0 – карпеста основа, граничен филтрационен и деформабилан услов, 1 – чакалеста мешавина, алувиум во основата под браната, 2 – циклонизиран јаловишен песок, брана, 3 – јаловишна кал, таложно езеро (3.1 плитка зона и 3.2 длабока зона), 5 – камен, потпорно тело на ретензиона брана, 6 – глина, наклонето јадро на ретензиона брана, 7 – песок, филтерски преодни зони на ретензиона брана

Имајќи го предвид долгиот период за обезбедување одобрение за градење на новото јаловиште Тораница#2, (низводно од Тораница#1, за кое се направени геотехнички истраги и ревидиран Основен проект), кое поради бројни административни бирократски тешкотии може да се пролонгира на 4-5 години, инвеститорот „Булмак“, Пробиштип во октомври 2023 година усвои продолжување на експлоатацијата на постојната Тораница#1, со ново надвишување на 1.005 м.н.в.

Со надвишувањето до 1.000 м.н.в. со централен метод во позиција „А“ се исцрпи стабилноста на ретензионата брана (Анекс 2), затоа усвоено е надвишувањето од 1.000 до 1.005 м.н.в. да биде со напредување во спротивен правец од таложното езеро, кон воздушната косина на ретензионата брана (ХЕИ – Скопје, 2023.10.01). За таа цел косите слоеви од јаловиштен песок (со наклон 1:3) треба да се потпираат на проширена круна на ретензионата брана (камено-земјена) на кота 977.5 м.н.в. (слика 2.5).



Слика 2.5: Модифицирана геометрија (споредено со Анекс 2) на воздушната косина на узводната (ретензиона) брана на Тораница#1 со круна на 1,005 мнв, 0 – карпеста основа, граничен филтрационен и деформабилен услов, 1.1 - чакалеста мешавина, алувиум во основата под браната, 1.2 - чакалеста мешавина, насип над воздушната косина на камено-земјената брана, 2 – циклонизиран јаловиштен песок, брана, 3 - јаловишна кал, таложно езеро (3.1 плитка зона и 3.2 длабока зона), 5 - камен, потпорно тело на ретензиона брана, 6 - глина, наклонето јадро на ретензиона брана, 7 - песок, филтерски преодни зони на ретензиона брана

Стабилноста на модифицираната геометрија на узводната брана направена според согледувањето и концептот за техничката изводливост на надвишување за 5.0 м на хидројаловиштето Тораница#1, со наклон на јаловиштен песок 1:3, берма на кота 977.5 м.н.в. од 3.0 м и наклон на баласт од алувиум 1:2.3 е потврдена со соодветна техничка документација (ХЕИ – Скопје, 2023.11.21). Отежнувањето со чакалеста мешавина (алувиум) во височина од 977.5 - 956.6 = 20.9 м и променлива широчина, насипано во хоризонтални слоеви од 30 цм и со умерено компактирање, треба да се изведе пред одлагање по низводната косина од јаловиштен песок со наклон 1:3 повисоко од надвишувањето на кота 1.000 м.н.в.

Според барање на инвеститорот (Булмак) во февруари 2024 година, алувиумот во основата под горната брана (во зоната узводно од узводната ножица) не можело да се користи за потпора на воздушната страна на браната до кота 977.5 м.н.в. Како алтернативен локален материјал за оваа зона во телото на горната брана инвеститорот го посочи депонираниот јаловиштен руднички камен. Беше проценето дека во депонијата има доволна количина на руднички камен, односно поголема од потребната количина, која според прелиминарна проценка изнесува околу 45.000 м³. Со најновите геомеханички испитувања за рудничкиот камен од рудникот „Тораница“, систематизирани во (ГФ - Скопје, 2024.03.29), направена е иновирани анализа на стабилност на горната брана (ХЕИ - Скопје, 2024.06.17), каде што во потпора на воздушната страна до кота 977.5 м.н.в. природниот алувиум беше заменет со отпаден руднички камен, што воедно претставува последна модификација во композицијата на напречниот пресек на свртувачката комбинирана брана на хидројаловиштето Тораница#1.

ЗАКЛУЧОК

Ограничениот простор за опстанок и растеж на рударството е основната причина за зголемувањето на капацитетот на постојните таложни езера. Таложните езера често се оформени со долна (низводна) јаловишна брана и со горна (узводна) конвенционална брана за свртување на реката од матичното речно корито. Со надвишувањето на постојните хидројаловишта од ваков тип, какво што е јаловиштето Тораница#1, Крива Паланка, горната брана се трансформира во комбинирана брана. Во конкретниот случај таа е составена од првобитната камено-земјена брана со наклонето глинено јадро (кон воздушната страна) и нова јаловишна брана над постојното таложно езеро. Така што комбинираната брана ги има карактеристиките на јаловишна брана со узводен метод на градба, која е подложна на ликвидација при статичко и динамичко (циклично) оптоварување. Анализата на стабилноста на овие хетерогени геосредини, преку споредба на карактеристичните товарни комбинации, потврдила дека критична состојба на товарење е појавата на ликвидација, која треба да биде третирана барем во две етапи. Во првата етапа треба да се идентификуваат варијантни решенија за фазно надвишување на комбинираните свртувачки брани, кои се технички изводливи и не ја ограничуваат следната надградба. Во оваа етапа, поради уникатноста и неповторливоста на ваквите насипни конструкции, потребна е инвентивност, креативост и искусствено знаење. Потоа, во втората етапа, паралелно со збогатувањето на сознанијата за однесувањето на хетерогената геосредина при фазното надвишување (стекнато со примена на соодветни математички модели), постапно треба да се модифицира композицијата на напречниот пресек, со цел постојано да биде обезбеден економичен и непрекорно стабилен објект.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Геинг - Скопје, 2018.09.12, Основен проект за надвишување на ретензиона и песочна брана од 986.5 мнв до 1,000.0 мнв на хидројаловиште Тораница - К. Паланка, Н. А. Божиновска (оговорен проектант) и други
- [2] ДИПКО – Скопје, 2022.08.30, Проект за надвишување на ретензионата брана од кота 993.5 до кота 1,000.0 мнв на хидројаловиштето на рудникот Тораница, К. Паланка (Анекс бр.1 на Основен проект за надвишување на ретензиона и песочна брана од 986.5 до 1,000 мнв на хидројаловиште Тораница– прелиминарна анализа на стабилност), Ј.Б. Петковски (одговорен проектант) и други
- [3] ДИПКО – Скопје, 2023.03.16, Извештај од геотехнички теренски и лабораториски испитувања на хидројаловиште бр.1 на рудникот Тораница, К. Паланка, Ј.Б. Папиќ (одговорен истражувач) и други
- [4] ДИПКО - Скопје, 2023.07.03, Проект за надвишување на ретензионата брана од кота 993.5 до кота 1,000.0 мнв на хидројаловиштето на рудникот Тораница, К. Паланка (Анекс бр.2 на Основен проект за надвишување на ретензиона и песочна брана од 986.5 до 1,000 мнв на хидројаловиште Тораница - детална анализа на напрегања, деформации и стабилност), Ј.Б.Петковски (одговорен проектант) и други
- [5] ХЕИ – Скопје, 2023.10.01, Стручно мислење за надвишување до кота 1,005 мнв на браните на хидројаловиштето Тораница бр. 1, К. Паланка, Ј.Б.Петковски (одговорен проектант) и други
- [6] ХЕИ – Скопје, 2023.11.21, Анализа на стабилност на узводната и низводната брана за круна на браните на 1,005 мнв на хидројаловиштето Тораница, К. Паланка, Книга 1 - Узводна или ретензиона (свртувачка) брана, Ј.Б.Петковски (одговорен проектант) и други
- [7] ГФ - Скопје, 2024-03-29, Извештај од јакостни и класификациони испитувања на депониран руднички камен од Рудник Тораница, Сеад Абази (одговорен истражувач),
- [8] ХЕИ – Скопје, 2024.06.17, Проект на изведена состојба и надвишување на круните на узводната и низводната брана до кота 1005 мнв на хидројаловиштето Тораница – Крива Паланка, Ј.Б. Петковски (одговорен проектант) и други