



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

13-ТО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ВОДОСТОПАНСТВО И ХИДРОТЕХНИКА

13TH CONFERENCE ON WATER ECONOMY AND HYDROTECHNICS

6.10÷7.10. 2023 год.
6.10÷7.10. 2023

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

Стевчо Митовски, Фросина Пановска

TECHNICAL PREPARATION BY

Stevcho Mitovski, Frosina Panovska

УРЕДНИК

Проф. Д-р Љупчо Петковски

EDITOR

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

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

Преливник на брана „Мавровица“

COVER PHOTO

Spillway of Mavrovica 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

626/628(062)

СОВЕТУВАЊЕ за водостопанство и хидротехника (13 ; Скопје ; 2023)

Зборник на трудови / 13-то Советување за водостопанство и хидротехника, 6.10-7.10. 2023 год, Скопје ; [уредник Љупчо Петковски] = Proceedings / 13th Conference on water economy and hydrotechnics, 6.10-7.10. 2023, Skopje ; [editor Ljupcho Petkovski]. - Скопје :

Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian committee on large dams, 2023. - 119, [28] стр. : илустр. ; 30 см

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

ISBN 978-608-4953-02-9

а) Хидротехника -- Собири б) Водостопанство -- Собири

COBISS.MK-ID 61794565

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

Државен инспекторат за животна средина на Р.С. Македонија

Lidija Zafirovska

State Inspectorate for Environment 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

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 ГРАНИТ АД Скопје, Р.С. Македонија

Orce Mangarovski

DG GRANIT AD Skopje, R.N. Macedonia

Илбер Мирта

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

Ilber Mirta

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

Борче Гоцевски

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Borche Goevski

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

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 – 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 Ќаевски

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

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

Каја Шукова, Министер

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

Kaja Shukova, Minister

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

Љокман Лимани, Главен извршен директор

АД Водостопанство на Р. С. Македонија

Llokman Limani, CEO

AD Vodostopanstvo R.N. Macedonia

Васко Стефанов, Генерален директор

АД ЕСМ, Р.С. Македонија

Vasko Stefanov, 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

Александар Раков, Генерален директор

Рудник Бучим, Радовип, Р.С. Македонија

Aleksandr Rakov, CEO

Buchim Mine, Radovish, R.N. Macedonia

Влатко Иванов, Генерален директор

Градежен Институт “Македонија” - ГИМ, Скопје, Р.С. Македонија

Vlatko Ivanov, CEO

Civil Engineering Institute “Macedonia” - CEIM, Skopje, R.N. Macedonia

Илија Горанов, Генерален директор
Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија
Pija Goranov, CEO
BULMAK Mine Radovich, 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
Pija 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

Имperiјал 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

Проф. д-р Марија Вукелиќ

Факултет за земјоделски науки и храна, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Marija Vukelic, PhD

Faculty for agricultural science and food, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia



СТАБИЛНОСТ НА ПОСТОЈНИ ХИДРОЈАЛОВИШТА ПРИ НАДВИШУВАЊЕТО СО УЗВОДЕН МЕТОД НА ГРАДБА

Љупчо Петковски¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска³

Резиме

Потребата од обезбедување дополнителен волумен за депонирање јаловиштен материјал, неопходен за редовно работење на рудниците во услови на просторно ограничување, ја актуализира надградбата на постојните хидројаловишта. Надвишувањето на постојните јаловишни брани, со методот на узводна градба на нова јаловишна песочна брана над постојното таложно езеро, е хетерогена геосредина која е подложна на ликвидација при статичко и динамичко (циклично) оптоварување и затоа тие се хидроградежни конструкции со најголем ризик за стабилност. Ваквото надвишување се карактеризира со детални геотехнички испитувања на теренот и со софистицирани конструкциски анализи. Тие се илустрирани во овој реферат со резултати од истражувањето на стабилноста (во статички и во динамички услови) на надвишувањето на постојната свртувачка камено-земјена брана со глинено јадро, со јаловишна песочна брана над таложното езеро на хидројаловиштето Тораница, Крива Паланка, Република Северна Македонија.

Клучни зборови: јаловишни брани, таложни езера, надвишување, ликвидација

STABILITY OF THE EXISTING TAILINGS STORAGE FACILITIES DURING HEIGHTENING WITH THE UPSTREAM CONSTRUCTION METHOD

Ljupcho Petkovski¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska³

Summary

The need to provide an additional volume for depositing tailings material, necessary for the regular operation of mines in conditions of spatial limitation, actualizes the upgrade of the existing tailings storage facilities. The heightening of the existing tailings dams, with the upstream construction method of a new tailing sandy dams over the existing waste lagoon, is a heterogenic geo environment that is susceptible to liquefaction during static and dynamic (cyclic) loading and therefore they are the civil engineering structures with the highest stability risk. This heightening is characterized by detailed geotechnical in-situ investigations and sophisticated structural analyses. They are illustrated in this article by the results of the stability investigation (in static and dynamic conditions) of the heightening of the existing upstream diverting rockfill dam with clay core, with tailings sandy dam above the tailings deposition lake of the tailings storage facility Toranica, Kriva Palanka, Republic of North Macedonia.

Key words: tailings dams, waste lagoons, heightening, liquefaction

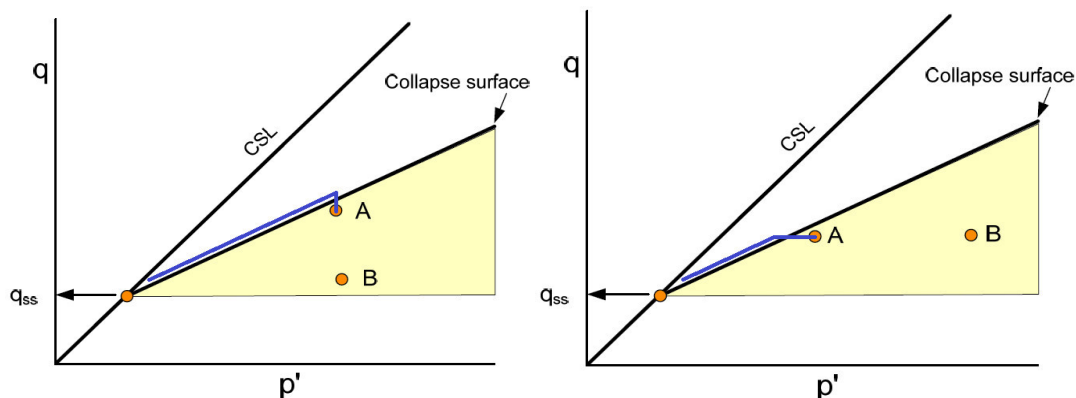
¹ Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, petkovski@gf.ukim.edu.mk

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

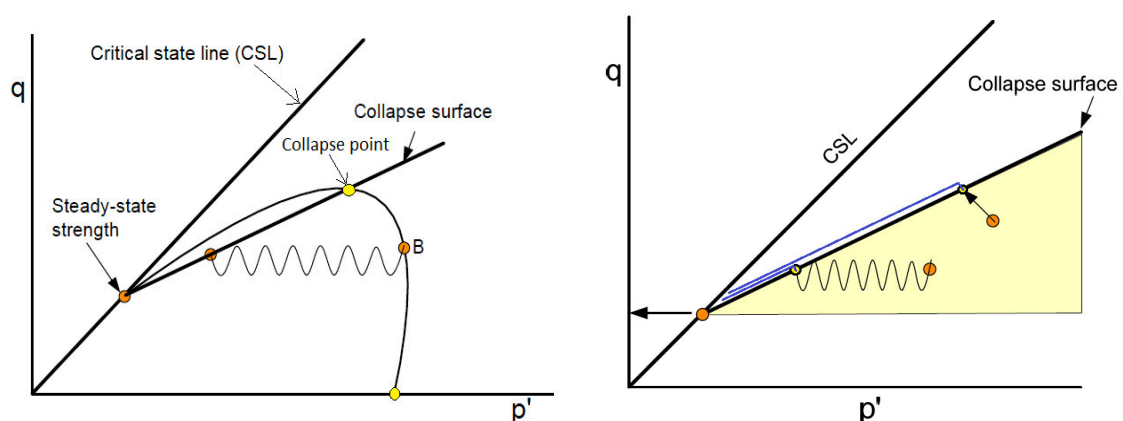
³ Assist. MSc, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

1. НАДВИШУВАЊЕ НА ПОСТОЈНИТЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА СО УЗВОДЕН МЕТОД НА ГРАДБА

Феноменот на ликвидација се појавува кај водозаситени и растресити (недоволно збиени) песоци, кои се застапени во одредени зони на хидројаловиштата. При појава на ликвидација, независно дали е статичка или динамичка, доаѓа до разурнување на структурата на гранулитите и јакоста на смолкнување на материјалот нагло се намалува до steady-state strength. Статичка ликвидација (Petkovski L., Mitovski S., 2019.05) е можна во следните два случаи, слика 1.1: (а) со дополнително надворешно оптоварување кое условува пораст на напрегањето на смолкнување, при што точката (А) во $(q-p')$ дијаграмот се придвижува „нагоре“ до пресек со површината на колапс и (б) со дополнително водозаситување и смалување на ефективните нормални напрегања, при што точката (А) во $(q-p')$ дијаграмот се придвижува „налево“ до пресек со површината на колапс. Динамичка ликвидација (Petkovski L., Mitovski S., 2018.07) се јавува при дејство на земјотрес, каде што цикличното товарење предизвикува континуирано зголемување на порниот притисок, што условува смалување на ефективните напрегања, при што точката (В) во $(q-p')$ дијаграмот се придвижува „налево“ до пресек со површината на колапс (слика 1.2).



Сл. 1.1. Ефект на (а) напрегање на смолкнување (на исто ниво на ефективните напрегања) и (б) ефективни напрегања (на исто ниво на напрегање на смолкнување) на ликвидациониот потенцијал



Сл. 1.2. График на циклично оптоварување од точка В до површината на колапс во регион со потенцијал за ликвидација

Досегашната практика потврдила дека најголема стабилност на јаловишната брана се постигнува со низводниот метод на напредување. Во тој случај, круната на браната се поместува низводно, а циклонираниот песок се одлага во коси слоеви по низводната косина над насип од јаловишниот

песок. Најмала стабилност на хетерогената геосредина се добива со узводен метод на фазно напредување. Тогаш, во секоја следна фаза, круната на песочната брана се поместува узводно, односно песочните брани се фундаираат над исталожена јаловишна кал. Хетерогената геосредина - јаловишна брана над таложно езеро или јаловишна брана со узводен метод на градба е подложна на ликвидација при статичко и динамичко (циклично) оптоварување. Затоа, јаловишните брани со узводен метод на градба се третираат како хидроградежни објекти од највисок ризик и не се препорачуваат во сеизмички активни региони.

Се поставува логично прашање – од каде произлегува потребата на рударските компании да иницираат решенија со надвишување над постојните таложни езера? Очигледно е дека тие се насипни конструкции со највисок ризик и за потврда на нивната стабилност, неопходни се детални геотехнички истражувања и софистицирани конструкциски (статички, филтрациони, динамички) анализи, односно големи финансиски вложувања. Објаснувањето, според нас, е следно (Petkovski L., 2022.11). Од една страна, просторот за опстанок, развој и растеж на рударските компании, кои се есенцијални за егзистенцијата на населението во одделни региони (кои се потпираат на рударскиот комплекс), поради наметнувањето на сè построги еколошки и социолошки критериуми, станува сè поограничен. Од друга страна, добивање дозвола за проширување на концесиониот простор (или зголемување на индустрискиот опфат) од огромен број агенции/институции, во држави кои се силно бирократизирани и, за жал, корумпирани, за рударските компании се пролонгира во долгогодишен исцрпувачки административен процес со крајно неизвесен исход. Затоа, рударските компании сè почесто се одлучуваат за решенија за најризични хидроградежни објекти, односно надвишување со циклонирани песок над постојните таложни езера од водозаситена јаловишна кал.

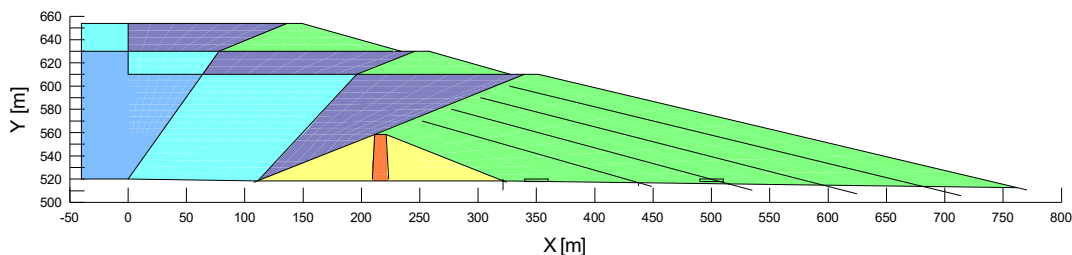
2. НАДВИШУВАЊЕ НА ПОСТОЈНИ ХИДРОЈАЛОВИШТА ВО СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

Примери за надвишување на постојните хидројаловишта (или хидроградежни објекти со висок ризик) постојат и во С. Македонија, од кои ќе издвоиме две на рударските компании „Бучим“ - Радовиш, и „Булмак“ – Пробиштип.

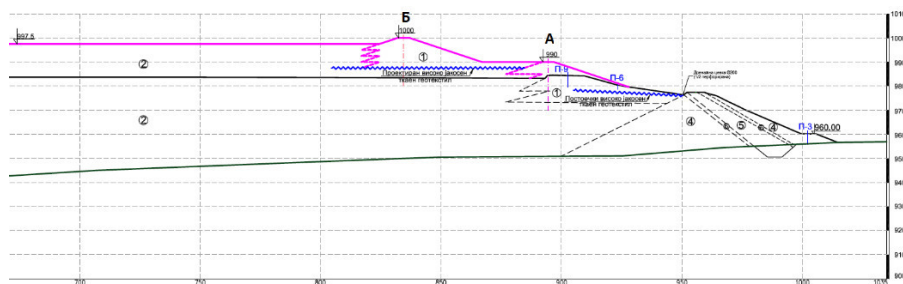
Хидројаловиштето Тополница на рудникот за бакар „Бучим“, Радовиш, се користи од 1979 година. Во изминатиот период во Тополница е одложена јаловина во количина од над 130 М-м³ и е акумулирана вода од околу 9.0 М-м³. Оваа јаловишна брана се карактеризира со фазна изведба и со комбиниран метод на градба, со низводно напредување во прва фаза и со узводно напредување при надвишувањето од втора фаза, реализирано во две етапи (Petkovski L., Mitovski S., 2018.04). Изградбата на песочната брана во почетната фаза, до кота 610 м.н.в. (I фаза), се изведувала во коси слоеви, со напредување во низводен правец од иницијалната брана, со кота во основата на 518.5 и кота на круна 558.5 м.н.в. Потоа, градбата на песочната брана до кота 630 м.н.в. (II фаза, етапа 1), поради близината на с. Тополница до низводната ножица на браната, се изведувала со насипување во узводен правец. Во крајната фаза, усвоена е круна на песочната брана до кота 654.0 м.н.в. (II фаза, етапа 2), со напредување во узводен правец, [слика 2.1](#), (Градежен факултет – Скопје, 2018.09). Хидројаловиштето Тополница, со височина на браната 2-2 над основата кај иницијалната брана од $H_0 = 654.0 - 518.5 = 135.5$ m, е една од највисоките јаловишни брани во Европа. Финалната височина на јаловишната брана 2-2, од круната до низводната ножица, изнесува $H_2 = 654.0 - 512.8 = 141.2$ m, со што браната Тополница претставува највисока брана во Р. С. Македонија (Petkovski L., Mitovski S., 2019.09).

Рудникот „Тораница“, К. Паланка (Булмак) моментно работи со производство на руда од околу 320,000 t/god, а за потребите на тоа производство во функција е постојното јаловиште. Таложното езеро на јаловиштето било оформено со узводна и низводна брана. 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 е надвишувачко два пати. 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 фундаирана врз таложното

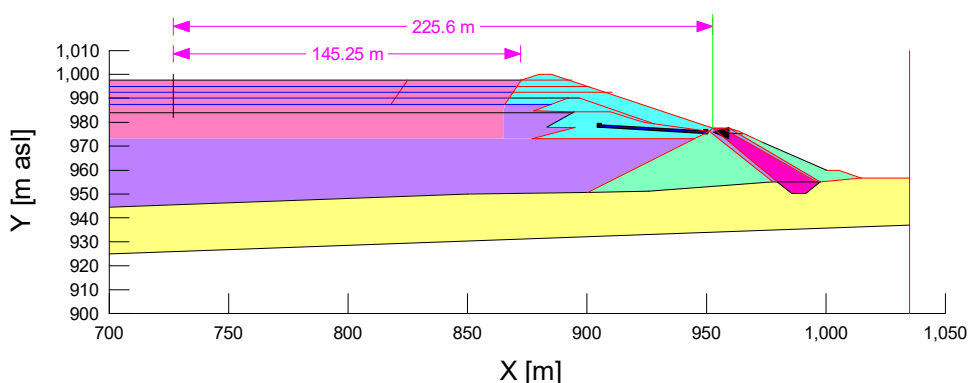
езеро, на позиција „А“ (слика 2.2). Второто надвишување, кое е во фаза на изведба, беше проектирано до кота 1,000 м.н.в., во согласност со најновата техничка документација за јаловиштето на рудникот „Тораница“, (Геинг - Скопје, 2018.09.12). Со овој проект беше предвидено ретензионата брана да биде надвишена 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“. 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, со метод на гранична рамнотежа и со јакост на смолкнување во недренирани услови во постојното таложно езеро, се потврди дека варијантата „А“ има поголема стабилност.



Сл. 2.1. Изведба на хидројаловиштето Тополница до кота 654 м.н.в., (II фаза, етапа 2)



Сл. 2.2. Скица на надвишување на узводна (ретензиона) брана на хидројаловиштето Тораница, според прилог 3 од Основен проект од 2018-09-12



Сл. 2.3. Модел на надвишување на узводна (ретензиона) брана на хидројаловиштето Тораница, според Анекс 1 од 2022-08-30

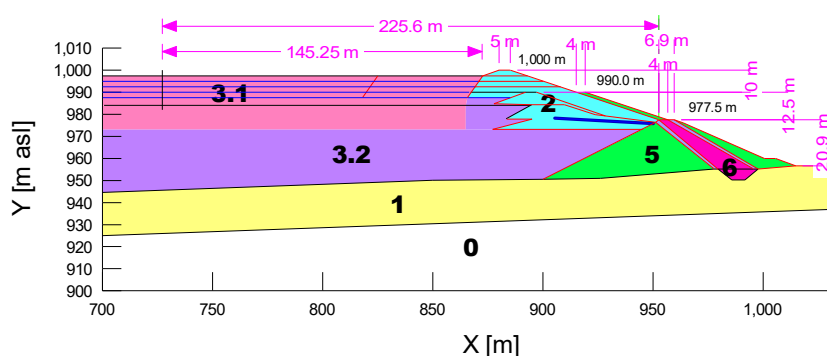
Во натамошниот текст од рефератов е даден приказ на клучните поставки и заклучоци од конструкциската (статичка, филтрациона и динамичка) анализа на надвишувањето на узводната (свртувачка) брана од 986.5 до 1,000 мнв на хидројаловиштето Тораница, со детална анализа на напрегања, деформации и стабилност за позиција на хидроциклонирање (А) со централен метод на напредување на песочната брана (ДИПКО – Скопје, 2023.05.29).

3. КОНСТРУКЦИСКА АНАЛИЗА НА НАДВИШУВАЊЕТО НА УЗВОДНАТА БРАНА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО ТОРАНИЦА ДО 1.000 МНВ

3.1 ВЛЕЗНИ ПОДАТОЦИ ЗА КОНСТРУКЦИСКАТА АНАЛИЗА

Конструкциската (статичка, филтрациона и динамичка) анализа на надвишувањето на узводната (свртувачка) брана до 1,000 мнв на хидројаловиштето Тораница (слика 3.1.1) е направена според најновите препораки на ICOLD, односно со еден математички модел за различни фази од оптоварувањето, каде што секоја следна фаза е со иницијална состојба на напрегања утврдена со претходната фаза. Ознаките во оваа слика се следните:

- 0 – карпеста основа, граничен филтрационен и деформабилен услов,
- 1 – чакалеста мешавина, алувиум во основата под браната,
- 2 – 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.

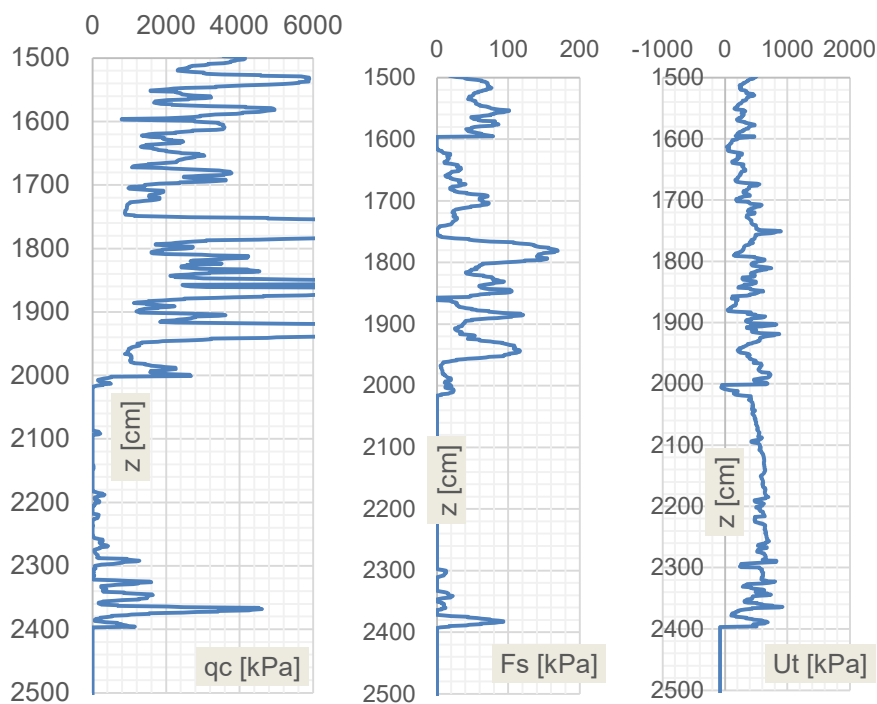


Сл. 3.1.1. Модел на узводна (ретензиона) брана на јаловиштето Тораница, за конструкциска анализа во Анекс 2, од 2023-05-29.

Усвојувањето на физичките, механичките, јакостните, деформабилните и водопропустливите карактеристики на материјалите базира на големиот број на теренски и на лабораториски испитувања, пред сè во минатиот период за хидројаловиштето Тораница 1 (Геинг - Скопје, 2018.09.12), но и со споредба на големините за новото хидројаловиште Тораница 2 (Техника 20 – Скопје, 2022.02.21).

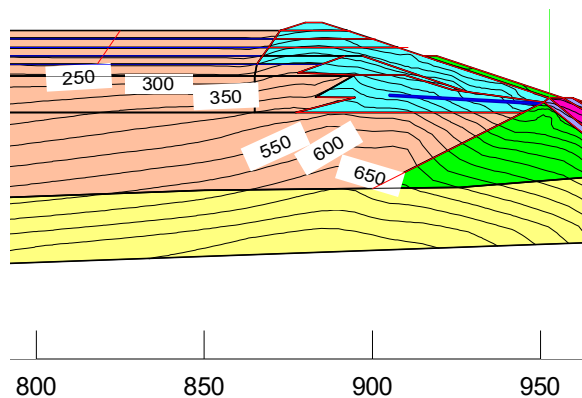
За определување на вредностите за недренираната јакост на смолкнување на јаловишната кал во статички услови $S_u(\text{yield})/\sigma'_v$ и во услови на ликвидација $S_u(\text{liq})/\sigma'_v$, кои се определени со *insitu* SPT и CPT, користени се податоци од најновите теренски геотехнички истраги (ДИПКО – Скопје, 2023.03.16). Теренските истраги се состоеја од изведба на две дупнатини на растојание од узводната ивица на првобитната конвенционална ретензиона брана (со круна на 977.5 мнв) на 55.6 м ИД-1 и 72.5 м ИД-2 до максимална длабочина од околу 40 м, на максималниот напречен пресек (приближно по средина на речното корито). Во дупнатините се реализирани две серии на опити на стандардна (динамичка) пенетрација (SPT) и еден опит на конусна (статичка) пенетрација со мерење на порен притисок (CPT) во ИД-1. Во дупнатината ИД-1, со SPT, на длабочина околу 16.1 м е проценет потенцијал на ликвидација, а приближно во таа зона се добиени и најниските јакостни параметри со CPT.

Резултатите од CPT во ИД-1, за критичната длабочина од 15 до 25 м, дадени се на слика 3.1.2. Со проценетите вредности за CPT и со користење на изразите од техничката литература за пресметка на недренираната јакост на смолкнување (Campanella, R. G., Gillespie, D., and Robertson, P. K. 1982), (Campanella, R. G., et al. 1985), (Olson, S.M., and Stark, T.D. 2003), (Robertson, P.K. 2010), (Robertson, P.K. 2016), (Robertson, P.K., 2020), определени се вредностите на $S_u(\text{yield})/\sigma'_v$ и $S_u(\text{liq})/\sigma'_v$. За натамошните анализи се усвоени следните вредности $S_u(\text{yield})/\sigma'_v = 0.21$ и $S_u(\text{liq})/\sigma'_v = 0.04$.



Сл. 3.1.2. (1) q_c - CPT cone resistance, (2) F_s - CPT sleeve friction, (3) U_t - Total pore pressure during penetration, measured behind the tip

Вредностите на резидуалната јакост на ликвидирани локални материјали $Su(liq)/S'y$, со користење на податоците за ефективните вертикални напрегања, [слика 3.1.3](#), усвоени вредности систематизирани во [табела 3.1.1](#).



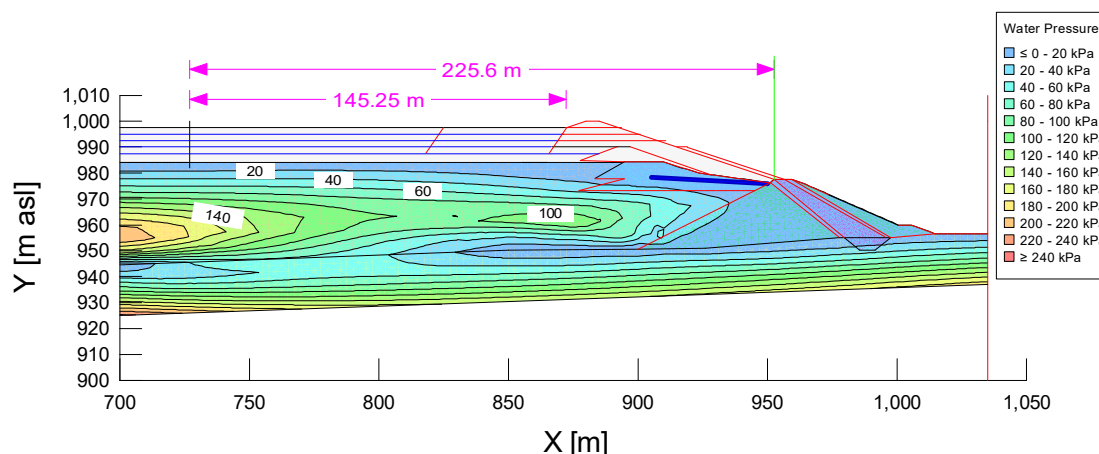
Сл. 3.1.3. Распределба на нормални вертикални ефективни напрегања, временска рамка $T=2.46$ урс, иницијална предземјотресна состојба, со проценети осреднети вредности за плитка зона $\sigma'_v = 300$ kPa и за длабока зона $\sigma'_v = 600$ kPa

Таб. 3.1.1. Параметри на консолидирана недренирана јакост на смолкнување

		Static	Initial	Dynamic	Dynamic
f_{i_l}	zone	$Su/S'y$	$S'y$	$Su(liq)/S'y$	$Su(liq)$
o			kPa		kPa
10	shallow lagoon	0.19	300	0.04	12
10	deep lagoon	0.21	600	0.04	24

3.2 СТАТИЧКА АНАЛИЗА

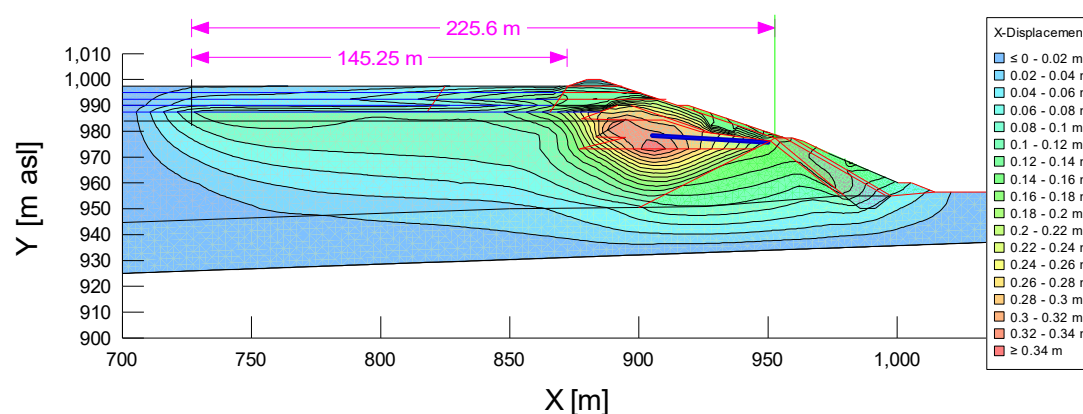
Иницијалната состојба на напрегања пред почетокот на надвишувањето е определена со апроксимација на дистрибуцијата на порниот притисок според измерените податоци со пиезометри (слика 3.2.1), со тип на анализа „Insitu“, со што е симулирана почетната состојба на тотални напрегања (иницијална состојба за следна фаза на товарење) и ефективни напрегања.



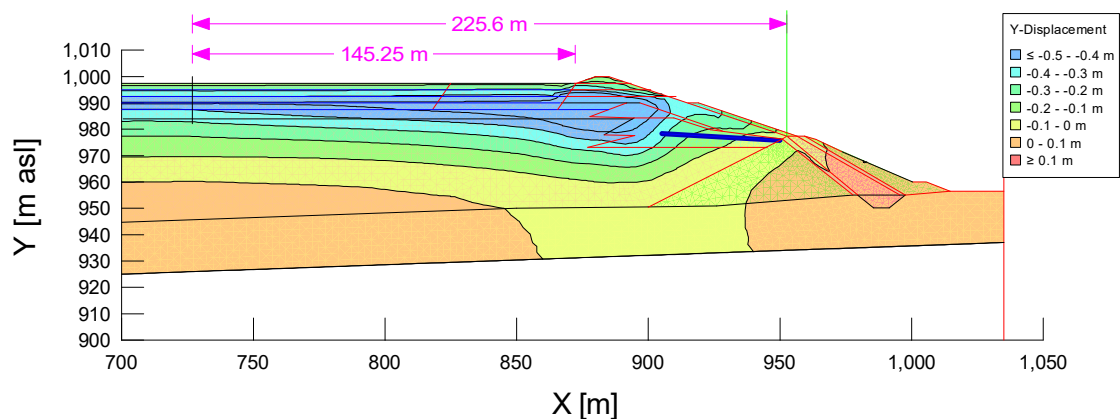
Сл. 3.2.1. Апроксимирана почетна состојба за порниот притисок во хидројаловиштето

Со иницијалната состојба на напрегања на хидројаловиштето за таложното езеро на кота 984 мнв, симулирано е надвишувањето во 5 товарни етапи, за следните коти во езерото: 987.5, 990, 992.5, 995 и 997.5 мнв, така што круната на браната од циклонираниот песок секогаш е 2.5 м повисоко од таложното езеро. Секоја етапа е со времетраење од 180 дена и е персметана со консолидациона анализа во 10 товарни инкременти со експоненцијален пораст, зашто дисипацијата на вишокот на порен притисок е најинтензивна во почетниот период.

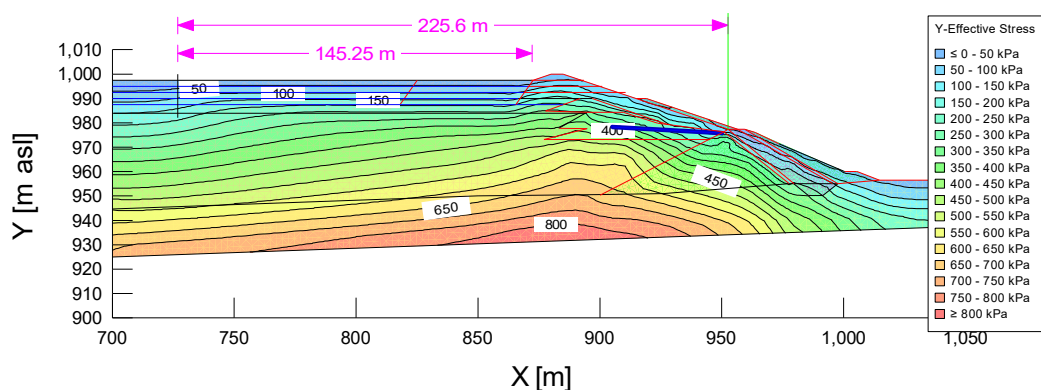
На крајот од секоја етапа во фаза на градба се определени кумулативните вредности на хоризонталните и вертикалните поместувања (слики 3.2.2 и 3.2.3), порниот притисок и ефективните нормални вертикални напрегања (слики 3.2.3), кои треба да се споредуваат со измеретите големини од техничкото набљудување.



Сл. 3.2.2. Изолинии на хоризонтални поместувања, таложно езеро на кота 997.5 мнв

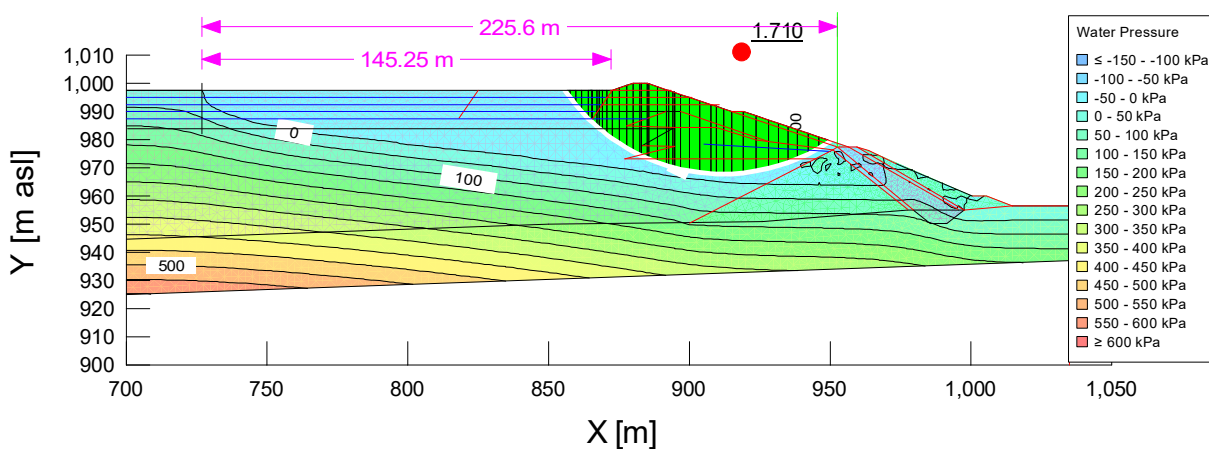


Сл. 3.2.3. Изолинии на вертикални поместувања, таложно езеро на кота 997.5 мнв

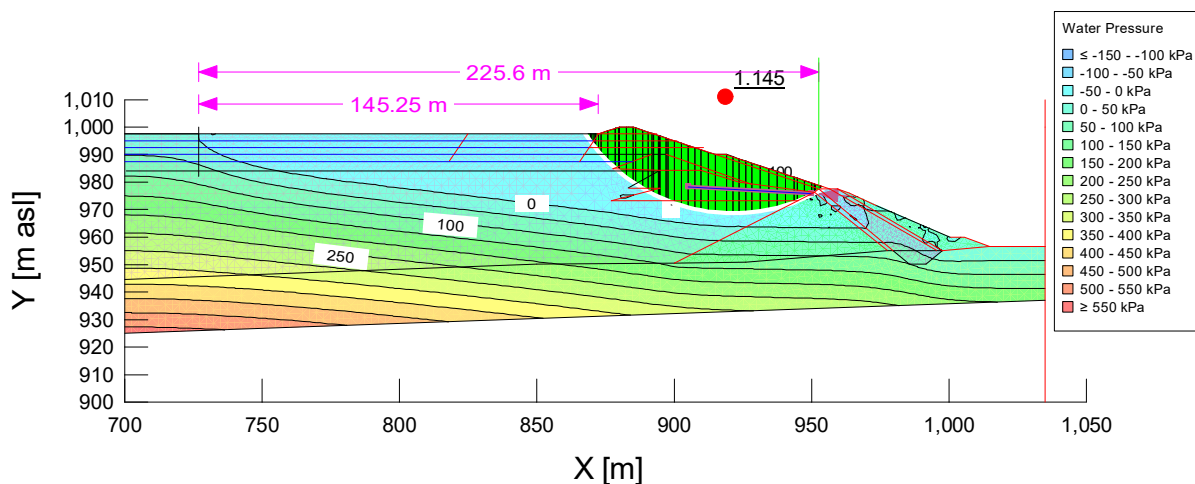


Сл. 3.2.4. Изолинии на вертикални ефективни нормални напрегања, таложно езеро на кота 997.5 мнв

Завршно за етапа бр. 5 од фазата на градба на надвишувањето проверени се: критичните површини на лизгање (со минимален фактор на стабилност), за првиот товарен инкремент (веднаш по нанесување на товарот од 2.5 м), [слика 3.2.5](#) и за последниот товарен инкремент (со дисипација на дел од вишокот на порен притисок после 180 дена) и при дејство на земјотрес, со примена на псевдостатички метод, [слика 3.2.6](#), со коефициент на сеизмичност $K_{sx} = 0.10$ и $K_{sy} = -0.07$



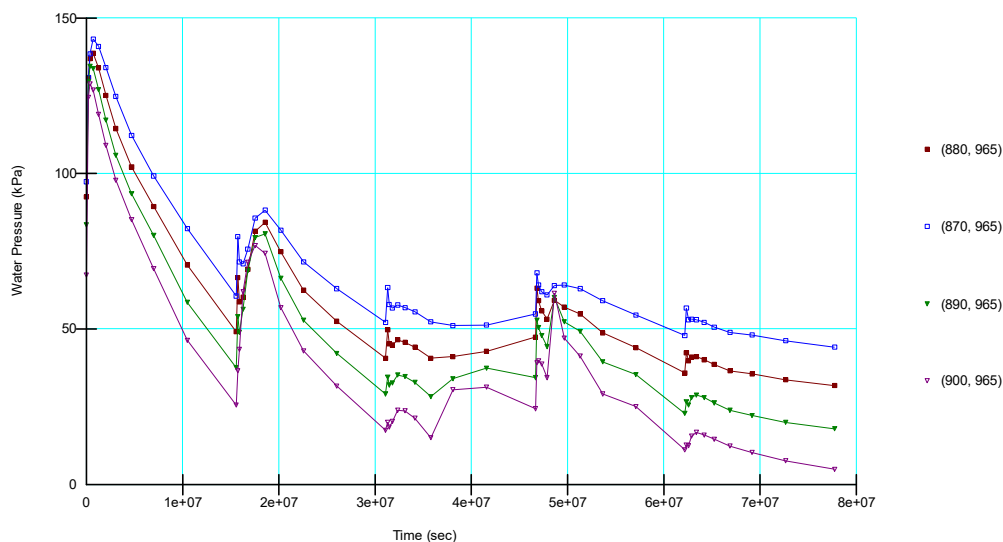
Сл. 3.2.5. Критична површина на лизгање во прв товарен инкремент веднаш по нанесување на слој од 2.5 м, таложно езеро на кота 997.5 мнв



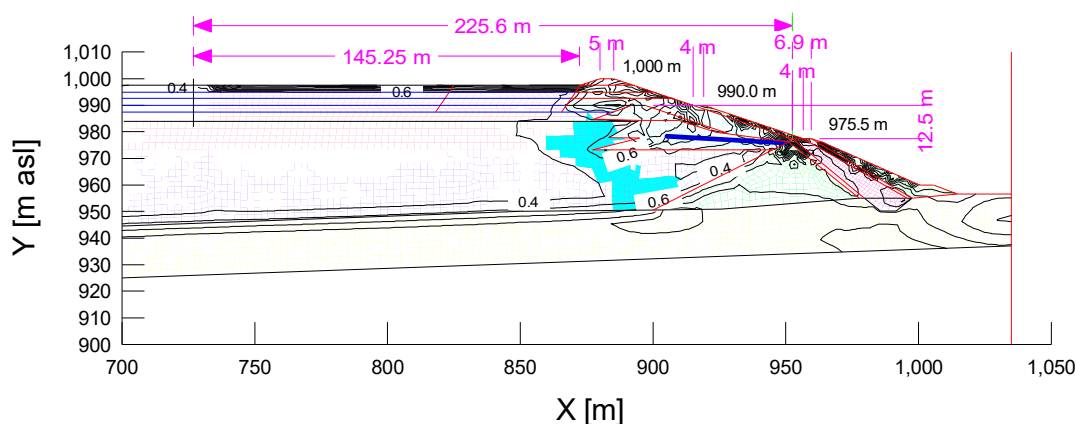
Сл. 3.2.6. Критична површина на лизгање во последен товарен инкремент после 180 дена и при дејство на земјотрес (псевдостатичко), таложно езеро на кота 997.5 мнв

На следната [слика 3.2.7](#), даден е развојот и дисипацијата на консолидациониот порен притисок на кота 965 мнв, за X на моделот од 880 м до 900 м, односно во критичната зона на таложното езеро, под браната од циклонираниот песок надвишена до 1,000 мнв. Оваа зависност е симулирана во тек на 5 етапи при градба по 180 дена, односно во период од $5 \cdot 180 = 900$ дена (77,760,000 s или 2.46 години).

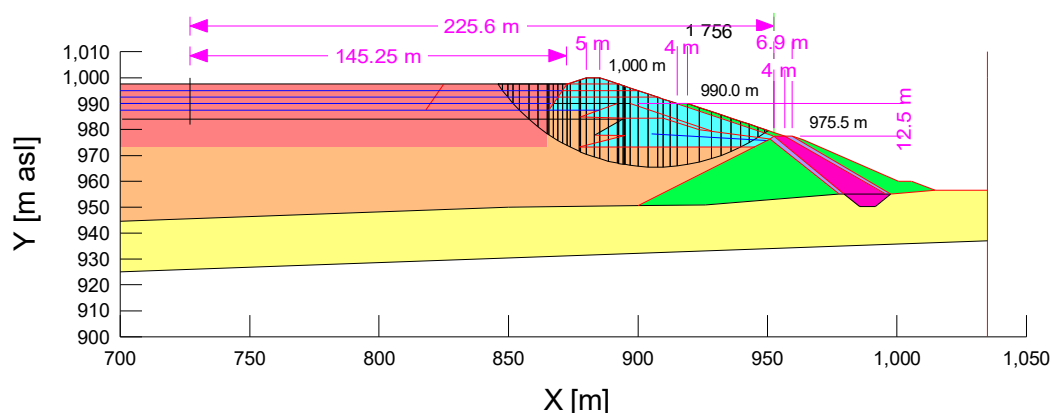
Распределбата на коефициентот q/p' [-], или односот на тангенцијалната отпорност и средните ефективни нормални напрегања, за иницијалната состојба посочува на високи вредности во одредени зони во хидројаловиштето. Зоните во таложното езеро со вредности $(q/p') > (0.42-0.44)$ се наоѓаат над „површината на лом“ и се ликвидирани ([слика 3.2.8](#)). Во продолжение е дадена критичната површина на лизгање за косината на ретензионата брана ([слика 3.2.9](#)) во предземјотресна фаза, со јакост на смолкнување во ликвидирани зони (во услови на статичка ликвидација).



Сл. 3.2.7. Развој (пораств) и дисипација (смамување) на консолидациониот порен притисок во таложното езеро на кота 965 мнв, во зоната под надвишувањето од циклонираниот песок



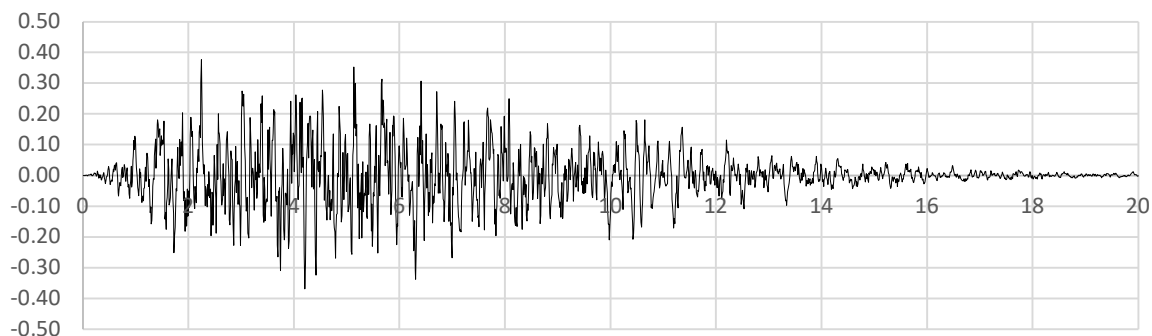
Сл. 3.2.8. Распределба на коефициентот q/p' [-] со ликвидирани зона, за иницијална (предземјотресна) состојба на напрегања, кога јаловишната кал е подложна на ликвидација



Сл. 3.2.9. Критична површина на лизгање во предземјотресна фаза, со јакост на смолкнување во ликвидирани зони (статичка ликвидација)

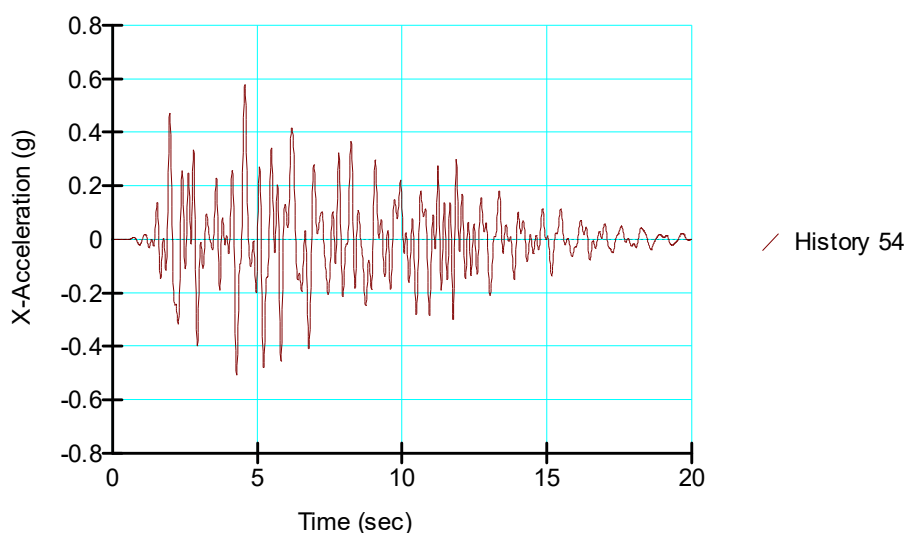
3.3 ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА

Изборот на параметрите на проектните земјотреси и усвојувањето на динамичките параметри се преземени од соодветна сеизмолошка подлога (ИЗИИС - Скопје, 2020.10). Вообичаената процедура за анализа на динамичкиот одговор на јаловишни брани со таложни езера е таа да се спроведи со барем три различни акцелерограми, за два нивоа на сеизмичка побуѓа: (1) основен оперативен земјотрес - OBE (Operating Basis Earthquake) и (2) земјотрес за проценка на сигурноста - SEE (Safety Evaluation Earthquake) слика 3.3.1.

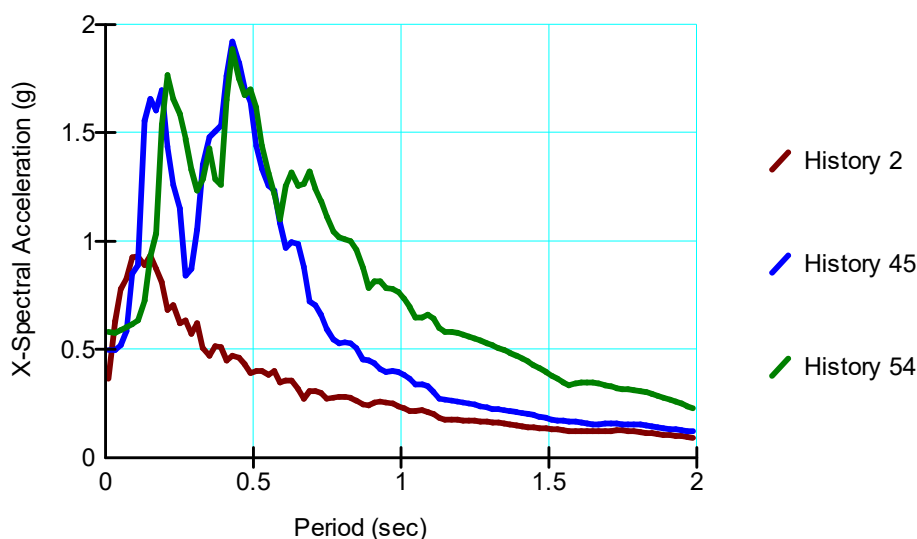


Сл. 3.3.1. Временска историја (акцелерограм) на хоризонтална компонента на забрзувања за SEE земјотрес T-10.000-1 со $t_3 = 20$ s, $PGA_{x3} = 0.36$ g

Динамичкиот одговор на геосредината, во тек на SEE со $PGA\ 0.36\ g$ и $PGA_y = 0.25\ g$, времетраење од $t = 20\ s$, со синтетички акцелерограм $T=10,000_1$, е даден на [сликите 3.3.\(1,2,3,4\)](#). Визуелната контрола дека динамичкиот одговор е коректен е дијаграмот на релативните хоризонтални поместувања. Трајното вертикално поместување, предизвикано од инерцијалните сили во текот на побудата, кое е меродавно за процена на сеизмичката отпорност на браната со круна на 1,000 м.н.в. е слегнувањето во круната и изнесува 85 см.

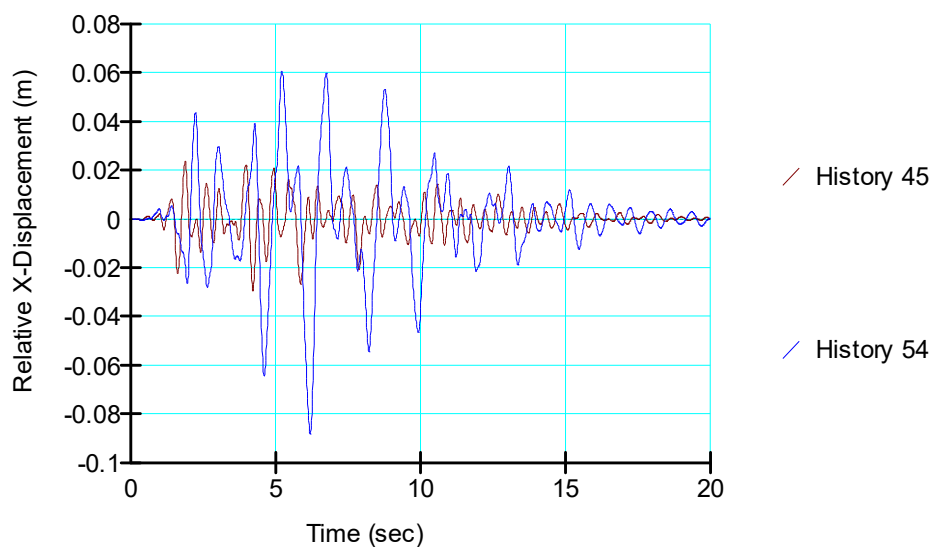


Сл. 3.3.1. Апсолутни забрзувања $a[g] \div t[s]$ во хоризонтален правец, во круната на ретензионата брана Тораница „54“ со надвишување на 1,000 мнв (одговор)

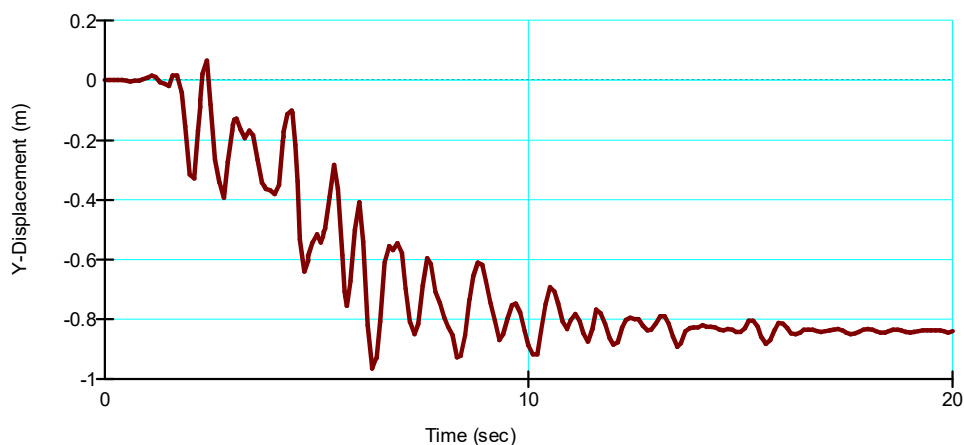


Сл. 3.3.2. Спектар на одговор на забрзувања $Sa[g] \div T[s]$ за $DR = 0.05$, во карпестата основа „2“ (побуда) и во бермата на ретензиона брана „45“ на 977.5 мнв (одговор 1) и во круната на надвишената ретензиона брана „54“ на 1,000 мнв (одговор 2)

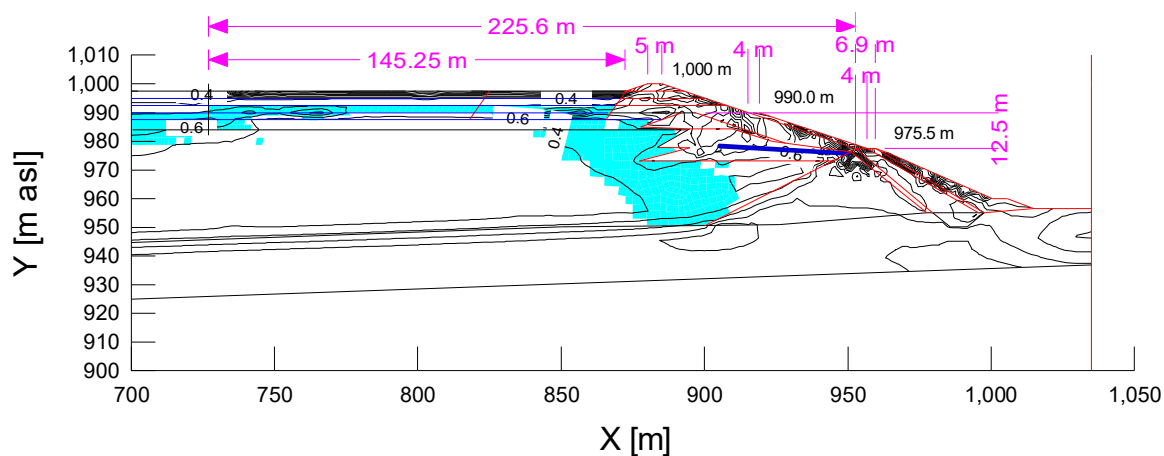
За време на земјотресот доаѓа до пораст на порниот притисок, со што се создава зона со ликвидација после дејство на земјотресот ([слика 3.3.5](#)). За состојбата на динамичка ликвидација се добива минималната стабилност на косината на ретензионата брана Тораница со круна на 1,000 мнв во постземјотресна фаза ([слика 3.3.6](#)). Појавата на ликвидација ќе предизвика редистрибуција на ефективните напрегања, која ќе резултира со постземјотресни поместувања во геосредината ([слика 3.3.7](#)).



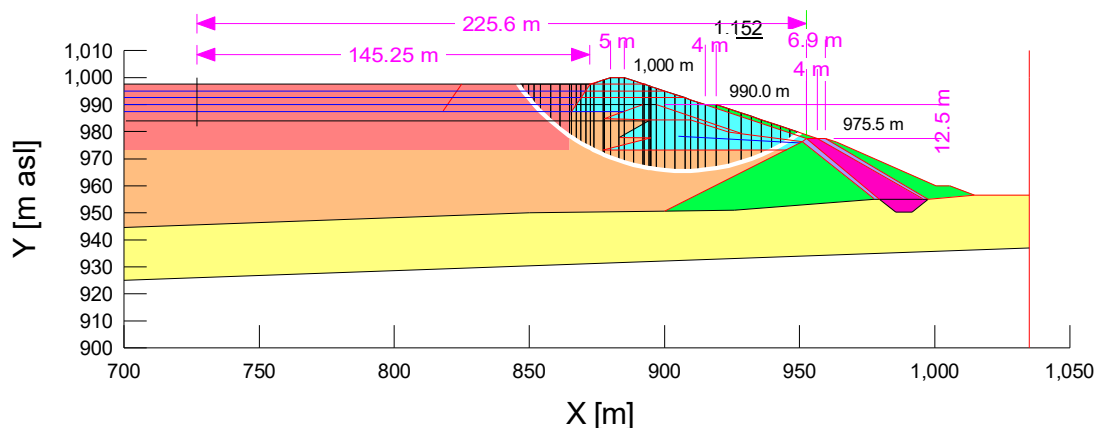
Сл. 3.3.3. Релативни поместувања, хоризонтални $x[m] \div t[s]$, во бERMата на ретензиона брана „45“ на 977.5 мнв (одговор) и во круната на надвишената ретензиона брана „54“ на 1,000 мнв (одговор)



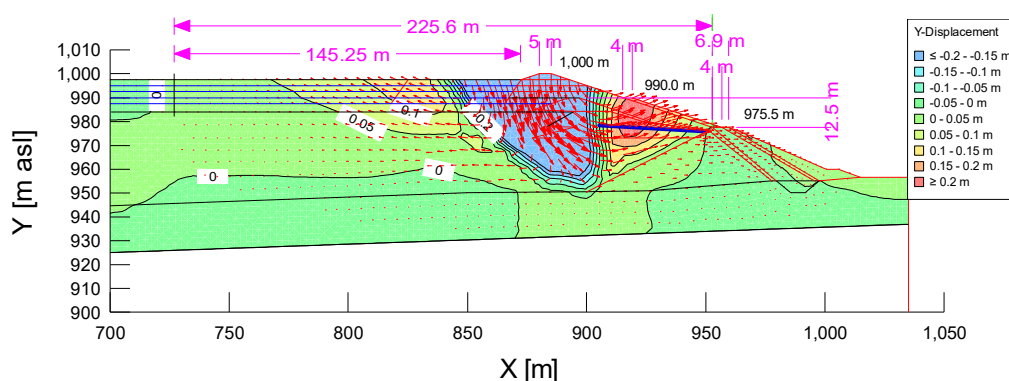
Сл. 3.3.4. Трајни вертикални слегнувања од 84 cm определени со метод DD во узводната ивица на круната на браната на кота 1,000 мнв



Сл. 3.3.5. Распределба на коефициентот $q/p' [-]$ со ликвидифицирана зона, за состојба на напрегања на крај од дејството на земјотресот (динамичка ликвидација)



Сл. 3.3.6 Критична површина на лизгање на косината, во постземјотресна фаза со регуларна должина на плажата од 150 m



Сл. 3.3.7 Распределба на дополнителни вертикални Y поместувања и вектори на XY поместувања после дејството на земјотресот

4. ЗАКЛУЧОК

Со иницијалната состојба на напрегања на хидројаловиштето за таложното езеро на кота 984 мнв, симулирано е надвишувањето во 5 товарни етапи, за следните коти во езерото: 987.5, 990, 992.5, 995 и 997.5 мнв, така што круната на браната од циклонираниот песок секогаш е 2.5 м повисоко од таложното езеро. Секоја етапа е со времетраење од 180 дена и е симулирана во 10 товарни инкременти со експоненцијален пораст, зашто дисипацијата на консолидациониот порен притисок е најинтензивна во почетниот период.

За сите 5 товарни етапи определени се поместувањата (хоризонтални и вертикални), кои треба да се споредуваат со измерените при оскултацијата во тек на градба, за да се донесуваат валидни заклучоци за регуларното однесување на геосредината. За сите 5 товарни етапи при градба проверена е стабилноста против лизгање на косината, за два случаи: (а) веднаш по нанесување на нов слој од 2.5 м, каде е задоволена привремена стабилност со $F_{doz} = 1.3$ и (а) после 180 дена од нанесувањето на новиот слој, каде е задоволена трајна стабилност со $F_{doz} = 1.5$. Воедно, задоволена е и псевдостатичката сигурност на надвишувањето со кота на круна на 1,000 мнв со $F_{doz} = 1.1$.

За критичната површина на лизгање за косината во предземјотресна фаза, со јакост на смолкнување во ликвидирани зони (во услови на статичка ликвифакција), се добива висок фактор на стабилност 1.756, значително повисок од дозвоениот за трајна стабилност со $F_{doz} = 1.5$.

Динамичкиот одговор на геосредината определен со ELA, во тек на SEE со врвно забрзување во основата $PGA_x = 0.36$ g и $PGA_y = 0.25$ g, времетраење од $t = 20$ s, со синтетички акцелерограм

$T=10,000_1$, за стандардна состојба и регуларно сценарио со должина на плажата од 153 м, со врвно забрзување во круната $PCA = 0.58 g$ (на кота на круна 1,000 мнв), односно динамички амплификационен фактор $DAF = PCA/PGA = 1.61$. Визуелната контрола дека динамичкиот одговор е коректен е дијаграмот на релативните хоризонтални поместувања, од +6 до -9 цм.

Трајното вертикално поместување, предизвикано од инерцијалните сили во тек на побудата, кое е меродавно за проценка на сеизмичката отпорност на браната со круна на 1,000.0 мнв е слегнувањето во круната, и изнесува -0.84 м, пресметано со метод на DD.

За време на земјотресот доаѓа до пораст на порниот притисок, со што се создава проширена зона со ликвидација после дејство на земјотресот. За состојбата на динамичка ликвидација се добива минималната стабилност на косината на ретензионата брана Тораница со круна на 1,000 мнв. Таа за критичната површина на лизгање изнесува 1.152, односно е поголема од дозволената за инцидентно екстремно оптоварување $F_{doz} = 1.1$.

Појавата на ликвидација ќе предизвика редистрибуција на ефективните напрегања, која ќе резултира со постземјотресни поместувања во геосредината, хоризонтални и вертикални, со вертикално слегнување во круната на кота 1,000 мнв од 20 цм. Вкупните перманентни слегнувања во круната изнесуваат $84 + 20 = 104$ цм. Тие се помали од заштитната височина од нормалното водно ниво до круната на браната од 2.5 м, односно нема опасност од нагло и неконтролирано празнење на јаловишната кал од таложното езеро.

Генерален заклучок е дека со надвишувањето на узводната (ретензиона) брана на хидројаловиштето Тораница, според усвоената геометрија и распоред на локалните материјали, се обезбедува задоволителна статичка стабилност и сеизмичка отпорност, според важечките проектантски прописи.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Campanella, R. G., et al. 1985. Recent Developments in In-situ Testing of Soils, XI ICSMFE San Francisco
- [2] Campanella, R. G., Gillespie, D., and Robertson, P. K. 1982. "Pore pressures during cone penetration testing." Proc., 2nd European Symp. on Penetration Testing, ESPOT II, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 507–512
- [3] Olson, S.M., and Stark, T.D. 2003. Yield strength ratio and liquefaction analysis of slopes and embankments. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 129(8): 727–737.
- [4] Petkovski L., 2022.11 "EMBANKMENTS ABOVE EXISTING WASTE LAGOONS – GEO ENVIRONMENTS WITH THE HIGHEST POTENTIAL HAZARD", „НАСИПИ ИЗНАД ПОСТОЈЕЌИХ ТАЛОЖНИХ ЈЕЗЕРА – ГЕОСРЕДИНЕ СА НАЈВЕЌИМ ПОТЕНЦИЈАЛНИМ ОПАСНОСТИМА“, UDK: 627.824, Originalni naučni rad, VODOPRIVREDA, ISSN 0350-0519, Vol. 54 (2022), No. 317-318, p. 109-121, Beograd, Srbija
- [5] Petkovski L., Mitovski S., 2018.04 "NUMERICAL ANALYSIS OF DISPLACEMENTS IN THE POST-EXPLOITATION PERIOD OF TAILINGS DAMS WITH A COMBINED CONSTRUCTION METHOD", Topic - Tailings Dams, USSD 38th Annual Meeting and Conference, A balancing Act: Dams, Levees and Ecosystems, April 3- May 4, 2018, Miami, Florida, USA, CD Proceedings
- [6] Petkovski L., Mitovski S., 2018.07, "ASSESSMENT OF SEISMIC RESISTANCE OF COMBINED TAILINGS DAMS", 26. Congress on Large Dams, ICOLD, 1–7 July 2018, Vienna, Austria, CD Proceedings Q.101-R.58, p.978-991
- [7] Petkovski L., Mitovski S., 2019.05, "Application of SPT Results On Liquefaction Phenomenon Modeling Of Tailings Dam", 3-rd International Symposium on Dams and Earthquakes, organized by WGDE-EC-ICOLD and PCOLD, ISBN: 978-972-49-2308-6 Proceedings, p.209-220, (6-8).05.2019, Lisbon, Portugal
- [8] Petkovski L., Mitovski S., 2019.09 "An analysis of the waste lagoon water level influence on the liquefaction resistance of the tailings dams", 11th ICOLD European Club Symposium, "The future of Dams (in Europe): Prospects and Challenges in a changing Environment", CD

- Proceedings - Session 8: Advances in dam engineering: modelling, 2-4 October 2019, Chania, Crete, Greece,
- [9] Robertson, P.K. 2010. Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 136(6): 842–853.
 - [10] Robertson, P.K. 2016. Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — an update. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(12): 1910–1927.
 - [11] Robertson, P.K., 2020, Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test: an update, *Canadian Geotechnical Journal*. 00: 1–5 (0000)
 - [12] 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, оговорен проектант Наталија Алтановска Божиновска
 - [13] 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, оговорен проектант Н. Алтановска Божиновска и други
 - [14] Градежен факултет – Скопје, 2018.09, Иновирана анализа на сеизмичката отпорност на јаловиштето Тополница, за променлива кота на нормално ниво во езерото од 649.0 до 652.0 мнв, со проценка за складирање на максимална количина јаловина во езерото, (Анекс бр. 4 на Изведбениот проект на јаловиштето Тополница, Бучим, со круна 654.0 мнв), Љ.Петковски, (Одговорен проектант), и други
 - [15] 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), Љ.Петковски (одговорен проектант) и други
 - [16] ДИПКО – Скопје, 2023.03.16, Извештај од геотехнички теренски и лабораториски испитувања на хидројаловиште бр.1 на рудникот Тораница, К. Паланка, одговорен проектант Ј.Б. Папик и други
 - [17] ДИПКО – Скопје, 2023.05.29, 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), Љ.Петковски (одговорен проектант) и други
 - [18] ИЗИИС - Скопје, 2020.10, Студија за сеизмички hazard за профилот САСА-2, Извештај 2020-59, Д.Дојчиноски (Одговорен проектант) и други
 - [19] Техника 20 – Скопје, 2022.02.21, Геотехнички испитувања и Идеен и Основен проект за јаловиште бр. 2 на рудникот Тораница, К. Паланка, Дел 1. Геотехнички елаборат, одговорен проектант И. Пешевски и други