



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 СТРАНАХидројаловиште 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

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



Стевчо Митовски¹, Љупчо Петковски², Фросина Пановска³

КОНЦЕПЦИСКО РЕШЕНИЕ ЗА НОВ ХИДРОЈАЗЕЛ НА ЈАЛОВИШТЕ, ДЕЛ ОД КАСКАДЕН СИСТЕМ СО ПОСТОЈНО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

Резиме

Првиот проблем што се поставува кај инженерска задача - создавање на потребен простор во одредена речна долина за одлагање на флотациска јаловина од технолошки процес на рудник - се состои во изборот на најповолен преграден профил и оптимален тип на брана (јаловишна или конвенционална). Оваа инженерска задача, која, всушност, не може да се издвои од задачата за избор на најповолна конфигурација на придружните објекти на хидројаловиштето, се карактеризира со висок праг на неодреденост. Затоа, единствениот можен пристап е методологија, која, генерално, се состои од четири чекори: (а) избор на релевантни критериуми за вреднување на варијантните решенија; (б) идентификување одреден број варијантни решенија; (в) разработка на варијантите на исто ниво на проектна документација и изедначување на истите според техничка сигурност; и (г) споредба на варијантите според економски показател (најчесто, минимизација на актуализирани трошоци), и дополнителна проверка на избраното решение според немерливи показатели (еколошки, социолошки). Предметниов реферат е илустриран со резултати од истражувањето за најповолен профил на јаловишна брана и најповолна конфигурација на придружните објекти во долината на Крива Река, со која треба да се обезбеди максимален корисен простор за депонирање на флотациската јаловина од рудникот „Тораница“, Крива Паланка, Република Македонија.

Клучни зборови: хидројаловиште, најповолна конфигурација, јаловишна брана, придружни објекти

CONCEPTUAL SOLUTION OF NEW HYDRAULIC SCHEME FOR TAILINGS DAM, PART OF CASCADE SYSTEM WITH EXISTING TAILINGS STORAGE FACILITY

Stevcho Mitovski¹, Ljupcho Petkovski², Frosina Panovska³

Summary

The first problem of the engineering task – creation of required space in some river valley for deposition of flotation tailings from technological process of some mine, is composed of choice of most favorable dam site and optimal dam type (tailings or conventional). Such engineering task, impossible to be separated from the task for choice of most favorable configuration of the appurtenant structures of the tailings dam facility, is characterized by high threshold of uncertainty. Therefore, the only possible approach is the methodology, generally composed of four steps: (a) choice of relevant criteria for valuation of the alternatives, (b) identification of number of possible alternative solutions, (c) elaboration of the alternatives at same level of technical documentation and their equaling according to the technical safety and (d) comparison of the alternatives according to economy indicator (most often minimization of actualized cost), and additional check of the chosen solution according to non-measurable indicators (ecological, sociological). The paper is illustrated by results of the research the of most favorable dam site for the tailings dam and most favorable configuration of the appurtenant structures in Kriva Reka valley, in order to provide maximal operation space for deposition of flotation tailings from mine Toranica, municipality Kriva Palanka, Republic of Macedonia.

Key words: tailings dam, most favorable configuration, tailings dam, appurtenant structures.

¹ Assoc. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of North Macedonia
smitovski@gf.ukim.edu.mk

² Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of North Macedonia,
petkovski@gf.ukim.edu.mk

³ Assist. MSc, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of North Macedonia,
fpanovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Просторот којшто е потребен за одлагање јаловиштен материјал од технолошкиот процес во рудниците може да се обезбеди со преградување речна долина, со конвенционална брана или со јаловишна брана. Јаловишната брана се состои од иницијална брана (која се гради пред да започне одлагањето на јаловишниот материјал) и од песочна брана (која се изведува континуирано во текот на експлоатацијата на рудникот). Иницијалната брана вообичаено се изведува како конвенционална насипна брана со водонепропустлив елемент и соодветна дренажна конструкција, изведена од страна на градежна компанија. Песочната брана се формира со одлагање на јаловишниот песок (покрупните фракции од процесот на хидроциклонирање) и најчесто се извршува од страна на рудничката компанија, што придонесува во намалување на инвестициските трошоци. Алтернатива на јаловишната брана е конвенционалната брана, односно брана која се изведува според стандардите за креирање водна акумулација.

Рудникот „Тораница“, Крива Паланка, моментно работи со производство на руда од околу 320,000 t/god, при што за потребите на тоа производство во функција е постојното јаловиште бр.

1. За регуларно функционирање во идниот период, неопходно е да се комплетира техничка документација за изградба на јаловиште бр. 2 на рудникот „Тораница“, Крива Паланка (Тораница 2 во натамошниот текст). Имено, потребно е да се креира концепциско решение за најповолен тип јаловишна брана и најповолна конфигурација на придружните објекти.

Поставените цели при изработката на концепциското решение се повеќекратни [1]. Имено, посветено е особено внимание во изнаоѓање решение со прифатлива заштита од аерозагадување и од контаминација на почвата и подземните води во низводната речна долина. Врз изборот на најповолното концепциско решение, кој зависи од усвоениот метод на градба на јаловишната брана и можностите за рекултивација на низводната косина, е согледано влијанието од композицијата и геометријата на браната врз конструкциската стабилност на браната, како објект со најголем потенцијален hazard за околината [2, 3].

2. ИЗБОР НА НАЈПОВОЛНА КОНФИГУРАЦИЈА НА ОБЈЕКТИТЕ

Најповолното решение за конфигурацијата на градежните објекти (јаловишна брана и водоспроводници) во рамки на хидројазелот за новото јаловиште Тораница 2 треба да ги исполни следните критериуми: (а) да се обезбеди сепаративен карактер на водите, односно да се раздвојат чистите надворешни води од внатрешните контаминирани води и (б) да се формира таложен простор со максимално искористување на концесискиот простор. Првиот критериум е неопходен, сè со цел да биде поефикасен и поекономичен евентуален иден третман на загадените води со идна прочистителна станица. Вториот критериум го вклучува аспектот на максимално искористување на расположливиот концесиски простор, со цел да се овозможи непречено функционирање на рудникот во идниот период. Со концепциското решение за конфигурацијата на придружните објекти опфатени се диспозициите на следните водоспроводници (сл. 2.1): (а) колектор за избистрени води од таложно езеро бр. 2, (б) обиколен тунел за големи води од Крива Река со излезна градба низводно од браната бр. 2, (с) траен преливен орган за евакуација на поплавни води од Рупски Дол, (д) дренажен водоспроводник за филтрирани води од старото јаловиште 1 и од новото јаловиште 2 и (е) пулповод до хидроциклоните поставени на променливата круна на браната (од иницијалната до финалната кота).

Основните параметри на концепциското решение за хидројаловишниот комплекс Тораница 2, тргнувајќи од барањето за максимално искористување на концесискиот простор, се следните (сл. 1): (а) јаловишна песочна брана со кота на круна на 970.0 м.н.в., со ширина во круната од 5.0 m, со наклон на узводна косина 1:2 и наклон на низводната косина 1:3, со низводен метод на градба [4, 5]. Преградниот профил на браната е во најтесниот дел на долината, при што низводна ножица е позиционирана во индустрискиот опфат (концесискиот простор); (б) иницијална брана, првично хомогена насипна брана од материјал со висока водонепропустливост, со кота на круна на 925.0 м.н.в., со узводен противфилтрационен чеп и низводен дренажен килим. Широчината во круната на иницијалната брана изнесува 5.0 m, додека наклоните на косините се 1:2 за

уздоната и 1:3 за низводната косина; (с) обиколен тунел (во функција на преливен орган за Крива Река) со внатрешен дијаметар $D=2.6\text{ m}$, предвиден во левиот бок со излезна градба, која се состои од брзотек, слапиште и ризберма, позиционирана во индустрискиот опфат, (d) максимално работно ниво во таложното езеро Тораница 2 на кота 968.0 м.н.в.; (е) траен преливен орган за Рупски Дол, во десниот бок, со кота на прелив на 968.0 м.н.в., предвиден како бочен преливник, со собирен канал во непосредна близина на преградниот профил, одводен дел – површински брзотек и завршен дел – отскочен праг и смирителна јама; и (f) колектор за избистрени води (површински објект од армиран бетон) во левиот бок, поврзан на постојната излезна градба на обиколниот тунел. На колекторот се предвидени привремени отвори, распоредени до кота 968.0 м.н.в. (кота на нормално ниво во езерото Тораница 2).

Имајќи ги предвид хидролошките, топографските и геолошките услови на преградното место, како и типот на браната, за евакуација на поплавниот бран во експлоатација, усвоен е преливен орган во десниот бок од речната долина, составен од: бочен преливник со собирен канал, брзотек и завршен објект.

Обиколниот тунел е предвиден во левиот бок, при што почетокот на тунелот е на спој со постојниот тунел на стац. km 0+800.0. Сумарната должина на тунелот на Крива Река, за пренасочување на водите од речната долина запоседната со постојното јаловиште 1 и новото јаловиште 2, изнесува $L=1392.2\text{ m}$, со коти на дното на тунелот на влезна градба 954.08 м.н.в. и на излезна градба 894.98 м.н.в.. Просечниот надолжен пад на тунелот изнесува $59.1/1392.2=4.245\%$. Обиколниот тунел е со армиранобетонска облога, со коефициент на рапавина $n = 0.014$ и внатрешен дијаметар $D = 2.6\text{ m}$.

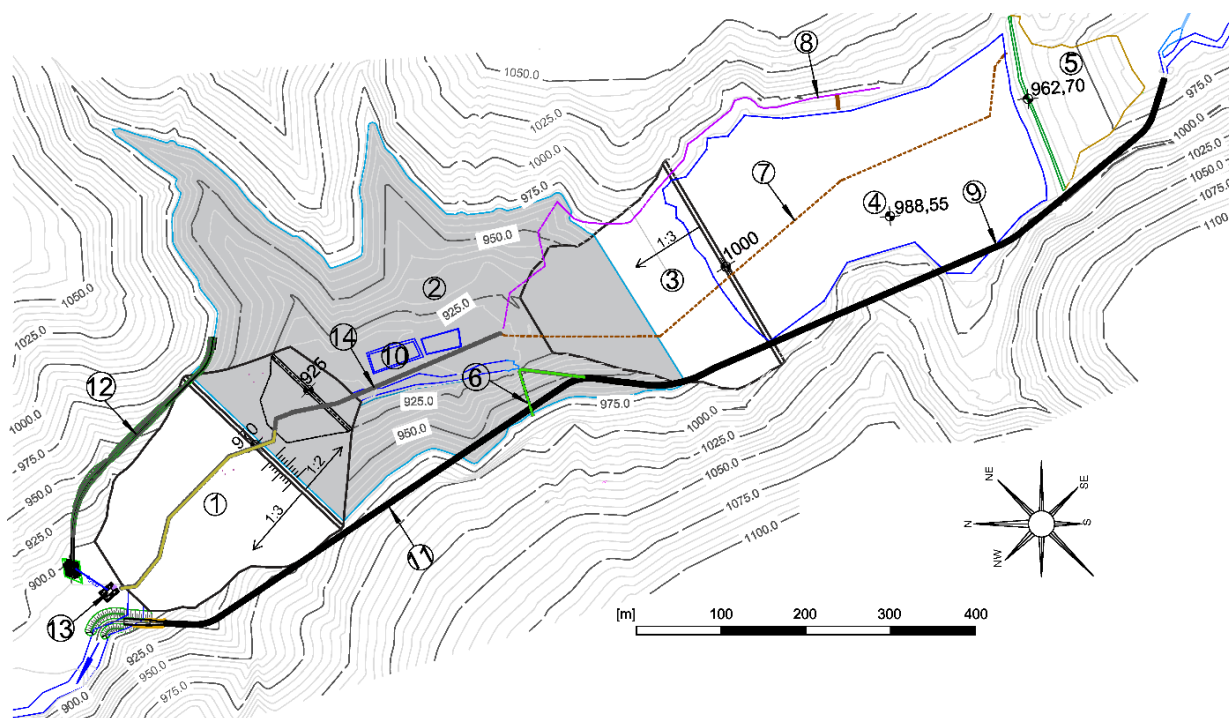
Разгледани се варијантни решенија за диспозицијата на преливниот колектор и пулповодот. Од ситуационото решение се проценети хоризонталните проекции на преливниот колектор за избистрена вода. За варијанта бр. 1, доколку е најузводно поставен во таложното езеро бр. 2 и споен со излезната градба на постојниот тунел, должината е околу 58.8 m. За варијанта бр. 2, доколку е поставен во средиштето на таложното езеро бр. 2, за варијанта со двојно циклонирање, од узводната страна (од насип што би се потпирал на низводната косина на браната Тораница 1) и од низводната страна од круната на браната Тораница 2, тогаш должината е околу 93.4 m (сл. 2.2). За колекторот за избистрена вода е усвоена варијанта бр. 1, односно со циклонирање само од круната на песочната брана Тораница 2 и најузводно лоцирање на колекторот. Оваа варијанта е поповолна од варијантата бр. 2, со двојно циклонирање, со која, од една страна, има занемарливо подобрување на стабилноста на браната Тораница 1, а, од друга страна, ја зголемува должината на колекторот, односно тој е за 59 % подолг, што влијае на зголемување на инвестициските трошоци. Внатрешните димензии на површинскиот колектор се конструкциски усвоени, со потковичест напречен пресек, широчина и височина од 1.6 m, со дебелина на АБ облога од 20 cm. Привремените отвори во горниот свод (калота) на колекторот за одведување на вишокот избистрени води и акумулирани поплавни води (во текот на користење на јаловиштето), се усвоени со широчина 30 cm и должина 50 cm, на височински растојанија од 50 cm.

Од ситуационото решение се проценети хоризонталните проекции на пулповодот. Усвоени се следните коти: постојниот пулповод во десниот бок на долината за потребите на Тораница 1 на 1,042 м.н.в. и нов пулповод за потребите на Тораница 1 на 995.0 м.н.в., односно барем 25 m повисоко од круната на браната Тораница 2. За новиот потез од пулповодот се разгледани две варијанти, на левиот и на десниот бок на долината. Левиот бок на долината е порамномерен од топографски аспект и е многу поповолен за диспозиција на линиски објекти.

За варијанта бр. 1 во десниот бок, должината на пулповодот е 1,502 m. За првиот дол е неопходен челичен пешачки мост со должина од 75.7 m. За гребенот е потребен засек во теренот со должина од 37.2 m и максимална длабочина од 10.0 m, со сите неопходни геотехнички мелиорации за стабилизирање на косината на ископот. За вториот дол (Рупски Дол) е неопходен челичен пешачки мост со должина од 71.7 m. За варијанта бр. 2 на левиот бок, должината на пулповодот е 1,027 m.

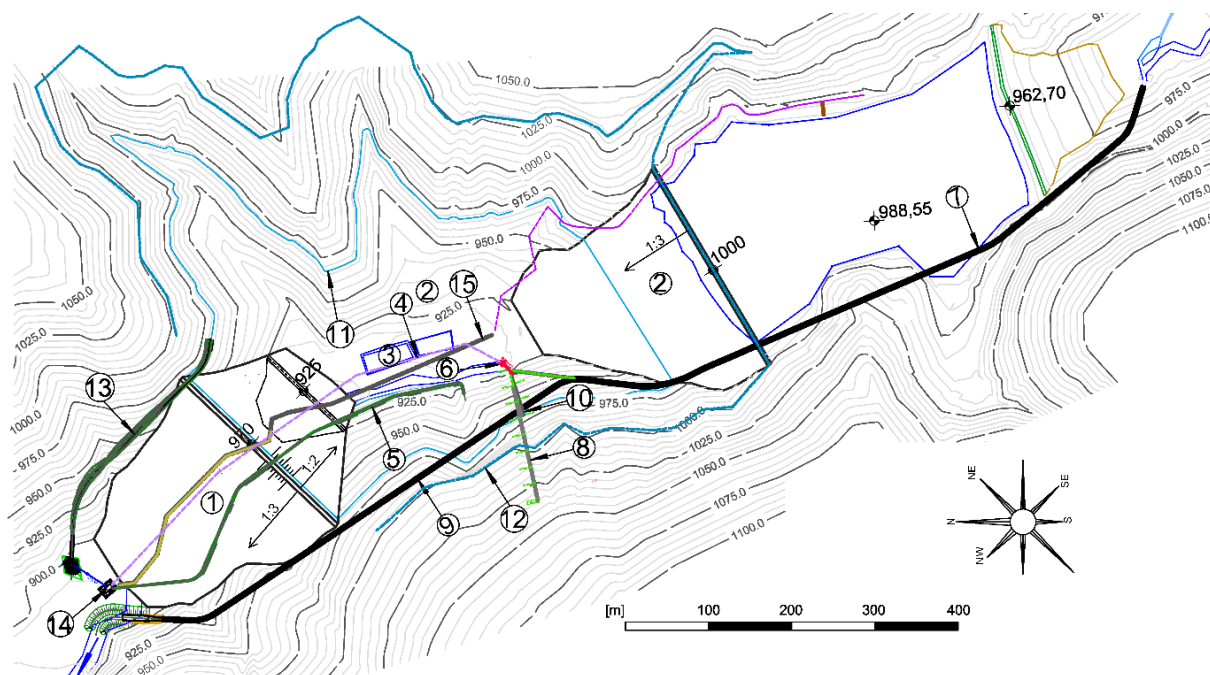
За ситуационото решение за пулповодот е усвоена варијанта бр. 2, во левиот бок на долината, кој е порамномерен од топографски аспект и е многу поповолен за диспозиција на линиски објекти. За премин преку круната на браната Тораница 1 на кота 1,000 м.н.в., со должина на круната од 275.3 m, усвоени се лежишта со механизам на подесување на нивелетата на

пулповодот. Ова подесување е потребно зашто во постексплоатациониот период на јаловиште Тораница 1 може да се појават слегнувања во насипот, посебно во средишниот (највисок) пресек на браната. Варијантата бр. 2 е поповолна од варијанта бр. 1, во десниот бок на долината. Имено, должината за варијанта бр. 1 е за 46 % поголема, а дополнително има и трошоци за инженерски објекти: два челични моста за совладување на два дола, со вкупна должина од 147.4 m и еден длабок засек со должина од 37.2 m, со геотехнички мелиорации за осигурување на ископот.



Сл. 2.1. Концептиско решение на хидројаловишниот комплекс Тораница 2 на рудникот Тораница, К. Паланка. (1) јаловишна брана Тораница 2, (2) таложно езеро Тораница 2, (3) јаловишна брана Тораница 1, (4) таложно езеро Тораница 1, (5) возводна брана на јаловиште Тораница 1, (6) колектор за избистрени води за јаловиште 2, (7) дренажен колектор за јаловиште 1, (8) колектор за избистрени води за јаловиште 1, (9) постоеен обиколан тунел за јаловиште 1, (10) таложници за јаловиште 1, (11) нов обиколан тунел за јаловиште Тораница 2, (12) преливен орган за Рупски Дол, (13) таложница за јаловиште 2.

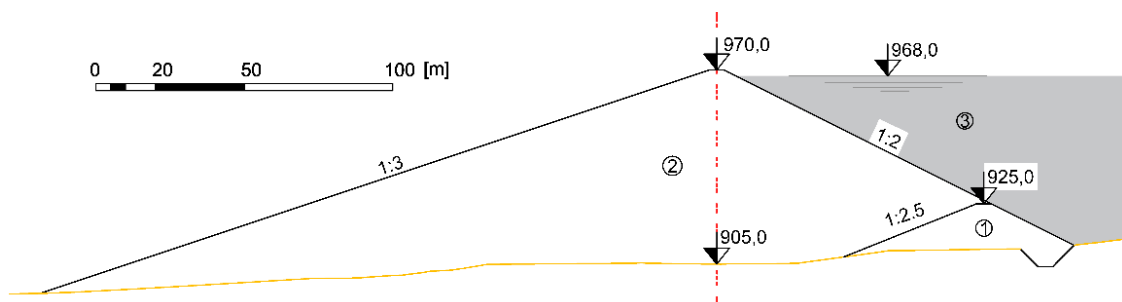
На спојот со новиот потез од тунелот потребни се бетонски чеп и цевковод Ø300 mm за одведување на истечните води од колекторот, притоа запазувајќи го сепаративниот карактер на водите. Цевководот ќе биде потпрен на челични конзоли, анкерувани во десната армиранобетонска облога на тунелот. Цевководот ќе продолжи сè до излезната градба на тунелот и ќе се спои со таложницата за дренажните води од Тораница 1 и од Тораница 2. Димензиите на таложницата се конструкциски усвоени, со правоаголна форма во основата и димензии 5 x 10 m, со длабочина од 2.0 m и наклони на косините од 1:1.5, со цел да се обезбеди привремена стабилност на јамата ископана во алувиумот. Јамата треба да биде обложена со геотекстил, на кој ќе се инсталира геомембрана. Вишокот на вода од оваа таложница, за водна височина поголема од 1.8 m, ќе се одведува со цевковод DN315 во смирителната јама – завршниот објект на преливниот орган на Тораница 2, со кој се одведуваат поплавните води од Рупски Дол. Недостаток на оваа варијанта е тоа што на спојот на стариот и новиот тунел, нивелетата е околу 929.5 м.н.в. Значи, водата од езерото би можела гравитационо да истекува низ колекторот откако ќе досигне ниво над 930.0 м.н.в. Поради тоа, доколку во почетниот релативно кус период е неопходно одведување на избистрените води и на евентуалните поплавни води (привремено акумулирани во езерото), предвиден е систем со пумпање, со пумпа на сплав со капацитет од 104.2 l/s.



Сл.2.2. Ситуационо решение на варијанти за избор на преливен колектор и пулповод за хидројаловиште бр.2 на рудникот Тораница, според предметната прелиминарна диспозиција на објектите. (1) јаловишна брана Тораница 2, (2) јаловишна брана Тораница 1, (3) таложници за јаловиште 1, (4) варијанта 1б за колектор за избистрени води, (5) варијанта 1в за колектор за избистрени води, (6) платформа со сплав за пумпа за варијанта 1б за колектор за избистрени води, (7) постоеен обиколан тунел за јаловиште 1, (8) варијанта 2 за колектор за избистрени води, (9) нов обиколан тунел за јаловиште Тораница 2, (10) варијанта 1а за колектор за избистрени води, (11) варијанта 1р1 за пулповод во десен бок, (12) варијанта 1р2 за пулповод во лев бок (13) преливен орган за Рупски Дол, (14) таложница за јаловиште 2, (15) дренажен колектор за јаловиште 1 и 2.

3. ТОПОГРАФСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРЕГРАДНИОТ ПРОФИЛ

Од ситуационото решение со користење ажурирани топографски подлоги, конструиран е репрезентативен напречен пресек на јаловишната брана Тораница 2 (сл. 3.3), која ги има следните параметри: (а) кота на узводна ножица на јаловишната брана 909.56 м.н.в., (б) кота на низводна ножица на иницијална брана 905.0 м.н.в., (с) кота на низводна ножица на јаловишната брана 894.6 м.н.в., (д) узводна и низводна височина на иницијална брана над теренот 15.44 m и 20.0 m соодветно и (е) узводна и низводна височина на песочната брана над теренот 60.44 m и 75.4 m соодветно.



Сл. 3.3. Репрезентативен напречен пресек (пресек А-А) на јаловишна брана Тораница. (1) иницијална брана, со кота на круна 925.0 mпв (2) песочна брана, со кота на круна 970.0 mпв и (3) таложно езеро, со максимално ниво на кота 968.0 mпв.

Од ситуационото решение за преградниот профил на Тораница 2 и ажурираните топографски подлоги определени се линиите на површините и пресметани се волумените на земјен материјал во иницијалната брана (табела 3.1) и јаловиштен материјал во јаловишната брана (табела 3.2) и во таложното езеро (табела 3.3).

Табела 3.1. Топографски карактеристики на иницијална брана (од земјен материјал)

Z [mnv]	F [m2]	dz [m]	Fsr [m2]	dV [m3]	V [m3]
905.0	0				
910.0	5,138	5	2,569	12,845	12,845
915.0	5,139	5	5,139	25,693	38,538
920.0	3,294	5	4,217	21,083	59,620
925.0	637	5	1,966	9,828	69,448

Табела 3.2. Топографски карактеристики на јаловишната брана од циклонираниот песок (без земјен материјал во иницијалната брана)

Z [mnv]	F [m2]	dz [m]	Fsr [m2]	dV [m3]	V [m3]
890.0	0				
895.0	350	5	175	875	875
900.0	9,174	5	4,762	23,810	24,685
905.0	15,868	5	12,521	62,605	87,290
910.0	19,945	5	17,907	89,533	176,823
915.0	22,860	5	21,403	107,013	283,835
920.0	25,757	5	24,309	121,543	405,378
925.0	28,775	5	27,266	136,330	541,708
930.0	29,235	5	29,005	145,025	686,733
935.0	28,422	5	28,829	144,143	830,875
940.0	26,682	5	27,552	137,760	968,635
945.0	24,439	5	25,561	127,803	1,096,438
950.0	21,220	5	22,830	114,148	1,210,585
955.0	17,375	5	19,298	96,488	1,307,073
960.0	12,644	5	15,010	75,048	1,382,120
965.0	7,239	5	9,942	49,708	1,431,828
968.0	3,812	3	5,526	16,577	1,448,404
970.0	1,286	2	2,549	5,098	1,453,502

Таб. 3.3. Топографски карактеристики на таложното езеро од циклонирана кал

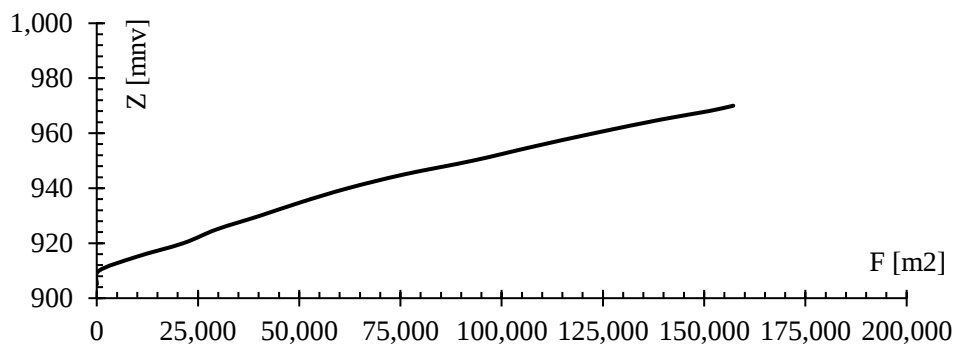
Z [mnv]	F [m2]	dz [m]	Fsr [m2]	dV [m3]	V [m3]
905.0	0				
910.0	575	5	288	1,438	1,438
915.0	9,719	5	5,147	25,735	27,173
920.0	21,371	5	15,545	77,725	104,898
925.0	29,580	5	25,476	127,378	232,275
930.0	40,369	5	34,975	174,873	407,148
935.0	50,624	5	45,497	227,483	634,630
940.0	62,052	5	56,338	281,690	916,320
945.0	75,852	5	68,952	344,760	1,261,080
950.0	92,833	5	84,343	421,713	1,682,793
955.0	107,424	5	100,129	500,643	2,183,435

960.0	122,825	5	115,125	575,623	2,759,058
965.0	139,463	5	131,144	655,720	3,414,778
968.0	151,010	3	145,237	435,710	3,850,487
970.0	157,194	2	154,102	308,204	4,158,691

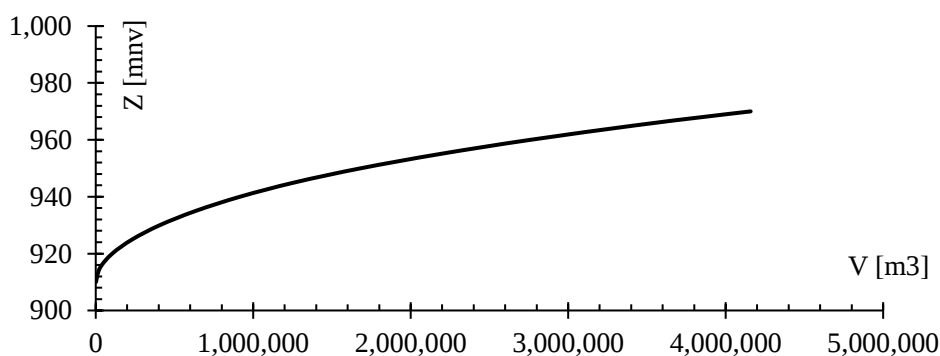
Од податоците во табелите се констатира дека клучните големини на волуменот во телото на јаловишната брана и во таложното езеро Тораница 2 се следните:

- земјен материјал за иницијална брана, од 905.0 м.н.в. (приближно речно дно) до кота 925 м.н.в. (кота на круна на иницијална брана) е 69,448 m³;
- јаловиштен песок со циклонирање од кота 925 м.н.в. (од кота на иницијална брана) до 970 м.н.в. (кота на круна на песочна брана), каде што низводната ножица е околу 890 м.н.в., е 1,453,502 m³;
- јаловишна кал со циклонирање во почетна фаза (фаза на тестирање на хидројаловиштето), од 905 м.н.в. (приближно речно дно) до 925 м.н.в. (кота на круна на иницијална брана) е 232,275 m³;
- јаловишна кал со циклонирање во оперативна фаза, од 925 м.н.в. (кота на круна на иницијална брана) до 968 м.н.в. (кота на максимално работно ниво во езерото) е 3,618,212 m³;
- вкупен волумен на јаловишна кал со циклонирање од кота 905 м.н.в. до кота 968 м.н.в. е 3,850,487 m³;
- вкупен волумен на јаловиштен материјал со циклонирање (кал во таложно езеро до нормално ниво или максимално работно ниво на 968 м.н.в. и песок во јаловишна брана до круната на 970 м.н.в.) изнесува **5,303,989 m³**.

Со користење на податоците од табела 3.3 за јаловишното езеро, конструирани се топографски криви, т.е. линии на површини (сл. 3.1) и линии на волумени (сл. 3.2) за таложното езеро Тораница 2.



Сл. 3.1. Линија на површини на таложното езеро Тораница 2.



Сл. 3.2. Линија на волумени на таложното езеро Тораница 2.

4. ПРЕЛИМИНАРНА ПРОЦЕНА ЗА ИЗВОДЛИВОСТ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО

За максимално искористување на концесискиот простор се добива кота на круна на јаловишната брана на 970.0 м.н.в. и кота на нормално ниво во таложното езеро на 968.0 м.н.в.. Со зададени волуменски тежини на одложената јаловина (циклониран песок во брана 20.8 kN/m³ и циклонирани кал во езеро 17.5 kN/m³), масата на одложената јаловина во хидројаловиштето е 9,953,744 t, односно средната волуменска маса на одложената јаловина е 1.88 t/m³, со коефициент на циклонирање од 2.65 (табела 4.1).

Табела 4.1. Пресметка на средна волуменска маса на одложена јаловина (за зададени волуменски тежини)

oznaka	vrednost	dimenzija	golemina
V _p	1,453,502	m ³	volumen na jalovishen pesok vo brana do 970 mnv
V _k	3,850,487	m ³	volumen na jalovishna kal vo ezero do 968 mnv
V _k /V _p	2.65		волуменски сооднос на кал и песок
V _j	5,303,989	m ³	volumen na odlozhena jalovina vo hidrojalovishte
V _p /V _j	27.40	%	procent za cikloniran pesok
V _k /V _j	72.60	%	procent za ciklonirana kal
gam-p, p _v	20.80	kN/m ³	volumenska tezhina na jalovishen pesok vo prirodna vlazhnost
gam-k, w _z	17.50	kN/m ³	volumenska tezhina na jalovishna kal vo vodozasitena sostojba
G _p	30,232,842	kN	tezhina na jalovishen pesok
G _k	67,383,523	kN	tezhina na jalovishna kal
G _j	97,616,364	kN	tezhina na odlozhena jalovina
g	9.807	m/s ²	zemjino zabrzuvanje
M _j	9,953,744	t	masa na odlozhena jalovina (kapacitet na hidrojalovishte)
gus-j	1.88	t/m ³	volumenska masa na odlozhena jalovina

Со примена на зададените параметри за проектирање определени се масата и тежината на одложената јаловина во експлоатациски период од 20 години (табела 4.2), за усвоен коефициент руда/јаловина од 1.087.

Табела 4.2. Пресметка на маса и тежина на одложена јаловина во експлоатацискиот период

oznaka	vrednost	dimenzija	golemina
M _{r,g}	320,000	t/g	masa na ruda (godishno), kapacitet na rudnik
V _{r,g}	120,000	m ³ /g	volumen na ruda (godishno)
gus-r	2.67	t/m ³	volumenska masa na ruda
c-j	1.087		koeficient ruda/jalovina
M _{j,g}	294,388	t/g	masa na jalovina (godishno)
Teksp	20	g	period na eksploatacija an rudnikot
M _j	5,887,764	t	masa na odlozhena jalovina (kapacitet na rudnik vo Teksp)
G _j	57,741,306	kN	tezhina na odlozhena jalovina (kapacitet na rudnik vo Teksp)

Со пресметка на потребните волумени на одложена јаловина, соодветни за пресметаната тежина на одложена јаловина во експлоатацискиот период од 20 години, со користење на зависноста $Z=Z(V)$ за $Z = 935-970$ м.н.в. за таложното езеро Тораница 2, пресметана е котата на таложното езеро на 956.0 м.н.в. (табела 4.3).

Табела 4.3. Пресметка на максимално работно ниво во таложното езеро во експлоатацискиот период

oznaka	vrednost	dimenzija	golemina
Vp	859,765	m ³	potreben volumen na jalovishen pesok vo brana do kota 2.0 m nad talozhno ezero
Vk	2,277,611	m ³	volumen na jalovishna kal vo talozhno ezero
Vk/Vp	2.65		волуменски сооднос на кал и песок
Vj	3,137,376	m ³	volumen na odlozhena jalovina vo hidrojalovishte
Vp/Vj	37.75	%	procent za cikloniran pesok
Vk/Vj	72.60	%	procent za ciklonirana kal
gam-p, pv	20.80	kN/m ³	volumenska tezhina na jalovishen pesok vo prirodna vlazhnost
gam-k, wz	17.50	kN/m ³	volumenska tezhina na jalovishna kal vo vodozasitena sostojba
Gp	17,883,106	kN	tezhina na jalovishen pesok
Gk	39,858,200	kN	tezhina na jalovishna kal
Gj	57,741,306	kN	tezhina na odlozhena jalovina
Zte = Z(Vk)	956.00	m asl	kota na talozhno ezero, слика 3.3

Со усвоената диспозиција на хидротехничките објекти за максимално искористување на концисискиот простор се обезбедува непречено користење на хидројаловиштето во експлоатациониот период од 20 години зашто максималното работно ниво во таложното езеро достигнува kota 956 м.н.в., што е многу пониско од максималното можно ниво на 968 м.н.в..

5. ПОТРЕБНА КОТА НА КРУНА НА ПЕСОЧНА БРАНА ВО ТЕКОТ НА КОРИСТЕЊЕ НА ТАЛОЖНОТО ЕЗЕРО

Определувањето на потребната kota на круната на песочната брана $Z_{KR,ROT}$ [mnv], во зависност од котата на исполнетост на таложното езеро Z_{TE} [mnv], е со користење на топографските криви на таложното езеро Тораница 2.

Усвоено е резервно надвишување од 1.0 m над максималното ниво на водата во езерото. Оваа kota на песочната брана се добива со прифаќање на волуменот на поплавен бран $V = V(T)$, за соодветен повторлив период „T“, кој се задржува во резервираниот волумен на таложното езеро V_R .

Во оваа анализа за различни коти на таложното езеро Тораница 2 се усвоени различни веројатности на појава на големите води, кои за различни времетраења и потенцијал на штети (при евентуално уривање на низводната песочна брана поради преливање) обезбедуваат прифатлив хидролошки ризик за одредени фази во користењето на хидројаловиштето (табела 5.1).

Табела 5.1. Фази на полнење на таложното езеро T2 и големини на резервираниот волумен

faza	T [god]	V(T) [m ³]	Zp [mnv]	Zk [mnv]	dZk-p [m]	V(Zk) [m ³]	dVk [m ³]
0	10	65,400	910.00	916.99	6.99	52,619	
1	25	104,000	917.00	924.99	7.99	231,169	178,551
2	50	135,000	925.00	934.99	9.99	634,014	402,845
3	100	168,100	935.00	944.99	9.99	1,257,117	623,103
4	1,000	288,800	945.00	954.99	9.99	2,183,202	926,085
5	5,000	343,100	955.00	964.99	9.99	3,418,454	1,235,252
6	10,000	414,800	965.00	970.00	5.00	4,153,562	735,108

Фаза 0 е почетната фаза (или фаза на тестирање на иницијалната брана) и завршува до kota 917.0 м.н.в., каде што штетите во низводната долина се најмали (при евентуално уривање) и затоа е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 10$ години, односно $V_{(T=10)}$.

Фаза 1 завршува до кота 925.0 м.н.в., круна на иницијалната брана, каде што е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 25$ години, односно $V_{(T=25)}$.

Фаза 2 завршува до кота 935.0 м.н.в., каде што е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 50$ години, односно $V_{(T=50)}$.

Фаза 3 завршува до кота 945.0 м.н.в., каде што е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 100$ години, односно $V_{(T=100)}$.

Фаза 4 завршува до кота 955.0 м.н.в., каде што е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 1,000$ години, односно $V_{(T=1,000)}$.

Фаза 5 завршува до кота 965.0 м.н.в., каде што е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 5,000$ години, односно $V_{(T=5,000)}$.

Фаза 6 започнува над кота 965.0 м.н.в., каде што штетите во низводната долина се најголеми (при евентуално уривање) и затоа е усвоено резервираниот волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волумен на поплавен бран со $T = 10,000$ години, односно $V_{(T=10,000)}$.

Пресметката на потребната кота на круната на песочната брана $Z_{KR,POT}$ [mnv], во зависност од котата на исполнетост на таложното езеро Z_{TE} [mnv], е извршена со примена на следните пресметувачки големина во рамки на алгоритмот:

$V_{zte} = V(Z_{te})$, волумен во таложно езеро;

$V_{max} = V_{zte} + V_r$, максимален волумен при појава на поплавен бран;

$V_r = V(T, \text{фаза})$, резервиран волумен за прифаќање на поплавен бран;

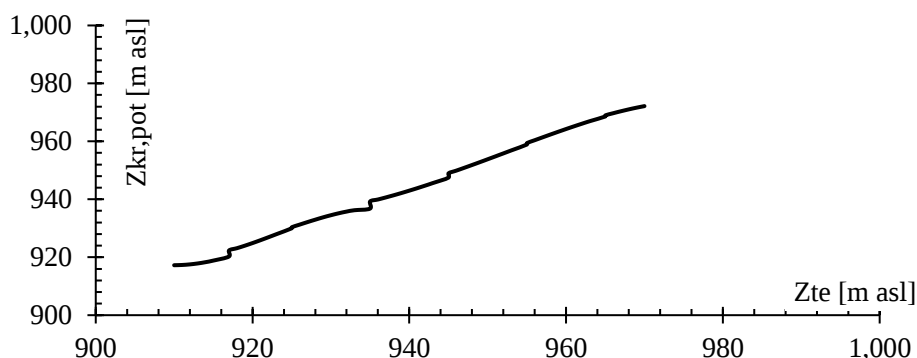
$Z_{max} = Z(V_{max})$, максимално ниво во езерото при појава на поплавен бран;

$Z_{kr,pot} = Z_{max} + h_{rez}$, потребна кота на круната на песочната брана;

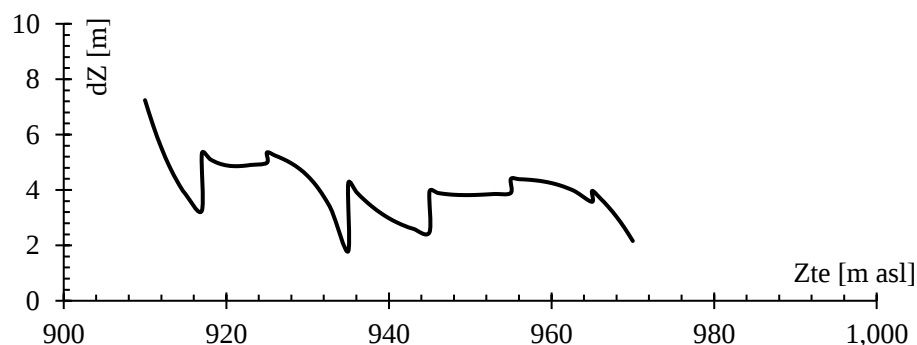
$h_{rez} = 1.0$ м, резервна височина од максимално ниво до круна на песочната брана;

$dz = Z_{kr,pot} - Z_{te}$, минимална потребна височинска разлика од езерото до круната.

Добиените резултати се прикажани на сликите 5.1 и 5.2.



Сл. 5.1. Потребна кота на круната на песочната брана $Z_{KR,POT}$ [mnv], во зависност од котата на исполнетост на таложното езеро Z_{TE} [mnv].



Сл. 5.2. Минимална потребна височинска разлика од езерото до круната dz [m], во зависност од котата на исполнетост на таложното езеро Z_{TE} [mnv].

6. ЗАКЛУЧОК

Во согласност со извршените истражувања при композицијата на хидројазелот на новото јаловиште Тораница 2, како дел од каскадниот систем со постојното хидројаловиште Тораница 1, за депонирање на флотациска јаловина од рудникот „Тораница“, Крива Паланка, Р. Македонија, се извојуваат следните заклучоци:

1. При решавање на поставената инженерска задача за креирање потребен простор во одредена речна долина за одлагање флотациска јаловина од технолошки процес на рудник, се врши избор на најповолен преграден профил и оптимален тип брана (јаловишна или конвенционална брана) во корелација со избор на оптимална конфигурација на придружните објекти на хидројаловиштето, процес кој се карактеризира со висок праг на неодреденост.
2. Методологијата за решавање на поставената инженерска задача подразбира избор на релевантни критериуми за вреднување на варијантите, нивна разработка на ист праг на техничка сигурност, споредба според економски показател (минимизација на актуализирани трошоци) и проверка на избраното решение во однос на еколошките и социјалните аспекти.
3. Најповолниот преграден профил и типот на јаловишната брана се избрани со исполнување на барањето за максимално искористување на концесискиот простор. Имено, во согласност со усвоената диспозиција на хидротехничките објекти за максимално искористување на концесискиот простор се обезбедува непречено користење на хидројаловиштето во експлоатациониот период од 20 години, зашто максималното работно ниво во таложното езеро достигнува кота 956.0 mnpv, што е пониско од максималното можно ниво на 968.0 м.н.в..
4. Со најповолното решение за композицијата на хидројазелот на новото јаловиште Тораница 2, при конфигурацијата на водоспроводноците е задоволен сепаративниот карактер, односно раздвоени се чистите надворешни води од внатрешните контаминирани води, што е неопходно со цел да биде поефикасен и поекономичен евентуален иден третман на загадените води.
5. Во фаза 0, или фаза на тестирање на иницијалната брана, потребната кота на круна на песочната брана е од 917.24 до 920.24 м.н.в., односно не е надмината усвоената круна на иницијалната брана на 925.0 м.н.в., со што се потврдува дека со котата на круна на иницијалната брана на 925.0 м.н.в. е обезбедена задоволителна хидролошка сигурност во почетната фаза.
6. За фаза 6 од формирањето на јаловишната брана, која започнува над кота 965.0 м.н.в., каде што штетите во низводната долина се најголеми (при евентуално уривање), е усвоено резервирањето волумен во езерото (V_R) да биде еднаков на волуменот на поплавниот бран за повратен период $T = 10,000$ години, односно $V_{(T=10,000)}$.
7. Потребната кота на круната на песочната брана $Z_{KR,POT}$ [mnpv], во зависност од котата на исполнетост на таложното езеро Z_{TE} [mnpv], во фазите бр. 1-6, е определена со процена дека волуменот на поплавниот бран $V(T)$ целосно се задржува во резервирањето волумен V_R , а потоа ќе се испушта низ отворите на преливниот колектор за избистрени води (во левиот бок на долината).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Техника20 Гроуп – Скопје, 2022. Геотехнички испитувања и Идеен и Основен проект за јаловиште бр. 2 на рудникот Тораница, К. Паланка, Дел 2. Идеен проект, Книга 2.2 - Оптимална конфигурација на придружните објекти (С. Митовски и др.).
- [2] Petkovski L., Gocevski B., Mitovski S., 2014. "Comparative analysis on choice of most favorable method for tailings dam construction", Proceedings, 4th Symposium of MAG, Struga.
- [3] Petkovski L., Peltechki D., Mitovski S., 2014. "Contribution to the methodology on choice of most-favorable site and optimal dam type for creation of tailings", Proceedings, 10th Conference of Water Economy and Hydrotechnics, Struga.
- [4] Thomas, H.H. 1976. The Engineering of Large Dams. Part I and II, John Wiley & Sons.
- [5] ICOLD 1996. A guide to Tailings Dams and impoundments – Design, construction, use and rehabilitation. Bulletin 106, Paris.