



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



ПОЧЕТНАТА ФАЗА НА КОРИСТЕЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА – КРИТИЧНА ЗА СТАБИЛНОСТА НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ

Љупчо Петковски¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска³

Резиме

Значењето на почетната фаза на користењето на хидројаловиштата, која во многу случаи претставува критична фаза за стабилноста на јаловишните брани, е илустрирано со проценки за причините и обемот на оштетувањата, анализи на стабилноста и усвоени мерки за санација на јаловишната брана Саса 4, оштетена во почетниот период на градба. Целите на истражувањето на јаловишната брана Саса 4 на рудникот „Саса“, М. Каменица, која беше оштетена во почетниот период на градба во септември 2020 година, се: (1) да се детектираат причините за оштетувањето на јаловишната брана на 14 септември 2020 г.; (2) да се определат ургентни мерки за обезбедување на потребната стабилност на јаловишната брана со кота 910 м.н.в.; (3) да се дефинираат мерки за уредување на околниот терен и надградба на објектите и опремата за продолжување на користењето на хидројаловиштето со потребната сигурност, за моментната кота на круна на брана на 910 м.н.в.; (4) да се предвидат мерки за натамошно безбедно користење на хидројаловиштето и градење на јаловишната брана, од моментната до завршната кота на круна на 952.0 м.н.в.

Клучни зборови: јаловишна брана, стабилност, санација

THE STARTING PHASE OF USE OF TAILINGS STORAGE FACILITIES – CRITICAL FOR THE STABILITY OF TAILINGS DAMS

Ljupcho Petkovski¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska³

Summary

Significance of the starting phase of use of tailings storage facilities, which in many cases is critical for the stability of tailings dams, is illustrated through estimates on causes and scope of damage, stability analyses and adopted measures for rehabilitation of the tailings dam Sasa 4, damaged in its very start period of construction. Goals of the research of tailings dam Sasa 4 on mine Sasa, M. Kamenica, are: (1) to detect the reasons for damaging on the tailings dam on 14th of September 2020, (2) to adopt urgent measures for securing the necessary stability of the tailings dam up to elevation of 910 m asl, (3) to define measures for landscaping the surrounding terrain and upgrade of the structures and the equipment for continued use of the tailings storage facility with the necessary security, for the current elevation of the dam's crest on 910 m asl, (4) to plan measures for further safe use of the tailings storage facility and construction of the tailings dam, from the current to the final elevation of the crest on 952 m asl.

Key words: tailings dam, stability, rehabilitation

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

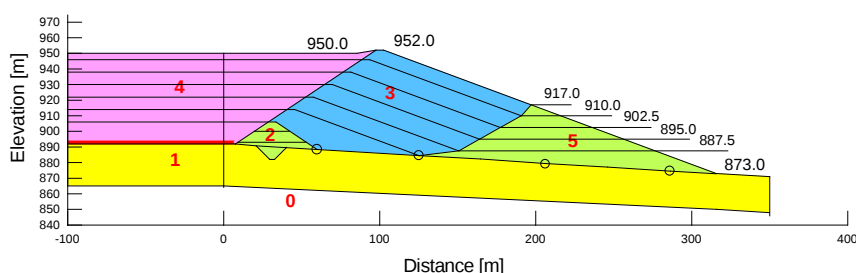
1. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ НА ЈАЛОВИШНАТА БРАНА САСА 4

Во досегашниот период на користење на хидројаловиштата на рудникот „Саса“ во М. Каменица, тие биле наменети за одлагање на флотациската јаловина добиена со технолошкиот процес на флотација на минералите олово и цинк. Таа со хидротранспорт (преку гравитациски пулповод) била спроведувана до круните на браните на јаловиштата: 1, 2, 3-1, 3-2 и 4 (во периодот кога тие биле активни), од каде што со циклонирање била раздвоена на две фракции. Со покрупната сува фракција (песок) биле градени низводните брани, а поситната течна фракција била одлагана во таложните езера. Според моментната состојба на хидројаловиштата, активно е јаловиштето 4, кое се формира со изведбата на комбинирана јаловишна брана 4, со крајна кота на круна на браната на 952.0 м.н.в. и таложно езеро со максимално работно ниво на 950.0 м.н.в..

Во текот на градба на иницијалната брана Саса 4 (слика 1.1) направени се одредени модификации (споредено со основниот проект од 2014): (1) облагање со геосинтетичка водонепропустлива облога на: (а) речното корито узводно од ножицата на иницијалната брана, (б) боковите во долината до кота 950 м.н.в. узводно од песочната брана и (в) низводната косина на браната 3-2 под кота 950 м.н.в.; (2) замена на материјалот во иницијалната брана (изградена до круна 905 м.н.в.), така што слабопропустливиот графитен шкрилец е заменет со водопрпустлив јаловиштен руднички камен зашто беше предвидено облагање на нејзината узводна косина со геомембрана (која подоцна не беше инсталирана). Соодветниот математички модел за изведената состојба на браната Саса 4, во финална или завршна фаза, е даден на слика 3.



Сл. 1.1. Јаловишна брана и таложно езеро Саса 4, состојба во февруари 2020 г.



Сл. 1.2. Репрезентативен напречен пресек на јаловиште 4 според изведена состојба, модел со геомембрана во речното корито. Ознаки: 0 - карпеста основа, 1 - депониран нанос (со променлива длабочина), 2 иницијална брана (круна $b=5.0$ m, проектирана на 906.0, изведена на 905.0), 3 - песочна брана (финална кота 952.0 mnv, $b = 5.0$ m, оска на профил $X=100$ m), 4 - таложно езеро (максимално водно ниво 950.0 mnv), 5 - низводен насип од руднички камен (круна на 917.0 mnv)

Во текот на користење на хидројаловиштето Саса 4, во периодот февруари – септември 2020 година, се спроведуваше техничко набљудување за јаловишната брана, на придружните хидротехнички објекти и таложното езеро, според соодветен проект за оскултација на хидројаловиштето. Измерените големини од оскултацијата на хидројаловиштето Саса 4, како на пример, површински поместувања во браната добиени со геодетски методи, водни нивоа во пиезометрите, филтрациони протекувања на дренажниот систем, квалитет на дренажни води, визуелна инспекција од браната и околниот терен, беа систематизирани во соодветни месечни

извештаи. Потоа, беше правена процена на сигурноста на јаловишната брана Саса 4, со споредба на измерените вредности за оскултационите големина со пресметаните вредности со математичките модели и перманентно беше потврдена глобалната стабилност на максималниот напречен пресек на браната.

2. СИГУРНОСТ НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ

Хидројаловиштата се сложени инженерски објекти, составени од: иницијална конвенционална брана, јаловишна брана (од циклонираниот песок), таложно езеро (од циклонираниот јаловишен кал), обиколен тунел/галерија за свртување на реката од речната долина (запоседната со хидројаловиштето), дренажен систем за иницијалната и јаловишната брана, преливен колектор за одведување на вишокот технолошка избистрена вода, преливен објект за одведување на поплавните води од сливот кој гравитира кон преградниот профил. Хидројаловиштата, од една страна, поради бројните хидротехнички објекти од кои се составени, треба да бидат проверени за голем број сигурности, при статичко, динамичко, филтрациско и хидраулично оптоварување, слично како хидројазли со конвенционални насипни брани за водни акумулации [1.1, 1.2, 1.3]. Од друга страна, поради огромниот волумен на таложното езеро, јаловишните брани се насипни конструкции со највисока потенцијална опасност за околината, [2], зашто при евентуално нивно уривање се загрозуваат човечки животи и материјални добра, но и долготрајно се деградира животната средина. Поради големото значење на хидројаловиштата, еден од техничките комитети на Меѓународната комисија за големи брани се занимава токму со овие инженерски објекти, ICOLD Committee on Tailings dams and Waste Lagoons, кој има издадено 10 технички билтени од [3] во 1982 година до [4] во 2011 година.

Поради долгиот период на градба на јаловишните брани (од страна на рудничките компании), кој, всушност, е периодот на пополнување на таложното езеро во експлоатациониот период на хидројаловиштето, постојат значајни разлики во проверката на сигурноста споредено со конвенционалните брани за водни акумулации (кои во кус период се градат од градежни компании). Така, стандардниот пристап за потврда на регуларната изведба на хидротехничките објекти кај конвенционалните брани, со споредба на големините од оскултација во текот на градба (пред полнење на акумулацијата) со пресметаните од математички модел и, што е најзначајно, тестирање на браната при првото полнење на акумулацијата, не е можно да биде спроведен кај јаловишните брани. Оваа суштинска разлика во проверка на сигурноста кај конвенционалните и јаловишните брани, за жал, дополнително се засилува со техничките решенија за комбиниран метод за градење на јаловишните брани [5, 6] и во случаите со надвишување на јаловишните брани [7, 8], предизвикани од потребата за зголемување на просторот за одлагање на јаловина во сè поограничениот индустриски опфат (концесиски простор) на рударските компании.

Затоа, цениме дека во почетната фаза на користењето ново хидројаловиште, доколку е во каскада со постојно јаловиште, треба да се искористи можноста за алтернативен простор за одлагање јаловина од старото. Имено, во случај на оштетување на новата јаловишна брана, предизвикано од активното дејство на водата поради малата должина на плажата во почетниот (критичен) период, за да нема застој во функционирањето на рудникот (погонот за флотација), привремено да може се користи таложното езеро од старото јаловиште. За жал, оваа можност, иако предвидена со динамиката и технологијата на градба на Саса 4, беше испуштена поради доцнењето со почетокот на експлоатација од административни причини (дозволи за градба). Тоа доцнење услови да биде запоседнат алтернативниот простор од узводното таложно езеро Саса 3-2, и воедно беше надвишена и низводно проширена јаловишната брана Саса 4, со што се намали должината на плажата на езерото Саса 4. Така што, државните институции задолжени за сигурноста на хидројаловиштата преку контрола на техничката документација што се формализира со соодветни дозволи, ја пролонгираа почетната фаза на користењето на хидројаловиштето Саса 4 поради ненавремено издавање на дозволите и ги влошија неговите работни перформанси од аспект на сигурноста.

3. ОШТЕТУВАЊЕ НА ЈАЛОВИШНАТА БРАНА САСА 4 ВО ПОЧЕТНИОТ ПЕРИОД НА ГРАДБА, НА 14.9.2020 Г.

Според сведок на настанот, вработен во рудникот „Саса“, утрото на 14.9.2020 година, околу 05:45 часот, започнал процес на провирање вода од таложното езеро кај круната на песочната брана Саса 4 (изградена до кота 910 м.н.в.) во непосредна близина на десниот бок на долината. Набрзо, протекувањето добило прогресивен карактер, бил однесен јаловишниот песок од низводната косина во близина на десниот бок (слика 3.1), материјалот станал растресит, а погорниот материјал слегнал, со што се формирал отвор во зоната кај максималното ниво на вода во езерото, до круната на песочната брана.

Низ тој отвор истекла околу 5,000 м³ вода од таложното езеро, која била над јаловишната кал во езерото (слика 3.2) и, поради денивелацијата од горна до долна вода (околу 23 м), протекувањето развило голема кинетичка енергија. Таа енергија се ослободила со значителна ерозија на низводниот дел од јаловишната брана, (слика 3.3). Отворот од круната до ножицата е со височина $H = 910 - 885 = 25$ м, широк во дното околу 2.0 м, а во круната околу 10 м, со просечна длабочина (нормално на првобитната косина со наклон 1:2.7) околу 5 м. Проценето е дека бил однесен околу 3,000 м³ јаловиштен песок од телото на браната..



Слика 3.1. Оштетување во десниот дел на јаловишната брана, состојба на 14.9.2020 г.



Слика 3.2. Отвор низ круната на браната каде што истекла складираната отпадна вода



Слика 3.3. Однесен јаловиштен песок од низводното тело на браната во непосредна близина на десниот бок

4. ПРИЧИНИ ЗА ОШТЕТУВАЊЕТО НА ЈАЛОВИШНАТА БРАНА САСА 4

Според описот на настанот од работникот од рудникот „Саса“ и теренскиот увид на 14.9.2020 година, може да се констатира дека не станува збор на човечка грешка, откажување на опремата за хидроциклонирање или систематско погрешно оперирање со хидројаловиштето Саса 4. Очигледно е дека оштетувањето на јаловишната брана не е предизвикано од преголемо дотекување и преливање преку круната на браната (со кота на 910.0 м.н.в.) поради недоволна заштитна височина од максималното водно ниво до круната на браната. Имено, таа височина постојано се одржувала над 2.0 м, колку што е предвидена со проектот. Воедно, оштетувањето не настанало поради недоволна казуална филтрациска јакост или загрозување на стабилноста на браната поради неправилно изведена геометрија на напречниот пресек. Потврда за оваа констатација е тоа што (1) геометријата на изведениот дел од песочната брана е според проектната документација со која е потврдена статичката стабилност и (2) измерените филтрациски порни притисоци во инсталираните пиезометри се според очекуваните вредности, а со редовната визуелна оскултација на дренажниот систем не е забележана појава на заматување на филтрираната вода од евентуален процес на механичка суфозија.

Цениме дека почетното провирање вода во зона на круната на браната во близина на десниот бок на долината е резултат на недозволена филтрација. Таа не може да се опише со востановените модели за стационарна и нестационарна филтрација, базирани на принципите на механиката, туку се објаснува само со инженерски резон. Недозволената филтрација се состои од патишта на концентрирана филтрација, кои ако добијат прогресивен карактер може да ја загорзат стабилноста на одредени делови или на целата насипна конструкција. Таа е предизвикана од инцидентна појава на растресита порозна средина изложена на активно дејство на струјниот ток поради проектантски и изведбени грешки или поради неповолен природен амбиент.

Во конкретниот случај, појавата на недозволена филтрација е предизвикана од суперпозиција на повеќе влијанија, кои според придонесот може да се поделат во примарни и секундарни. Примарни (значајни) причини за појавата на недозволена филтрација се:

- (1) Неповолен хидраулички контакт на јаловишниот песок (од телото на браната) со коефициент на водопропустливост $k = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ и геомембрана со $k = 10^{-12} \text{ m/s}$. Се работи за хидраулички контакт на два материјали кои се исклучително различни по својата пермеабилност. Тоа довело до целосно пренасочување на струјниците кон помалку водопропустливиот материјал - јаловишниот песок и формирало почетна контактна филтрација.
- (2) Недоволна должина на плажата од јаловишна кал, узводно од узводната ивица на круната на браната што условила преголема близина на водата од таложното езеро до песокот од браната. Таквата близина не создава значителна загуба на водниот потенцијал на филтрациониот ток пред да дојде во контакт со песочната брана. Односно, тој бил со максимален потенцијал токму по узводната косина на песочната брана.

Секундарни (споредни) причини за појавата на недозволена филтрација се:

1. Неповолна природна конфигурација на теренот над круната на песочната брана, која при интензивни врнежи формира концентрирано површинско истекување, насочено токму кон круната на браната или непосредно низводно од браната. Ваквото површинско течење дополнително го ослабува контактот на браната со бокот на долината.
2. Неповолен механички контакт на јаловишниот песок со геомембраната, односно мазен спој меѓу два материјали со исклучително различна крутост и со намалено триење по контактот. По тој спој било олеснето низводното поместување на зрната од песокот во насока на активната сила од филтрацискиот ток.
3. Голема природна стрмнина во десниот бок на долината која условува „бесење“ на мекиот јаловиштен материјал на крутата карпеста подлога, што се манифестира со неповолен трансфер на напрегањата и појава на растресита (недоволно збиена) земја. Оваа појава е неприфатлива кај хидротехничките објекти и затоа е можна појава на хидрауличкиот пробив низ локалниот материјал, доколку биде изложен на филтрациски ток.
4. Неповолна природна конфигурација на теренот со проширување на долината низводно од песочната брана и олеснето поместување во низводен правец под дејство на хидростатичкиот притисок. Тоа условува јаловишниот песок да не се притиска во контактот

со карпата во бокот, туку да се растресува, што дополнително ја влошува филтрацијата низ браната.

Констатирано е дека димензиите на оформениот кратер во десниот дел на браната, со променлива ширина од 2 м во дното до 10 м во круната, со просечна длабочина од околу 5 м, не може да ја загрозат глобалната сигурност на насипната конструкција. Имено, таа е со должина во круната од околу 100 м, а средишниот дел, кој е со максимална височина и е клучен дел за глобалната сигурност, е на доволно растојание од кратерот. Меѓутоа, кратерот мора што поскоро да се пополни со баластен материјал за да се оневозможи негово натамошно проглабочување и проширување.

5. УРГЕНТНИ МЕРКИ ЗА ОБЕЗБЕДУВАЊЕ НА ПОТРЕБНАТА СТАБИЛНОСТ НА ЈАЛОВИШНАТА БРАНА САСА 4, СО КОТА 910 М.Н.В.

Првата фаза од санацијата на оштетувањето на јаловишната брана Саса 4 се однесува на стабилноста на браната. Оваа фаза е ургентна и треба да се искористат моментните поволни временски услови (без врнежи) и однесениот материјал во десниот дел од браната (јаловиштен песок) да се замени со соодветен локален материјал, за кој ги истакнуваме следните препораки:

- (1) Материјалот треба да биде некохерентен и со поголема или еднаква јакост и водопропустливост, споредено со јаловишниот песок. Најрационално е да биде употребен јаловиштен руднички камен, кој е расположлив во рудникот „Саса“ и кој ќе биде користен за низводната призма од оваа комбинирана брана (до кота 917 м.н.в.), кој е доволно истражен и со познати геомеханички параметри.
- (2) Овој материјал да биде растресен во хоризонтални слоеви со височина до 50 цм, од дното на пробивот (околу 885 м.н.в.) до круна на иницијалната брана на 906 м.н.в. (или до кота според изведената состојба). Да биде доволно збиен со расположливата механизација на рудникот „Саса“.
- (3) Во текот на растресувањето и збивањето на слоевите од руднички камен, посебно да се води сметка за безбедноста на вработените и прво да се ублажат стрмните површини од јаловиштен песок (кои се скоро вертикални) создадени со хаваријата. Тие вертикални површини цениме дека се во гранична рамнотежа и секој момент (со мала промена на влажноста) е можна појава на локална нестабилност и нивно лизгање.
- (4) При вградувањето на рудничкиот отпаден камен да се задржи континуитет од левата до десната страна на оформениот кратер, и со скалесто напредување по височина. Со овој материјал да биде пополнет најголемиот дел од отворот на браната, така што до конечното оформување на геометријата да преостане само околу 1.0 м дебелина која ќе биде пополнета со јаловиштен песок, со одлагање по коси слоеви од круната на браната (штом ќе се премине на користење на хидројаловиштето).
- (5) Над котата на иницијалната брана (според изведената состојба) да се вгради во хоризонтални слоеви јаловиштен песок, со умерено збивање во крајните 10 м до контактот со десниот бок на долината. Ваквиот насип да биде со кота на круна на 910.0 м.н.в., ширина во круната од 5.0 м, лоциран така во ситуација за да се оформи узводната косина на песочната брана со наклон 1:1.5, а на низводната не пострмен од 1:2.0 (со цел да има задоволителна привремена стабилност). Потребната низводна косина од 1:2.7, за да се обезбеди трајна стабилност, ќе биде пополнета со јаловиштен песок, со одлагање по коси слоеви од круната на браната (штом ќе се премине на користење на хидројаловиштето).
- (6) Јаловишниот песок да се позајми од низводната косина на браната Саса 4, во секции не подолги од 10 м, кои веднаш би се пополнувале со руднички камен или од круната на браната Саса 3-2, која има многу голема ширина (околу 30 м), во зона кај нејзината низводна ивица, со претходно привремено отстранување на евентуални слоеви од руднички камен.
- (7) На контактот на насипот од јаловиштен песок и десниот бок да се отстрани трослојната геосинтетичка облога (барем 2.0 м узводно од контактот на песочната брана со теренот), а во зоната на потпирањето во круната (со ширина од 5.0 м) да се отстрани локалниот материјал, во длабочина околу 0.5 м, или до ниво на карпеста основа. Имено, овој материјал бил нанесуван за да се израмнат нерамнини за инсталирање на геосинтетичката облога. Тој

материјал е исклучително водопропустлив и мора да се отстрани по ров со ориентациони димензии 5.0 м (во широчина, колку што е широчината на круната на браната) и 0.5 м (длабочина во пропустливиот локален материјал или до карпестата основа во бокот), во самиот контакт на круната на браната со теренот.

6. НЕОПХОДНИ МЕРКИ ЗА ПОДГОТВУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ, ОБЈЕКТИТЕ И ОПРЕМАТА ЗА РЕСТАРТИРАЊЕ НА КОРИСТЕЊЕТО НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО САСА 4

Втората фаза од санацијата на оштетувањето на јаловишната брана Саса 4 се однесува на уредување на теренот, градежните објекти и опремата за рестартирање на технолошкиот процес и продолжување со користењето на хидројаловиштето. Втората фаза од санацијата треба да започне по завршувањето на првата фаза, а неопходните мерки се однесуваат на два аспекти, хидроградежен и рударско-технолошки. Мерките од хидроградежен аспект се следните:

- (1) Доколку јаловишниот песок би се потпирал на делувиумот, природниот падински материјал по бокот на долината, тогаш наведената хидрауличка и механичка различност би била сведена на минимум, а поради природните нерамнини контактот би бил со поголема пасивна сила на триење. Затоа, во натамошното користење на хидројаловиштето и напредување од сегашната кота на браната на 910 м.н.в. до крајната кота на 952 м.н.в. изведбата да биде според проектната документација, изработена според препораките за облагањето од Комисијата на МЖСПП. Значи, неопходно е отстранување на геосинетичката облога на контактот меѓу јаловишната брана и природниот терен. Потоа, да се расчисти површинскиот материјал од органски материи (од дрвја, корења, хумус, камења и сл.) во зона на круната на браната.
- (2) Вообичаено во „Инженерството за брани“, после сериозно оштетување на телото на браната (каков што е случајот со оштетувањето во текот на градба на јаловишната брана Саса 4) треба да се идентификуваат и применат дополнителни мерки за обезбедување што повисока сигурност. Затоа, треба да се има предвид неповолниот хидраулички контакт на јаловишната кал (од плажата, узводно од песочната брана) и геотекстилот врз кој се потпира. Геотекстилот е дренажен материјал со многу повисок коефициент на филтрација, споредено со јаловишната кал од плажата. Тој претставува тенок водоспроводник меѓу два хидроизолатори, геомембрана од долу и јаловишна кал од горе. Секако, геотекстилот во оваа зона не влијае врз централната филтрација (во максималниот напречен пресек), која има доминантно влијание на глобалната сигурност на браната. Меѓутоа, геотекстилот значително влијае на бочната филтрација зашто не го смалува потенцијалот на страничниот филтрационен ток низ плажата од јаловишна кал, во правецот од лагуната со отпадна вода кон песочната брана и може да предизвика недозволена контактна филтрација. Затоа препорачуваме покрај отстранувањето на геосинетичката облога на контактот меѓу јаловишната брана и природниот терен, дополнително отстранување (узводно од тој контакт за 2.0 м) на геотекстилот и геомембраната, а задржување само на геосинтетичката глина (која е лесно приспособлива на нерамнините). Воедно, препорачуваме отстранување на геотекстил барем 30 м узводно од круната, колку што е предвидена плажата од јаловишна кал. Имено, геотекстилот во оваа зона нема никаква позитивна функција зашто нема од што да ја штити геомембраната, дека таложното езеро се исполнува со кал и отпадна вода, а не со нафрлан камен и бетонски плочи со остри ивици.
- (3) Да се постави зафатна цевка $\phi=200$ мм низ челичен штит, узводно на околу 5 м на спојот од преливниот колектор $D = 2.0$ м (хоризонтален тунел според Изведена состојба) со обиколниот тунел на Каменичка Река. Челичниот штит да биде со височина од 1.0 м, потпрен на челичен косник (контрафор) од низводната страна. Споевите да се пополнат со трајно еластичен кит. Заптивањето со наведениот кит да биде од узводната и низводната страна, и воедно кај сите споеви, односно на спојот челик со челик, и на спојот челик со постојна бетонска облога.

- (4) Горниот раб на зафатната цевка да се монтира на челичниот штит во височина од 0.2 м под горниот раб на штитот. Низводно од зафатната цевка да се монтира цевковод во внатрешноста на тунелот, со нивелета која секаде ќе биде пониска од нивелетата на отворот во челичната преграда. Со цевководот ќе се одведуваат преливните води сè до постојниот резервоар (или претходно до нова привремена таложница) со постојна пумпна станица (за рецикулација на дренираната вода за потребите на технолошкиот процес). На низводниот крај на цевководот да се монтираат два затвораи со кои ќе се регулира истекувањето од преливникот, дали да оди во реката или во таложницата, па во резервоарот. Значи, ако се процени дека постојниот резервоар е со недоволен волумен, тогаш претходно водата да се задржи во привремена таложница.
- (5) Локацијата за привремената таложница треба да ги исполнува следните критериуми: (а) да не ја попречува градбата на низводниот дел од комбинираната јаловишна брана Саса 4, кој е од отпаден руднички камен, во две фази на градба; (б) да биде во близина на излезната градба на обиколниот тунел (во десниот бок на долината); (в) да биде во близина на постојниот резервоар, но повисоко од него, за водата гравитациски да истекува од таложницата во резервоарот; (г) да има олеснет пристап за цистерна за повремено чистење на таложникот; (д) да биде узводно од завршниот објект на каналот за Петрова Река (во левиот бок на долината) и (е) да се минимизира рокот за изградба на таложницата.
- (6) Една од причините за појавата на недозволена филтрација на 14.9.2020 год. и оштетување во десниот дел на јаловишната брана Саса 4 е неповолна природна конфигурација на теренот над круната на песочната брана, која при интензивни врнежи формира концентрирано површинско истекување, насочено токму кон круната на браната или непосредно низводно од браната. Ваквото површинско течење дополнително го ослабува контактот на браната со бокот на долината и придонесува за ерозија на одложениот циклонизиран јаловиштен песок. Затоа во натамошниот тек на градбата на јаловишната брана потребно е да се зафакаат надворешните површински води (формирани од интензивни врнежи) кои гравитираат кон круната и низводната косина на браната. Јаловишната брана Саса 4 е земјена брана, меѓутоа се гради етапно, истовремено со полнење на таложното езеро, односно времетраењето на градбата се поистоветува со користењето на хидројаловиштето. Затоа, кај јаловишните брани не може да се изведат трајни заштитни канали во фаза на експлоатација на таложното езеро, туку доколку има потреба се изведуваат привремени канали (со ископ во боковите на долината), кои се соодветни за одредена етапа во градбата на јаловишната брана и методот на напредување на градбата.

7. ПОТРЕБНИ МЕРКИ ЗА НАТАМОШНО БЕЗБЕДНО КОРИСТЕЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО САСА 4 И ГРАДЕЊЕ НА ЈАЛОВИШНАТА БРАНА, ОД 910 ДО 952 М.Н.В.

По целосното завршување на мерките од втората фаза за санација на хидројаловиштето Саса 4, со кои се стекнати предуслови за рестартирање на технолошкиот процес за користење на јаловиштето и натамошно градење на јаловишната брана од кота 910 м.н.в. до завршната кота 952 м.н.в., со цел да се обезбеди задоволително ниво на сигурност, препорачуваме потребни мерки, кои се однесуваат на два аспекти, хидроградежен и рударско-технолошки. Мерките од хидроградежен аспект се следни:

- (1) Како се напредува по височина со круната на браната, така да се отстранува геосинетичката облога на контактот меѓу јаловишната брана и природниот терен. Потоа, да се расчисти површинскиот материјал од органски материи (од дрвја, корења, хумус, камења и сл.) во зона на круната на браната и да се отстрани површинскиот деградиран материјал во длабочина од барем 50 цм.
- (2) Доколку идниот технолошки процес повремено се реализира со испуштање на нециклонирана јаловина (со спиготи) за оформување на плажа со нагиб 1:15 од узводната ивица на браната кон таложното езеро и ако нема доволна количина на јаловиштен песок, тогаш во круната да се нанесува слој од руднички камен. Хоризонталниот слој од руднички

камен да биде со височина до 50 цм, со камионски транспорт и со умерено збивање со расположливата механизација на рудникот „Саса“. Во таков случај, поради зголемување на маневрирачките потреби за камионскиот транспорт, широчината во круната да се зголеми на 6.0 м.

- (3) Доколку идниот технолошки процес се реализира исклучиво со циклонирање, со зголемување на бројот на циклоните од сегашните два на три циклони, распоредени на круната на браната, тогаш за да биде водата оддалечена од круната барем 28.5 м, со проценка дека падот на плажата од циклонирани кал е 1:57, испуштањето на преливот од циклоните треба да биде на височина под круната од најмногу 1.5 м.
- (4) Заштитната височина од најнискиот дел на круната на браната до водното ниво во лагуната да биде минимум 2.0 м.
- (5) Доколку низ преливните отвори истекува избистрена вода, тогаш водата низ цевководот низводно од челичниот штит ќе се испушта директно во реката (отворен би бил само затворач бр. 1). Доколку низ преливните отвори (распоредени во колекторот на десниот бок на долината) истекува заматена вода, со цел да се обезбеди потребната заштитна височина од водното ниво до круната на браната, тогаш водата ќе се испушта во таложницата, а потоа во резервоарот (отворен би бил само затворач бр. 2). Штом ќе се постигне максимално ниво во резервоарот, со пумпната станица ќе се рециркулира водата во технолошкиот процес (прскалки).
- (6) Низводното тело од руднички камен, проектирано со крајна кота на круна на 917.0 м.н.в., да се изведе во 4 фази. Со фазната изведба, со широчина во круна од 3.0 м и узводен наклон на косина 1:1.5, ќе се обезбедат две функции. Прво, потпирање на косите слоеви од депонираниот јаловиштен песок и, второ, обезбедување резервен волумен. Така, доколку во натамошниот период има евентуално однесување на јаловиштен материјал низводно од преградниот профил на браната, тогаш тој ќе биде задржан и нема да се пропагира во низводното корито на Каменичка Река.
- (7) Перманентно да се разгледува и уредува теренот во зона над круната на браната и секогаш да се оформи така што евентуално концентрираното површинско течење по падината (од интензивни врнежи) да се пренасочува низводно од низводната ножица на песочната брана. Доколку тоа не е можно, тогаш да се насочува кон таложното езеро, барем 30 м узводно од круната на браната. Меѓутоа, никогаш да не се дозволи концентрираното површинско течење од боковите на долината да биде насочено кон круната и кон низводната косина на браната.
- (8) Да се збива јаловишниот песок по површината на круната на песочната брана, со расположливата механизација на рудникот „Саса“, на потези со должина од минимум 10 м, во близина на десниот и левиот бок на долината, со што ќе се намали евентуална растреситост на одложениот јаловиштен песок и ќе се подобри неговата филтрациона јакост, во зоната што е критична за појава на недозволена контактна филтрација.
- (9) Клучно за стабилноста на јаловишната брана е регуларното функционирање на дренажниот систем, кој се состои од 4 дренажни килими поставени напречно на долината. Тие се изведени во речното корито од филтерски материјал и обвиткани со геотекстил за да се спречи евентуално зачепување на дренажниот материјал. По хаваријата, горниот геотекстил на дренажните килими 3 и 4 е покриен со талог и е зачепен, односно не може да ја извршува својата функција затоа треба да се отстрани горниот дел од геотекстилот и да се замени со нов слој со исти материјални параметри.
- (10) Секојдневно да се следат појавите на: (а) влажност по површината на низводната косина; (б) површински кратери, од евентуално слегнување на материјалот поради механичка суфозија во подлабоките слоеви; (в) заматена вода во дренажниот систем, кои би биле резултат на неповолен филтрационен процес и доколку се забележат такви појави, привремено да се прекине користењето на хидројаловиштето.
- (11) Натамошното планирање и проектирање на заштитните канали, нивната изведба, односно ископот во боковите на долината, треба да одговара на конкретните теренски услови кои ќе одговараат за следна состојба на изграденост на јаловишната брана. Овие привремени објекти припаѓаат во одржувањето на хидротехничките објекти од страна на операторот во фаза на користење на хидројаловиштето. Подвлекуваме дека во иднина се можни повремени

ерозии по површината на насипната конструкција, доколку при поинтензивни врнежи се создадат површински течења кои би го надминале капацитетот на заштитните канали. Тоа се случува во експлоатациониот период кај трајните заштитни канали на конвенционалните земјени брани со водни акумулации, па секако е можно и кај привремените заштитни канали на јаловишните брани со таложни езера. Токму затоа постои визуелна оскултација во фаза на користење на браните, зашто тие се градежни објекти со активно влијание на водата. Тоа што е значајно е дека малите површински оштетувања треба да бидат забележани навремено и што поскоро да бидат санирани, што е обврска на операторот со браните.

7. ЗАКЛУЧОК

Неповолната контактна филтрација низ горната зона во десниот бок на браната условила прогресивна филтрација низ десниот дел на јаловишната брана Саса 4, во почетниот период на градба, со кота 910 м.н.в., во септември 2020 година. Под дејство на прогресивната филтрација се развил процес на изнесување на песочни зрна од телото на браната, растресување на материјалот и слегнување под товарот на погорните слоеви. Кумулативното слегнување било максимално во круната на браната. Штом круната станала пониска од водното ниво во езерото, дошло до неконтролирано истекување на акумулираната вода. Најголема била кинетичката енергија во близина на низводната ножица на браната и довела до ерозија на материјалот и формирање на кратер. Потоа тој се продлабочувал и стигнал до круната на браната, но со спуштањето на водното ниво до кота на јаловишната кал престанало површинското истекување и со тоа и проширувањето на кратерот.

Имајќи ги предвид причините за појава на неповолна контактна филтрација и обемот на оштетувањето на јаловишната брана Саса 4, усвоени се мерки за санација на браната во две фази (ургентни за стабилност на браната и подготвителни за рестартирање на хидројаловиштето) и мерки за натамошно безбедно користење на хидројаловиштето и градење на јаловишната брана. Сè додека не бидат реализирани мерките од двете фази за санација на јаловишната брана, хидројаловиштето бр. 4 не смее да се користи.

8. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1.1] PETKOVSKI L., TANČEV L., MITOVSKI S. A Contribution to the standardization of the modern approach to assessment of structural safety of embankment dams", 75th ICOLD Annual Meeting, International Symposium "Dam Safety Management, Role of State, Private Companies and Public in Designing, Constructing and Operation of Large Dams", St.Petersbourg, Russia, 2007.
- [1.2] PETKOVSKI L., ILIEVSKA F. ESTIMATION OF HYDRO TAILING'S DYNAMIC RESPONSE DURING THE INFLUENCE OF STRONG EARTHQUAKES, III Symposium of MAG, Struga, 2010.
- [1.3] PETKOVSKI L., ILIEVSKA F. Comparison of Different Advanced Methods for Determination of Permanent Displacements of Tailings Dams in Earthquake Condition“, 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, R.Macedonia, 2010.
- [2] PETKOVSKI L., MITOVSKI S. Creating of tailings space by stage construction of rockfill dam, 25. Congress on Large Dams, ICOLD, Stavanger, Norway, 2015.
- [3] ICOLD, Bulletin 45, Manual on tailings dams and dumps, 1982.
- [4] ICOLD, Bulletin 139, Improving tailings dam safety - Critical aspects of management, design, operation and closure, 2011.
- [5] PETKOVSKI L. Modified conventional dam in phase construction – an alternative to tailings dam, UDK: 627.821, Original scientific paper, Watereconomy, ISSN 0350-0519, Vol. 47, No. 273-275, p. 41-50, Beograd, Serbia, 2015;
- [6] PETKOVSKI L., MITOVSKI S. Comparison of Tailings Dams Dynamic Response in Case of Central and Downstream Method of Construction, 82. Annual Meeting of ICOLD, International Symposium: Dams in Global Environmental Challenges, Bali, Indonesia, 2014.
- [7] PETKOVSKI L., MITOVSKI S. Structural safety of tailings dams at increasing of the deposit space, Conference, Talinigs dams in Republic of Macedonia, MACOLD, Shtip, R.Macedonia, 2012
- [8] PETKOVSKI L. Static and dynamic stability of tailings dams at heightening“, Journal PRESING, Skopje, Volume 2, no.12, ISSN 1857-7-44X, 2012..