



ЗДРУЖЕНИЕ МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ БРАНИ  
MACEDONIAN COMMITTEE ON LARGE DAMS

КОНФЕРЕНЦИЈА НА ТЕМА:  
CONFERENCE ON TOPIC:

Хидројаловиштата во Република Македонија  
Tailing dams in Republic of Macedonia

---

Зборник на трудови  
Proceedings

Штип, 30÷31 октомври, 2012  
Shtip, 30<sup>th</sup> ÷31<sup>th</sup> October, 2012

---

**ОРГАНИЗАТОР**

Здружение Македонски комитет за големи брани

**ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР**

Љубомир Танчев  
Љупчо Петковски  
Славко Милевски  
Милорад Јовановски  
Борис Таневски  
Добре Тасевски  
Илија Андонов – Ченто  
Трифун Паскалов  
Борче Гоцевски  
Живко Гоцев  
Борис Крстев  
Грозде Алексовски  
Лидија Крстевска  
Јасна Иванова Давидовиќ  
Зоран Јосифоски  
Ѓоре Јовановски  
Станислава Додева  
Јован Дојчиноски  
Благоја Стоилов  
Влатко Гиговски  
Јасминка Милановска  
Славчо Михајловски  
Никола Богданов  
Стевчо Митовски

**РЕДАКЦИСКИ ОДБОР**

проф. д-р Љубомир Танчев  
проф. д-р Васил Витанов  
проф. д-р Љупчо Петковски  
проф. д-р Благој Голомеов  
проф. д-р Катерина Донева

**ИЗДАВАЧ**

Здружение Македонски комитет за големи Брани

**ТЕХНИЧКА ОБРАБОТКА И ДИЗАЈН**

Стевчо Митовски

**ПЕЧАТ**

Завод за испитување на материјали и нови технологии - Скопје

**ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНА**

Хидројаловиште Саса, поглед од низводната страна

---

# ПРЕДГОВОР

Здружението Македонскиот комитет за големи брани (ЗМКГБ) постои и работи уште од 1950 година како друштво во рамките на тогашниот Југословенски комитет за големи брани. По осамостојувањето на Р. Македонија, во 1994 година се зачленува во Меѓународната комисија за големи брани (ICOLD), и настојува, според финансиските можности, редовно да учествува во неговите активности. Во изминатиов период од 18 години 9 најважни активности поврзани со ICOLD беа: Учество на наши делегати на конгресите во Дурбан (1994 г.), Фиренца (1997), Пекинг (2000), Монреал (2003), Барселона (2006) и Бразилија (2009), како и учество на годишните конференции во Дрезден (2001), Игуасу (2002), Сеул (2004), Техеран (2005), Санк Петербург (2007) и Луцерн (2011). Членови на ЗМКГБ учествувале и на конференции и симпозиуми на организации со коишто ICOLD соработува.

Значајна активност на МКГБ е и учеството во работата на поткомитетите, односно стручните комисии на ICOLD. Досега имавме претставници во следниве поткомитети: за статичка анализа на браните, за сигурност на браните, за оскултација на браните и за сеизмика.

ЗМКГБ спроведува и своја програма, која се однесува на сите аспекти кај браните, придружните објекти и јаловиштата. Од активностите во последниве 12-13 години би ги издвоиле:

- Трибина за користење на хидроенергетскиот потенцијал на Црна Река (Битола, 1999 г.).
- Симпозиум за проектирањето и почетокот на градбата на браната „Козјак“ (Скопје, 1999).
- Прв конгрес за брани (Охрид, 2004).
- Симпозиум за проектирањето и градбата на браната „Козјак“ (Скопје, 2005).
- Годишно собрание со пригодно предавање (Битола, 2006).
- Стручна екскурзија на група учесници на меѓународната конференција HYDRO2008 (Ljubljana), кои во пост-конференциската стручна екскурзија ги посетија најголемите брани и хидроцентрали во Македонија (2008).
- Втор конгрес за брани (Струга, 2009).
- Презентација и посета на браната „Кнежево“ (тогаш во градба, наша прва каменонасипна брана со асфалтна дијафрагма), јули 2009; настанот предизвика забележителен интерес и привлече повеќе посетители, меѓу кои и од Бразил, Грција и Бугарија.
- Работилница на тема: „Современи методи и материјали за градба на брани“, со реферати од автори од Швајцарија, Грција и Македонија, со околу 90 учесници – членови на ЗМКГБ – но и гости од Грција, Албанија, Австрија, Србија и Бугарија (Скопје, септември 2009).
- Годишно собрание со пригодно предавање (Скопје, декември 2010).

- Симпозиум на тема: „Брани – современи искуства од истражувањето, проектирањето, градбата и експлоатацијата“, во заедничка организација на Македонскиот и Словенечкиот комитет за големи брани; Учествуваа околу 70 членови на ЗМКГБ и 10 на SLOCOLD, а имавме и еден учесник од Шведска; беше посетена и браната „Света Петка“, тогаш во завршна фаза на изградба (Скопје, ноември 2011).
- Годишно собрание со пригодно предавање на гостин од Швајцарија (Скопје, декември 2011).

За повеќето од наведените манифестации организирани од ЗМКГБ издадени се зборници на трудови или други пригодни публикации, на македонски или англиски јазик. Инаку, на нашите манифестации по правило учествуваат меѓу 50 и 100 членови на ЗМКГБ, со гости од национални комитети на други држави, со кои имаме соработка.

Конференцијата „Хидројаловиштата во Република Македонија“ неколку години фигурираше во нашите годишни планови. Конечно, оваа година се створија услови за нејзина реализација, благодарение на финансиската поддршка од ЕЛЕМ (во склоп на неговата програма за општествена одговорност), но и благодарение на силната поддршка во организационен поглед на рудниците „Бучим“, „Саса“, „Злетово“ и „Тораница“ и на Факултетот за технички и применети науки при Универзитетот „Гоце Делчев“ во Штип и Градежниот факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“, како и од помошта на други фирми и организации, наши традиционални поддржувачи.

Хидројаловиштата имаат многу сличности со класичните брани, но содржат и бројни специфичности што ги прават посебни објекти, особено интересни. Тука би ги спомнал, пред се, начинот на градење, односно формирање потребата за надградување, влијанието брз животната средина и потребата од рекултивирање по завршувањето на експлоатацијата. На теми за хидројаловиштата се објавуваа реферати и на нашите конгреси, одржани во 2004 и 2009 година, но рестартирањето и интензивирањето на работата на четирите споменати рудници во последниве 5-6 години, наметнаа потреба од организирање на тематска конференција, која, очекуваме да стане традиционална, односно да се повторува во одреден временски период. Пристигнатите 10-тина реферати сметаме дека се доволни за почеток, а забележителни ефекти очекуваме да произлезат и од дискусиите, запознавањата и контактите на професионалците од рударската и градежната фела. Во тој поглед, секако од голема корист ќе биде и стручната посета на хидројаловиштата во склоп на рудниците Бучим и Злетово, планирана за вториот ден од конференцијата. Во оваа пригода, им изразувам длабока благодарност на авторите на трудовите и на сите кои на било кој начин ја помогнаа и овозможија нашата конференција.

Скопје, октомври 2012 година

Претседател на ЗМКГБ

Љубомир Танчев

## СОДРЖИНА

---

ФЛОТАЦИСКИ ЈАЛОВИШТА ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА Б. Голомеов, Б. Крстев, М. Голомеова, Љ. Костадинов	<u>1</u>
ИНЖЕНЕРСТВО СО СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ Љ. Костадинов, Б. Крстев, Б. Голомеов, М. Голомеова, Д. Илиевски	<u>13</u>
ДРЕНАЖНИ СИСТЕМИ КАЈ ХИДРОЈАЛОВИШТАТА – ТЕОРИСКИ ОСНОВИ И ИСКУСТВО В. Витанов, Ј. Папиќ, Ж. Гоцев, Ст. Глигоров	<u>25</u>
СПОРЕДБА НА ДИНАМИЧКИТЕ ОДГОВОРИ НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА СО ВОЗВОДЕН НАЧИН НА ГРАДБА Ф. Илиевска	<u>37</u>
ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ФЛОТАЦИСКА ЈАЛОВИНА А. Крстев, Љ. Костадинов, Б. Крстев, Б. Голомеов, М. Голомеова, А. Зенделска	<u>49</u>
САНАЦИЈА И РЕКУЛТИВАЦИЈА НА СТАРОТО ЈАЛОВИШТЕ РОЦ ЗЛЕТОВО – ПРОБИШТИП С. Михајловски, С. Попов, Г. Дуданова, П. Костадиновски	<u>63</u>
БИОМЕЛИОРАЦИСКА РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА ЈАЛОВИШТЕТО ТОПОЛНИЦА НА РУДНИКОТ БУЧИМ РАДОВИШ Н. Николов, Г. Конзулов, Ж. Гоцевски	<u>75</u>
КОНСТРУКТИВНА СИГУРНОСТ НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ ПРИ ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ТАЛОЖНИОТ ПРОСТОР Љ. Петковски, С. Митовски	<u>89</u>
НАДВИШУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ “ТОРАНИЦА” СО ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ Љ. Димитриевски, Д. Илиевски, Љ. Костадинов, А. Стрешески, Б. Фиданчев	<u>101</u>
ИСПИТУВАЊЕ АМБИЕНТАЛЕН ВОЗДУХ, АЕРОСЕДИМЕНТ И ПРАШИНА ВО БЛИЗИНА НА РУДНИКОТ “САСА” Б. Голомеов, Б. Крстев, М. Голомеова, Љ. Костадинов( А. Зенделска, А. Крстев	<u>113</u>
ХАВАРИИ КАЈ ХИДРОЈАЛОВИШТАТА И ИНЖЕНЕРСТВО ЗА СЛУЧАЈ НА НЕСАКАНИ ХАВАРИИ Љ. Костадинов, Б. Крстев, Б. Голомеов, М. Голомеова, Б. Фиданчев	<u>123</u>



ТЕМА БР.1

---

ПРОЕКТИРАЊЕ, ГРАДБА И КОРИСТЕЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА







## ФЛОТАЦИСКИ ЈАЛОВИШТА ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

Б. Голомеов<sup>1)</sup>, Б. Крстев<sup>2)</sup>, М. Голомеова<sup>3)</sup>,  
Љ. Костадинов<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; blagoj.golomeov@ugd.edu.mk

<sup>2)</sup> Проф. д-р, дипл. инж. технолог, Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; boris.krstev@ugd.edu.mk

<sup>3)</sup> Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; mirjana.golomeova@ugd.edu.mk

<sup>4)</sup> М-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр.1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; rudar@geing.com.mk;

### Резиме

Флотациските хидројаловишта може да претставуваат еколошки бомби ако не се градат и управуваат по сите норми и стандарди предвидени за таа намена. Тие во одредени услови и периоди може да бидат големи загадувачи на непосредната околина, на површинските и на подземните води, како и на воздухот. Значи, преку земјиштето, водата и воздухот, флотациските јаловишта дејствуваат врз животната средина и врз целокупниот растителен и животински свет. Флотациските реагенси што се употребуваат во технолошкиот процес, како и растворените соли на тешките метали, обично се присутни во водите што се испуштаат од јаловиштата. Овие води, покрај остатоци од флотациските реагенси (ксантати, феноли, цијанидни соединенија, висока базичност или киселост), содржат и јони на тешки метали (Pb, Zn, Cu, Cd, Fe и др.), како и ниска содржина на кислород и други нечистотии.

**Клучни зборови:** Хидројаловиште, локација, параметри, проектирање.

## FLOTATION TAILING DAMS IN REPUBLIC OF MACEDONIA

### Summary

The tailing dams are considered as potential ecological “bombs” if not constructed and managed according to the normatives and standards assigned for them. In certain cases they can be also contaminators of the environment, surface and ground waters, as well as the air. That means that through the land, water and air the tailing dams act on the environment and all flora and fauna. The flotation reagents used in the technological process, as well and the resolved salt of the heavy metals are usually present in the water released from the tailing dam. This water, beside the residuals of the flotation reagents (fenols, cyanide mixtures, high alkality or acid) contains and ioness of hehavy metals (Pb, Zn, Cu, Cd, Fe etc.), as well and low content of oxygen and other fillts.

**Key words:** Tailing dam, location, parameters, designing.

## 1. ВОВЕД

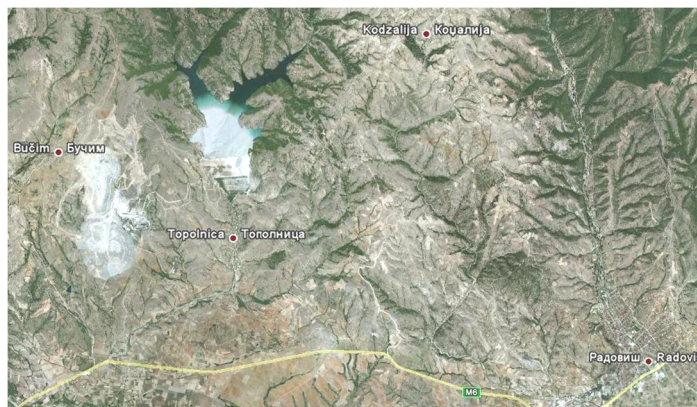
Во Република Македонија постојат четири активни флотациски јаловишта, и тоа во рамките на рудниците: „Бучим“ - Радовиш (експлоатација на мономинерална бакарна руда), „Злетово“ - Пробиштип, „Саса“ - Македонска Каменица и „Тораница“ - Крива Паланка (експлоатација на полиминерална оловоцинкова руда).

Овие рудници, по одвивањето на технолошкиот процес на флотирање на корисните компоненти, продуцираат јаловина која кај полиметалните оловоцинкови руди претставува околу 88% од вкупно преработената рудна маса, додека кај мономинералната бакарна руда овој процент е поголем од 98%. За потребите од депонирање на оваа јаловина сите овие рудници имаат изградено хидројаловишта. Во досегашниот период на експлоатација на споменатите рудници се депонирани огромни количини флотациска јаловина.

Покрај овие активни хидројаловишта, во минатото при експлоатација на руда на хром, арсен и на антимон во рудникот „Лојане“ - Куманово е формирано јаловиштето „Лојане“. Ова јаловиште е старо повеќе од 30 години, но сè уште има негативни влијанија врз животната средина. Исто така, јаловиште е создадено и од рудникот за хром „Југором“ - Јегуновце, кое веќе е санирано преку проект на Министерството за животна средина и Европската Унија.

Јаловиште „Тополница“ - се наоѓа на околу 1,5 km од погонот флотација и на околу 10 km од градот Радовиш (сл. 1).

Хидројаловиштето е сместено по течението на реката Тополница, при што браната се состои од иницијална брана, која потоа, со самиот процес на класирање на флотациската јаловина, е надградувана со песочна фракција, со истовремено одложување на преливот во таложно езеро. Бидејќи во технолошкиот процес на рудникот „Бучим“ се преработува мономинерална суровина, тоа овозможува избистрената/одлежаната вода од таложното езеро со систем на пумпи (понтони) да се враќа во технолошкиот процес (флотација), односно да се врши рецикулација на водата, што од еколошки аспект е многу повољно.



Слика 1. Сателитска снимка на хидројаловиште „Тополница“

Земајќи ја предвид висината на браната на јаловиштето, која изнесува околу 120,0 m, ова јаловиште претставува едно од највисоките хидројаловишта во Европа. Почетокот на експлоатација на јаловиштето е од 1979 година, а од март 2003 година до средината на 2005 година рудникот не работел. Во досегашниот период на одложување на флотациската јаловина, во ова јаловиште се одложени 104.883.605 t јаловина (до 2011 година). За идна експлоатација се предвидува надвишување до кота 654 mНВ, а во моментот браната на јаловиштето е изградена до кота 642 mНВ.

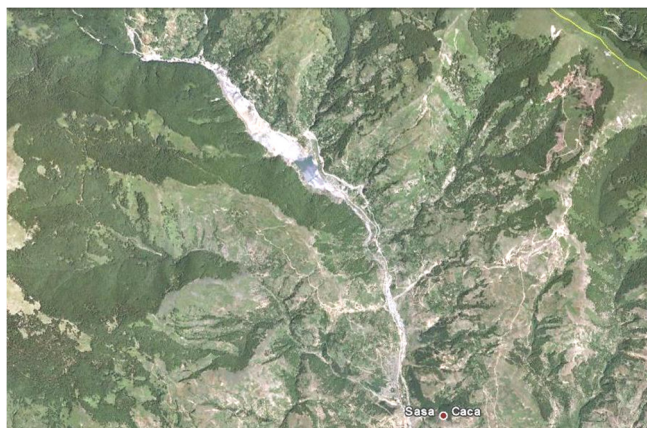
Потенцијална опасност од хидројаловиштето е загрозување на селото Тополница, кое има население од околу 1.000 жители, а се наоѓа непосредно до ножицата на браната од хидројаловиштето, загрозување на водотекот од реката Тополница, која се влива во Лакавичка Река, а од која, пак, се наводнуваат земјоделски површини од околу 40.000 ha.

Јаловиште „Саса“ - лоцирано на околу 12 km од градот Македонска Каменица, околу 4 km од селото Саса (сл. 2) и непосредно до погонот флотација, во долината на Саска Река.

За потребите на флотациското јаловиште е извршена девијација на Саска Река со опточен тунел. Јаловиштето „Саса“ е составено од три каскадни јаловишта, од кои две се стари и не се во употреба. Сите јаловишта се преградени со сопствени брани, а меѓусебно се споени каскадно. Избистрената вода од активното јаловиште прелива преку евакуациониот преливен орган - колектор во водотекот на Саска Река.

Јаловиштето бр. 1 било во функција од 1964 до 1974 година, со висина од 44 m и изградено до кота 1.033 mНВ, јаловиштето бр. 2 било во функција од 1974 до 1990 година со висина од 62 m и изградено до кота 1.032 mНВ, додека од 1990 година во експлоатација е ново јаловиште со градба во две фази, при што ново јаловиште I фаза е завршено, а во моментот во експлоатација е ново јаловиште II фаза (сл. 3), кое ќе се надвишува до кота од 975 mНВ.

Рудникот „Саса“ не беше активен од декември 2002 година до втората половина на 2006 година.



Слика 2. Сателитска снимка на хидројаловиште „Саса“



Слика 3. Хидројаловиште „Саса“

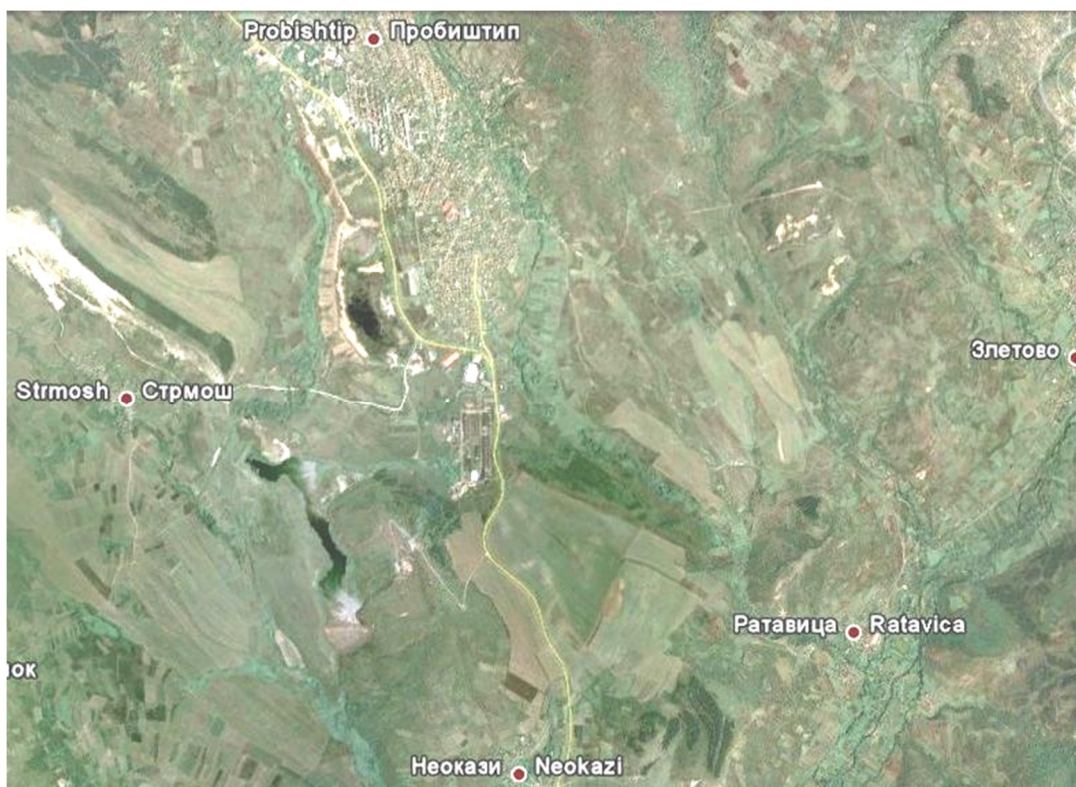
Во досегашниот период од обработените податоци за флотациска јаловина од рудникот „Саса“ пресметани се количини од 16.535.019 t јаловина (до 2011 година, а без податоци за 2001 и за 2002 година), од кои количини мал дел е искористен за пополнување на подземните простори во рудникот, додека најголем дел се депонирани на јаловиштата во рудникот „Саса“.

Потенцијална опасност од активното јаловиште е загрозување на селата низводно по Саска Река, со население од околу 1.500 жители, на градот Македонска Каменица, со населени од 10.000 жители, како и загрозување на водотеците од реката Брегалница и акумулацијата „Калиманци“, кои служат за наводнување на земјоделските посеви (>150.000 ha).

Јаловиште „Злетово“ - лоцирано во непосредна близина на градот Пробиштип (сл. 4) и непосредно до погонот флотација.

Акумулациониот простор се наоѓа по течението на реката Киселичка (девијација со отворен канал). Постојат пет јаловишта, од кои четири се заедно, а петтото (ново) е независно. Начинот на изградба на браните е со хидроциклониран песок - флотациска јаловина, додека преливот од хидроциклонот се одлага во таложни езера. Избистрената вода од новото (активно) јаловиште прелива преку евакуациониот преливен орган - колектор во Киселичка Река.

Јаловиштето бр. 1 било во функција од 1928 до 1944 година, јаловиштата бр. 2 и бр. 3 биле во функција од 1945 до 1970 година, јаловиштето бр. 4 било во функција од 1970 до 1976 година, а потоа е почнато со експлоатација на ново јаловиште со градба во две фази, при што во експлоатација е ново јаловиште фаза I (сл. 5), кое ќе биде во функција до кота 495 mНВ и висина од 51 m. За наредно одлагање во функција ќе биде ново јаловиште фаза II, кое ќе се гради до кота од 505 mНВ и до висина од 61 m.



Слика 4. Сателитска снимка на активно хидројаловиште „Злетово“



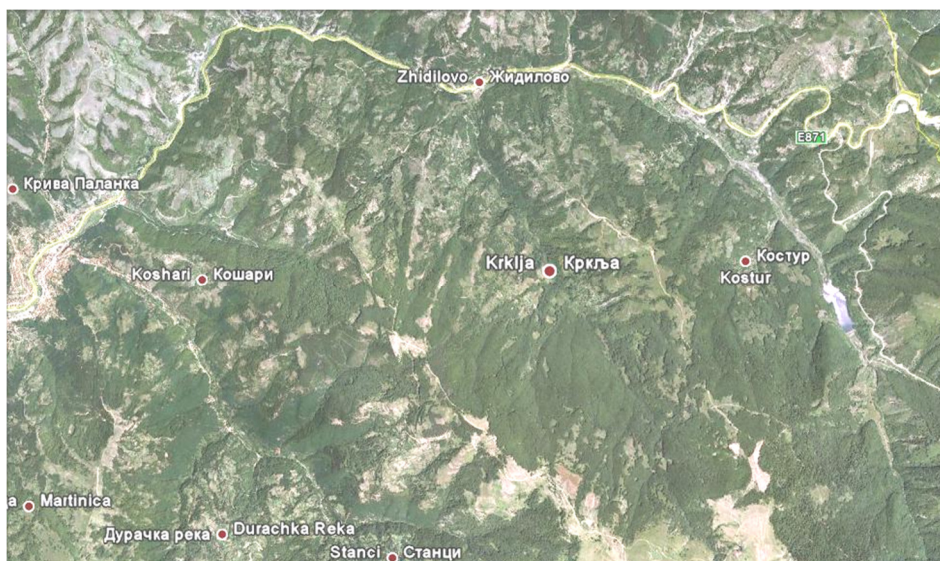
Слика 5. Хидројаловиште „Злетово“

Рудникот „Злетово“ не беше активен од септември 2002 година до јануари 2007 година.

Во досегашниот период на одлагање на флотациска јаловина во јаловиштата на рудник „Злетово“ се одложени околу 18.353.437 t јаловина (до 2011 година).

Потенцијална опасност од јаловиштето е загрозување на селата низводно по Киселичка Река, со население од околу 500 жители, загрозување на водотеците од Киселичка Река, која се влива во река Брегалница, а која служи за наводнување на земјоделските посеви (>50.000 ha).

Јаловиште „Тораница“ - се наоѓа во долината на Крива Река, на 4 km низводно од погонот флотација и на околу 10 km од градот Крива Паланка (сл. 6).



Слика 6. Сателитска снимка на хидројаловиште „Тораница“

За потребите на флотациското јаловиште е извршена девијација на Крива Река со опточен тунел, а просторот возводно е заграден со камено-земјена ретензиона брана. Песочната брана се гради низводно со хидроциклониран флотациски песок, додека преливот од хидроциклонот се одлага во таложно езеро. Избистрената вода од таложното езеро во минатото преливала преку евакуационен преливен колектор, додека во моментот поради надоградба на ретензионата брана евакуацијата на вода од таложното езеро се врши со помош на пумпа преку колекторот, а водата од колекторот се испушта во Крива Река преку таложни базени.

Почетокот на експлоатација на јаловиштето е од 1987 година, а од јануари 2001 до октомври 2007 рудникот не работел. Во досегашниот период на одлагање на флотациска јаловина во ова јаловиште се одложени 3.466.931 t јаловина (до 2011 година). За идна експлоатација се предвидува надвишување до кота 990 mНВ, односно вкупна висина на песочната брана од околу 70 m. Во тек се активности за надвишување на ретензионата брана до кота од 990 mНВ. Ретензионата брана се надвишува со флотациски песок, со примена на современи материјали, а таложното езеро е во централниот дел од јаловиштето (сл. 7).



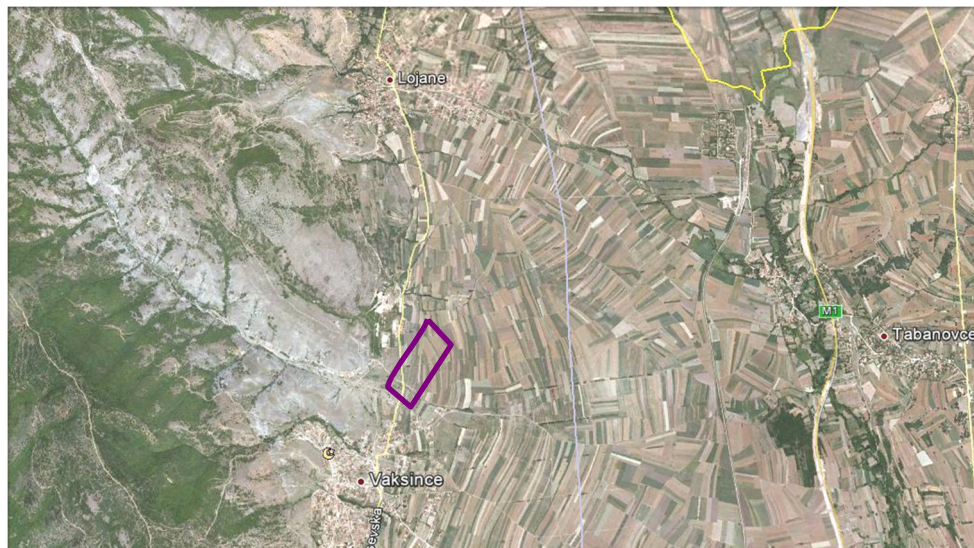
Слика 8. Хидројаловиште „Тораница“

Потенцијална опасност од јаловиштето е загрозување на селата низводно по Крива Река, со население од околу 750 жители, загрозување на водотекот од Крива Река, како и на градот Крива Паланка, со население од околу 15.000 жители.

Јаловиште „Лојане“ - се наоѓа на 10 km од градот Куманово, меѓу селата Ваксинце и Лојане (сл. 9), во непосредно до асфалтниот пат Ваксинце-Лојане. Ова јаловиште е формирано во периодот од 1953 до 1979 година.

Ова јаловиште не е санирано и при врнежи, честички од контаминирани материјали од јаловиштето се разнесуваат по околниот терен.

Потенцијална опасност од јаловиштето е загрозување на окоlnото население и на земјоделските посеви, а најкарактеристично е што во непосредна близина на јаловиштето се наоѓаат училиште и спортски игралишта.



Слика 9. Сателитска снимка на јаловиште „Лојане“

Во склоп на јаловиштето „Лојане“ е и депонијата за концентрат на арсен и на антимон, со количина од околу 10.000 t материјал, која постои повеќе од 30 години, како што е прикажано на сл. 10, а во непосредна близина на

депонијата има училиште. И оваа депонија за концентрат има негативни ефекти врз околината, а особено врз учениците што учат и спортуваат во непосредна близина.



Слика 10. Депонија на концентрат на арсен и на антимон во Лојане

Влијанието на флотациските јаловишта врз животната средина, во услови на проектирање и контролирана експлоатација, може да се разгледува низ следниве елементи:

- заземање на земјиштето за нивно формирање;
- загадување на површинските водотеци со испуштање на вишокот или на целокупните води од таложното езеро и со испуштање на дренажните води;
- загадување на подземните водни текови со филтрационите и провирните води;
- загадување на воздухот со најситни честички од исушената јаловина, кои се разнесуваат под дејство на воздушните струења;
- загадување на земјиштето при таложеење на честичките што се разнесени со ветерот или негова контаминација со загадените води;
- потенцијална опасност од хаварии при уривање на браните, при продор на јаловина низ објектите (колектор, опточен тунел, шахти, други цевководи и сл.), кои може да резултираат со големи материјални штети и можни човечки жртви.

## 2. ПРИСТАП ПРИ ИЗБОР НА ЛОКАЦИЈА ЗА ЈАЛОВИШТЕ

Локацијата на јаловиштето претставува комплексен инженерски проблем. Комплексноста произлегува од потребата за усогласување на техничко-технолошките услови со еколошките, урбанистичките и со



економските услови. Многу често се случува овие услови меѓусебно да се спротивставени, па секоја локација е плод на компромис меѓу наведените услови.

Од техничко-технолошките параметри, проектот мора да ги разгледа топографските, геолошките, геотехничките и хидрогеолошките карактеристики на теренот. Локацијата е функционално поврзана и со должината на транспортот, капацитетот на акумулациониот простор, последиците од евентуална хаварија итн. По правило, јаловиштето се формира на терен што бара мал број кратки преградни насипи. За тоа се најповолни котлините, усеците и слично. Топографски, најнеповолни се рамничарските терени бидејќи бараат изработка на ободни насипи од сите страни. Кај проектирањето е неопходно бројот и должината на насипот да се споредат со акумулациониот простор што се остварува со нивното изградување. Се мисли дека е постигнат добар однос кога волуменот на насипот е помал од 10% во однос на вкупниот акумулационен простор. Јаловиштата, по можност, треба да се лоцираат на цврсти, стабилни стени, далеку од раседи и зони на рушење, надвор од контурите на рудникот (копот, јамите) и на терен со задоволувачка носивост. Од хидрогеолошките параметри што се важни за лоцирањето на јаловиштето треба да се истакне поволноста на формирање јаловиште на слабопропустливи стени, надвор од главните текови на подземните води, на терени каде што нема извори, далеку од постојаните водотеци и над нивото на подземните води. При разгледување на технолошките параметри треба да се тежнее да се лоцира јаловиштето на место што е блиску до постројката, да не ја загрозува неговата доградба, потоа на место каде што пулпата може да се транспортира гравитациски за поголем временски период, на место кое обезбедува капацитет на јаловиштето најмалку за 15-годишна експлоатација или кај малите рудници за нивниот цел експлоатационен век. По правило, треба да се трудиме да заземе што помала површина со обезбедување стабилна висина. Многу е важно да се избегне лоцирање на јаловиштето на места каде што, со евентуална хаварија, би се предизвикало човечки жртви или поголеми материјални штети. Поради тоа, јаловиштето не треба да се лоцира покрај и над населени места, на патен сообраќај, железничка пруга, воени објекти, индустриски претпријатија, извори и резервоари на вода за пиење, акумулации итн.

Еколошкото вреднување на локацијата долго време е заобиколувано. Но, деградацијата на животната средина достигна такво ниво што современото проектирање не може да се замисли без анализи и вреднување на еколошките услови на локацијата за јаловиштето. Тоа е неопходно затоа што јаловиштата, премолчено, се претворија во колектор за сите загадени материјали што настануваат во технолошкиот процес. За да се сведе згадувањето на што помала мера, т.е. за да се намалат подоцнежните вложувања во секундарна заштита, неопходно е еколошките параметри да се размислат уште во време на лоцирање на јаловиштето. Така јаловиштето треба да се лоцира на слабопропусен терен, надвор од значајните правци на воздушно струење, подалеку од водотеци, извори и обработливо земјоделско

земјиште и, секако, треба да се интензивира употребата на новите геосинтетички материјали (геотекстил, геосинтетички глинени слоеви, геомембрани, геомрежи, геокомпозити, геотуби), кои овозможуваат потполна изолација на хидројаловиштето од околниот простор.

Долги години населбите околу рудниците се развивале стихийно. Како последица на тоа имаме случаи во кои рудникот и јаловиштето се лоцирани сред град (Бор, Мојковац). За да се избегне тоа, неопходно е да се донесе добар урбанистички план. Во генералниот урбанистички план треба да се одреди површина каде што може да се лоцира јаловиште. Покрај тоа, урбанистите треба да ги одобрат грубите димензии на јаловиштето - површината и висината на надградување. Со придржувањето кон урбанистичките планови се избегнува лоцирање на јаловиштата до извори на водоснабдување, се избегнува формирање вештачки ридови кои доминираат во околината на теренот, се избегнува изградба на населби околу јаловиштето итн..

Економичноста при формирањето и експлоатацијата на јаловиштето е специфична од проста причина што тој објект не донесува никаков приход, туку претставува постојан трошок. Поради тоа, не се поставува класично прашање за економска оправданост и исплатливост при изградбата на јаловиштето. Меѓутоа, подготвувањето на секоја локација има цена. Затоа е неопходно секоја поволна локација да се вреднува економски од технички, еколошки и/или од урбанистички аспект. Треба да се обрне внимание на инвестициските вложувања во секоја фаза (транспорт, депонирање и заштита), трошоците на одржување и експлоатација, цената на привремено и потполно заземање и деградирање на земјиштето итн. Се разбира дека економски поповолни се локациите што обезбедуваат етапно надградување и етапно вложување.

### 3. ЗАКЛУЧОК

Во последните години, со заострувањето на законската регулатива во доменот на заштитата на животната околина, како и со значителното подигање на свеста кај граѓаните за одговорен однос кон природата и животниот простор, неопходни се промени во пристапот при проектирањето, изградбата и експлоатацијата на овие значајни објекти. Во сите овие домени мора да се тргне од потребата да се постигне една цел: како да се избегнат или сведат на минимум можните негативни влијанија на хидројаловиштата врз животната средина. За таа цел се неопходни коренити промени во пристапот при изборот на локација за градба на флотациско јаловиште, испитувањата на третируваниот простор (геомеханички, хидролошки, сеизмички и др.), техниките на проектирање (со примена на нови геосинтетички материјали) и, секако, при експлоатацијата.

### Литература:

- [1] Б. Крстев, Б. Голомеов: „Флотациски хидројаловишта“, Факултет за рударство, геологија и политехника - Штип, 2008
- [2] Д. Салатиќ, Д. Кнежевиќ: „Технолошке основи проектовања постројења за припрему минералних сировина“, Рударски институт - Београд
- [3] Љ. Костадинов: „Инженерство со современи материјали за заштита на животната средина од флотациските јаловишта“, магистерски труд, Факултет за природни и технички науки - Штип, 2012,





## ИНЖЕНЕРСТВО СО СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА

Љ. Костадинов<sup>(1)</sup>, Б. Крстев<sup>(2)</sup>, Б. Голомеов<sup>(3)</sup>,  
М. Голомеова<sup>(4)</sup>, Д. Илиевски<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>М-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнл и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр.1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; [gudar@geing.com.mk](mailto:gudar@geing.com.mk);

<sup>(2)</sup>Проф. д-р, дипл. инж. технолог, Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk)

<sup>(3),(4)</sup>Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [blagoj.golomeov@ugd.edu.mk](mailto:blagoj.golomeov@ugd.edu.mk);  
[mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk)

<sup>(5)</sup>М-р, дипл. град. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; [darko@geing.com.mk](mailto:darko@geing.com.mk)

### Резиме

Хавариите што се случувале на хидројаловиштата во минатото се аларм за примена на современи методи и техники при проектирањето хидројаловишта. Проектирањето современо хидројаловиште во денешно време е многу актуелна тема, пред сè, поради фактот што со проектирањето би се решиле многу битни прашања за заштита на животната средина. За да едно хидројаловиште биде изработено и да функционира во согласност со современите светски стандарди, се користат современи материјали (геосинтетички) при неговата изградба. Со примена на геосинтетичките материјали, целокупната флотациона јаловина се сместува во една т.н. геобариера и на тој начин се обезбедува висок степен на заштита на животната средина. За модел на хидројаловиште е изработена техноекономска анализа за тоа колку би чинеле современите материјали што ќе се вградат во подготвителната фаза, во период при експлоатација и во постексплоатациониот период.

**Клучни зборови:** Геобариера, геосинтетички, животна средина, техноекономска анализа

## ENGINEERING WITH ADVANCED MATERIALS FOR TAILING DAM DESIGNING

### Summary

Tailing dam accidents happened in the past serve as “alarm” for application of advanced methods and techniques at designing of tailing dams. The designing of advanced tailing dam nowadays is very current topic, due to the fact that designing would resolve very important issues for environmental protection. Advanced materials (geosynthetic) are used at process of construction in order the tailing dam to be constructed and to perform according to the advanced world standards. By applying the geosynthetic materials total flotation tailing is accumulated in one so called geobarriers thus enabling high degree of environmental protection. A technical-economy analysis has been done for tailing dam model in order to estimate the cost of the applied advanced materials in the preparatory, service and post-service stage.

**Клучни зборови:** Geobarrier, geosynthetic, environment, technical-economy analysis.

## 1. ВОВЕД

Современи материјали што имаат широка примена за да се исполнат условите едно хидројаловиште да биде изработено според светски стандарди се геосинтетичките. Најчесто применувани геосинтетички се: геотекстили, геомембрани, геомрежи, геоцевки, геосинтетички глинени слоеви, геокомпозити и др.

Геосинтетичките материјали вршат функција на сепарација, армирање, филтрација, дренарање, а по потреба и како бариера за задржување течности и гасови, а со тоа се обезбедува висок степен на заштита на животната средина. Со примена на геосинтетички материјали се овозможува целокупната флотациска јаловина да се смести во една т.н. геобариера и на тој начин се прави комплетна изолација на тлото и на боковите од флотациската јаловина и се овозможува дренарање на процедурните води.

## 2. СВЕТСКИ ИСКУСТВА ЗА ХИДРОЈАЛОВИШТА

Современите геосинтетички материјали наоѓаат сè поголема примена кај хидројаловиштата во светот. Законската регулатива во многу земји уште пред повеќе од десетина години го има регулирано управувањето со хидројаловиштата, односно имаат воспоставено строги критериуми за заштита на животната средина од хидројаловиштата.

Во рудникот за олово, цинк и за сребро „Ел Мохито“ (El Mochito) во Хондурас, хидројаловиштето е изградено со помош на геосинтетички материјали: геотекстил, геомембрана, геотуби и др. Хидројаловиштето е изградено со поставување изолирачки слоеви од геотекстил и геомембрана по целото дно на хидројаловиштето. Низводно од хидројаловиштето се изградени две прегради од пропустливи геотуби, со кои геотуби се врши дренарање на вишокот води од хидројаловиштето. Геотубите се ткаенини од синтетички влакна кои се наполнети со ситен песок.

Во рудникот за злато „Ел Валје“ (El Valle), кој се наоѓа во областа Астуријас во северна Шпанија, современите материјали за заштита на животната средина се користат повеќе од 15 години. Хидројаловиштата во овој рудник се обложуваат со глинен геосинтетички слој и со геомембрана заради заштита на подземните води. Изолацијата на хидројаловиштата е извршена поради тоа што во карпестите маси се регистрирани пукнатини низ кои се можни продирања на водата. За обложување на тлото е искористена геомембрана со дебелина од 2 mm од типот HDPE (полиетилен со висока густина).

Првото хидројаловиште било надвор од рудникот, во северозападниот дел од рудникот, со преграда од брана со поставување изолирачки слоеви, додека следното хидројаловиште е лоцирано во североисточниот дел од рудникот и е искористен откоп, кој е завршен со експлоатација (сл. 1). На првото хидројаловиште е извршена рекултивација.



Слика 1. Хидројаловиште на рудникот Ел Валје - Астуријас, Шпанија

Во Јужна Африка, во рудникот за јаглен „Холфонтеин“ (Holfontein) сите потребни хидројаловишта се градат со помош на современи материјали (сл. 2). За обложување на тлото на хидројаловиштата се употребува геотекстил и геомембрана со дебелина од 2 mm од типот HDPE (полиетилен со висока густина).



Слика 2. Хидројаловиште на рудникот „Холфонтеин“, секција 6А - Јужна Африка

### 3. ИНЖЕНЕРСТВО СО СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

Современите материјали имаат значајна улога при проектирање модерно хидројаловиште, кое ќе обезбедува висок степен на заштита на животната средина. Најчесто применувани современи материјали се геосинтетиците. Повеќе од 95 % од геосинтетиците се изработуваат од полимерни материјали. Полимерите се аморфно термопластични или семикристално термо-

пластични, при што големината на кристалноста варира од 30 % за поливинил хлорид до 65 % за полиетилен. Најчесто користени полимери при производство на геосинтетици се: полиетилен (PE), полипропилен (PP), поливинилхлорид (PVC), полиестер (PET), полиамид (PA), полистирен (PS). Полиетиленот се појавува во два облика: PE LDPE - полиетилен со ниска густина и PE HDPE - полиетилен со висока густина. Геосинтетичките материјали вршат функција на сепарација, армирање, филтрација, дренажање, бариера (заштита од гасови и од течности) и сл. Најчесто применувани геосинтетици се: геотекстили, геомембрани, геомрежи, геоцевки, геосинтетички глиненни слоеви, геокомпозити и др.

Геотекстилите се оформени од синтетички влакна и нивната функција е да вршат сепарација, армирање, филтрација, дренажање и заштита на геомембраната од механички оштетувања.

Геомембраната е слабопропустлив синтетички материјал и се користи во инженерството при контрола на миграција на течности во еколошки проекти. Коефициентот на водопропустливост на геомембраните е во граници  $10^{-12} \div 10^{-15}$  m/s, а најчесто се користат со дебелина од 1÷3 mm.

Геомрежите се геосинтетици изградени со отвори меѓу надолжни и попречни снопчиња од полимерни влакна, кои се доволно големи за почвата да може да пробива од едната страна на геомрежата на другата. Геомрежите располагаат со голема сила на затегање и ги примаат напрегањата на смолкнување. Геомрежите ја извршуваат функцијата на армирање благодарение на развојот на методите на високомодулни полимерни материјали со голема јакост на затегање.

Геоцевките се изработуваат од синтетички материјал, при што најголема примена имаат цевките изградени од полипропиленски материјал, а имаат широка примена при одведување води од хидројаловиштата, транспорт на флотациска јаловина и сл.

Геосинтетичките глиненни слоеви претставуваат ролни од тенки слоеви бентонит - глина поставена меѓу два слоја од геотекстил или сврзана со геомембрана. Во присуство на вода, слојот на бентонит набабрува и значително го редуцира движењето на водата. Овој материјал се користи од 1988 година во САД како подлога на геомембрана кај депонија. Геосинтетичките глиненни слоеви најчесто се применуваат под геомембраните кај јаловишта и депонии како заштита од пробивање на материјалот од тлото, со што се спречува оштетување на геомембраната.

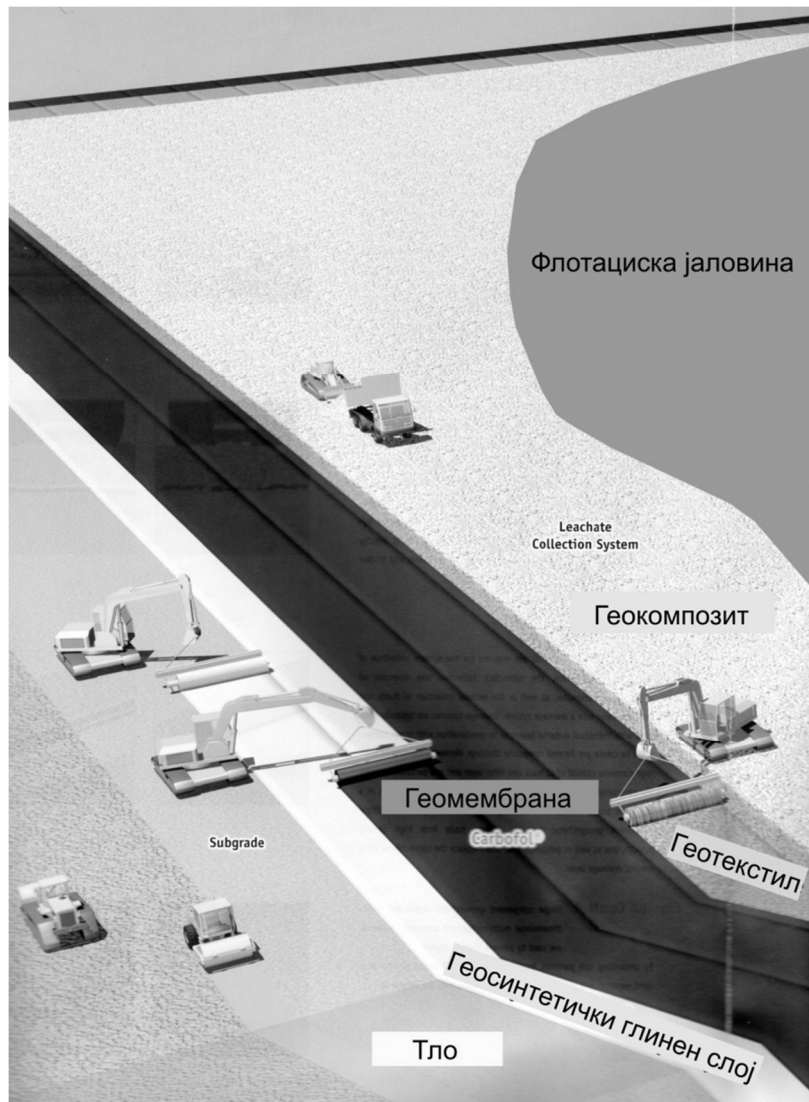
Геокомпозитите се изработуваат со комбинирање на два или повеќе типа од постојните видови геосинтетици: геотекстил со геомембрана, геомембрана со геомрежа или геотекстил со геомрежа. Геокомпозитите може да имаат дренажачка улога или заштита на косини од ерозија.

Постојат и други видови материјали што се изработуваат од споменатите материјали. Такви се геотубите, Incomat и др. Геотубите се ткаенини од синтетички влакна што вршат функција на заштита на насипи од ерозија,



филтрирање материјал со различна големина на честичките и сл. Целта на геотубите е да ги задржат суспендираните честички од јаловинскиот материјал од преработка на рудите и да ги дренаат водите. Употребата на геосинтетичкиот полипропиленски материјал, кој е фабрикуван во цилиндрична цевка наречена геотуба, доби широкораспространето внимание во текот на изминатите неколку години. Incomat е високојакосна двослојна ткаенина за стабилизирање насипи и темели кај работи во хидротехничкото инженерство. Се состои од два високојакосни поврзани полиамидни или полиетиленски ткаени слоеви за да формираат флексибилна структура, која може да се наполни со песок.

За проектирање на модерно хидројаловиште најчесто тлото се подготвува на тој начин што се врши израмнување на теренот, се поставува геотекстил или геосинтетички глинен слој, па се поставува рапава геомембрана, најчесто со дебелина од 2 mm, и врз неа се поставува геотекстил и дренажен геокмпозит (сл. 3).

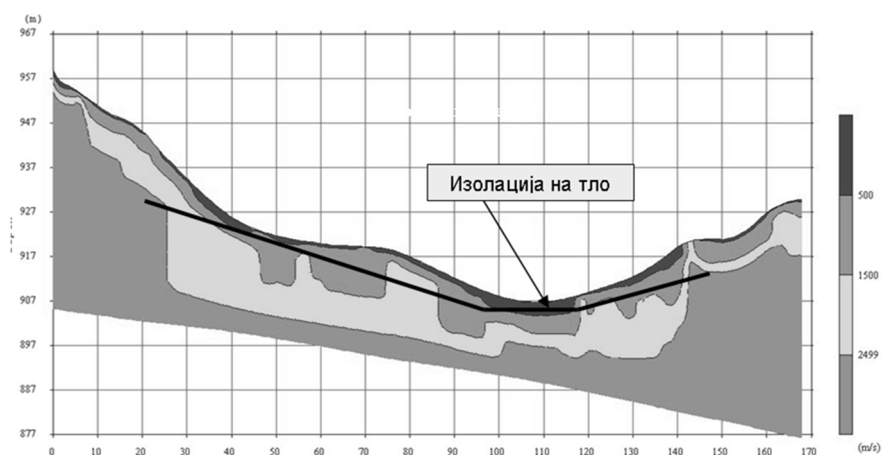


Слика 3. Инженерство со современи материјали во почетна фаза

Геосинтетичкиот глинен слој и геотекстилот служат за заштита на геомембраната од оштетување. На тој начин се прави комплетна изолација на тлото од флотациската јаловина и се овозможува задржување и дренирање на процедурните води.

Со дренажниот геокомполит се врши дренирање на процедурните води од флотациската јаловина, на тој начин што во најниската точка од дното на хидројаловиштето се поставува дренажна геопевка. Со дренажната цевка се врши одведување на процедурната вода надвор од хидројаловиштето и се постигнува поголема стабилност на браната од хидројаловиштето.

Во случај флотациското хидројаловиште да се лоцира во рамничарски предел, тогаш изолирачките геосинтетички слоеви задолжително треба да се постават и на почетните иницијални брани. Доколку флотациското хидројаловиште се лоцира во долина, а околниот терен е карпеста маса, во тој случај се врши изолација само на најниските делови од долината и на деловите во кои се регистрирани раседни зони. За дефинирање на теренот најдобро е да се извршат геофизички испитувања на локацијата за целото хидројаловиште (сл. 4).



Слика 4. Сеизмички профил и приказ на поставеноста на изолацијата на тлото

Најпрво се отстранува одреден дел од површинскиот слој, се рамни теренот со потребните падови, се поставува изолациски слој (заштитен слој за геомембрана и геомембрана) од матичната цврста карпа на едната страна до матичната цврста карпа до другата страна. Тоа треба да се направи на тлото на локацијата за целото хидројаловиште, како и да се постави изолациски слој и на косината од претходно завршеното хидројаловиште, во висина до која е планирано изградба на ново јаловиште. На тој начин, би се обезбедило задржување на целокупните води од флотациската јаловина, која преку дренажен систем ќе се одведува надвор од јаловиштето во помошно таложно езеро или во систем на лагуни, и на тој начин би се постигнал висок степен на заштита на подземните и на површинските води низводно од јаловиштето.

Со изградба на помошно таложно езеро низводно од хидројаловиштето, исто така со изолирање на тлото и со поставување хоризонтална и вертикална

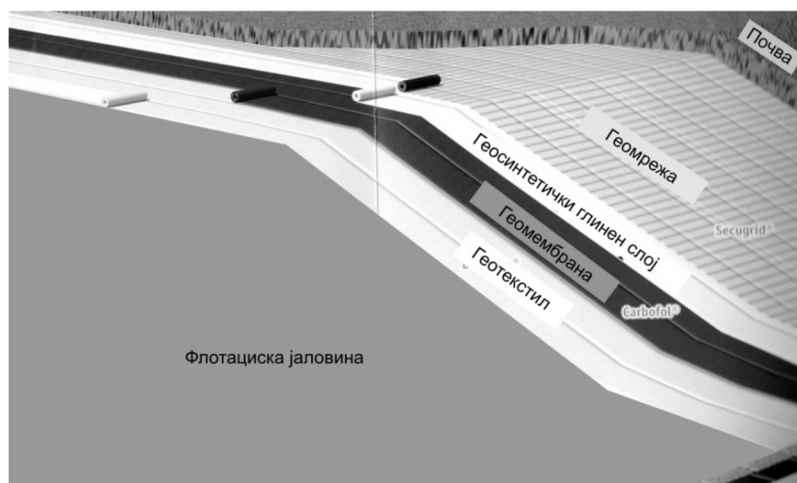
дренажа, заштитата на површинските и на подземните води би била на многу високо ниво.

По завршувањето со депонирање на флотациската јаловина, потребно е да се изврши рекултивација на хидројаловиштето. Техничката рекултивација ù претходи на биолошката и во неа се вклучени мерките за подготовка на земјишната површина, истиснување на водата, изолација на флотисолите и мерките за обнова на плодниот слој. За да имаме ефикасна техничка рекултивација, потребно е врз флотациската јаловина да се постави геотекстил, геомембрана, дренажен геокмпозит, геомрежа и потоа да се распостеле хумусен материјал со дебелина од околу 50 cm (сл. 5).



Слика 5. Поставување геомрежа за заштита од ерозија и од хумусен материјал

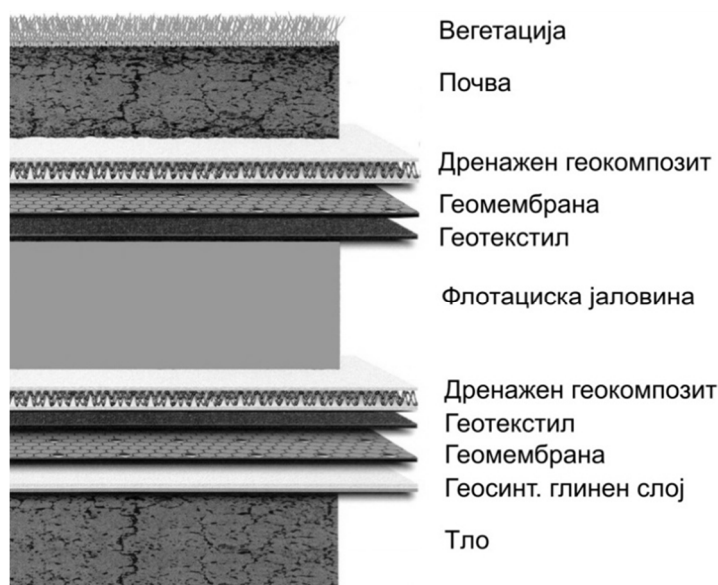
Значи, врз депонираната флотациска јаловина повторно се поставуваат геосинтетички слоеви, редоследно како што е прикажано на слика 6. Се поставува геотекстил, рапава геомембрана, најчесто со дебелина од 1 mm, дренажен геокмпозит, геомрежа по косините и потоа се распостила хумусен материјал и се врши биолошка рекултивација.



Слика 6. Инженерство со современи материјали во финална фаза

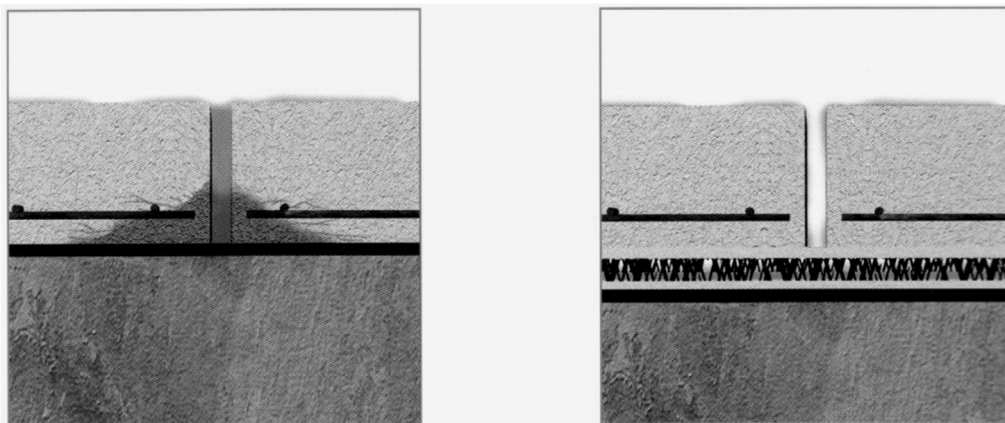
Биолошката рекултивација ги вклучува мерките за агробиолошко оспособување на почвата. Таа се состои од пошумување, затревување, уредување на просторот и сл. За поуспешна појава на вегетација на косините на хидројаловиштата, може да се користат современи материјали, како што е *Biomas S/C*. *Biomas S/C* претставува биодиградибилна покривка направена од мешавина од потполно биоразградливи влакна споени во текот на производството. Влакната се поставени на слој од целулоза и се подзасилени со полипропиленска мрежа. *Biomas S/C* се состои од мешавина на слама и кокосови влакна и со неа на растенијата им се обезбедува поволна влага и привремена заштита од ерозија.

На слика 7 е прикажан шематски приказ на сите слоеви од едно флотациско хидројаловиште проектирано со современи материјали.

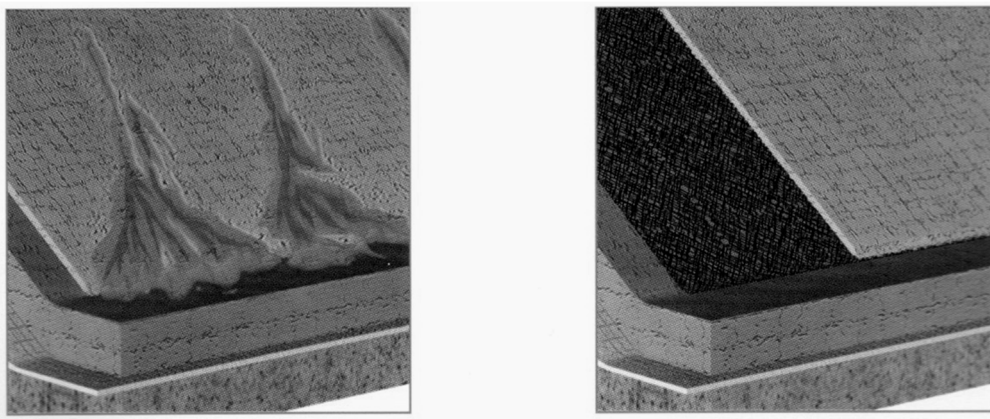


Слика 7. Приказ на геосинтетички слоеви

На следните слики (сл. 8 и сл. 9) е прикажан сликовит приказ на јаловиште без употреба на геосинтетички материјали и јаловиште на кое се употребени геосинтетички материјали при рекултивација.



Слика 8. Рекултивација без и со дренажен геокмпозит



Слика 9. Рекултивација без и со геомрежа (контрола на ерозија)

Од сликите се гледа дека со примена на геосинтетичките материјали се врши дренаирање на водата и се градат стабилни и сигурни косини на флотациските хидројаловишта.

#### 4. ТЕХНОИЧКО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ЗА СОВРЕМЕНО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

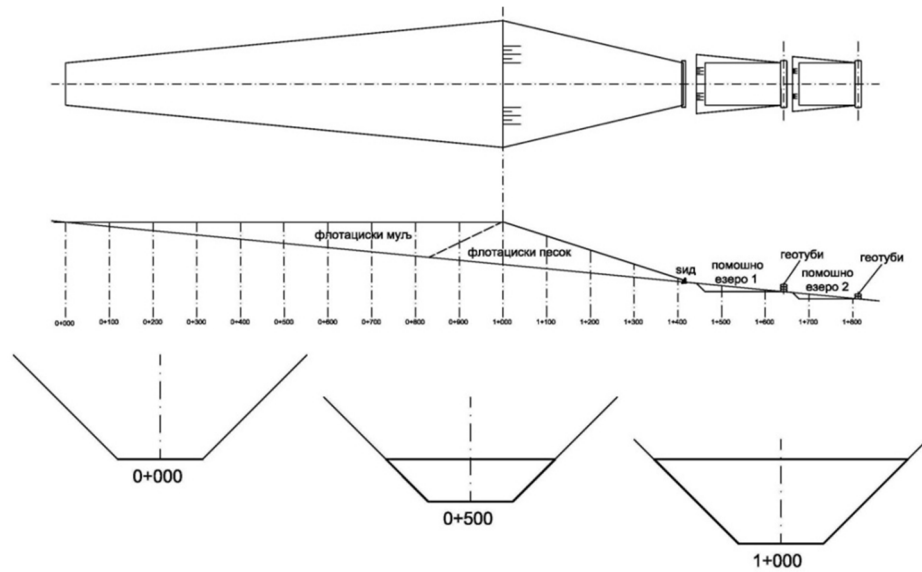
Во случај кога флотациската јаловина не може да се одлага во веќе откопани простори (подземни или површински), се пристапува кон избор на локација за флотациско хидројаловиште. Се тргнува од фактот, флотациското хидројаловиште да биде што поблизу до флотациската постројка, транспортот да биде гравитациски, работниот век да биде подолг и последиците кон животната средина да бидат сведени на минимум.

Изградбата на посебни простори за депонирање флотациска јаловина е посебен проблем во рудниците и треба да се решава од техничко-економски аспект, земајќи ја предвид и заштитата на животната средина. Значи, изборот на локација за флотациско јаловиште е комплексен проблем, чие решение претставува компромис од голем број спротивставени услови (технолошки, геотехнички, урбанистички, економски, еколошки и др.).

Кога нема услови за депонирање на флотациската јаловина во откопни простори, подобни подрачја за формирање флотациски хидројаловишта се долините (ридски тип на флотациско хидројаловиште), со оглед дека не се заробуваат земјишта со подобар бонитет, како што е случај кај рамничарските флотациски јаловишта. Во нашата земја сите флотациски хидројаловишта се од ридски тип, со главно таложно езеро.

Во техноекономската анализа ќе биде разгледан модел на флотациско хидројаловиште од ридски тип, со главно таложно езеро и со две помошни таложни езера (сл. 10).

Надолжниот наклон на теренот е 10 %, дното е дефинирано да биде со ширина од 100 m, а попречните косини се со наклон од 45 %. Браната на хидројаловиштето е со висина од 100 m. За вака дефинираниот модел, зафатнината на хидројаловиштето е прикажана во табела 1.



Слика 10. Модел на хидројаловиште

Табела 1. Зафатнина на модел на хидројаловиште

стацио-нажа	површина (m <sup>2</sup> )	средна површина (m <sup>2</sup> )	растојание меѓу профили (m)	зафатнина (m <sup>3</sup> )	вкупна зафатнина (m <sup>3</sup> )
0	0	550	100	55.000	55.000
100	1.100				
200	2.400	1.750	100	175.000	230.000
300	3.900	3.150	100	315.000	545.000
400	5.600	4.750	100	475.000	1.020.000
500	7.500	6.550	100	655.000	1.675.000
600	9.600	8.550	100	855.000	2.530.000
700	11.900	10.750	100	1.075.000	3.605.000
800	14.400	13.150	100	1.315.000	4.920.000
900	17.100	15.750	100	1.575.000	6.495.000
1.000	20.000	18.550	100	1.855.000	8.350.000
1.420	0	10.000	420	4.200.000	12.550.000

Моделот за флотациско хидројаловиште е со капацитет од 12.550.000 m<sup>3</sup>, односно капацитетот за флотациска јаловина од олово-цинкова руда би бил околу 20.000.000 t (за специфична тежина од 1,6 t/m<sup>3</sup>).

За моделот на флотациско хидројаловиште е направена пресметка за тоа колку би чинеле современите материјали што ќе се вградат во подготвителна

фаза, во период при експлоатација и во постексплоатациониот период, а добиените податоци се прикажани во табела 2. Цените во пресметката се важечки цени за период од јуни 2012 година.

Табела 2. Пресметка за современи материјали за модел на хидројаловиште

Ред. бр.	Вид материјал	Ед. мера	Количина	Ед. цена (€)	Вкупно (€)
1	Геофизички испитувања	m <sup>2</sup>	240.000	0,5	<b>120.000,0</b>
2	Геоцевки за колектор, 400 mm	m	1.450	110,0	<b>159.500,0</b>
3	Геотекстил за тло, 300 gr/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	180.000	1,2	<b>216.000,0</b>
4	Рапава геомембрана за тло, 2 mm	m <sup>2</sup>	180.000	6,3	<b>1.134.000,0</b>
5	Дренажен геокмпозит за тло	m <sup>2</sup>	180.000	6,0	<b>1.080.000,0</b>
6	Геотекстил за коси раседни зони	m <sup>2</sup>	20.000	1,2	<b>24.000,0</b>
7	Рапава геомембрана за коси раседни зони, 2 mm	m <sup>2</sup>	20.000	6,0	<b>120.000,0</b>
8	Дренажни геоцевки, 250 mm	m	150	110,0	<b>16.500,0</b>
9	Габионски сид - габиони со кршен камен	m <sup>3</sup>	1.650	50,0	<b>82.500,0</b>
10	Геотекстил за прво помошно езеро, 300 gr/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	26.000	1,2	<b>31.200,0</b>
11	Рапава геомембрана за прво помошно езеро, 2 mm	m <sup>2</sup>	26.000	6,3	<b>163.800,0</b>
12	Геотуби за прво помошно езеро	m <sup>2</sup>	11.220	7,0	<b>78.540,0</b>
13	Геотекстил за второ помошно езеро, 300 gr/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	20.000	1,2	<b>24.000,0</b>
14	Рапава геомембрана за второ помошно езеро, 2 mm	m <sup>2</sup>	20.000	6,3	<b>126.000,0</b>
15	Геотуби за второ помошно езеро	m <sup>2</sup>	7.480	7,0	<b>52.360,0</b>
16	Дренажни геоцевки за помошни езера, 250 mm	m	300	110,0	<b>33.000,0</b>
17	Високојакосен геотекстил врз јаловина - рамен дел	m <sup>2</sup>	210.000	2,5	<b>525.000,0</b>
18	Геомембрана за врз јаловина - рамен дел, 1 mm	m <sup>2</sup>	210.000	4,5	<b>945.000,0</b>
19	Дренажен геокмпозит за врз јаловина - рамен дел	m <sup>2</sup>	210.000	6,0	<b>1.260.000,0</b>
20	Геомрежа за врз јаловина - рамен дел	m <sup>2</sup>	210.000	2,5	<b>525.000,0</b>
21	Високојакосен геотекстил врз јаловина - косина	m <sup>2</sup>	87.000	2,5	<b>217.500,0</b>
22	Геомембрана врз јаловина - косина, 1 mm	m <sup>2</sup>	87.000	4,5	<b>391.500,0</b>
23	Дренажен геокмпозит за врз јаловина - косина	m <sup>2</sup>	87.000	6,0	<b>522.000,0</b>
24	Геомрежа за врз јаловина - косина	m <sup>2</sup>	87.000	2,5	<b>217.500,0</b>
25	Биомас S/C за поефикасна рекултивација	m <sup>2</sup>	87.000	2,0	<b>174.000,0</b>
<b>ВКУПНО</b>					<b>8.238.900,0</b>

Од извршената пресметка се гледа дека трошокот за современи материјали за изградба на флотациско хидројаловиште е околу 0,4 €/t флотациска јаловина,

односно тоа и не е некоја голема сума за хидројаловиште што ќе биде во експлоатација повеќе од 20 години, а треба да ги имаме предвид и придобивките за животната средина од современо уредено флотациско хидројаловиште.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Со примена на современи материјали за формирање изолирана геосредина кај хидројаловишта, со рецикулација на водата или со вршење повеќестепено прочистување на отпадните води преку помошни таложни езера, со ефикасна рекултивација на хидројаловиштата, несомнено степенот на заштита на животната средина би бил многу висок, а со тоа придобивките за околината би биле големи. Пред сè, околното население нема да пие загадена вода, нема да вдишува загаден воздух, нема да внесува контаминирана храна, едноставно кажано, ќе има квалитетни амбиентални животни услови. Со успешна рекултивација на хидројаловишта се постигнуваат значајни придобивки за околниот терен, со тоа што се озеленува и пошумува околината и во иднина би имале придобивки и сточарството, шумарството и сл.

Со оглед дека сите наши хидројаловишта во минатото имале несакани хаварии, преку контаминација на земјишта, контаминација на вода и загадување на воздухот, примената на современи материјали на постојните и на идните хидројаловишта во Република Македонија ќе придонесе за поголемо одржливо управување со флотациската јаловина и заштита на животната средина.

## Литература

- [1] Љ. Костадинов: „Инженерство со современи материјали за заштита на животната средина од флотациските јаловишта“, магистерски труд, Факултет за природни и технички науки - Штип, 2012, стр.63-78, стр. 98-104, стр. 107-110, стр. 130-133
- [2] HUESKER, 2005, Engineering with Geosynthetics
- [3] КАТАЛОГ НА ПРОИЗВОДИ Геосинтетици, 2006, Polyfelt Geosynthetics
- [4] Landfill Engineering, 2002, Germany





## **ДРЕНАЖНИ СИСТЕМИ КАЈ ХИДРОЈАЛОВИШТА – ТЕОРИСКИ ОСНОВИ И ИСКУСТВО**

В. Витанов<sup>(1)</sup>, Ј. Бр. Папиќ<sup>(2)</sup>, Ж. Гоцев<sup>(3)</sup>, Ст. Глигоров<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Проф. д-р, дипл. град. инж., Градежен факултет – Скопје, бул. Партизански одреди бр. 24, 1000 Скопје, Р. Македонија; vitanov@gf.ukim.edu.mk

<sup>(2)</sup>Ас. м-р, дипл. град. инж., Градежен факултет – Скопје, бул. Партизански одреди бр. 24, 1000 Скопје, Р. Македонија; papic@gf.ukim.edu.mk

<sup>(3)</sup>Дипл. руд. инж., ДПТУ „Бучим“ - Радовиш; z.gocev@yahoo.com

<sup>(4)</sup>Дипл. руд. инж., Рудник „Саса“ ДООЕЛ – Македонска Каменица

### **Резиме**

Дренирањето е еден од најважните фактори што влијаат врз филтрацијата и врз стабилноста на хидројаловиштата заради што е неопходно да му се обрне особено внимание уште при прелиминарното проектирање. Во трудот се дава преглед на теориските основи и принципи за проектирање на дренажните системи кон кои треба да се придржува проектантот, изнесени се одредени општи правила што се од основно значење за функционирањето на дренажните системи, последиците од нивното непочитување, услови што треба да се исполнат, како и одредени сугестии за успешно работење и опстојување на хидројаловиштето. На крај се прикажани и искуства стекнати со нивно изведување и примена кај некои хидројаловишта во Р. Македонија.

### **Клучни зборови**

Дренирање, проектирање, правила, стабилност

## **DRAINAGE SYSTEMS AT TAILINGS DAMS – THEORETICAL BASICS AND EXPERIENCE**

### **Summary**

Drainage is one of the most important factors that influence seepage and stability of tailings dams. So it is necessary to give attention even in preliminary design phases. The following paper will give an overview of theoretical basics for designing drainage systems, will expose some of the general rules of primary importance for their functioning, consequences if not respected, conditions to be fulfilled, as well as some suggestions for successful exploitation and post-closure life of tailings dams, after what some experiences from their implementation at some tailing dams in R. Macedonia will be presented.

### **Keywords**

Drainage, design, rules, stability

## 1. ВОВЕД

Штетите што може да настанат доколку површината на струјната мрежа ја допре низводна косина на хомоген насип се огромни поради што уште во 1935 година се почнати интензивни и широкоопфатни истражувања за мерење порни притисоци и одредување на струјната мрежа [4]. Освен што биле откриени порни притисоци при изградба, истражувањето под раководство на Терцаги резултирало со дефинирање „правило“ за поставување дренажен тепих под ножицата, но и по целата должина на насипот заради ограничување на напредувањето на струјната мрежа кон низводна косина што доведува до ерозија и до лом. Притоа, основниот принцип е да се издренира порната вода пред да го достигне низводното потпорно тело. Иако наведеното се однесува на насипни брани од правлив материјал збиван со оптимална влажност, кај хидројаловишта е неопходно да се почитуваат и други потреби со оглед на тоа дека материјалот се нанесува хидраулички без механичко збивање.

Внатрешното дренирање е од витално значење за доверливоста и за сигурноста на хидројаловишта низ целиот нивен животен век, а воедно и за заштитата на животната средина. Иако дренажните системи кај различни видови хидројаловишта многу се разликуваат, дренирањето како главна компонента на проектирањето е најзначаен фактор при дефинирањето на стабилноста при статички и динамички оптоварувања, а и степенот на консолидација при изградбата и осетливоста на ликвидација речиси во целост зависат од него. Така, добро проектираната дренажа е моќен метод за обезбедување сигурна и економична изградба на хидројаловишта, па е неопходно соодветно лоцирање и димензионирање на дреновите, кои, воедно, треба да бидат заштитени со филтри на контактот меѓу зоните во кои материјалите имаат различни градиенти и пропустливости.

## 2. ОПШТО ЗА ДРЕНАЖНИТЕ СИСТЕМИ

Најголемиот дел од хидројаловиштата се изведени со таложее јаловина, а се делат според усвоениот начин на изведба за примена на јаловината при изградбата на песочната брана. Притоа, се разликуваат три главни техники: возводен, низводен и централен метод, но неретко се сретнуваат и мешани методи настанати со промена на техниката на изградба и експлоатацијата поради карактеристиките на јаловината, топографијата, геологијата, сеизмичноста итн. Во зависност од тоа, се менуваат и карактеристиките и принципите за проектирање на дренажните системи кај хидројаловишта. Инаку, целта на дренирањето е максимално ефикасно и трајно да се постигне:

### А) Ниска површина на струјната мрежа

Со одржувањето ниска површина на струјната мрежа се постигнуваат неколку посакувани ефекти: првата струјница не допира до низводната косина, односно доволно е оддалечена од неа; хидродинамичкиот порен притисок се намалува; голем дел од хидројаловиштето е заштитен од водозаситување, со што се намалува и опасноста од ликвидација при

динамички оптоварувања; над водозаситениот материјал се наоѓа незаситен материјал што обезбедува зголемена отпорност кон ликвидација и брзина на консолидација.

#### Б) Намалување на хидродинамичкиот притисок

Дренирањето го намалува хидродинамичкиот притисок со формирање струјна мрежа во која еквипотенцијалните линии тежнеат кон хоризонтала, со што притисокот е нула дури и при висока прва струјница.

#### В) Намалување на порниот притисок

Порниот притисок што се создава при деформирањето на хидројаловиштето при оптоварување од масата на натслоевите се намалува, а консолидацијата се забрзува. На таков начин, дренажата е проектирана да ја спушта струјната мрежа и да ја оформи со приближно хоризонтални еквипотенцијални линии.

#### Г) Контрола на филтрација и на суфозија

Дренажата безбедно треба да ја отстранува инфилтрираната вода низ телото на хидројаловиштето и на подлогата и да ја достави до резервоар или да ја испрли. Хидрауличкиот градиент во струјната мрежа мора да биде ограничен за да се оневозможи движење на честички јаловина, а нивното преминување во дренажите треба да биде спречено со примена на филтри.

Со примена на наведеното се подобрува стабилноста на насипот, може да се усвојат пострмни низводни косини (ако има потреба) и да се постигне соодветен коефициент на сигурност. Сепак, а како што е и вообичаено, за да се постигне најекономично решение за дренирање на едно хидројаловиште, треба да се споредат различни алтернативи во кои ќе бидат вклучени и филтрите.

Првиот чекор при проектирањето на дренажниот систем е внимателно проучување на филтрацијата со посветување особено внимание на нехомогеноста, анизотропноста, граничните услови и неправилната форма на хидројаловиштето, при што е неопходно да се определи целата струјна мрежа бидејќи дренирањето значително ја деформира. Таа најпрецизно и едноставно се дефинира преку електрична аналогност или со примена на МКЕ, и овозможува едноставно да се определат сите хидраулички параметри: правец на струење, ниво, хидродинамички притисок, хидраулички градиент, брзина на струење и количество филтрација. Порниот притисок заради деформирање на хидројаловиштето и влијанието на дренирањето врз него може да се определат преку теоријата на консолидација, но посебностите на консолидацијата, заради фазна изградба, почетна водозаситеност, ниска почетна збиеност, големи деформации и нелинеарност на механички својства, нехомогеност и анизотропност, може да се земат предвид, единствено, со примена на МКЕ.

### 3. ДРЕНИРАЊЕ РАЗЛИЧНИ ВИДОВИ ХИДРОЈАЛОВИШТА

Процентот на фини честички во јаловината и, особено, содржината на глина и условите на локацијата бараат различни конструкции и методи на изградба

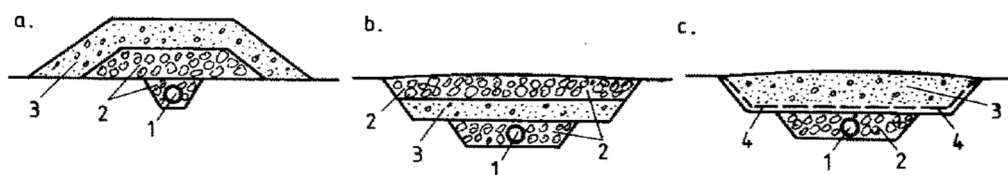
на хидројаловиште. Нивното дренирање во голема мера зависи од методот на изградба, па во продолжение ќе бидат дадени соодветни одлики за дел од нив, т.е. за оние според кои се изведени некои од хидројаловиштата во Р. Македонија.

### 3.1 ХИДРОЈАЛОВИШТА СО НИЗВОДНА ТЕХНИКА НА ГРАДЕЊЕ

Овие хидројаловишта, слично на камено-насипните брани со возводна мембрана/екран, се мошне сигурни и не се ограничени со висина, дури ни во средини со висока сеизмичка активност. Песокот се добива со операција на циклонирање и со таложее над браната. Со оглед дека материјалот може да се дренира слободно или е со висока пропустливост, минимални се барањата за дренирање што треба да ги исполни подлогата, и може да се состојат само од дренажен слој од почетната брана до низводната ножица или од систем од дренажи вкопани во ровови во подлогата. Слегањето може да се намали преку збивање на песокот во слоеви, што може да побара нови дренажи по висина на хидројаловиште. Но, доколку не се применува збивање, тогаш треба да се очекуваат поголеми слегања поради што треба да се биде внимателен при проектирањето на евентуалните дренажи по висина за да не се наруши нивната функција.

Посебни побарувања од дренажни мерки, особено над природниот терен, се зависни од гранулометрискиот состав и пропустливоста на циклонираниот песок. Досегашната практика го покажала како особено успешно и позитивно дренирањето на целосната површина на основата на циклонираниот песок, кога може да има потреба на цевчести одводи под дренажниот слој, поставени во плитки ровови на површината на основата.

Доколку површината на основата е нерамна (ридеста), наместо континуиран дренажен слој, треба да се предвиди мрежа од дренажи распоредени по целата површина кои е потребно, заради заштита од измивање или оштетување од градежна механизација, да се вкопаат во ровови и засипаат со чакал.



Слика 2. Двослојни дренажи на цврста подлога (примена и во услови на нерамна површина): 1. Перфорирана цевка; 2. Чакал; 3. 1:1 мешавина песок-чакал; 4. Геотекстил

### 3.2 ХИДРОЈАЛОВИШТА СО КОМБИНИРАНА (МЕШАНА) ТЕХНИКА НА ГРАДЕЊЕ

Во случај да дојде до промена на условите во текот на изградбата на хидројаловиштето, тогаш може да се јави потреба од промена на методот, односно на техниката на градење. Во зависност од гранулометрискиот состав

на јаловината и др., може да биде можно и економично циклонирањето да се прекине на одредено ниво и да се продолжи со одлагање како при возводен начин на градење, со што се добива хидројаловиште од комбинирана конструкција. Притоа, дренажните мерки и нивното проектирање треба да ги земат предвид сите планирани нивоа и усвоени методи за изградба.

### 3.3 ХИДРОЈАЛОВИШТА ИЗВЕДЕНИ НА ПРОПУСТЛИВА ОСНОВА СО ОГРАНИЧЕНА ДЕБЕЛИНА

Ваков слој може да биде поволен за дренирањето и стабилноста на хидројаловиштето, но истовремено ќе ја зголеми и филтрацијата. Во такви случаи, имајќи предвид дека исфилтрираната вода е загадена, ќе биде потребно подземниот проток да се прекине и зафати, со што ќе се зголеми порниот притисок и ќе се намали стабилноста. За избор на оптималното, потребно е да се разгледаат различни решенија.

Кај хидројаловиште со возводна техника на градење, вообичаено се проектира непропусна иницијална брана, со филтерски слој под неговата основа за да се оневозможи суфозија на материјалот од оваа брана, а на нејзината возводна косина може да се предвиди дренажа. Од овие елементи зависат и дел од активностите за одлагање на јаловината, кои треба да се реализираат на начин што хидрауличките градиенти ќе се намалат што е можно повеќе по почетокот на работата, што најчесто се обезбедува со формирање голема плажа на најниско можно ниво.

Иницијалната брана кај хидројаловиштето со низводна техника на градење е непропусна, комбинирани со завеси (бариери) во пропусниот слој кои досегаат до непропусниот слој. Исфилтрираната вода се собира во ножицата од хидројаловиштето.

## 4. ФИЛТРИ

Како што е познато, нивната основна функција е да ги задржат честичките од дренираниот финоградуиран материјал пропуштајќи ја водата кон крупнозрната дренажна зона. При проектирањето на филтрите треба да се земат предвид карактеристиките на дренираниот (и заштитен од ерозија) материјал, количеството филтриран тек и расположивите техники за изградба. Но, како последица од специфичностите на хидројаловиштето, се јавуваат и одредени посебности при проектирањето на филтрите. Имено, градацијата на таложената јаловина се менува поради слоевитоста, која е последица на постојаните промени на условите на филтрација при таложењето, а воедно тој материјал е некохерентен и растресит, што го прави подложен на ерозија во случај на наплив на филтрациона вода.

Филтрите може да бидат од зрнест (природен или дробен) или од вештачки материјал (геотекстил), а и во двата случаја е неопходно рационално проектирање и димензионирање. Со оглед дека и самиот филтер треба да се

заштити од навлегување во дренажната зона, понекогаш ќе биде потребно да се проектираат два или повеќе слоја, чија порозност и големина на зрна треба да расте во правец на одвивањето на текот. Освен овие општи правила, односот јаловина-филтер треба да ги исполни и следниве (но не и само нив) емпириски критериуми за:

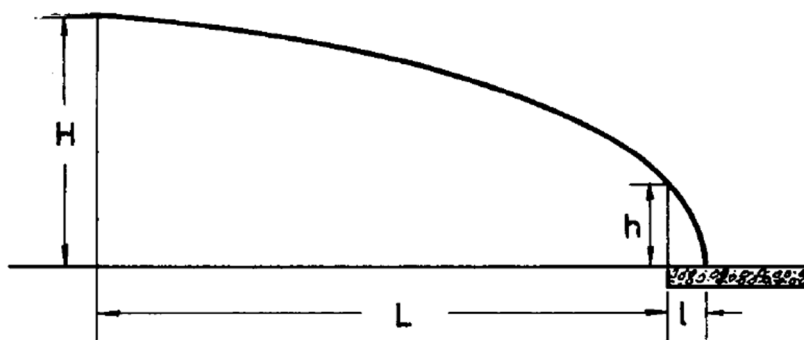
- а) суфозија:  $D_{15} < 5d_{85}$ ;  $D_{50} < 25d_{50}$ ;  $D_{15} < 20d_{15}$ ;
- б) пропустливост:  $D_{15} > 4-5d_{15}$  ;
- в) внатрешна стабилност:  $D_{55}/D_{50}$ ,  $D_{50}/D_{35}$ ,  $D_{35}/D_{15} < 5$ ;  $C_u < 10$ ;  $D_5 > 0.074 \text{ mm}$ ;
- г) сегрегација: освен претходното, влажност = 5 % и  $C_u < 20$ ;
- д) незачепување:  $C_u > 5$ ;
- ѓ) дебелина:  $t_{\min} > 330D_5$  ;
- е) густина и збиеност: релативна збиеност > 70 %;
- ж) механичка, хемиска и биолошка стабилност;
- з) некохерентност.

Геотекстилите, пак, имаат предност што се со мала дебелина, делумно растегливи, што ги прави погодни заради деформабилноста на хидројаловиштето, хомогени се итн., а се произведуваат како неткаени и ткаени. Ткаените се тенки и може да имаат различна порозност, но оние со мала, иако имаат подобри квалитети, не се препорачуваат за примена кај хидројаловишта. Неткаените геотекстили дупчени со игла и дебелина 2-6 mm ги менуваат дебелината и големината на порите при притисок, што не се случува кај крутите топлински споени геотекстили. Притоа, препорачливо е термички обработената страна да биде свртена кон дотекот на вода, па евентуално влезените честички би можеле и да го напуштат незапушувјќи го. Но, овие геотекстили се воедно и крути, што ја прави нивната примена ограничена во делови од хидројаловиштето каде што се очекуваат поголеми деформации. Филтрациониот капацитет, инаку, се дефинира со големина на типичен отвор  $O_{90}$ , кој треба да биде помал од  $0.6d_{50}$ .

Имајќи го предвид ова, може да се заклучи дека филтерскиот критериум за геотекстили е приближен и служи како ориентационен при нивен избор. За да се спречи постојаната опасност што демнее над нив – запушување - директно нанесување јаловина над геотекстилот треба да се избегне сосема, што бара претходно да се постави над нив слој од чакал или од крупна јаловина. Исто така, за нивното рационално проектирање сè уште се собираат и анализираат резултати од досегашната примена бидејќи механичките, хемиските и биолошките долготрајни стабилности не се целосно познати, особено што се наоѓаат во зони каде што се нема увид врз нив, а притоа нивната функција е од критично значење за стабилноста. Поради тоа, сè додека не се акумулира доволно искуство во светски рамки со примена на геосинтетици, пожелно е тие да се применуваат на места каде што не се критични за долготрајна стабилност на хидројаловиштето или онаму каде што се лесно достапни за да се поправат или заменат.

## 5. ДРЕНАЖИ

Главната функција на дренажите е овозможување контролирано одведување на водата од телото на браната, што би ги снижило филтрационата линија, хидродинамичкиот и порниот притисок, а би ја забрзало консолидацијата поради што треба да се внимава при нивното позиционирање. Димензиите треба да се доволни за да влијаат врз вршењето на функцијата, а ширината приближно треба да изнесува  $l=0,5*[(L^2+H^2)^{0,5} -L]$ , каде што  $L$  и  $H$  се хоризонтално и вертикално растојание од езерото до дренажата.



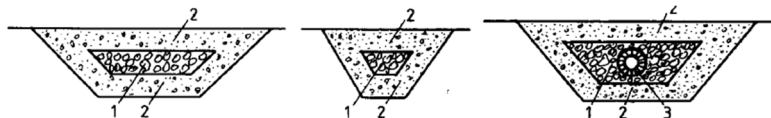
Слика 3. Елементи на филтрациона линија

Дебелината на дренажата треба да е поголема од 150 mm при рачна, односно 250 mm при машинска изведба, но ќе треба да се посвети особено внимание на дополнителните деформации од евентуални сеизмички дејства. Применетите материјали треба да имаат 200-1000 пати поголема пропустливост од материјалот што се дренира, а за тоа, можеби, е најсоодветен fino до крупнозрнест чакал. Стандардно, околу дренажниот материјал треба да се постави филтерски материјал, а за зголемување на дренажниот капацитет може да се постави перфорирана цевка, која треба да лежи на цврста подлога и да може да ги прими горните оптоварувања. Материјалот околу неа треба да биде со крупност која зависи од нејзините отвори. Заради очекуваните деформации, евентуалните цевки по висина на хидројаловиштето треба да бидат флексибилни, а и обложени со геотекстил. Доколку се користат цевки со голем дијаметар, тие треба да се поставуваат во прави делници, а на одредени растојанија, доколку е можно, да се предвидат шахти што ќе бидат достапни за повремени преглед и чистење.

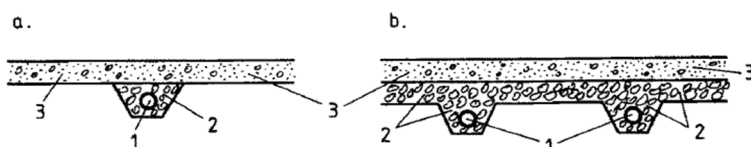
Дренажите во основата на хидројаловиштето треба да се вкопани за да се заштитат од измивање во првите фази на неговата изградба, а може да се покријат дополнително со дополнителни слоеви чакал и да се примени геотекстил. Дренажните теписи е пожелно да се изведуваат како двослојни, а лебдечките дренажи се изведуваат побрзо и полесно доколку, наместо песок, за филтер се примени геотекстил, кој треба да се заштити од запушување преку нанесување крупна јаловина. Воедно, за да не бидат измиени, лебдечките дренажи треба да бидат вкопани во плажата на хидројаловиштето. Аналогно на тоа, доколку со геотекстил се обвива чакал од дренажа изведена

во ров, горните дваесетина сантиметри треба да се остават непополнети со чакал, за да таму се нанесе крупна јаловина.

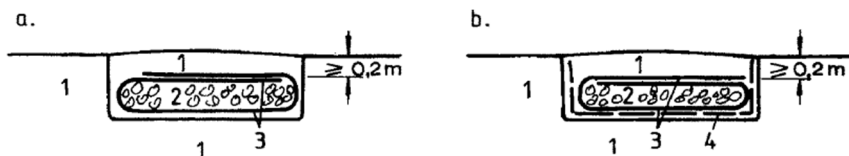
Со цел да се овозможи максимална ефикасност, дренажата и нејзиниот излез треба да обезбедат услови на отворен тек, дури и при најголема филтрација. Меѓу наведеното, тоа се постигнува и со збивање на песокот и на чакалот во филтерот.



Слика 3. Филтерски слоеви кај лебдечки дренажи: 1. Чакал; 2. 1:1 мешавина песок-чакал; 3. Перфорирана цевка



Слика 1. Дренажен килим: 1. Перфорирана цевка; 2. Чакал; 3. 1:1 мешавина песок-чакал



Слика 2. Лебдечки дренажни килими или излези на одводи: 1. Јаловина; 2. Чакал; 3. Геотекстил; 4. Геомембрана

Излезот од дренажата може да се изведе од истиот материјал како и дренажата доколку неговата основа е непропусна, а во спротивно – треба да се обложи со геомембрана, но најдобро е да се предвиди излезна шахта.

Со оглед дека за време на изградбата на едно хидројаловиште значително се менуваат условите на дренирање, ќе треба да се проучат различни етапи земајќи ги предвид поставеноста на езерото и висината на браната.

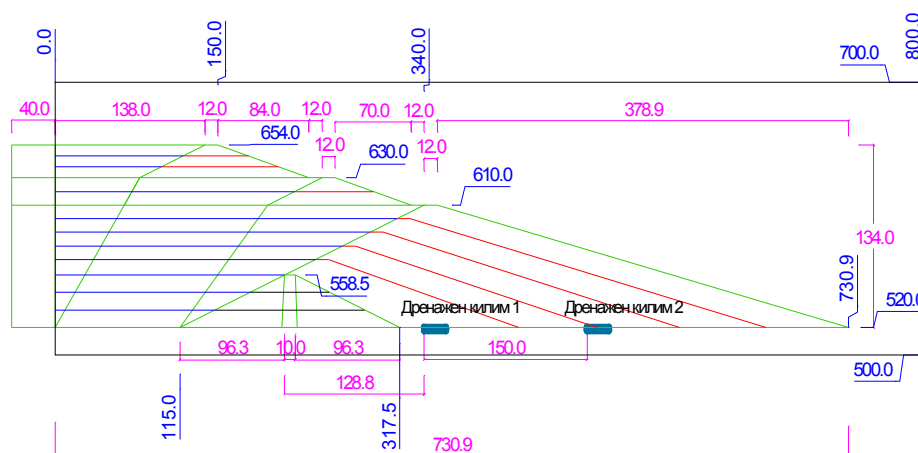
## 6. ПРИМЕРИ ОД Р. МАКЕДОНИЈА

Во Р. Македонија се реализирани неколку хидројаловишта, а во контекст на трудот накратко ќе бидат опишани проектираните и изведените решенија за дренирање на хидројаловиштето на рудниците „Бучим“ и „Саса“.

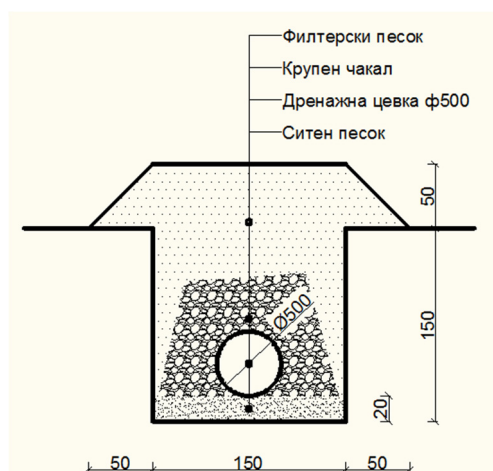
Како што е вообичаено, и кај хидројаловиштето „Тополница“ на рудникот за бакар „Бучим“ е предвидено филтерската заштита да го обезбеди телото од јаловиштето од внатрешна ерозија во низводните зони при висока депресиона линија и од нејзино излегување на косината, кога може да се предизвика ерозија. Во согласност со проектот, филтерската заштита е предвидено да се изведе двослојно, при што првиот слој обезбедува постепен преод од материјал со помала водопропустливост (ситнозрни, песочни и



прашинеи фракции) кон материјал со поголема водопропустливост, а филтерот 2, како дренажен, има задача да ја снижи депресионата линија до основата и да ја зафати исцедената вода. Филтерот 1 е со дебелина 1,50 m и, меѓу останатото, каде што условите се зависни од гранулометрискиот состав на флотацискиот песок, димензиониран е да ги исполни следниве услови:  $d_5 < 0,074 \text{ mm}$ ,  $Cu = 5-7$ . Гранулометрискиот состав на филтерот 2 е зависен од тој на филтер 1 (како, на пр., преку:  $d_{50}^{\phi 2} = 5-10 d_{50}^{\phi 1}$ ,  $Cu = 3-4$ ,  $d_{50}^{\phi 2} = 5-10 * 0,35$  и сл.), а, исто така, е со дебелина од 1 m. Под филтерот се наоѓа дренажен канал, кој во централниот дел на јаловиштето е со ширина 2,50 m, а во страничните – 2 m. Дел од дренажниот систем е и дренажен тепих со ширина 15 m. Од споменатиот дренажен канал, низводно се издвојуваат 5 канали кои се вкопани во почвата, а се со ширина 1-1,5 m, во чии рамки се движи и нивната висина, кои потоа се влеваат во собирен канал. Во дното на каналот е поставен песочен материјал како филтер 1 и дебелина 20 cm, преку кој е цевка со  $d = 300 \text{ mm}$ , односно 500 mm во собирниот канал. Цевките издржуваат притисок од 1000 kPa, а перфорирани се во горната половина со отвори 8-10 mm, кои се помали од  $2,5d_{50}^{\phi}$ , односно  $0,5d_{85}^{\phi}$ , при што непосредно околу цевката е вграден материјал со дијаметар 12-16 mm.



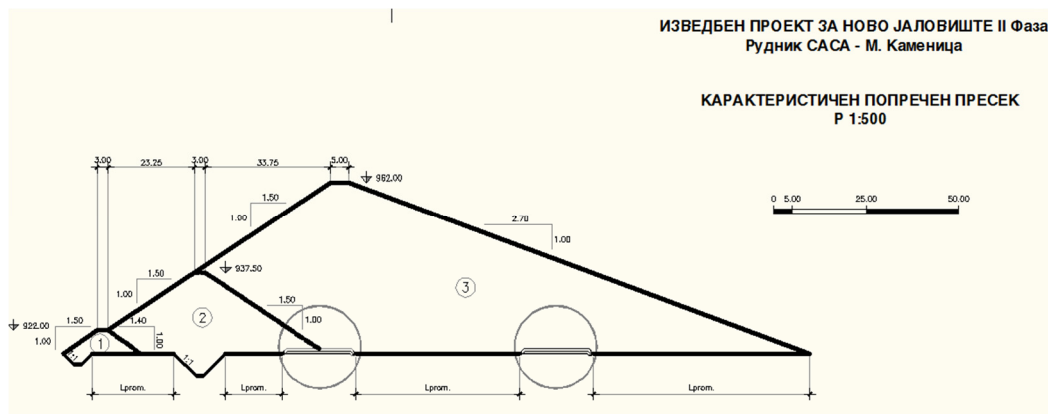
Слика 6. Попречен пресек на хидројаловиште „Тополница“



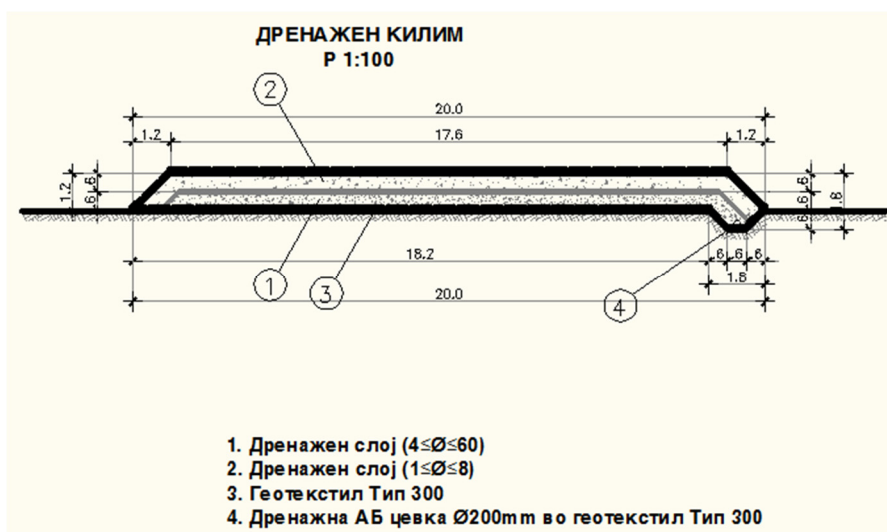
Слика 7. Детал од дренажа кај хидројаловиште „Тополница“

Иако наведениот опис се однесува на дренажен систем предвиден за висина на јаловиштето до 610 mпв, треба да се нагласи дека одамна се одвиваат активности за надвишување до кота 654 mпв, со што може да се потврди дека вака проектираниот систем за дренирање мошне успешно ја врши функцијата и во сосема нови околности.

Заради зголемување на капацитетот на постојното јаловиште 3.2, во текот на 2006 и на 2007 година е изработен изведбен проект за ново јаловиште, втора фаза на хидројаловиштето на рудникот „Саса“, до кота 960 мнв. Како што може да се види на прикажаните изводи од проектот, по иницијалната и предбраната се предвидени два дренажни тепиха, чиј карактеристичен детаљ е даден веднаш подолу. Ова надвишување е веќе реализирано до кота 964 мнв, патем инсталирајќи и 19 пиезометри. Сепак, мерењата извршени во текот на 2011 година покажале дека во ниту еден од нив не е регистрирано ниво на подземна вода, што укажува дека, најверојатно, првиот дренажен килим има голема водопропустливост и ја апсорбира целата филтрирана вода.



Слика 8. Карактеристичен попречен пресек на новото хидројаловиште, фаза 2, „Саса“



Слика 9. Детаљ на дренажен килим

## 7. ЗАКЛУЧОК

Од сите фактори што влијаат врз стабилноста на едно хидројаловиште, контролата врз филтрацијата, можеби, е од најголемо значење и се обезбедува преку соодветно проектирање дренажи и филтри, и докажани методи на изградба, особено што дренирањето е едноставно, сигурно и економично за примена, како при проектирање, така и при изведба и експлоатација. Врз основа на изнесеното, може да се резимира следново:

- Дренажите треба да се проектираат и изведуваат со голема внимателност за да се спречи мешање или сегрегација на материјалите од дренажите и од филтрите, а внимание треба да се посвети и на првичното покривање со јаловина за да се оневозможи нивно зачепување.
- Покривањето треба да се одвива побрзо за да се заштити од врнежи, прашина, нечистотии, раст на вегетација и сл., но и од оштетување од механизација или фауна.
- Филтрацијата и исцедувањето на хидројаловиштето, а со тоа и однесувањето на дренажите и на филтрите, треба да се набљудуваат редовно за да би можело благовремено да се преземат мерки во случај на хаварија. Истото треба да се реализира континуирано во текот на експлоатација, како и по затворањето и прекинот на користењето.
- Нивото на струјната мрежа и количеството исфилтрирана вода треба да се мерат редовно, според проектот за набљудување.

Јасно е дека дренажните системи бараат и заслужуваат особено внимание, кое бара многу повеќе место за изложување на условите што треба да се почитуваат, и тоа како теориските содржани во бројна литература, така и стекнатите искуства од проектирањето на веќе изведените хидројаловишта кај нас и во светот. Со оглед дека животниот век на овие системи е од круцијално значење за стабилноста и за трајноста на едно хидројаловиште, а поради бројните негативни влијанија од опкружувањето, емпириските заклучоци посочуваат дека е потребно да се има одредена доза конзервативност при нивното проектирање.

Иако општото искуство од хидројаловишта во Р. Македонија е делумно негативно поради хавариите што настанале на сите четири хидројаловишта во минатото, во однос на дренажните системи тоа искуство е позитивно, што се докажува и со овие две хидројаловишта. Имено, иако и кај двете хидројаловишта нивото на водата во акумулациониот простор е многу високо, нивото на водата во пиезометрите е ниско, т.е. во функција, практично, се само првите дренажни теписи. Тоа значи дека вторите дренажни теписи ќе играат улога и на зголемена сигурност. За потврда на ова, неопходно е потребно континуирано следење на состојбата на нивото на водата во песочните брани, како при статички, така и после сеизмички или невообичаени (екстремни) услови, кои податоци ќе се применуваат и

анализираат при редовната изработка на елаборати од оскултацијата. Иако овој труд ја третира проблематиката само на дренирањето, имајќи предвид дека нивното (не)функционирање ја обезбедува (не)сигурноста на хидројаловиштата, може да се постави прашањето чија обврска ќе бидат севкупната оскултација и одржувањето, како и евентуалните интервенции по завршувањето на експлоатацијата на рудниците. За одговор на ова прашање треба да се активираат, и преземат обврски, соодветните институции и други чинители, а притоа да се разгледа и искуството од земјите во опкружувањето и пошироко, кои веќе имаат „затворени“ јаловишта, и тие обврски јасно да се регулираат законски.

## Литература

- [1] Abadjiev C.B.: „Seepage through mill tailings dams“, 12<sup>th</sup> Congress of ICOLD, Q.44-R.18, vol.1, Mexico, 1976, pp. 381-393
- [2] ICOLD: „Embankment dams – Granular Filter and Drains“, Bulletin 95, 1994, 256p.
- [3] ICOLD: „Tailings dams – design of drainage: review and recommendations“, Bulletin 97, 1994, 120p
- [4] Terzaghi K., Peck R.B.: „Soil Mechanics in Engineering Practice“, John Wiley, New York, 1948
- [5] Vick S.G.: „Planning, Design and Analysis of Tailings Dams“, John Wiley, New York, 1983, 369p.
- [6] Главен проект за јаловиште „Бучим“, Книга 1: Текст и пресметување, Градежен факултет – Скопје, 1979
- [7] Елаборат за оскултација на браната на флотациското јаловиште на рудникот „Саса“ – М. Каменица, Факултет за природни и технички науки - Штип, 2012
- [8] Изведбен проект за ново хидројаловиште, фаза 2, „Саса“, Градежен факултет – Скопје, 2006



## СПОРЕДБА НА ДИНАМИЧКИТЕ ОДГОВОРИ НА ХИДРОЈАЛОВИШТА СО ВОЗВОДЕН НАЧИН НА ГРАДБА

Ф. Илиевска<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М-р, Геомап Дизајн, ул. Ѓуро Ѓаковиќ бр. 18/1-2В, 1000 Скопје, Р. Македонија;  
geomapdizajn@gmail.com

### Резиме

Еден од основните принципи при проектирање и експлоатација на хидројаловиштата е одржувањето на филтрационата линија на ниско ниво во близина на лицето на песочната брана, особено кај хидројаловиштата со возводен начин на градба. Во овој труд се презентирани резултатите од нумеричките анализи во однос на зоните на ликвифакција кај хидројаловиште моделирано со хипотетички возводен начин на градба и геомеханички и сеизмички параметри идентични со параметрите применети за хидројаловиштето „Саза“. Анализирани се две варијанти, во кои единствената разлика во влезните параметри е изведениот дренажен тепих под првото песочно тело и глиненото јадро во средината на последното песочно тело.

**Клучни зборови:** Возводен начин на градба, нумерички анализи, ликвифакција

## COMPARATION OF DYNAMIC RESPONSES OF TAILING DAMS WITH DOWNSTREAM METHOD OF CONSTRUCTION

### Summary

One of the basic principles at designing and service of tailing dams is preserving of the seepage line at low level in near by of the sand dam face, especially in case of tailing dams with downstream method of construction. In this paper are presented results of the numerical analysis regarding the liquefaction zones at tailing dam modelled by hypothetic downstream method of construction and geomechanic and seismic parameters identical with the parameters applied for tailing dam “Sasa”. Two alternatives are analyzed by only difference in the input parameters – constructed drainage blanket under the first sand body and clay core in the middle of the last sand body.

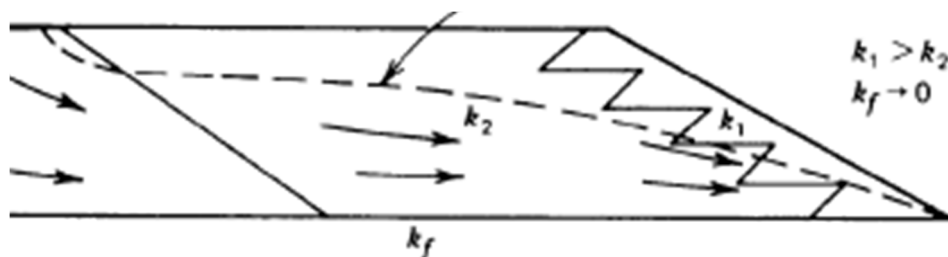
**Key words:** Downstream method of construction, numerical analysis, liquefaction

## 1. ДОСЕГАШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Возводниот начин на градба е најекономичен, но најнесигурен во однос на стабилноста, односно најголем број хаварии се регистрирани кај хидројаловишта со возводен начин на градба, при што круната на насипот се поместува возводно со секое надвишување. Американската комисија за големи брани (USCOLD) ги анализира хавариите кај хидројаловиштата во зависност од методот на градба и утврдила дека најнестабилен метод на градба е возводниот начин на градба, односно хавариите кај таквите хидројаловишта се должат на високи надвишувања, недоволна носивост на тлото, нестабилност на низводната косина во услови на земјотрес и зголемен потенцијал на ликвидација при дејство на земјотрес.

Процентуално изразено според истражувањата на Американската комисија за големи брани, бројот на хаварии кај хидројаловишта со низводен начин на градба изнесува околу 15% од бројот на хаварии регистрирани кај хидројаловишта со возводен начин на градба, додека бројот на хаварии кај хидројаловишта со централен начин на градба се движи околу 4% споредбено со бројот на хаварии регистрирани кај хидројаловишта со возводен начин на градба, во последната декада од XX век.

Основен принцип при проектирањето и експлоатацијата на хидројаловишна брана со возводен начин на градба е да се обезбеди одржување на константната филтрациона линија, која е ниво на водозаситеност на песок и милта, како почвени материјали од кои е изградено хидројаловиштето. Според Канмет (Canmet, 1977), примарен метод за одржување ниско ниво на филтрационата линија во близина на лицето на насипот е зголемување на релативната водопропустливост во правец на течењето. Наведеново се постигнува со изградба на песочни насипи со јадро со ниска водопропустливост или со примена на дренажни слоеви во низводниот дел од насипот. Воедно, коефициентот на водопропустливост во таложното езеро  $k_2$  треба да биде помал од коефициентот на водопропустливост на песочниот насип  $k_1$ .



Слика4. Шематски приказ на филтрациска линија кај хидројаловиште

## 2. МОДЕЛИРАЊЕ ХИДРОЈАЛОВИШТЕ СО ВОЗВОДЕН НАЧИН НА ГРАДБА

За да се проценат сеизмичката отпорност на хидројаловиште со возводен начин на градба и влијанието на промената на филтрациската линија, за иста

геометрија и влезни геомеханички и сеизмички параметри, изведен е нумерички експеримент со примена на софтверскиот пакет „Геостудио“ (GeoStudio), составен од повеќе последователни анализи.

## 2.1 ИЗБОР НА ГЕОМЕХАНИЧКИ И НА СЕИЗМИЧКИ ПАРАМЕТРИ

Основните геомеханички параметри за почвените материјали од кои се состои јаловиштето се преземени од претходни анализи и табеларно се прикажани во продолжение. Тие се влезни параметри при анализа на иницијалната состојба на браната:

Табела 1. Основни геомеханички параметри

рб		1	2	3
Материјал		Чакал	Песок	муљ
Елемент		Основа	Брана	Езеро
$\gamma_{\text{spec}}$	kN/m <sup>3</sup>	<b>26.5</b>	<b>32.0</b>	<b>31.0</b>
$\gamma_{\text{dry}}$	kN/m <sup>3</sup>	<b>19.0</b>	<b>18.0</b>	<b>15.0</b>
N		0.283	0.438	0.516
E		0.395	0.778	1.067
$\omega_{\text{sat}}$	%	14.6	23.8	33.8
$\Omega < \omega_{\text{sat}}$	%	<b>8.0</b>	<b>10.0</b>	<b>15.0</b>
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	21.8	22.3	20.1
$\Gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20.5	19.8	17.3
$\gamma_{\text{subm}}$	kN/m <sup>3</sup>	12.0	12.5	10.3
$\Phi$	o	<b>37.0</b>	<b>32.0</b>	<b>15.0</b>
C	kN/m <sup>2</sup>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>5.0</b>
$K_s$	m/s	<b>2.0E-04</b>	<b>2.0E-05</b>	<b>2.0E-07</b>
$K_d$	m/d	17,28	1.728	1.7E-02
$K_0(\varphi) =$		0.40	0.47	0.74
$N(K_0) =$		0.28	0.32	0.43
$M_v$ compress	kN/m <sup>2</sup>	<b>37,000</b>	<b>30,000</b>	<b>22,000</b>
$m_v$		2.703E-05	3.333E-05	4.545E-05
E elastic	kN/m <sup>2</sup>	28,609	20,981	8,118
D deform	kN/m <sup>2</sup>	22,155	19,402	18,204

Акцелограмите на хоризонталната и на вертикалната компонента на забрзувањата за земјотресот MCE\_Z2m се вчитани во софтверот и се смета дека дејствуваат симултано. Земјотресот MCE\_Z2m е синтетички земјотрес со врвно хоризонтално забрзување во основата  $PGA_x=0.35g$ , врвно вертикално забрзување во основата  $PGA_y=0.23g$  и времетраење од  $t=25s$ . Акцелограмот за синтетичкиот катастрофален земјотрес е преземен од „Основниот проект за хидројаловиштето на рудникот Саса за II фаза до кота 960 мнв – студија за остварениот квалитет на сеизмичка заштита на објектот“, изработен од Градежен факултет – Скопје, 2006 година.

## 2.2 ИЗБОР НА ЕЛАСТИЧНИ ДИНАМИЧКИ ПАРАМЕТРИ И НА ДРУГИ ЗАВИСНОСТИ

При цикличните товари од сеизмичка побуда, напонско-деформабилниот одговор на почвата е карактеризиран како хистерезиска крива. Како најчесто користен модел за да се прикаже хистерезисното однесување на почвата се смета еквивалентно линеарниот модел ЕЛ, воведен од Ајдрис и Сид во 1970 година. Еквивалентно-линеарниот модел го прикажува нелинеарното хистерезиско однесување на почвата, користејќи еквивалентен модул на смолкнување  $G$ , еднаков на наклонот на линијата што ги поврзува врвовите на хистерезиската крива, како и коефициентот на придрушување  $\lambda$ . Максималниот тангенцијален модул  $G_{max}$  е иницијалниот тангентен модул на хистерезиската крива. Врз основа на истражувањата прикажани во осмото поглавје, проценетите вредности на еластичните динамички параметри на материјалите од кои е изградено хидројаловиштето „Саса“ се користени при понатамошните нумерички анализи.

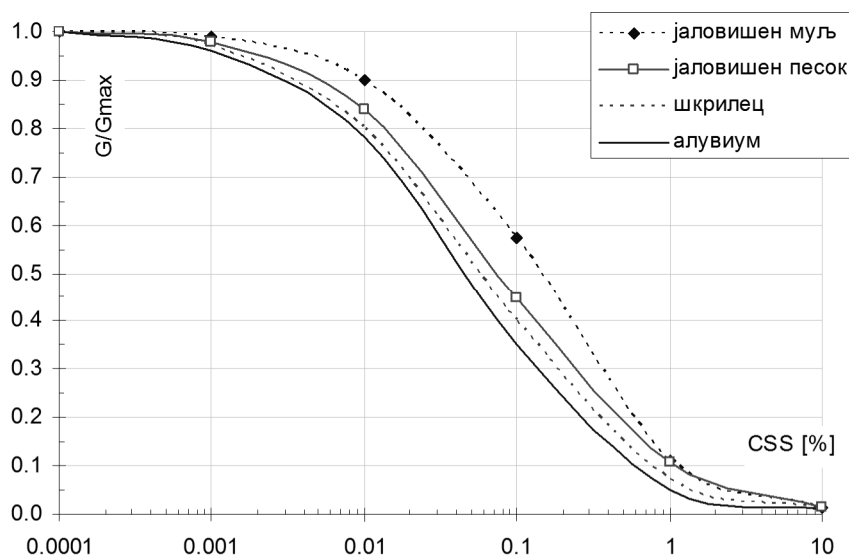
Табела 2. Еластични динамички параметри на почвените материјали

		1	2	3
		Чакал	Песок	муљ
$\sigma_m'$	kPa	470	260	180
$(K_2)_{max}$		50	30	23.7
$G_{max}$	kPa	238,474	106,421	70,000
$\nu$		0.28	0.32	0.43
$E_{dyn}$	kPa	610,494	280,953	200,200
$V_s$	m/s	337.8	229.6	199.2

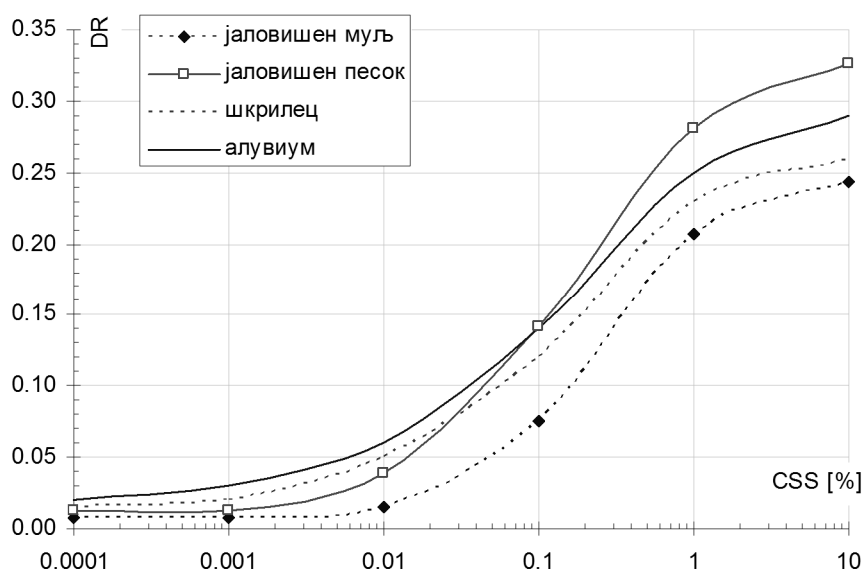
За да ликвидирацијата на песокот при динамичко дејство на катастрофален земјотрес се анализира софтверски, дефинирани се следниве зависности:

- Редукција на модулот на смолкнување  $G/G_{max}$  во зависност од цикличните дилатации на смолкнување, CSS – Cyclic Shear Strain за сите почвени материјали од кои е изградено хидројаловиштето.



Слика 2. Зависности меѓу  $G/G_{max}$  и  $CSS$ 

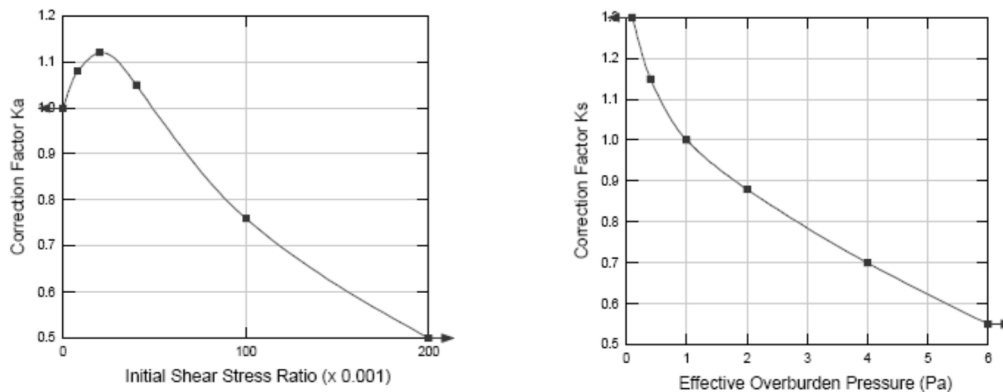
- Коэффициент на придрушување  $DR$  во зависност од цикличните дилатации на смолкнување  $CSS$  – Cyclic Shear Strain.

Слика3. Зависности меѓу  $DR$  и  $CSS$ 

- Врз основа на лабораториски истражувања, Сид утврдил дека иницијалните тангенцијални напрегања и високиот ефективен бочен притисок имаат свое влијание врз појавата на ликвифакција и затоа во 1990 година вовел корекциони фактори.

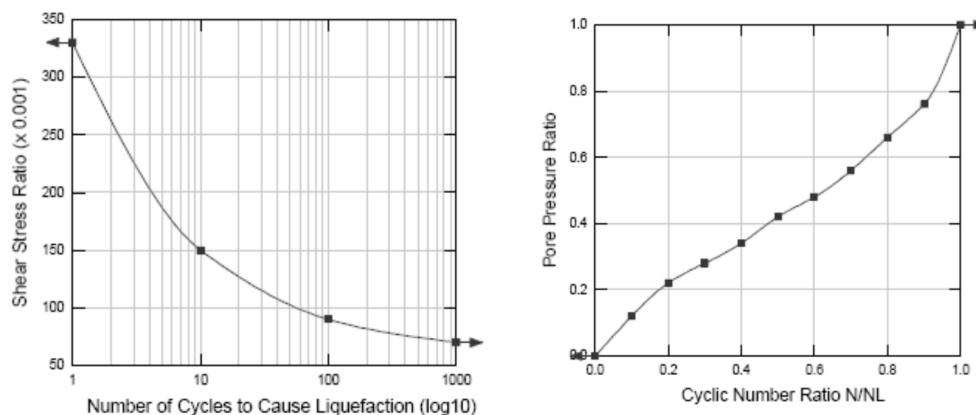
$K_{\alpha}$  е фактор за корекција на иницијалните тангенцијални напрегања во зависност од коефициентот на иницијално тангенцијално напрегање  $\alpha = \tau_{static}/\sigma_v'$ , кој претставува однос меѓу тангенцијалните и нормалните напрегања при иницијална состојба.  $K_{\sigma}$  е фактор за корекција за иницијална

ефективна преоптовареност, која е определена од страна на Маркусон во 1990 година за различни брани од песоци и од чакали и е проценета средна крива за песоци.



Слика 4. Крива на корекционен фактор  $K_a$  и крива на корекционен фактор  $K_s$

- Крива на бројот на циклуси што предизвикуваат ликвифакција  $N_I$  во функција од коефициентот на циклични напрегања  $CSR = \tau_v / \sigma'_v$ .
- Крива на коефициентот на порниот притисок  $ru$  во зависност од  $N/N_I$  (број на приложени циклуси при циклично оптоварување во однос на бројот циклуси што предизвикуваат ликвифакција).



Слика 5. Криви на  $N_I = N_I(CSR)$  и  $ru = ru(N/N_I)$  за нумерички анализи

### 2.3 ХИПОТЕТИЧКА ГЕОМЕТРИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ И РАЗЛИКИ МЕЃУ ДВЕ ВАРИЈАНТИ

Највисоката кота на изграденост на песочната брана е 962 мнв и генералниот низводен наклон на косината е 1:2.7, а моделирањето се состои од оформување 7 песочни брани, кои се градени етапно, како што е достигната котата на заполнетост на таложното езеро со јаловишна тиња. Првата песочна брана е изградена до кота 926 мнв, втората е до кота 934 мнв, третата е до кота 942 мнв, а останатите четири песочни брани се со височина

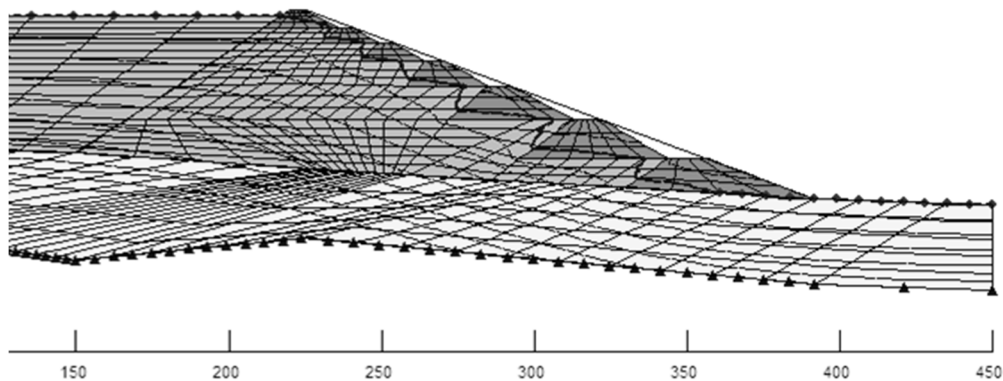
од по 5 м, односно последното песочно тело е изградено до 962 мнв. Секоја наредна песочна брана е темелена на јаловишна тиња која е одлагана без користење техники за збивање на материјалот.

Разликите меѓу двете варијанти се однесуваат на различно изградениот дренажен систем, односно:

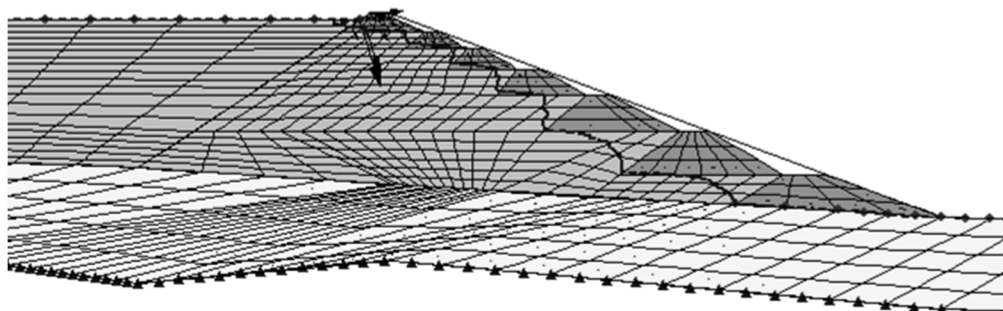
- кај првата варијанта, изграден е дренажен систем што се протега под првото песочно тело, кој не функционира во целост;
- кај втората варијанта, дренажниот систем се протега под целото прво песочно тело и воедно е изградено глинено јадро по средината на последното песочно тело.

Напречните пресеци се дискретизирани по метод на конечни елементи. Потоа, врз основа на граничните услови користејќи го модулот SEEP, автоматски е генерирана филтрационата линија за двете варијанти имајќи го предвид фактот дека коефициентот на филтрација на материјалот од кој се изградени песочните тела е околу 100 пати поголем од коефициентот на филтрација на исталожениот муљ и дека зададените коефициенти на водопропустливост не се константни, туку се зададени со хидраулични зависимости во зависност од притисокот што дејствува на почвените честички.

Опишаната геометрија на хидројаловишето со возводен начин на градба – прва варијанта - е графички прикажана



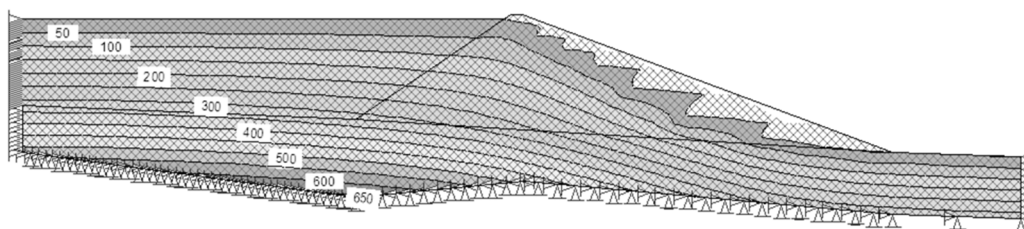
Слика 6. Геометрија и филтрациона линија кај хидројаловиште – прва варијанта



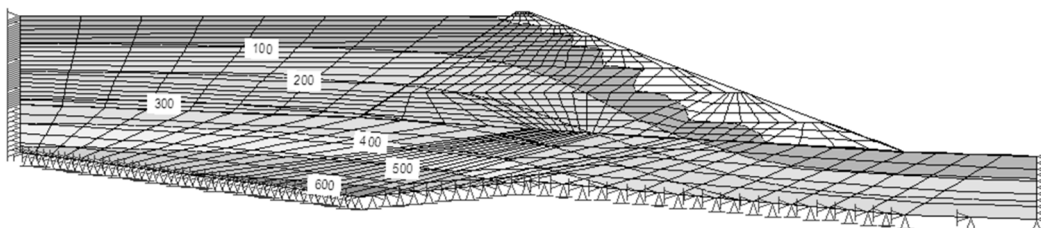
Слика 7. Геометрија и филтрациона линија кај хидројаловиште – втора варијанта

## 2.4 НАПОНСКО-ДЕФОРМАБИЛНА СОСТОЈБА ПРИ ИНИЦИЈАЛНА СОСТОЈБА

При иницијална состојба, карпестата основа под речниот нанос – чакал е третирана како непомерлива, а левата и десната граница на моделираниот пресек се третирали како непомерливи во правец X. Анализата на напонско-деформабилната состојба на двете варијанти на хидројаловиштето со возводен начин на градба е извршена со софтверскиот модул SEEP и QUAKE/W и во продолжение е прикажана распределбата на порните притисоци.

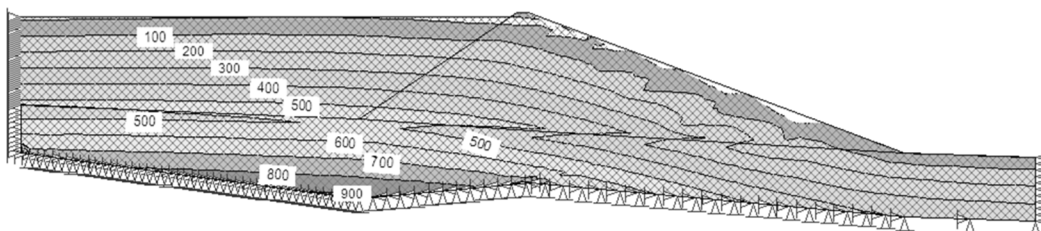


Слика 8. Дистрибуција на порни притисоци при иницијална состојба – прва варијанта



Слика 9. Дистрибуција на порни притисоци при иницијална состојба – втора варијанта

Од сите расположливи резултати од анализата на иницијалната состојба, одвоена е и дистрибуцијата на иницијалното минимално главно напрегање  $\sigma_3$ , што има особено значење при определувањето на потенцијалот на ликвифакција во услови на земјотрес.



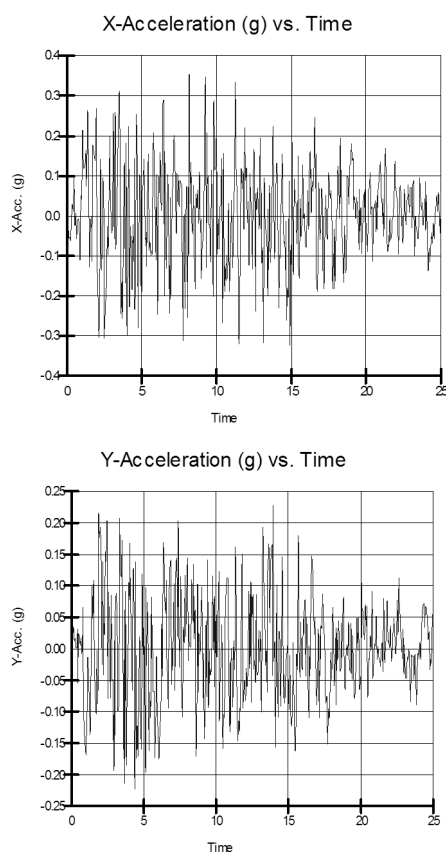
Слика 10. Дистрибуција на минимално главно напрегање  $\sigma_3$  при иницијална состојба – прва варијанта

## 2.5 ДИНАМИЧКИ ОДГОВОР НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ

За динамичка анализа на хипотетичка брана со возводен начин на градба во временски домен е користен софтверскиот модул QUAKE, каде што е

преземена иницијалната состојба на напрегања и деформации, од претходната анализа, како и геометријата на карактеристичниот напречен профил и генерираната мрежа на конечни елементи. За секој почвен материјал се внесени функции за редуција на модулот на смолкнување и коефициентот на придушување, во зависност од цикличните дилатации на смолкнување, а со усвоената еквивалентно-линеарна анализа сеизмичкото дејство е трансформирано во униформно циклично движење.

Земјотресот MCE\_Z2m е синтетички земјотрес со врвно хоризонтално забрзување во основата  $PGA_x=0.35g$ , врвно вертикално забрзување во основата  $PGA_y=0.23g$  и времетраење од  $t=25s$ . Динамичкиот одговор на браната е прикажан преку развојот на забрзувањата во низводната косина од круната на песочната брана со возведен начин на градба, при дејство на катастрофален земјотрес.

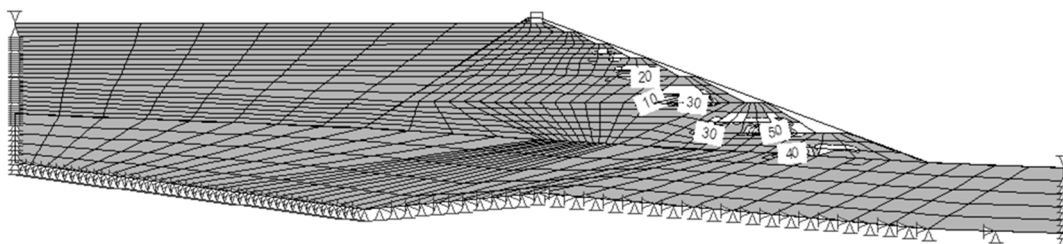


Слика 11. Развој на забрзувањата во хоризонтален и во вертикален правец

Хипотетичката песочна брана е третирана како недрениран почвен материјал, кој при циклични товари развива зголемен порен притисок. Кај првата варијанта, при динамичкото дејство на земјотресот, збирот од прирастот на порниот притисок и иницијалниот порен притисок се изедначува со иницијалното тотално минимално главно напрегање  $\sigma_3$ , ефективните напрегања добиваат вредност нула, односно доаѓа до појава на ликвидација, поточно губење на јакоста на смолкнување на почвениот материјал.

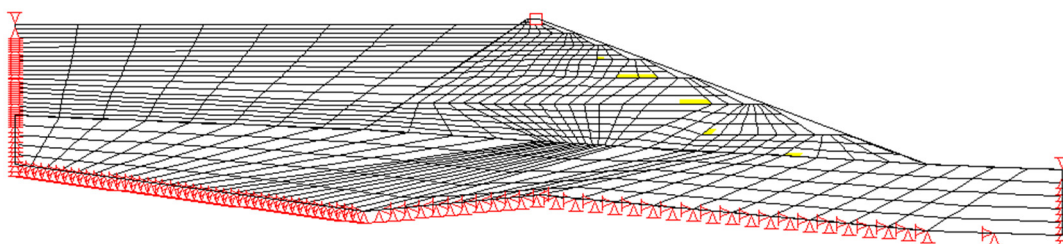
Во случајов, прирастот на порниот притисок  $dP_w$  при динамичка побуда на браната достигнува до 50 kPa.

Прирастот на порниот притисок постепено се зголемува во текот на сеизмичката побуда и собран со иницијалниот порен притисок (прикажан на слика 123) достигнува вредност еднаква на иницијалното минимално главно напрегање  $\sigma_3$ , со што ефективните напрегања достигнуваат вредност нула и песокот од песочните тела почнува да тече и ја губи јакоста на смолкнување.



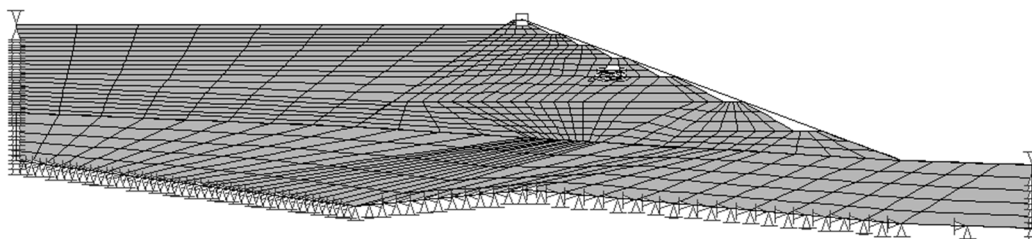
Слика 12. Прираст на порен притисок при динамичка побуда – прва варијанта

Регистрираните зони на ликвификација во песочната брана се протегаат во петте песочни тела во завршување на сеизмичката побуда, а се формираат постепено по активирање на земјотресот, поточно по 3,3 секунди се формираат четвртото и петтото песочно тело, а потоа губењето на јакоста на смолкнување се проширува во повеќе зони, кои не се протегаат на сконцентриран простор од песочната брана.

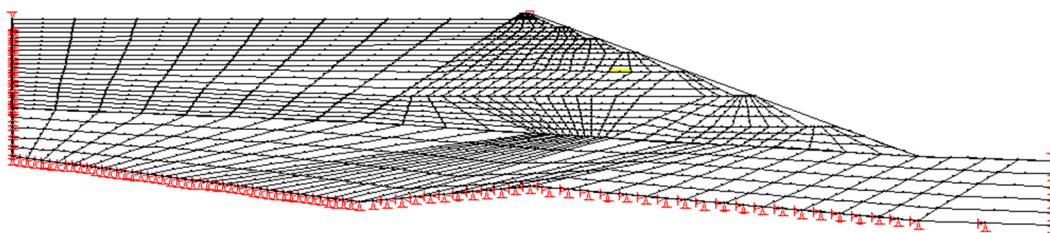


Слика 13. Зони на ликвификација по динамичка побуда – прва варијанта

Во вториот случај, хидројаловишната брана со возводен начин на градба, глинено јадро во последното песочно тело и дренажен тепих под првото песочно тело во текот на сеизмичката побуда генерира дополнителен порен притисок во четвртото песочно тело до максимум 20 kPa, што предизвикува појава на ликвификација на ограничена површина поради изедначување на порниот притисок со ефективните напрегања.



Слика 14. Прираст на порен притисок при динамичка побуда – втора варијанта



Слика 15. Зони на ликвифакција по динамичка побуда – втора варијанта

Со дополнителни анализи е утврдено дека, доколку е изведено глинено јадро и во претпоследното песочно тело гледано по височина и редослед на изведба, генерираната филтрациона линија обезбедува задоволителна сеизмичка стабилност на браната составена од седум песочни тела и идентични геомеханички и сеизмички параметри, односно не се формираат зони на ликвифакција по сеизмичката побуда.

### 3. ЗАКЛУЧОК

Нумеричките анализи се доближуваат до реалното однесување на хидројаловиштата и ги потврдуваат претходно публикуваните истражувања во однос на потребата од одржување ниско ниво на филтрационата линија низ телото на хидројаловиштето за обезбедување задоволителна стабилност во динамички услови. При тоа, неопходно е целосно функционирање на дренажниот систем, како и изведба на водонепропусно јадро во секое наредно изградено песочно тело при наредните надвишувања на хидројаловиштето со возводен начин на градба.

Воедно, неопходно е перманентно следење на нивото на филтрационата линија со отчитувања на пиезометри вградени во телото на хидројаловиштето и нумеричко симулирање на целокупната состојба за правилна оценка на стабилноста на хидројаловиштето во статички и во динамички услови, пред изведба на надвишување на хидројаловиштето и во текот на експлоатациониот период.

### Литература

- [1] Gregg L. Fiegel and Bruce L.Kutter, Davis; “The mechanism of liquefaction in layered soils”, University of California, 1991, 34p
- [2] T.E.Martin, M.P. Davies, S.Rice, T.Higgs and P.C.Lighthall; “Stewardship of Tailing Facilities”, Mining, Minerals and Sustainable Development, 2002., 41p
- [3] M.Seid-Karbasi and P.M. Byrne; “Embankment dams and earthquakes”, University of British Columbia, 2004, 55p
- [4] Towhata Bunkyo-Ku, “On three stage mitigation of liquefaction-induced hazards”, Asian Journal of Civil Engineering vol. 7, 429-452p
- [5] Iain G.Bruce, Clint Logue, Lori-Ann Wilchek, “Trends in Tailing Dam Safety”, Bruce Geotechnical Consultants Inc, 1997, 22p

[6] проф. д-р Петковски, проф. д-р Витанов, „Основен проект за хидројаловиштето на рудникот „Саса“ за фаза II до кота 960 мнв – студија за остварениот квалитет на сеизмичка заштита на објектот”, Градежен факултет – Скопје, 2006.





## ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА ЗА УПРАВУВАЊЕ СО ФЛОТАЦИСКА ЈАЛОВИНА

А. Крстев<sup>(1)</sup>, Љ. Костадинов<sup>(2)</sup>, Б. Крстев<sup>(3)</sup>, Б. Голомеов<sup>(4)</sup>,  
М. Голомеова<sup>(5)</sup>, А. Зенделска<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup>Д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; aleksandar.krstev@ugd.edu.mk

<sup>(2)</sup>М-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр.1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; rudar@geing.com.mk;

<sup>(3)</sup>Проф. д-р, дипл. инж. технолог, Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; boris.krstev@ugd.edu.mk

<sup>(4)</sup>Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; blagoj.golomeov@ugd.edu.mk

<sup>(5)</sup>Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; mirjana.golomeova@ugd.edu.mk

<sup>(6)</sup>М-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; afrodit.zendelska@ugd.edu.mk

### Резиме

Рудничкиот отпад што се добива со операциите на преработка на минерални суровини (флотациска јаловина), во случај да не се депонира соодветно, може да претставува голема опасност за животната средина и за човекот, особено во случаи на хаварии. Токму затоа е многу значајно управувањето со флотациската јаловина и потребно е преземање ефикасен пристап и технологии за обезбедување висок степен на заштита на животната средина. Состојбата за управување со флотациска јаловина во Република Македонија не е на некое завидно ниво поради тоа што законската регулатива слабо се спроведува во одредени случаи. Со оглед на тоа дека Уставот на Република Македонија пропишува дека секој има право на здрава животна средина, но и должност да ги штити и да ги унапредува животната средина и природата, следува дека при оперирање со флотациската јаловина е потребно да се почитуваат сите важечки закони и подзаконски акти.

**Клучни зборови:** Закони, хидројаловишта, дозвола, напредок

## LAW REGULATION ON MANAGEMENT WITH FLOTATION TAILING

### Summary

The mine waste as result of the refinement process of the mineral materials (flotation tailing) in case not properly disposed can be high danger on the environment and people, especially in case of accidents. That is way the management with the flotation tailing is very important and it is necessary to apply efficient approach and technology for securing high degree of environmental protection. The management with flotation tailing in Republic of Macedonia is not on some enviable level due to the weak implementation of the law regulative in certain cases. Due to the fact that the Constitution of Republic of Macedonia prescribes that everybody has a right on health environment, but also and obligation to protect and improve the environment and the nature follows that at operating with flotation tailing it is necessary to comply all governing laws and sub-law acts.

**Клучни зборови:** Laws, tailing dams, permission, progress.

## 1. ВОВЕД

Рударскиот сектор има долга историја во Република Македонија. На пример, оловото и среброто се произведувале на неколку локации во злетовскиот регион уште во римско време. Има многубројни сведоштва за стари рударски работи, алатки и топилнички згури во областа Саса, кои се поврзуваат со XII век, со доаѓањето на познатите рударски племиња Саси, по кои рудникот на таа локација го добил името „Саса“. Сепак, рударството со флотациски погони се развива во XX век.

Основните технологии што се применувале во почетните развојни фази претставувале врв на технологијата, но помошните објекти и раководни практики биле под стандардите за соодветно управување со флотациската јаловина. Постојат неколку причини за несоваѓањето меѓу основните технологии и практиките на управување со отпад, меѓу кои се: незнаење и неинформираност за сериозноста на проблемот, непостоење релевантен закон со кој се регулира управувањето со отпад (флотациски отпад), а резултат на тоа е неспроведување закони, несоодветен мониторинг на подземни води, воздух, земјишта, итн.

За време на транзицијата, македонските рудници се соочуваа со сериозни проблеми, а некои од нив дури и пред тоа. Сите рудници имаа периоди кога не работела, а нивните флотациски јаловишта беа напуштени. Во таков еден период се случува најголемиот инцидент на едно флотациско јаловиште во Република Македонија и тоа на јаловиштето на рудникот „Саса“ во 2003 година кога се излеа флотациска јаловина по течението на Каменичка Река и стигна и до езерото Калиманци. Слични инциденти се имаат случувано и на јаловиштето во рудникот „Бучим“ и на јаловиштето во рудникот „Злетово“ во услови на редовна експлоатација. Во рудникот „Тораница“ се случувале помали инциденти при излевање на флотациската јаловина од пулповодот за транспорт на јаловината.

## 2. ЗАКОНСКИ И ПОДЗАКОНСКИ АКТИ

За управување со флотациска јаловина важат следниве закони и подзаконски акти (листа на законски и на подзаконски акти од областа на животната средина подредени по постапка\_мај 2012):

- **Закон за животна средина**, „Службен весник на РМ бр. 53/05, 81/05, 24/07, 159/08, 83/09, 48/10, 124/10 и 51/11.

- Правилник за опасните супстанции, граничните вредности (прагови) за присуство на опасните супстанции и критериумите или својствата според кои супстанцијата се класифицира како опасна, „Службен весник на РМ“ бр. 25/10.

- Правилник за содржината на информациите за мерките за безбедност, како и начинот на постапувањето на лицата на кои би влијаела хаваријата предизвикана од системот, „Службен весник на РМ“ бр. 22/11.

- Правилник за професионалните активности со чие вршење може да настапи одговорност за еколошка штета, критериумите за определување на постоење еколошка штета, како и случаите во кои нема да настапи одговорност за еколошка штета, „Службен весник на РМ“ бр. 31/11.
- Правилник за мерките за ремедијација на сторена еколошка штета, „Службен весник на РМ“ бр. 31/11.
- **Закон за управување со отпад**, „Службен весник на РМ“ бр. 68/04, 71/04, 107/07, 102/08, 143/08, 124/10, 09/11 и 51/11.
- Правилник за поблиските услови што треба да ги исполнуваат правните лица што вршат стручно оспособување, програмата за спроведување на обуката, како и формата и содржината на потврдата за учество на обука за стручно оспособување за управување и/или постапување со отпад, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 74/11.
- Правилник за формата и содржината на дневникот за евиденција за постапување со отпад, формата и содржината на формуларите за идентификација и транспорт на отпадот и формата и содржината на обрасците за годишни извештаи за постапување со отпад, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 7/06.
- Правилник за изменување на Правилникот за формата и содржината на барањето за добивање дозвола за преработка, третман и/или за складирање отпад, формата и содржината на дозволата, како и минималните технички услови за вршење на дејноста преработка, третман и/или складирање на отпад, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 76/07.
- Правилник за формата и содржината на барањето за добивање дозвола, како и формата и содржината на дозволата за оператор на депонија, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 140/07.
- Правилник за начинот и условите за складирање на отпад, како и за условите кои треба да ги исполнуваат локациите на коишто се врши складирање на отпад, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 29/07.
- Правилник за начинот и постапката за работа, следење, работа и контрола на депонијата за време на работењето, како и следење и контрола на депонијата во фазата на затворање и натамошна грижа за депонијата по затворањето, како и начинот и условите за грижа за депониите откако тие ќе престанат да работат, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 156/07.
- Правилник за условите кои треба да ги исполнуваат депониите, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 78/09.
- Стратегија за управување со отпад на Република Македонија (2008-2020), „Службен весник на Република Македонија“ бр. 39/08.
- Национален план за управување со отпадот (2009-2015) на Република Македонија, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 77/09.

- **Закон за водите**, „Службен весник на РМ“ бр. 87/08, 6/09, 161/09, 83/10, 51/11 и 44/12.

- Правилник за начинот и постапката за користење на тињата, максималните вредности на концентрациите на тешки метали во почвата во која се користи тињата, вредности на концентрациите на тешки метали во тињата, во согласност со нејзината намена и максималните годишни количини на тешки метали што може да се внесат во почвата, „Службен весник на РМ“ бр. 73/11.

- Правилник за поблиските услови, начинот и максимално дозволените вредности и концентрации на параметрите на прочистени отпадни води за нивно повторно користење, „Службен весник на РМ“ бр. 73/11.

- Правилник за опасните и штетните материи и супстанции и нивните емисиони стандарди што можат да се испуштат во канализација или во систем за одводнување, во површински или подземни водни тела, како и во крајбрежни земјишта и водни живеалишта, „Службен весник на РМ“ бр. 108/11.

- **Закон за квалитет на амбиентален воздух**, „Службен весник на РМ“ бр. 67/04, 92/07, 35/10 и 47/11.

- Правилник за методологијата за мониторинг на квалитетот на амбиенталниот воздух, „Службен весник на РМ“ бр. 138/09.

- Правилник за содржината и начинот на преносот на податоците и информациите за состојбите во управувањето со квалитетот на амбиенталниот воздух, „Службен весник на РМ“ бр. 138/09.

- Правилник за максимално дозволените концентрации и количества и за други штетни материи што можат да се испуштаат во воздухот од одделни извори на загадување, „Службен лист на СФРЈ“ бр. 3/90.

- Правилник за методологијата за инвентаризација и утврдување на нивото на емисии на загадувачките супстанции во атмосферата во тони годишно за сите видови дејности, како и други податоци за доставување на Програмата за мониторинг на воздухот на Европа (ЕМЕП), „Службен весник на РМ“ бр. 142/07.

- Правилник за деталната содржина и начинот на подготвување на програмата за намалување на загадувањето и подобрувањето на квалитетот на амбиенталниот воздух, „Службен весник на РМ“ бр. 108/09.

- **Закон за минерални сировини**, „Службен весник на РМ“ бр.24/07, 88/08, 52/09, 6/10, 158/10, 53/11 и 136/11.

Во Законот за животна средина, во начелото на висок степен на заштита (член 6), е дефинирано дека секој е должен, при преземање активности или вршење дејности, да обезбеди висок степен на заштита на животната средина и на животот и здравјето на луѓето, додека во начелото на одржлив развој (член 8) е дефинирано дека заради задоволување на потребите за здрава животна средина, како и на социјалните и на економските потреби на

сегашните генерации, без притоа да се загрозат правата на идните генерации да ги задоволат сопствените потреби, при преземањето на секоја активност или вршење на која било дејност задолжително треба да се води сметка за рационалното и за одржливото користење на природните богатства.

Законот за управување со отпад дефинира неколку начела, при што во начелото за заштита на животната средина при управување со отпадот (член 8) е цитирано:

(1) При преземањето одредени дејности и активности во врска со управувањето со отпадот, правните и физичките лица се должни да обезбедат висок степен на заштита на животната средина, животот и на здравјето на луѓето.

(2) Правните и физичките лица што преземаат одредени активности во процесот на производството се должни да употребуваат суровини со чија преработка се создава помалку отпад, да применуваат технологии кои обезбедуваат почисто производство и кои ги штедат природните ресурси, односно да произведуваат производи што при нивното производство и употреба не ја загадуваат животната средина или загадувањето да го сведат на најмала можна мера, во согласност со начелата за одржлив развој.

(3) При преработката и отстранувањето на отпадот мора да се користат најдобрите достапни техники и технологии.

Во Законот за води (член 115 - Испуштање на индустриски отпадни води) е дефинирано дека секое испуштање индустриски отпадни води се врши на начин и под услови определени со дозволата за испуштање, односно интегрираната еколошка дозвола во согласност со Законот за животна средина.

Законот за квалитет на амбиентален воздух ги дефинира начелата на управување со квалитетот на амбиенталниот воздух и во член 5 (Начело на внимателно и одговорно однесување) е цитиран односот кон воздухот: за време на активностите што би можеле да имаат влијание врз квалитетот на амбиенталниот воздух, секој е должен да се однесува внимателно и одговорно за да се избегне и спречат загадувањето на амбиенталниот воздух и штетните ефекти врз човековото здравје и животната средина во целина. Управувањето со квалитетот на амбиенталниот воздух (член 17) се врши преку оценување на квалитетот на амбиенталниот воздух и донесување и спроведување плански документи.

Во Законот за минерални суровини (член 70 - Заштита на животната средина) се дефинирани обврските на концесионерот за управување со хидројаловишта и заштита на животната средина:

(1) Имплетот на дозволата и концесијата за вршење детални геолошки истражувања или концесионерот што изведува рударски работи, односно експлоатација на минерални суровини и минерална технологија, е должен да

се придржува кон овој закон и кон Законот за животната средина и другите прописи од областа на животната средина.

(2) Имателот на дозволата и концесијата за вршење на детални геолошки истражувања и концесионерот што изведува рударски работи, односно експлоатација на минерални сировини и минерална технологија, мора да ги спроведува мерките за заштита на животната средина од потенцијалните опасности и од штетните влијанија.

(3) Концесионерот што врши експлоатација на минерални сировини е одговорен за управувањето, одржувањето и за заштитата на одлагалиштата и хидројаловиштата што се создаваат при минералната технологија на експлоатација на минералните сировини без оглед на просторот и површината на која се наоѓаат.

(4) Експлоатацијата на минералните сировини што се наоѓаат во одлагалиштата и хидројаловиштата од ставот (3) на овој член може да се врши на начин и под услови утврдени со закон.

### 3. ПОСТАПКА ЗА ДОБИВАЊЕ ДОЗВОЛА ЗА ФЛОТАЦИСКИ ЈАЛОВИШТА

За добивање дозвола за изградба на флотациски јаловишта, најпрво се доставува до Министерството за животна средина и просторно планирање известување за намерата за изведување на проектот според Правилникот за информациите што треба да ги содржи известувањето за намерата за изведување на проектот и постапката за утврдување на потребата од оцена на влијанието на проектот врз животната средина - „Службен весник на РМ“ бр. 33/06.

Од Министерството за животна средина и просторно планирање се определува потребата од оцена на влијанието на проектот врз животната средина (елаборат или студија), при што за вакви објекти (флотациски јаловишта) се изработува студија за оцена на влијанието на проектот врз животната средина, според правилникот за содржината на барањата што треба да ги исполнува студијата за оцена на влијанието на проектот врз животната средина, „Службен весник на РМ“ бр. 33/06. Со јавни расправи и со преглед на студијата од стручна комисија се утврдува дали се одобрува студијата за оцена на влијанието на проектот врз животната средина.

За инсталации за управување со отпад од рудници (како што е флотациско јаловиште) е потребна А-интегрирана еколошка дозвола според Уредбата за определување на активностите на инсталациите за кои се издава интегрирана еколошка дозвола, односно дозвола за усогласување со оперативен план и временски распоред за поднесување барање за дозвола за усогласување со оперативен план - „Службен весник на РМ“ бр. 89/05. Постапката за добивање на А-интегрирана еколошка дозвола се врши според Правилник за постапката за добивање А-интегрирана еколошка дозвола - „Службен весник на РМ“ бр. 04/06.

Исто така, и според Правилникот за формата и содржината на барањето за добивање дозвола, како и формата и содржината на дозволата за оператор на депонија, „Службен весник на Република Македонија“ бр. 140/07, е утврдена постапката за добивање дозвола за оператор на депонија/јаловиште:

1. Операторот на депонијата треба да поседува дозвола за вршење на дејноста депонирање отпад, која ја издава органот на државната управа надлежен за работите од областа на животната средина.

2. Барањето за добивање дозвола за вршење на дејноста депонирање отпад операторот на депонијата го поднесува до органот на државната управа надлежен за работите од областа на животната средина.

3. По приемот на барањето за добивање на дозволата, органот на државната управа надлежен за работите од областа на животната средина е должен да утврди дали:

- операторот е материјално и технички способен за вршење на дејноста;
- организациските и раководните капацитети на операторот овозможуваат совесно управување со депонијата;
- кадровската екипираност и обученоста на вработените што постапуваат со отпадот овозможува непречена и безбедна работа на депонијата;
- капацитетот на депонијата соодветствува со временскиот период за кој се бара дозволата;
- видот и количеството отпад што треба да биде отстрануван на депонијата соодветствува со класата и со капацитетот на депонијата;
- е изготвена програма за работење, мониторинг и за контрола на работењето на депонијата и дали таа е во согласност со одредбите на овој закон и со прописите донесени врз основа на овој закон;
- лицето определено да биде управител со отпадот на депонијата ги исполнува условите определени со овој закон;
- се изготвени програми за постојано стручно и техничко усовршување на лицата вработени во депонијата;
- се донесени и усвоени планови и програми за избегнување и за намалување на последиците од хавариите;
- износот на финансиската гаранција може да ги покрие трошоците за реализација на обврските на депонијата за време на работењето, затворањето и натамошната грижа по затворањето на депонијата;
- проектот на депонијата е во согласност со плановите за управување со отпадот, донесени во согласност со закон;
- износот на соодветното осигурување може да ги покрие трошоците во случај на несреќа или штета предизвикана на трети лица.

Доколку проектот (флотациско јаловиште самостојно или во склоп на рудник со погон за преработка на руда) ги предвиди сите технички мерки за заштита на животната средина, односно е оценето дека влијанието врз животната средина ќе биде во задоволителни граници и дека при оперирање со јаловиштето ќе се постапува според сите пропишани законски и подзаконски акти, се одобрува издавање дозвола за изградба на флотациско јаловиште.

#### 4. УПРАВУВАЊЕ СО ФЛОТАЦИСКА ЈАЛОВИНА

Македонскиот највисок правен акт, т.е. Уставот на Република Македонија, пропишува дека секој има право на здрава животна средина, но и должност да ги штити и да ги унапредува животната средина и природата. Според тоа, државата е должна да обезбеди здрава животна средина за своите граѓани.

Но, во моментов националните насоки, политиката и законодавството сè уште се недоволни во неколку области за да одговорат на барањата на секторот за отпад. Националната политика за управување со отпад не е доволно развиена бидејќи постојната политика не ги опфаќа сите клучни области на работењето за областа на управувањето со отпадот, не постои јасна основа за одредување на приоритетите, барањата за ефективност или за целите, а потребните стандарди за управување со отпадот остануваат тешки за спроведување.

Опасен отпад е отпад што содржи супстанции што имаат едно од овие својства: експлозивност, реактивност, запаливост, надразливост, токсичност, инфективност, канцерогеност, мутагеност, тератогеност, екотоксичност и својства на испуштање отровни гасови преку хемиска реакција или биолошко разложување.

Рудничкиот отпад што се добива со екстрактивни операции, т.е. операции што се вклучени во преработка на минерални сировини, е еден од најголемите создавачи на опасен отпад. Несоодветното депонирање на тој вид отпад претставува голема опасност за животната средина и за човекот, особено во случаи на хаварии. Токму затоа е многу значајно управувањето со овој вид отпад и потребно е преземање ефикасен пристап и технологија со цел обезбедување висок степен на заштита на животната средина.

За еден систем за управување со отпад да биде одржлив, значи дека треба да биде ефективен за животната средина, економски исплатлив и социјално прифатлив.

При управувањето со отпад во Република Македонија треба да се применуваат европските критериуми во рангирање на мерките, а тие се:

- избегнување отпадоци (квантитативно/квалитативно);
- повторно искористување на отпадоците (материјално/енергетски);
- третирање отпадоци (термичко/биолошко);
- складирање отпадоци (депонирање).



Во однос на отпадот од флотациските погони, може да кажеме дека не може да се избегнува, односно со избегнување би се намалиле економските и социјалните параметри во државата. За сегашните услови на стопанисување со флотацискиот отпад е утврдено дека не може повторно да се искористува или третира. Значи, за флотацискиот отпад останува дека е потребно да се складира (депонира), односно тоа е последна опција во системот за управување со отпад.

Состојбата со управувањето со флотациската јаловина во Република Македонија не е на некое завидно ниво поради тоа што законската регулатива во одредени случаи слабо се имплементира.

Сите флотациски јаловишта во Република Македонија при експлоатација имале одредени неправилности, било тоа да биле хаварии од поголем или од помал размер или испуштање контаминирани води.

За последиците од загадувањето од јаловиштето на рудникот „Саса“ во минатото се вршени истражувања, од кои се добиени податоци за контаминираност на водата и на почвата. Вршени се истражувања и во 2010 година, при што резултатите покажале дека водите што потекнуваат или поминуваат од околината на рудникот „Саса“ имаат висока концентрација на одредени тешки метали кои се застапени во рудата и во флотациската јаловина. Тоа, пред сè, се однесува на концентрацијата на цинк, олово, манган, кадмиум и на бакар. Овие метали најмногу се застапени во водите во близина на хидројаловиштето, сè до селото Моштица, а понатаму кон езерото Калиманци опаѓаат концентрациите на метали во водата. Исто така, утврдено е дека и во седиментите на потегот од хидројаловиштето до езерото Калиманци има загадувања со арсен, кадмиум, олово, цинк и со бакар. Доколку се споредат податоците од истражувањата во 2010 година и истражувањата од 2004/2005 година (период по хаваријата на јаловиштето), забележително е дека водите, седиментите и почвата се релативно почисти. Тоа е резултат на воведување на стандардот за управување со животната средина ISO 14001 во рудникот „Саса“ и сè поригорозните мерки за заштита на животната средина.

Последни податоци за загадување на водата и на почвите од хидројаловиштето на рудникот „Бучим“ има од почетокот на 2012 година. Од извршените хемиски анализи на примероци од почва по течението на реката Тополница се утврдени зголемени концентрации на тешки метали во почвите (железо, бакар, алуминиум, калциум, натриум). Утврдени се загадувања и на водите, при што како мерка за заштита е враќање на целокупните колекторски води во резервоарите за техничка вода.

За последиците од загадувањето од јаловиштето на рудникот „Злетово“ е изработена студија од јапонски експерти. Студијата покажала дека во земјоделското земјиште во атарот на селата Стрмош, Неокази, Петришино и Бучиште има зголемен процент на олово, цинк, бакар, кадмиум и на манган. Јаловиштето на рудникот „Злетово“ нема еколошка заштита во поглед на обложување на неговата површина, пречистување на отпадните води кои се

испуштаат од неговата основа и контрола на емисиите од прашина во услови на ветер.

Рудникот „Лојане“ - Куманово е затворен пред 30 години и од тогаш отровните материи од јаловиштето и од депонијата за концентрат на арсен се лоцирани на отворено и загадуваат околу себе. Јаловиштето „Лојане“ претставува т.н. еколошка бомба и е на листата на жешки еколошки точки во Република Македонија, како што се на листата и други активни рударски капацитети што оперираат со флотациски јаловишта.

Значи, во минатото како резултат на економските и на технолошките фактори биле занемарени еколошките принципи и флотациските јаловишта во одредени периоди претставувале загадувачи на животната средина, а некои и денес ја загадуваат животната средина.

Со воведување интегриран систем за управување со квалитет и изработените програми за заштита на животната средина, рударските капацитети во Република Македонија се задолжени да вршат подобрување и унапредување на животната средина.

Развојот на Република Македонија кон одржлив систем за управување со флотациската јаловина ќе бара понатамошно усогласување на домашното законодавство со политиките на Европската Унија за практиките на управување со отпад. Краен успех во практиките може да се постигне единствено ако сите претставници на општеството ја разберат релацијата меѓу неправилното управување со флотациската јаловина и негативните ефекти врз животната средина и врз здравјето на луѓето, ако станат свесни за своите одговорности, должности и задачи во доменот на управување со флотациската јаловина и ако се мотивираат со организациски и економски мерки.

Во последните 30 години политиката на Европската Унија е сконцентрирана на заштита на животната средина, каде што е направен значителен напредок. Управувањето со флотациската јаловина во Европската Унија се состои во депонирање на флотациската јаловина на флотациски јаловишта. Несоодветно третирање на флотациската јаловина е забележано кај новите земји-членки, кај кои се врши усогласување на законодавството за депонирање на овој вид отпад.

Европската политика има потенцијал да придонесе за намалување на севкупните негативни влијанија врз животната средина. За постигнување на тие цели е донесен предлог за модернизирање на постојните рамки за отпадот. Со оглед дека флотациската јаловина е опасен отпад со голем ризик за животната средина, Европската комисија за заштита на животната средина бара сè построги контроли. Овие контроли се утврдени во Директивата за опасен отпад 2008/98/ЕС, која претставува еден од најстарите законодавни акти за отпад во Европската Унија. Оваа директива прави разлика меѓу опасниот и неопасниот отпад и воведува построги услови за управување со опасниот отпад.

Опасниот отпад мора да се евидентира и идентификува, а сите капацитети што генерираат опасен отпад подлежат на периодични инспекции. Одредбите од Директивата за опасен отпад и Директивата за депонии предвидуваат посебни депонии за опасен отпад, кои ќе се разликуваат од депониите за цврст комунален отпад. Со директивите се предвидува спречување на загадувањето на воздухот, почвата и на водата од флотацискиот отпад.

Статистички податоци за создадениот отпад во Европската Унија можат да се најдат во Заводот за статистика „Евростат“ (Eurostat) на Европската Унија, кој се наоѓа со седиште во Луксембург.

## 5. ИЗВЕШТАЈ ОД ЕВРОПСКАТА КОМИСИЈА ЗА НАПРЕДОКОТ НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА ВО ЖИВОТНАТА СРЕДИНА

Од март 2002 година Европската комисија редовно ги известува Советот и Парламентот за напредокот постигнат од страна на земјите од регионот на западен Балкан, како и Република Македонија. Во последниот извештај за напредокот на Република Македонија за 2011 година, Европската комисија (Брисел, 12.10.2011) во поглавјето 27 - животна средина - ги дава следниве констатации:

- Постигнат е одреден напредок во областа на управувањето со отпад. Беа донесени одредени закони за спроведување во областа на планирање на управувањето со отпад и во областа на управување со пакувањето отпад. Системот за собирање податоци, регистрација и пријавување сè уште не е во сила. Подготовките во оваа област напредуваат бавно.

- Може да се забележи мал напредок во областа на квалитетот на водата. Недостигот од доволна координација меѓу надлежните органи во Секторот за води го попречува спроведувањето на законодавството. Забележан е многу мал напредок во посветувањето внимание на важните недостатоци кај системот за следење на водите. Нема напредок во примената на принципот „загадувачот плаќа“.

- Постигнат е мал напредок во областа на контролата на индустриското загадување и управување со ризици. Целосното усогласување на законите продолжува да претставува значаен предизвик на земјата. Процесот на дозволи во голема мера заостанува. Барањата за консултација на јавноста во однос на системот за издавање дозволи за интегрирано спречување и контрола на загадувањето (ИСКЗ) не се применуваат секогаш правилно. Административните капацитети треба да се зајакнат значително, особено за активности на проверките. Подготовките во оваа област се бавни.

Како заклучок во извештајот се напоменува дека се потребни значителни напори со цел примена на националното законодавство, особено во областите на управување со води, контрола на индустриско загадување и климатски промени. Административниот капацитет сè уште е слаб и на централно и на локално ниво во сите сектори. Инвестициите треба да се

зголемат значително, особено во секторите за води и за отпад. Општо земено, подготовките во областа на животната средина и на климатските промени бележат умерен напредок.

## 6. ЗАКЛУЧОК

Значи, отпадот од флотациските погони не може да се избегнува, односно со избегнување би се намалиле економските и социјалните параметри во државата. За сегашни услови на стопанисување е утврдено дека флотацискиот отпад не може да се искористува или третира повторно. Останува дека е потребно да се складира (депонира).

Со оглед дека Република Македонија ги усогласува законите со Европската Унија и ќе ги доусогласи во следниот период, управувањето со флотациска јаловина во Република Македонија ќе се унапредува, односно влијанието на флотациските јаловишта врз животната средина ќе мора да се сведе на минимум. За да се постигне тоа, потребна е примена на современи методи и техники за постојните и за идните флотациски јаловишта во Република Македонија.

## Литература

- [1] Љ. Костадинов: „Инженерство со современи материјали за заштита на животната средина од флотациските јаловишта“, магистерски труд, Факултет за природни и технички науки - Штип, 2012
- [2] Листа на законски и подзаконски акти од областа на животната средина подредени по постапка, мај 2012
- [3] Законска регулатива
- [4] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [5] Б. Крстев, Б. Голомеов: Инженерство на рудничка средина, УГД-ФПТН-Штип 2008
- [6] Б. Крстев, Б. Голомеов: Флотациски хидројаловишта, УГД-ФПТН-Штип 2008

ТЕМА БР.2

---

РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА ВО  
ПОСТЕКСПЛОАТАЦИОНИОТ ПЕРИОД





## **САНАЦИЈА И РЕКУЛТИВАЦИЈА НА СТАРОТО ЈАЛОВИШТЕ НА РОЦ „ЗЛЕТОВО“ - ПРОБИШТИП**

С. Михајловски <sup>(1)</sup>, Попов <sup>(2)</sup>, Г. Дуданова <sup>(3)</sup>, П. Костадиновски <sup>(4)</sup>

(1, (2, (3, (4 Дипл. град. инж., Градежен Институт Македонија, а.д. Скопје, ул.  
Дрезденска бр. 52 Скопје, slavco.mihajlovski@gim.com.mk;  
slobodan.popov@gim.com.mk; gabriela.dudanova@gim.com.mk;  
perica.kostadinovski@gim.com.mk

### **Резиме**

Со овој реферат се дава приказ на комплетен проект за санација и за рекултивација на старото јаловиште во предградието на Пробиштип.

Проектот е изработен во согласност со неопходните расположиви и наменски припремени подлоги за изработка на ваков вид документација.

При изработката на проектот се применети вообичаените постапки од изработка на студија, идеен проект, основен проект и изведбен проект.

Во проектот е разработено комплетно техничко решение за санација и за рекултивација со проценето вкупно чинење од околу 4.200.000 евра.

## **SANATION AND RECULTIVATION OF THE OLD TAILING DAM AT MINE „ZLETOVO” - PROBISHTIP**

### **Summary**

In this paper is given display of the Design for sanation and recultivation of the old tailing dam in the suburb of city Probishtip.

The Design is made in accordance with the necessary available and assigned prepared data bases for preparation of such type of documentation.

At Design making are applied usual procedures for preparation of Study, Preliminary, Basic and Construction design.

In the Design is analysed total technical soilution for sanation and recultivation with estimated total cost at around 4.200.000 €.

## 1. ВОВЕД

По иницијатива на Министерството за животна средина и просторно планирање, изработена е комплетна техничка документација за санација и за рекултивација на старото јаловиште на рудникот за олово и за цинк „Злетово“ - Пробиштип. Во согласност со фазите на проектирање, изработени се идеен проект со различни варијантни решенија, основен проект и изведбен проект според кој може да почне изведбата на процесот на санација и рекултивација.

Местоположбата, описот на старото јаловиште на рудникот „Злетово“, досегашните истражувања, инженерско-геолошкиот и хидрогеолошкиот аспект, природните и еколошките услови на локалитетот, како и неговите значајни негативни влијанија врз градот Пробиштип, Киселичка Река и врз вкупната околна животна средина се обработени во претходно споменатата техничка документација, кои како сериозна еколошка закана беа причина за Министерството за животна средина и просторно планирање да пристапи кон решавање на овој проблем.

Од геолошки аспект, јаловиштето претставуваат, главно, депониран материјал кој механички е раздробен и иситнет во процесот на флотирање. Всушност, тоа се претежно вулкански карпи обогатени со разни метални и неметални рудни минерали. Со процесот на флотација поголемиот дел од олово-цинковите минерали, како и дел од споредните тешки метални минерали, се издвојува, додека дел од тие минерали, заедно со непродуктивната карпеста јаловина, се депонираат во јаловиштето.

Врз основа на истражувањата што ја одредуваат јаловината како правливо-песоклива мешавина, регистрираните појави на НПВ во јаловината може да се каже дека во хидрогеолошки поглед се со интергрануларна порозност, но многу слабо водопропустливи и водоносни до водонепропустливи со коефициент на филтрација, ред на големина  $K = 1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ . Во нив е формиран збиен тип на издан со ограничено простирање (главно висечки издани со слободно ниво на подземна вода) и има условна функција на ХГ-коллектор;

Техничката документација предвидува мерки со кои ќе се обезбеди рекултивација и санација на теренот кај старото јаловиште, со што ќе се изврши елиминирање на сите штетни последици и влијанија што може да ги има врз животната средина, како што се загадување на подземните води, загадување на воздухот, загадување на почвата и слично.

Во рамките на документацијата е изработен и елаборат за оскултација кој има за цел да предвиди мерки и активности за техничко набљудување на теренот и на изведените санациски мерки за рекултивација на старото хидројаловиште на рудникот „Злетово“.

Исто така, во рамките на техничката документација е изработена и студија за оценка на влијанието на проектот врз животната средина.





Слика 1. Приказ на сегашната состојба на старото јаловиште

## 2. ОПИС НА ТЕХНИЧКОТО РЕШЕНИЕ ЗА САНАЦИЈА И ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА СТАРОТО ЈАЛОВИШТЕ НА РОЦ „ЗЛЕТОВО“

Во согласност со основниот и со изведбениот проект, техничкото решение за санација и за рекултивација на старото јаловиште на рудникот „Злетово“ – Пробиштип е поделено на четири дела (објекти), и тоа:

- Планирање, оформување и заштита на полињата 4 и 5 на старото јаловиште „Злетово“.

- Евакуациски објекти на јаловиштето, објекти за зафаќање, транспорт и испуштање на собраните површински води во Киселичка Река.
- Заштита на косините на браната.
- Дренажа во ножицата на браната.

## 2.1 ПЛАНИРАЊЕ, ОФОРМУВАЊЕ И ЗАШТИТА НА ПОЛИЊАТА 4 И 5 НА СТАРОТО ЈАЛОВИШТЕ „ЗЛЕТОВО“

### 2.1.1 ПЛАНИРАЊЕ НА ПОВРШИНАТА НА ПЛАТОАТА 4 И 5 И ЗАШТИТА ОД ПОВРШИНСКИ ВОДИ

За да се изврши санацијата и рекултивација на старото јаловиште „Злетово“, потребно е да се изврши планирање и обликување на просторот на платоата, обликување на круната на браната, обликување на косината меѓу полињата 3 и 4, формирање одводни ободни канали, распстилање фертилна почва и садење соодветна вегетација за рекултивација на просторот.

Со проектот е предвидено двоводно планирање на платоата 4 и 5 кон ободните канали, кои е предвидено да се трасираат околу платоата. Планирањето на платоата е двоводно со централно поставена највисока точка и применети падови од 1,5 ‰ и 2,5 ‰, во согласност со теренските услови. Планирањето на површината на јаловината кон ободните канали има за цел ефикасно одведување на површинските води од платоата кон ободните канали. На полето меѓу 4 и 5, во согласност со теренските услови, е предвидена денивелација од 2 m, која треба да се обработи со нагиб на косината од 1:3.

Предвидено е ободните канали да бидат необложени за да се овозможи, покрај површинските води, во нив да се отцедува и дел од инфилтрираните подземни води, односно да претставуваат и дренажни канали.

Каналите се со трапезен попречен пресек со ширина во дното 0,5 m и нагиб на косините 1:1. Падовите на каналите се усвоени во зависност од теренските услови и се во рамките од 1.5 до 3‰.

По извршеното планирање на платоата и изведбата на ободните канали, се предвидува распстилање на фертилна почва по површините на платоата во висина од 0.5 m, на која е предвидено садење различна вегетација (сл. 2).



Слика 2. Скица за садење различна соодветна вегетација

### 2.1.2 ОФОРМУВАЊЕ НА КРУНАТА НА БРАНАТА И НА ОКОЛНИТЕ КОСИНИ

Во рамките на проектот е дефинирана обработката на косините, со минимум земјани работи, следејќи ги природните наклони. Прелиминарните анализи за стабилност на косината на браната покажуваат дека косините се стабилни, према геометриските карактеристики на косините и на платото, како и податоците од геомеханичките истражувања.

Предвидено е круната на браната да се оформи со планирање на јаловината на тој простор и со насипување со јаловина од околните ископи, сè до добивање круна со приближно константна висина. Предвидената кота на круната на браната ја следи природната висина, што подразбира минимални земјани работи за нејзино уредување. Косината на круната е со нагиб 1:3 кон платото. Ширината на круната е 5.0 m, што обезбедува подолжна комуникација со возила по круната на браната.

За спречување на еродивните процеси по косините на круната на браната предвидено е поставување геомрежа по целата должина од надворешната страна и на деловите кои надминуваат 2.0 m од внатрешната страна на круната. Анкерисувањето на геомрежата е на круната на браната.

Косината на насипот и круната на браната во целост се покриени со фертилна почва во слој од 0.3 m, која е потребна за затревување и друга рекултивација.

Просторот на делот меѓу полињата 3 и 4 е исполнет со нафрлана јаловина со необработени косини на кои се забележуваат еродивни процеси. Во проектот е предвидено оформување насип меѓу платото со обработка на косините со нагиб 1:3.

По ободниот правец на јаловиштето, односно по правец на постојната трака за транспорт на хидројаловина, се предвидува оформување и уредување косина со благ наклон 1:3.

## 2.2 ЕВАКУАЦИСКИ ОБЈЕКТИ НА ЈАЛОВИШТЕТО, ОБЈЕКТИ ЗА ЗАФАЌАЊЕ, ТРАНСПОРТ И ЗА СПУШТАЊЕ НА СОБРАНИТЕ ПОВРШИНСКИ ВОДИ ВО КИСЕЛИЧКА РЕКА

### 2.2.1 ОПИС НА СИСТЕМОТ

Системот за евакуација на атмосферските води од површината на јаловиштето е со вкупна должина од  $L = 234.14$  m и се состои од повеќе карактеристични хидротехнички објекти. Прво, атмосферската вода преку површинските одводни канали во јаловиштето се доведува до собирна градба, која е предвидено да биде изградена на местото каде што се спојуваат одводните канали. Од тука, водата се впушта во цевковод конструиран како батерија од две цевки со дијаметар ND 550 mm (OD 630 mm) и должина  $L_c = 60$  m. Надолжниот наклон на цевководот изнесува  $S_o = 1.5$  %.

Потоа, системот продолжува со брзотек кој се предвидува да биде изведен на должина од  $L_b = 155.2$  m. Брзотекот е бетонски канал со широчина  $B_b = 0.8$

m и со висина  $H_b = 0.8$  m. На потегот од крајот на цевководот км 0+174.15 до почетокот на брзотекот на стационача км 0+164.20 се изведува преоден дел кој претставува отворен бетонски канал со променливи димензии. На почетокот на преодниот дел, каналот е со димензии  $B = 1.6$  m и  $H = 1.3$  m, додека на крајот преодниот дел е со исти димензии како брзотекот.

Брзотекот е проектиран со променлив надолжен наклон кој, заради минимизирање на земјените работи, е диктиран од падот на теренот. Надолжниот наклон на брзотекот е во границите од  $S_o = 7.8$  % до  $S_o = 29$  % . Заради гасење на енергијата на текот, предвидено е на крајот на брзотекот на км 0+009.00 да биде конструирано слапиште со одбоен праг.

Слапиштето е со правоаголен попречен пресек со ширина  $B_{sl} = 1.5$  m и висина  $H_{sl} = 1.0$  m. Должината на слапиштето изнесува  $L = 5.2$  m. Одбојниот праг е од бетон со димензии  $h_p = 0.2$  m, ширина  $b_p = 0.25$  m и ширина на преливање колку што е ширината на слапиштето  $L_p = 1.5$  m.

Од завршетокот на слапиштето (км 0+003.80), каналот се изведува со трапезна форма на напречниот пресек со ширина во дното  $b = 1.5$  m и наклон на косините 1:1.75. Висината на каналот изнесува  $H = 0.8$  m . Се предвидува овој дел од каналот да биде заштитен со облога од нафрлен камен со дебелина од 0.4 m и со дијаметар на зрната  $\phi = 200 - 250$  mm. Заштитата ќе се изведе во дното и на косините на должина од 2 m по завршетокот на слапиштето, односно до стационача км 0+001.80. Понатаму, каналот се обликува во природниот терен до км 0+000.00.

### 2.3 ЗАШТИТА НА КОСИНАТА НА БРАНАТА

Во идејниот проект е направена анализа на стабилност на косината на браната, при што е утврдено дека косините се стабилни според геометриските карактеристики на косините и платото, како и според податоците од геомеханичките истражувања, кои даваат увид во застапените материјали.

При теренските посети на старото јаловиште, утврдено е дека косините имаат локални нестабилности, кои немаат влијание врз глобалната стабилност на косината на браната. Со теренските посети се воочени локални ерозивни оштетувања на косината на браната, од влијанија на вода и ветер.

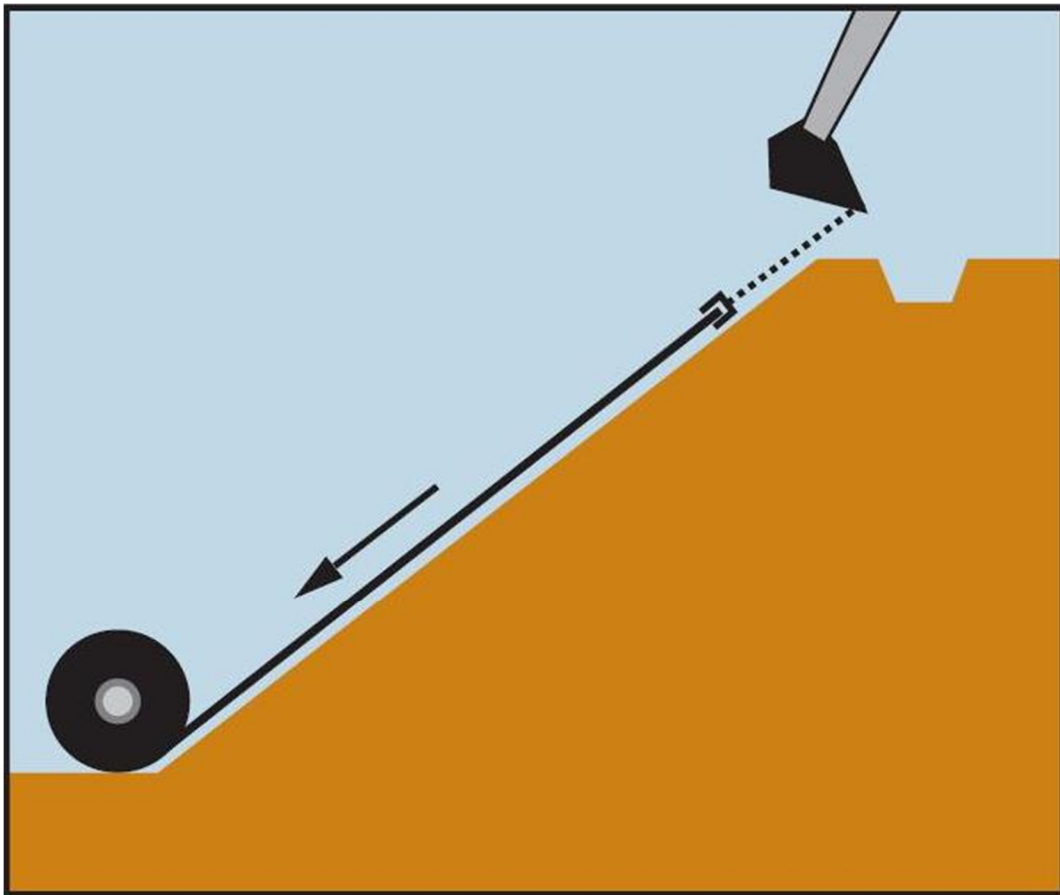
Во проектот, што е прифатено и од инвеститорот, е предвидено обложување на косината на браната, како и на ободната косина околу полето, со геомрежа, која ја подобрува стабилноста и обезбедува заштита од ерозивни дејства. Над поставената геомрежа се предвидува поставување фертилна почва на која, со соодветна вегетација, во целост ќе се спречат ерозивните процеси (сл.3 и сл.4).

Косината на браната на горниот дел на нивото на платоата завршува со обработка на косината во форма на круна на браната. Оваа обработка подразбира планирање на постојниот терен и негово надвишување со

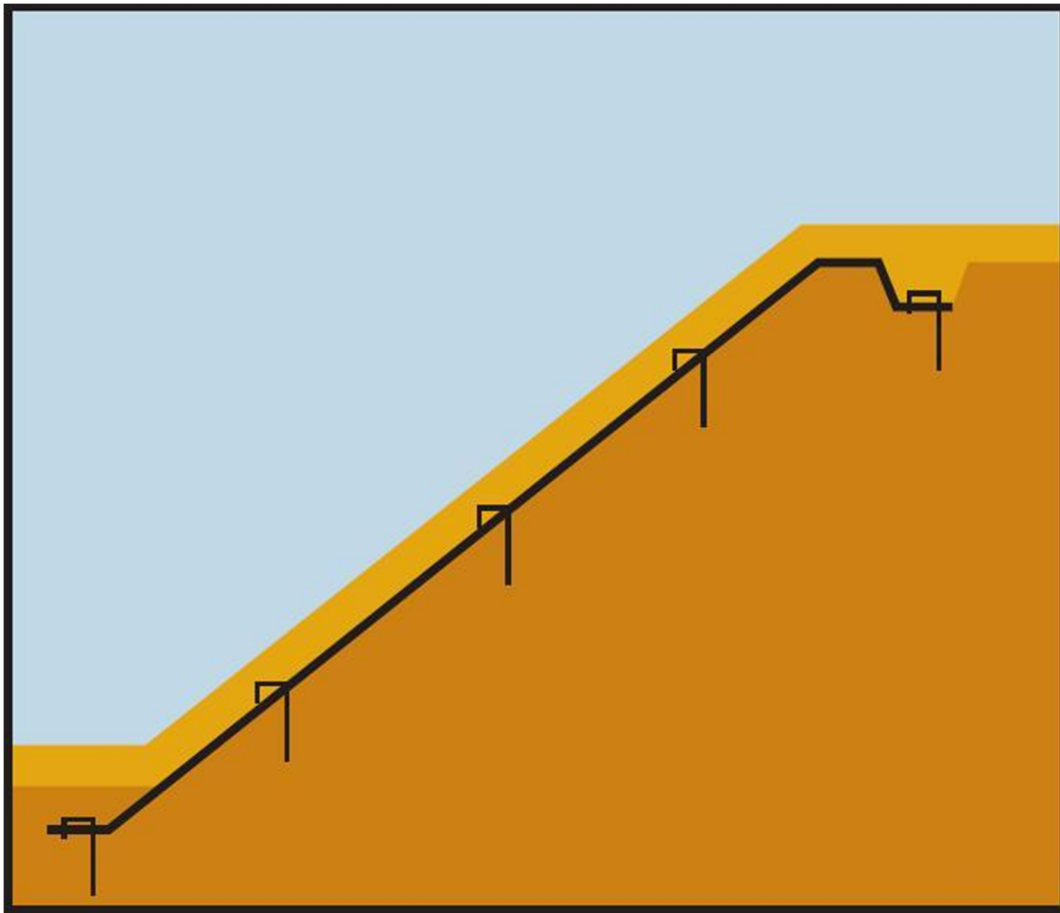
насипување со материјал од јаловината добиен од ископите, со што се добива ободна заштита на платоата 4 и 5 од страната на Киселичка Река. Круната на браната е оформена на начин кој обезбедува и подолжна комуникација, со формирање проширување од 5.0 m по целата должина. Предвидената кота на круната на браната ја следи природната висина, што подразбира минимални земјени работи за нејзино уредување според предложената геометрија.

Анкерувањето на геомрежите, кои се предвидени за заштита од ерозија на косината на браната од страната на Киселичка Река, е предвидено да се изврши на круната на браната. Од внатрешната страна, круната на браната може да се заштити, исто така, со геомрежа за висини на круната на браната поголеми од 2 m, при што анкерисувањето на оваа геомрежа ќе биде во истиот ров со геомрежата од надворешната страна.

Геомеханичките карактеристики, кои се користени како влезни параметри при изготвување на анализите, се усвоени врз база на направените теренски и лабораториски истражувања, презентирани во *Елаборат за извршени геомеханички теренски истражни работи и лабораториски испитувања за изработка на проект за санација и рекултивација на старо хидројаловиште на РОЦ Злетово - Пробитип.*



Слика 3. Скица за поставување геомрежа



Слика 4. Скица со поставена геомрежа и со фертилна почва

#### 2.4 ДРЕНАЖА ВО НОЖИЦАТА НА БРАНАТА

За да се зафатат инфилтрираните води низ телото на браната и да се спречи процедување на загадените води од јаловиштето во Киселичка Река, предвидено е поставување дренажа во ножицата на браната.

Во Книга 1, *Елаборат за хидрогеолошки истражни работи и испитувања за изработка на проект за санација и рекултивација на старото хидројаловиште на РОЦ Злетово - Пробиштип*, изработен од Градежниот институт Македонија во септември, 2009 година, е дефинирано постоење слој од деливијални седименти поставен над миоценските седименти и јаловината. Овој слој е со различна дебелина, со наклон кон Киселичка Река и има функција на хидрогеолошки колектор под јаловиштето. Процедните води од јаловиштето преку овој дренажен килим, кој има значително поголем коефициент на филтрација од околниот материјал, директно се инфилтрираат во Киселичка Река. Преку хидрогеолошките истражувања е утврдена директната корелација меѓу нивото на водата во Киселичка Река и слободното ниво на подземна вода во овој водоносен слој.

Дренажата во ножицата на браната е предвидено да се изведе од полипропиленски дренажни цевки  $D = 315 \text{ mm SN8}$ , перфорирани од горната

страна, кои ќе бидат поставени на контактот помеѓу водонепропусниот и водопрпусниот слој во должина од 881,37 m. Дренажните цевки ќе бидат поставени над слој од песок 10 cm под цевката, дополнителни 15 cm до средината на цевката. Над слојот од песок, односно на перфорираниот дел од цевката во висина од 15 cm и 30 cm над горниот крај на цевката ќе се постави слој од чакал - дренажен материјал, со големина на зрната поголеми од перфорацијата на цевката. Дренажата и дренажниот материјал ќе бидат обвиткани со геотекстил со тежина 300 gr/m<sup>2</sup>.

За да се спречи инфилтрирање на контаминираниите води од јаловиштето во Киселичка Река, како и да се спречи инфилтрирањето на водите од Киселичка Река во дренажата, потребно е по косината на ровот да се постави водонепропустлива бариера. Во случајов е предвидено поставена геомембрана заштитена од двете страни со геотекстил со тежина 300 gr/m<sup>2</sup>.

Поставувањето на дренажната цевка на контактот меѓу водопрпусниот и водонепропусниот слој значи дека ќе се поставува на просечна длабочина од околу 5m заради што се предлага ровот да се изведе во две нивоа скалесто, прво ниво во широк ископ со длабочина до 2 m и нешто повеќе, со трапезна форма и нагиб на косините од 2:1, и второ ниво до дното на ровот со длабочина од 3m. Долниот дел од ровот треба да се подгради од едната страна во согласност со условите на терен, а втората страна ќе се изработи во косина со нагиб 2:1 заради поставување геомембрана.

Дренажните цевки ќе бидат со пад од 0,3 до 3‰, со што се обезбедува рамномерно течење низ цевките. Поголемиот пад на теренот е совладан со поставување каскадни шахти со максимална висина на каскадите до 1 m.

На хоризонталните прекршување, како и речиси на секои 50,0 метри должина на цевководот, се предвидени ревизиони шахти. Дел од нив ќе се искористат како мерни места на кои ќе се врши контрола, мерење на количината на дренираната вода, можност за проверка на нејзиниот хемиски состав и сл.

Испуштањето на дренираната вода со овој проект е предвидено да се врши преку полна цевка во должина од 80 m, која преку отворен земјен канал завршува во Киселичка Река.

### 3. ТЕХНИЧКО НАБЉУДУВАЊЕ НА ТЕРЕНОТ И НА ПРЕДВИДЕНИТЕ МЕРКИ ЗА САНАЦИЈА И ЗА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА СТАРОТО ЈАЛОВИШТЕ НА РОЦ „ЗЛЕТОВО“

Техничкото набљудување на старото јаловиште на рудникот „Злетово“ се планира да се врши по изведување на работите за негова санација и рекултивација.

Се планира да се набљудува општото однесување на јаловиштето, следење на нивото на подземната вода, количината и на квалитетот на инфилтрираната вода низ јаловиштето и геодетско мерење на површинското поместување на круната на јаловиштето.

Општото однесување на јаловиштето со придружните објекти се врши со визуелни набљудувања.

Пратење на нивото на подземната вода се планира преку 11 отворени пиезометри (6 постојни и 5 нови), распоредени во 3 репрезентативни профила. Количината и квалитетот на инфилтрираната вода низ јаловиштето ќе се врши преку дренажниот систем, планиран да се изведе во ножицата на јаловишната брана.

Геодетските набљудувања на површинските поместувања на круната на браната ќе се спроведат од четири фиксни точки од МТМ, поставени надвор од телото на јаловиштето и дванаесет мерни точки распоредени по круната на браната.



Слика 5. Постојни пиезометри за следење на нивото на подземната вода

#### 4. СТУДИЈА ЗА ОЦЕНА НА ВЛИЈАНИЕТО НА ПРОЕКТОТ ВРЗ ЖИВОТНАТА СРЕДИНА

Во изработената студија, која е составен дел на проектот за санација и за рекултивација на старото јаловиште на рудникот „Злетово“, најпрво е даден опис на сегашната состојба на животната средина околу локацијата (сл. 6 и сл. 7), а потоа е дадена анализа на влијанието на проектот врз животната средина.

Во продолжението на студијата се дадени комплетни мерки за намалување на негативните влијанија врз животната средина.

Студијата завршува со план за мониторинг на животната средина и анализа на ризици со план и мерки за заштита од непредвидени незгоди.



Слика 6. Поглед на еродирана косина на јаловиштето





Слика 7. Поглед на Киселичка Река, спроти поле 5 на јаловиштето

## 5. ЗАКЛУЧОК

Со изработениот и усвоен проект за санација и за рекултивација на старото јаловиште на рудникот „Злетово“ – Пробиштип, Министерството за животна средина и просторно планирање ја оствари својата приоритетна цел за изработка на соодветна техничка документација.

Авторите ги поддржуваат понатамошните напори на Министерството за животна средина и просторно планирање за изнаоѓање потребни финансиски средства за реализација на проектното решение.

Со реализацијата на проектот ќе се реши еден многу акутен проблем на Пробиштип, како од аспект на еколошка закана на тој локалитет, така и од аспект на оплеменување и соодветно користење на тој простор.

### **Користена техничка документација**

[1] Студија за санација и рекултивација на старото јаловиште на РОЦ „Злетово“ - Пробиштип, Градежен Институт Македонија/2006 година,

[2] Елаборат за извршените хидрогеолошки истражни работи и испитувања, изработен од Градежен Институт Македонија, со тех. бр. 0903-372/13-1, Книга 1,

[3] Елаборат за извршените геомеханички теренски истражни работи и лабораториски испитувања, изработен од Градежен Институт Македонија, тех. бр.0903-372/13-2, Книга 2,

[4] Идеен и Анекс на Идеен проект за санација и рекултивација на старото јаловиште на РОЦ „Злетово“ - Пробиштип, тех. бр. 158-06-09, Книга 1,

[6] Основен проект за санација и за рекултивација на старото јаловиште на РОЦ „Злетово“ – Пробиштип, техн. бр. 158/1-10-09.

[5] Изведбен проект за санација и за рекултивација на старото јаловиште РОЦ „Злетово“ - Пробиштип, тех. бр. 158/1-10-09.



## **БИМЕЛИОРАЦИСКА РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО ТОПОЛНИЦА ВО РУДНИКОТ БУЧИМ - РАДОВИШ**

<sup>1)</sup>Николајчо Николов, <sup>2)</sup>Герасим Конзулов, <sup>3)</sup>Живко Гоцев  
<sup>1), 2), 3)</sup> Рудник “Бучим”, Ул.Маршал Тито б.б., Радовиш, Македонија  
E-mail: nikolov.n@bucim.com.mk

### **Резиме :**

Целта на овој труд е да ги сублимира активностите превземени на хидројаловиштето на рудникот БУЧИМ – Тополница, неговото уредување и подобрување на заштитата на животната средина. БУЧИМ е единствениот рудник во РМ, во кој се врши ископ и преработка на бакарна руда до бакарен концентрат. Пуштен е во работа во 1979 год., кога започнува и одлагањето на флотациска јаловина, чија висина во 2012 достигна 124 метри.

Хидројаловиштето се гради во реката Тополница, при што самото речно корито е преградено со почетна-иницијална насипна земјена брана со висина од 40 метри, над која е извршена изградбата на постојната јаловинска песочна брана, чија вкупна површина изнесува 48 хектари. Бидејќи јаловината како прозивод на флотацијата е со многу ситна фракција, а се одлага на отворен простор изложен на ветрови, хидројаловиштето претставува потенцијален загадувач на воздухот. Иако хидројаловиштето формира песочна брана и езеро со над 3 млн м<sup>3</sup> вода, поради квалитетната изведба и постојаната грижа, се покажа дека ова езеро не претставува загадувач на водите.

За да се заштити животната средина, во 1997 год. е почната првата рекултивација на песочната брана, при што се пошумени 17 Ха површина и засадени над 40.000 дрвца, кои покрај заштитата на ЖС, поволно влијаат и на стабилноста на самата песочна брана. Во периодот од 2006 до 2011 година, заса-дени се нови 45.000 дрвца на површина од 15 Ха, со комплетно уредување на површината и целосно решавање на системот за наводнување, како и квасење на активниот дел од површината од браната.

Со ваквиот начин на рекултивација, се смета дека изворот на загадување на воздухот е решен .

Според расположливите податоци, заклучно со 2012 год., на песочната брана е складирано над 110 млн тони јаловина од флотацијата.

## 1. ВОВЕД

Целта на овој труд е да ги сублимира активностите превземени на хидројаловиштето *Тополница*, за негово уредување и подобрување на заштитата на животната средина во периодот од почетокот на работа до денес, со посебен осврт на денешната состојба на ова хидројаловиште.

Рудникот Бучим е сеуште единствен рудник во Р.Македонија, во кој се врши ископ и преработка на бакарна руда до бакарен концентрат, кој содржи 21% бакар и 10-15 гр/тон злато. Самиот рудник, со погонот флотација е пуштен во работа во 1979 година, кога е и започнато одлагањето (депонирањето) на флотациска јаловина, така што денес ја има достигнато висината од 124 метри (642 мнв). Со основниот проект, избрано е да хидројаловиштето на рудникот Бучим се гради во реката Тополница, со правец на простирање исток-запад. Самото речно корито е преградено со почетна – иницијална насипна земјена брана со висина од 40 метри, над која е извршена изградбата на постојаната јаловинска песочна брана, најпрвин низводно до кота 610 мнв, а потоа надвишена возводно до кота 642 мнв (проектирана 654 мнв). Вкупната површина на браната од хидројаловиштето изнесува 48 хектари и тоа : 38 хектари се на низводната јужна падина, 2 хектари припаѓаат на круната од браната, а 8 хектари се на северната страна (спрема таложното езеро).

Бидејќи јаловината како производ на флотацијата е со многу ситна фракција (под 1 мм), а се одлага на отворен простор, кој поради географската положба е изложен на влијанието на ветровите, логично е што самото хидројаловиште претставува потенцијален загадувач на воздухот, што било и една од причините комбинатот Бучим да биде прогласен за една од „жешките точки“ во РМ од аспект на загадувач на животната средина.

Иако хидројаловиштето формира песочна брана и езеро со над 3 млн м<sup>3</sup> вода, со среден Рн вредност од 9,5 до 10,5, поради квалитетната изведба и постојаната грижа за правилна функција на истото, во пракса се покажа дека ова езеро не претставува загадувач на водите. Редок, но реален е податокот дека во горните делови на самата брана живее риба-сом и други речни животни.

Како што беше спомнато, поради големата површина на пасивниот дел на браната и поради многу ситната фракција и влијанието на ветровите, со цел да се заштити животната средина, во 1997 е почната првата рекултивација на песочната брана, која е продолжена и во 1998 година, при што се пошумени 17 Ха површина и засадени се над 40.000 дрвца, главно багрем и малку чемпрес, со претходно нанесување на плодна земја врз песочната површина со дебелина од мин.20 см и плодна почва околу корените на дрвцата. Во овој период се засадени над 40.000 дрвца, кои се сочувани во добра состојба до денес, а покрај заштитата на ЖС поволно влијаат и на стабилноста на самата песочна брана.

Во периодот од 2006 до 2011 година продолжени се активностите околу рекултивацијата на песочната брана и засадени се нови 45.000 дрвца(багрем,чепрес и др), на површина од 15 Ха, сега со подобар распоред на истите(2x1м), со подебела земјина почва и комплетно уредување на површината и целосно решавање на системот на наводнување, како и квасење на активниот дел површината од браната.



Слика 1. Наводнување со БУМ систем на веќе рекултивирани површини – 2010 год.

На овој начин се смета дека проблемот е наполно решен и во колку се продолжи, а тоа и се планира, изворот на загадување на воздухот може да се смета за решен.

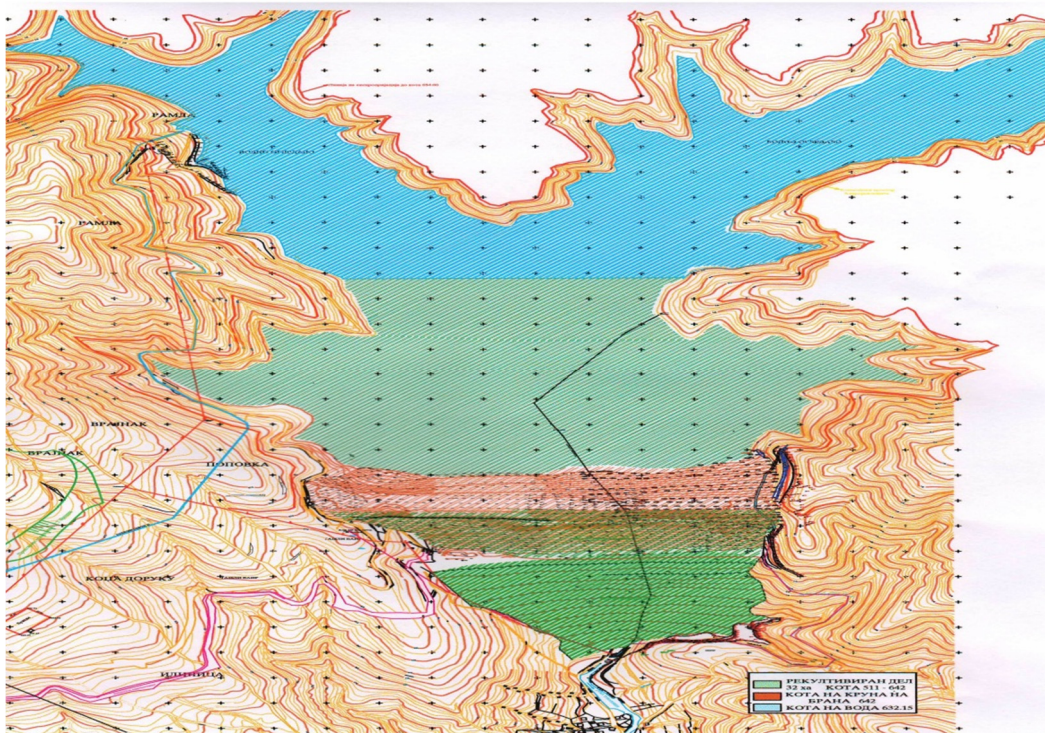
Според расположливите податоци, заклучно со 2012 година, на песочната брана е складирана над 110 млн тони јаловина од флотацијата.



Слика 2. Рекултивирани површини до кота 642 – 2010 год.

Хидројаловиштето Тополница на рудникот Бучим е проектирано и се гради како објект за складирање-одлагање на флотациска јаловина и како објект за снабдување на флотацијата за технолошка вода, односно истото има двојна намена. Хидројаловиштето целосно е изгра-дено со флотациска јаловина, така што со хидро-циклонирање се добива производ-песок (75-80% цврста

фаза), со кој се гради круната од браната и производ-прелив од циклоните -ситна фракција (20-25% цврста фаза), кој оди во таложното езеро.



Слика 3. Ситуација на хидројаловиште Тополница, со кота на круна, кота на водено огледало и рекултивирана површина од 32 ha

Хидројаловиштето на рудникот Бучим е градено во неколку етапи и тоа:

Прва етапа на градење на хидројаловиштето е од кота 558,5 м до кота 610 м,(мнв) според проектот за развод и одлагање на флотациска јаловина на хидројаловиштето *Топо-лница*, изработен од РИ-Скопје. Според овој проект, флотациската јаловина е одлагана низво-дно, од таложното езеро до 1994 година и е депонирано – одложено вкупно 48млн тона јаловина, од кои околу 19 млн тони како песок за градење на круната и 29 млн. тони испуштено внатре во таложното езеро.

Напоредно со реализацијата на проектот за одлагање на флотациската јаловина, на хидројаловиштето се вршеше набљудување на стабилноста на браната, според проектот за техничко набљудување на хидројаловиштето *Тополница* на рудникот за бакар *Бучим*. Според овој проект, на браната се поставени 20 пиезометри, со кои се следи нивото на провирните води.

Во втората етапа на хидријаловиштето е одлагано јаловина возводно (према таложното езеро), според дополнителниот проект за развод, класирање и одлагање на јаловина до кота 630 метри, изработен од РИ-Скопје. Според овој проект е депонирана јаловина до 2002 год., при што е депонирано вкупно 28 млн. тони јаловина. Во овој период, според проектот за техничко набљудување на хидројаловиштето *Тополница*, се изработени уште 6 нови пиезометри за следење на провирните води во браната.



Слика 4. Нанесување на хумусен слој према таложното езеро

Во третата етапа, според која моментално се врши возводно градење на хидројало-виштето, одлагањето на јаловината се врши според основниот проект за развод, класирање и депонирање на флотациска јаловина до ката 654 мнв изработен од РИ- Скопје во 2006 година.

Хидројаловиштето како објект, секако претставува еден од најризичните во целиот руднички комплекс. Можното рушење ( целосно или делумно ) на овој објект би имало катастрофални последици, вклучувајќи и човечки жртви, големи материјални штети и трајни оштетувања на животната средина. Дури и при појава на помали оштетувања, кои досега се имаат случувано, можно е истекување на големи количества флотациска јаловина, што директно доведува до физичко и хемиско загадување на сите медиуми на околната средина во зоната во која истекувањето се шири.

Од овие причини хидројаловиштето има посебен третман, почнувајќи од фазата на проектирањето, неговата изградба, како и контрола на сите параметри важни за негово безбе-дно функционирање. Овие објекти согласно важечките закони се третираат како земјени брани, така што истите се проектират, градат и контролират според строги правила пропишани за овие објекти.

После реприватизацијата на „Бучим“ во 2005 година, менаџментот на рудникот му даде особено внимание на овој објект и во секоја година се издвојуваат значителни материјални сретства за правилен развој и градба на хидројаловиштето и нормално е што се видливи резултатите од оваа инвестиција.

Браната и преливните органи се дизајнирани со висок степен на сигурност, при што согласно со законските прописи се земани во предвид можните влијанија на природните фактори (земјотреси, големи поплавни води). На браната има голем број на објекти за контрола на нејзината стабилност

(пиезометри, инклинометри, тригонометри), кои се контролираат согласно проектот за оскултација и набљудување на хидројаловиштето.

Дополнително, а согласно законската регулатива, изработена е студија за поплавен бран на хидројаловиштето, во која се квантифицирани сите можни негативни влијаниа од рушење на браната, вклучувајќи анализа на зоната зафатена со ширење на полавниот бран. Во оваа студија освен ризиците од рушењето на браната детално се анализирани мерките за намалување на ризикот од вакви појави, како и процедурите за заштита и спасување на луѓето и материјалните добра во случај на ваков настан.

## 2. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО

### 2.1 ВЕГЕТАЦИЈА ВО ОКОЛИНАТА НА ЈАЛОВИШТЕТО

Природната вегетација во околината на јаловиштето е многу важен индикатор за локалните услови и нивното познавање има важна улога при изборот на дрвенестите видови за биомели-орацијата на јаловиштето. По падините од околните брда, природната шумска вегетација претставува силно деградиран стадиум – жбунови од шумската асоцијација на белиот габер со даб- благун. Оваа шумска заедница како индикатор на локалните услови претставува најтермо-филен и најксерофилен тип на асоцијација со сиромашен флористички состав. Со обзир на близината до село Тополница, шумите на овие брда биле и се перманентно под удар на стока-та и човекот, заради што се деградирани до степен на разредени жбунови, во кои доминира дабот благун. Општо земено овој тип на жбун е дел од субмедитеранската заедница на белиот габер во рамките на најнискиот и најтермофилен регионален вид, кој во Македонија се простира врз најмалите надморски височини, по потоплите падини од брдата покрај реката Вардар и нејзините притоки. Овој тип на шумска заедница се јавува како индикатор на важни еколошки услови чие познавање е многу важно при изборот на дрвенестите видови за биомелиорацијата на јаловиштето, а тоа се:

- Сиромашни почвени услови со плиток и сув почвен слој;
- Мала количина на врнежи во текот на годината;
- Долготрајни летни суши со изразито високи температурни разлики;
- Студени, долги и суви зими, со мали количини на врнежи и повремени ниски екстремни температури.

Ваквите еколошки услови во непосредната близина на јаловиштето недвосмислено укажуваат на фактот дека изборот на дрвенестите видови мора да се насочи кон видови со широка еколошка амплитуда, изразито термофилни, со јак широко разгранет корен кој освен биолошка, ќе треба да врши и механичка улога во стабилизирањето на јаловиштето. Степенот на деградација на шумската заедница исто така недвосмислено укажува на присуството на силен деградациски процес од антропогена и зоогена



природа и единствено решение за стопирање на овој процес и за заштита на биомелиорациските зафати во јаловиштето ќе биде комплетно оградување на објектот со соодветна заштитна мрежа.

## 2.2 КЛИМАТСКИ УСЛОВИ

Радовишко – Струмичкиот регион спаѓа во континентално-субмедитеранската зона на Македонија, во која се комбинираат влијанијата на субмедитеранската и источно-континенталната клима. Медитеранското влијание од југ од егејското море делумно е спречено од планинските масиви на Беласица, Огражден и Плачковица.

Според анализата на процесните средни месечни температури на воздухот, Радовишко – Струмичкиот регион се одликува со суб-високи температури, кои се признак на изменето ме-дигитеранска клима, која условува меки зими со средни температури над нулата, есента е пото-пла од пролета а летата се суви и жешки. Годишната амплитуда на температурата е потенци-рана од месниот релјеф. Заради оголеноста на околните брда, тлото преку летото силно се загрева и достигнува висока температура.

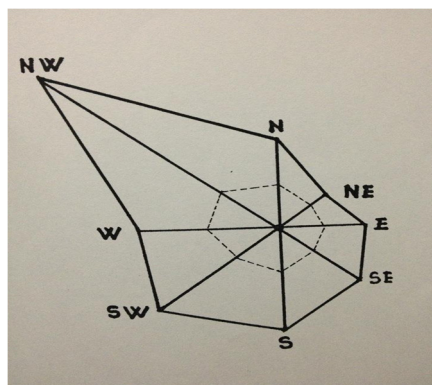
Според прегледот на месечните температури на воздухот најстуден месец е Јануари. Жешкото лето се одликува со високи максимални температури, при што скоро сите денови во периодот јули – септември имаат температура над 25<sup>0</sup> С.

Радовишко – Струмичкото регион има нешто повеќе врнежи од најсушните реони во нашата земја, заради посиленото влијание на медитеранската клима. Повеќегодишниот просек изнесува 550л/м<sup>2</sup>.

Сувото лето е последица од комбинирањето на главниот минимум на медитеранската клима и споредниот минимум на континенталната клима.

Релативната влажност и облачноста имаат сличен тек, одликувајќи се со ниска релативна влажност и облачност во лето и висока релативна влажност и облачност во зима.

Просечната годишна ружа на ветрот, на зачестените и средни брзини на ветрот е претставен на слика 5.



Слика 5. Агроемиски својства на супстратот од јаловиштето

Основните агрохемиски својства на јаловинскиот материјал се испитани со стандардни методи. Пробите за испитување на плодноста на супстратот од јаловиштето се земани од следните локации: “Круна 1”; “Стара круна 2”; “Стара круна 2-ерозија” и “Порој 3”. Од табелата се гледа дека јаловината е со слабо карбонатна до неутрална реакција (РН од 6,30 до 7,08).

Тоа значи дека почвената реакција е поволна за одгледување растенија. Хумусниот слојот на лавината е со дбелина од 0 - 30 см и е сиромашен (од 0,39 до 0,78%). Содржината на вкупниот азот во супстратот е мала, како и хумусот. Со оглед на механичкиот состав и реакцијата, супстратот спаѓа во категорија на многу сиромашни средини со достапен фосфор (0,2 – 0,4 мг на 100/гр почва). Во однос на достапен калиум, испитуваната јаловина се наоѓа помеѓу сиромашно обезбедена и средно обезбедена со достапен калиум за исхрана на растенијата.



Слика 6. Нанесување на хумосен слој према таложното езеро

Имајќи го во предвид механичкиот состав и агромеханичките својства, потребно е овој супстрат од флотациска јаловина да се ѓубри со умерени дози на азотни, фосфорни, калиумови и други ѓубрива, заради спречување на процесите на измивање.

Табела 1 – Агрохемиски својства на супстратот од јаловиштето

Локација	CaCO	Актив.вар %	РН во		Хумус %	Вкупен азот %	мг/100 гр.почва	
			НКCl	О			Р О	К О
Круна -1	1,26	1,75	7,08	8,77	0,52	0,03	0,2	10
Стара Круна - 2	2,52	1,00	6,91	0,63	0,39	0,02	0,4	10
Стара Круна - 2 ероз.	2,52	0,75	6,30	3,54	0,78	0,04	0,2	5
Пор - 3	2,52	0,50	6,40	7,28	0,34	0,02	0,2	5

Табела 2 – Просечна хемиска анализа на флотациската јаловина

Cu %	Cu (оx) %	Au g/t	Ag g/t	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %
0,015 - 0,04	0,004 - 0,007	0,08 - 0,2	0,6 - 0,8	10 - 13	60 - 70

Fe %	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> %	S %	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %	Mg O %	CaO %
3 – 5	1 – 2	0,8 – 1,2	4 - 6	2 – 3,5	1,5 – 4,5	1,5 – 3,5

Табела 3. Просечна Ситова анализа на песокот од хидројаловиштето (За оваа анализа се направени 6 проби и се добија следните резултати)

<i>m m</i>	Пр.1	Пр.2	Пр.3	Пр.4	Пр.5	Пр.6	Средна вредност
-0,833	0,36	0,10	1,3	0,76	2,8	0,57	0,98
,833+0,589	0,74	0,90	1,4	1,14	4,0	1,37	1,82
-0,589+0,417	2,76	2,00	3,54	3,12	6,83	3,53	3,63
-0,417+0,295	10,64	8,30	11,70	11,22	14,33	10,70	11,15
-0,295+0,208	18,64	15,30	16,70	18,32	23,37	15,63	17,99
-0,208+0,147	23,06	20,30	19,84	20,12	13,73	19,03	19,34
-0,147+0,104	18,46	10,58	16,10	15,90	11,77	17,63	15,07
-0,104+0,074	7,36	14,84	8,24	7,30	6,70	11,00	9,24
-0,074-0,000	18,16	28,16	21,18	22,12	16,47	20,54	21,12

### 3. ЕКОЛОШКИ И ДРУГИ НАРУШУВАЊА ОД СТРАНА НА ЈАЛОВИШТЕТО НА НЕПОСРЕДНАТА И ПОДАЛЕЧНАТА ОКОЛИНА

Флотациската јаловина со гравитациски транспорт по каналети преку пумпна станица се доведува до хидроциклони каде се врши класирање на крупната и ситната фракција. Ситната фракција заедно со водата оди во акумулацијата, додека крупната фракција служи за градење на браната. Оваа фракција има многу fina песочна структура со светло сива боја. Со обзир на нејзината стерилност, природната вегетација многу тешко се населува врз нејзе и како таква се разликува од природната околина и прави повеќе еколошки и други непогодности. Со својата светло сива боја се разликува од околната средина и дава асоцијација на пустина. Воопшто не се рекултивира по природен пат.

Специфичните физичко-механички својства на површината од јаловината создаваат посебни микро-еколошки услови, кои се одликуваат со температурни екстрими особено во летниот период. Површинскиот слој од јаловиштето се загрева многу повеќе отколку почвите во непосредната околина. Ваквите температурни екстрими се многу неповолни за опстанок на вегетацијата воопшто.

Капиларитетот помеѓу површинскиот слој и подлабоките слоеви не е континуиран, па површинскиот слој е сув и лесно подвижен особено од страна на ветрот.

Најтешкото еколошко нарушување што го предизвикува јаловиштето е прашина, која се крева при најслаби движења на воздухот и паѓа врз селото и околните ридови. Прашината создава неподносливи услови за живот, пред се на населението во селото, а потоа и на целиот жив свет (животни и растенија). Исто така поголемите ветрови го носат песокот од круната на браната и го отежнуваат нормалното градење на браната. Најчестиот правец на движење на ветровите е од северо-запад кон југо-исток, а најголемиот дел од прашина се крева од круната на браната. Според тоа, најтешкиот проблем, кој со биолошката рекултивација на јаловиштето треба да се реши е запирањето на прашина и овозможување на населението од село Тополница нормални услови за живот.

Со нанесувањето на новите слоеви на јаловина, трупот на браната од ден на ден се зголемува, а фината структура на супстратот ја прави оваа голема маса статички нестабилна. При поголеми катаклизмички промени (земјотреси, поројни дождови и сл.) може да доведе до покренување на поголеми слоеви од јаловината.

РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА МИНИСТЕРСТВО ЗА ЖИВОТНА СРЕДИНА И ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ Служба за животна средина ЦЕНТРАЛНА ЛАБОРАТОРИЈА ЗА ЖИВОТНА СРЕДИНА ул. „ 16 <sup>та</sup> Македонска бригада“ бр. 18, 1000 Скопје; тел/факс 02 32 87 904					
<b>РЕЗУЛТАТИ ОД АНАЛИЗИТЕ</b>					
<b>17. 07. - 16. 08. 2006</b>					
Лабораториска ознака на примерокот			10613	10614	
Теренска ознака на примерокот			157/2-A1	157/2-B1	
Вид на анализиран примерок			Седиментна прашина	Седиментна прашина	
Параметар	Единица мерка	Метода за анализа	МДК	Резултати од испитувањето	
pH	-	M54 ISO 10523	-	5,60	5,10
Вкупен седимент	mg/m <sup>2</sup> na den	M54 1412	300	1087,08	349,15

**Заклучок:**  
Концентрацијата на седиментната прашина на двете мерни места ја надминува границата на максимално дозволените концентрации.

**Забелешки:**  
Резултатите соопштени во овој извештај се однесуваат само на испитуваните обрасци.  
Умножувањето на овој извештај е дозволено само како целина. Делови од овој извештај не смеат да се умножуваат без писмено одобрение од Централната лабораторија за животна средина.  
Извештајот може да вклучува мислења и толкувања само ако се согласност со препораките во ISO 17025: 2005 точка 5.10.5

Страница 2 од 2

Слика 7. Резултати од седиментна прашина во село Тополница, пред започнување со припрема и рекултивација на низводната косина од круната на браната Тополница, од кота 630 до кота 642 мнв.

#### 4. ЦЕЛ НА БИОМЕЛИОРАЦИСКАТА РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА ЈАЛОВИШТЕТО

Проблемот со оштетените почви, предизвикани од работите во рударството после-дните години станува многу актуелен и во светот, а од аспект на заштита на природата станува приоритетен.

Површината оштетена со одлагањето на јаловинскиот материјал од рудникот Бучим кај Радовиш е релативно со скромни размери во однос на вкупните површини кои се оштетуваат на други начини. Биолошката рекултивација на вакви јаловини е многу сложен процес, пред се поради подвижноста на материјалот од ветрови и поради малиот процент на хранливи елементи што ги содржи јаловината.

Но и покрај тоа, биомелиорациската ревитализација на јаловиштето е една од најефикасните и трајни методи. Во нашиот случај таа се состои од подигање на тревни и шумски култури на површината од јаловиштето со што се постигнати следните ефекти:

-Механичко стабилизирање на подлагите слоеви од јаловиштето со помош на јаките, длабоки и разгранети корења од дрвните видови – багрем, како и стабилизирање на попли-тките слоеви од густата коренова мрежа на тревните видови – есперзета и троскот.

-Густиот тепих од тревните видови од круната на браната го спречува подигањето на прашина-тата кое се јавува како најголем загадувач на околината.

-Надземните делови од дрвенестите видови освен спречување на прашина ќе вршат и други функции во текот на трајната биомелиорациска ревитализација како:

-Намалување на брзината на струење на воздушните маси непосредно над јаловиштето.

-Намалување на температурните естреми во површинскиот слој од јаловиштето, со што ќе се создадат поблагопријатни микро еколошки услови за опстанок на вегетацијата.

-Органската маса што ќе паѓа секоја година од тревата и дрвата, ќе ствара мртва покривка и хумосен слој, со кој ќе започне иницијалниот стадиум од континуираниот и тран педогенетски процес на овој простор.

Табела 4. -анализа на седиментна прашина во село Тополница испод круната на браната, после комплетно рекултивирање на низводната косина на круната на браната, од кота 511 до кота 642 мнв.

СЕДИМЕНТНА ПРАШИНА		
Параметар/мерно место	TS – 1, с.Тополница	МДК
Координати на мерното место	N : 41392421	

	E : 22223741	
Период на мерење	07.06.-06.09.2012	
Вкупна седиментна прашина mg/m <sup>2</sup> ден	28,9	300
Вкупно седиментна прашина mg	35,2	
pH на растворот	6,22	
Cu , mg/m <sup>2</sup> ден	0,016	
Cu , mg	0,020	
Cu , % во седиментот	0,05	
Fe, mg/m <sup>2</sup> ден	0,074	
Fe, mg	0,090	
Fe , % во седиментот	0,25	

Со подигањето на шумските и тревни култури се промени пустинскиот амбиент на јаловиштето и истиот се вклопи во околната природна средина.

Имајќи во предвид дека биолошката рекултивација претставува долготраен, тежок и неизвесен процес, ДПТУ Бучим - Радовиш на овој проблем му посветува поголемо внимание и искуствата од првата фаза и внесување на нови видови и идеи во наредните фази доведе до успешно изведување на операцијата на ревитализација.

## ТЕМА БР.3

---

МОЖНОСТИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА КАПАЦИТЕТОТ НА ПОСТОЈНИТЕ  
ХИДРОЈАЛОВИШТА







## КОНСТРУКТИВНА СИГУРНОСТ НА ЈАЛОВИШНИТЕ БРАНИ ПРИ ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ТАЛОЖНИОТ ПРОСТОР

Љ.Петковски<sup>1</sup>, С. Митовски<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Проф. д-р, дипл. град. инж., Градежен факултет - Скопје, email:  
petkovski@gf.ukim.edu.mk

<sup>2</sup> М-р, Дипл. град. инж., Градежен факултет - Скопје, email: smitovski@gf.ukim.edu.mk.

### Резиме

Сличностите меѓу јаловишните брани и насипните брани (за формирање водни акумулации) придонесоа голем број процедури, постапки и техники, при проектирањето, градбата и одржувањето на насипните брани, да се применуваат и кај јаловишните брани. Сепак, бројните извештаи за хаварии кај јаловишните брани во последните три децении, секаде во светот, па и кај нас, упатуваат на заклучок дека конструктивната (статичка и динамичка), филтрационата, хидролошката и хидрауличката сигурност не биле контролирани со иста строгост како за насипните брани. Овој факт, делумно, произлегува од долготрајната изградба на јаловишни брани, при што како градежен материјал се користи песок добиен со сепарирање на јаловината во тек на експлоатација на јаловиштето. За жал, главната разлика меѓу конвенционалните насипни брани и јаловишните брани се засилува кај решенијата со кои се зголемува капацитетот на таложниот простор на хидројаловиштата. Целта на ова истражување е да се идентификуваат причините за евентуално намалување на конструктивната сигурност на јаловишните брани и да се систематизираат сознанијата стекнати при процена на стабилноста на овие конструкции, при фазна надградба за проширување на капацитетот на таложното езеро.

**Клучни зборови:** јаловишни брани, статичка и динамичка анализа.

## STRUCTURAL SAFETY OF TAILING DAMS AT INCREASING OF DEPOSIT SPACE

### Summary

The similarities between tailing and embankment dams have contributed many procedures, techniques and approaches at designing, construction and maintenance of embankment dams to be applied at tailing dams. However, numerous reports on accidents at tailing dams in the last three decades worldwide and here are leading to conclusion that structural (static and dynamic), seepage, hydrologic and hydraulic safety were not verified at same level as for embankment dams. This fact partially is a result of long-lasting construction period of tailing dams whereas material is used sand obtained by separation of the tailing during tailing dam service. Unfortunately, the main difference between conventional embankment dams and tailing dams is amplified at cases of increasing of deposite space of tailing dams. The aim of this research is to identify the reasons on eventual of the structural safety of tailing dams and to systemize the acknowledgments obtained at safety estimation of these type of structures at stage construction and expanding of the capacity of the deposite lake.

**Key words:** tailing dams, static and dynamic analysis.

## 1. ВОВЕД

Хидројаловиштата претставуваат комплексни инженерски објекти, кои се состојат од иницијална брана, песочна брана, таложно езеро, дренажен систем, водоспроводници за одведување на избистрена вода и објекти за заштита од надворешни води (осреднети и поплавни бранови). Јаловиштата, од една страна, поради бројните објекти од кои се составени, треба да бидат проверени за поголем број сигурности, а, од друга страна, поради огромниот волумен на таложното езеро, претставуваат насипни конструкции со највисок потенцијален ризик за опкружувањето. Поради огромното значење на хидројаловиштата, еден од техничките комитети на ICOLD е токму за јаловишни брани и за таложни езера (ICOLD Committee on Tailings dams and Waste Lagoons), кој има публикувано 10 билтени, [1]-[10]. Овде ќе подвлечеме дека Меѓународната комисија за големи брани (ICOLD) е невладина организација која обезбедува форум за размена на знаења и на искуство меѓу професионалците од инженерството за брани. Оваа влијателна комисија, која е меѓу најстарите и најголеми технички здруженија, е основана во 1928 година и има национални комитети од повеќе од 90 земји со околу 10.000 поединечни членови. Мисијата на ICOLD е да ја води професијата од инженерство за брани во поставување стандарди и насоки, со кои ќе се осигури дека браните се изградени и работат безбедно, ефикасно и економично, а воедно и дека хидросистемите составени од брани со акумулации се еколошки одржливи и општествено правични. Во моментот, ICOLD има 19 технички комитети што се занимаваат со проблематика поврзана со развој и со управување на водните ресурси. Сознанијата од научно-истражувачката работа на овие комитети се систематизирани во 158 издадени технички билтени.

Сличностите меѓу јаловишните брани и насипните брани (за формирање водни акумулации) придонесоа голем број процедури, постапки и техники, при проектирањето, градбата и одржувањето на насипните брани, да се применуваат и кај јаловишните брани. Сепак, бројните извештаи за хаварији кај јаловишните брани во последните три децении, секаде во светот, па и кај нас, упатуваат на заклучок дека конструктивната (статичка и динамичка), филтрационата, хидролошката и хидрауличката сигурност не биле контролирани со иста строгост како за насипните брани. Овој факт, делумно, произлегува од долготрајната изградба на јаловишни брани, при што како градежен материјал се користи песок добиен со сепарирање на јаловината во тек на експлоатација на јаловиштето.

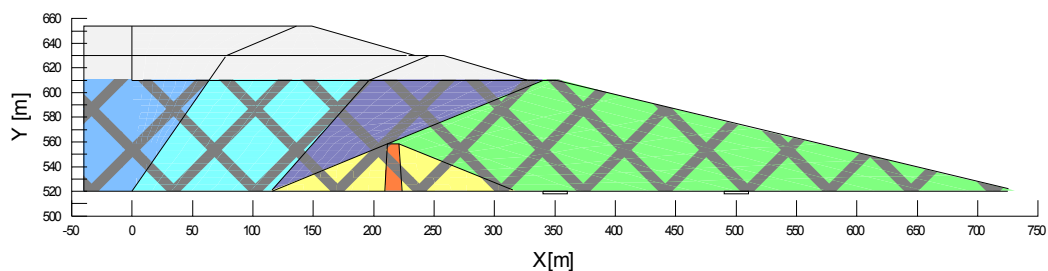
Поради долгиот период на градба, пристапот кај конвенционалните брани за потврда за коректно комплетирање - со целосен надзор на изградбата, контрола на првото полнење на акумулацијата и процена на регуларното однесување на браната со изведените параметри преку споредба со податоците од оскултацијата - најчесто целосно не се применува кај јаловишните брани. За жал, оваа главна разлика меѓу конвенционалните насипни брани и јаловишните брани се засилува кај решенијата со кои се

зголемува таложниот простор на хидројаловиштата. Целта на ова истражување е да се идентификуваат случаите за намалување на конструктивната сигурност на јаловишните брани, како и да се систематизираат сознанијата стекнати при процена на стабилноста на овие конструкции при надградба за проширување на капацитетот на таложното езеро. Во натамошниот текст, излагањето ќе биде илустрирано со податоци од истражувањето на конструктивната сигурност при зголемување на капацитетот на јаловишните брани: (1) „Бучим“ – надвишување со возводно напредување и (2) „Сага 3\_2“ – надвишување со низводно напредување.

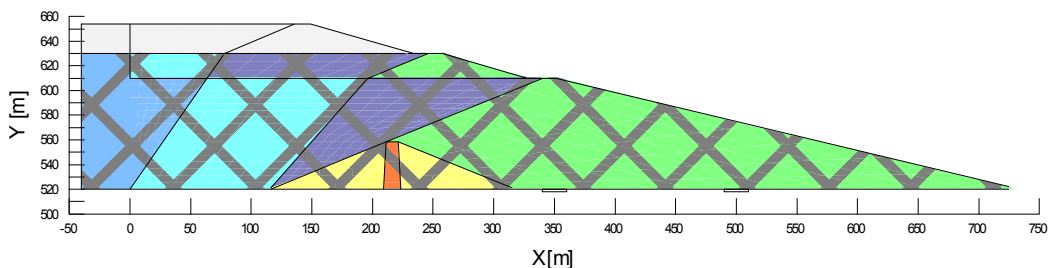
## 2. „Бучим“ – НАДВИШУВАЊЕ СО УЗВОДНО НАПРЕДУВАЊЕ

Хидројаловиштето „Тополница“ на рудникот за бакар „Бучим“ – Радовиш се добива со одлагање на флотациската пулпа. Со методот на хидроциклонирање на пулпата, од песокот се формира низводна песочна брана, а преливот од хидроциклоните (а понекогаш и нециклонираната јаловина) се испушта во узводното таложно езеро. На тој начин, во таложното езеро се извршува механичко исталожување на најситните честици и хемиско прочистување на употребените реагенси, присутни во јаловината.

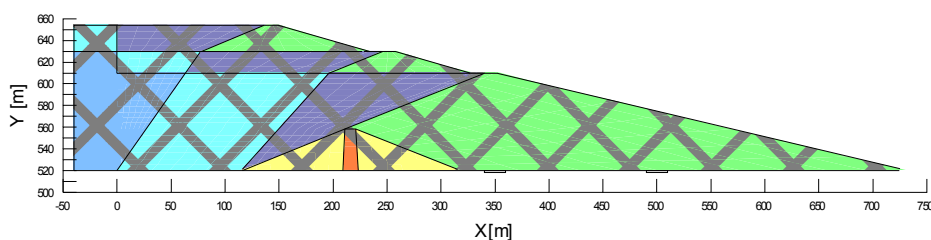
Изградбата на песочната брана во почетната фаза, до кота 610 mnv (I фаза), се изведувала во коси слоеви, со напредување во низводен правец од иницијалната брана, [слика 2.1](#). Потоа, градбата на песочната брана до постојната кота 630 mnv (II фаза, етапа 1), поради близината на селото Тополница до низводната ножица на браната, се изведувала со насипување во узводен правец, [слика 2.2](#). Во крајната фаза е усвоено надвишување на круната на песочната брана, до кота 654.0 mnv (фаза II, етапа 2), со напредување во узводен правец, [слика 2.3](#).



Слика 1. Изведба на хидројаловиште до кота 610 mnv, (фаза I)

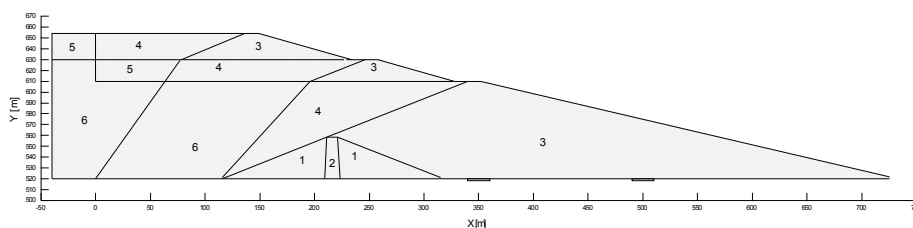


Слика 2. Изведба на хидројаловиште до кота 630 mnv, (фаза II, етапа 1)

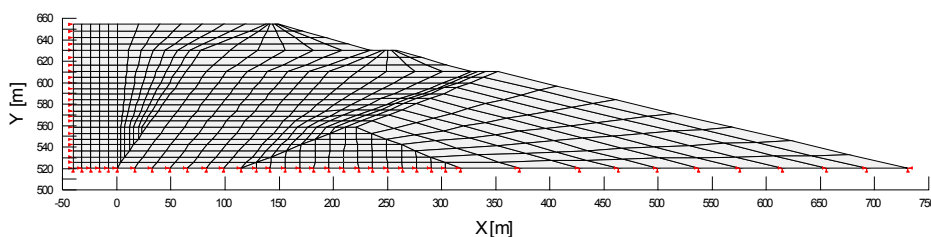


Слика 3. Изведба на хидројаловиште до кота 654 mnv, (фаза II, етапа 2)

Габаритните димензии на репрезентативниот напречен пресек за конструктивна брана (статичка и динамичка анализа) изнесуваат: должина 770.9 m и височина 134.0 m. Ова воедно е височината на јаловишната брана од круната до низводната ножица, со што браната „Бучим“ претставува највисока брана во Р. Македонија. На пример, највисоката насипна брана „Козјак“, според податоци за изведената состојба од 2001 година, има височина од круната на браната до фундаментот на јадрото од  $472.2 - 341.8 = 130.4$  m. Хетерогениот состав на хидројаловиштето е моделиран со 6 различни материјали, [слика 2.4](#). Неправилната геометрија на хидројаловиштето и нестандартниот начин на напредување е апроксимиран со 725 конечни елементи, [слика 2.5](#)



Слика 4. Модел на јаловиштето со региони за 6 различни материјали. 1 и 2 - чакал во тело и глина во јадро на иницијална брана, 3 - песок од хидроциклонирање во песочни брани, 4,5 и 6 - песочлива муљ, муљевит песок и муљ во таложно езеро



Слика 5. Дискретизација на средината со МКЕ (N=725, E=687)

Од статичката анализа на браната „Бучим“ [\[11\]](#) може да се издвојат следниве заклучоци:

- Во тек на градба, во рамките на регуларно однесување на хидројаловиштето, во низводните ивици на песочните брани може да се третираат: (1) вертикални поместувања:  $\geq (-50)$  cm за кота 610 mnv,  $\geq (-35)$  cm за кота 630 mnv и  $\geq (-30)$  cm за кота 654 mnv; и (2) хоризонтални поместувања:  $\leq (+50)$  cm за кота 610 mnv,  $\leq (+45)$  cm за кота 630 mnv и  $\leq (+20)$  cm за кота 654 mnv.

- б) Во постексплоатационата фаза, во рамките на нормалното однесување на хидројаловиштето, во круните на песочните брани може да се добијат: (1) вертикални поместувања: (- 35 ÷ - 0) cm за кота 610 mnv, (- 30 ÷ + 30) cm за кота 630 mnv и (- 90 ÷ + 25) cm за кота 654 mnv; и (2) хоризонтални поместувања: (- 35 ÷ + 40) cm за кота 610 mnv, (+ 20 ÷ + 60) cm за кота 630 mnv и (+ 5 ÷ + 25) cm за кота 654 mnv.
- в) Пресек, со најголем порен притисок, генериран за стационарна филтрација за  $K_{гв} = 652.0$  mnv. Коефициентите на сигурност пресметани со метод на гранична рамнотежа изнесуваат од 2.9 до 3.1 и покажуваат дека стабилноста против лизгање на низводната косина е многу поголема од потребната. Овие вредности за апроксимација на хидродинамичкиот притисок со исклучително високи вредности на бездимензионалниот коефициент на порен притисок (за да се добијат резултати на страна на сигурноста) се во интервал од 2.5 до 2.6. Факторот на стабилност пресметан со реализираните напрегања (добиени со примена на метод на конечни елементи) е во граници од 2.6 до 3.0. Овие податоци недвосмислено зборуваат дека хидројаловиштето е беспрекорно стабилно во статички услови.
- г) Максималното спуштање на круната на песочната брана на кота 654.0 mnv, предизвикано од целосната дисипација на консолидациониот притисок, определено од резултатите добиени од анализите со тотални и со ефективни напрегања, изнесува (-70 ÷ - 90) cm. Иако, според нас, поверојатна е состојбата на трансформација на консолидациониот порен притисок (добиен со суперпозиција на товарењето од погорните слоеви и узводното водозаситување на таложното езеро), во стационарен филтрационен притисок. За ваква состојба доаѓа до пораст на порниот притисок, смалување на ефективните напрегања и подигнување на круната на кота 654.0 mnv, за вредност (+20 ÷ + 25) cm. Поради сигурност, имајќи го предвид и течењето на материјалот, што не е опфатено со предметниве анализи, сепак се препорачува надвишување над круната на песочната брана од 1.0 м. Ова надвишување од 1.0 m е потребно како сигурност поради слегнувањата во круната на кота 654.0 mnv, во постексплоатациониот период. Надвишувањето од 1.0 m во средишниот пресек се намалува линеарно до вредност 0.0 m кај страните од речната долина.

Од динамичката анализа на браната [12] може да се издвојат следниве заклучоци:

- а) Од споредбата на динамичкиот засилувачки фактор, (DAF – Dynamic Amplification Factor), каде што  $DAF = PCA / PGA$ , каде што PCA – Peak Crest Acceleration е врвно забрзување во круната на браната и PGA – Peak Ground Acceleration е врвно забрзување во основата (во хоризонтален правец), се забележува дека при дејство на умерени земјотреси  $DAF_{max} = 1.3$  (1.2) соодветно за коти 610 и 654 мнв, додека за катастрофални земјотреси  $DAF_{max} = 1.2$  (1.1). Смалувањето на DAF со порастот на PGA

се должи на намалувањето на крутоста (и зголемување на придрушувањето) со порастот на нелинеарните деформации – пропорционални на силината на земјотресната побуда.

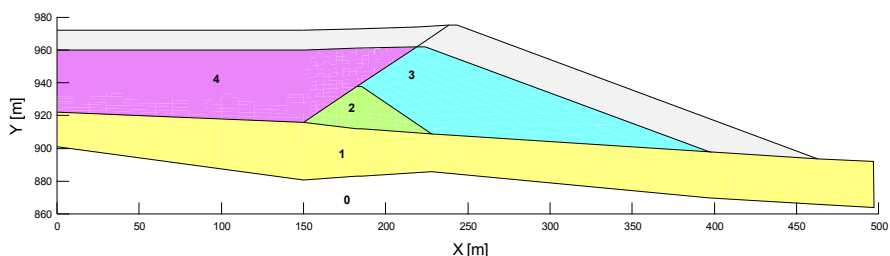
- б) Од процена на динамичката стабилност на низводната косина на браната, при дејство на МСЕ, се забележува дека минималната вредност на факторот на стабилност изнесува  $F > 1.0$ , така што при дејство на катастрофален земјотрес воопшто не би требало да се појават перманентни поместувања (предизвикани од порастот на напрегањата на смолкнување), кои би се манифестирале како надолжни пукнатини по круната (или косината) на песочната брана. Единствено при дејство на МСЕ со фреквентен состав сличен на реалниот земјотрес од Албатрос од 1979 година, за кој се добива најголем динамички амплификационен фактор за разгледуваната насипна конструкција, може да се очекуваат перманентни поместувања од 3.5 cm.
- в) Под дејство на ОВЕ и МСЕ земјотреси е можна појава на ликвидација на јаловишниот муљ во таложното езеро (во зоната од 630 до 652 мнв, узводно од песочната брана со круна 654.0 мнв), со пораст на порниот притисок до  $dP_w = 146.4$  kPa. Меѓутоа, композицијата на напречниот пресек на јаловиштето, условена од усвоената технологија на напредување на песочната брана од фаза I (во низводен правец), обезбедува да не се намали стабилноста на низводната косина, под дејство на натпритисокот кај ликвидабилниот материјал – непосредно по земјотресното дејство. Со бавниот хидродинамички процес на дисипација на овој натпритисок во порите на јаловишниот муљ, (до повторното востановување на иницијалниот стационарен режим) може да се очекуваат следниве поместувања во круната на браната – слегнување од 7.5 cm и хоризонтално узводно поместување од 5.5 cm.

### 3. „САСА 3\_2“ – НАДВИШУВАЊЕ СО НИЗВОДНО НАПРЕДУВАЊЕ

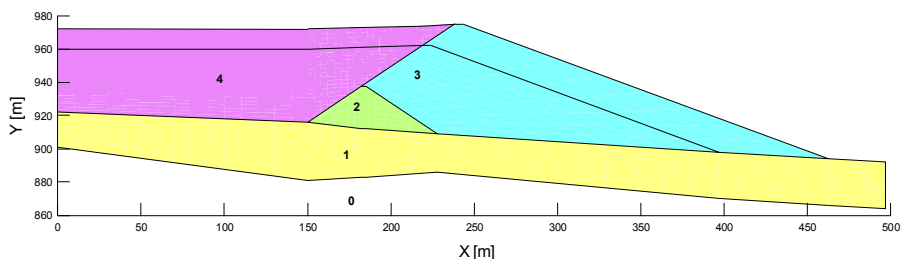
Јаловиштето на рудникот „Саса“ во М. Каменица служи за одлагање на флотациската пулпа (јаловина) добиена со технолошкиот процес - флотација на минералите олово и цинк од рудата. Флотациската јаловина се доведува до јаловиштето преку пулповод гравитационо, каде што пред депонирањето со хидроциклонирање се класира на два производа: (1) песок, со кој, со природно одлагање, се изведува низводната брана на јаловиштето и (2) муљ, со која се полни таложното езеро на јаловиштето. По долината на Саска Река се изведени поголем број хидројаловишта, а во моментов е активно јаловиштето бр. 3-2. Објектите за формирање на хидројаловиштето бр. 3-2 иницијална брана, водоспроводници, опточен тунел и дренажна конструкција, за кота на езеро 960 мнв и кота на брана 962 мнв [13,14], се изведени во периодот 2006-2007 година. За зголемување на капацитетот на јаловиштето 3-2 е усвоено надвишување од кота 960 мнв до максимално можно ниво, за годишно производство од 900.000 тони руда.

Основните критериуми што се третираани при определувањето на максималното можно ниво на јаловиштето 3-2 се систематизирани како: (1) природни фактори (топографски, геотехнички, хидрогеолошки услови), (2) носив капацитет на преливниот колектор за избистрена вода, (3) можности за рационална конфигурација на водоспроводниците, и (4) параметри на постојниот пристапен пат во левиот бок на долината. Со анализа на расположливите подлоги за јаловиштето и со задоволување на претходно наведените основни критериуми, утврдено е дека максималното работно ниво на таложното езеро изнесува 972.0 мнв [15]. За што подобро да се искористи ретензиониот капацитет на езерото (односно да се добие што поекономичен траен преливен објект за сливот од Петрова Река), усвоено е максималното водно ниво при појава на поплавен бран да биде 973.5 мнв. Со усвоено надвишување над максималното ниво од 1.5 м, утврдена е кота на круна на песочната брана на 975.0 мнв.

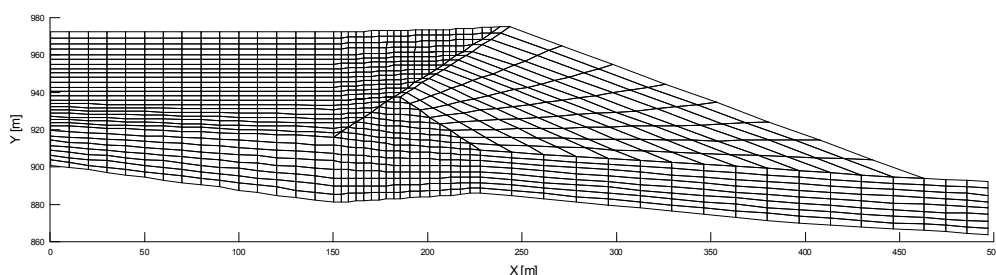
Вкупните димензии на напречниот пресек на средината (брана, јаловиште и основа со речен нанос), опфатен со геостатичката анализа, изнесуваат: 500 m должина и 100 m височина. Габаритните димензии на песочната брана 3-2 се: широчина  $B = 312.74$  m од узводна ножица на иницијална брана до низводна ножица на браната и височина  $H = 81.2$  m од круна на браната до низводна ножица на браната. Хетерогениот состав на хидројаловиштето е моделиран со 4 различни материјали, слики 3.1 и 3.2. Неправилната геометрија на хидројаловиштето и напредувањето со песочната брана во низводен правец со коси слоеви е апроксимирано со 1.181 конечни елементи, слика 3.3.



Сл. 3.1. Модел на јаловиште 3-2 со таложно езеро на кота 960 мнв, 0 - карпеста основа, 1 - депониран нанос (со променлива длабочина), 2 иницијална брана (937.5 mнв,  $b = 3.0$  m, со наклони  $m_1 = m_2 = 1.5$ ), 3 - песочна брана (962.0 mнв,  $b = 5.0$  m, со наклони  $m_1 = 1.5$  и  $m_2 = 2.7$ ), 4 - таложно езеро (960.0 mнв)



Сл. 3.2. Модел на јаловиште 3-2 со таложно езеро на кота 972 мнв, 0 - карпеста основа, 1 - депониран нанос, 2 иницијална брана, 3 - песочна брана (975.0 mнв,  $b = 5.0$  m, со наклони  $m_1 = 1.5$  и  $m_2 = 2.7$ ), 4 - таложно езеро (972.0 mнв)



Сл. 3.3. Дискретизација на средината со мрежа на конечни елементи, елементи  $E = 1181$  и јазли  $J = 1231$

Од статичката анализа на браната „Сага 3-2“ [16] може да се издвојат следниве заклучоци:

а) Вредностите за кумулативните напрегања и деформации, вертикални поместувања (- слегнување, + подигнување) и хоризонтални поместувања (- узводно, + низводно), во браната и во таложното езеро, добиени со нелинеарен конститутивен закон и во дренирани услови (со ефективни напрегања) се:

(1) во тек на експлоатацијата на хидројаловиштето (градба на браната) се: максимално вертикално поместување од - 95 cm (во средина на песочната брана кон низводната косина на иницијалната брана), максимални хоризонтални поместувања (- 1 ÷ + 61) cm, максимални вкупни напрегања од 1763 kPa;

(2) во постексплоатациониот период се анализирани две гранични сценарија: (I) во таложното езеро се одржува водно ниво на кота 972.0 m<sub>niv</sub> (поради природен дотек од боковите на долината) и (II) трансформација на консолидациониот притисок при градба на јаловиштето во недренирани услови до иницијална водозаситеност на речниот нанос - пред градба на јаловиштето - во случај на долготраен сушен период. Со анализа на резултатите од овие 2 филтрациони сценарија, за регуларно однесување на хидројаловиштето, може да се очекуваат поместувања во круната на песочната брана (на кота 975 m<sub>niv</sub>), хоризонтални од (- 0 ÷ - 12) cm и вертикални од: (- 6 ÷ 0) cm, а во внатрешноста на таложното езеро (на кота 960 m<sub>niv</sub>) вертикални од (- 6 ÷ - 25) cm.

б) Критично оптоварување, меродавно за усвојување на наклонот на низводната песочна брана, е влијанието на силни земјотреси затоа што со усвоениот низводен нагиб  $m_2 = 2.7$  се добиваат следниве коефициенти на сигурност со псеудостатичка анализа ( $F^{sf} = 1.695 > 1.5 = F_{doz}^{sf}$ ) и ( $F^{zem} = 1.009 \approx 1.1 = F_{doz}^{zem}$ ).

в) Со анализа на факторот на стабилност - во зависност од реализираните напрегања (естимирани со методот на конечни елементи - МКЕ) - се добива следниов показател на стабилноста на јаловиштето:  $F_{44} = 1.782$ , за стабилност на песочната брана кога е изведена до  $Z_{br} = 975.00$  m<sub>niv</sub>, а таложното езеро е наполнето до кота  $Z_{te} = 972.00$  m<sub>niv</sub>.



Од динамичката анализа на браната „Саса 3-2“ [17] може да се издвојат следниве заклучоци:

а) Со анализа на резултатите од динамичкиот одговор се забележува дека при дејство на умерени земјотреси  $DAF = 1.4 \div 1.6$ , додека при катастрофални земјотреси  $DAF = 0.9 \div 1.3$ . Реална процена за крутостните карактеристики на материјалите би можело, единствено, да се добие преку оскултација на браната во експлоатација, со поставување акцелерографи во круната на браната и на карпестата основа кај низводната ножица (во бокот на долината), за регистрирање акцелерограми од евентуален силен земјотрес кој би се случил во иднина. Ваквите податоци би биле драгоцени за потврдување на вредностите добиени со предметна динамичка анализа, каде што во математичкиот модел на јаловиштето се вклучени бројни неизвесности и претпоставки.

б) При дејство на МСЕ се забележува дека минималната вредност на факторот на стабилност изнесува  $F = 1.0$ , така што при дејство на катастрофален земјотрес воопшто не би требало да се појават перманентни поместувања (предизвикани од порастот на напрегањата на смолкнување), кои би се манифестирале како надолжни пукнатини по круната (или косината) на песочната брана.

в) Со апроксимативна пресметка на поместувањата во круната на браната, поради дополнителното збивање и смалување на крутоста на локалните материјали изложени на циклично дејство, кај круната на браната, под дејство на МСЕ, се проценети на околу 0.34 m вертикално слегнување.

г) Под дејство на земјотрес е можна појава на ликвидација во водозаситените зони на јаловишниот муљ во таложното езеро и на јаловишниот песок во браната (при евентуално зачепување на дренажната конструкција), со пораст на порниот притисок до  $dP_w = 400 \text{ kPa}$ , под дејство на МСЕ. Меѓутоа, композицијата на напречниот пресек на јаловиштето, условена од усвоената технологија на напредување на песочната брана (во низводен правец), обезбедува да не се намали стабилноста на низводната косина, под дејство на натпритисокот кај ликвидабилниот материјал – непосредно по земјотресното дејство. Со бавниот хидродинамички процес на дисипација на овој натпритисок во порите на јаловишниот муљ и песок (до повторното востановување на иницијалниот стационарен режим), во круната на браната може да се очекува слегнување од 40 cm и хоризонтално узводно поместување од 10 cm.

#### 4. ЗАКЛУЧНИ РАЗГЛЕДУВАЊА

Врз основа на спроведените истражувања за состојбата на напрегања и деформации на хидројаловиштата на рудниците „Бучим“ – Радовиш и „Саса“ - М. Каменица, во услови на надградба на песочните брани со цел да се зголеми капацитетот на таложните езера, може да се издвојат следниве констатации. Јаловишните брани со усвоените геометрии и распореди на

локалните материјали ги задоволуваат критериумите за филтрациона и статичка сигурност [18,19]. Оваа сигурност, од механички и хидраулички аспект, е обезбедена во фаза на користење на јаловиштата и во постексплоатациона фаза - долготрајно задржување на максималните (или завршните) коти на круните на браните. Овие хетерогени геосредини поседуваат задоволителна сеизмичка отпорност [20,21,22], односно нема нарушување на динамичката стабилност на песочните брани – ниту во тек на земјотресната побуда ниту непосредно по неа. Со поместувањата предизвикани од катастрофален земјотрес не се исцрпуваат височините од круните на браните до највисоките нивоа на јаловишен јаловишната муљ во езерата, така што не постои опасност од нагло истекување на муљот од таложните езера.

Во предметниот реферат беше третирана стабилноста на јаловишните брани со узводен и низводен начин на надградба, разгледувани како изолирани насипни конструкции. Доколку се работи за повеќедимензионален систем на хидројаловишта по долина на река, како што е примерот со јаловиштата на Саска Река, тогаш од посебен интерес е стабилноста на песочните брани кои се во зона на филтрационо влијание на активното таложно езеро. Имено, јаловиштето на рудникот „Саса“, сè додека се користи јаловиштето 3\_2, односно додека се задржува одредено водно ниво во таложното езеро, преку филтрациониот процес влијае врз стабилноста на низводната песочна брана 3\_2 и на узводната песочна брана 3\_1. Основниот параметар на песочните брани со кои се обезбедува прифатливата стабилност (за материјали со одредени јакосни карактеристики) е наклонот на низводната косина. Овој наклон, за двете брани, е определен со претпоставка за правилно функционирање на дренажниот систем (изведен во низводниот дел на браната). Со дренирање на водата, која се филтрира низ јаловиштето, се обезбедува да нема филтрационен порен притисок во низводниот дел на браната, односно високи ефективни напрегања и задоволителна тангенцијална отпорност на конструкцијата. Затоа, доколку капацитетот за таложење се зголемува со изградба на ново низводно јаловиште, тогаш е потребно да се провери и докаже стабилноста и на узводната брана, за критични филтрациони сценарија [23], односно за нефункционирање на нејзиниот дренажен систем и максимално подигнување на котата на долна вода или најголема заполнетост во низводното таложно езеро. Тука треба да се истакне дека стабилноста на узводната брана треба да биде обезбедена не само во статички услови на оптоварување, туку и при дејство на силни земјотреси, каде што во водозаситениот (недоволно збиен и некохерентен) песок во телото на браната е можна појава на ликвидација.

## литература

- [1] ICOLD, 1982, Bulletin 45, Manual on tailings dams and dumps
- [2] ICOLD, 1989, Bulletin 74: Tailings Dam Safety Guidelines
- ICOLD, 1994, Bulletin 97: Tailings Dam - Design of Drainage

ICOLD, 1995, Bulletin 101: Tailings Dams, Transport, Placement and Decantation - Review and Recommendations

ICOLD, 1995, Bulletin 98: Tailings Dams and Seismicity - Review and Recommendations

ICOLD, 1996, Bulletin 103: Tailings Dams And Environment - Review and Recommendations

ICOLD, 1996, Bulletin 104: Monitoring of Tailings Dams - Review and Recommendations

ICOLD, 1996, Bulletin 106: A Guide to Tailings Dams and Impoundments - Design, Construction, Use and Rehabilitation

ICOLD, 2001, Bulletin 121: Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences - Lessons Learnt From Practical Experiences

ICOLD, 2011, Bulletin 139, Improving tailings dam safety - Critical aspects of management, design, operation and closure

Градежен факултет – Скопје, 2005, 04, Анализа на напрегања, деформации, филтрација и статичка стабилност на хидројаловиштето „Тополница“, на рудникот „Бучим“ – Радовиш, при изведба на песочната брана од 630 до 654 мнв, Љ. Петковски, В. Витанов, Љ. Танчев, Ј. Папиќ;

Градежен факултет – Скопје, 2007.05, Студија за остварениот квалитет на сеизмичката заштита на хидројаловиштето „Тополница“, на рудникот „Бучим“ – Радовиш, при изведба на песочната брана од 630 до 654 мнв, Љ. Петковски, В. Витанов, Љ. Танчев

Градежен факултет – Скопје, 2006.03, Основен проект за хидројаловиштето на рудникот „Саса“ – М. Каменица за фаза II до кога 960 мнв, Дел 2 – Јаловиште - концепција, функционалност, стабилност, Љ. Петковски, В. Витанов, Љ. Танчев, М. Јовановски, А. Панов

Градежен факултет – Скопје, 2006.05, Основен проект за хидројаловиштето на рудникот „Саса“ – М. Каменица за фаза II до кога 960 мнв, Дел 4 - Дополнителни проекти кон основниот проект, Книга 4.3 - Студија за остварениот квалитет на сеизмичката заштита на објектот, Љ. Петковски, В. Витанов, Љ. Танчев, М. Јовановски

Градежен факултет – Скопје, 2010.02, Основен проект за надвишување на хидројаловиштето бр. 3, фаза II, на Рудник Саса“ ДООЕЛ – М. Каменица, од кога 960 мнв до максимално можно ниво, за годишно производство од 900,000 t руда, Книга 2.3. Водоспроводници за површински и дренирани води, Љ. Петковски (одговорен проектант), В. Витанов и други

Градежен факултет – Скопје, 2010.02, Основен проект за надвишување на хидројаловиштето бр. 3, фаза II, на Рудник Саса“ ДООЕЛ – М. Каменица, од кога 960 мнв до максимално можно ниво, за годишно производство од 900,000 t руда, Книга 2.2. Статичка анализа на јаловиштето, Љ. Петковски (одговорен проектант), В. Витанов и други

Градежен факултет – Скопје, 2010.02, Основен проект за надвишување на хидројаловиштето бр. 3, фаза II, на рудникот „Саса“ – М. Каменица, од кога 960 мнв до максимално можно ниво, за годишно производство од 900,000 t руда, Книга 3.1. Динамичка анализа на јаловиштето, Љ. Петковски (одговорен проектант), В. Витанов и други

Петковски Љ., 2006. „Примена на нумеричкото моделирање во истражување на одговорот на хидројаловиштата од статички оптоварувања“, реферат, II Симпозиум на друштвото за геотехника на Македонија, јуни 29-30, Охрид, Зборник 246-253, "Application of numerical modeling on researches of the responses of tailings due static loads", paper, II Symposium of MAG, June 29-10, Ohrid, Proceedings 246-253;

Petkovski L., Tančev L., Mitovski S., 2007. "Staticka analiza jalovista simulacijom realne hronologije opterecenja", "Static Analysis of tailing dam with simulation of realistic chronology of loading", II Naučno Stručno Savetovanje, Geotehnički aspekti gradjevinarstva, 29.Dec.- 02.Nov. 2007, Soko Banja, Srbija, Proceedings p.83-89, CD-ROM;

Petkovski L., Ilievska F., 2010.d "Comparison of Different Advanced Methods for Determination of Permanent Displacements of Tailings Dams in Earthquake Condition ", paper, 14th European Conference on Earthquake Engineering, 30.08-03.09 2010, Ohrid, R.Macedonia, paper #1511, CD-ROM;

Петковски Љ., 2010.b „СПОРЕДБА НА ПОСТАПКИ ЗА ПРОЦЕНКА НА ПОТЕНЦИЈАЛНА ЛИКВИФАБИЛНОСТ“, реферат, III Симпозиум на друштвото за геотехника на Македонија, јуни 24-26, Струга, Зборник 379-386, "A COMPARISON OF PROCEDURES FOR ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL", paper, III Symposium of MAG, June 24-26, Struga, Proceedings 379-386;

Петковски Љ., Илиевска Ф., 2010.c „ПРОЦЕНКА НА ДИНАМИЧКИОТ ОДГОВОР НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА ПРИ ДЕЈСТВО НА СИЛНИ ЗЕМЈОТРЕСИ“, реферат, III Симпозиум на друштвото за геотехника на Македонија, јуни 24-26, Струга, Зборник 327-334, "ESTIMATION OF HYDRO TAILING'S DYNAMIC RESPONSE DURING THE INFLUENCE OF STRONG EARTHQUAKES", paper, III Symposium of MAG, June 24-26, Struga, Proceedings 327-334;

Градежен факултет – Скопје, 2011.01, Елаборат за проценка на стабилноста на браната 3-1 на хидројаловиштето на Рудник Саса ДООЕЛ – М. Каменица, за критични гранични филтрациони услови, Љ. Петковски (одговорен проектант) и други



## НАДВИШУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ „ТОРАНИЦА“ СО ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ

Љ. Димитриевски<sup>(1)</sup>, Д. Илиевски<sup>(2)</sup>, Љ. Костадинов<sup>(3)</sup>,  
А. Страшески<sup>(4)</sup>, Б. Фиданчев<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>Проф. д-р, дипл. град. инж., Градежен факултет, бул. Партизански одреди 24 П.Ф. 560,  
1000 Скопје; dimitrievski@gf.ukim.edu.mk;

<sup>(2)</sup>М-р, дипл. град. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче  
Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; darko@geing.com.mk

<sup>(3)</sup>М-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче  
Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; gudar@geing.com.mk

<sup>(4)</sup>Дипл. инж. по геотехника, ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул.  
Мирче Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; strasheski.a@geing.com.mk

<sup>(5)</sup>Дипл. руд. инж., ул. Васил Ѓоргов бр. 23А/5-2, 1000 Скопје, Р. Македонија;  
fidancevb@yahoo.com

### Резиме

Со рестартирањето на рудникот „Тораница“ - Крива Паланка, се почна и со активности за хидројаловиштето „Тораница“ да се усогласи со барањата за заштита на животната средина, како и со потребата од поголем акумулационен простор за одлагање на флотациската јаловина. За потребите на надвишување на хидројаловиштето е извршено проектирање на дренажен систем и габионски ѕид кај песочната брана, ободен канал кај ретензиона брана, надвишување на ретензиона брана, нов колектор, при што дренажниот систем, габионскиот ѕид и ободниот канал се изведени, надвишувањето на ретензиона брана е во фаза на надвишување, додека колекторот е планирано да се изведе во следниот период. Проектирањето и изведбата на овие објекти е извршено со користење современи материјали - геосинтетици со цел да се задоволат еколошките аспекти и стабилноста на флотациското хидројаловиште.

**Клучни зборови:** Геосинтетици, дренажа, габионски ѕид, ретензиона брана

## HEIGHTNENING OF TAILING DAM “TORANICA” BY APPLICATION OF ADVANCED MATERIALS

### Summary

By restarting of the work of mine “Toranica” – Kriva Palanka also begun activities on tailing dam “Toranica” in order to accord to requirements on environmental protection as well and with the need of increased deposit space for flotation tailing. For the needs of heightening of the tailing dam is designed drainage system and gabion wall at the sand dam, side channel at retention dam, heightening of retention dam, new collector where drainage system, gabion wall and side channel are constructed, heightening of the retention dam is on-going, while the collector is planned to be constructed in the next stage. The designing and construction of these structures is done by application of advanced materials – geosynthetics in order to satisfy the ecological aspects and stability of the tailing dam.

**Key words:** geosynthetics, drainage, gabion wall, retention dam.

## 1. ВОВЕД

Местоположбата на флотациското јаловиште „Тораница“ е на 4 km низводно од погонот флотација во долината на Крива Река, на просторот меѓу профилот Варошани и профилот Цепен Камен, кој се наоѓа непосредно по вливањето на Тораничка Река во Крива Река. Транспортот на флотациската јаловина, во вид на пулпа, до флотациското јаловиште се врши со пулповод изграден од киселинско-абразивни отпорни дебелосидни пластични цевки со дијаметар од  $\varnothing$  315 mm. Самиот факт што стратегијата на рудникот „Тораница“ е да го зголеми обемот на експлоатација во наредниот период укажува дека технолошкиот процес ќе манифестира одредени количини флотациска јаловина, а со тоа и потреба за поголем акумулационен простор за одлагање на флотациската јаловина.

За хидројаловиште „Тораница“ е подготвена документација за:

- дренажен килим кај песочна брана;
- стабилизирање и укрутување на ножицата од песочната брана - габионски сид;
- надоградување на ретензионата брана со флотациски песок;
- изработка на нов колектор.

## 2. ДРЕНАЖЕН КИЛИМ И ГАБИОНСКИ СИД

За надвишување на хидројаловиштето на рудникот „Тораница“ - Крива Паланка до кота 990 mНВ, во ножичниот дел од песочната брана се проектирани и изведени дренажен килим и габионски сид. Дренажниот килим служи за прифаќање на провирните води од циклонираниот песок, прифаќање на изворските води од ножицата на песочната брана, како и обезбедување геомеханичка стабилност на песочната брана на хидројаловиштето, додека габионскиот сид служи за стабилизирање, укрутување на песочната брана и за спречување миграција на ситни честички од јаловината со процедурните води.

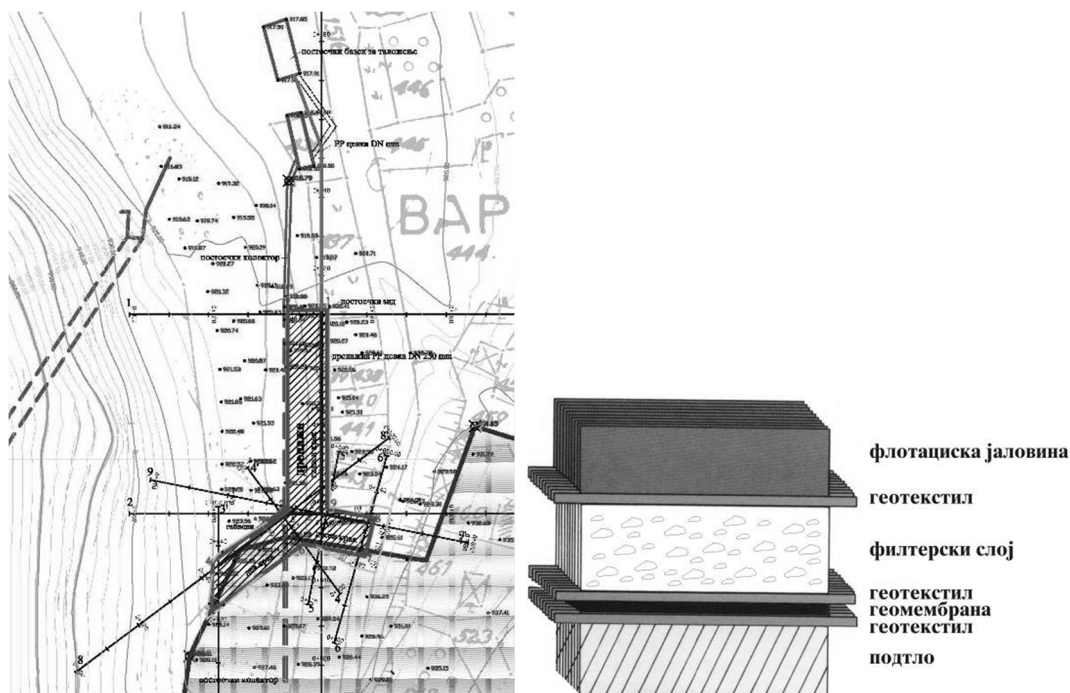
За проектирање на дренажниот килим и на габионскиот сид се применети современи материјали (геосинтетици), водејќи сметка за сите еколошки влијанија од предвидените технички решенија. Овие технички решенија претставуваат една целина со која се обезбедува сигурно одведување на процедурните води од песочната брана до таложните базени.

Дренажниот килим е проектиран и изведен од еден главен крак, кој е паралелен со колекторот, со должина од околу 50 m и два крака со должина од околу 28 m лево и со должина од околу 15 m десно од колекторот. Дренажниот килим е приближно во облик на превртена „Y“ (сл. 1). Главниот и десниот крак се проектирани комплетно во ископ. Еден дел од левиот крак е над тлото, додека другиот дел е во ископ. Левиот крак е поставен повисоко поради поминување на дренажната цевка над колекторот.

Дренажниот килим е проектиран и изведен на тој начин што на дното најпрво е поставен геотекстил  $300 \text{ gr/m}^2$  со дебелина од  $3,00 \text{ mm}$ , а потоа врз овој слој е поставена рапава геомембрана HDPE (полиетилен со висока густина), со дебелина од  $2,00 \text{ mm}$ , а врз рапавата геомембрана повторно геотекстил  $300 \text{ gr/m}^2$  со дебелина од  $3,00 \text{ mm}$ .

Над геотекстилот е поставен филтерски слој составен од 3 слоја, и тоа: прв слој од  $30 \text{ cm}$  со гранулиран филтерски материјал со фракции  $4\div 60 \text{ mm}$ , втор слој од  $30 \text{ cm}$  со гранулиран филтерски материјал со фракции  $4\div 60 \text{ mm}$  и трет слој од  $40 \text{ cm}$  со гранулиран филтерски материјал со фракции  $1\div 8 \text{ mm}$ , врз кој е извршено лесно збивање.

Филтерскиот материјал е покриен со геотекстил  $300 \text{ gr/m}^2$  со дебелина од  $3,00 \text{ mm}$  и потоа уште десетина сантиметри филтерски материјал. На слика 1 е прикажана ситуација на дренажниот килим и приказ на слоевите за дренажа.



Слика 5. Ситуација на дренажен килим и приказ на слоеви за дренажа

Улогата на геомембраната е да не дозволува поминување на провирната вода во поттлото, односно задржување на водата и потоа нејзино одведување надвор од хидројаловиштето преку дренажни цевки. Улогата на геотекстилот околу геомембраната е да ја штити рапавата геомембрана од оштетување, како од поттлото така и од филтерскиот материјал, додека улогата на геотекстилот над филтерскиот слој е да спречува поголемо продирање на ситни фракции од флотациската јаловина.

За одведување на процедурните води од флотациското јаловиште е поставен систем од дренажни полипропиленски (PP) цевки, DN 250 mm, SN16 со прорез од  $5 \text{ mm}$ , во должина од околу  $100 \text{ m}$ . Избрани се и вградени

полипропиленски (PP) цевки поради тоа што се отпорни на хемикалии, лесносвитливи и реагираат флексибилно на статички и на динамички товар. Овие цевки се обвиткани со геотекстил, низ кој се врши процедување на водата, односно се обезбедува заштита од продирање на ситни фракции од јаловината низ отворите на дренажните цевки. По поставување на слоевите од геотекстил, рапава геомембрана (сл. 2) и повторно геотекстил и поставување на дренажните полипропиленски (PP) цевки, поставен е филтерскиот материјал (сл. 3).



Слика 2. Геотекстил и геомембрана



Слика 3. Поставување филтерски материјал и финална дренажа

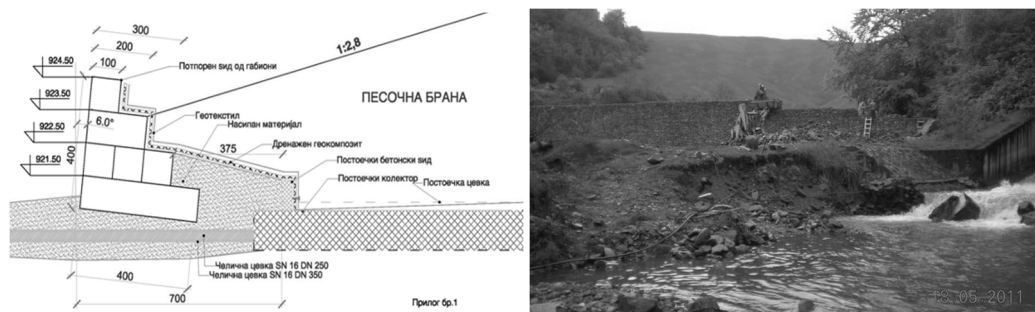
Во мај 2011 година во ножицата на песочната брана на хидројаловиштето „Тораница“ е изграден габионски ѕид со висина од 5 m. Дренажниот килим и габионскиот ѕид сочинуваат една целина со која се постигнува процедурите води од песочната брана да се собираат преку дренажниот килим и преку полипропиленски цевки да се одведуваат надвор од хидројаловиштето во таложни базени.

Габионскиот ѕид е проектиран и изведен под наклон од 6° возводно (сл. 4), во непосредна близина до дренажниот килим, со висина од 4 m од кота на терен (вкупно 5 m мерејќи од дното на ѕидот) и должина од 82 m. Ѕидот навлегува во боковите од теренот заради укрутување на ѕидот и како целина тој претставува флексибилна конструкција.

Габионите се изработени од двојно вртена челична плетена мрежа, длабоко галванизирани со галфан, со дијаметар на жицата на рабовите од 3,4 mm, додека во внатрешноста на мрежата од 2,7 mm, со тип мрежа со отвор 8x10



см и јакоост на затегање  $380\div 550 \text{ N/mm}^2$ . Габионските сегменти се полнети со кршен камен со димензии  $12\div 20 \text{ cm}$ .



Слика 4. Попречен пресек на габионски ѕид и изградба на габионски ѕид

Габионскиот ѕид е обложен со дренажен геокмпозит, кој има улога да ги зафати процедните води што би се јавувале во ножичната зона од песочната брана и на тој начин би се елиминирала можноста за појава на хидростатички притисок. Врз дренажниот геокмпозит е поставен слој од геотекстил (сл. 5) заради заштита на дренажниот геокмпозит од механички оштетувања.



Слика 5. Габионски ѕид во финална фаза

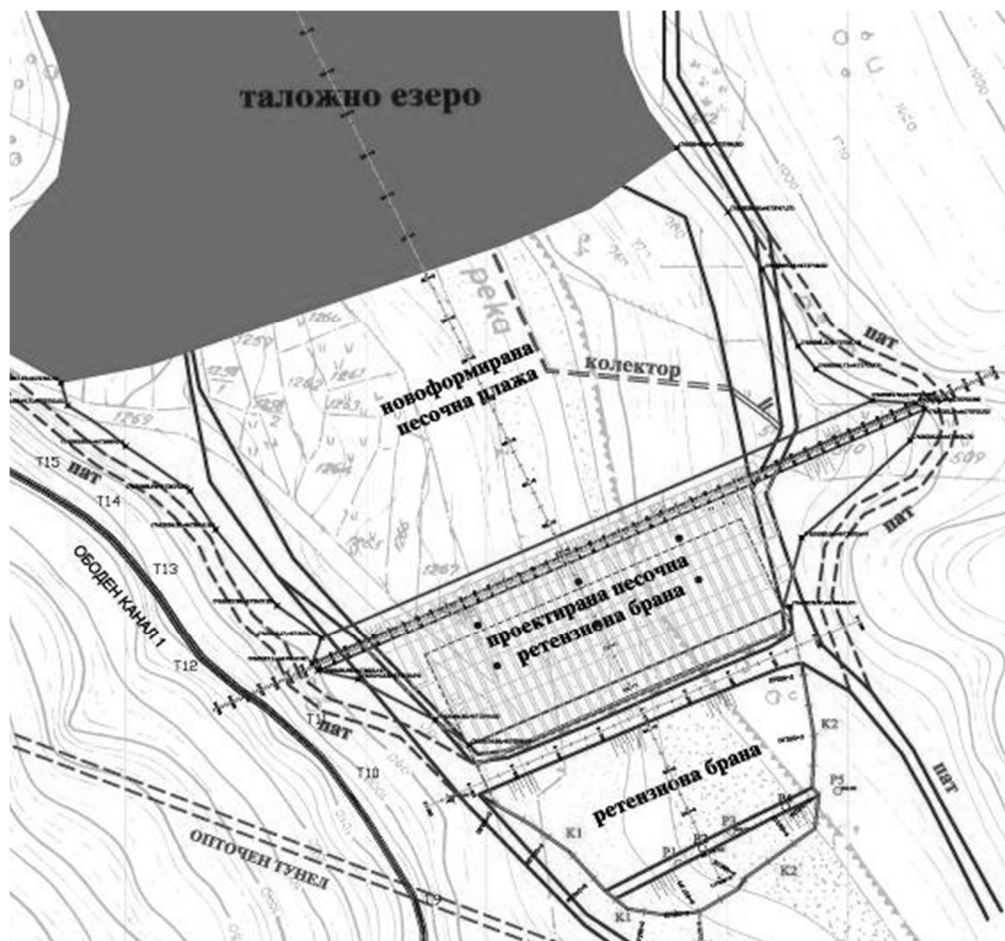
Габионскиот ѕид има повеќе функционална намена за опслужување на флотациското хидројаловиште и за заштита на животната средина. Со изградба на ѕидот се постигнуваат неколку позитивни ефекти:

- се обезбедува контролирано складирање на флотацискиот песок во ножицата на песочната брана, односно нема да има разлевање на флотациската јаловина по речното корито и се заштитува опточниот тунел;
- се зголемува волуменскиот простор за депонирање на флотациската јаловина (флотациски песок) и се подобрува стабилноста на песочната брана.

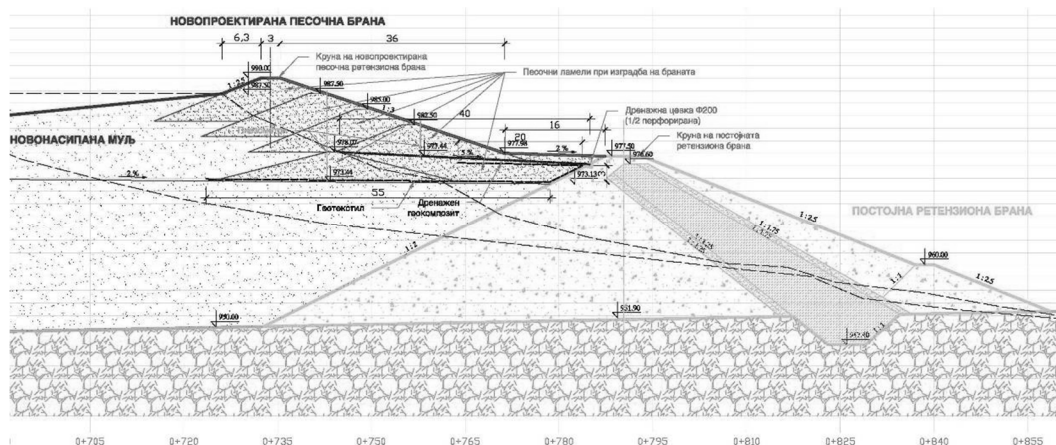
### 3. НАДВИШУВАЊЕ НА РЕТЕНЗИОНА БРАНА

Надвигувањето на ретензионата брана на јаловиштето „Тораница“ до ката од 990 mНВ е проектирано и се изведува со употреба на современи геосинтетички материјали. Надвигувањето се изведува со флотациски песок, а браната е поставена да биде на местото до постојната ретензиона брана во таложното езеро.

Со оглед дека надвишувањето ќе се одвива во тињеста средина, извршена е симулација за стабилноста состојба и утврдено е дека за задоволување на стабилноста состојба за новото надвишување е потребно поставување високојакосен геотекстил. На следните слики (сл. 6 и сл. 7) се прикажани ситуација и попречен пресек на ретензионата брана, додека на сл. 8 е прикажана стабилноста на новопроектираната ретензиона песочна брана.

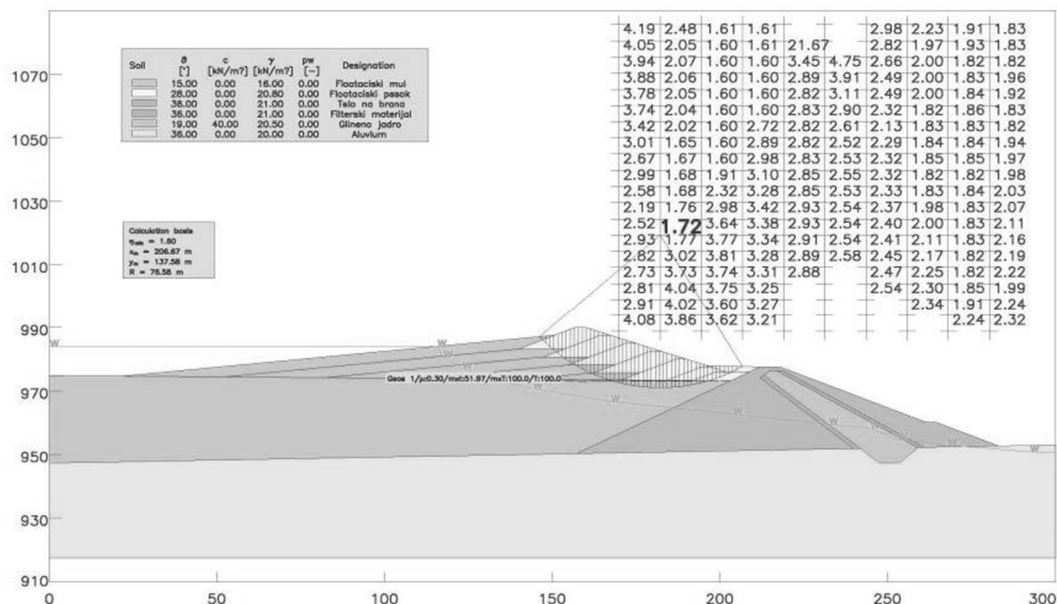


Слика 6. Ситуација на новата ретензиона брана



Слика 7. Попречен пресек на ретензиона брана

Од извршената анализа на стабилност на косината е добиен минимален коефициент на сигурност  $F_s=1,72$ , односно се обезбедува поголем коефициент на сигурност од потребниот, кој изнесува  $F_s \geq 1,50$  за завршна фаза на браната. Задоволен е и условот коефициентот на сигурност да биде  $F_s \geq 1,10$  за случај на земјотрес (состојба на динамичко-сеизмичко оптоварување). Анализите се работени по методот на Бишоп (Bishop).



Слика 8. Анализа на стабилност

За почнување на надвишувањето на ретензионата брана на јаловиштето „Тораница“, најпрво е извршено празнење на таложното езеро и поставување високојакосен ткаен геотекстил - Стабиленка (сл. 9), со следниве карактеристики:

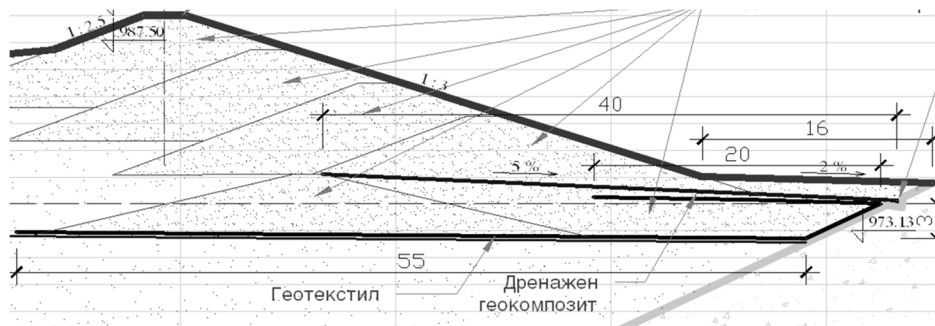
- материјал PET/PA;
- тежина (DIN EN ISO 9864) = 230 g/m<sup>2</sup>;
- индекс на водопропустливост (EN ISO 11058)  $15 \times 10^{-3}$  m/s.



Слика 9. Поставен геотекстил на ретензионата брана

Високојакосниот геотекстил е поставен на дното од испразнетото таложно езеро на начин како што е прикажано на слика 10. Значи, најпрво се

подготвени ролни со 80 m должина високојакосен геотекстил, а во првата фаза се распостелени 55 m, додека со остатокот е извршено преклопување по одлагањето на флотацискиот песок во висина од една ламела и добивање на потребниот наклон (сл. 11).



Слика 10. Поставеност на геотекстилот и на дренажниот геокмпозит



Слика 11. Преклопување на геотекстилот

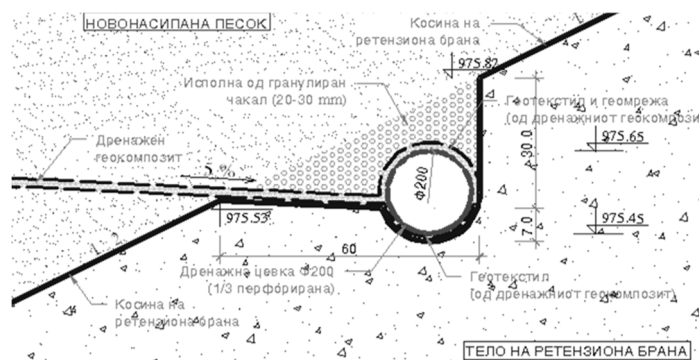
Потоа теренот е приспособен со дополнителна количина флотациски песок за поставување дренажен геокмпозит (прикажан на цртежот на сл. 10). Дренажниот геокмпозит е со следниве карактеристики:

- филтер од неткаен геотекстил од двете страни и јадро од екструдирани полипропиленски влакна споени во мрежа во форма на буквата „W“;
- јакост на затегање во подолжен правец (EN ISO 10319) = 19 (-2) kN/m;
- маса на геокмпозитот (EN ISO 9864) = 910 ( $\pm 10$  %) gr/m<sup>2</sup>;
- дебелина на геокмпозитот при 2 kPa (EN ISO 9863-1) = 8 (-10 %) mm;
- статичка јакост на пробивање (EN ISO 12236) = 1.600 (-20) N;
- водопропустливост на геотекстилот (EN ISO 11058) = 100 (-30) l/m<sup>2</sup>.s.

Дренажниот геокмпозит е поставен со наклон кон постојната ретензиона брана (сл. 12), при што процедурата вода од геокмпозитот се собира во дренажни полипропиленски цевки (сл. 13), кои се поставени во ров на ретензионата брана. Преку дренажните цевки што се поставени под наклон од средишниот дел на ретензионата брана кон боковите, водата се одведува со полни полипропиленски цевки што поминуваат низ ретензионата брана и се одведува надвор од ретензионата брана во таложен базен, од каде што се испушта во Крива Река.



Слика 12. Поставеност на дренажниот геокмпозит



Слика 13. Поставеност на дренажниот геокмпозит со дренажна цевка

Во продолжение следуваат слики од надвишувањето на ретензионата брана на јаловиштето на рудникот „Тораница“ (сл. 14) и споредба на ретензионата брана пред надвишувањето и во фаза на надвишување (сл. 15).



Слика 14. Градење на ретензионата брана



Слика 15. Ретензиона брана пред надвишување и во фаза на надвишување

По завршување на секоја ламела од надвишувањето, предвидено е на надворешната страна од косината на ретензионата брана да се постави геомрежа и да се изврши рекултивација.

#### 4. ЗАКЛУЧОК

При проектирање на дренажниот килим и на габионскиот ѕид кај песочната брана и надвишувањето на ретензионата брана на хидројаловиштето „Тораница“ се користени сознанија стекнати при изработка на голем број домашни и меѓународни проекти, водејќи сметка за сите еколошки влијанија од предвидените технички решенија.

При проектирање и изведба на објектите за опслужување на надвишувањето на јаловиштето „Тораница“ се применети најсовремени материјали - геосинтезици.

Хидројаловиштето „Тораница“ со овие активности на надвишување ќе обезбеди акумулационен простор за депонирање флотациска јаловина за период од околу 10 години.

#### Литература

- [1] Анекс на основен проект за дренажен килим кај песочната брана на хидројаловиште „Тораница“ - Крива Паланка, ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО - Скопје, јуни 2010 год.
- [2] Анекс на основен проект за надоградување на ретензионата брана на хидројаловиште „Тораница“ - Крива Паланка, ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО - Скопје, септември 2010 год.
- [3] Анекс на основен проект за стабилизирање и укрутување на ножицата од песочната брана на хидројаловиште „Тораница“ - Крива Паланка, ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО - Скопје, септември 2010 год.
- [4] Извештаи од проектантски надзор на хидројаловиште „Тораница“, ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО - Скопје, ноември 2010 - август 2012 год.

ТЕМА БР.4

---

ВЛИЈАНИЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТАТА ВРЗ ЖИВОТНАТА СРЕДИНА







## ИСПИТУВАЊЕ АМБИЕНТАЛЕН ВОЗДУХ, АЕРОСЕДИМЕНТ И ПРАВ ВО БЛИЗИНА НА РУДНИКОТ „САСА“

Б. Крстев<sup>(1)</sup>, Б. Голомеов<sup>(2)</sup>, М. Голомеова<sup>(3)</sup>,  
Љ. Костадинов<sup>(4)</sup>, А. Зенделска<sup>(5)</sup>, А. Крстев<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Проф. д-р, дипл. инж. технолог, Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk)

<sup>(2),(3)</sup> Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [blagoj.golomeov@ugd.edu.mk](mailto:blagoj.golomeov@ugd.edu.mk);  
[mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk)

<sup>(4)</sup> м-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија;

<sup>(5)</sup> м-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk)

<sup>(6)</sup> д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk)

### Резиме

Флотациските хидројаловишта што се изградени и се управуваат во соодветните рудници за метални минерални суровини, може да претставуваат еколошки бомби. Тие во одредени услови и периоди може да бидат големи загадувачи на непосредната околина, на површинските и на подземните води и на воздухот. Значи, преку земјиштето, водата и воздухот, флотациските јаловишта влијаат врз животната средина на севкупниот растителен и животински свет. Појавата на гасови во јамите или во флотациските погони, непосредниот амбиентален воздух во сите места од тие оперативни местаи правта во погоните или таа што се создава од ветровите во поедини периоди претставуваат еколошки проблеми кои мора да бидат ограничени во согласност со законските стандарди и норми, со што ќе бидат задоволени законските регулативи. Овој труд е конципиран со испитувањето на амбиенталниот воздух, аероседиментите и правта во рудникот „Саса“, со цел да овозможи детектирање на проблемите и нивно идно евентуално решавање, како и подобрување на животната и на работната средина.

**Клучни зборови:** Хидројаловиште, амбиентален воздух, прав, Саса

## INSPECTION OF AMBIENT AIR, AERO SEDIMENTS AND DUST IN NEARBY OF MINE “SASA”

### Summary

Flotation tailing dams constructed and managed by appropriate mines for metal minerals can be ecological danger. In certain cases and periods they can be high contaminators of the environment, surface and ground water and air. That means that through the land, water and air they affect on the environment and all flora and fauna. Appearance of gas in pits or flotation plants. The air in the vicinity of these locations and dust from the plants or the one from the winds are ecological problems that must be limited in accordance with the law standards and normative, in order to meet the law regulative. This paper is based on inspection of ambient air, aero sediments and dust in mine “Sasa” in order to enable problem detection and their potential solution, as well and improvement of the environment.

**Key words:** Tailing dam, ambient air, dust, Sasa

## 1. ВОВЕД

Рудничките депонии, особено оние што се резултат на флотациските постројки на Pb-Zn, претставуваат особено ризичен елемент на антропогениот импакт врз животната и работната средина, посебно кога се сместени во високопланински региони, како што е примерот на рудникот „Саса“ во непосредна близина на Македонска Каменица. Рудникот „Саса“, како еден од најфертилните објекти за производство на олово-цинкови концентрати во Република Македонија, го започна своето производство пред околу 40 години со примена на класичните методи на подземна рударска експлоатација и методите на флотациска концентрација.

За време на тие 40 години во овој рудник се произведени околу 20 милиони тони руда, со што на самите флотациски депонии (хидројаловишта) се наоѓа значителна количина јаловина, која е сместена во системот на хидројаловишта во самото течение на Каменичка Река. Бидејќи тие хидројаловишта се сместени во високопланински регион со многу силно нагласено движење на површинските води и на подземните води, како и со специфична клима во различни временски периоди, дополнително го зголемува ризикот од појава на хаварии (хаваријата на хидројаловиштето во 2003 година). Токму поради тие моменти на нагласен можен импакт врз животната средина, се востановуваат и континуирани системи на следење на стабилноста на хидројаловиштата, како и системи за зафаќање и одведување на површинските и на подземните води, кои, од своја страна, претставуваат дополнителен ризик за стабилноста на системите на хидројаловиштата. Треба да се спомене дека сите овие системи на контрола и надзор денес функционираат редовно во рудникот „Саса“ со единствена цел да не се повтори хаваријата што се случи во 2003 година, при што значителна количина хидројаловина се излеа во коритото на Каменичка Река. По оваа хаварија, во текот на 2004-2005 година се спроведе надзор од аспект на процената на антропогениот импакт врз системот на животната средина. Реализацијата на овој надзор беше соодветен и заштитен одговор на состојбата што произлезе по хаваријата на хидројаловиштето ако се има предвид положбата на рудникот „Саса“ во регионалната географска шема на овој дел на Република Македонија. Системот на хидројаловишта е сместен во горниот тек на Каменичка Река, кој се влева во вештачкото езеро Калиманци (резервоар на вода во количина од околу 100 милиони кубни метри изграден на реката Брегалница). Од ова езеро се снабдува со вода системот за наводнување „Калиманци“, а по течението на реката Брегалница, во Кочанската котлина, се наоѓаат познатите оризови полиња кои се наводнуваат од водите на реката Брегалница и од езерото Калиманци. Со реализацијата на надзорот на антропогениот импакт, кој произлезе со хаваријата на хидројаловиштето на рудникот „Саса“ во 2004-2005 година, беше квантифициран овој антропоген импакт врз системот на животната средина. Сепак, имајќи ги предвид геохемиските однесувања на елементите од редот на тешките и на токсичните метали, и нивната

постојаност/непостојаност во зависност од физичко-хемиските карактеристики на средината, како и појавата на аероседименти и прав, недвосмислено се наметнува потребата од повторен надзор со кој денес повторно би се квантифицирал антропогениот импакт врз системот на животната средина и тој би се споредил со оној што е добиен во текот на 2004-2005 година.

## 2. МЕРЕЊА НА КОНЦЕНТРАЦИЈАТА НА ПРАВ ВО РУДНИЧКАТА АТМОСФЕРА - САСА (2011-2012)

Со овие мерења се опфатени мерења на концентрациите на цврсти честички прав во амбиенталниот воздух, односно работната атмосфера во јамата и во просториите за преработка на рудата на површина. Во согласност со **Уредбата за гранични вредности за нивоа и видови на загадувачки супстанции во амбиентниот воздух, со мерењата се опфатени концентрациите на респирабилна прав PM<sub>10</sub>. Мерењата на концентрацијата на прав во рудничката атмосфера се извршени во согласност со EN 50081-1, 1992 и EN 50082-2, 1993 - стандарди за мерења генерички емисии во резиденцијални, комерцијални, лесни индустриски и индустриски средини.**

**Мерењата се извршени со Micro Dust pro, со циклонски узоркувач и PUF PM 10 филтер, на принципот Forward light scattering 880nm infrared light source, со опсег на мерење 0,001-2500 µg/m<sup>3</sup>.**

Инструментот е **фабрички калибриран во согласност со ISO 12103-1 A2.**

Во конкретниот случај се мерени **средните концентрации** на респирабилна прав во избрани точки во зоната на максимални активности, а на висина од 1,4 метар од подлогата, односно во зоната на дишење на персоналот. Резултатите од мерењата на респирабилната прав се дадени табеларно во продолжение.

Табела 1. Концентрација на правта во амбиенталниот воздух

Датум на мерење: 31.8.2010 г.	Концентрација на правта во амбиенталниот воздух			
Мерно место	N		E	
T1 – Индустриски круг T2 – Подножје на јал. 4	42305948		22305948	
	Утврдена средна вредност (24h)		Гранични вредности (24h)	
PM 10	0,040 0,037	µg/m <sup>3</sup>	0,05	µg/m <sup>3</sup>
Климатски услови; слаб СИ- ветар (0,9 m/s), температура 29°C.				

Како што е споменато, мерењата се извршени со согласност со EN 50081-1,1992 и EN 50082-2, 1993 - стандарди за мерења генерички емисии во резиденцијални, комерцијални лесни индустриски и индустриски средини. Мерењата се извршени со Micro Dust pro, со **циклонски узоркувач и PUF PM 10 филтер**, на принципот **Forward light scattering 880nm infrared source**, со **опсег на мерење 0,001-2500 mg/m<sup>3</sup>**. Инструментот е **фабрички калибриран во согласност со ISO 12103-1 A2**. На двете локации утврдената среднодневна просечна концентрацијата на PM 10 честички е помала од максимално дозволената во согласност со споменатата Уредба

Табела 2. Концентрација на правта во јама

Јама „Саса“		
Датум на мерење: 20.7.2011 г.	Концентрација на прав	
Мерно место	Јама – дупчење Јама – товарање Јама товарање/претоварање	
	Измерена вредност µg/m <sup>3</sup>	Гранични вредности µg/m <sup>3</sup>
PM 10	2,5 5,5 8,7	0,45

Табела 3. Концентрација на правта во флотација „Саса“

ФЛОТАЦИЈА „Саса“		
ФЛОТАЦИЈА – Мелници		
ФЛОТАЦИЈА – Флотирање		
ФЛОТАЦИЈА – Преса за цинк		
ФЛОТАЦИЈА – Преса за олово		
Датум на мерење: 18.7.2011 г.	Концентрација на прав во амбиентален воздух	
	Измерена вредност µg/m <sup>3</sup>	*Гранични вредности µg/m <sup>3</sup>
PM 10	2,05	1,37

PM 10	1,40	1,37
PM 10	1,00	1,37
PM 10	0,70	1,37
PM 10	1,23	1,37

\* Според - Уредба за гранични вредности за нивоа и видови загадувачки супстанции во амбиенталниот воздух и прагови на алармирање, рокови за постигнување на граничните вредности, маргини и толеранција за гранична вредност, целни вредности и долгорочни цели „Службен весник на РМ“ бр. 50/05 од 27.06.2005 год. Правилник (Службен весник бр. 142/2007)

Во извршените мерења се опфатени мерења на концентрациите на цврсти честички прав во амбиенталниот воздух и на аероседименти, односно мерната атмосфера и работната средина во јамата на рудникот „Саса“ и во просториите за минерална технологија на површината од рудникот „Саса“. Со мерењата се опфатени концентрациите на вкупната и на респирабилната прав PM<sub>10</sub>. Мерењата се извршени во согласност со стандардите ISO (ICS 13.040.20), со употреба на модифициран испробувач со импактор и циклонски испробувач со можен капацитет од 1-3 m<sup>3</sup>/h. Се работи за подвижен инструмент со можност за испробување во период од 1 минута до 24 часа.

Мерењата на концентрацијата на цврстите честички во амбиенталниот воздух се вршени во согласност со следниве методи/стандарди:

	Метод на мерење	Аналитички опсег
PM 10	Импактор со циклон и проток од 1 до 3 m <sup>3</sup> /h.	0,1 – 2500 µg/m <sup>3</sup>

Мерењата се извршени со мобилен инструмент (Micro Dust Pro –Casella), со можност за снимање на концентрацијата на вкупната и на респирабилната прав во период од 1 минута и можност за меморирање на утврдените вредности за период од 7 дена. Во конкретниот случај биле мерени **24-часовните средни концентрации** во избрани точки со утврдени координати (дефинирани со ГПС-уред). Дополнително се утврдувани содржината на кислородот, брзината и правецот на ветерот, како и температурата на воздухот.

Табела 4. Концентрација на правта во амбиенталниот воздух

Период на мерење: 1-30.6.2011 г.	Концентрација на правта во амбиенталниот воздух	
Мерно место	N	E
T1 – Индустриски круг	42.1113°	22.5224°
1.064 m	Утврдена средна вредност (24h)	Гранични вредности (24h)

	ПМ 10	50,55	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	105,0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветер (0,9 m/s), температура од 15 до 29 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	10,25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	15,50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветер (0,9 m/s), повремени врнежи, температура од 11 до 25 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	5,35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прашина	6,90	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; облачно, со слаб ветар, температура од 9 до 26 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	15,10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прашина	35,20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветер (0,9 m/s), температура од 14 до 25 Целзиусови степени.				

Датум на мерење: 1-30.6.2011 г.		Концентрација на правта во амбиенталниот воздух			
Мерно место		Н		Е	
Т2 – Подножје на јаловиште 4		42.106°		22.5379°	
		Утврдена средна вредност (24х)		Гранични вредности (24х)	
	ПМ 10	75,70	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	39,75	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветер (0,9 m/s), температура од 15 до 29 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	24,50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	55,55	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; без ветар, температура од 15 до 30 Целзиусови степени				
	ПМ 10	9,70	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	18,50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветер (0,9 m/s), повремени врнежи, температура од 11 до 25 Целзиусови				

	степени.				
	ПМ 10	5,65	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	9,10	$\text{mg}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; врнежливо, со силен ветар, температура од 9 до 26 Целзиусови степени.				
Т3 – Македонска Каменица		42.106°		22.5379°	
		Утврдена средна вредност (24х)		Гранични вредности (24х)	
	ПМ 10	25,30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	40,75	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб источен ветар (0,85 m/s), температура од 16 до 31 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	7,65	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	9,90	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб ветар, температура од 12 до 27 Целзиусови степени.				
	ПМ 10	6,00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Вкупна прав	15,90	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Климатски услови; слаб североисточен ветар (0,9 m/s), температура од 14 до 28 Целзиусови степени.				

### 3. МОНИТОРИНГ НА ВОЗДУХОТ ВО НЕПОСРЕДНА БЛИЗИНА НА ХИДРОАЛОВИШТЕТО И ВО ГРАДОТ МАКЕДОНСКА КАМЕНИЦА - АЕРОСЕДИМЕНТ

Со овие мерења се опфатени мерења на концентрациите на цврсти честички прав во амбиенталниот воздух, односно работната атмосфера во јамата и во просториите за преработка на рудата на површина. Во согласност со **Уредбата за гранични вредности за нивоа и видови загадувачки супстанции во амбиенталниот воздух, со мерењата се опфатени концентрациите на респирабилна прав  $\text{PM}_{10}$ . Мерењата на концентрацијата на прав во рудничката атмосфера се извршени во согласност со EN 50081-1,1992 и EN 50082-2, 1993 - стандарди за мерења на генерички емисии во резиденцијални, комерцијални лесни индустриски и индустриски средини. Мерењата се извршени со Micro Dust pro, со циклонски узоркувач и PUF PM 10 филтер, на принципот Forward light scattering 880nm infrared source, со опсег на мерење  $0,001\text{-}2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Инструментот е фабрички калибриран во согласност со ISO 12103-1 A2. Во конкретниот случај се мерени **средните концентрации** на респирабилна прав во избрани точки во зоната на максимални активности, а на висина од**





Табела 5. Извршени хемиски анализи на пробите **прав од тавани**

Ознака	As, mg/kg	Cd, mg/kg	Co, mg/kg	Cr, mg/kg	Cu, mg/kg	Fe, mg/kg	Mn, mg/kg	Ni, mg/kg	Pb, mg/kg	Zn, mg/kg
1	163,4	59,60	<1	31,57	507,0	64.993	4.117	34,38	6.250	5.635
2	72,5	36,95	<1	28,34	420,2	39.599	1.893	23,95	4.879	3.690
3	84,5	40,72	<1	33,59	354,8	43.956	2.681	29,33	3.810	4.538
4	134,4	69,42	<1	32,75	535,0	57.055	3.755	41,91	5.935	8.001
5	150,0	55,60	<1	33,55	470,0	54.123	3.133	31,50	4.275	6.135
6	130,5	56,50	<1	30,50	435,2	49.100	2.845	27,45	4.850	4.610
7	143,5	50,70	<1	35,50	359,1	43.116	2.600	25,40	3.895	4.500
8	134,4	65,05	<1	32,05	530,7	67.351	3.700	35,90	4.335	6.050
9	90,5	46,95	<1	31,30	525,0	41.500	2.850	28,10	4.525	4.010
10	94,5	40,55	<1	33,95	370,8	50.125	2.625	29,26	4.110	4.555

Табела 6. Максимално дозволени масени удели во mg/kg во почви и во седименти за As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb и за Zn во различни земји од ЕУ

Може да се види дека резултатите за арсен и за кадмиум не се во рамките на европските стандарди (Холандија). Концентрацијата на кобалт е далеку под дозволените европски стандарди. Концентрацијата на хром е далеку под дозволените европски стандарди. Концентрацијата на бакар е далеку над дозволените европски стандарди. Концентрацијата на никел е далеку под дозволените европски стандарди. Концентрациите на олово и на цинк се далеку над дозволените европски стандарди, што, секако, е резултат на појавата на ветрови во текот на годината и на однесувањето на микронските честички по своите одредишта (таваните во куќите во близина на хидројаловиштето на рудникот за олово и цинк „Саса“).

## 5. ЗАКЛУЧОК

Во извршените мерења се опфатени мерења на концентрациите на цврсти честички прав во амбиенталниот воздух и на аероседименти, односно мерната атмосфера и работната средина во јамата на рудникот „Саса“ и во просториите за минерална технологија на површината од рудникот „Саса“. Со мерењата се опфатени концентрациите на вкупната и на респирабилната прашина PM<sub>10</sub>. Мерењата се извршени во согласност со стандардите ISO (ICS 13.040.20), со употреба на модифициран испробувач со импактор и циклонски испробувач со можен капацитет од 1-3 m<sup>3</sup>/h.

Извршените хемиски анализи на пробите прав од тавани покажуваат дека концентрацијата на кобалт и на хром е далеку под дозволените европски стандарди. Концентрацијата на бакар е далеку над дозволените европски стандарди. Концентрацијата на никел е далеку под дозволените европски стандарди. Концентрациите на олово и на цинк се далеку над дозволените европски стандарди, што, секако, е резултат на појавата на ветрови во текот на годината и на однесувањето на микронските честички по своите одредишта.

### **Литература**

- [1] Б. Крстев, Б. Голомеов: „Флотациски хидројаловишта“, Факултет за рударство, геологија и политехника - Штип, 2008
- [2] Д. Салатиќ, Д. Кнежевиќ: “Технолошке основи проектовања постројења за припрему минералних сировина“, Рударски институт - Београд
- [3] Б. Крстев, Б. Голомеов: „Инженерство на рудничка средина“, Факултет за рударство, геологија и политехника - Штип, 2008



## ХАВАРИИ КАЈ ХИДРОЈАЛОВИШТАТА И ИНЖЕНЕРСТВО ЗА СЛУЧАЈ НА ХАВАРИИ

Љ. Костадинов<sup>(1)</sup>, Б. Крстев<sup>(2)</sup>, Б. Голомеов<sup>(3)</sup>,  
М. Голомеова<sup>(4)</sup>, Б. Фиданчев<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>М-р, дипл. руд. инж., ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнел и др. ДОО, ул. Мирче Оровчанец бр. 1/1-1, 1000 Скопје, Р. Македонија; [gudar@geing.com.mk](mailto:gudar@geing.com.mk);

<sup>(2)</sup>Проф. д-р, дипл. инж. технолог, Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk)

<sup>(3,4)</sup>Проф. д-р, дипл. руд. инж., Универзитет „Гоце Делчев“, ФПТН, ул. Гоце Делчев бр. 89, 2000 Штип, Р. Македонија; [blagoj.golomeov@ugd.edu.mk](mailto:blagoj.golomeov@ugd.edu.mk)  
[mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk)

<sup>(5)</sup>Дипл. руд. инж., ул. Васил Ѓоргов бр.23А/5-2, 1000 Скопје, Р. Македонија;  
[fidancevb@yahoo.com](mailto:fidancevb@yahoo.com)

### Резиме

Излевањето на јаловината надвор од границите на едно хидројаловиште е сериозна опасност за животната средина, и тоа особено кога излевањето е со големи размери. До излевање може да дојде при уривање на браната или при попуштање на некој од придружните објекти на хидројаловиштето. Излевањето може да трае и по неколку часа или дена без можност за интервенција. На тој начин доаѓа до загрозување на животната средина на поширока област. При хаварии, големи количини јаловина со водата како транспортер се разнесуваат на големи далечини, понекогаш и на неколку десетици километри. Во светот се имаат случено хаварии од многу големи размери кога имало и жртви, додека во нашата земја се имаат случено хаварии од големи размери, но влијанијата се сведувале на загрозување на животната средина. Со посебен пристап при инженерството со хидројаловиштата за случај на хаварии може да се спречи загадување на животната средина.

**Клучни зборови:** Потенцијални опасности, загадување, санирање, мерки за заштита

## ACCIDENTS AT TAILING DAMS AND ENGINEERING IN SUCH CASES

### Summary

Flow out of the tailing outside of the tailing dam is serious threat on the environment, especially in cases of flow out in huge quantities. Flow out can happen at tailing dam break or loosening of some of the appurtenant structures. The flow out can last for hours or day without possibility to intervene. In that manner the environment of larger are is endangered. At accidents huge quantities of tailing along with water as transporter are distributed on huge distances, sometimes on several kilometers. In worldwide there were big accidents with victims, while in our country there were big accidents, but only by endangerment of the environment. By particular approach at tailing dam engineering in case of accidents the environmental pollution can be stopped.

**Key words:** Potential danger, pollution, sanation, protection measures.

## 1. ВОВЕД

Потенцијална опасност од уривање на браната, со што би дошло до сериозни нарушувања на екосферата, а би резултирало и со можни човечки жртви и голема материјална штета, е посебен проблем на кој е потребно да се посвети големо внимание. Во современата светска практика податоците покажуваат дека уривањето на браните настанува под влијание на различни фактори, при што како најдоминантни се:

- нестабилност на косините;
- преголема количина дренажни води;
- земјотреси;
- поплави;
- ерозија на околното земјиште и
- други влијанија.

Голема е опасноста и при излевање на флотациската јаловина преку некој од објектите, како што се: преливни колектори, оптични колектори, заштитни колектори и други објекти. Фактори што влијаат врз попуштање на овие објекти се:

- лошо изведени фундаменти;
- лоша процена за продолжување на векот на објектите;
- ненавремено преземени мерки за санација на некој од објектите и
- други влијанија.

Можно е и излевање на флотациската јаловина при дефект (пукање) на флотацискиот пулповод, но тоа би било во помали размери бидејќи работниците што работат на јаловиштето би интервенирале благовремено, што не е случај кога доаѓа до уривање на браната или до попуштање на некој од придружните објекти, кога излевањето трае и по неколку часа или дена без можност за интервенција.

## 2. ХАВАРИИ КАЈ СВЕТСКИТЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА

Неколку комитети, меѓу кои и Меѓународниот комитет за високи брани (Interanational Committee on Large Dams - ICOLD), вршат следење на хавариите на јаловиштата во цел свет. Од евиденцијата за хаварии на јаловишта е констатирано дека најмногу хаварии се случиле кај браните што се градат возводно, а како причина за хавариите е нестабилност на браните, земјотреси, продор на јаловина низ отвори на објектите, лоши фундаменти и сл. Во следната табела е прикажана листа на некои карактеристични хаварии на јаловишта во светот со големи последици (смртни случаи, затрупани куќи, загадени води, загадени земјишта и сл.).

Табела 2. Карактеристични случаи на хаварији на јаловишта во светот

Рудник, Држава	Време на хаварија	Последици од хаваријата
Stava, Италија	19 јули 1985 год.	Пробој на 190.000 m <sup>3</sup> јаловина, излеана до 8 km, 269 загинати, затрупани 62 куќи
Buffalo Creek, САД	февруари 1972 год.	500 куќи уништени, 125 загинати
Vratsa, Бугарија	1966 год.	450.000 m <sup>3</sup> јаловина, 107 загинати
Mufilira, Замбија	септември 1970 год.	68.000 m <sup>3</sup> тиња, излеана во рудник, 89 загинати
Marriespruit, Јужна Африка	февруари 1994 год.	600.000 m <sup>3</sup> тиња, излеана до 4 km, 17 загинати
Bafokeng, Јужна Африка	ноември 1974 год.	3.000.000 m <sup>3</sup> тиња, излеана до 45 km, 12 загинати
Placer Filipini, Филипини	март 1996 год.	50.000 m <sup>3</sup> излеана јаловина, 12 загинати
Kolontar, Унгарија	4 октомври 2010 г.	700.000 m <sup>3</sup> излеана токсична тиња, покриено 8 km <sup>2</sup> земјиште, 10 загинати
Xiangxi Autonomous Prefecture, Кина	14 мај 2009 год.	50.000 m <sup>3</sup> излеана јаловина, 3 загинати
Arcturus, Зимбабве	јануари 1978 год.	20.000 m <sup>3</sup> јаловина, излеана до 300 m, 1 загинат
Aznalcollar, Шпанија	април 1998 год.	1.500.000 m <sup>3</sup> излеана јаловина, покриено 4.500 ha земјиште,
Omai, Гијана	19 август 1995 год.	4.200.00 m <sup>3</sup> излеана тиња, затруена со цијаниди
Marcopper, Филипини	март 1996 год.	1.500.000 t излеана јаловина
Placer, Suriago del Norte, Филипини	април 1999 год.	700.000 m <sup>3</sup> излеана јаловина, затрупани 17 куќи
Baia Mare, Романија	јануари 2000 год.	100.000 m <sup>3</sup> излеана контаминирана јаловина, загадени реките Тиса и Дунав
Naelva, Шпанија	декември 1998 год.	50.000 m <sup>3</sup> излеана загадена вода
Borsa, Романија	март 2000 год.	22.000 m <sup>3</sup> излеана контаминирана јаловина, стигнала до реката Тиса

На следната слика (сл. 1) е прикажана хаварија на брана на јаловиште лоцирано во рамничарски предел.



Слика 1. Хаварија на хидројаловиште

Во продолжение следи сателитска снимка (сл. 2) на јаловиштата за флуорит Става (Stava) - Италија (пред хаварија и по хаварија), од кои јаловишта при хаваријата на 19 јули 1985 година со уривање на браната, прво на повисокото јаловиште, а потоа и на пониското, и со излевање и движење на јаловината со брзина до 90 km/h загинале 269 лица и биле уништени 62 куќи.

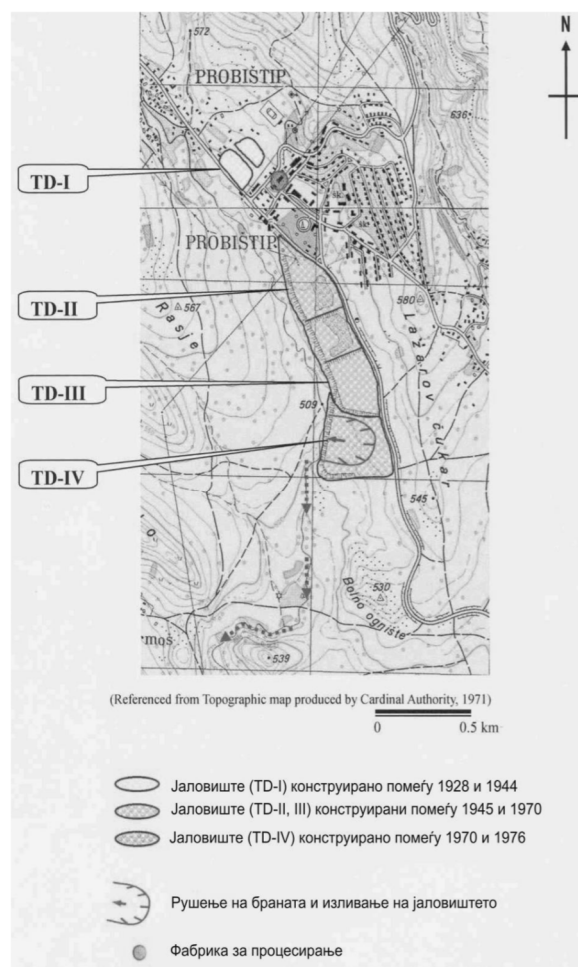


Слика 2. Сателитска снимка на јаловиштето „Става“ - Италија

### 3. ХАВАРИИ КАЈ НАШИТЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА

Во нашата земја досега се евидентирани три поголеми хаварии на флотациски јаловишта, кои нанесоа штети на водите, воздухот, а особено на земјиштето. Тоа се хавариите на јаловиштата од рудниците „Злетово“, „Бучим“ и „Саса“.

Во рудникот за олово и за цинк „Злетово3 - Пробиштип на 1.3.1976 година се случи хаварија на јаловиштето бр. 4, TD-IV (сл. 3), кое било со висина од 15 m. Како резултат на филтрациски нарушувања доаѓа до уривање на насипот од браната и излевање на околу 300.000 m<sup>3</sup> флотациска јаловина од вкупно депонираните 1.000.000 m<sup>3</sup>. Излеаната јаловина ги загрозила и загадила водите од речните текови, при што Штип останал без вода 24 часа.



Слика 3. Хаварија на хидројаловиште „Злетово“

Во рудникот „Бучим“ на 20.7.1998 година, како резултат на пробој на флотациска тиња во колекторот, истекоа неколку илјади кубни метри флотациска јаловина, која се наталожи по коритото на реката Тополница. Оваа појава потоа делумно беше санирана, но на 25.1.1999 година дојде до повторно истекување на јаловината од колекторот, но овој пат со помал интензитет од тој во јули 1998 година.

Во рудникот „Саса“ катастрофата беше од многу поголеми размери и се случи во време кога рудникот беше во прекин со работа. Се случи на 30.8.2003 година кога дошло до пробој на флотациската јаловина во ревизиона шахта, па во опточниот тунел и на тој начин истекоа околу 160.000 m<sup>3</sup> флотациска јаловина, а на јаловиштето се формира кратер (сл. 4) со дијаметар од 120 m до 160 m и длабочина од околу 35 m.

Флотациската јаловина беше разлеана околу речното корито на Каменичка Река (сл. 4), а еден помал дел стигна до езерото Калиманци и го загрози. Оваа јаловина со суспендирани материи со тешки метали подолго време ќе влијае врз флората и фауната на Каменичка Река, езерото Калиманци и земјиштето на потегот „Саса“ - Македонска Каменица.

Во рудникот „Тораница“ во минатото се имаат случено помали хаварии на пулповодот за флотациска јаловина, во делот меѓу погонот флотација и флотациското хидројаловиште, а една од тие хаварии се случи на 11.11.2011 година кога одредена количина јаловина се излеа во Крива Река поради лизгање на теренот во зоната на пулповодот и пукање цевка.

Последиците од таквите хаварии, особено хавариите со поголеми размери, се огромни. Се загрозуваат земјиштата на поширок терен, а се загрозуваат и речните и езерските води. Дел од хемикалиите и тешките метали го загрозуваат земјиштето покрај реките, се загрозуваат водите за пиење, а на тој начин се загрозува и здравјето на човекот. Па, токму затоа, флотациските хидројаловишта често се нарекуваат флотациски атомски бомби бидејќи понекогаш знаат многу да ја загрозат животната средина и да го загрозат здравјето на човекот.



Слика 4. Кратер на хидројаловиште „Саса“ и излеана флотациска јаловина

#### 4. ПОТЕНЦИЈАЛНИ ОПАСНОСТИ ОД НАШИТЕ ХИДРОЈАЛОВИШТА И МЕРКИ ЗА ЗАШТИТА

Опасност од флотациско јаловиште постои и во периодот по завршување со експлоатација на јаловиштето. На флотациското јаловиште бр. 2 на рудникот „Злетово“ - Пробиштип, во делот каде што поминува колекторот, се појавуваат слегнувања на теренот со кружна форма (сл. 5), кои се изразени и



до неколку метри во длабочина (3÷5 m). Досега на ова јаловиште се забележани неколку вакви слегнувања, а се регистрирани и други делови каде што е за очекување да се случат слични вакви слегнувања. На овој дел од јаловиштето, според урбанистичкиот план на град Пробиштип, е предвидено изградба на игралиште. Потребна е посебна внимателност при опасности од овој тип на слегнувања на флотациски материјал, преземање мерки за санирање на колекторот и санирање на теренот.



Слика 5. Јаловиште бр. 2 на рудникот „Злетово“ - Пробиштип

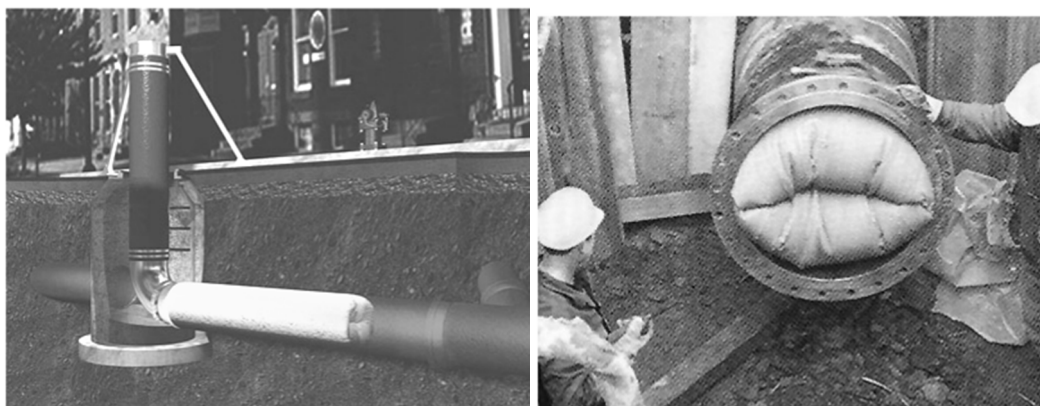
Во случај колекторот да е потребен на градот, за негово санирање би можело да се искористи методот лининг, кој е развиен во насока да врши отстранување на проблемите во системите за одведување на водите.

Инженерството за санирање цевководи - лининг (<http://www.eko-team.net>) е нов метод и претставува голем технолошки чекор во секторот на одведување на водите на македонскиот пазар, кој работи на принципот без ископување. Овој метод е апликативен на сите облици и материјали на оштетени цевководи.

Најпрво се врши инспекција (снимање) на цевководот со дигитални робот-камери, кои се во состојба да ги снимаат сите форми на цевководни системи и материјали со димензии 100 ÷ 1.500 mm. Резултатот на таквите снимања е извештај адекватен на нормите ЕН 13508-2, кој содржи сеопфатна и детална пишана и видеодокументација, која ја отсликува затекнатата состојба во прегледаните цевководи и може да се употреби во изработка на дигитална слика на цевководниот систем.

Санирањето се врши со специјална опрема и специјализиран стручен тим за овој вид технологија, со специјален материјал за санација (линер). Во оштетениот цевковод се внесува материјалот за санација (сл. 6), а потоа со помош на компримиран воздух се врши прилепување на материјалот за

внатрешниот дел од цевководот, со што се создава цврста врска, а со тоа се постигнува затворање на местата што се пропустливи.



Слика 6. Санација на цевководи

Опасност од нестабилност на браните постои во случај кога се врши изградба на повеќе хидројаловишта едно подруго низводно, а без заштита со непропустлив слој бидејќи водата од таложното езеро на активното хидројаловиште навлегува во претходно изградената брана од претходното хидројаловиште. Како потенцијална опасност е примерот на хидројаловиштето „Саса“ - Македонска Каменица бидејќи јаловиштата се надоврзуваат едно под друго. Во случај да дојде до нарушување на стабилноста на претходното јаловиште, се загрозува и активното флотациско хидројаловиште.

За да нема опасност од уривање на браните при вакви ситуации, потребно е во почетната фаза од подготовките за изградба на хидројаловиште да се постави изолациски слој - геомембрана на тлото од теренот и на косината на браната од претходното јаловиште. На тој начин нема да постои можност од продирање вода во претходното јаловиште. Вложените финансиски средства за изолација на теренот се незначително мали ако се спореди колкави би биле последиците во случај на хаварија на хидројаловиштето.

Опасност од излевање јаловина од главниот пулповод за флотациска јаловина постои во рудникот „Тораница“, за што сведочат неколкуте помали хаварии во претходниот период. Овие опасности се поради тоа што на одредени зони од трасата за пулповодот, при поголеми врнежи, се случува лизгање на теренот.

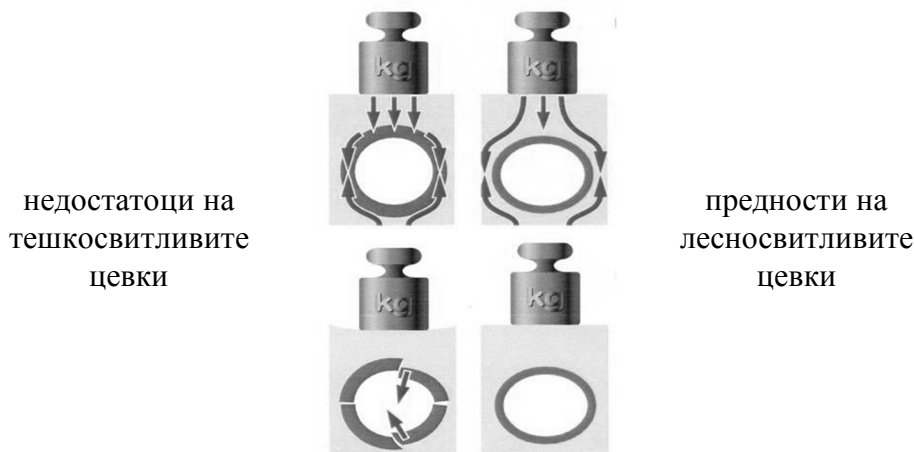
За да нема такви опасности од излевање на флотациската јаловина, потребно е главните пулповоди да се водат по стабилни терени, со преземање на сите потребни мерки за анкерање на пулповодите.

Со оглед дека колекторот на јаловиштето „Тораница“ има одредена аномалија, односно има одредени процепи низ кои се врши продирање на вода уште од 1997 година, постои опасност од проширување на процепите и излевање на флотациската хидројаловина низ бетонскиот колектор. Инвеститорот што стопанисува со ова хидројаловиште има преземено

активности за проектирање нов колектор, при што изведбата на новиот колектор ќе се изврши во следниот период.

За да нема опасности од колекторите и од другите цевководи што ги опслужуваат флотациските хидројаловишта, потребно е во иднина сè повеќе да се користат флексибилните полипропиленски цевки и да се поставуваат на стабилни зони од теренот.

Полипропиленските (PP) цевки се отпорни на хемикалии, лесносвитливи и реагираат флексибилно на статички и динамички товар. Тие се поеластични од околното земјиште. Лесносвитливите цевки го одбиваат притисокот и незначително се преобликуваат, а со тоа се избегнуваат штетните притисоци и така не може да настанат пукнатини во нив, односно се отпорни на пукнатини и на механички шокови. Со тоа се воспоставува сигурно, долгорочно и непречено функционирање, што може да се види на сл. 7, каде што се следи дејството на тешкосвитливите цевки во однос на лесносвитливите цевки.



Слика 7. Недостатоци на тешкосвитливи и предности на лесносвитливи цевки

Најновите истражувања за полипропиленските цевки го потврдуваат нивниот минимален век на траење од 100 години, додека тестовите на издржливост укажуваат на тоа дека векот им е значително подолг.

Како можна дополнителна заштита на цевководи што поминуваат низ флотациската јаловина е тие да се омотуваат со тенка лесносвитлива геомембрана и на тој начин да бидат комплетно изолирани од флотациската јаловина.

## 5. ИНЖЕНЕРСТВО ЗА СЛУЧАЈ НА ХАВАРИИ

Во случај на несакана хаварија кај хидројаловиште лоцирано во долина, за да се спречи разлевање на флотациската јаловина по долината, може да се примени техничко решение со изградба на повеќе помошни таложни езера со преградување со брани, врз основа на технологијата Geotube - TenCate Geotube® technology in Honduras (сл. 8).

Геотубите се ткаенини од синтетички влакна што вршат функција на заштита на насипи од ерозија, филтрирање материјал со различна големина на честичките и сл. Целта на геотубите е да ги задржат суспендираните честички од јаловинскиот материјал од преработка на рудите и да ги дренираат водите.

Употребата на геосинтетичкиот полипропиленски материјал, кој е фабрикуван во цилиндрична цевка наречена геотуба, доби широкораспространето внимание во текот на изминатите неколку години. Неколку компании развиваа искуство, инженерство, софтвер за големината на геотубите и ги тестираа хемиската употреба и областите на инсталации.

Значи, со помош на геотуби се градат повеќе прегради по долината под хидројаловиштата, при што со првата преграда се спречува излевање на флотациската јаловина од првото помошно езеро, кое треба да биде проектирано на тој начин за да собере поголема количина флотациска јаловина, односно количина што би се очекувала при несакана хаварија (уривање на браната, продор на јаловина низ објект и др.).



Слика 8. Преграда со геотуби и дренажа

Водата од првото помошно таложно езеро се дренира преку поставената преграда од геотуби бидејќи тие се полнат со ситен пропустлив материјал. Во случај дел од честичките од јаловината да преминат преку првата преграда, тогаш целта на второто помошно езеро е да ги успори и исталожи тие честички и да врши бавно дренирање на водите. Доколку има и трета преграда, тогаш во третата преграда може да се постави хоризонтална дренажа од цевки, за брзо пропуштање на водите, а преградата од геотуби да врши дренирање само во енормни случаи.

Водите од помошните таложни езера повторно можат да се користат во процесот на преработка на рудите, односно да се врши рецикулација на водата.

Вакво решение е применето во рудникот за олово, цинк и за сребро „Ел Мохито“ (El Mochito) во Хондурас, кај хидројаловиште со големи количини контаминирани материи, во кое се врши рецикулација на вода, но во текот на обилните врнежи се вршело свлекување на материјалот од

хидројаловиштето и разнесување на јаловинскиот материјал по долината, при што се нарушувал екосистемот во непосредната околина.

На дното на целиот терен (и за јаловиште и за помошни езера) е поставен непропустлив материјал - геомембрана (сл. 9). Дренажни цевки се поставени на дното кај најдолните прегради, при што тие се обвиткуваат со геотекстил, а геотубите од кои се изградени преградите (браните) се полнат со песок и служат како вертикална дренажа. Висината на браните и големината на помошните таложни езера, секако, зависат од големината на флотациските јаловишта и од протокот на процедурна вода. Инсталацијата за овој систем е едноставна и брза.



Слика 9. Сателитска снимка на хидројаловиштето „Ел Мохито“

Благодарение на оваа технологија, во случај на хаварији разлеаните материји се собираат во помошни таложни езера, а со браните од геотуби не се дозволува разнесување по течението на водниот тек, односно има дополнителна контрола врз флотациската јаловина.

Средствата вложени за овој систем, секако, се незначителни во однос на последиците што би можеле да настанат по животната средина во случај на хаварија, како и казната што би ја платила компанијата што оперира со флотациското јаловиште.

За поголема сигурност на хидројаловиштата и за висок степен на заштита на животната средина, би било добро во составот на секое флотациско хидројаловиште во Република Македонија да има ваков систем бидејќи речиси сите наши хидројаловишта во минатото имале хаварији со големи последици.

## 6. ЗАКЛУЧОК

Причината зошто се посветува големо внимание на хавариите на јаловиштата најдобро ја има опишано претседателот на Меѓународниот комитет за високи брани, Пјер Лонд (Pierre Londe), кој во 1980 година изјави: „Човекот учи

малку од успехите, а многу од грешките“. За да не учиме повеќе од грешките, потребно е да ги применуваме современите успешни техники за градба на хидројаловишта и за денешни услови да важи паролата: „Човекот учи многу од успехите и усовршува нови техники за да нема грешки“.

Со оглед дека хидројаловиштата содржат одредени количини хемикалии и тешки метали, кои се штетни за животната средина, потребен е посебен пристап при инженерството со флотациските хидројаловишта. Потребно е флотациските хидројаловишта да се градат стабилно и да бидат изолирани од околината, и тоа и во фаза на експлоатација и во фаза по експлоатација.

Инженерството со современи материјали (геосинтетици) зазема сè поголема улога во заштитата на животната средина во многу области, па потребна е поголема примена на современи материјали и кај флотациските хидројаловишта.

## Литература

- [1] Љ. Костадинов: „Инженерство со современи материјали за заштита на животната средина од флотациските јаловишта“, магистерски труд, Факултет за природни и технички науки - Штип, 2012, стр. 35-47, стр. 78-79, стр. 82-83, стр. 95-98
- [2] Б. Крстев, Б. Голомеов: „Флотациски хидројаловишта“, Факултет за рударство, геологија и политехника - Штип, 2008
- [3] TenCate Geotube® technology in Honduras
- [4] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [5] <http://www.eko-team.net>

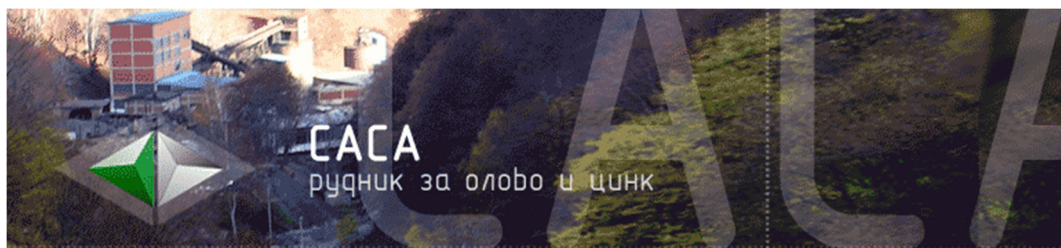






## СПОНЗОРИ НА КОНФЕРЕНЦИЈАТА

---



**Рудник “САСА” ДООЕЛ**

**Ул. “Рударска” бр.28**

**2304 Македонска Каменица**

**Македонија**

**Тел. + 389 33 279 200**

**Фах.+ 389 33 279 220**

**E-mail: [contact@sasa.com.mk](mailto:contact@sasa.com.mk)**



**БУЧИМ ДООЕЛ**

**Ул.Маршал Тито б.б.**

**2420 Радовиш**

**Македонија**

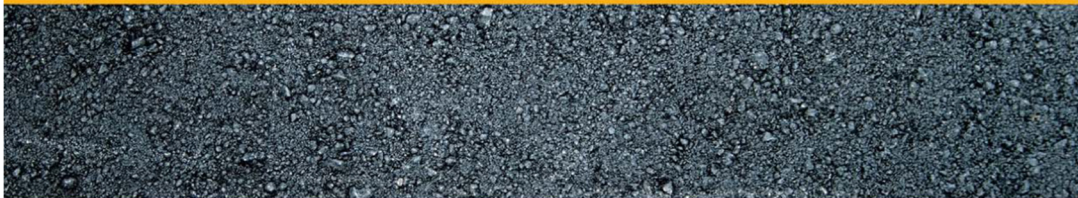
**тел.: 032/637007**

**факс: 032/635976**

**Е-mail: [nikolov.n@bucim.com.mk](mailto:nikolov.n@bucim.com.mk)**



**GRANIT**  
BUILDING & CONSTRUCTION



Veljko Vlahovik 8, 1000 Skopje, Macedonia; tel. + 389 2 3218 703; email: kabinet@granit.com.mk; www.granit.com.mk



# УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ С К О П Ј Е

**ЗАВОД ЗА  
ИСПИТУВАЊЕ НА  
МАТЕРИЈАЛИ И  
РАЗВОЈ НА НОВИ  
ТЕХНОЛОГИИ  
“ СКОПЈЕ “  
СКОПЈЕ**

Тел: 02/3116 610;3213 718;  
3222 308;3221 363  
Телефакс: 02/3211 996  
Ул. Раде Кончар бр. 16,  
1000 Скопје, Македонија  
<http://zim.com.mk>  
E-mail: [zim@gf.ukim.edu.mk](mailto:zim@gf.ukim.edu.mk)

- ДИРЕКТОР
- ТЕХНИЧКИ РАКОВОДИТЕЛ
- ЗАЕДНИЧКИ СЛУЖБИ
- ИНСТИТУТИ
  - МАТЕРИЈАЛИ
  - ТРАНСПОРТ И ЕКОЛОГИЈА
  - РАЗВОЈ НА НОВИ ТЕХНОЛОГИИ
- ЛАБОРАТОРИИ
- СЕКТОРИ



Инженеринг при конструкција на премин



Инженеринг при конструкција на регионален пат



Инженеринг при конструкција на автопат





Tel: + 389 02 30 66 816; + 389 02 30 66 833  
Fax: + 389 02 30 66 828  
e-mail: [gim@gim.com.mk](mailto:gim@gim.com.mk) | [gim-skopje@t-home.mk](mailto:gim-skopje@t-home.mk)

Градежен институт „МАКЕДОНИЈА“ АД | Скопје Civil Engineering Institute „МАКЕДОНИЈА“ JSC | Скопје



[www.gim.com.mk](http://www.gim.com.mk)



Ул. „Момин поток“ бб, 1000 Скопје  
Тел/факс: 02/ 30 97 053, 30 97 054; 30 95 038; 30 97 038  
www.sintek.com.mk, E-mail: sintek@on.net.mk

Вложувајќи го досегашното богато и долгогодишно искуство со примена на нормативите за високи квалитети кои се потврдуваат со добиените Сертификати ISO 9001 : 2008 и ISO 14001 : 2004 применувајќи го мотото во своето работење, „СИНТЕК“ - Скопје има стабилна и сигурна иднина на задоволство на голем број на деловни партнери и на вработените.

„СИНТЕК“ како квалитетно препо-знатлива и современа фирма своите услуги од делокругот на своето работење ги нуди во нашата Република како и надвор од неа (Србија, Црна Гора, Украина, Либија , итн), во областа на:



Хидроизолација на база ПВЦ фолии  
Водостан Хеџ Маврово



Санација на пукнатини, инјектирање и хидрозаштита на објект ХЕЦ Матка



Хидрозаштита од фолија на база EPDM  
Регулација на речно корито (Осломеј)

- ✓ хидрозаштита на сите видови објекти;
- ✓ киселоотпорна заштита;
- ✓ заштита од корозија на челични и бетонски конструкции;
- ✓ изработка на специјални подови, во индустриски, магацински, спортски објекти и останати подови со зголемено оптеретување;
- ✓ санација и реконструкција на објекти од високо, ниско и хидро градбата;
- ✓ зајакнување на конструктивни елементи со челични и карбонски траки и платна;
- ✓ обработка на дилатациони фуги ;
- ✓ производство на помошни градежни материјали;



биди **IN** биди инженер биди **IN** биди инженер биди **IN**

геодезија

хидротехника

патниста и железници

геотехника

**60 ГОДИНИ**

конструктивна насока

Универзитет "Св. Кирил и Методиј"

**ГРАДЕЖЕН ФАКУЛТЕТ**

[www.gf.ukim.edu.mk](http://www.gf.ukim.edu.mk)



<http://www.gf.ukim.edu.mk> e-mail: [informacii@gf.ukim.edu.mk](mailto:informacii@gf.ukim.edu.mk)  
бул. Партизански одреди, бр. 24, тел.: 02 / 3116 066, факс.: 02 / 3118 834





# УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ШТИП

Универзитет “Гоце Делчев”  
Факултет за природни и технички науки  
Адреса: ул. „Гоце Делчев“ бр.89  
Пош. фах 201, Штип - 2000, Р.Македонија



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

627.8:622.7'17(062)

КОНФЕРЕНЦИЈА на тема Хидројаловиштата во Република Македонија : зборник на трудови : Штип, 30-31 октомври, 2012 = Conference on topic Tailing dams in Republic of Macedonia : proceedings : Shtip, 30th - 31th October, 2012 / [Редакциски одбор Љубомир Танчев ... и др.]. - Скопје : Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian committee on large dams, 2012. - 159 стр. : илустр. ; 30 см

Делови од текстот и на англ. јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-65373-1-9

1. Насп. ств. насл.

а) Брани - Рудници - Јаловишта - Собири б) Хидројаловишта - Собири

COBISS.MK-ID 92455690