

## МОДИФИКОВАНА КОНВЕНЦИОНАЛНА БРАНА СА ФАЗНОМ ИЗГРАДЊОМ - АЛТЕРНАТИВА ЈАЛОВИШНЕ БРАНЕ

Проф. др Љупчо ПЕТКОВСКИ,  
Грађевински факултет у Скопју,  
Универзитет Св. Кирил и Методиј, Република Македонија

### РЕЗИМЕ

Први проблем који се јавља у инжењерском задатку - стварање потребног простора у одређеној речној долини за одлагање флотацијске јаловине од технолошког процеса рудника, састоји се у избору најповољнијег преградног профила и оптималног типа бране (јаловишне или конвенционалне). Овај инжењерски задатак, који се заправо не може одвојити од задатка избора оптималне конфигурације пратећих објеката хидројаловшта, одликује се високим прагом неизвесности. Стога, једини могући приступ је избор методологије која се генерално састоји од четири корака: (а) избор релевантних критеријума за процену алтернатива, (б) идентификација одређеног броја алтернативних решења, (в) разрада варијанти на истом нивоу пројектне документације и изједначавање варијанти према техничкој сигурности, и (г) поређење варијанти у складу са економским индикатором (обично минимизација актуелизованих трошкова) и допунска верификација изабраног решења према немерљивим индикаторима (еколошким, социолошким). Чланак је илустрован резултатима истраживања најповољнијег профила и оптималне врсте конвенционалне бране у долини Штучке Реке, која треба да обезбеди користан простор од  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  за одлагање флотацијске јаловине рудника Иловица у општини Босилово, у близини Струмице, на југоистоку Републике Македоније.

**Кључне речи:** хидројаловишта, најповољнији преградни профил, тип бране

### 1. УВОД - ВРСТЕ БРАНА ЗА СТВАРАЊЕ ЈАЛОВИШНОГ ПРОСТОРА

Огроман користан простор потребан за одлагање јаловине (шљаке) из технолошког процеса рудника,

може се формирати преграђивањем долине, користећи конвенционалну брану или јаловишну брану. Јаловишна брана се састоји од иницијалне бране (која се гради пре почетка одлагања флотацијске јаловине) и песковите бране, која се перманентно гради у току експлоатације рудника. Почетна брана се обично изводи као конвенционална насута брана са водонепропусним телом и одговарајуће конструкције за дренажање, тако да је уобичајено да се изгради од стране грађевинске фирме. Песчана брана се добија одлагањем јаловишног песка (крупнија фракција хидроциклонирања), која обично изгради рудничка компанија, што доприноси смањењу инвестиционих трошкова. Алтернатива јаловишне бране је конвенционална брана или брана изграђена по стандардима за формирање акумулационог базена за воду.

Да би конвенционална брана којом се ствара јаловишни простор могла да буде конкурентна јаловишној брани, потребне су одређене модификације стандардног решења конвенционалне бране. Ове модификације проистичу из три фактора који, ако су правилно укључени у пројекат, омогућавају да решење бране буде економичније. Прво, флотацијска јаловина поступно пуни простор таложног језера, у року од 20-30 година, који је уобичајен као период експлоатације рудника, за разлику од воде, која одмах испуњава цео простор акумулације, још у фази првог пуњења код тестирања бране. Одавде произилази могућност да конвенционална брана за јаловиште буде изграђена у више фаза и да обезбеди довољно простора у складу са динамиком коришћења рудника. Друго, ниво воде у акумулацији варира у корисном простору, а у случају наглог пражњења, помоћу темељног испуста може да се спусти до коте мртвог простора, што значи да у експлоатацији, вода има

променљиво оптерећење на водонепропусном елементу бране. Међутим, у таложном језеру нема варијације у нивоу флотациске јаловине, односно ниво у језеру стално се подиже, тако да водонепропусни елемент бране испод нивоа муља је трајно оптерећен од депониране јаловине. Одавде произлази могућност – да водонепропусно тело бране да не буде тако строго заштићено од променљивог оптерећења због активног дејства воде. И треће, конвенционалне бране најчешће изводи грађевинска фирма, али због њихове огромне запремине, потребно је максимално да се искористи прилика – да се рудничка јаловина (камен) угради у одређеним зонама у телу бране, односно да се овај материјал (одлаган од рудничког предузећа) примени као баластни део бране.

## 2. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ИЗБОР НАЈПОВОЉНИЈЕГ ПРЕГРАДНОГ ПРОФИЛА И ВРСТУ БРАНЕ

Коначни избор – да ли ће бити усвојена јаловишна или конвенционална брана, за одређено јаловиште на унапред дефинисаном потезу у долини реке, добија се на основу техничко-економске анализе, где за алтернативна решења морају бити испуњена следећа два услова: (а) пројекти за бране са пратећим објектима треба да буду на истом нивоу истраживања и техничке разраде, и (б) хидротехнички објекти да буду са истим прагом сигурности - статичке, сеизмичке, хидролошке и филтрационе [Petkovski L., Ilievska F., 2010], [Петковски Љ., 2012], [Petkovski L., Mitovski S., 2014]. Избор оптималне варијанте би требало да буде према критеријуму минимизације трошкова (актуелизованих у садашњој вредности) за рудничко предузеће, при чему треба израчунати трошкове и за брану, али и за све пратеће објекте хидројаловишта. Ови објекти су водопроводници – евакуациони органи за одвођење: грађевинске воде (у току изградње иницијалне бране), чисте воде у таложном језеру, поплавних вода током експлоатације рудника (активан таложни простор) и у периоду након коришћења рудника (рекултивисан таложни простор) и дренираних вода од филтрације кроз јаловишта.

У овом раду није третирана јаловишна брана [Петковски Љ., Гоцевски Б., Митовски С., 2014], већ је акценат био на систематизацији критеријума за упоређивање алтернатива са конвенционалном браном за стварање јаловишног простора. Избор

најповољнијих параметра хидројаловишта, који обухватају преградни профил и тип конвенционалне бране, треба да буде направљен узимајући у обзир следеће примарне критеријуме:

1. У долини реке, која је у близини погона флотације рудника (са циљем да дужина хидротранспорта буде минимална или више економичнија), узводно од профила бране треба да се обезбеди довољно простора за одлагање суве флотациске јаловине у периоду експлоатације рудника.
2. Низводна ножица бране да буде довољно удаљена од најближег насеља - одређено Студијом за процену утицаја на животну средину.
3. За изградњу бране (или евентуално неколико брана) треба максимално да се искористи рудничка јаловина (камен), према количини и према динамици доступности, под условом да испуњава критеријуме квалитета да буде примењен у потпорном телу бране.
4. Тип водонепропусног тела (језгро или екран, од природног или вештачког материјала), да буде усвојен са испуњавањем: задовољавајуће водонепропусности, изводљивости грађевинских предузећа, доступности материјала за изабрани преградни профил и економичности.
5. Максимални ниво таложног језера не треба да буде виши од одговарајуће коте (усаглашене са технолошким концептом рудника), са циљем да се у највећем обиму омогући гравитациони хидротранспорт од погона флотације рудника, односно да се минимизирају трошкови експлоатације.
6. Сигурност конвенционалне бране јаловишта на стохастичка оптерећења (поплава и земљотрес), треба да се обезбеди за догађаје са изузетно ретком вероватноћом, односно са периодом понављања  $T = 1.000 \div 10.000$  година, у зависности од потенцијалног ризика људских жртава и материјалне штете у долини реке низводно од бране, као и од величине хидројаловишта.
7. Хидролошка сигурност привремених хидротехничких објеката, који се користе у (n) грађевинских сезона, треба да се обезбеди од поплавног таласа са периодом поновног јављања  $T = n \times 5$  година.

### 3. РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ИЗБОР ПРЕГРАДНОГ ПРОФИЛА И ВРСТУ БРАНЕ

Решавање инжењерског задатка - избор најбољег преградног профила бране и тип конвенционалне бране, који се заправо не може одвојити од задатка избора оптималне конфигурације пратећих објеката, одликује се високим прагом неизвесности. Дакле, једини могући приступ је методологија са два корака: (а) идентификација одређеног броја алтернативних решења, за која се процењује да имају потенцијал да задовоље наведене критеријуме, и (б) разрада и поређење алтернативних решења.

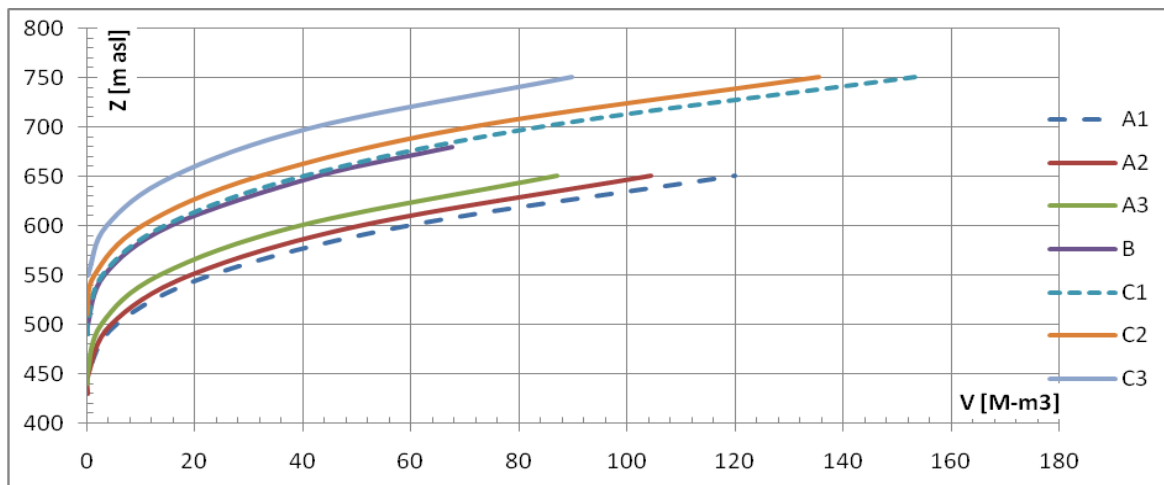
Што се тиче најповољнијег преградног профила, доминантни утицај има топографија долине реке. У идентификовању потенцијалних преградних профила, логично је започети од најнизводнијим профилима, па онда да се размотре узводни профили. Топографске услове треба приказати преко "линија запремине" потенцијалних преградних профила, израчунати за дату еквидистанцу из расположивих геодетских подлога, до вертикалне површине преградног профила. Приликом избора најповољнијег профила треба узети у обзир да предност имају профили који су што је могуће узводније у долини реке. Предност оваквих профила, који се налазе у планинској области, је резултат четири фактора. Прво, очекује се плићи нестеновит материјал у основи бране и већи квалитет стене у смислу водонепропусности и модула деформације, односно погоднији профил за изградњу конвенционалне бране. Друго, профил треба да буде постављен у простору са мањим сливом, како да би биле смањене поплавне воде за исти степен хидролошке безбедности јаловишта. Треће, водопроводници (евакуациони органи) биће постављени у потезу долине где река има повећан уздужни пад, што значи да ће за исти меродавни протицај бити економичнији - са смањеним дужинама и мањим димензијама попречног пресека. И четврто, узводнији профили имају већи потенцијал за одлагање вишка рудничке јаловине (камен) у део долине низводно од бране.

Након избора најповољнијег профила и потребне коте круне конвенционалне каменонасуте бране (почетне и завршне), на основу топографских зависности, следећи корак је избор типа водонепропусног тела (ВНТ) или врста бране. Ако у близини профила бране не постоји налазиште глине

за ВНТ камене бране (са потпорама од рудничког камена), онда су могуће варијанте каменонасутих брана са ВНТ од вештачких материјала (бетон, асфалт, геомембрана) распоређени као дијафрагма / језгро (у средини бране) или екран (на узводној косини). Следе систематизована пет критеријума који су релевантни за избор ВНТ: (а) изводљивост водонепропусног тела, (б) динамика расположивог рудничког камена за потпорни део бране, (в) трошкови пратећих хидротехничких објеката - опточна цев бране у првој фази изградње, (д) коштање ВНТ, и (е) оцена могућност надградње бране.

### 4. ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ КОД БРАНЕ ЗА ЈАЛОВИШТЕ РУДНИКА ИЛОВИЦА

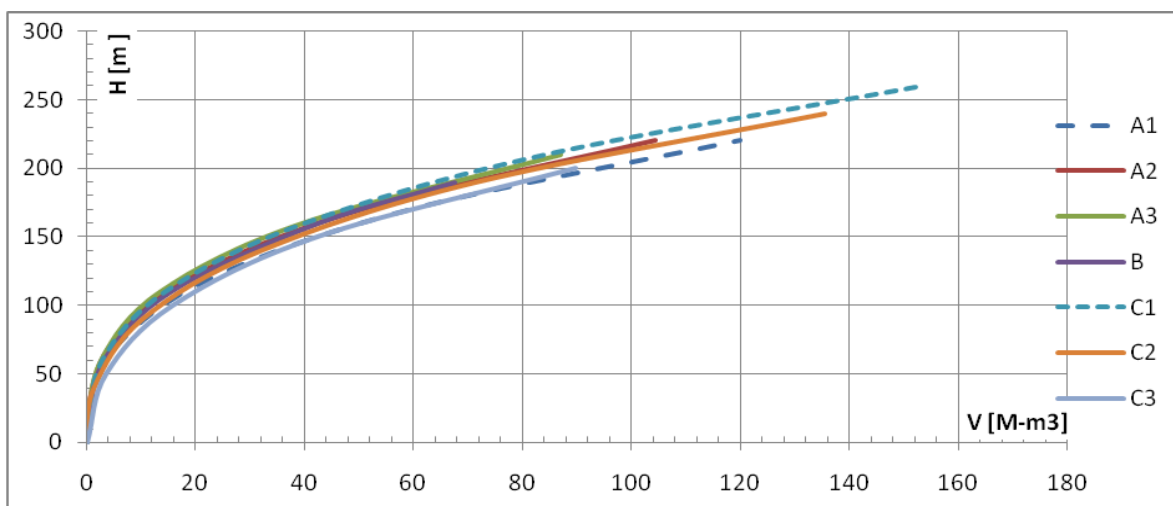
Развијена методологија за избор најповољнијег преградног профила и оптималног типа конвенционалне бране (објашњена у претходним тачкама) је примењена код хидројаловишта рудника бакра и злата Иловица, општина Босилово, Струмица, у Републици Македонији [*Градежен факултет – Скопје, 2014*], које је у фази прелиминарних истрага и пројектовања. У идентификовање потенцијалних преградних профила у долини Штучке Реке почело се са најнизводнијим профилима (А1, А2, А3), са котам речног дна око 430 мнв, а затим је испитиван профил (В) на коти корита око 490 мнв, и на крају су анализирани профили (С1, С2, С3), са котам речног дна око 490÷550 мнв. Топографске карактеристике долине су такви да ширење долине у низводном смеру, као и постојање гребена за ослањање насипа у левом боку, условавају одговарајући максимални ниво насипа бране. Максималне коте насипа бране према топографским условима, које се не смеју превазићи са круном брана, су следећи: 650 мнв за профиле (А), 680÷690 мнв за профиле (В) и 750÷800 мнв за профиле (С). У продужетку су дати топографске зависности - линије запремина, прорачунати за еквидистанце од 50 m на вертикалну површину код профила бране. Приликом испитивања да ли је задовољен примарни критеријум - обезбеђеност  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  у таложном простору, треба имати у виду запремину узводног тела бране. Из поређења анализираних профила према линијама запремине у зависности од апсолутних кота (слика 1), може се закључити да само профили С1 и С2 и евентуално А1, могу да испуне основни услов - обезбеђивање  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  у таложном простору.



Слика 1. Линеја запремина у зависности од апсолутних кота анализираних профила

Из поређења анализираних профила линијама запремине у зависности од висине брана (слика 2) може се закључити следеће. Прво, за профил A1, до горње границе издржљивости за изградњу бране (висине од 220 m и коте 650 mнв), сумарни волумен за таложно језеро иза узводног дела бране је  $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ , што је вероватно недовољан таложан простор за цео планирани век експлоатације. Друго, код профила C2, потребну сумарну запремину за таложни простор и за узводан део бране је  $130 \times 10^6 \text{ m}^3$  обезбеђује мања брана, у поређењу са профилем C1. Треће, од хидротехничког аспекта, према облику у ситуацији, профил C2 (са приближно равном

осовином подужног пресека) је прихватљивији од профила C1 (са преломљеном осовином и конвексном у низводном смеру). Четврто, прелиминарни прорачуни запремине у телу бране показују да профил C2 даје мањи захват бране од таложног простора. Наиме, профил C2 покрива  $25,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , или 40,3%, док брана профила C1 захвата  $32,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , или 47,8%. Из анализе топографских услова може се закључити да је профил (C2) на реци Штучка, најповољнији за изградњу конвенционалне бране да се створи потребан простор таложног језера за потребе рудника Иловица.



Слика 2. Линеја запремина у зависности од висине брана анализираних профила

Избором најпогоднијег профила (С2) и потребне коте круне конвенционалне камене бране, почетне (на коти 620 мнв) и завршне (на коти 750 мнв), следећи корак је избор врсте водонепропусног тела (ВНТ). Ако узмемо у обзир да у близини профила (С2) нема налазиште за глину, тада отпада варијанта каменоземљене бране и могуће су варијанте каменонасутих брана. У продужетку је дато поређење две варијанте бране - са средишњем асфалтном дијафрагмом и са узводним геосинтетичким екраном, према пет критеријума, који су идентификовани као релевантне за избор најповољније варијанте.

Први критеријум је динамика расположивих количина рудничког камена. Динамика коришћења рудника Иловица је таква да руднички камен неће бити одмах расположив у довољним количинама за изградњу камене бране са дијафрагмом. Наиме, код камене брана са дијафрагмом, паралелно са напретком дијафрагме изводе се потпорна тела бране (од узводне до низводне ножице завршне бране). Тако, за камену брану са дијафрагмом, у првој фази до коте 620 мнв, морала би да се изгради брана са ширином у дну од  $Bd = 1.178$  m. За камену брану са екраном, у првој фази изградила би се почетна брана да коте 620 мнв, која ће се налазити у узводној ножици завршне бране, па ширина у дну биће свега  $Be = 392$  m. Према овом критеријуму, предност има брана са геосинтетичким екраном.

Други критеријум је изводљивост водонепропусног тела (ВНТ), имајући у виду велику висину бране, која ће у завршној фази бити са котом круне 750 мнв, или са висином око 240 m изнад тла у осовини профила. Изводљивост ВНТ, односно врста бране, у великој мери ће зависити од динамике коришћења рудника, чиме се обезбеђују залихе рудничког камена за градњу потпорних тела бране. Са циљем да би се задовољиле потребе рудника Иловица за одлагање јаловишног материјала експлоатационом периоду од око 14 година, усвојена је изградња бране у 7 фаза, за које је процењена круна бране  $Zkr$  (мнв) и одговарајуће висине изнад тла - дијафрагме  $Hd$  (m) и екрана  $He$  (m), дате у табели 1.

Највише насуте бране у свету су каменоземљене бране Nurek (Тажикистан) од 300 m и Rogun (Тажикистан) од 335 m, која је још увек у изградњи. У Републици Македонији највиша је каменоземљена брана Козјак (Скопје), изграђена 2002 године, са конструктивном висином од 130 m [Градежен

Табела 1. Процењена висина изнад терена код водонепропусних тела за варијанте са дијафрагмом и са екраном у 7 фазама изградње бране, за профил (С2)

Фаза	Год.	V јаловине	Zkr	Hd (Z <sub>0</sub> =502)	He (Z <sub>1</sub> =546)
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	мнв	m	M
1	2	14	620	118	74
2	4	28	650	148	104
3	6	42	670	168	124
4	8	56	690	188	144
5	10	70	710	208	164
6	12	84	730	228	184
7	14	100	750	248	204

факултет – Скопје, 2004]. Највеће висине (изнад 200 m) са каменонасутим бранама, најчешће се остварује код брана са бетонским екраном, Concrete Face Rock-fill Dam, CFRD, [ICOLD 2010, Bulletin 141]. Тренутно, највише каменонасуте бране са бетонским екраном су: Shuibuya (China) 233 m, Jiangpinghe (China) 221 m, La Yesca (Mexico) 220 m. Због директног излагања водонепропусног тела бране на воду из резервоара, код насутих брана за водне акумулације, критеријуми за водонепропусност су далеко строжији - у поређењу са бранама где у таложном простору је трајно депонована флотациска јаловина. Подаци о висинама изведених каменонасутих брана, које се нормално понашају у периоду експлоатације, еклатантно показују да на профили на Штучкој реци, за потребе одлагање јаловине, може се извести каменонасута брана са висином од 250 m.

Највише изграђене бране са асфалтним дијафрагмом [Veidekke, 2013], за стварање акумулационих базена за воду су: Storglomvatn (Norway, 1997) од 125 m, La Romain-2 (Canada, 2013) од 109 m, Murwani (Saudi Arabia) од 101 m, Mao Ping Xi (China, 2006) од 95 m. У Македонији је изграђена једна каменонасута брана са асфалтним дијафрагмом - Кнежево (Прошибитип) са конструктивном висином од 82,0 m, завршена у 2010 години [Градежен факултет – Скопје, 2007]. Сматрамо да за брану са асфалтним дијафрагмом, за стварање језера за исталожавање депониране флотациске јаловине, не постоји проблем да обезбеди потребну водонепропусност за висину дијафрагме око 250 m, јер се она ослања на обе стране на потпорна тела бране, а узводно тело бране није у директном контакту са водом из језера, већ биће притиснуто исталоженом јаловином.

Највише каменонасуге бране са геомембраном, Plasticised Polyvinil Chlorid (PVC) геомембране [ICOLD 2010, Bulletin 135] су: Bovilla (Albania) од 91 m, Salt Springs (USA) од 101 m, Karahnjukar (Iceland) од 198 m. У Македонији је 2002 изградњена камена брана са геосинтетичким екраном - Лошана (Делчево), са висином изнад тла од 40,0 m [Градежен факултет – Скопје, 2000]. У 2013 години је завршен Основни пројекат за каменонасугу брану са екраном од геомембране за профил Речани (Кочани), са конструктивном висином од 80 m [Градежен факултет – Скопје, 2012]. Код насугих брана са екраном, инсталација геосинтетичког екрана за висине око 200 метара мора да се изведе са додатним хоризонталним заваривањима геомембране. Такви хоризонтални варови нису пожељни у бранама за водне акумулације, јер геомембрану треба поставити дуж целе висине узводне косине пре првог пуњења резервоара, као и због тога што су током коришћења акумулације могуће велике варијације у нивоу воде. Међутим, за корисни простор где се одлаже јаловишни материјал, уградња геомембране неће бити у једном тренутку на целој висини бране, већ у 7 фаза (у сагласности са динамиком, дата у табели 1). Дакле, геомембрана у претходној фази неће бити експонована (са могућношћу вертикалних померања и оштећења на хоризонталном спајању), већ ће бити трајно притиснута исталоженом флотациском јаловином. Практично геомембрана ће бити експонована са висином од 74 метара у првој фази, са 30 m у другој фази, и са 20 m у наредних 5 фаза. Сматрамо да ове парцијалне висине, са укупном висином од око 205 m по узводној косини бране, нису проблем за монтажу и заваривање геомембране. Дакле, према овом критеријуму (за брану са котом круне на 750 мнв), обе варијанте за ВНТ, асфалтна дијафрагма висине од 250 m и геосинтетичкиекрана висине од 205 m, су приближно једнака.

Трећи критеријум је цена опточне цеви за заштиту грађевинске јаме за изградњу почетне бране са круном на 620 мнв. То је привремени водопроводник, који ће бити затворен пре почетка пуњења таложног језера. У варијанти са дијафрагмом, грађевинска вода се мора одводити низводније од низводне ножице завршне бране са круном на 750 мнв, односно дужина цеви биће 1.558 m. У варијанти са екраном, грађевинска вода мора да се одводи низводнијеод низводне ножице почетне бране са круном на коти 620 мнв, тако да

дужина цеви биће свега 515 m. Тако, према овом критеријуму, предност има варијанта са екраном.

Четврти критеријум је могућност за надвишење бране у неку следећу фазу развоја. Наиме, пракса показује да јаловишта, са открићем нових налазишта рудних тела, често имају потребу да се изврши повећање висине бране, ради повећања запремине депоније. Надвишење бране са средишњом дејафрагмом је практично немогуће без модификације водонепропусног тела, јер не постоји могућност да се прошири узводно носеће тело бране, која је трајно притиснута флотацијском јаловином. Дакле, по овом критеријуму предност има брана са екраном, где је надвишење релативно једноставно, а своди се на насипање само по низводној (ваздушној) косини.

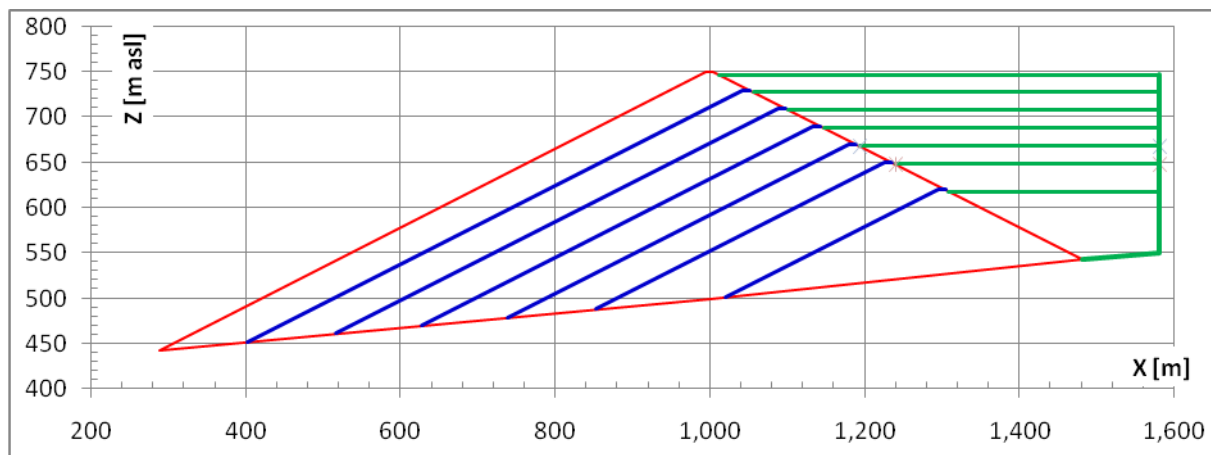
Пети критеријум је коштање водонепропусног тела. Последње две техничко-економске анализе направљене у Републици Македонији (у периоду 2012÷2013), када су поређене каменонасуге бране са висином од око 80 m, бране Конско - Гевгелија и Речани - Кочани [Градежен факултет – Скопје, 2011], за варијанте са асфалтним дијафрагмом и геосинтетичким екраном (заштићен са покривним бетонским плочама), показале су да је варијанта са екраном економичнија око 10÷15%. Ако узмемо у обзир да не постоји потреба да се заштити екран (која се углавном примењује за ублажавање ефеката старења под утицајем сунчевих зрака), јер ће екран бити трајно потопљен од флотацијске јаловине, онда може бити процењено је да ће варијанта са експонованом геомембраном бити око 20% јефтинија него варијација са асфалтним дијафрагмом.

Узимајући у обзир пет критерија за две варијанте брана (које су на истом нивоу техничке сигурности), који се односе на: (1) изводљивост водонепропусног тела, (2) динамику расположивих количина рудничког камена за потпоре брана, (3) трошкове грађевинских радова (за опточну цев за брану у првој фази до коте 620 мнв), (4) трошкове водонепропусног тела и (5) могућност надвишења бране - усвојена је каменонасуга брана са геосинтетичким екраном, слика 3, са висине по узводној косини (од ножице до круне) од 204,0 m.

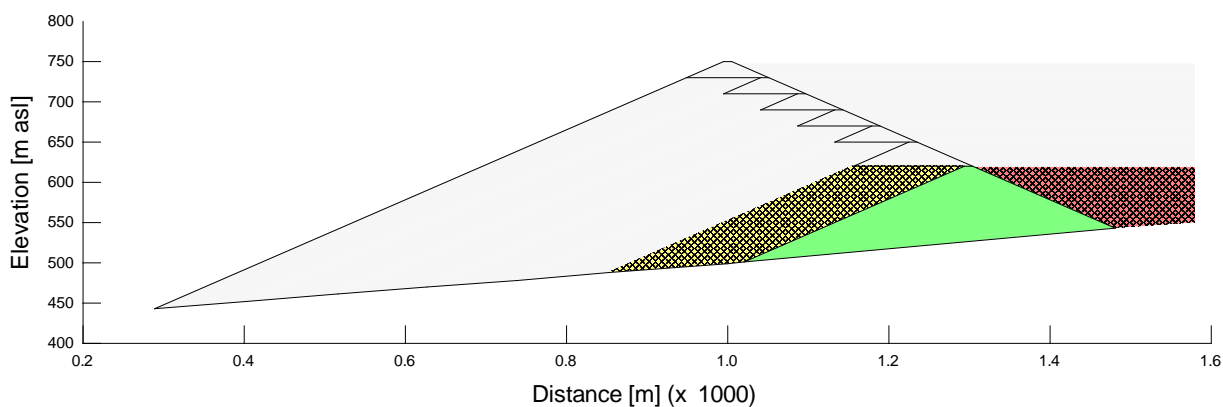
У ствари, то је модификована каменонасуга брана са фазном изградњом, где је потпорно тело бране подељено у две области: (1) "брана" =  $10,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,

узводна зона максималне збијености (постигнута вибро-ваљцима од избраног грађевинског предузећа) и (2) "баласт" =  $46,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ , централна и низводна зона бране са прихватљивим сабијањем рудничког камена, што ће се постићи са машинама за транспорт и разастирање рудничке компаније. У свакој фази напретка са јаловиштем, предвиђено је да

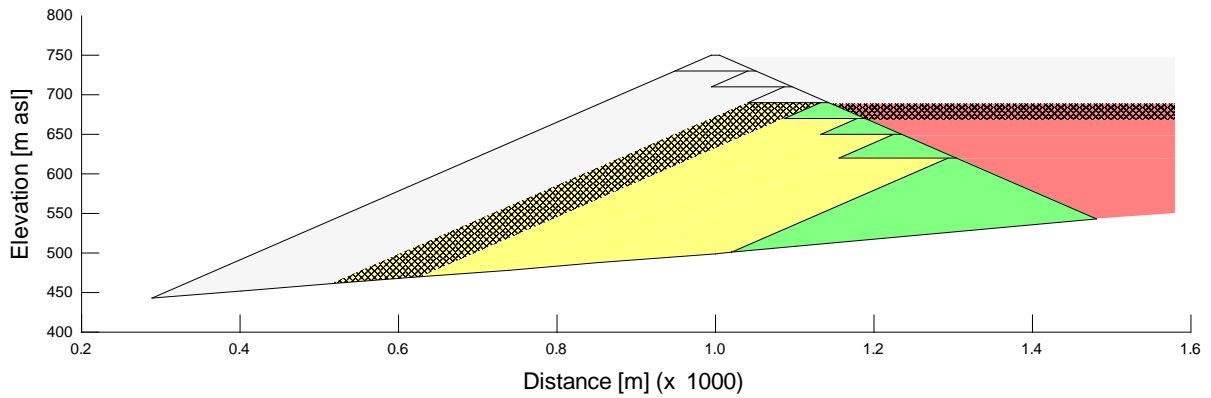
максимални радни ниво таложног језера буде најмање 2,0 m испод круне бране. У оквиру сваке фазе (слике 4.1 и 4.4), материјал у потпорном телу и у узводној филтерској зони насипа се у хоризонталним слојевима (од левогдо десног бока долине) и задовољавајућем збијеношћу.



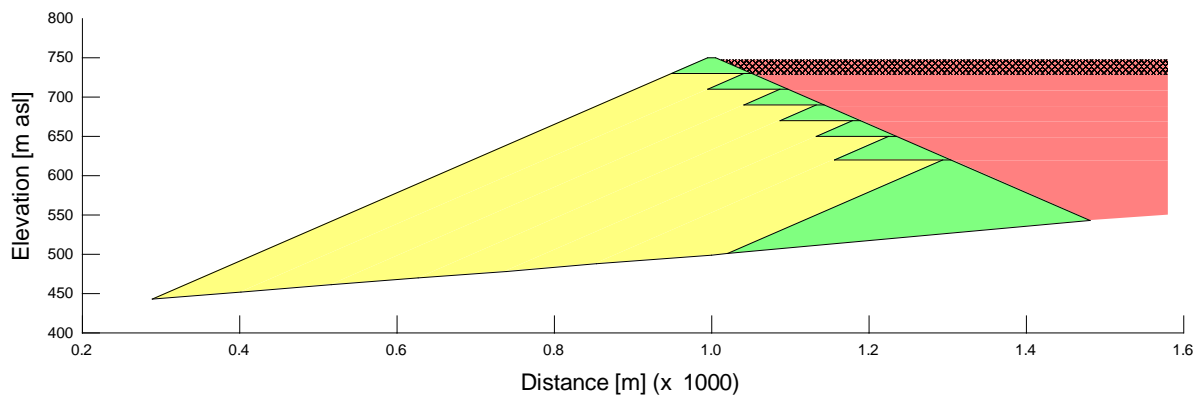
Слика 3. Усвојен тип бране - каменонасута са геосинтетичким екраном, за усвојени преградни порофил (С2) на стационажи  $X = 1.000 \text{ m}$ , у 7 фазама изградње до завршне коте насипа 750 мнв и пуњење таложног језера до максимални радни ниво 748 мнв



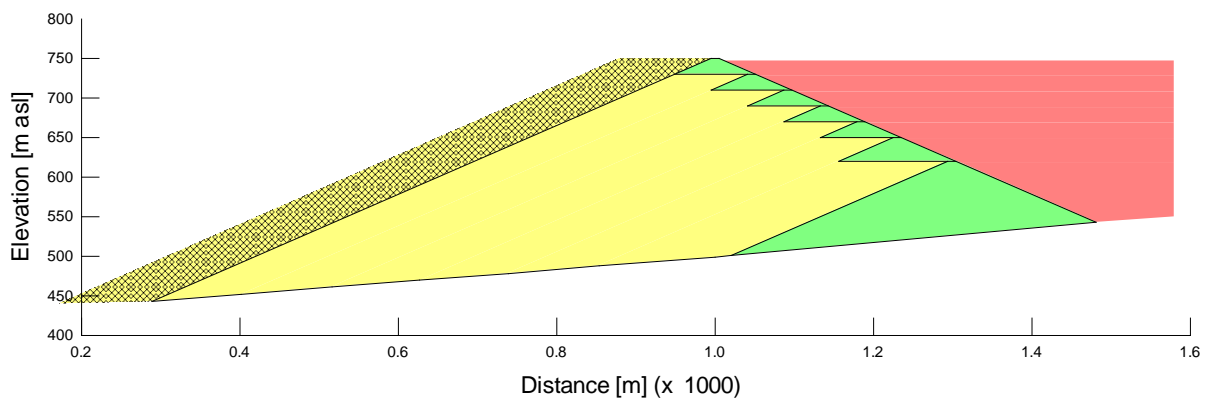
Слика 4.1. Брана Штучка фаза бр.1 (620 мнв) и пуњење до 618 мнв



Слика 4.2. Брана Штучка фаза бр.4 (690 мпн) и пуњење до 688 мпн



Слика. 4.3. Брана Штучка фаза бр.7 (750 мпн) и пуњење до 748 мпн



Слика. 4.4. Брана Штучка са допунском фазом бр. 8, саоптерећењем од баластног материјала по низводњој косини



## 5. ЗАКЉУЧАК

Оптимизациони задатак - избор најбољег профила за брану и најпогоднијег типа бране (јаловишне или конвенционалне), да се формира неопходан простор за одлагање флотацијске јаловине у разматраној долини реке, одликује се високим прагом неизвесности и има највећу стратешку тежину у фази планирања хидројаловишта. Прво, неизвесност произилази из недостатка тачног алгоритма који би требало да се примењује у решавању задатка. И друго, највећа стратешка тежина условљена је чињеницом да доношење одлуке о локацији профила бране и врсти бране најснажније утиче како на техничку сигурност, тако и на економску оправданост хидројаловишта.

Са усвојеном методологијом приказаном у овом раду, који се углавном састоји од четири корака: (1) избор релевантних критеријума, (2) идентификовање алтернативних решења, (3) разрада варијанти на истом нивоу пројектне документације и да буду изједначенепрема техничкој сигурности и (4) поређење варијаната према економском индикатору - успешно је решен постављени инжењерски задатак у долини Штучке реке. Задатак се састојао у избору преградног профила и врсте конвенционалне бране, која је требало да обезбеди корисну запремину од  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  за одлагање флотацијске јаловине рудника Иловица, Општина Босилово у близини Струмице у Републици Македонији. Усвојено решење је модификувана каменонасута брана са геосинтетичким екраном (са две зоне у потпорном телу бране - баласт од рудничког камена и стандардно набијен насип), са висином на узводној косини од 204 m, која ће бити изведена фазном изградњом у 7 етапа у току 14 година.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ICOLD 2010, Bulletin 135, Geomembrane sealings systems for Dams
- [2] ICOLD 2010, Bulletin 141, Concrete face Rockfill Dams - Concepts for design and construction
- [3] Petkovski L., Ilievska F., 2010.08 "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
- [4] Petkovski L., Mitovski S., 2014.05 "Comparison Of Tailings Dams Dynamic Response In Case Of Central And Downstream Method Of Construction", 82. Annual Meeting of ICOLD, International Symposium: Dams in Global Environmental Challenges, 1 – 6 June 2014, Bali, Indonesia, CD Proceedings III-7
- [5] Veidekke, 2013, ASPHALTIC CORE for Embankment Dams, Oslo, NORWAY
- [6] Градежен факултет – Скопје, 2000, 11, Анализа на напрегања, деформации и стабилност на браната „Лошана“ - Делчево, варијанта на каменонасипна брана со екран од геосинтетика, Анекс бр.1 кон Главниот пројект за хидросистемот „Лошана“, Љ.Петковски, Љ.Танчев
- [7] Градежен факултет – Скопје, 2004, 09, ЕЛАБОРАТ за дефинирање на состојбите на напрегања и деформации на браната „Козјак“, КНИГА - 1, Дводимензионална анализа, Љ.Петковски, Љ.Танчев
- [8] Градежен факултет – Скопје, 2007.11, Основен пројект за брана Кнежево со придружни објекти, ХС Злетовица, Книга 2, Тело на браната, Свеска 2.3, Сеизмичка (динамичка) анализа на браната, Љ.Петковски, Љ.Танчев; Dam Knezhevo, HS Zletovica, Book 2, Volume 2.3 – Seismic (dynamic) analysis of the dam,
- [9] Градежен факултет – Скопје, 2011.11, Ревизија за брана „Конско“, Гевгелија, Идеен пројект за брана Конско со придружни објекти, дел 4, Избор на оптимален тип на насипна брана „Конско“, Љ.Петковски (Одговорен ревидент), и други
- [10] Градежен факултет – Скопје, 2012.05, брана „Речани“ на Оризарска Река со придружни објекти, Дел 3.2 – Основен пројект за брана „Речани“ со придружните објекти, Книга 2 - Статичка анализа на браната, Љ.Петковски (Одговорен проектант), и други, Книга 3 – Сеизмичка анализа на браната, Љ.Петковски (Одговорен проектант), и други
- [11] Градежен факултет – Скопје, 2014.05, Идејно решение за хидројаловиштето на рудникот за бакар и злато „Иловица“, општина Босилово, Книга 2 - Избор на најповолна конфигурација на хидротехничките објекти, Љ.Петковски (Одговорен проектант), и други

[12]Петковски Љ., 2012.12 „Статичка и динамичка стабилност на јаловишните брани при нивно надвишување“, реферат, списание ПРЭСИНГ, www.komogaoai.mk, год.2, бр.12, декември 2012, п. 27-37; ISSN 1857-7-44X

[13]Петковски Љ., Гоцевски Б., Митовски С., 2014.06 „Компаративна анализа за избор на најповолен метод за градба на јаловишна брана“, реферат, IV Симпозиум на друштвото за геотехника на Македонија, јуни 25-28, Струга, Зборник 293-300

## MODIFIED CONVENTIONAL DAM IN PHASE CONSTRUCTION – AN ALTERNATIVE TO TAILINGS DAM

by

Ljupcho PETKOVSKI, PhD, CEng, Prof.  
Faculty of Civil Engineering in Skopje,  
University Sts Cyril and Methodius, R. Macedonia,

### Summary

The first problem of the engineering task – creation of required space in some river valley for deposition of flotation tailings from technological process of some mine, is composed of choice of most favorable partition profile and optimal dam type (tailings or conventional). Such engineering task, impossible to be separated from the task for choice of optimal configuration of appurtenant structures of the tailings dam, is characterized by high threshold of uncertainty. Therefore, the only possible approach is the methodology, generally composed of four steps: (a) choice of relevant criteria for valuation of the alternatives, (b) identification of number of possible alternative solutions, (c) elaboration of the alternatives at same level of technical documentation and their

equaling according to the technical safety and (d) comparison of the alternatives according to economy indicator (most often minimization of actualized cost), and additional check of the chosen solution according to non-measurable indicators (ecological, sociological). The paper is illustrated by results of the search of most favorable profile and optimal type of conventional dam in Shutchka River valley, in order to be provided operation space of  $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup> for deposition of flotation tailings from mine Plovica, municipality Bosilevo, Strumica, Republic of Macedonia.

Keywords: tailings dam, most favorable dam site, dam type

Редиговано 18.11.2015.