

ХИДРАУЛИЧКА МОДЕЛСКА ИСПИТИВАЊА БРАНЕ СА СТЕПЕНАСТИМ БРЗОТОКОМ

Даница Старицац¹
Предраг Војт²
Маријана Дамњановић³
Драгиша Жугић⁴
Љубодраг Савић⁵
Радомир Капор⁶
Будо Зиндовић⁷

УДК: 532.51:532.532

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.079

Резиме: Пројектована гравитациона брана од ваљаног бетона испитана је на физичком моделу, у размери за дужине 1:40, како би се прецизније анализирали услови течења и дале препоруке за димензионисање. Предмет ових испитивања били су евакуациони објекти – прелив практичног профила са пет преливних поља, непризматични, степенести брзоток и умирујући базен. Основна проблематика је обликовање разделних зидова брзотока, које је у случају предложеног решења доводило до појаве стојећих таласа и значајног повећања дубина уз зидове. Поређењем варијанти на физичком моделу, утврђен је најповољнији облик разделних зидова брзотока. Побољшана струјна слика у брзотоку резултовала је и повољнијим хидрауличким условима у умирујућем базену, што је омогућило уклањање планираних зуба за умирење енергије. За коначну диспозицију евакуационих објеката, мерењима на физичком моделу су одређене вредности битних параметара за димензионисање (нивои, дубине, брзине, притисци), чиме је пројектно решење значајно унапређено.

Кључне речи: Хидраулички модел, степенести брзоток, стојећи талас

1.

¹ Даница Старицац, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава-Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: danica.starinac@jcerni.co.rs

² Предраг Војт, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава-Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: predrag.vojt@jcerni.co.rs

³ Маријана Дамњановић, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава - Београд, тел: 011 39 07 911, е – mail: marijana.damnjanovic@jcerni.co.rs

⁴ Драгиша Жугић, дипл. инж. грађ., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Јарослава Черног 80, Пиносава-Београд, тел: 011 39 06 475, е – mail: dragisa.zugic@jcerni.co.rs

⁵ Проф. др Љубодраг Савић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 32 18 556, е – mail: ljsavic@grf.bg.ac.rs

⁶ Проф. др Радомир Капор, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 33 70 206, е – mail: rkapor@hikom.grf.bg.ac.rs

⁷ Будо Зиндовић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, тел: 011 33 70 206, е – mail: bzindovic@hikom.grf.bg.ac.rs

2. УВОД

Брана Бузина гради се на истоименој реци у покрајини Батна у Алжиру. Разматра се гравитациона брана од ваљаног бетона, висине 76,5 m, са котом круне бране на 1050 mm. Брана формира акумулацију са котом нормалног успора на 1045 mm. Основна намена бране јесте регулисање дотока реке Бузина како би се обезбедила вода за водоснабдевање и наводњавање. Такође, потребно је да брана са пратећим објектима обезбеди безбедно пропуштање меродавног протока од 1320 m³/s, што представља велику воду повратног периода 1000 година.

С обзиром да је реч о специфичном објекту велике инвестиционе вредности, у коме се јављају сложени хидраулички услови, пројектовано решење је проверено на физичком моделу.

Предмет ових моделских испитивања су објекти за евакуацију великих вода, који обухватају:

- Прелив практичног профила ("Кригеров"), састављен од 5 преливних поља, са укупном ширином преливне ивице од 75 m.
- Степенасти брзоток (на низводном лицу бране), променљиве ширине, намењен делимичној дисипацији енергије преливног млаза.
- Слапиште (типа USBR III, са средњим зубима), које треба да обезбеди што мирнији ток преливених вода у низводном природном кориту.

3. ФИЗИЧКИ МОДЕЛ

Физички модел бране Бузина, у размери за дужине 1:40 (Слика 1), изграђен је у хали Хидрауличке лабораторије Института за водопривреду „Јарослав Черни“, у Београду, током јануара и фебруара 2013.године.



Слика 1. Физички модел бране Бузина, Хидрауличка лабораторија Института за водопривреду "Јарослав Черни"

Моделом је обухваћен део акумулационог басена у дужини од 60 m, зона бране са главним евакуационим објектом (прелив, степенести брзоток, слапиште) и низводна деоница дужине 190 m.

У централном делу модела, брана, прелив и степенести брзоток израђени су од финог бетона са млевеним агрегатом, док је слапиште од прозирних клингерит плоча, постављених на засебној металној конструкцији. Сви објекти на моделу урађени су у целости према пројектованим димензијама и од материјала чија рапавост задовољава захтевану сличност са природом.

Изабрана размера 1:40 омогућава успешно моделирање пропусне моћи прелива, образовање стојећих таласа на степенастом брзотоку и њихово простирање у слапишту. Будући да је изграђен уз задовољење Фрудове сличности, на моделу ове размере није могуће успешно моделирање течења мешавине воде и ваздуха, па ће дубине у брзотоку модела бити мање, а преостала енергија на крају брзотока већа. То значи да се моделом не могу поуздано проценити висина разделних зидова брзотока, док су димензије слапишта на страни сигурности [1].

У оквиру моделских испитивања мерени су нивои воде (мерне игле са нонијусом као и уређаји за континуално мерење нивоа), брзине (лабораторијско хидрометријско крило, сензор за мерење концентрације ваздуха у води и брзине двофазног флуида у брзотоку), протоци (мерне коморе, ултразвучни мерач протока), притисци (стаклене пијезометарске цеви, сензори притиска).

4. ХИДРАУЛИЧКА МОДЕЛСКА ИСПИТИВАЊА

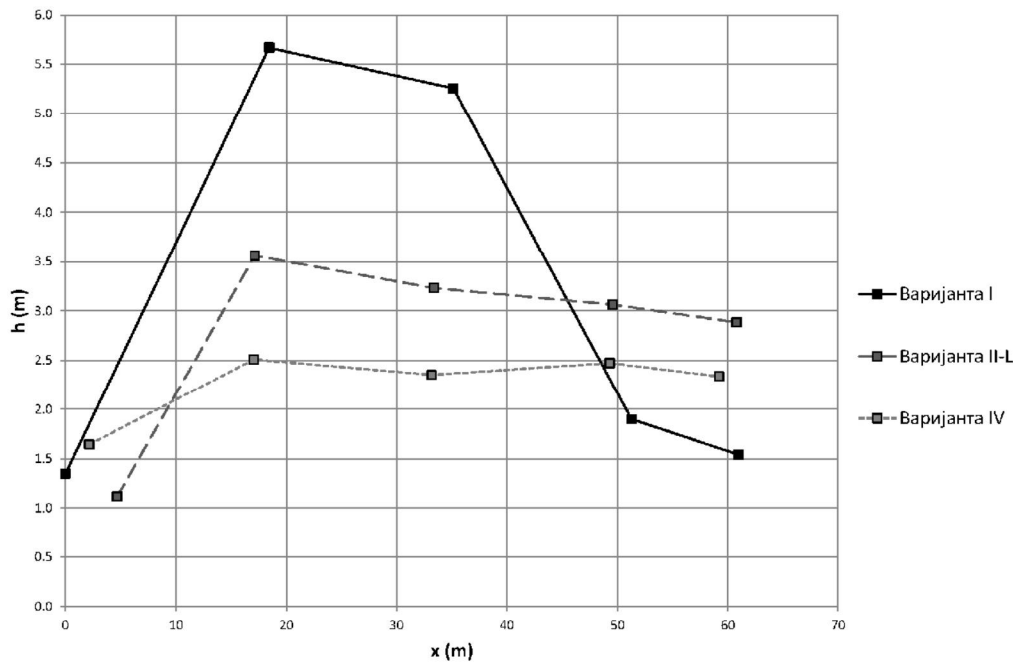
Хидрауличка моделска испитивања бране Бузина започета су прелиминарним испитивањима пројектованог решења за три карактеристична протока: $Q_{0,1\%} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{1\%} = 426 \text{ m}^3/\text{s}$ и $Q_{5\%} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$. Током испитивања анализирани су хидраулички услови у свим зонама бране (на преливу, брзотоку, слапишту и низводној деоници) и мерене најважније величине потребне за процену функционалности објеката.

На основу измерених нивоа у акумулацији закључено је да је капацитет прелива одговарајући, односно да се при рачунском протоку од $Q_{0,1\%} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$, за предложену дужину преливне ивице добија пројектована висина преливног млаза од 4 m. Како су услови течења на преливу задовољавајући, пројектована геометрија преливних поља и стубова прелива је у потпуности задржана.

Течење у слапишту је било задовољавајуће, у погледу ефикасности рада слапишта и положаја хидрауличног скока, али се показало да је потребно надвишење зидова, јер је при меродавном протоку долазило до преливања.

Основни проблем пројектованог решења представљало је течење у непризматичном, степенастом брзотоку. Наиме, током испитивања је уочена појава стојећих таласа уз разделне зидове брзотока. Овакви услови течења нису повољни, па су измене геометрије разделних зидова биле неопходне. Анализа течења за предложене варијанте облик зида заснивала се на визуелним осматрањима и на мерењу дубина воде у брзотоку при рачунском протоку. Испитане су додатне

четири варијанте, како би се на крају последња варијанта усвојила као коначна, при којој су стојећи таласи смањени на прихватљиву меру. На Слици 2 приказане су дубине воде дуж разделног зида, измерене при рачунском протицају, за различите варијанте разделних зидова. Може се приметити да су надвишења нивоа условљена стојећим таласима најмања за усвојену варијанту IV.



Слика 2. Дубине воде дуж левог разделног зида, при $Q_{0,1\%}=1320 \text{ m}^3/\text{s}$, поређење варијанти

Предложено решење слапишта је генерално потврђено током прелиминарних испитивања, где се показало да су дужина и ширина одговарајуће, док је висину разделних зидова требало повећати. Предмет даљих испитивања били су утицаји зуба на течење у слапишту, односно њихова улога у дисипацији енергије. Са тим циљем, било је логично најпре утврдити шта се дешава у случају када у слапишту нема зуба. На моделу је установљено да су овакви услови течења сасвим прихватљиви и да ову варијанту треба детаљније размотрити. У односу на варијанту са зубима у слапишту, хидраулички скок је померен нешто низводније, али и даље остаје у слапишту. Дубине воде су мање, па нема местимичног и повремених преливања преко зидова слапишта, тако да није потребно кориговати висину зидова. Закључено је да се, захваљујући повољној топографији речног корита низводно од преградног профила и димензијама слапишта, потпуно прихватљиви услови течења могу остварити и без зуба. Имајући у виду да је решење за зубима компликованије за извођење и одржавање, такво решење дефинитивно значајно подиже трошкове, а опет не доводи до значајног побољшања струјне слике. С обзиром на то, за коначну диспозицију усвојено је решење без зуба у слапишту.

За усвојену диспозицију свих објеката, на моделу су извршена опсежна мерења различитих хидрауличких величина битних за даље фазе пројектовања [1].

Утврђена је крива протока преко прелива, у опсегу од коте круне прелива (1045 mm) до коте круне бране (1050 mm). При рачунском протоку $Q_{0,1\%} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$, у акумулацији се остварује пројектовани ниво воде од 1049 mm, док се преко прелива може евакуисати максимални проток од $1920 \text{ m}^3/\text{s}$ (при нивоу воде у акумулацији на коти круне бране). За случај рачунског протока, измерене су максималне и минималне вредности дубина уз разделне зидове брзотока, што је омогућило одређивање висине разделних зидова. Због усвојене размере за дужине (1:40) и њеног утицаја на стварање мешавине воде и ваздуха на моделу, измерене дубине воде су повећане коришћењем емпиријских једначина. На основу овако прерачунатих дубина препоручено је да се висина разделних зидова смањи са пројектованих 6 m на 5 m. При карактеристичним протоцима $Q_{0,1\%} = 1320 \text{ m}^3/\text{s}$ и $Q_{1\%} = 426 \text{ m}^3/\text{s}$, урађена је анализа хидродинамичког оптерећења [1]. На основу резултата мерења и прорачуна, закључено је да су флукуације притиска углавном пропорционалне средњој вредности притиска и да нема опасности од појаве негативних притисака у слапишту. Средњи притисци на дно слапишта су значајно већи од притисака на зидовима, док су флукуације истог реда величине. Највеће вредности средњих притисака и флукуација јављају се у угловима узводног краја слапишта. Срачунате су и укупне хидродинамичке силе које делују на површину сваке од плоча. С обзиром да су флукуације знатно мање од средње вредности силе, ни у једном делу слапишта нема опасности од појаве негативних сила.

На хидрауличком моделу су утврђене криве протока доње воде у контролном (критичном) профилу, као и у профилу непосредно низводно од слапишта.

На деоници низводно од слапишта детаљно су измерени нивои и брзине воде при карактеристичним протоцима. Резултати мерења показују да су брзине највеће на изласку из слапишта, где њихове вредности достижу око 5 m/s при највећем разматраном протоку.

5. ЗАКЉУЧАК

Одлука да се пројектовано решење бране Бузина испита на физичком моделу показала се исправном, а добијени резултати веома корисни.

Хидрауличким моделским испитивањима предложена су решења проблема које није могуће сагледати при пројектовању објекта. Предложен је нови облик разделних зидова брзотока, којим се утицаји стојећих таласа умањују и постижу знатно повољнији услови течења. Захваљујући томе, висина разделних зидова је смањена са почетних 6 m на 5 m.

Моделским испитивањима показано је да предложену геометрију слапишта треба задржати, а да је зубе за дисипацију енергије могуће уклонити, чиме је остварена још једна значајна уштеда.

Након испитивања предложено је измењено техничко решење, које обезбеђује безбедну евакуацију воде при читавом опсегу протока.

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је подржан од стране Министарства просвете и науке Републике Србије у оквиру пројеката ТР 37005, 37009, 37010 и 37014.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Старицац, Д. : *Хидрауличка моделска испитивања бране Бузина - Коначан извештај*, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд, **2013**.
- [2] Капор, Р., Савић, Љ., Зиндовић, Б., Жугић, Д., Старицац, Д., Војт, П.: *Хидрауличка анализа струјања на степенастом брзотоку*, Грађевински календар 2014, Савез грађевинских инжењера Србије, Београд, **2013**., стр.70-127.

SCALE MODELLING OF THE RCC DAM WITH STEPPED SPILLWAY

Summary: *Design of an RCC (roller-compacted concrete) dam had been verified using a scale model. The scale of the model was 1:40 and hydraulic parameters were scaled using Froude similarity. The aim of investigations were flood mitigation structures – a standard Creager profiled spillway crest (with five bays), a converging stepped chute and a stilling basin. The main problem of the initial design was selecting the optimal shape of stepped chute side walls. As the converging chutes generate standing waves, this results in significant increase of the water level in the zones in the vicinity of the walls. The final shape of the side walls had been selected through trial-and-error procedure, providing the most favorable flow conditions. As a consequence, improving the flow conditions in the chute resulted in better flow conditions inside the stilling basin as well, so the proposed energy dissipation baffle blocks could be removed. For the final design, measurements of the hydraulic parameters (water levels, depths, velocities, pressures) on the scale model verified the implemented improvements (compared to the initial design).*

Keywords: *Scale model, stepped spillway, standing wave*