

## HIDRAULIČKO DIMENZIONISANJE EVAKUACIONOG ORGANA NA BRANI TABEGART U ALŽIRU

### HYDRAULIC ANALYSIS OF SPILLWAY AT TABEGGART DAM IN ALGERIA

Milovan Bjelica, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – GRAĐEVINARSTVO

**Kratak sadržaj** – U ovom radu su definisani osnovni elementi evakuacionog organa na nasutoj brani Tabegart u Alžiru. Urađeni su potrebni hidraulički proračuni i usvojene potrebne dimenzije osnovnih objekata evakuacionog organa. Sistem je dimenzionisan na propuštanje vrha poplavnog talasa 10.000-godišnje velike vode.

**Ključne reči:** Evakuacioni organ, nasuta brana, hidraulički proračun

**Abstract** – In this paper, the basic elements of the spillway at Tabeggart Dam in Algeria were defined. Necessary hydraulic calculations were made and the necessary dimensions of the network's basic facilities were defined. Whole system was designed in order to accept of 10.000 year flood.

**Keywords:** Spillway, embankment dam, hydraulic analysis

#### 1. UVOD

Projektom je obuhvaćen evakuacioni organ na nasutoj brani Tabegart u Alžiru, koji se sastoji od čeonog slobodnog preliva, stepenastog brzotoka i umirujućeg bazena.

Izgradnja brane Tabegart planira se za potrebe obezbjeđivanja vodnih resursa za navodnjavanje poljoprivrednih površina u pokrajini Batna.

Predmet rada jeste definisanje i dimenzionisanje osnovnih objekata za odvođenje velikih voda, na osnovu neophodnih hidrauličkih proračuna.

#### 2. KRIVA PROTOKA DONJE VODE

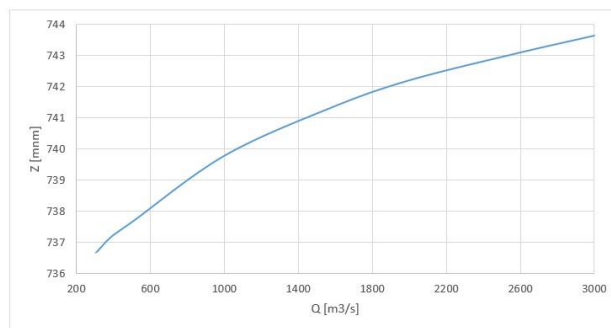
Da bi se hidraulički dimenzionisali hidrotehnički objekti u koritu rijeke Tabegart, neophodno je odrediti krivu protoka donje vode, koja predstavlja zavisnost kote nivoa u rijeci od proticaja koji ide koritom.

Najvažnija hidraulička podloga pri proračunu linije nivoa je Manningov koeficijent rapavosti. S obzirom na činjenicu da duž riječnog korita rijeke Tabegart ne postoje mjerenja nivoa, pomoću kojih bi se indirektno sračunala vrijednost ovog koeficijenta, njegova veličina je procijenjena na osnovu iskustvenih preporuka, i iznosi od 0,03 do 0,035  $m^{-1/3}/s$ .

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Goran Jeftenić.

Hidraulički proračun linije nivoa duž riječnog korita je zasnovan na primjeni energetske (Bernulijeve) jednačine za jednodimenzionalno ustaljeno tečenje između dva računsa profila. Proračuni su sprovedeni u programskom paketu HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, US Army Corps of Engineers). U njega su implementirani svi neophodni ulazni podaci vezani za geometriju korita i elemente matematičkog modela.



Slika 1: Kriva donje vode

#### 3. HIDRAULIČKO DIMENZIONISANJE SISTEMA ZA EVAKUACIJU VELIKIH VODA

Sistem za evakuaciju velikih voda iz akumulacije čine čeonu slobodni preliv, stepenasti brzotok i umirujući bazen. Imajući u vidu da je razmatrani tip brane nasuta brana koja nije u mogućnosti da pretrpi prelivanje, cijeli sistem je dimenzionisan za propuštanje vrha poplavnog talasa 10.000-godišnje velike vode  $Q_{0,01\%}$ .

##### 3.1. Hidrauličko dimenzionisanje sistema

Preliv brane Tabegart je čeonu preliv praktičnog profila, bez ustava, smješten u lijevom boku brane. Računska visina prelivnog mlaza je definisana kao razlika K<sub>MU</sub> i K<sub>NU</sub>, i iznosi 4.75 m. Uz unaprijed definisanu visinu prelivnog mlaza i određenu vrijednost računskog proticaja preliva, širina preliva se određuje iterativnim putem. Proračunom je dobijeno da je širina jednog prelivnog polja  $bp = 14.5$  m, odnosno konstruktivna širina preliva  $BP = 130$  m. Konstruktivna širina preliva definiše širine nizvodnog stepenastog brzotoka i umirujućeg bazena.

Sa definisanim dimenzijama i proticajnim parametrima preliva, formira se kriva proticaja preliva, u obliku zavisnosti proticaja od kote nivoa u akumulaciji  $Q = f(Z)$ . Jednačina prelivanja kojom je formirana kriva proticaja glasi:

$$Q = C_p B_{ef} \sqrt{2gH^3} \quad (1)$$

pri čemu je

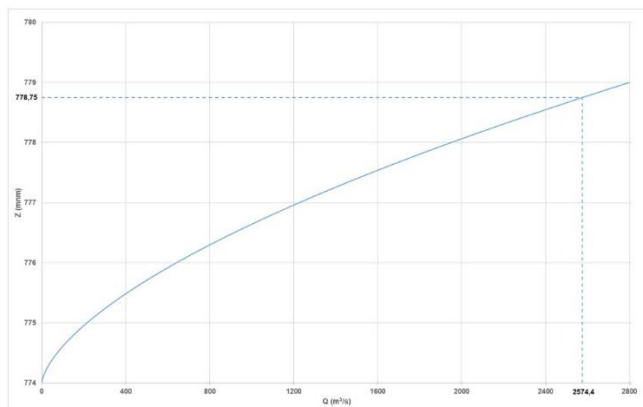
Q – proticaj na prelivu,  
H – računsa visina prelivnog mlaza,  
B<sub>ef</sub> – efektivna dužina prelivne ivice,  
C<sub>p</sub> – koeficijent preliivanja koji je funkcija visine prelivnog mlaza.

Karakteristične vrijednosti visine prelivnog mlaza, zajedno sa ostalim članovima prethodne jednačine, prikazani su u tabeli 1:

Tabela 1: Vrijednosti krive proticajaja preliiva sa parametrima jednačine preliivanja

Zaku [mm]	Hpl [m]	Bef [m]	Cp [-]	Q [m <sup>3</sup> /s]
774.00	0.00	116.00	0.38	0.00
774.50	0.50	115.83	0.40	73.46
775.00	1.00	115.66	0.42	215.26
775.50	1.50	115.49	0.43	406.81
776.00	2.00	115.32	0.44	641.54
776.50	2.50	115.15	0.45	915.58
777.00	3.00	114.98	0.46	1226.22
777.50	3.50	114.81	0.47	1571.39
778.00	4.00	114.64	0.48	1949.42
778.50	4.50	114.47	0.49	2358.90
779.00	5.00	114.30	0.49	2798.64

Grafička interpretacija ovih parametara, uključujući i krivu proticajaja preliiva, prikazana je na slici 2:



Slika 2: Kriva proticajaja preliiva brane Tabegart

### 3.2. Hidrauličko dimenzionisanje brzotoka

Prelivno lice brane je u vidu stepenastog brzotoka. Stepence stvaraju značajan gubitak energije toka, pa mlaz dospjeva u umirujući bazen sa znatno manje energije nego kod klasičnog brzotoka.

Stepence brzotoka su visine 1 m i dužine 2 m. Širina brzotoka iznosi 130 m, a razvijena dužina 90.40 m. Visina razdjelnih zidova slapišta iznosi 11.80 m. Proračun tečenja i hidrauličkih gubitaka duž brzotoka je izvršen na dva načina:

- Proračun tečenja prema Boes-u i Hager-u;
- Proračun linije nivoa duž brzotoka primjenom Bernulijeve jednačine.

Proračun prema Boes-u i Hager-u je zasnovan na rezultatima eksperimentalnih ispitivanja korišćenjem empirijskih i poluempirijskih zavisnosti, dok je proračun linije nivoa poslužio za provjeru rezultata sa stanovišta teorije. Poređenjem rezultata dobijenih preko ove dvije metode, zaključujemo da su rezultati približni, što se vidi iz tabele 2:

Tabela 2: Poređenje vrijednosti rezidualne energije i karakteristika toka na kraju brzotoka:

	Q (m <sup>3</sup> /s)	h (m)	V (m/s)	Hres (m)	E (mnm)
En. (Bernulijeva) jed.	2574.40	1.09	18.22	17.89	751.89
Boes i Hager	2574.40	1.06	18.73	18.82	752.82

Na osnovu analize, zaključuje se da postupak Boes-a i Hager-a daje nepovoljnije rezultate, pa se usvaja kao mjerodavan za dalju analizu.

Kako bi se odredila visina razdjelnih zidova brzotoka h<sub>Z,B</sub> pronađene su vrijednosti dubine mješavine vode i vazduha u tački uvlačenja vazduha h<sub>m,i</sub> i dubine mješavine sa koncentracijom vazduha od 90% na dnu stepenastog brzotoka h<sub>90%,S</sub>.

Dubina vode u tački ovazdušenja iznosi 1.54 m, i sračunata je prema formuli:

$$\frac{h_{m,i}}{s} = 0,40F_*^{0,60} \quad (2)$$

Prema Boes-u i Hager-u do ovazdušenja toka dolazi na 79.59 m od krune preliiva gledano po pseudodnu brzotoka.

Vrijednost dubine mješavine sa koncentracijom vazduha od 90% na dnu stepenastog brzotoka se računa kao:

$$h_{90\%,S} = \frac{h_{W,S}}{1-C_s} \quad (3)$$

Ukupna dužina pseudodna brzotoka za usvojenu kotu dna umirujućeg bazena iznosi 90.40 m.

Vrijednosti parametara h<sub>W,S</sub>, C<sub>s</sub> i h<sub>90%,S</sub> su prikazane u tabeli 3:

Tabela 3: Vrijednosti dubine mješavine vode i vazduha koncentracije 90% na dnu brzotoka

metoda	h <sub>W,S</sub> (m)	C <sub>s</sub> (%)	h <sub>90%,S</sub> (m)
<b>Boes i Hager</b>	1.06	44.1	<b>1.89</b>

Visina zidova h<sub>Z,B</sub> se određuje na osnovu referentne dubine mješavine vode i vazduha h<sub>m</sub> i koeficijenta sigurnosti preliivanja zidova η:

$$h_{Z,B} = \eta h_m \quad (4)$$

Usvojena vrijednost koeficijenta η je preporučena u slučaju brzotoka sa nasutim branama i iznosi 1.50. Vrijednosti neophodne visine zida na određenim stacionažama brzotoka prema metodama proračuna prikazane su u tabeli 4:

Tabela 4: Neophodne visine zida na određenim stacionažama brzotoka:

Metoda	L (m)	h <sub>m</sub> (m)	C (%)	h <sub>Z,B</sub> (m)
<b>Boes i Hager</b>	79,59	1,54	44,12	2.31
	90,40	1,89	44,12	<b>2.84</b>
<b>Bernuli (Smith, 1995)</b>	90,40	1.81	39.98	2.72

Usvojena je konstantna visina razdjelnih zidova od 3 m.

### 3.3. Hidrauličko dimenzionisanje umirujućeg bazena

Uloga umirujućeg bazena je disipacija preostale energije prelivene vode. Umirujući bazen (slapište) preliiva brane Tabegart je tipa USBR II sa izostavljenim uzvodnim zubima.

Širina slapišta je jednaka širini brzotoka, odnosno 130 m, dok usvojena dužina slapišta iznosi 36.50 m. Na nizvodnom kraju se nalazi odbojni zid, iz koga se izdiže 55 zuba širine 1.2 m i visine 1.65 m.

Za umirujući bazen brane Tabegart razmatrana su tri tipa umirujućih bazena sa elementima za dodatno umirenje. Njihovi karakteristični izgledi i opseg hidrauličkih karakteristika za koje se primjenjuju nalaze se u tabeli 5:

Tabela 5: Pregled razmatranih tipova umirujućih bazena sa izgledom i uslovima primjene

Тип умирујућег базена	Изглед умирујућег базена	Неопходни услови примјене
USBR II		$q \leq 46,5 \text{ m}^3/\text{s}$ $Fr_1 > 22,25$ $Z_{GV} - Z_{DV} \leq 60 \text{ m}$
USBR III		$q \leq 18,6 \text{ m}^3/\text{s}$ $Fr_1 > 22,25$ $V_1 < 16 \text{ m/s}$
USBR IV		$6,25 \leq Fr_1 \leq 22,25$ $Z_{GV} - Z_{DV} \leq 15 \text{ m}$ $m_{Z,S} = 0$

Karakteristike umirujućeg bazena koje su uticale na izbor tipa prikazane su u tabeli 6:

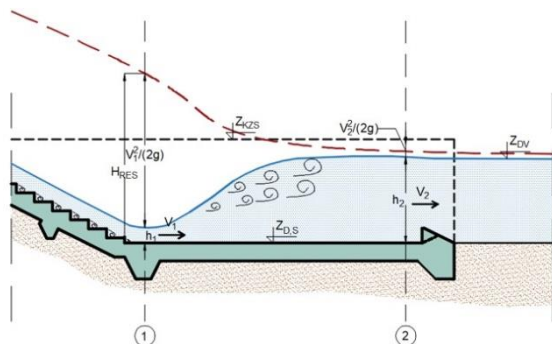
Tabela 6: Hidrauličke karakteristike referentne za odabir tipa umirujućeg bazena

$Z_{GV} - Z_{DV}$ (m)	$q$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$V_1$ (m/s)	$Fr_1$ (-)
9.74	19,80	18,73	33.80

Shodno prikazanim hidrauličkim karakteristikama umirujućeg bazena iz tabele 6, poređenim sa uslovima iz tabele 5, usvojen je umirujući bazen tipa USBR II.

Hidraulički proračun umirujućeg bazena treba da odredi parametre hidrauličkog skoka na osnovu kojih se dimenzionišu elementi bazena. Uz to, treba odrediti kotu dna umirujućeg bazena koja ispunjava uslov da hidraulički skok bude potopljen vodom iz nizvodnog korita.

Uzvodni granični uslov je vrijednost energije na ulazu u umirujući bazen definisana vrijednošću rezidualne energije na nizvodnom kraju stepenastog brzotoka. Nizvodni granični uslov je kriva donje vode brane Tabegart.



Slika 3: Računski presjeci u umirujućem bazenu

Vrijednosti karakteristika toka na ulaznom presjeku umirujućeg bazena dobijene su rješavanjem sledećih jednačina u presjeku 1 (slika 3):

$$h_1 = \frac{q}{B_s V_1} \quad (5)$$

$$V_1 = \sqrt{2g(H_{RES} - h_1)} \quad (6)$$

$$Fr_1 = \frac{V_1^2}{gh_1} \quad (7)$$

Sa poznatim parametrima u presjeku 1 rješava se dinamička jednačina između presjeka 1 i 2. Dinamička jednačina po vrijednosti druge spregnute dubine  $h_2$  glasi:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1} - 1) \quad (8)$$

Kota dna umirujućeg bazena mora da zadovolji uslov potopljenosti prema jednačini:

$$Z_{D,S} = Z_{DV} - \sigma h_2 \quad (9)$$

gdje minimalna vrijednost koeficijenta potopljenosti  $\sigma$  za slapište tipa USBR II iznosi 1,05.

Proračun je vršen iterativno. Rezultat proračuna je kota dna umirujućeg bazena od 734.52 mm, koja je usvojena na vrijednost 734.00 mm. Za usvojenu vrijednost kote dna umirujućeg bazena izvršen je proračun parametara hidrauličkog skoka, koji su prikazani u tabeli 7:

Tabela 7: Parametri hidrauličkog skoka za usvojenu kotu dna umirujućeg bazena

$Z_B$ (mm)	$h_1$ (m)	$V_1$ (m/s)	$Fr_1$ (-)	$h_2$ (m)	$V_2$ (m/s)	$Fr_2$ (-)	$\sigma$ (-)
734	1.06	18.73	33.80	8.18	2.42	0.07	1,11

Da bi se hidraulički skok zadržao unutar bazena, njegova dužina  $L_s$  ne smije biti manja od dužine hidrauličkog skoka definisane za umirujuće bazene tipa USBR II:

$$L_s = (3,044 + 0,216Fr_1 - 0,009Fr_1^2)h_2 \quad (10)$$

Uzimajući u obzir parametre hidrauličkog skoka iz tabele 7, neophodna dužina umirujućeg bazena iznosi 32.7 m. Zbog izostavljenih uzvodnih zuba vrijednost neophodne dužine slapišta je uvećana za 10% i iznosi 35.95 m. Prema tome, usvojena dužina umirujućeg bazena je 36.50 m, uzimajući u obzir pseudodno stepenastog brzotoka koje zahvata mali dio slapišta.

S obzirom da i nakon napuštanja umirujućeg bazena, prelivena voda i dalje raspolaže sa izvjesnom energijom, nizvodno od umirujućeg bazena je predviđena kamena obloga koja bi zaštitila korito od erozije.

Dužina na kojoj se korito štiti od eventualne erozije vodom iz slapišta LK, dobijena je iz relacije:

$$L_K = 4h_2 \quad (11)$$

i usvojena je vrijednost od 30 m.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je sagledan cjelokupan sistem za evakuaciju velikih voda brane Tabegart u Alžiru. Ovakve hidrauličke analize su neophodne pri dimenzionisanju ove vrste objekata.

Ovakve analize predstavljaju generalna rešenja objekata za evakuaciju velikih voda.

Projektovan je sistem koji se sastoji od čeonog slobodnog preliva, stepenastog brzotoka i umirujućeg bazena tipa USBR II. Projektovana je i kamena obloga nizvodno od slapišta, koja štiti korito od erozije.

Cjelokupan sistem je dimenzionisan da propusti vrh poplavnog talasa 10.000 – godišnje velike vode.

## 5. LITERATURA

- [1] Peterka A.J. (1958). „Hydraulic analysis of spilling basins and energy dissipators“, Denver - USA
- [2] USBR (1987). „Design of small dams“, Washington - USA
- [3] Savić Lj., Milovanović B., Kuzmanović V., Komatina D. (2004). „Hidrosoft – Softverska podrška za projektovanje hidrotehničkih konstrukcija“, Beograd
- [4] Petrović P., Radojević D. (2005). „Hidrotehničke konstrukcije – primeri i primene“, Beograd
- [5] Kapor R. (2008). „Hidraulika“, Beograd
- [6] Savić Lj. (2009). „Uvod u hidrotehničke konstrukcije“, Beograd
- [7] Jovanović M., (2009). „Regulacija reka – Rečna hidraulika i morfologija“, Beograd
- [8] HEC-RAS – River Analysis System (2010), User’s Manual, Davis - USA
- [9] Erčić Ž., (2013). „Pregled i primena rezultata savremenih hidrauličkih istraživanja u projektovanju preliva visokih brana – Prelivi sa stepenastim brzotokom“, Beograd
- [10] Energoprojekt - Hidroinženjering, (2013), „Glavni projekat brane Buzina“, Beograd
- [11] Energoprojekt – Hidroinženjering, (2014), „Glavni projekat brane Tarzut“, Beograd
- [12] Ivetić M. (2015), „Stručni rad – Hidrauličko dimenzionisanje akumulacije i brane Tarzut sa pratećim objektima“, Beograd

### Kratka biografija:



**Milovan Bjelica** rođen je 1990. godine u Trebinju. Diplomirao je o visokom obrazovanju je stekao na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na temu „Hidrauličko dimenzionisanje evakuacionog organa na brani Tabegart u Alžiru“ iz oblasti građevinarstva obranio je na Fakultetu tehničkih nauka 2023. godine.

kontakt: [bjelicamilovan@gmail.com](mailto:bjelicamilovan@gmail.com)