

STEPENASTI PRELIV SA ODBOJNOM GREDOM

Ljubodrag SAVIĆ, Vladan KUZMANOVIĆ,
Bojan MILOVANOVIĆ, Nikola ROSIĆ
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

REZIME

U radu je prikazan stepenasti preliv sa odbojnom gredom, kao evakuacioni objekat u sklopu niske retenzione pregrade proizvoljnog tipa. Prikazani objekat predstavlja originalno rešenje, koje objedinjuje stepenasti preliv sa propustima i umirujući bazen sa odbojnom gredom i blokovima, po ugledu na USBR VI tip slapišta. Dat je hidraulički proračun za određivanje dimenzija bazena, kao i uputstava za hidrauličko oblikovanje.

Ključne reči: Stepenasti preliv, umirujući bazen, hidraulički proračun

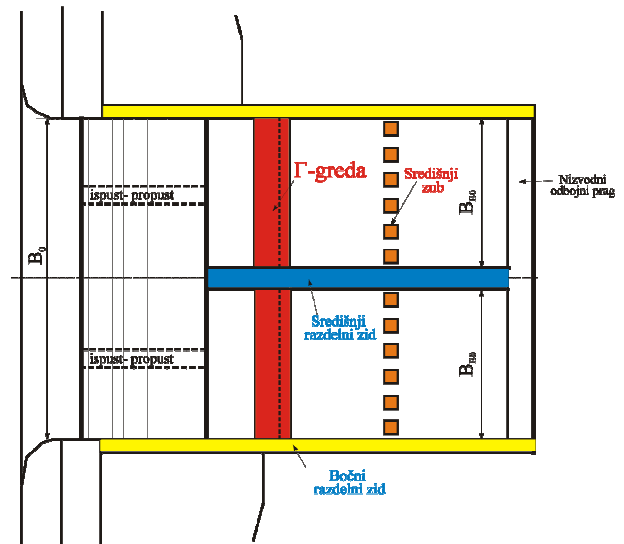
1. UVOD

Prikazani „stepenasti preliv sa odbojnom gredom“ predviđen je za ublažavanje poplavnih talasa bujičnih vodotoka, prvenstveno u širokim naseljenim dolinama, na mestima gde nije moguća primena klasičnih bujičarskih pregrada. S obzirom da je u pitanju hidrotehnički objekat relativno malih dimenzija, koji se nalazi u naseljenom području, vodilo se računa da usvojeno rešenje bude tehnički jednostavno za izvođenje i održavanje. Uz to, ovakvo rešenje je primenljivo i kod betonskih i kod nasutih brana svih tipova.

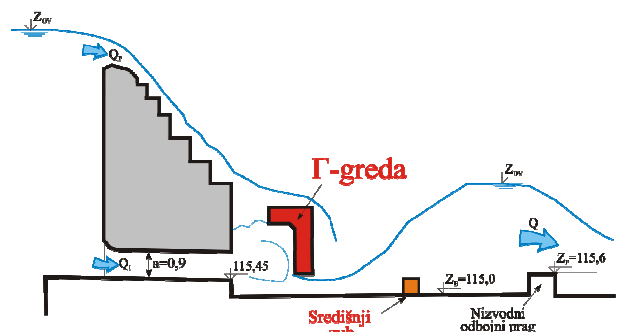
Evakuacioni objekat se sastoji iz stepenastog preлива sa nekoliko propusta (ispusta), kao i nestandardnog umirivača energije. Stepenasti preliv (preliv sa stepenastim brzotokom) omogućava znatno efikasnije rasipanje energije prelivene vode od klasičnog preлива sa glatkom konturom. Nizvodna kontura prelivne lamele sastoji od stepenika različite visine, koji se nadovezuju na konturu preлива Kriger-Oficerova.

Razmatrani tip umirujućeg bazena omogućava efikasno rasipanje energije mlaza koji ističe kroz propuste, kao i

vode koja dotiče preko stepenastog preлива. Rešenje predstavlja kombinaciju modifikovanog USBR bazena broj VI (prevashodno namenjenog za propuste) i klasičnog bazena sa središnjim zubima i nizvodnim odbojnim pragom (Sl. 1. i Sl. 2.).



Slika 1. Osnova evakuacionog objekta



Slika 2. Poprečni presek kroz evakuacioni objekat

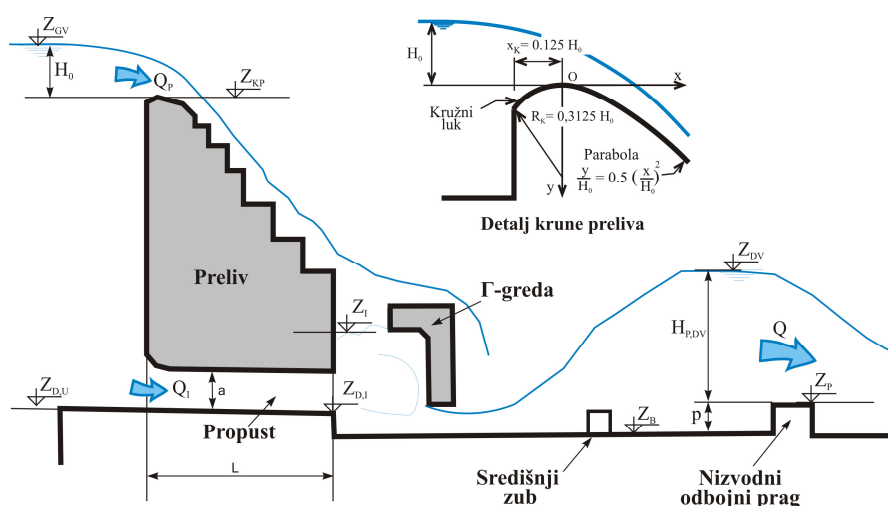
2. OPIS OBJEKTA

Preliv i propusti su dimenzionisani tako da omoguće minimalno plavljenje u zoni akumulacije (retenzije) pri prolasku računskog-projektog talasa (npr. $Q_{1\%}$), s tim da brana-pregrada ne bude oštećena ni pri talasu merodavnom za njenu stabilnost (npr. $Q_{0,1\%}$). Umirujući bazen se projektuje sa računskim proticajem koji odgovara poplavnom talasu manjeg povratnog perioda ($Q_{1\%}$, ili $Q_{2\%}$), jer eventualno oštećenje bazena ne bi ugrozilo stabilnost same brane.

Kriva „donje vode“

S obzirom da u koritu bujičnih vodotoka vlada buran režim, to nivoi nizvodno od pregrade ne utiču na tečenje u umirujućem bazenu i propustima. Nivo vode potreban za potapanje skoka u bazenu se obezbeđuje preko odbojnog nizvodnog praga, visine, p (sl. 3). Ovaj prag ujedno predstavlja nizvodni granični uslov za ceo objekat – njime je određen nivo vode u bazenu, odnosno kriva „donje vode“. Veza proticaja, Q , i nivoa ispred nizvodnog praga, Z_{DV} , ostvaruje se preko jednačine preliivanja na nizvodnom pragu. Prag je suviše kratak da bi se mogao smatrati „širokim“, pa će koeficijent preliivanja ovde, usled zakrivljenosti strujnica, biti veći nego kod širokog praga ($C_P = 0,38-0,42$). Prema jednačini preliivanja dobija se:

$$H_{P,DV} = \left(\frac{Q}{C_P B_B 2g} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$



Slika 3. Presek kroz evakuacioni objekat pregrade Jelezovac

gde je $H_{P,DV}$ debljina prelivnog mlaza na pragu, a B_B , širina bazena (umanjena za debljinu središnjih razdelnih zidova).

Preliv

Stepenasti preliv (preliv sa stepenastim brzotokom) omogućava znatno efikasnije rasipanje energije prelivene vode od klasičnog preliva sa glatkom konturom. Nizvodna kontura prelivne lamele sastoji od stepenika različite visine, koji se nadovezuju na konturu preliva Kriger-Oficerova.

Dužina preliva u kruni je B_0 , računa se prema iskustvenom obrascu (Smith 1995, Savić 2009) kao:

$$B_0 = 1,9 Q^{0,4}. \quad (2)$$

Ulazni krajevi razdelnih zidova su u osnovi oblikovani kružnim krivinama poluprečnika $R_B = 1,1H_0$, gde je H_0 debljina mlaza pri računskom proticaju. Kontura Kriger-Oficerova je određena kao kombinacija kružne krivine, poluprečnika $R_K = 0,3125 H_0$, sa centrom na rastojanju od uzvodnog lica brane od $x_K = 0,125 H_0$, i parabole

$$y = 0,5 \frac{x^2}{H_0} \quad (\text{Sl. 3}).$$

Proticaj preko preliva određuje se jednačinom preliivanja (1), s tim da je ovde koeficijent preliivanja pri računskoj debljini prelivnog mlaza $C_P = 0,47-0,49$.

Propust

Propust čine otvori kvadratnog preseka ivice a , dužine L , sa kotom dna ulaznog kraja, $Z_{D,U}$, i izlaznog kraja na $Z_{D,I}$. Otvori se postavljaju zavisno od topografije profila, tako da omoguće da mlaz propusta udara direktno u odbojnu gredu umirujućeg bazena, kao i da se postigne dovoljno veliki nagib dna za propuštanje nanosa pri tečenju sa slobodnom površinom. Ulazni deo otvora je hidraulički oblikovan sa gornje strane i sa bokova eliptičnim krivinama, sa polučrečnicima od $0,25a$ i $0,40a$.

Pri malim proticajima, tečenje u propustu je sa slobodnom površinom. S obzirom na strmi nagib dna, kao i položaj izlaznog kraja koji je (pri malim protocima) nepotopljen, kontrolni presek se uspostavlja na uzvodnom kraju, i određen je kritičnom dubinom na ulazu u propust. Veza proticaja, Q , i nivoa ispred propusta, Z_{GV} , se ostvaruje preko jednačine energije između preseka GV i preseka na ulazu u propust, s tim što je, zbog povoljnog oblikovanja, gubitak na ulazu procenjen na $\xi_{UL} = 0,15$ (sl. 3).

Za tečenje pod pritiskom, veza između proticaja i nivoa dobija se preko jednačine energije između preseka ispred propusta i preseka na nizvodnom kraju, s tim što su svi gubici (na ulazu i linijski) objedinjeni u jedan koeficijent, $\xi_L = 0,15$, jer linijske gubitke nema smisla odvojeno obračunavati, s obzirom na malu dužinu propusta, na kojoj ne može da se razvije granični sloj. Kombinovanjem jednačine energije sa jednačinom kontinuiteta se dobija:

$$Q = C_Q a^2 \sqrt{2g(Z_{GV} - Z_I)}, \quad (3)$$

gde je koeficijent proticaja: $C_Q = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_L}} = 0,93$.

Pri većim proticajima na prelivu, nivo donje vode je iznad kote svoda propusta, usled potapajućeg uticaja nizvodnog praga. Uz to, uskovitlani siloviti mlaz propusta koji udara u odbojnu gredu umirivača, izaziva povratno složeno vrtložno strujanje ka izlazu propusta, pa je izlaz potopljen, s tim što se nivo vode na izlazu, Z_I , ne može pouzdano proceniti.

Umirujući bazen

Umirujući bazen je specifičan, jer treba da omogući rasipanje energije silovitog mlaza koji ističe kroz propuste, kao i vode koja dotiče preko stepenastog

preliva. Zbog toga je projektovana kombinacija modifikovanog USBR bazena broj VI (Smith 1995) (prevashodno namenjena za propuste), i klasičnog bazena sa središnjim zubima i nizvodnim odbojnim pragom. Dimenzije umirujućeg bazena određuju su prema proticaju talasa projektne velike vode.

Širina bazena B_0 se računa prema jednačini (2). Prema preporukama (Smith 1995), u sredini bazena, između otvora za propuste, postavljaju se masivni središnji razdelni zidovi. Za svaki od propusta projektovana je horizontalna odbojna greda "Γ" preseka visine $0,37 B_{B0}$, na rastojanju $0,58 B_{B0}$ od nizvodnog lica stepenastog preliva. Navedene dimenzije određene su na osnovu preporuka literature (Savić 2009, Smith 1995, Peterka 1958), prema osnovnom parametru, širini polja za jedan propust, B_{B0} (sl. 1). Na ploči bazena su, prema preporukama Smith-a (1995) projektovani središnji zubi visine $0,10 B_{B0}$, za efikasnije umirenje energije vode i stabilizaciju izlaznog mlaza. Na nizvodnom kraju ploče je, već opisani odbojni prag, u kome su ostavljeni uzani otvori za oticanje vode pri malim proticajima.

Dimenzije bazena određuju se jednostavnim postupkom, u kome je pretpostavljeno da se sva voda, koja preliva i ističe „pojavi“ u preseku **1**, neposredno iza grede „Γ“ (Sl. 4.). Prema jednačini energije između preseka ispred brane, GV, i preseka **1**, može se proceniti prosečna brzina V_1 , kao:

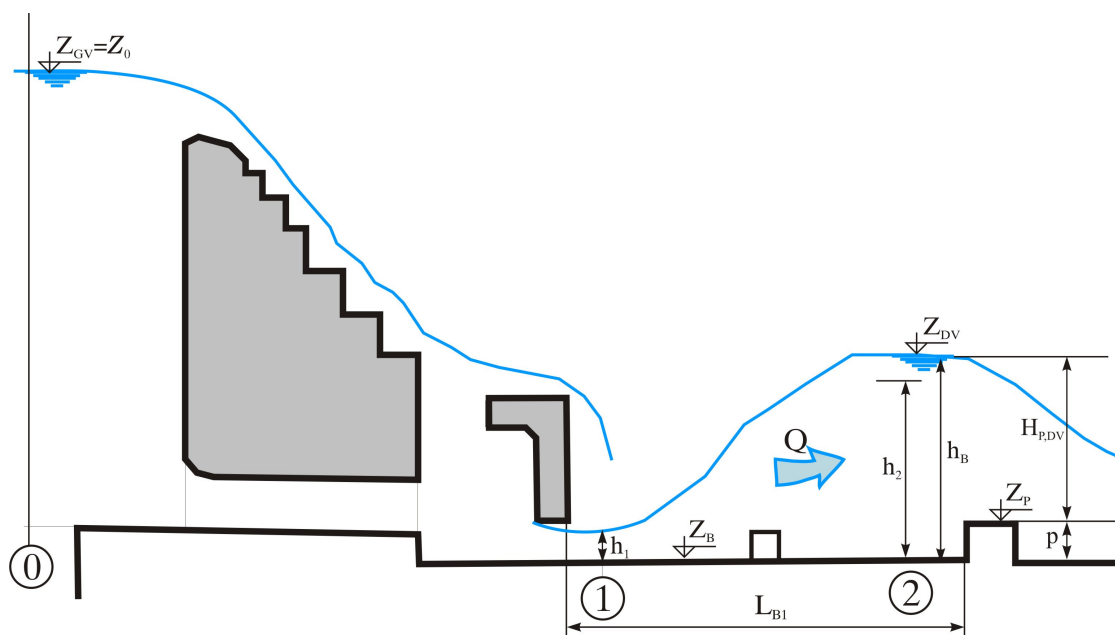
$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \xi}} \sqrt{2g(Z_{GV} - Z_B - h_1)}, \quad (4)$$

gde su: h_1 = prva spregnuta dubina, Z_B = kota dna bazena, a $\Sigma \xi = 1,5$, procenjena suma svih gubitaka (na stepenastom brzotoku, gredi, na sudaru mlazova propusta i preliva ispred grede, i sl.). Jednačina energije se rešava simultano sa jednačinom kontinuiteta, da bi se dobile vrednosti brzine i dubine u preseku, dok se druga spregnuta dubina dobija iz jednačine hidrauličkog skoka:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{8F_{R1} + 1} - 1 \right), \text{ gde je: } F_{R1} = \frac{V_1^2}{g h_1} \quad (5)$$

Sa druge strane, dubina koju stvara odbojni prag na nizvodnom kraju bazena, može se proceniti preko jednačine (1) kao $h_B = H_{p,DV} + p$, pa se za usvojenu vrednost koeficijenta potopljenosti skoka,

$\sigma = \frac{h_B}{h_2} = 1,05$, može odrediti visina praga, p , pri kojoj će se hidraulički skok ostvariti u bazenu.



Slika 4. Tečenje u umirujućem bazenu

Dužina dela bazena nizvodno od preseka 1 (iza grede), može se proceniti kao (Savić 2009):

$$L_{B1} = 4 \div 5 h_2. \quad (6)$$

Kao dodatna zaštita od erozije, iza bazena može se predvideti tepih od kamenog nabačaja debljine 0,3-0,5 m, dužine 5-10 m, sa $d_{50}=20-50$ cm.

S obzirom na veoma složeno strujanje, koje se javlja na celom objektu, a pogotovu u umirujućem bazenu usled jednovremenog isticanja i prelivanja, pre izrade glavnog projekta, na hidrauličkom modelu korisno je proveriti funkcionisanje i dimenzije bazena i odrediti hidrodinamička opterećenja na elemente za umirenje energije.

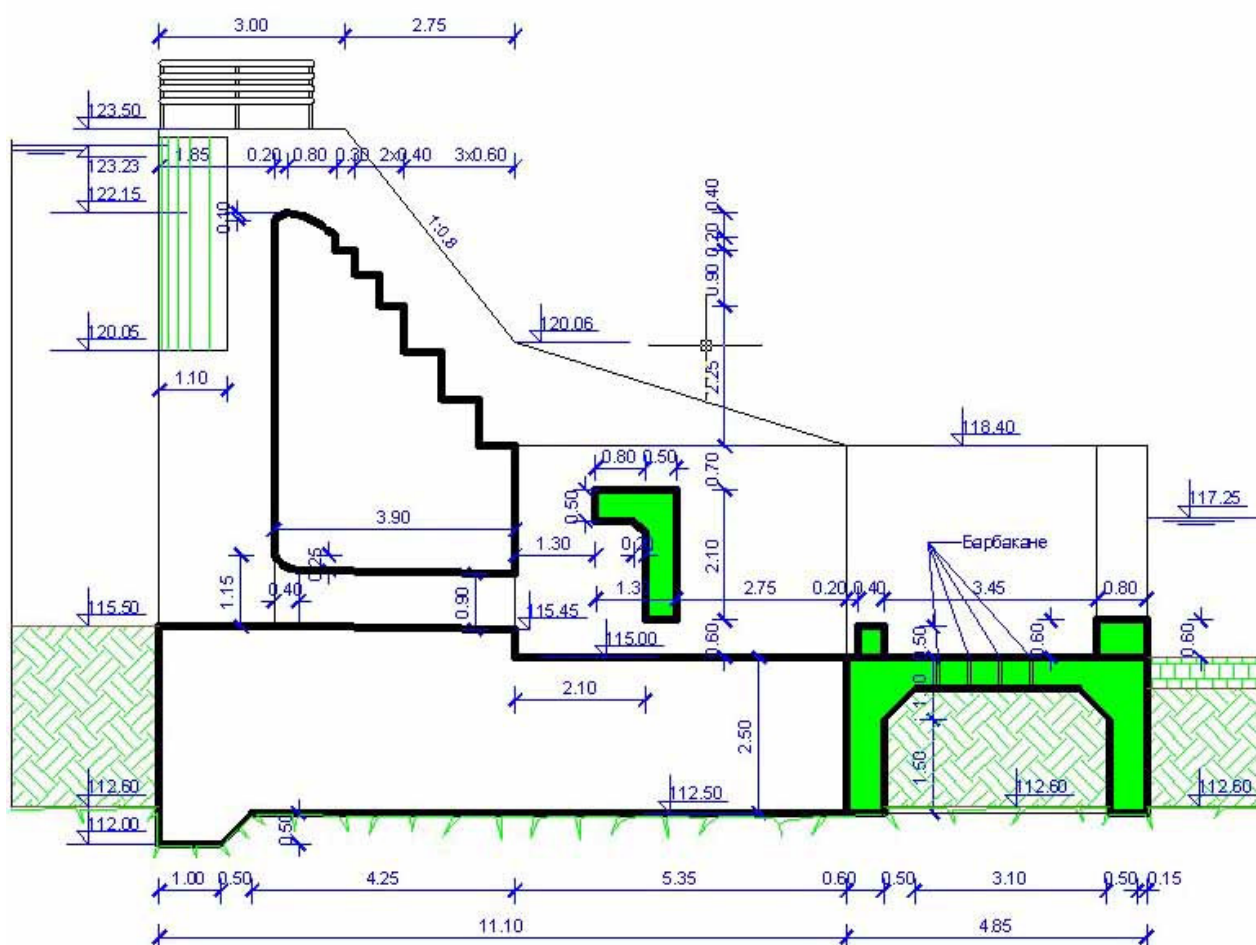
3. PRIMENA

Primena razmatranog rešenja prikazaće se na primeru pregrade (brane) na Jelezovačkom potoku, u naselju Miljakovac u Beogradu. Brana je betonska gravitaciona. Sastoji se iz centralne prelivne lamele, postavljene u koritu Jelezovačkog potoka, četiri neprelivne lamele na desnoj i tri neprelivne lamele na levoj obali. Građevinska visina brane iznosi 11,50 m, širina u kruni je 2,50 m, a dužina brane u kruni je 54 m. Kota krune brane je na 123,50 mnm, dok je najniža kota temeljenja

112,00 mnm. Poprečni presek kroz prelivni deo brane i umirujući bazen, prikazan je na slici 5.

Kota krune preliva, kao i dimenzije i položaj otvora za propuste određeni su hidrauličko-hidrološkom studijom, a prema merodavnom proticaju stogodišnje velike vode ($Q_{1\%}$). Preliv je dimenzionisan prema ublaženom vrhu hidrograma hiljadugodišnje velike vode ($Q_{0,1\%}$), a stabilnost od rušenja obezbeđena je i za slučaj nailaska desetohiljadugodišnje velike vode ($Q_{0,01\%}$), kao i u slučaju začepljenja oba propusta pri talasu hiljadugodišnje vode.

Uzvodno lice prelivne lamele je vertikalno, dok je nizvodna stepenasta kontura, nagiba 1:0,8. Nizvodna kontura sastoji se od tri stepenika visine 0,75 m, dva stepenika visine 0,45 m i jednog stepenika od 0,40 m, koji se nadovezuju na konturu preliva Kriger-Oficerova. Dužina prelivne lamele (u pravcu ose brane) je 10,80 m, od čega je 10,00 m dužina prelivne ivice i $2 \times 0,40$ m su bočni razdelni zidovi. U ovoj lameli projektovana su dva propusta, čije dimenzije omogućavaju efikasno ublažavanje poplavnog talasa. Poprečni presek propusta je kvadratnog oblika, ivice 0,90 m i dužine 3,9 m. Na slici 6 prikazane su objedinjene krive proticaja za preliv i propuste, i to za slučaj da *rade oba propusta*, da radi samo *jedan propust* (usled začepljenja drugoga), kao i da *ne radi ni jedan propust*.

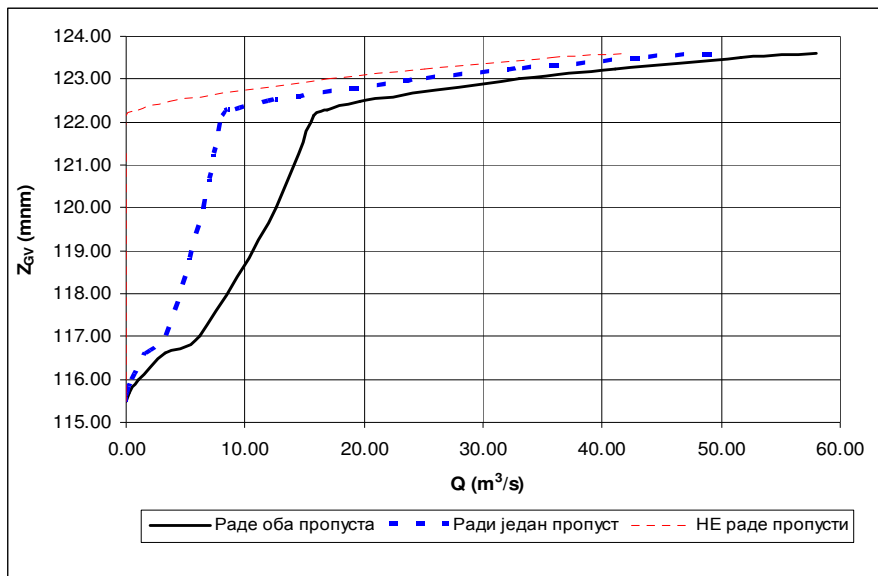


Slika 5. Poprečni presek kroz evakuacioni objekat brane Jelezovac

U donjem delu lamele (ispod propusta), projektovan je masivan betonski blok, koji se oslanja na osnovnu stenu i obezbeđuje potrebnu stabilnost preлива. Nizvodni deo bloka ujedno predstavlja početak umirujućeg bazena. Širina umirujućeg bazena je 10,00 m, kota dna je 115,00 mm, a kruna bočnih razdelnih zidova je na 118,40 mm. U sredini bazena, između dva otvora za propuste, postavljen je masivan središnji razdelni zid debljine u kruni 0,60 m i 1,40 m u ukleštenju, dužine 9,40 m. Za svaki od propusta projektovana je horizontalna armirano-betonska greda "Г" preseka, dužine 4,70 m. Kao računski proticaj umirujućeg bazena usvojen je vrh ublaženog talasa stogodišnje velike vode. Smatra se da je nepotrebno dimenzionisati bazen na proticaj manje verovatnoće ($Q_{0,1\%}$), s obzirom na veoma kratko trajanje

poplavnog talasa, nedovoljno da izazove eroziju koja može da ugorzi stabilnost objekta.

Uzvodni deo slapišta pripada konstrukciji prelivne lamele, a nizvodni deo predstavlja AB ploču, koja se preko uzvodnog i nizvodnog zuba oslanja na stenovitu podlogu. Dužina ploče je 4,85 m, debljine 0,60 m. Na ploči su projektovani središnji zubi (armirano-betonski blokovi visine 0,50 m i osnove $0,40 \times 0,40$ m), za efikasnije umirenje energije vode i stabilizaciju izlaznog mlaza. Na nizvodnom kraju ploče je odbojni prag (visine 0,60 i širine 0,80 m), u kome su ostavljeni uzani otvori za oticanje vode pri malim proticajima. U ploči su predviđeni otvori (barbakane) za smanjenje filtracionog dela uzgona.



Slika 6. Krive proticaja na profilu Jelezovac

4. ZAKLJUČAK

Predloženi evakuacioni objekat sa stepenastim prelivom, propustima i umirujućim bazenom sa odbojnom gredom, predstavlja kompaktno rešenje za evakuaciju velikih voda na vodotocima bujičnog tipa u širokim dolinama. Rešenje je originalno i omogućava ublažavanje poplavnog talasa, sa efikasnim umirenjem energije vode, čime se sprečavaju štetne posledice poplava u naseljenim područjima. Imajući u vidu učestale poplave na manjim vodotocima širom Srbije, predloženo tehničko rešenje je izuzetno aktuelno i može naći široku primenu u hidrotehničkoj praksi. Da bi se za konkretne topografske i hidrološke uslove postigle

optimalne dimenzije i oblik objekta, korisno je uraditi hidraulička modelska ispitivanja.

LITERATURA

- [1] Peterka, A.J.: Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators, USBR, A Water Resources Technical Publication, Eng. Monograph No.25, 1958
- [2] Savić Lj.: Uvod u Hidrotehničke Građevine, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.
- [3] Smith, D.C.: Hydraulic Structures, University of Saskatchewan, 1995.

STEPPED SPILLWAY WITH BAFFLE

by

Ljubodrag SAVIĆ, Vladan KUZMANOVIĆ, Bojan MILOVANOVIĆ, Nikola ROSIĆ
Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade

Summary

The stepped spillway with baffle as an overflow section of the small retention dams is presented. This is an original structure, designed as a stepped spillway, with bottom outlets and the modified USBR VI stilling basin

with a baffle. The hydraulic design for this type of structure is described in this paper.

Key words: Stepped spillway, stilling basin, hydraulic design

Redigovano 17.11.2010.