

PROTICAJ VODE PRI NEPOTOPLJENOM PRELIVANJU NA NESUŽENOM, KA UZVODNOJ STRANI NAGNUTOM OŠTROIVIČNOM PRELIVU

Lajoš HOVANJ
Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet u Subotici,
Katedra za hidrotehniku i vodno inženjerstvo okoline

REZIME

Međunarodni standard oštroivičnog preliva ISO 1438:2008(E) i ISO 1438:2008: a) nije namenjen za visine prelivnog mlaza manje od 3 cm, b) ne daje rezultate za strujanje pri neaerisanom mlazu, i c) ne navodi granice greški kod određivanja proticaja. Zbog navedenih problema 2015-e godine u hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici (Srbija) započeta je serija ispitivanja. Rezultat traganja za najjednostavnijim rešenjem su do ovog rada objavljena tri rešenja. Tema ovog rada je četvrto rešenje: za prelive nagnute ka uzvodnoj strani utvrđeni su najmanji uglovi nagnutosti α (slika br. 1), pod uslovom da za ispitivani dijapazon proticaja prelivni mlaz ostane u neaerisanom stanju.

Ključne reči: nesuženi, ka uzvodnoj strani nagnut oštroivični preliv; nepotopljeno, neaerisano prelivanje

1. UVOD

Tema ovog rada je prikazivanje još jednog rešenja za obezbeđenje jednoznačne veze proticaja vode (Q) i visine prelivnog mlaza (H) pri nepotopljenom prelivanju vode, u ovom slučaju ka uzvodnoj strani nagnutom, nesuženom, oštroivičnom prelivu (slika 1).



Slika 1. Eksperimentalna instalacija

1 – kanal širine $B=0,1$ m dužine 2,2 m, 2 – merna igla, 3 – oštroivični preliv nagnut ka uzvodnoj strani za ugao α

Prema stručnoj literaturi za utvrđivanje proticaja vode koristi se Q-H veza za vertikalni preliv uz koeficijent popravke (Starosolszky 1970, Rantz, et al. 1982, Čavlek 1985, Havlík et al. 1990). Koeficijent popravke je broj manji od 1 i povećava se sa smanjenjem ugla nagnutosti α . Nije navedena aerisanost prelivnog mlaza.

Pojavu da neaerisan (nalepljen na zid preliva) i aerisan (odlepljen od zida preliva) prelivni mlaz razdvaja tačka odlepljenja prikazuje rad koji se zasniva na istraživanju u hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici pod rukovodstvom autora ovog rada (Budinski, Hovanj 2002). Merenjem je utvrđeno da se dijagram koeficijenta popravke prikazan u stručnoj literaturi odnosi na aerisan mlaz.

Već tada, tokom pripremnih radova razmatran je problem minimalno potrebno vreme zahvatanje vode (Budinski 2001). Za konstantan proticaj vršeno je po 25-29 merenja za vreme od 15, 25 i 35 sekundi. Utvrđeno je da za 25 s greške merenja proticaja su manje od $\pm 0,5\%$.

U vezi karakteristike pronosa nanosa u kanalu ispitivan je preliv nagnut ka uzvodnoj strani (Al-Husseini et al. 2019). Cilj rada nije bio utvrđivanje Q-H veze pri nepotopljenom prelivanju.

Ispitivanjem vertikalnog preliva utvrđeno je da tačka odlepljenja se javlja između neaerisanog i aerisanog prelivanja pri povećanju proticaja, a tačka nalepljenja između aerisanog i neaerisanog stanja mlaza pri smanjenju proticaja (Zhang et al. 2010). U ovom radu je prvi put opisana tačka nalepljenja kod oštroivičnog preliva i prikazivan ceo ciklus Q-H veze.

Za obezbeđenje jednoznačne Q-H veze 2015-e godine u hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u

Subotici započeta je serija merenja na oštroičnom prelivu pri nepotopljenom prelivanju. Do ovog rada prikazana su tri rešenja. Sva tri rešenja su se bavila fiksiranjem tačke odlepljenja i nalepljenja. Kod prva dva rešenja je ispitivan vertikalni preliv. Kod prvog rešenja preliv je snabdeven aeratorom mlaza nazvanim veštački prst (Hovány 2016, Hovány 2017a, Hovány 2017b, Hovanj 2017c), a kod drugog rešenja preliv je sužen (Hovanj 2018a). Treće rešenje se odnosi na preliv nagnut u pravcu strujanja vode (Hovanj 2018b, Hovány 2019). Utvrđena je minimalna vrednost ugla nagnutosti (merenog od vertikale ka nizvodnoj strani) kod koga su tačke odlepljenja i nalepljenja stabilne.

Za utvrđivanje proticaja pri neaerisanom mlazu kod ovih rešenja korišćena je sledeća funkcija:

$$Q/[B(P+H)] = f([Re^2/We]^{1/3}/20000) = f([\sigma H/(\rho v^2)]^{1/3}/20000) \quad (1)$$

Za preliv visine P i širine B $We = (2\rho gHB)/\sigma$ i $Re = ((2gH)^{0.5}(BH)^{0.5})/v$ su Veberov (Weber) i Rejnoldsov (Reynolds) broj, ρ je gustina, σ koeficijent površinskog napona a v kinematski koeficijent viskoznosti vode.

Cilj ovog rada je ispitivanje ka uzvodnoj strani nagnutog oštroičnog preliava. Traži se minimalan ugao nagnutosti α kod kog je mlaz neaerisan bez obzira na povećanje ili smanjenje proticaja. Ovo će biti četvrto rešenje za obezbeđenje jednoznačne veze $Q-H$ pri nepotopljenom prelivanju oštroičnog preliava.

2. OPIS INSTALACIJE

U hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici ka uzvodnoj strani nagnut oštroični preliv ugrađen je na nizvodni kraj kanala (slika br. 1).

Ispitivani su nesuženi prelivi širine $B=0.1$ m sa uglom nagnutosti $\alpha=25,2^\circ$ (visine $P=0,1$ m), $26,8^\circ$ ($P=0,15$ m) i $28,8^\circ$ ($P=0,2$ m).

Voda iz rezervoara je pomoću cprke dovedena u kanal, da bi se nakon slobodnog preliavanja pomoću cevi ili vratila u rezervoar, ili bila dovedena u sud za zahvatanje vode (Hovány 2016, Hovány 2017a, Hovány 2017b, Hovanj 2017c, Hovány 2018a, Hovanj 2018b, Hovány 2019).

Preliv od pleksiglasa je imao debljinu 5 mm, sa oštrom debljine 2 mm, a kosina sa nizvodne strane je bila pod uglom od 45° .

Nivo vode je meren 0,18 m uzvodno od ivice preliava, mernom iglom tačnosti $\pm 0,1$ mm.

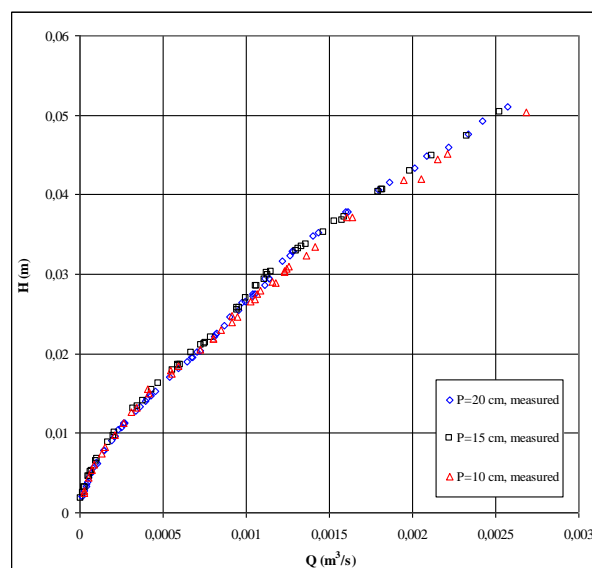
Zahvatanje vode je trajalo najmanje 25 sekundi. Težina vode je izmerena vagom tačnosti 5 grama (do 15 kg-a težine) i 10 grama (od 15 kg-a do 150 kg-a).

Tokom zahvatanja vode u blizini uzvodnog preseka izmerena je temperatura vode. Temperatura vode je tokom celog merenja varirala između 19 i 21, prosečno je bila $19,82^\circ\text{C}$. Gustina vode je merena menzурom zapremine 1 dm^3 , namenjenom za vodu temperature 20°C . Gustina vode je bila 1 kg/dm^3 . Zbog ove činjenice proticaj vode je računat pomoću jednačine: $Q \text{ (l/s)} = (G_{\text{sud+voda}} - G_{\text{sud}})/t$, gde su $G_{\text{sud+voda}}$ težina suda i zahvaćene vode (kg), G_{sud} težina suda (kg) i t vreme zahvatanja vode (s).

Greška određivanja koeficijenta preliavanja računata je pomoću jednačine: $\text{error} (\%) = 100(m_1 - m_{(2)})/m_{(2)}$, gde su m_1 koeficijent preliavanja računat po nekoj od funkcija navedenim na slici 3, i $m_{(2)}$ koeficijent preliavanja računat pomoću sledeće funkcije:

$$m_{(2)} = Q / (\sqrt{2g} BH^{3/2}) \quad (2)$$

3. REZULTATI MERENJA



Slika 2. Zavisnost između proticaja vode Q i visine preliavnog mlaza H za neaerisano preliavanje ka uzvodnoj strani nagnutog preliava ugla nagnutosti $\alpha=25,2^\circ$ ($P=0,1\text{m}$), $26,8^\circ$ ($P=0,15\text{ m}$) i $28,8^\circ$ ($P=0,2\text{ m}$)

Tabela 1 prikazuje broj merenja po serijama, obavljenih između 24. septembra i 4. oktobra 2019. godine.

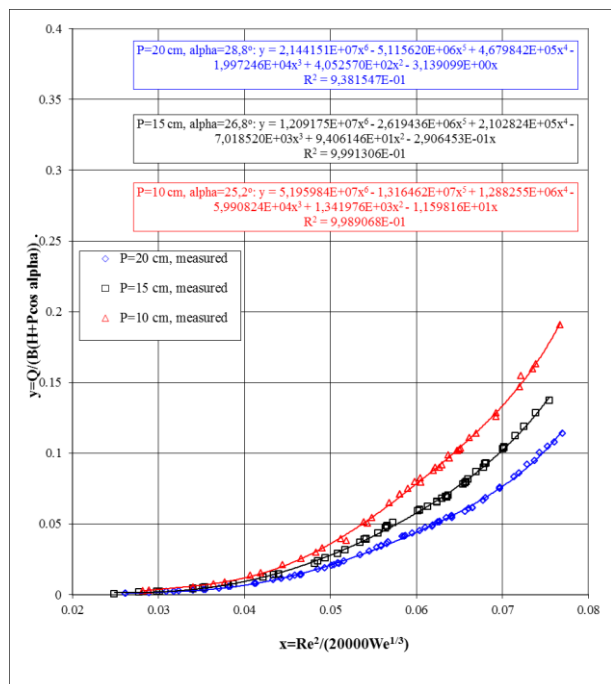
Tabela 1. Broj merenja po ispitivanim serijama

P (m)	0,1	0,15	0,2
α (°)	25,2	26,8	28,8
Broj merenja	42	52	70

Za svaki ispitivani preliv visine P probanjem je utvrđen najmanji ugao nagnutosti α . Uslov je bio da neaerisanost mlaza ostane nepromenjen tokom povećanja proticaja od nule do maksimuma, pa smanjenja ponovo do nule. Rezultati merenja su prikazani u tabeli 1 i na slici 2.

Na slici 3 su prikazani rezultati merenja u funkciji tipa (1), oblika:

$$Q/[B(H+P\cos\alpha)] = f([\sigma H]/(\rho v^2))^{1/3}/20000.$$



Slika 3. Funkcija $Q/[B(H+P\cos\alpha)] = f([\sigma H]/(\rho v^2))^{1/3}/20000$ za neaerisano prelivanje ka uzvodnoj strani nagnutog preliava ugla nagnutosti $\alpha=25,2^\circ$ (P=0,1 m), $26,8^\circ$ (P=0,15 m) i $28,8^\circ$ (P=0,2 m)

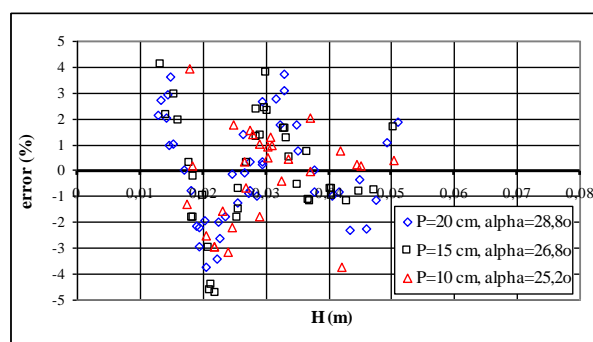
4. DISKUSIJA

1. Pošto je najveća visina prelivnog mlaza bila $H_{maks}=0,051$ m rastojanje između mernog mesta i oštrice preliava se nalazilo u granicama navedenim u međunarodnom standardu za vertikalni preliv:

$$2H_{maks}=0.102 \quad m < 0.18 \quad m < 8H_{maks}=0.408 \quad m \quad (ISO 1438:2008(E), ISO 1438:2008).$$

2. Za $H \leq 0,025$ m veza Q-H je ista za sve tri ispitivane visine preliava (slika br. 2). Za $H > 0,025$ m pri istoj visini prelivnog mlaza veći proticaj prolazi kroz preliv visine P=0,1 m od proticaja preliava visine P=0,15 i 0,2 m.

3. Korišćenjem navedene funkcije na slici br. 3 greške utvrđivanja proticaja vode su između -3,75% i +3,94% (za P=0,1 m pri $H > 0,0156$ m), -4,75% i +4,12% (za P=0,15 m pri $H > 0,0131$ m) i -3,74 i +3,75% (za P = 0,2 m pri $H > 0,0113$ m) (slika 4).



Slika 4. Greška koeficijenta preliavanja m u funkciji visine prelivnog mlaza H za oštroični, ka uzvodnoj strani nagnut preliv visine P=0,1-0,2 m i ugla nagnutosti $\alpha=25,2-28,8^\circ$

4. Za visine prelivnog mlaza manje od 0,0113-0,0156 m tačnost merenja je nedovoljna.

5. Upoređenjem granice grešaka za sva četiri rešenja pri utvrđivanju proticaja vode preliv nagnut u pravcu strujanja obezbeđuje najmanje rasipanje greške za prelive visine P=0,1-0,2 m (Tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti granice grešaka ispitivanih varijanata rešenja za utvrđivanje proticaja oštroičnog preliava visine P=0,1-0,2 m

Visina preliava P (m)	Ispitivana rešenja	Neaerisan mlaz, donja granica (%)	Neaerisan mlaz, gornja granica (%)	Aerisan mlaz, donja granica (%)	Aerisan mlaz, gornja granica (%)
0,1	veštački prst	-1,6	+1,6	-2,3	+4,8
0,1	stepen suženosti 0,3				
0,1	nagnut u pravcu strujanja	-2,75	+2,35	-1,14	+1,53

	za 26,4°				
0,1	nagnut ka uzvodnoj strani za 25,2°	-3,75	+3,94		
0,15	veštački prst	-2,1	+2,4	-1	+3,6
0,15	stepen suženosti 0,3				
0,15	nagnut u pravcu strujanja za 28,5°	-1,61	+1,68	-0,48	+1,30
0,15	nagnut ka uzvodnoj strani za 26,8°	-4,75	+4,12		
0,2	veštački prst	-2	+2	-1,5	+1,6
0,2	stepen suženosti 0,3	-3,99	+6,56	-0,68	+2,68
0,2	nagnut u pravcu strujanja za 31,1°	-1,78	+1,93	-1,61	+1,93
0,2	nagnut ka uzvodnoj strani za 28,8°	-3,74	+3,75		

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled rezultata stručne literature i merenja u Subotici u vezi utvrđivanja proticaja vode pri nepotopljenom prelivanju na nesuženom, ka uzvodnoj strani nagnutom, oštroičnom prelivu.

Za prelive visine $P=0,1-0,2$ m utvrđene su minimalne vrednosti ugla nagnutosti $\alpha=25,2-28,8^\circ$ pod uslovom da mlaz vode u celom ispitivanom dijapazonu proticaja ostane u neaerisanom stanju.

Za proračun proticaja vode u funkciji visine preliva P date su funkcije tipa $Q/[B(H+P\cos\alpha)]=f[(\sigma H)/(\rho v^2)]^{1/3}/20000$. Merenjem visina prelivnog mlaza $H \geq 0,0113-0,0156$ m i temperaturne vode proticaj se određuje sa greškama između $-4,75\%$ i $+4,12\%$.

Ispitivano neaerisano prelivanje je četvrto rešenje za obezbeđenje jednoznačne veze $Q-H$ pri nepotopljenom prelivanju vode kroz oštroični preliv.

Od ispitivanih četiri rešenja oštroičnog preliva visine $P=0,1-0,2$ m za utvrđivanje proticaja vode najmanje

rasipanje greške obezbeđuje preliv nagnut u pravcu strujanja.

LITERATURA

- [1] ISO 1438:2008(E) (2008). *International standard. Hydrometry – Open channel flow measurement using thin-plate weirs*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- [2] ISO 1438:2008 (2008). *International standard. Technical Corrigendum 1. Hydrometry – Open channel flow measurement using thin-plate weirs*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- [3] Starosolszky, Ö. (1970): *Vízépítési hidraulika*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó.
- [4] Rantz, S. E. et al. (1982): *Measurement and Computation of Streamflow, Volume 2. Computation and Discharge*. Washington, Geological Survey Water-Supply Paper 2175.
- [5] Čavlek, E. (1985): *Hidraulika*. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu. Geodetski fakultet.
- [6] Havlík, V., Marešová, I. (1990): *Hydraulika (příklady)*. Praha, České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební.
- [7] Budinski, Lj., Hovanj, L. (2002): *Modelsko ispitivanje nagnutog oštroičnog preliva*. Zbornik radova sa 13. savetovanja Jugoslovenskog društva za hidraulička istraživanja. Sokobanja: Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš 09.-11. oktobar 2002, str. II-33–II-38.
- [8] Budinski, Lj.: *Modelsko ispitivanje oštroičnog preliva pri slobodnom prelivanju vode*. Diplomski rad. – Subotica: Građevinski fakultet 2001.
- [9] Al-Husseini, T. R. et al. (2019): *Laboratory experiments and numerical model of local scour around submerged sharp crested weirs*. Journal of King Saud University – Engineering Sciences. Available online 9 January 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363918304707> (15.10.2019.)
- [10] Zhang, X. et al. (2010): *Hydraulic Relations for Clinging Flow of Sharp-Crested Weir*. Journal of Hydraulic Engineering, 136(6), str. 385–390.
- [11] Hovány, L. (2016): *Discharge Measurement by Full-Width Ventilated Thin-Plate Weir*. Conference Proceedings 4th International Conference

- Contemporary Achievements in Civil Engineering 2016. Faculty of Civil Engineering, Subotica. 22nd April 2016, str. 669-677.
- [12] Hovany, L. (2017a): *New method for discharge hydrograph measurement of the free overflow with full-width, thin-plate weir*. Current Science, 113(1), str. 148-154.
- [13] Hovány, L. (2017b): *Different Height Thin-plate Weirs for Measuring Discharge Hydrographs*. Contemporary Achievements in Civil Engineering 2017. 5th International Conference. Faculty of Civil Engineering, Subotica. 21. April 2017, str. 661-673.
- [14] Hovanj, L. (2017c): *Oštroični prelivi različite visine osposobljeni za merenje hidrograma oticaja*. Vodoprivreda, 49(288-290), str. 329-335.
- [15] Hovany, L. (2018a): *Contracted thin-plate weir for measuring discharge hydrographs*. Contemporary Achievements in Civil Engineering 2018. 6th International Conference. Faculty of Civil Engineering, Subotica. 20. April 2018, str. 417-427.
- [16] Hovanj, L. (2018b): *Nagnuti oštroični preliv za merenje hidrograma oticaja*. Zbornik radova sa 18. naučnog savetovanja Srpskog društva za hidraulička istraživanja (SDHI) i Srpskog društva za hidrologiju (SDH) Niš, str. 271-280.
- [17] Hovany, L. (2019): *New Approach for Determining Discharge on a Full Width, Titled Thin-Plate Weir*. In: Contemporary Achievements in Civil Engineering 2019. 7th International Conference. Faculty of Civil Engineering, Subotica. 23-24. April 2019, str. 721-733.

DISCHARGE OF MODULAR FLOW ON A FULL WIDTH, UPSTREAM-INCLINED THIN-PLATE WEIR

by

Lajos HOVANY

University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica,
Dept. of Hydraulic, Water Resources and Environmental Engineering,
Kozaracka 2/a, 24000 Subotica

Summary

International standards ISO 1438:2008 (E) and ISO 1438:2008 for thin-plate weir: a) are not designed for heads of less than 3 cm, b) do not include solutions for flow on unaerated jet, and c) do not specify error limits for determining discharge. Due to the mentioned problems in 2015, a series of tests was conducted in the hydraulic laboratory of the Faculty of Civil Engineering in Subotica (Serbia). As a result of these investigations, three solutions have been published so far. The topic of

this paper is the fourth solution: for upstream-inclined weirs, the smallest angles of inclination α were determined (Figure 1); under single condition, when for provided test flow range, the spill jet remains in unaerated state.

Key words: full width, upstream-inclined thin-plate weir; modular, unaerated flow

Redigovano 10.11.2020.