

Primljen / Received: 22.2.2017.

Ispravljen / Corrected: 15.7.2017.

Prihvaćen / Accepted: 20.9.2017.

Dostupno online / Available online: 10.8.2023.

Utjecaj oblika krune na koeficijent prelijevanja linearnih preljeva

Autori:

Doc.dr.sc. **Yusuf Dogan**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Munzur

Odjel za građevinarstvo

Tunceli, Turska

ydogan@munzur.edu.tr

Autor za korespondenciju

Izv.prof.dr.sc. **Nihat Kaya**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Firat

Tehnički fakultet

Odjel za građevinarstvo

Elazig, Turska

nkaya@firat.edu.tr

Stručni rad

Yusuf Dogan, Nihat Kaya

Utjecaj oblika krune na koeficijent prelijevanja linearnih preljeva

U radu se daje detaljan prikaz eksperimentalne laboratorijske analize utjecaja oblika krune na koeficijent prelijevanja oštrobridnih preljeva. Eksperimenti su provedeni za četiri različita oblika krune. Obavljeni eksperimenti i analize pokazuju da visina krune preljeva vrlo značajno utječe na brzinu otjecanja, a naročito na koeficijent prelijevanja. U zaključku se navodi da se najveća brzina protoka ostvaruje pri jednočetvrtinskom zaobljenju krune. U praksi se prednost daje izvođenju oštrobridnih preljeva zbog jednostavnosti izvođenja, iako je njihov koeficijent prelijevanja niži u usporedbi s preljevima s jednočetvrtinskim zaobljenjem krune.

Cljučne riječi:

oblik krune, kapacitet prelijevanja, koeficijent protoka, strujanje u otvorenom vodotoku, preljev

Professional paper

Yusuf Dogan, Nihat Kaya

The effect of crest shape on discharge coefficient at linear weirs

A detailed experimental laboratory analysis of the effect of crest shape on the discharge coefficient of sharp-crested weirs is presented in the paper. The experiments were conducted for four different crest shapes. The experiments and analyses show that discharge capacity, and discharge coefficient in particular, are significantly affected by weir crest height. It is stated in conclusion that rounded crest shape has the highest discharge capacity. In practice, sharp crested weirs are generally preferred to other crest shapes due to construction facility, although the discharge coefficient values of sharp crested weirs are lower compared to rounded crest shape.

Key words:

crest shape, discharge capacity, discharge coefficient, open channel flow, weir

1. Uvod

Preljevi se smatraju jednim od najstarijih građevina za mjerenje protoka. Preljevima nazivamo hidrotehničke građevine postavljene horizontalno na os kanala preko kojih se prelijeva voda. Te se građevine koriste u navodnjavanju, odvodnji oborinskih voda te u sustavima za pročišćavanje otpadnih voda. Osim toga, preljevi se koriste i u postupku aeracije vode.

Općenito uzevši, preljevi se dijele na tankostijene preljeve (kao što su oštrobridni preljevi), preljeve praktičnog profila i labirintске preljeve. Tankostijeni preljevi mogu biti pravkutni, trokutasti, trapezni i polukružni. Postoje i posebne vrste preljeva kao što su preljevi tipa Sutro [1]. Nalazimo i nekoliko vrsta preljeva praktičnog profila. Osim toga, preljevi mogu biti s bočnim suženjem i skraćeni preljevi. Preljevi se izvode u različitim oblicima kruna. Kod preljeva s bočnim suženjem suženje je jednako na obje strane kanala. U hidrotehnici i zaštiti okoliša koriste se oba tipa, tj. preljevi s bočnim suženjem i skraćeni preljevi. Važno je spomenuti da vrsta i oblik preljeva bitno utječu na hidrotehničke karakteristike toka. Na slici 1. prikazani su presjeci pravkutnog skraćenog preljeva. U hidrotehnici se za skraćene preljeve najčešće primjenjuje jednadžba koja se naziva i Polenijska:

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times H_1^{3/2} \times \sqrt{2g} \times L \tag{1}$$

U jednadžbi (1) Q je protok (m^3/s), C_d je koeficijent prelijevanja (-), H_1 visina prelijevanja (m), g je konstanta gravitacijskog ubrzanja (m/s^2), a L je dužina krune (m). Ukupna preljevna visina iz jednadžbe (1), H_1 , izračunava se prema izrazu (2):

$$H_1 = h + \frac{V_1^2}{2g} \tag{2}$$

gdje je:

h - visina preljevnog mlaza uzvodno od preljeva [m]

V_1 - srednja brzina toka [m/s].

Preljevi se mogu postaviti horizontalno u odnosu na smjer tečenja, i to u obliku isprekidane linije ili kružnog oblika, tj. pod nekim kutom u odnosu na smjer tečenja [2]. Oblik krune jedan je od važnijih parametara koji utječu na kapacitet protoka. U svom magistarskom radu o projektiranju labirintskih preljeva, Amanian [3] navodi da visina, debljina i oblik preljeva bitno utječu na koeficijent prelijevanja. Waldron [4] u svom magistarskom radu naglašava važnost ovog pitanja te prikazuje nekoliko eksperimenata o primjeni labirintskih preljeva.

U ovom je radu proveden veći broj

ispitivanja kako bi se odredio utjecaj oblika krune na koeficijent prelijevanja skraćenih preljeva. Pritom se koriste sljedeći oblici kruna preljeva: oštrobridna kruna, poluzaobljena kruna, jednočetvrtinski zaobljena kruna i ravna kruna. Kako se preljevi koriste u mnogim sferama hidrotehnike i zaštite okoliša, nedostatak znanja o ovom pitanju popunit će se dodatnom analizom preljeva s različitim krunama, tj. koeficijentima prelijevanja koji se odlikuju različitim hidrotehničkim karakteristikama.

2. Oštrobridni preljevi

Postoje razne vrste oštrobridnih preljeva (slika 2.). Za proračun protoka najčešće se koristi oštrobridni trokutasti preljev postavljen pod kutom od 90° . U literaturi nalazimo brojne formule za izračunavanja koeficijenta protoka oštrobridnih preljeva. Prema podacima iz literature, najopsežniju studiju izradili su Kindsvater i Carter [5]. U jednadžbi koju su opisali širina se preljeva i visina vode na preljevu koriste uz korekciju. Ti su istraživači predložili koeficijent protoka koji ovisi o b / B i h / P , pri čemu je b širina krune (m), a B je širina kanala (m), dok je P visina krune (m).

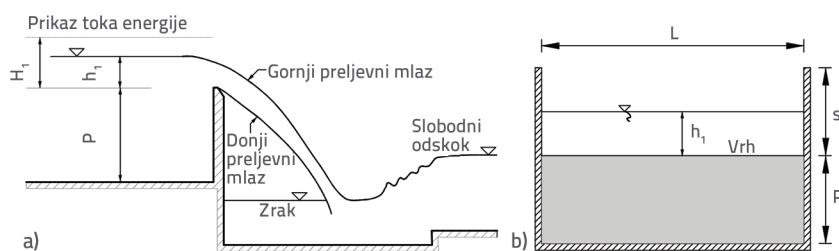
Za pravokutne preljeve s bočnim suženjem Francis je u 1883. (USBR 2001) predložio izraz (3):

$$Q = 1.83 (L-0.2h)h^{3/2} \tag{3}$$

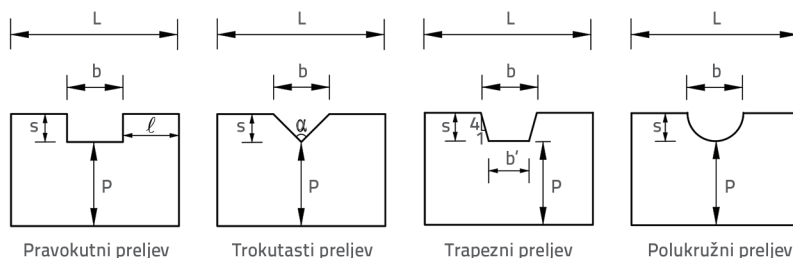
Za skraćene preljeve s $\frac{P}{H_1} < 5$, Rehbock [6] predlaže izraz (4):

$$C_d = 0,611 + 0,08 \frac{H_1}{P} \tag{4}$$

Za skraćene preljeve s $\frac{P}{H_1} > 20$, Henderson [7] predlaže izraz (5):



Slika 1. Pravokutni skraćeni preljev: a) uzdužni presjek; b) poprečni presjek



Slika 2. Oštrobridni preljevi

$$C_d = 1,06 \left(1 + \frac{P}{H_1} \right)^{3/2} \quad (5)$$

Sisman i dr. [8] analizirali su protok na oštrobriđnim i pravokutnim preljevima. U tom su smislu proveli seriju pokusa, počevši od potpuno otvorenog preljeva pa do samo donekle otvorenog preljeva. Za proračun otjecanja preko potpuno otvorenog i djelomično otvorenog preljeva ovi su autori predložili izraz (6).

$$Q = \left[-0.001 + 0.254 \left(\frac{b}{L} \right) + 0.366 \left(\frac{b}{L} \right)^2 - 1.631 \left(\frac{b}{L} \right)^3 \right] h_1 + \left[0.015 + 3.212 \left(\frac{b}{L} \right) - 8.068 \left(\frac{b}{L} \right)^2 + 39.609 \left(\frac{b}{L} \right)^3 \right] h_1^2 \quad (6)$$

Istraživači su ustanovili da koeficijent prelijevanja ovisi o donjim bezdimenzijskim parametrima za preljeve s bočnim suženjem, prema izrazu (7):

$$C_d = f \left(\text{Re}, \text{We}, \frac{h_1}{b}, \frac{b}{L}, \frac{h_1}{P} \right) \quad (7)$$

gdje je

Re - Reynoldsov broj

We - Weberov broj

h_1 - dubina toka [m].

Ostali su simboli prikazani na slikama 1. i 2.

Tokay i Turhan [9] proveli su eksperimentalno ispitivanje za određivanje koeficijenta prelijevanja oštrobriđnih preljeva. Ispitivanje je provedeno za interval $5 < H_1/P < 20$ da bi se dobila jednačba kojom se određuje koeficijent prelijevanja u skraćenim preljevima. Prikazana jednačba ovisna je o H_1/P . Istraživači su naveli da q predstavlja jedinični protok na preljevu, gustoća fluida je ρ , dinamična viskoznost je μ , površinska naprezanja iznose σ , a akceleracija sile teže označena je sa g i ovisi o spomenutim parametrima, prema izrazu (8):

$$q = f_1(P, H_1, \rho, \mu, \sigma, g) \quad (8)$$

Iz toga se dobiva izraz (9):

$$\frac{q}{h_1 \sqrt{g h_1}} = f_2 \left(\frac{P}{H_1}, \text{Re}, \text{We} \right) \quad (9)$$

prema kojem se izračunava koeficijent C_d izraz (10):

$$C_d = f_3 \left(\frac{P}{H_1}, \text{Re}, \text{We} \right) \quad (10)$$

Općenito uzevši, kada u mehanici fluida Reynoldsov broj raste, to znači da tok nije ovisan o tom broju. Weberov broj postaje značajan u situacijama kada je visina preljevnog mlaza mala [9]. Tullis i dr. [10] predložili su sljedeću jednačbu za koeficijent protoka jednočetvrtinski zaobljenih skraćenih preljeva krunastog oblika:

$$C_d = 0.49 + 1.46(H_1/P) - 2.56(H_1/P)^2 + 1.44(H_1/P)^3 \quad (11)$$

Ti istraživači navode da spomenuta jednačba vrijedi za $H_1/P < 0,7$. Za oštrobriđne skraćene preljeve [11] u nekim slučajevima, kao npr. $P > 0,06$ m, $h_1 > 0,01$ m i $h_1 < 0,8 P$ vrijedi jednačba:

$$C_d = 0.605 + \frac{1}{1000 h_1} + 0.08 \frac{h_1}{P} \quad (12)$$

Pri mjerenju malog protoka, trokutastim se preljevom dobivaju točniji rezultati nego što je to slučaj kod ostalih oblika preljeva. Kut na vrhu trokutastog preljeva obično iznosi 90° . Ako se radi o vrlo maloj vrijednosti preljevnog protoka, tada se za kut na vrhu može koristiti oštri kut (npr. 30° , 45°).

Kao što je gore rečeno, u praksi se za mjerenje malog protoka često primjenjuju trokutasti oštrobriđni preljevi. Gourley i Crimp [12] predlažu jednostavnu jednačbu kojom se dobivaju praktične vrijednosti. Primjerice, za oštrobriđni preljev postavljen pod kutom od 90° izraz $\text{tg}(\alpha/2)$ iznosi 1, pa jednačba postaje jednostavnija:

$$Q = 1.32 \text{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2.47} \quad (13)$$

gdje je α kut na vrhu oštrobriđnog trokutastog preljeva.

3. Neki kriteriji za projektiranje preljeva

Za projektiranje preljeva ovdje se navode samo neki kriteriji:

- Glava konstrukcije preljeva treba biti vertikalna, oštra i postavljena vertikalno u odnosu na tok u kanalu.
- Rubovi preljeva trebaju biti povezani s vertikalnom ili kosom ravninom.
- Svi premazi na preljevu trebaju biti iste debljine.
- Preljevni mlaz smije samo dodirivati uglove površine glave krune, ne smije se zadržavati na površini ušća, i po karakteristikama treba biti slobodan (tj. slobodan preljevni mlaz).
- Maksimalna razina vode u nizvodnoj dionici treba biti niža od visine krune. Za uspostavljanje slobodnog preljevnog mlaza, razlika u visini između krune preljeva i nizvodne razine slobodnog vodnog lica treba iznositi barem 6 cm (USBR 2001). French [1] predlaže da ta vrijednost iznosi 5 cm.
- Za oštrobriđne preljeve, preljevna visina u uvjetima laboratorijskog ispitivanja treba iznositi 2 cm. Coleman i Smith [13] predlažu da visina preljevnog mlaza ne smije biti manja od 19 mm zbog naprezanja na kruni preljeva. Za visinu preljevnog mlaza predlaže se vrijednost od $7 \leq h \leq 60$ cm [1]. U tom izrazu vrijednost h predstavlja visinu preljevnog mlaza. Ako je visina preljevnog mlaza suviše mala, u formulu za određivanje koeficijenta protoka treba uključiti i Weberov broj.
- Za preljeve sa suženim rubom: ako se horizontalna dužina unutarnjeg presjeka kroz koji protječe voda i bočnog zida označe s " ℓ ", tada se u obzir treba uzeti jednačba $\ell \geq 3h$. Pri izradi preljeva, za proračun širine i visine metalne ploče treba se uzeti u obzir presjek od 5 do 6 cm koji ulazi u beton [14].
- Visina preljevnog mlaza treba se računati s udaljenosti od 3 do $4h_{max}$ od krune preljeva [1]. Ovdje h_{max} predstavlja

maksimalnu visinu preljevnog mlaza koji prelazi preko preljeva. Prema uputama iz [14], dostatno je i mjerenje visine preljevnog mlaza s udaljenosti od 2 m.

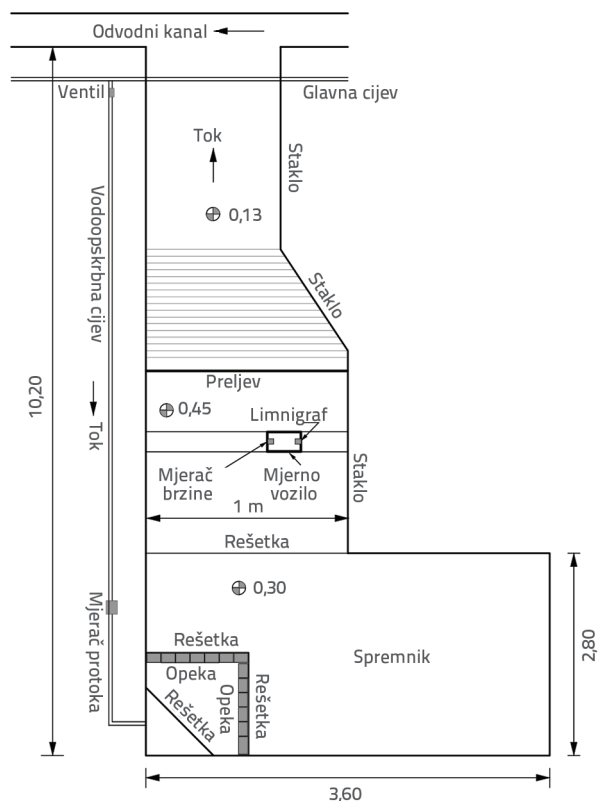
- Debljina krune određuje se na temelju analize konstrukcije. Drugim riječima, debljina zida ovisi o hidrostatičkim silama, opterećenju ledom i posebnim uvjetima koji prevladavaju na lokaciji preljeva. Radi uštede te kako bi se povećala čvrstoća preljeva, debljina se može povećati na strani ušća rijeke. Povećanje debljine na ušću nimalo ne utječe na koeficijent protoka. Može se usvojiti da debljina krune na oštrobridnim preljevima iznosi 1/6 visine krune [15].
- Planira li se preljev koristiti za ventilaciju ili obogaćivanje kisikom, tada postaju značajni parametri kao što su nizvodna dubina toka, širina i visina. Maksimalna dubina mjehurića zraka koji nastaju udarom vode nizvodno od preljeva naziva se dubina prodiranja. Dubina nizvodnog toka treba biti veća od dubine prodiranja. Osim toga, kod trokutastih i labirintskih preljeva širina je mlaza u nizvodnoj dionici veća te mlaz poprima oblik luka. S druge strane, mlaz je mnogo uži kod pravokutnih preljeva. Ta se činjenica treba uzeti u obzir pri ocjenjivanju širine prijamnog bazena nakon preljeva. Emiroglu [16] predlaže jednadžbe za određivanje optimalnog mjerila bazena nakon preljeva.

4. Opis eksperimenta

Eksperimentalna su ispitivanja obavljena u hidrotehničkom laboratoriju Katedre za građevinarstvo Fakulteta tehničkih znanosti na Sveučilištu Firat. Shematski i fotografski prikaz eksperimenta daje se na slikama 3. i 4.

U sustavu se protok odvija pomoću glavne cijevi promjera 25 cm koja je povezana s glavnim spremnikom. Voda najprije ulazi u komoru obujma $1,00 \times 2,80 \times 3,60 = 10,08 \text{ m}^3$. Kako bi se prigušila energija vode, na ulazu u spremnik postavljene su odgovarajuće rešetke i opeke. Nakon spremnika voda ulazi u pristupni kanal visine 0,80 m i širine 1 m. Dužina ovog kanala iznosi 3,0 metra. U eksperimentima se nizvodna razina manje koristila od uzvodne u zoni u kojoj se nalazi preljev. Izrađeni

preljevi postavljaju se na kraju pristupnog kanala. Gdje god je to bilo potrebno, postavljane su rešetke za odvajanje otpada i cigle kako bi se osigurali uvjeti stacionarnog strujanja. Eksperimenti su obavljani za uvjete stacionarnog strujanja i slobodnog prelijevanja. Razine su mjerene pomoću digitalnog limnigrafa tipa Mitotoyo, čija točnost iznosi $\pm 0,01 \text{ mm}$. Mjerenja razine do glave obavljena su za udaljenost koja je pet puta veća od visine mlaza. Na slici 4. vidimo limnigraf postavljen iznad mjernog vozila. Mjerno vozilo može se kretati u smjeru x i y u blizini uzvodnog kraja preljeva na osi kanala. Mjerenja brzine obavljena su pomoću mjeraca brzine zvuka tipa Nortec.

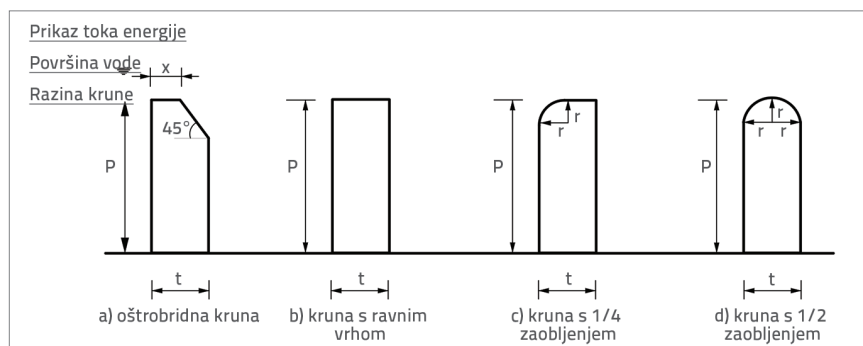


Slika 3. Shematski prikaz eksperimenta



Slika 4. Fotografski prikaz eksperimenta [17]





Slika 5. Analizirani oblici krune

Za određivanje djelovanja oblika krune na koeficijent protoka korištena su četiri različita oblika krune:

- oštrobridni
- s ravnim vrhom
- s jednočetvrtinskim zaobljenjem
- s polovinskim zaobljenjem (slika 5.).

Ti su preljevi izrađeni od drvenih dijelova i zatim obojani.

Jednadžbe za određivanje dimenzija preljeva, koje su predložili Tullis i dr. [10] i primijenili za labirintске preljeve, koriste se i u ovom istraživanju.

$$r = P/12 \quad (15)$$

$$t = P/6 \quad (16)$$

$$x = t - r \quad (17)$$

gdje je

r - polumjer zakrivljenosti krune [cm]

t - debljina preljeva [cm]

x - duljina pravca oštrobridnih preljeva u kruni.

U tablici 1. daje se sažet prikaz podataka o varijablama eksperimenta. Tijekom eksperimenta obojani drveni preljevi postavljeni su vertikalno u odnosu na tok vode, te su ugrađeni potrebni elementi kako bi se osigurala nepropusnost. Iz te tablice možemo vidjeti da proračunska dužina preljeva iznosi 100 cm a proračunske visine krune 10, 15 i 20 cm.

Najprije je postavljen preljev visine 10 cm, te su eksperimenti provedeni povećavanjem visine prelijevnog mlaza u rasponu od 25 mm do 100 mm, postupno po 5 mm. Coleman i Smith [13] predložili su minimalnu debljinu prelijevnog mlaza u iznosu od 19 mm i to zbog površinskih naprezanja na kruni. Zato se Weberov broj može zanemariti. Novak i Cabelka [18] predlažu minimalnu visinu prelijevnog mlaza u iznosu od 30 mm kako bi se postigao najmanji mogući utjecaj površinskih naprezanja. Stoga je u ovom ispitivanju usvojena minimalna visina prelijevnog mlaza od 30 mm. U ovom preljevu promjene protoka variraju od 8,5 do 80 L/s. Eksperimenti su provedeni pod istim uvjetima za sve analizirane preljeve visine 10 cm. U nizu eksperimenata kod

kojih je visina preljeva iznosila 15 i 20 cm usvojeno je da maksimalna visina prelijevnog mlaza iznosi 150 mm. U seriji eksperimenata s visinama preljeva od 15 i 20 cm usvojeno je da protok varira otprilike od 8,5 do 150 L/s.

Nakon što su digitalnim limnigrafom obavljene korekcije odabranih visina prelijevnog mlaza, otvoren je ventil i u sustav je puštena voda. Čim je postignuta potrebna visina prelijevnog mlaza, obavljeno je mjerenje na glavnoj cijevi pomoću Siemensovog

elektromagnetskog mjerča protoka. Zatim je pomoću mjerča prosječnih dnevnih vrijednosti određena prosječna brzina protoka. Ovaj je postupak primjenjen za sve eksperimentalne serije.

Tablica 1. Varijable eksperimenta

Varijabla (1)	Vrijednost (2)
Duljina krune, L [cm]	100
Visina krune, P [cm]	10, 15, 20
Debljina preljeva, t [cm]	1,67; 2,50; 3,33
Polumjer zakrivljenosti krune, r [cm]	0,83; 1,25; 1,67
Udaljenost krune na oštrobridnim preljevima, x [cm]	0,84; 1,25; 1,66
Protok, Q (L/s)	8,71-136,34
Dubina toka, h_1 [cm]	2,23-15,00
Odnos H_1/P , [-]	0,15-1,12
Faktor za ispravljanje kinetičke energije, α	1,0
Eksperimentalni postupci	192

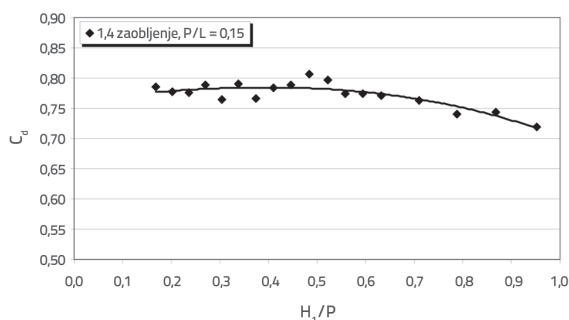
5. Eksperimentalni rezultati i rasprava

Na temelju eksperimentalnih podataka izveden je dijagram kako bi se odredio utjecaj oblika krune na protok (tablica 2.). Visina prelijevnog mlaza izmjerena je digitalnim limnigrafom milimetarske tolerancije. Međutim, protok je iskazan u m^3/s pri izračunavanju koeficijenta protoka pomoću jednadžbe (4), uz potrebne promjene tolerancija. Promjene H_1/P sa C_d prikazane su na slikama od 6 do 9. Koeficijent protoka ovisan je o Reynoldsovom broju, Weberovom broju i H_1/P . S obzirom na navedene razloge, zanemareni su Reynoldsov i Weberov broj koje spominju Tokyay i Turhan. Stoga koeficijent protoka ovisi samo o H_1/P , pa se na dijagramima prikazuju vrijednosti H_1/P i C_d iz tablice 2. može se zaključiti da usporedno s porastom visine prelijevnog mlaza pada vrijednost koeficijenta prelijevanja. Na slici 6. vidimo dijagram odnosa između koeficijenta protoka i H_1/P . Možemo uočiti da taj trend odgovara polinomu trećeg reda. Također se može uočiti da vrijednosti koeficijenta protoka padaju s porastom H_1/P . I mnogi drugi istraživači navode

Tablica 2. Jednočetvrtinski zaobljena krana ($P/L = 15/100 = 0,15$; $t = 2,50$; $r = 1,25$)

h_1 [cm]	V_1 [cm/s]	Q [L/s]	$V_1^2 / 2g$ [cm]	H_1 [cm]	C_d [-]	h_1/P [-]	H_1/P [-]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2,5	5,91	9,27	0,017802	2,517802	0,785758	0,166667	0,167853
3,0	6,91	12,88	0,024336	3,024336	0,777777	0,200000	0,201622
3,5	7,91	15,22	0,031890	3,531890	0,776508	0,233333	0,235459
4,0	8,91	18,91	0,040463	4,040463	0,788473	0,266667	0,269364
4,5	9,91	21,91	0,050055	4,550055	0,764468	0,300000	0,303337
5,0	12,16	26,66	0,075365	5,075365	0,789589	0,333333	0,338358
5,5	14,4	30,03	0,105688	5,605688	0,766220	0,366667	0,373713
6,0	16,65	35,20	0,141296	6,141296	0,783239	0,400000	0,40942
6,5	19,56	40,31	0,195002	6,695002	0,788004	0,433333	0,446333
7,0	22,46	46,60	0,257111	7,257111	0,807202	0,466667	0,483807
7,5	25,37	51,50	0,328051	7,828051	0,796285	0,500000	0,52187
8,0	27,12	55,36	0,374870	8,374870	0,773519	0,533333	0,558325
8,5	28,85	60,97	0,424221	8,924221	0,774466	0,566667	0,594948
9,0	30,61	66,40	0,477560	9,477560	0,770664	0,600000	0,631837
10,0	35,42	78,11	0,639438	10,63944	0,762203	0,666667	0,709296
11,0	40,23	88,99	0,824900	11,82490	0,741117	0,733333	0,788327
12,0	45,05	103,40	1,034405	13,03440	0,744090	0,800000	0,86896
13,0	49,86	114,40	1,267084	14,26708	0,718894	0,866667	0,951139
14,0	54,67	129,01	1,523348	15,52335	0,714311	0,933333	1,03489
14,5	57,08	132,20	1,660615	16,16061	0,689107	0,966667	1,077374

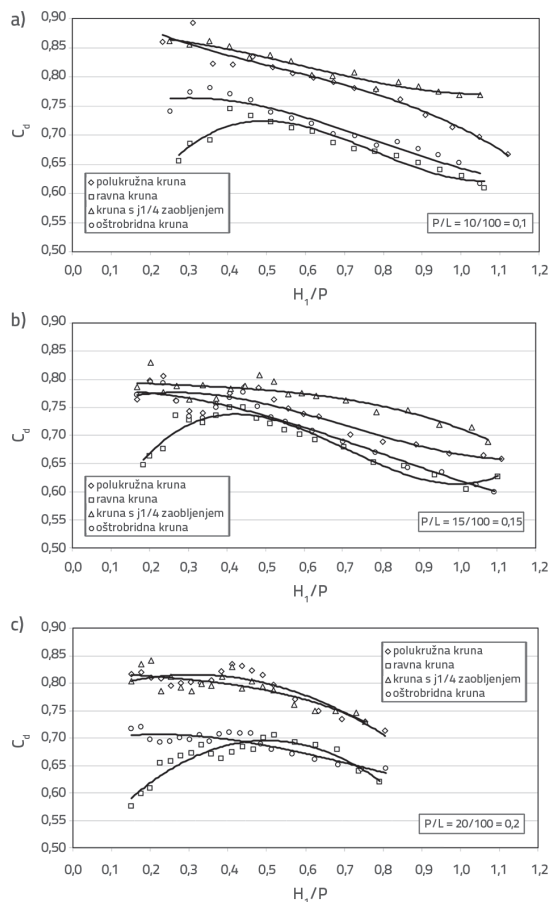
da vrijednost protoka pada usporedno s povećanjem visine preljevnog mlaza (Tullis i dr. [10]; Kumcu [18]).



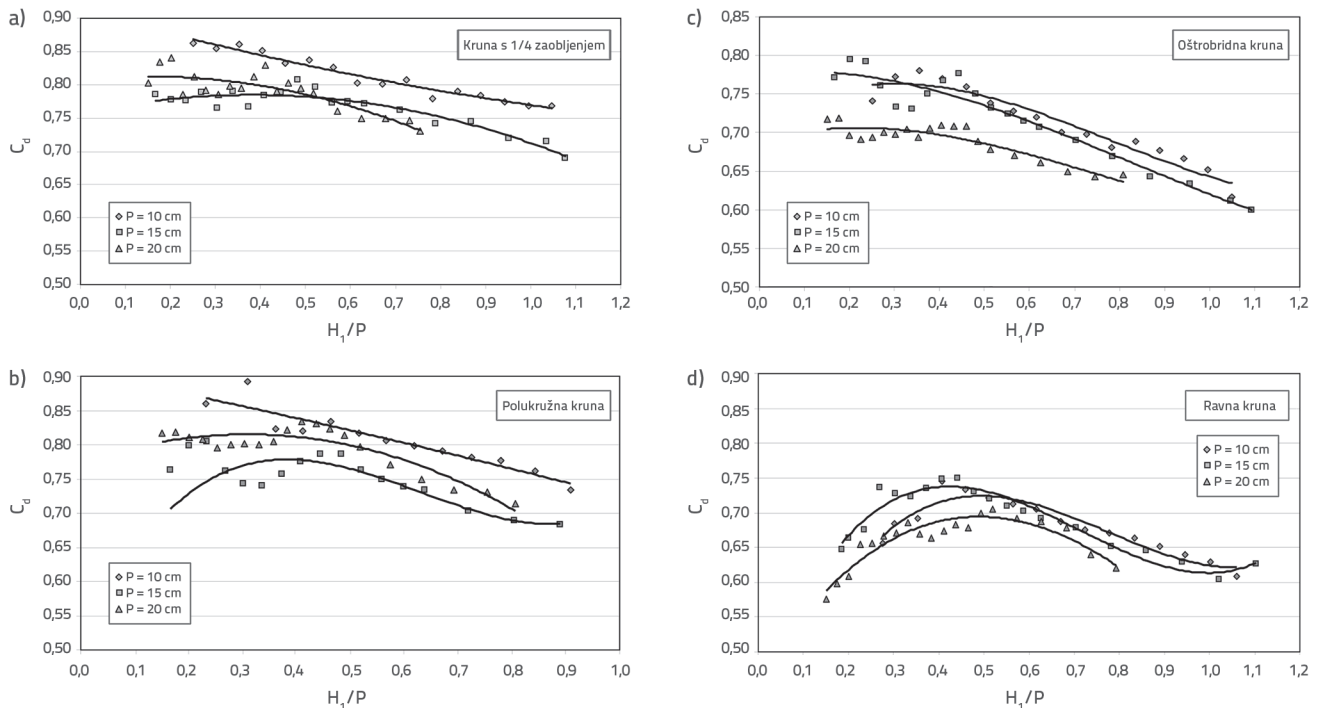
Slika 6. $P/L = 15/100 = 0,15$ i odnos između C_d i H_1/P za jednočetvrtinski zaobljene krune

Na slikama 7.a do 7.c može se uočiti pad s povećanjem vrijednosti H_1/P , a analiza četiriju različitih oblika krune pokazuje da jednočetvrtinski zaobljena krna ima veći koeficijent protoka. Slični rezultati su postignuti i za jednočetvrtinski zaobljene i polukružne preljeve kod nižih vrijednosti H_1/P , a kod ravnih preljeva zabilježen je niži koeficijent protoka. Može se uočiti da su vrijednosti koeficijenta protoka kod oštrobridnih i ravnih preljeva gotovo jednake kada je vrijednost H_1/P viša od 0,50.

Slike 8.a do 8.d prikazuju utjecaj visine krune na koeficijent protoka za različite oblike krune. Slika 8.a prikazuje odnos između C_d i H_1/P za jednočetvrtinski zaobljene krune. Kao što



Slika 7. Promjena vrijednosti između C_d i H_1/P za različite oblike krune: a) $P/L = 0,10$; b) $P/L = 0,15$; c) $P/L = 0,20$



Slika 8. Promjena vrijednosti H_1/P i C_d ovisno o visini krune: a) jednočetvrtinsko zaobljenje; b) polovinsko zaobljenje; c) oštrobridna kruna; d) ravna kruna

možemo vidjeti iz te slike, povećanje visine krune obično dovodi do smanjenja koeficijenta prelijevanja. Takva je situacija i kod drugih ispitanih oblika krune (slike 8.b do 8.d).

Tablica 3. Usporedba jednočetvrtinski zaobljenih kruna s različitim visinama preljeva

P/L	Ravna kruna [%]	Oštrobridna kruna [%]	Polukružna kruna [%]
0,10	16,34	12,47	2,82
0,15	10,17	6,68	3,95
0,20	16,21	12,72	0,56

U tablici 3. prikazana je usporedba između jednočetvrtinski zaobljenih preljeva s većim koeficijentom protoka i ostalih preljeva. Postoci prikazani na dijagramu 3 izračunani su na temelju sljedeće tvrdnje: (koeficijent protoka preljeva s jednočetvrtinski zaobljenim krunama - koeficijent protoka preljeva s ravnim krunama) / (preljevi s jednočetvrtinski zaobljenim krunama). Tu se za vrijednost PIL = 0,10 usvaja vrijednost prolaska od približno 16,34 % za preljev s ravnom krunom, više od 3,12 % za poluzaobljene krune, te više od 12,47 % za oštrobridne krune. Za PIL = 0,15, vrijednost prolaska iznosi 10,17 % za ravne preljeve, više od 3,95 % za polukružne krune te više od 6,68 % za oštrobridne krune.

Za PIL = 0,20, vrijednost prolaska iznosi otprilike 10,17 % za ravne preljeve, više od 12,72 % za oštrobridne krune te manje od 0,56 % za polukružne krune.

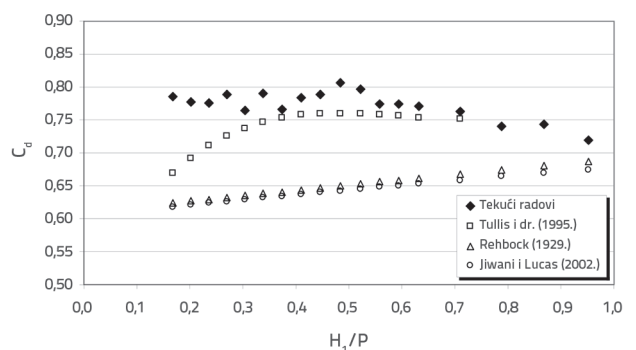
Jednadžba za dobivanje koeficijenta protoka za skraćene linearne preljeve različitih oblika krune, izraz (1) dobivena je pomoću programa Statistica. Prilikom izrade jednadžbi koje su korištene u ovom radu, svi eksperimentalni podaci odnose se na 10, 15 i 20 cm. Treba napomenuti da jednadžbe koje slijede vrijede za $H_1/P < 1$.

$$C_d = 0,363 + 2,047 (H_1/P) - 4,015 (H_1/P)^2 + 3,031 (H_1/P)^3 - 0,802 (H_1/P)^4 \quad (18)$$

$$C_d = 0,701 + 0,198 (H_1/P) - 0,044 (H_1/P)^2 - 0,658 (H_1/P)^3 + 0,439 (H_1/P)^4 \quad (19)$$

$$C_d = 0,763 + 0,324 (H_1/P) - 0,667 (H_1/P)^2 + 0,255 (H_1/P)^3 + 0,012 (H_1/P)^4 \quad (20)$$

$$C_d = 0,772 + 0,227 (H_1/P) - 0,560 (H_1/P)^2 + 0,338 (H_1/P)^3 - 0,067 (H_1/P)^4 \quad (21)$$



Slika 9. Usporedba podataka iz ovog ispitivanja s podacima koje predlažu Tullis i dr. [10], Rehbock [9] te Jiwani i Lucas [11]

Jednadžba (18) odnosi se na ravnu krunu, jednadžba (19) na oštrobridnu krunu, jednadžba (20) na poluzaobljenu krunu, a jednadžba (21) na jednočetvrtinski zaobljenu krunu. Korelacijski koeficijenti za te jednadžbe iznose 0,74, 0,81, 0,84 i 0,87.

6. Zaključak

U ovom je radu proveden velik broj eksperimentalnih postupaka kako bi se odredio koeficijent protoka skraćenih linearnih preljeva s različitim oblicima krune. Slijedi sažet prikaz dobivenih rezultata:

- Ustanovljeno je da je oblik krune preljeva značajan parametar koji bitno utječe na koeficijent ili kapacitet protoka.
- Također je ustanovljeno da se kod svih vrsta preljeva koeficijent protoka smanjuje s povećanjem visine preljeva.
- Uočeno je da se kod svih vrsta preljeva koeficijent protoka smanjuje s povećanjem vrijednosti H_1/P .
- Ustanovljeno je da linearni preljevi s polukružnom krunom imaju veće koeficijente protoka u usporedbi s ostalim preljevima.
- Zaključeno je da ravni preljev ima najmanji koeficijent protoka.
- Uspoređivanjem ispitanih kruna preljeva po koeficijentu protoka dobivamo sljedeći redoslijed prvenstva: jednočetvrtinski zaobljena kruna, polukružna kruna, oštrobridna kruna i ravna kruna.
- Na temelju izmjerenih vrijednosti izvedene su jednadžbe s koeficijentom protoka za svaki oblik krune.

LITERATURA

- [1] French, R.H.: Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1986.
- [2] Kumcu, Ş.Y.: Hydraulic Characteristics of Sharp-Crested Weirs with Application to Labyrinth Spillways. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1997.
- [3] Amanian, N.: Performance and Design of Labyrinth Spillway. MSc Thesis, Utah State University, Logan, Utah, 1987.
- [4] Waldron, D.R.: Design of Labyrinth Weirs. MSc Thesis, Utah State University, Logan, Utah, 1994.
- [5] Kindsvater, C.E., Carter, R.W.: Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs. J. Hydraulics Div., 83 (1957) 1453, pp. 1-36.
- [6] Rehbock, T.: Discussion of Precise Measurements, by K.B. Turner. Trans., ASCE, 93 (1981), pp. 1143-1162.
- [7] Henderson, F.M.: Open Channel Flow. Macmillan Co., New York, 1966.
- [8] Sisman, H.Ç., Altan-Sakarya A.B., Aydın, İ.: Dikdörtgen Kesitli Keskin Kenarlı savaklarla Debi Ölçümü. IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 06-10 Temmuz 2009, İstanbul, pp. 27-35 (in Turkish).
- [9] Tokyay, N.D., Turhan, Z.G.: Küçük Savak Yükseklikleri için Dikdörtgen Keskin Kenarlı Savaklarda Debi Katsayısı. IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 06-10 Temmuz 2009, İstanbul, pp. 71-76, (in Turkish).
- [10] Tullis, J.P., Amanian, N., Waldron, D.: Design of Labyrinth Spillway. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (1995) 3, pp. 247-255.
- [11] Jiwani, R., Lucas, S.: Methods of Flow Measurement for Water and wastewater. 3rd Edition, NIVUS GmbH, Im Tale 2, D' 75031 Eppingen, www.nivus.de., 2002.
- [12] Gourley, H.J.F., Crimp, V.S.: The flow of water over sharp-edged notches and weirs (Including Appendix). Minutes of the Proceedings, 200 (1915), pp. 388-408, <https://doi.org/10.1680/imotp.1915.16269>
- [13] Coleman, G.S., Smith, D.: The Discharging Capacity of Side Weirs. Proc. of the ICE, London, 6 (1923), pp. 288-304.
- [14] USBR, 2001. Water Measurement Manual. 3rd Edition, Water Resources Research Laboratory, Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior.
- [15] Emiroglu, M.E., Kaya, N., Dogan, Y.: Savaklarda Kret Şeklinin Debi Katsayısına Etkisi, DSİ Technical Bulletin, 108 (2010), pp. 57-70 (in Turkish)
- [16] Emiroglu, M.E.: Estimating Flow Characteristics of Different Weir Types and Optimum Dimensions of Downstream Receiving Pool, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 58 (2010) 4, pp. 245-260.
- [17] Dogan, Y.: Savaklarda Kret Şeklinin Debi Katsayısına Etkisinin İncelenmesi, Fırat University, Graduate School of Science (in Turkish), 2009.
- [18] Novak, P., Cabelka, J.: Models in Hydraulic Engineering, Pitman Publishing Limited, London.