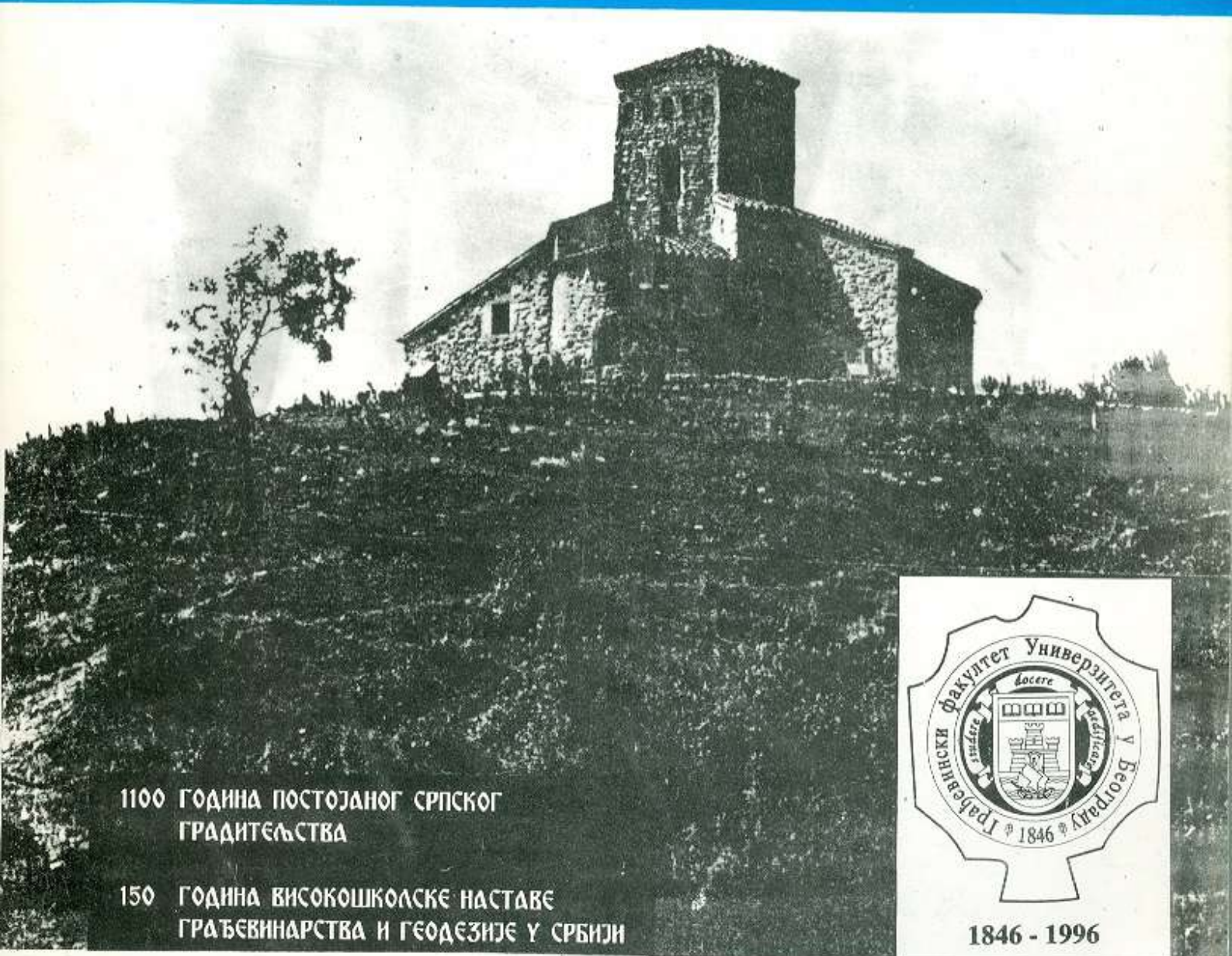


YU ISSN 0350-0519

UDK 626

BROJ 163 - 164  
GODINA 28  
SEPTEMBAR -  
- DECEMBAR  
1996 / 5 - 6

# vodoprivreda



1100 GODINA POSTOJANOG SRPSKOG  
GRADITEĽSTVA

150 GODINA VISOKOŠKOLSKE NASTAVE  
GRAĐEVINARSTVA I GEODEZIJE U SRBIJI



1846 - 1996

0350-0519, 28, (1996) 163 - 164, p. 257 - 390

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE

SADRŽAJ

RAD JUBILARNOG KARAKTERA  
 Dr Branislav ĐORĐEVIĆ i Tina MILANOVIĆ: Uz jubileje srpskog graditeljstva . . . . . 259

NAUČNI PREGLEDNI RADovi  
 Dr Branislav ĐORĐEVIĆ: Razvoj vodoprivrede u Srbiji i uticaj na razvoj društva . . . . . 265  
 Dr Milan STOJŠIĆ i saradnici: Stanje i projekcija razvoja navodnjavanja u Srbiji . . . . . 281  
 Dr Stevan PROHASKA: Hidrološke karakteristike vodnih tokova od značaja za njihovo uređenje i zaštitu od poplava. IV deo. – Velike vode na hidrološki neužucenim slivovima . . . . . 293

ORIGINALNI NAUČNI RAD  
 Dr Mirko POPOVIĆ i Dragica VULIĆ: Analiza koncentrisanih izvora zagađenja voda u Republici Srbiji . . . . . 301  
 Dr Gligorije PEROVIĆ: Teorija podudarnosti u određivanju deformacija i pomeranja tačaka brana geodetskim metodama . . . . . 321  
 Dušan ŽIVKOVIĆ: Vododrživost dijafragme . . . . . 327  
 Omilj MARKOVIĆ i saradnici: Upravljanje bezbednošću visokih brana . . . . . 335  
 Dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ: Hidraulička analiza šahtnih preliva . . . . . 347

PREGLEDNI RADovi  
 Mr Slobodan FURUNDŽIĆ: Uporedni prikaz pet šahtnih preliva . . . . . 353  
 Dr Miodrag BOŽINOVIĆ: O karakteristikama velikih voda i talasa od vetra koje su od značaja za zaštitu od poplava i uređenje reka . . . . . 357  
 Predrag SRNA: Katastar sistema i objekata za zaštitu od poplava u okviru vodoprivrednog informacionog sistema Srbije . . . . . 377

STRUČNI RADovi  
 Dušan VUČIĆEVIĆ: Zakonsko regulisanje problematike erozije i bujica . . . . . 385  
 Zaključci sa simpozijuma: „Zaštita voda '96“ . . . . . 390

CONTENTS

ANNIVERSARY CHARACTER PAPER  
 Branislav ĐORĐEVIĆ and Tina MILANOVIĆ: ANNIVERSARY OF CIVIL ENGINEERING IN SERBIA . . . . . 259

SCIENTIFIC REVIEWS  
 Branislav ĐORĐEVIĆ: WATER RESOURCES DEVELOPEMENT IN SERBIA . . . . . 265  
 Milan STOJŠIĆ and al: . . . . . 281  
 Stevan PROHASKA: HYDROLOGICAL CHARACTERISTIK OF WATER COURSES IMPORTANT FOR THEIR REGULATION AND FLOOD CONTROL. PART IV - FLOOD FLOWS ON HYDROLOGICAL UNSTUDIED CATCHMENTS . . . . . 293

SCIENTIFIC TEMATIC REVIEWS  
 Mirko POPOVIĆ and Dragica VULIĆ: ANALYSIS OF CONCENTRATED SOURCES OF WATER POLLUTION IN THE REPUBLIC OF SERBIA . . . . . 301  
 Gligorije PEROVIĆ: CONGRUENCE THEORY FOR DETERMINING DEFORMATION AND DISPLACEMENTS OF POINTS OF DAMS BY MEANS OF GEODETICAL METHODS . . . . . 321  
 Dušan ŽIVKOVIĆ: BARRAGE WATERTIGHTNES . . . . . 327  
 Omilj MARKOVIĆ and al: MANAGEMENT OF DAM SAFETY IN SERBIA . . . . . 335  
 Božidar BATINIĆ and Tina MILANOVIĆ: HYDRAULIC ANALYSES OF SHAFT SPILLWAY . . . . . 347

REVIEWS  
 Slobodan FURUNDŽIĆ: COMPORATIVE REVIEW OF FIVE SHAFT SPILLWAYS . . . . . 353  
 Miodrag BOŽINOVIĆ: CHARACTERISTICS OF FLOOD WAVES AND WIND INDUCED WATER WAVES SIGNIFICANT FOR FLOOD CONTROL AND RIVER REGULATION . . . . . 357  
 Predrag SRNA: CADASTRE OF FLOOD PROTECTION STRUCTURES AND SYSTEMS WITHIN THE WATER RESOURCES INFORMATION SYSTEM OF SERBIA . . . . . 377

PROFESSIONAL PAPERS  
 Dušan VUČIĆEVIĆ: LEGISLATION OF EROSION AND TORRENT CONTROL ACTIVITIES . . . . . 385  
 CONCLUSION OF SYMPOSIUM „WATER PROTECTION '96“ . . . . . 390

VODOPRIVREDA

GOD. 28

Godina 1996.  
 BR. 163 - 164  
 (1996/5-6)

UDK 626

YU ISSN 0350 - 0519

IZDAVAČ:  
 JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA  
 ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE  
 Beograd, Kneza Miloša 9

Ovaj broj je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije i Saveznog ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu

REDAKCIJSKI KOLEGIJUM  
 (sa oblastima koje se pokrivaju):

Đorđević dr Branislav – Vodoprivredni sistemi i Hidroenergetika; predsednik Redakcionog kolegijuma  
 Avakumović dr Dimitrije – Hidromelioracioni sistemi  
 Batinić dr Božidar – Hidraulika  
 Bogdanović dr Slavko – Vodno pravo  
 Bruk dr Stevan – Opšta hidrotehnika  
 Ignjatović dr Lazar – Komunalna hidrotehnika  
 Jovanović dr Miodrag – Regulacija reka  
 Josipović dr Jovan – Hidrogeologija  
 Likić Budislav – Hidrotehnički objekti  
 Muškatirović dr Dragutin – Plovidbena infrastruktura  
 Petrović dr Petar – Brane i građevine  
 Petković dr Slobodan – Erozijska  
 Plamenac dr Nikola – Odvodnjavanje  
 Popović dr Mirko – Kvalitet vode  
 Potkonjak dr Svetlana – Ekonomika vodoprivrede  
 Radić dr Zoran – Hidrologija  
 Radinović dr Đura – Meteorologija  
 Rudić dr Dragan – Održavanje melioracionih sistema  
 Stojšić dr Milan – Navodnjavanje  
 Tutundžić dr Vera – Ribarstvo  
 Živaljević dr Ratomir – Hidrometeorološki informacioni sistemi

IZDAVAČKI SAVET

Bajić mr Vladimir  
 Božinović dr Miodrag  
 Bošnjak dr Đuro  
 Varga Arpad  
 Dragović Dušan  
 Dutina Nikola  
 Đukić Miljan  
 Ilić Živka  
 Kovačević dr Dejan  
 Milenković dr Slobodan  
 Milojević dr Miloje  
 Pantelić Petar  
 Stamenković mr Ljubiša

Slika na naslovnoj strani korica:  
 Petrova crkva kod Novog Pazara  
 (uz članak jubilarnog karaktera)

## HIDRAULIČKA ANALIZA ŠAHTNIH PRELIVA

Prof. dr Božidar BATINIĆ, dipl. građ. inž., Tina MILANOVIĆ, dipl. građ. inž.  
Građevinski fakultet, Beograd

### REZIME

Šehtni preliv je, sa hidrauličke tačke gledišta, veoma složen i interesantan objekat, koji služi za evakuaciju velikih voda kod nasutih brana. U radu je prikazana metodologija proračuna šahtnog preliva. Posebno je ukazano na povezanost i hidrauličku zavisnost pojedinih elemenata, kao i na neophodnost modelskog ispitivanja kojima se moraju proveriti određene veličine i pojave.

**Ključne reči:** šahtni preliv, hidraulička analiza, projektovanje

### UVOD

Šahtni preliv, kao evakuacioni organ velikih voda za nasute brane, predstavlja interesantan objekat za hidrauličke analize. Hidraulička povezanost pojedinih delova šahtnog preliva: krune preliva, vrata preliva, takozvanog "zuba preliva" za suženje vrata, ovazdušenja kolena, kolena, odvodnog tunela i umirenja izlazećeg mlaza u vidu ski skoka ili slapišta, posebno je značajna i interesantna.

U ovom radu daće se hidraulička zavisnost pojedinih elemenata šahtnog preliva, kao i način proračuna, sa ukazivanjem na potrebu za hidrauličkim modelom koji treba da proveri određene veličine. Treba imati na umu da stare izgrađene hidrauličke objekte, bez obzira koliko su oni na prvi pogled slični, retko možemo preslikavati na nove objekte, bez dopunskih hidrauličkih analiza. Retko su konturni uslovi isti na raznim objektima, pa treba biti obazriv čak i kada se primenjuje Frudova sličnost.

Za ovaj rad autori su bili podstaknuti radom kolege Mr Slobodana Furundžića "Uporedni prikaz pet šahtnih preliva", koji je interesantan sa gledišta projekatnata budućih šahtnih preliva (sa konstruktivnog gledišta). Napominje se da je u pomenutom radu prikazano po pet šahtnih preliva u dve tabele (jedan se ponavlja):

Tabela	Nazivi šahtnih preliva				
1	Lokvarka	Batlava	Globočica	Tikveš	Špilje
2	Tikveš	Sjenica	Barje	Selova	Rovni

dok se grafički prikaz daje samo za prelive iz tabele 2. U pomenutom radu nije data hidraulička analiza, pa će se budućim projektantima pokušati dati i hidrauličko uputstvo kako projektovati šahtne prelive.

### HIDRAULIČKA ANALIZA

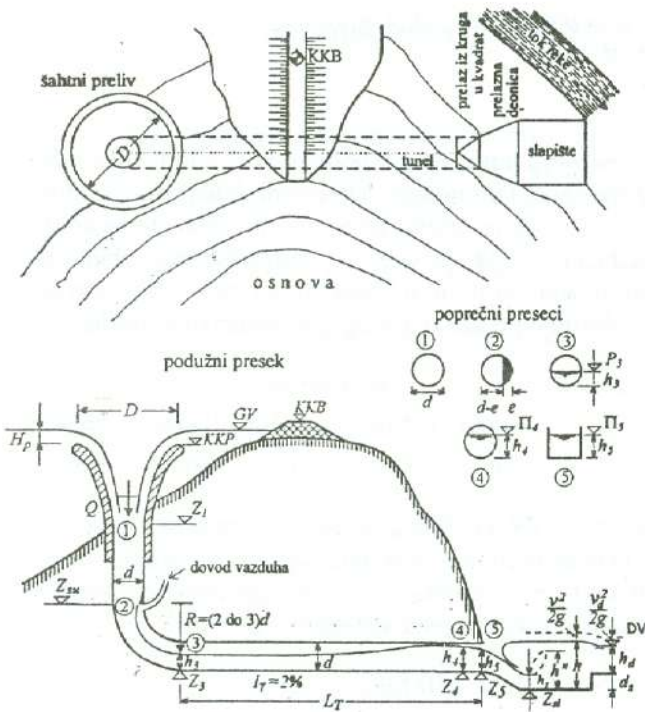
Da bi pristupili hidrauličkoj analizi šahtnog preliva, prethodno se mora uraditi hidrološka analiza, koja treba da da vrednosti za proračune preliva: poplavne talase određene verovatnoće pojave ( $Q_{0.01\%}$ ,  $Q_{0.1\%}$ ,  $Q_{1\%}$ ), odluku na koji poplavni talas treba dimenzionisati preliv i krivu konsumpcije za hidrometrijski profil mesta brane (kota donje vode u zavisnosti od proticaja). Ovi podaci služe kao granični uslovi za propusnu moć šahtnog preliva.

Na slici 1 prikazana je jedna nasuta brana i šema šahtnog preliva sa svim potrebnim elementima.

Iz podužnog preseka vidi se da u hidrauličkom smislu postoje sledeći hidraulički proračuni:

- proračun prečnika preliva i visine prelivnog mlaza,
- proračun vrata preliva i stepen suženja sa aeracionom cevi,
- proračun kolena preliva sa određivanjem sužene dubine na kraju kolena, odnosno na početku tunela,
- proračun linije slobodne površine vode u tunelu sa prelaznim delom na kraju tunela, odnosno na početku slapišta ili odskoka,
- proračun slapišta ili odskoka mlaza radi upuštanja vode u donji tok reke nizvodno od brane.

Ovi proračuni pokazaće se redom, sa detaljnim uputstvima za primenu hidrauličkih zakona tečenja.



Sl. 1. Šema šahtnog preliva  
Scheme of shaft spillway

**Propusna moć preliva**

Prečnik kružnog preliva i visina prelivnog mlaza određuju se iz uslova da preliv može da propusti maksimalni proticaj koji se javi jednom u određenom vremenskom periodu (sto, hiljadu ili deset hiljada godina).

Ukoliko se zanemari zakrivljenost krune preliva i posmatra se kao ravanski problem, može se napisati zavisnost proticaja od prečnika i visine prelivnog mlaza:

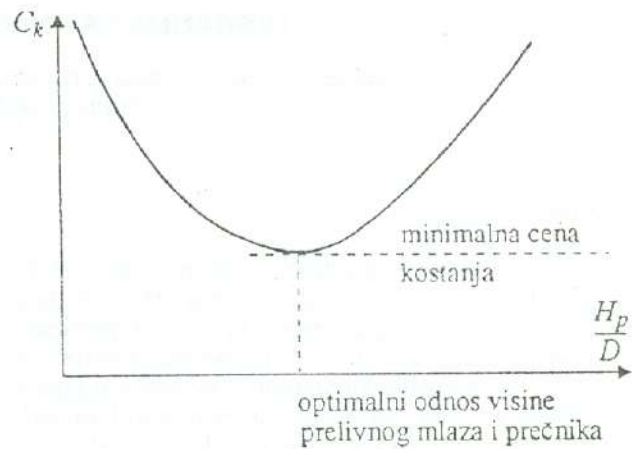
$$Q = C_Q \cdot D \cdot \pi \cdot \sqrt{2g \cdot H_p^3} \quad (1)$$

$C_Q = 0.49$ , koeficijent preliivanja može da se usvoji isti kao i za preliv praktičnog profila uz zanemarenje zakrivljenosti prelivne ivice.

$D \cdot \pi$  - dužina prelivne ivice = obim šahtnog preliva.

$H_p$  - visina prelivnog mlaza. Ne mora se voditi računa o dolaznoj brzini pošto je reč o preliivanju iz jezera gde dolazne brzine i nema.

Ovde se napominje da se preliv treba postaviti dovoljno daleko u odnosu na obalu i kosinu brane, kako oni ne bi uticali na formiranje strujne slike. Ovo često treba proveriti na fizičkom modelu.



Sl. 2. Cena svih radova na koju utiče odnos  $H_p/D$   
Cost of all works that influence on  $H_p/D$  ratio

Određivanje prečnika prelivne ivice  $D$  i visine prelivnog mlaza  $H_p$  ne može se sračunati iz hidrauličkog uslova (1), imamo dve nepoznate a jednu jednačinu, već bi trebali izvršiti ekonomsku analizu za razne odnose  $H_p/D$  i izabrati optimum. Veći prečnik prelivne ivice daje manji prelivni mlaz, a samim tim i manje troškove sa jedne strane, dok sa druge strane daje veliku građevinu i time povećava troškove izgradnje. Ovo treba podrobno analizirati i nacrtati zavisnost ukupnih troškova u odnosu na  $H_p/D$  kako je prikazano na slici 2.

**Određivanje prečnika vrata šahtnog preliva i stepena suženja**

Da bi se izračunao prečnik vrata šahtnog preliva i stepen suženja ispred vertikalne krivine, mora se razmotriti raspoloživa visinska razlika između gornje i donje vode. Na slici 1 prikazani su karakteristični presezi i odgovarajuće kote. Preko izraza za brzinu vode u horizontalnom delu tunela, koristeći visinsku razliku ( $Z_{GV} - Z_{DV}$ ) dolazi se do potrebnog prečnika odvodnog, horizontalnog dela tunela:

$$v = C_v \cdot \sqrt{2g(Z_{GV} - Z_{DV})} \quad (2)$$

a za ovu brzinu potrebna je površina poprečnog preseka od:

$$A = \frac{Q}{v} \quad (3)$$

Ovde se daje savet da se za koeficijent brzine usvoji  $C_v=0.80$  i ispunjenost kružnog preseka  $h = 0.6 d$ , iz čega proizilazi prečnik  $d$ :

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{180^\circ + 2 \arcsin 0.1}{360^\circ} + \frac{0.1 \cdot d^2 \cdot \sqrt{0.99}}{2} \quad (4)$$

$$d = 0.70\sqrt{A}$$

Na ovaj način je određen, u prvoj aproksimaciji, i prečnik vrata šahtnog preliva. Da bi se proverio ovaj prečnik potrebno je odrediti kotu  $Z_1$ , obeleženu na slici 1, kao prečnik vrata šahtnog preliva - cilindričnog dela vertikalnog šahta. Brzina u preseku 1 - 1 iznosi:

$$v_1 = \frac{Q}{\frac{d^2 \pi}{4}} \quad (5)$$

Ako se napiše Bernulijeva jednačina za preseke jezera - presek 1, dobija se izraz:

$$v_1 = C_{v_1} \sqrt{2g(Z_{GV} - Z_1)} \quad (6)$$

Iz ove jednačine određuje se kota  $Z_1$ :

$$Z_1 = - \left( \frac{v_1}{C_{v_1}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} + Z_{GV} \quad (7)$$

Ako je ova kota veća od kote  $Z_{su}$  - suženog preseka, koja se dobija iz geometrije šahtnog preliva, a data je na slici 1, može da se napiše:

$$Z_1 > Z_{su} = Z_{DV} + R + L_T \cdot l_T \quad (8)$$

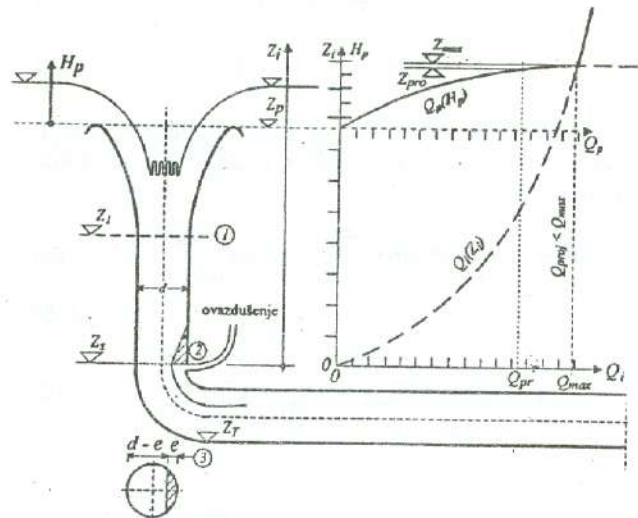
Prvi uslov je ispunjen za određivanje prečnika  $d$ . U suprotnom slučaju, ovaj prečnik  $d$  nije dovoljan da propusti traženu količinu vode  $Q$ . Ovaj slučaj nastaje ako razlika između gornje i donje vode nije dovoljna da bi se stvorila potrebna brzina vode. Za ovaj slučaj traži se neki drugi tip preliva, ili ako to mora da bude šahtni preliv, povećava se prečnik vrata i za tako dobijeni prečnik sprovodi se nov račun sa izjednačavanjem kota  $Z_1 = Z_{su}$ , i na taj način nema potrebe za vratom šahtnog preliva. Za ovaj geometrijski uslov dolazi se do hidrauličkog uslova da je stepen suženja, odnosno suženi presek, merodavan za maksimalnu propusnu moć preliva.

Na slici 3 prikazana su oba hidraulička uslova za propusnu moć:

- jednačina prelivanja:  $Q_p(H_p) = C_{Q_p} D \pi \sqrt{2gH_p^3}$ ,

- jednačina isticanja u suženom preseku šahtnog preliva

$$Q_i(Z_i) = C_{Q_i} A_s \sqrt{2g(Z_1 - Z_s)} \quad (9)$$



Sli. 3. - Propusna moć šahtnog preliva  
Capacity of shaft spillway

Vrednost za  $C_{Q_p}$  preliva već je data, dok se za  $C_{Q_i}$  može prihvatiti vrednost 0.85. Ovu vrednost treba proveriti ispitivanjem na hidrauličkom modelu.

Maksimalni proticaj preliva računa se na bazi jednakosti vrednosti proticaja koji preliva i vrednosti proticaja koji ističe:

$$Q_p(H_p) = Q_i(Z_i) \quad (10)$$

dok usvojeni projektovani proticaj treba da bude manji od ovog, sa unapred odgovarajućim stepenom sigurnosti:

$$Q_{proj} = \frac{Q_{max}}{C} ; C \sim 1.10 \quad (11)$$

Ovde napominjemo da je  $Q_{proj} < Q_{0.1\%}$  (tj. onog protoka za koji se projektuje:  $Q_{0.01\%}$ ,  $Q_{0.1\%}$  ili  $Q_{1\%}$ ) iz razloga ublažavanja talasa u akumulacionom jezeru - propagacija poplavnog talasa kroz akumulaciju.

### Tečenje sa slobodnom površinom nizvodno od suženog preseka

Tečenje u kolenu preliva, sa dovoljno dovedenog vazduha (da se ne pojavi podpritisak), prikazano je na slici 4, zajedno sa linijom slobodne površine u odvodnom tunelu šahtnog preliva. Ovde se neće dati proračun aeracione cevi, nego samo savet koliko treba obezbediti vazduha za aeraciju. Zapremina vazduha trebalo bi da odgovara četvrtini zapremine vode, što bi trebalo posebno analizirati.

Postavljanjem jednačine kontinuiteta i Bernulijeve jednačine za preseke: suženi presek 2 i početak odvodnog tunela, presek 3, dobijaju se dubina i brzina vode na početku odvodnog tunela:

$$Q = v_s \cdot A_s = v_3 \cdot A_3 \quad (12)$$

$$Z_s + \frac{v_s^2}{2g} = Z_T + \frac{v_3^2}{2g} + h_3 + \Delta E_{2-3} \quad (13)$$

Rešavanjem ovih jednačina uz poznavanje geometrijske jednačine za kružni odsečak, probanjem se dolazi do traženih vrednosti:

$$A_3 = \frac{r^2 \pi \alpha}{360} + r^2 \sin\left(\frac{360 - \alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{360 - \alpha}{2}\right) \quad (14)$$

$$Q = A_3 \cdot v_3 \quad (15)$$

$$v_3 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} \sqrt{2g \left[ Z_s + \frac{v_s^2}{2g} - (Z_T + h_3) \right]} \quad (16)$$



Sl. 4. - Tečenje u kolenu i odvodnom tunelu  
Flow through knee and drainage tunnel

Koeficijent gubitka  $\xi$  između preseka 2 i 3, tj. gubitak na vertikalnoj krivini, ukoliko se ne raspolaže vrednošću utvrđenom ispitivanjem, može se usvojiti  $\xi = 0.2$ .

Linija nivoa slobodne površine vode u odvodnom tunelu između preseka 3 i 4 dobija se integraljenjem poznate jednačine za tečenje sa slobodnom površinom vode:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{I_D - I_E}{1 - Fr} \quad (17)$$

Dobijanjem dubine vode na kraju odvodnog tunela  $h_4$  može se zaključiti sledeće:

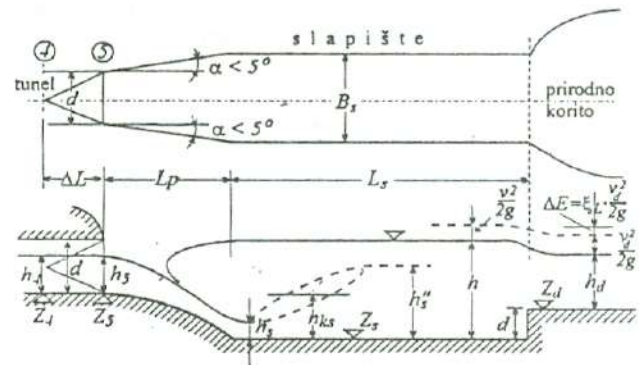
- ako je  $h_4 \approx 0.8 \cdot d$ , tada su šahtni preliv i odvodni tunel dobro dimenzionisani,
- ako je  $h_4 > 0.8 \cdot d$ , odvodni tunel nije dobro dimenzionisan jer ne može da propusti potrebnu količinu vode - potrebno ga je povećati; u protivnom će se slobodni nivo vode zalepiti za gornju ivicu tunela i tečenje će biti nestabilno (površina tunela neće biti dovoljna i za tečenje vazduha),
- ako je  $h_4 < 0.8 \cdot d$ , odvodni tunel je predimenzionisan, i ako je to značajno, potrebno je prečnik odvodnog tunela smanjiti.

### Proračun prelaznog dela tunela sa slapištem, uslovljen uticajem donje vode u vodotoku

Kada je izračunata dubina vode na kraju odvodnog tunela  $h_4$ , pristupa se izračunavanju dubine vode na početku slapišta, odnosno na kraju prelaza sa kružnog na kvadratni presek odvodnog tunela. Prema slici 5, izabraće se preseki za pisanje Bernulijeve jednačine i jednačine kontinuiteta na početku i kraju prelazne deonice odvodnog tunela:

$$Z_4 + h_4 + \frac{v_4^2}{2g} = Z_5 + h_5 + \frac{v_5^2}{2g} + \Delta E_{4-5} \quad (18)$$

$$Q = v_4 \cdot A_4 = v_5 \cdot A_5 \quad (19)$$



Sl. 5. - Prikaz slapišta na kraju odvodnog tunela  
Scheme of the stilling basin at the end of drainage tunnel

Gubitak energije u Bernulijevom smislu izraziće se preko koeficijenta gubitka usled promene preseka  $\xi_L$  i brzinske visine u preseku 5:

$$\Delta E_{4-5} = \xi_L \cdot \frac{v_5^2}{2g} \quad (20)$$

Lokalni gubitak na prelaznoj deonici može se usvojiti  $\xi_L = 0.1$ .

Prema tome, treba postepenim približavanjem rešiti sledeće sređene jednačine:

$$v_5 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_L}} \sqrt{2g \left( Z_4 - Z_5 + h_4 - h_5 + \frac{v_4^2}{2g} \right)} \quad (21)$$

$$v_5 = \frac{Q}{d \cdot h_5} \quad (22)$$

Iz ove dve jednačine (21) i (22) dolazi se do vrednosti za  $h_5$  i  $v_5$ .

Širina slapišta  $B_s$  za umirenje vode iz dovodnog tunela i njeno dalje upuštanje u prirodno korito zavisi od raspoloživog prostora na lokalitetu korita reke. Ukoliko je prečnik odvodnog tunela  $d$  značajan, a nema do-

voljno mesta za širenje slapišta, može se usvojiti da je  $B_s = d$ . Ovakvo slapište ispunjava hidraulički uslov za umirenje vode, ali zato se dobija znatno duže i dublje slapište, a to sa ekonomske strane nije opravdano. U protivnom, treba pronaći način za izvesno proširenje slapišta poštujući ugao širenja:  $3^\circ < \alpha < 5^\circ$ , kako ne bi u zonama najveće brzine došlo do odlepljivanja mlaza. Za ovo širenje ne postoji savet ni formula, već iskustvo ili ispitivanje, pravljenje nekoliko varijanti od kojih se usvaja najjeftinija.

Za svaku izabranu varijantu potrebno je srediti sledeće proračune:

- Bernulijeva jednačina za preseke 5 - s:

$$Z_5 + h_5 + \frac{v_5^2}{2g} = Z_s + h_s + \frac{v_s^2}{2g} + \xi_{5-s} \frac{v_s^2}{2g} \quad (23)$$

- jednačina kontinuiteta (pravougaoni presek slapišta):

$$Q = A_5 \cdot v_5 = B_s \cdot h_s \cdot v_s \quad (24)$$

- vrednost kritične dubine u slapištu:

$$h_{ks} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_s^2}} \quad (25)$$

- jednačina za hidraulički skok (pravougaoni presek):

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \left( \frac{h_{ks}}{h_s} \right)^3} - 1 \right] \quad (26)$$

- stepen potopljenosti:

$$h \cong 1.15 h_s'' \quad (27)$$

- Bernulijeva jednačina za preseke: slapište - prirodno korito:

$$h + \frac{v^2}{2g} = d + h_d + \frac{v^2}{2g} (1 + \xi) \quad (28)$$

Koeficijent lokalnog gubitka usvojiti  $\xi = 0.15$ .

## ZAKLJUČAK

Iz svega izloženog može se zaključiti da hidraulička analiza, sa prethodno urađenom hidrološkom analizom, nije lak posao, pa treba tim analizama pristupiti ozbiljno. Još jednom se napominje da se, bez obzira na iskustvo projektanata i uvida u literaturu, svaki novi slučaj šahtnog preliva mora proveriti na hidrauličkom modelu. I pored izrade modela mora se dodatno izvršiti analiza gubitaka na trenje i proračun uvlačenja vazduha - ovazduženje kolena, jer se na istom modelu ne može dobiti sličnost model - priroda, za uticaj trenja i tečenje vazduha.

Ovde se mora napomenuti da je u pojedinoj literaturi i već ostvarenim projektima pogrešno dato suženje na kraju kolena sa upuštanjem vazduha. U tim rešenjima javlja se podpritisak duž konveksne strane kolena za geometrijski razumni stepen suženja preseka  $0.05 D < e < 0.1 D$ . (Nama poznat takav primer su tri šahtna preliva jedan do drugog za akumulaciju "Grlište" kod Zaječara.)

## LITERATURA

- [1] Božidar Batinić, Hidraulika, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [2] Mladen Boreli, Hidraulika, Naučna knjiga, Beograd, 1984.

## HYDRAULIC ANALYSES OF SHAFT SPILLWAY

by

Božidar BATINIĆ, Ph.D., Tina MILANOVIĆ, B.Sc.  
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

### Summary

Shaft spillway is, from hydraulic point of view, very complex and interesting structure for flood wave release for filled dams. The paper presents methodology of shaft spillway calculation. Joining and hydraulic interdependence is particularly pointed. Necessarily of model examination of some values and phenomena is also emphasized.

Necessarily of model examination of some values and phenomena is also emphasized.

*Key words:* shaft spillway, hydraulic analyses, projecting

Redigovano 3.10.1996.