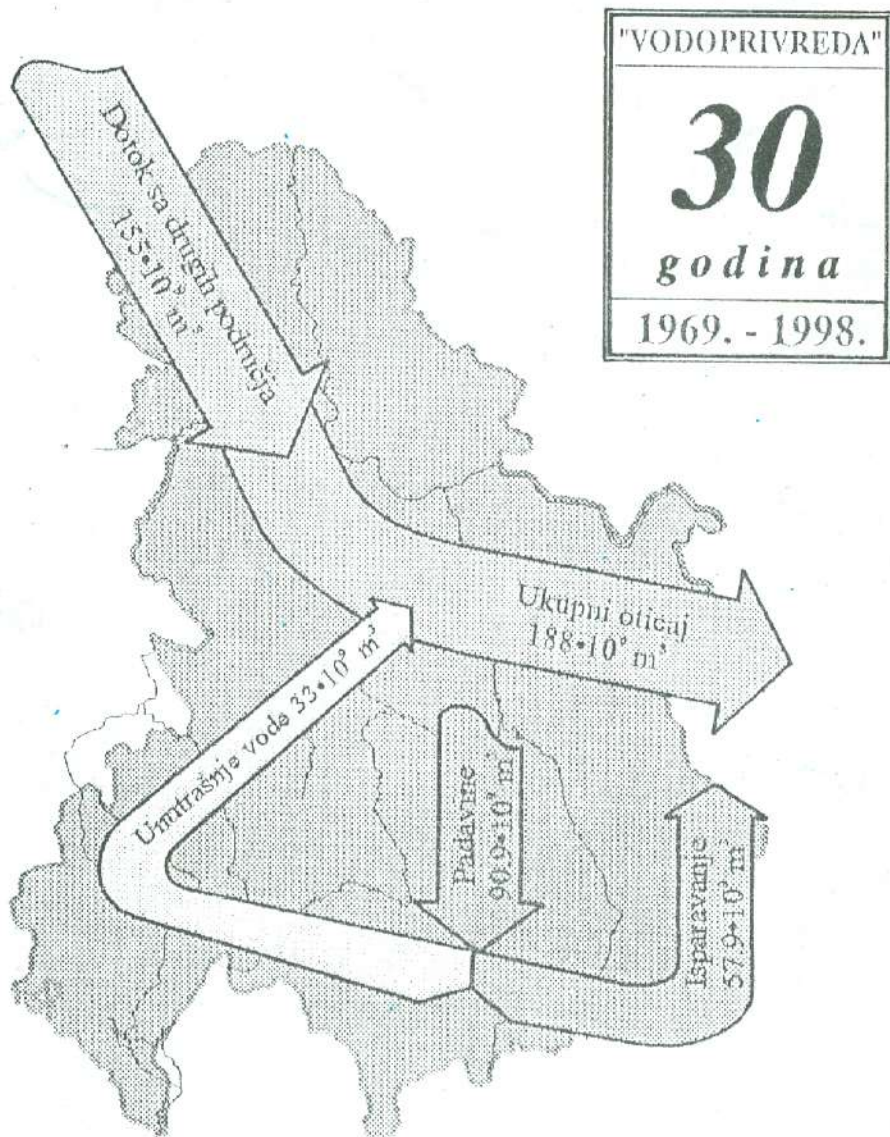


YU ISSN 0350-0519

UDK 626

BROJ 173-174  
GODINA 30  
MAJ -  
- AVGUST  
1998/3-4

# vodoprivreda



SADRŽAJ

UZ JUBILEJ ČASOPISA .....	131
NAUČNI PREGLEDNI RADovi	
Dr Branislav ĐORĐEVIĆ: Razjašnjenje nekih baznih postulata - bitan preduslov za nesmetan dalji razvoj vodoprivrede..	133
Dr Stevan PROHASKA: Režim i bilans voda SR Jugoslavije ..	149
Dr Miodrag BOŽINOVIĆ i mr Marina BABIĆ MLADENOVIĆ: Unapređenje zaštite od poplava ..	163
Dr Momčilo MARKUŠ: Primena neuralnih mreža u prognozi proticaja ..	173
PORTRETI STVARALACA: Milenko MARJANOV .....	187
ORIGINALNI NAUČNI RADovi	
Darko MILUTIN i Janos J. BOGARDI: Alternativa dekompoziciona metoda za optimizaciju rada sistema više akumulacija za vodosnabdevanje ..	189
Dr Svetlana POTKONJAK: Planiranje i korišćenje sistema za navodnjavanje u uslovima rizika i neizvesnosti ..	197
Dr Jovan MALIŠIĆ i saradnici: ARMA modeliranje hidroloških serija ..	203
Mr Branislav BABIĆ: Kvantifikacija uticaja pritoka na smanjenje gubitaka vode u vodovodnim sistemima metodom minimalne noćne potrošnje vode ..	213
Momir PAUNOVIĆ i saradnici: Biocenoza Vlasine i reka njenog sliva sa posebnim osvrtom na faunu dna kao pokazatelj kvaliteta vode u prolećnom aspektu 1996. godine..	225
Dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ: Problemi evakuacionih organa brane "Grište" ..	231
Goran RAŠULA i saradnici: Hidrodinamičke analize režima podzemnih voda „prve izdani“ u Sremu sa aspekta navodnjavanja ..	241
PRETHODNA SAOPŠTENJA	
Dr Dušan STOJADINović: Potencijalne mogućnosti korišćenja mineralne vode lokaliteta S. Kruševica kod Lazarevca..	251
REVIJALNI RADovi	
Mr Predrag DRAŽIĆ i Lidija ANDREJEV: Iskustva u eksploataciji postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Somboru tokom jedanaest godina rada ..	257
CONTENTS	
ANNIVERSARY OF OUR JOURNAL .....	131
SCIENTIFIC REVIEWS	
Branislav ĐORĐEVIĆ: UNDERSTANDING OF BASIC POSTULATES - A PREREQUISITE OF SUSTAINED DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES ..	133
Stevan PROHASKA: HYDROLOGY AND WATER BUDGET OF THE FEDERATIVE REPUBLIC OF YUGOSLAVIA ..	149
Miodrag BOŽINOVIĆ and Marina BABIĆ MLADENOVIĆ: IMPROVEMENT OF FLOOD CONTROL ..	163
Momčilo MARKUŠ: APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN STREAMFLOW FORECASTING ..	173
PORTRETS: Milenko MARJANOV .....	187
SCIENTIFIC TEMATIC REVIEWS	
Darko MILUTIN and Janos J. BOGARDI: AN ALTERNATIVE DECOMPOSITION APPROACH FOR OPTIMIZATION OF A MULTIPLERESERVOIR SYSTEM OPERATION ..	189
Svetlana POTKONJAK: RISK MANAGEMENT IN PLANNING AND UTILIZATION OF IRRIGATION SYSTEMS ..	197
Jovan MALIŠIĆ et al: ARMA MODELING OF HYDROLOGICAL SERIES ..	203
Branislav BABIĆ: THE MINIMUM NIGHT FLOWS METHOD FOR THE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF PRESSURE ON WATER LOSSES ..	213
Momir PAUNOVIĆ et al: BIOCENOSSES OF THE RIVER VLASINA AND ITS TRIBUTARIES, WITH PARTICULAR REFERENCE TO THE BOTTOM FAUNA AS WATER QUALITY INDICATOR, IN THE SPRING ASPECT OF 1996 ..	225
Božidar BATINIĆ and Tina MILANOVIĆ: EVACUATION STRUCTURE FOR THE "GRISHTE" DAM ..	231
Goran RAŠULA et al: HYDRODYNAMIC GROUNDWATER REGIME ANALYSIS OF THE "FIRST AQUIFER" IN SREM REGION FROM THE ASPECT OF IRRIGATION ..	241
DRAFT PAPERS	
Dušan STOJADINović: POTENTIAL OF MINERAL WATER UTILIZATION OF THE LOCALITY KRUSEVICA, NEAR LAZAREVAC ..	251
REVIEWS	
Predrag DRAŽIĆ and Lidija ANDREJEV: SOME EXPERIENCES OF THE ELEVEN YEARS OF OPERATION OF THE URBAN WASTE WATER TREATMENT PLANT IN SOMBOR ..	257

VODOPRIVREDA

GOD. 30

Godina 1998.

BR. 173 - 174

(1998/3-4)

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  
Buk 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 - Erozija  
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  
Stojić dr Milan - Navodnjavanje  
Tutundžić dr Vera - Ribarstvo  
Živaljević dr Ratimir - Hidrometeorološki informacioni sistemi

IZDAVAČKI SAVET

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

Slika na naslovnoj strani korica:  
Bilans raspoloživih površinskih voda u SR Jugoslaviji  
(uz članak S. Prohaske u ovom broju)

## PROBLEMI EVAKUACIONIH ORGANA BRANE "GRLIŠTE"

Prof. dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ  
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
E-mail: mtina@irc.grf.bg.ac.yu

### REZIME

Nasuta brana "Grište", izgrađena od kamenog nabačaja sa uzvodnim betonskim ekranom, nalazi se uzvodno od sela Grište, a služi za snabdevanje vodom grada Zaječara. Evakuacija velikih vode ostvaruje se "baterijom šahtnih preliva" i temeljnim ispustom. Prelivni objekti hidraulički su rastavljeni na šest linijskih preliva koji nemaju iste uslove formiranja strujne slike, pa će svaki od njih imati različite kapacitete, iako su geometrijski isti. Zbog složenih uslova strujanja u svakom od tri odvodna tunela (po dva linijska preliva se spajaju), javiće se složeno vrtložno strujanje, sa dodatnim problemom u jednom od tunela, u koji se uključuje temeljni ispust, a za koji je predviđeno da radi i pri prelivanju velikih voda.

Složena geometrijska forma prelaska dva linijska preliva (postavljenih jedan naspram drugog) u vertikalni šaht, a zatim u kružni odvodni tunel, izaziva hidraulički složeno strujanje, koje se može rešiti samo na hidrauličkom modelu. Taj model, nažalost, nije urađen u fazi projektovanja brane, pa je objekat i izveden sa više ozbiljnih hidrauličkih nedostataka. Projektant je predvideo ovazdušavanje prelivnog mlaza na dva mesta: odmah iza krune preliva i iza vertikalne krivine na pre-

lazu u horizontalni tunel. Ovakvo ovazdušavanje dodatno otežava rešenje strujanja, pošto se javlja tečenje dvofaznog toka pre suženog hidrauličkog preseka, koji definiše propusnu moć preliva. Konveksna strana vertikalne krivine nije oslobođena vertikalnog mlaza, pa time ni velikih podpritisaka koji izazivaju pojavu kavitacije. Hidraulički suženi presek ima oblik elipse (380 / 500 cm, veća osa je horizontalna) iz koga se difuzorom prelazi na kružni presek odvodnog tunela  $\phi$  500 cm. Odvodni tuneli izvedeni su sa horizontalnom krivinom koja dodatno otežava proračune, pogotovo sa izvedenim prelazom na početku tunela, koje izaziva pojavu spiralnog kretanja vode pri većim brzinama.

**Ključne reči:** evakuacija velikih voda, strujanje vode, kavitacija, ovazdušavanje mlaza

### 1. UVOD

Brana "Grište" je izgrađena na Grištanskoj reci, nekoliko stotina metara uzvodno od sela Grište. Formirano veštačko jezero služi za izravnavanje voda Grištanske reke radi snabdevanja vodom grada Zaječara. Voda se iz jezera odvodi cevovodom za sirovu vodu do postrojenja za prečišćavanje - fabrike za dobijanje vode za piće.

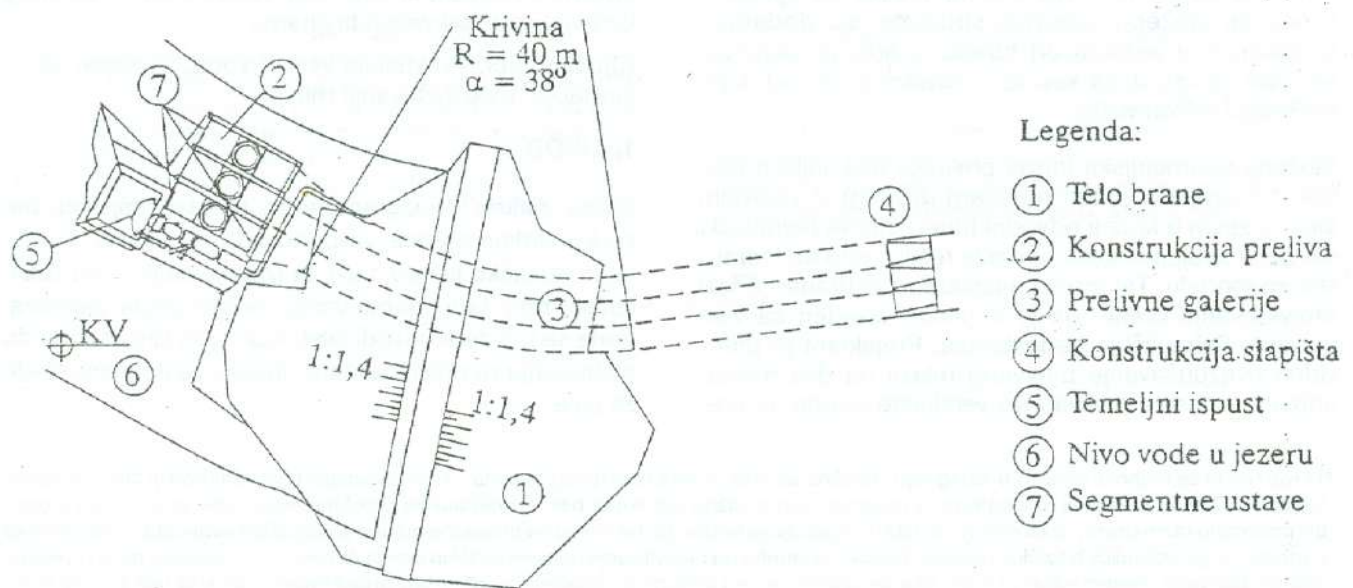
\*) Ovaj rad bi se najbolje svrstao u kategoriju "naučna analiza i kritika izvedenog objekta", koja ne postoji u sistematizaciji članaka našeg časopisa. Članak je veoma inspirativan, a njegove veoma važne poruke bi bile: (1) hidraulički problemi evakuacije velikih voda moraju biti detaljno razmatrani i uzeti u obzir pri izboru dispozicije brane, (2) ne smeju se projektne odluke o dispoziciji evakuatora donositi bez odgovarajućih hidrauličkih fizičkih modela. Redakcija smatra da objavljivanje ovakvih kritičkih osvrta doprinosi poboljšanju naše projektne prakse. Naravno, neuporedivo je bolje ako se greške uoče i otklone na modelima, još u fazi projektovanja, ali kod nas postoji teško shvatljiva praksa da se modeli izbegavaju "radi štednje".

Brana je izgrađena na početku kanjona, i time zadovoljava osnovni ekonomski zahtev: što manja zapremina brane - da bi što manje koštala. Polje iza brane pretvara se u veštačko jezero, za koje se mora omogućiti evakuacija velikih voda određene verovatnoće javljanja. U ovom slučaju, radi sigurnosti naselja Grišta, koje se nalazi nizvodno, to je voda koja se javlja jednom u hiljadu godina. Hidrološkom analizom određena je najveća verovatna voda od 900 do 1000 m<sup>3</sup>/s. Evakuacija ove vode rešena je baterijom od tri vertikalna okna sa po dva prelivna polja.

Potrebni hidrotehnički objekti na brani: zahvat, temeljni ispust i preliv, skoncentrisani su u okviru jednog zajedničkog betonskog objekta u zoni leve obale jezera, za koji se može reći sledeće:

- Betonski blok je suviše veliki, proteže se praktično do polovine širine profila, pa kada se hidrotehnički znalac nađe na mostu iznad preliva stiče utisak da je napravljena jedna polovina betonske brane, te da se sa još jednom polovinom mogla logično realizovati cela pregradna konstrukcija, sa svim pratećim objektima, koji bi se u tom slučaju mogli mnogo logičnije rešiti. Očito je, u ovom slučaju, da hidraulički aspekti nisu imali odgovarajuću težinu pri izboru dispozicije brane.
- Zahvatni cevovodi na različitim visinskim kotama, ukupno ih ima tri, nisu najsrećnije postavljeni sa stanovišta leda i hidrauličkih uslova. Ukoliko se, u zimskim uslovima, nivo vode nađe na njihovim kotama, led može da ih ošteti. Nema potrebe da zahvati budu van betonske konstrukcije.

- Temeljni ispust je u betonskoj kuli pored baterije preliva i opremljen je sa dve tablaste ustave, jedna radna i jedna sigurnosna - remontna.
- Konstrukcija preliva sastoji se iz tri vertikalna okna, koja vertikalnom krivinom prelaze u horizontalni tunel za odvod prelivene vode u donju vodu nizvodno od brane. Na svakom oknu nalaze se po dva naspramna "prava" prelivna polja, što čini bateriju sastavljenu od tri jednake konstrukcije. Na ovaj način se voda, preko linijskog para preliva i sa jako razuđenom vertikalnom prelaznom deonicom, uliva u kružni presek horizontalnog tunela.
- Na svakom prelivnom polju nalazi se po jedna segmentna ustava, što ukupno čini 2x3=6 ustava, koje se mogu dizati ručno i pomoću elektromotora, preko "Galovih lanaca".
- Položaj konstrukcije prelivne baterije sa kulom temeljnog ispusta - betonskog bloka, u odnosu na konturu obale i uzvodne kosine brane (betonskog ekrana) sa hidrauličke strane je nepovoljan. Strujna slika, koja će nastati u toj zoni jezera, neće omogućiti da svih šest preliva budu ravnomerno opterećeni (isti proticaj po prelivu). Ovo je vrlo važno sa stanovišta kapaciteta - propusne moći cele baterije preliva.
- Izlazni krajevi sva tri horizontalna tunela preliva završeni su specijalnom konstrukcijom - slapištem. Ovakva konstrukcija slapišta nije uobičajena u hidrotehničkom pogledu, zbog mogućnosti pojave kavitacije na početku oblikovanog dna, pomoću vertikalne krivine.



Sl. 1. - Osnova objekta brane "Grište"  
Plan view of "Grište" dam

## 2. PRIKAZ IZVEDENE KONSTRUKCIJE

Situacija sistema: brana - jezero - preliv - temeljni ispušt - odvodni tuneli - slapište, data je na slici 1, iz koje se vidi geometrija i položaj pojedinih delova objekata međusobno.

Ovakva konstrukcija preliva isprojektovana je i izvedena iz tri razloga:

1. relativno uska klisura u zoni pregradnog mesta;
2. brana od kamenog nabačaja sa uzvodnim betonskim ekranom;
3. mogućnost nadvišenja, kako same brane, tako i prelivne konstrukcije.

Svaka druga koncepcija rešavanja tog hidročvora dobila bi drugi dispozicioni raspored objekata, o čemu ovde neće biti govora, pošto bi to na neki način bilo razmatranje varijantnih rešenja brane, dok se u ovom radu razmatraju samo hidraulički problemi za izvedeno stanje preliva brane "Grište".

Da bi se još bolje prikazao objekat daće se i podužni presek kroz preliv, odnosno poprečni presek kroz branu (slika 2).

Ovde se neće prikazivati zasebno betonski blok za smeštaj ispusta i zahvatne građevine, jer i ovako postoji dosta hidrauličkih problema vezanih za sistem preliva, koji se žele opisati. Međutim, daće se tekstualni opis ova dva važna elementa zajedničke konstrukcije.

Uz prelivni betonski blok, koji čine 3x2 prelivna polja u sastavu tri vertikalna okna, pridodat je i četvrti deo betonske konstrukcije u vidu bloka. U ovom dodatnom

bloku projektovan je ispušt i to na uzvodnoj strani, ispušt sa čeličnim tablastim ustavama, a na nizvodnoj strani vodozahvat u tri nivoa. Ispusna cev prolazi po dužini ovog četvrtog bloka i pod uglom se uliva u desnu horizontalnu cev prelivne galerije, koja odvodi vodu u slapište nizvodno od brane.

Cevovod za zahvatnu vodu iz ovog bloka zatvaračnice prolazi preko prelivnih galerija i levim bokom klisure odvodi vodu prema postrojenju za prečišćavanje - fabrici vode.

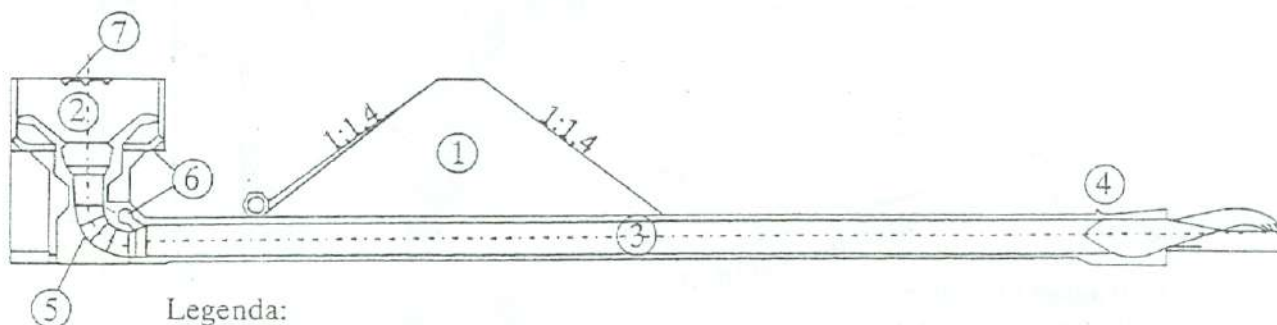
## 3. HIDRAULIČKI PROBLEMI

U ovom radu će se kroz hidrauličke probleme, koji se javljaju pri izboru dispozicije i oblikovanju konstrukcije, prikazati uticaj vodenog strujanja na konstrukcije. Ovaj prikaz daće se tekstualno, bez zamaranja sa odgovarajućim matematičkim formulacijama. Napominjemo da su jednačine za dobijanje strujnica i linija istog pritiska slične jednačinama za linije glavnih napona.

Opterećenja vode nisu lako uočljiva, zbog čega se oblikovanje površina mora pokoravati zakonima strujanja fluida. Tako na primer, na plovećim objektima ni jedan otvor nema oštre uglove, pošto se tu javljaju veliki naponi. Kod hidrotehničkih konstrukcija se na tim mestima javljaju velike brzine, koje izazivaju kavitaciju koja može ozbiljno da oštećuje konstrukciju.

### 3.1. Hidraulička strujna slika u jezeru

Već je napomenuto da strujanje vode u jezeru, prema bateriji (3x2) linijskih preliva, zavisi od položaja preliva u odnosu na obalu i telo brane. Ova zavisnost ne može



Legenda:

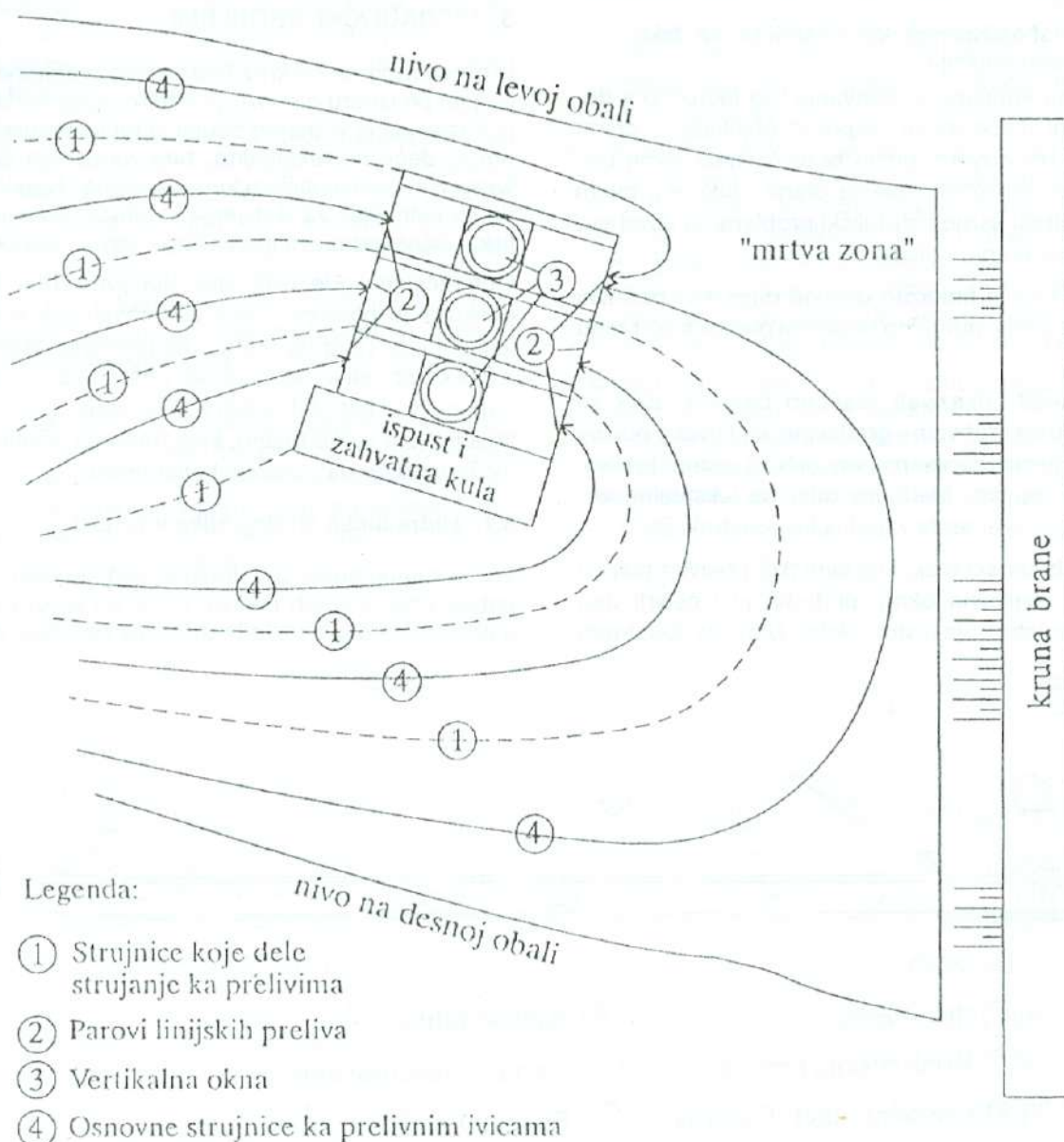
- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| ① Telo brane               | ⑤ Koleno šahta          |
| ② Konstrukcija preliva     | ⑥ Cevi za ovazdušavanje |
| ③ Odvodni tunel "Galerija" | ⑦ Pristupni most        |
| ④ Konstrukcija slapišta    |                         |

S1. 2. - Podužni presek kroz preliv brane "Grište"  
Longitudinal section of "Grište" dam spillway

se rešiti računskim putem, već je uobičajeno da se strujna slika, i za jednostavnije uslove, rešava fizičkim modelom. Pokušaćemo da, u ravni površine vode, prikazemo moguću strujnu sliku, uz napomenu da se ovde radi o izrazito prostornom problemu. Na slici 3 data je strujna slika.

Iz ove pretpostavljene strujne slike može se zaključiti i samo logičkom dedukcijom da proticaji preko pojedinačnih linijskih preliva ne mogu biti isti. Ova razlika u proticajima remeti hidrauliku preliivanja vode na dva načina:

- Parovi preliva nemaju isti proticaj sa jedne i druge strane. Ova razlika u proticaju, za jednu prelivnu konstrukciju, izaziva nepravilne pritiske u oknu, koji su važni sa stanovišta proračuna pri statičkom dimenzionisanju elemenata.
- Prelivi u paru - jedno vertikalno okno ne prima isti proticaj u odnosu na druga dva, što smeta sa hidrauličke strane. Ne može se sa sigurnošću odrediti kapacitet preliva, tj. hidraulička veza  $Q(H_p)$  može se odrediti samo na fizičkom modelu. S druge strane, pošto su prelivi hidraulički različito opterećeni, ni u statičkom smislu nemaju isto opterećenje.



Sl. 3. - Prikaz strujne slike prema prelivima brane "Grište"  
Schematic view of streamlines for "Grište" dam reservoir

### 3.2. Uslovi strujanja u vertikalnom oknu

Geometrija prelaza, u vertikalnom šahtu preлива, sa pravougaonog na kružni presek, vrlo je komplikovana i hidraulički neoblikovana. Prosto je neverovatno da u uslovima složene i neuobičajene geometrije projektant brane nije odluku o dispoziciji evakuatora uslovio hidrauličkim modelom. Projektant je iz tih razloga nepotrebno doveo vazduh - ovazdušio prelivni mlaz suviše "visoko" i time dodatno smanjio kapacitet pojedinačnih parova preлива. Ova geometrija prikazana je na slici 4, a predstavlja vertikalni presek kroz okno upravno na liniju para preлива i tri horizontalna preseka: presek u nivou preлива, presek u nivou ovazdušenja i presek u zoni vertikalnog okna. Ovazdušeni mlaz u preseku 2 - 2 nailazi na prelaznu deonicu, koja služi da za prelazak sa pravougaonog na kružni poprečni presek 3 - 3 ispred vertikalne krivine, tako da sada imamo ovazdušenu struju koja treba da skrene u horizontalni tunel. Zbog nepoznavanja stepena ovazdušenja ne može se računati preko jednačine količine kretanja, a što je još gore taj problem se ne može rešiti ni pomoću jednog fizičkog modela, nego su potrebna dva fizička modela različitih razmera.

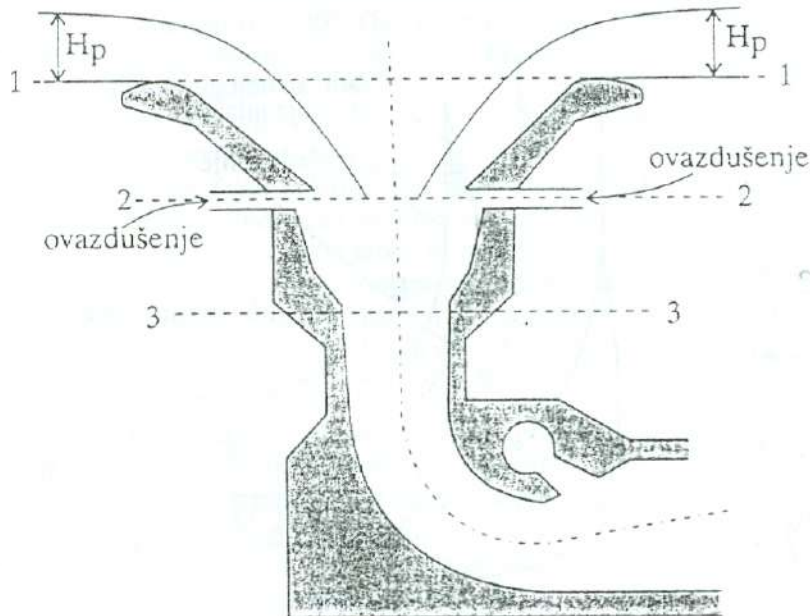
Da bi se ova geometrija još više približila čitaocu data su dva crteža perspektive koji predstavljaju pola oblika preлива - vertikalnog okna - vertikalne krivine za prelaz u

horizontalni tunel, preuzeto iz časopisa Izgradnja, br. 2, februar, 1988. godina (slika 5).

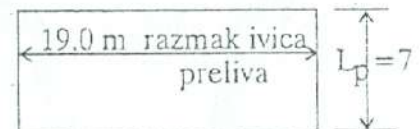
Za ovakav sistem preлива nije trebalo projektovati ovako komplikovanu unutrašnju geometriju, već oblikovati unutrašnje površine tako da što pravilnije i postepenije pređu sa pravougaonog u kružni presek. Prelivni vodeni mlaz treba prihvatiti i postepeno ubrzavati do preseka ispred krivine, sa oblicima koji prati mlaz, tako da se ne pojavljuju ni pritisci ni vakumi. Ovde se još napominje da ovazdušenje ispod krune preлива više šteti nego što koristi konstrukciji. Predlog za oblikovanje preлива prikazan je na slici 6.

### 3.3. Uslovi strujanja u vertikalnoj krivini

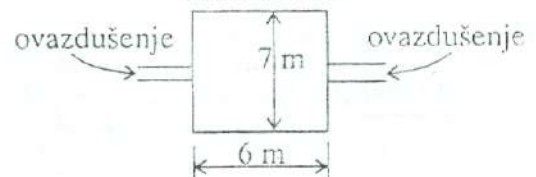
Projektovana vertikalna krivina ima još znatno komplikovaniju geometriju. Umesto uobičajene četvrtine torusa (nastalog rotacijom kruga oko nekog centra na rastojanju  $R$  van kruga) ovde je početak krivine projektovan kao krug, a kraj krivine u obliku elipse (slika 7). Prelivni mlaz se na kraju krivine dodatno ovazdušava, što je i bio razlog prelaska na eliptični oblik. Naime, zbog manje ose elipse, koja iznosi 3,8 m, odnosno zbog razlike od 1,2 m između prečnika kruga (5 m) i prečnika elipse (3,8 m), ostvaruje se prostor za uvođenje vazduha, pa se vodeni tok ovazdušuje po gornjoj ivici. Sa hidrauličkog stanovišta ovazdušenje na kraju krivine ne sprečava pojavu vakuma na unutrašnjoj strani krivine, kako se to vidi na slici 7.



Presek 1 - 1



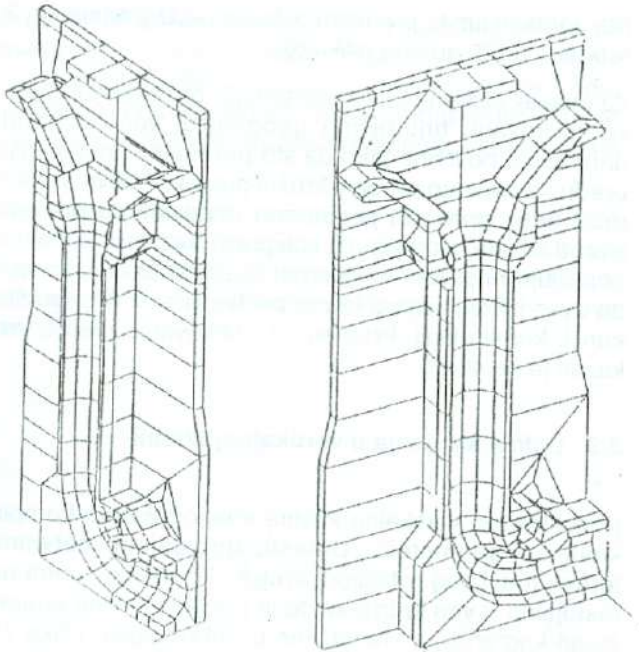
Presek 2 - 2



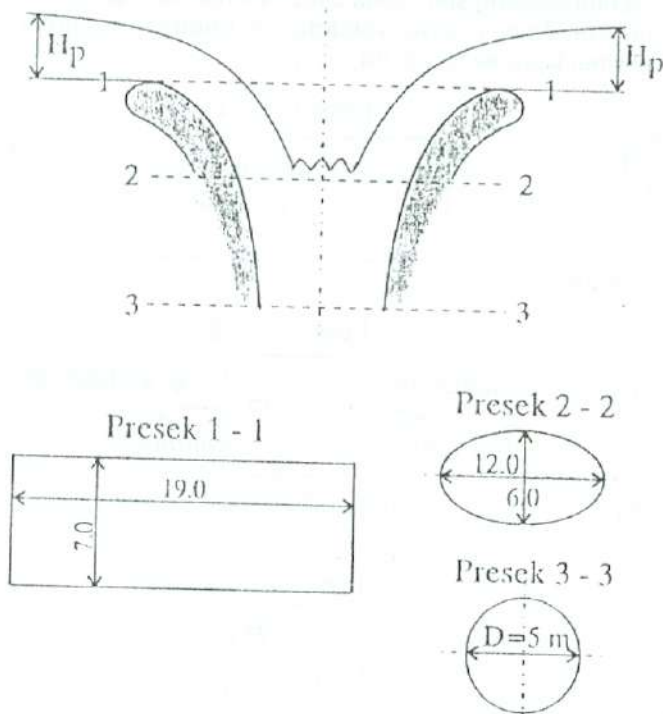
Presek 3 - 3



Slika 4. - Prikaz složene geometrije preлива i šahta sa vertikalnom krivinom  
Complex geometry of spillway and shaft with vertical curve



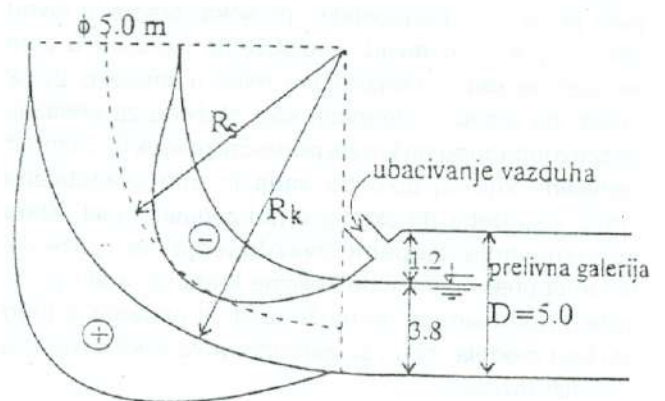
Sl. 5 - Perspektiva geometrije kompleksa  
Perspectiv geometry of complex



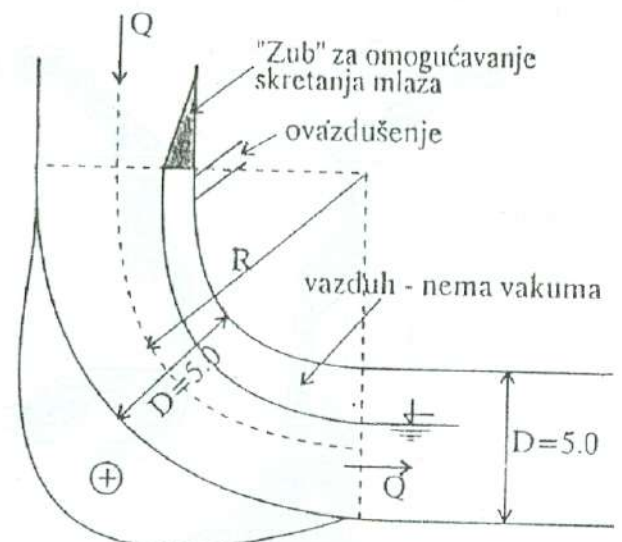
Sl. 6 - Hidrauličko oblikovanje preliva i vertikalnog okna  
Hydraulically shaped spillway and vertical shaft

Umesto ovako komplikovane vertikalne krivine i pogrešnog mesta ovazdušenja, potrebno je bilo vertikalnu krivinu raditi kao četvrtinu torusa i ovazdušenje premestiti na uzvodnu stranu krivine. Na ovaj način postigle bi se dve stvari:

- jednostavnije izvođenje, i
- sprečavanje pojave vakuma, pošto se ovazdušenje premešta na početak krivine. Sve opisano prikazano je na slici 8.

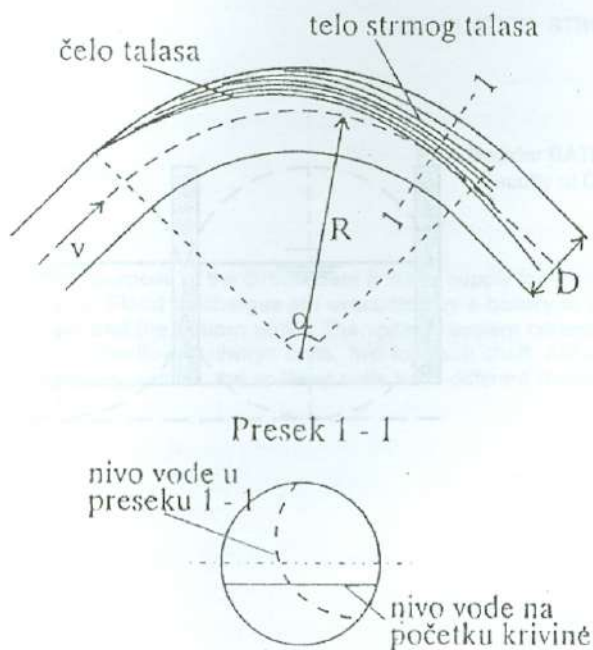


Sl. 7 - Prikaz geometrije krivine, pojave vakuma i pritiska u krivini  
Geometry of curve, appearance of vacuum and pressures in curve



Sl. 8 - Pravilno ovazdušenje pri ovakvim vrstama preliva  
Correct aeration these types of spillways





S1. 9. - Šematski prikaz "stojećeg" talasa  
Schematic view of "oblique standing" wave

### 3.4. Uslovi strujanja u horizontalnim tunelima - "galerijama"

Kao što se vidi na slici 1, horizontalni tuneli - odvodni tuneli, imaju horizontalnu krivinu poluprečnika  $R = 40$  m i skretni ugao od  $\alpha = 30^\circ$ . Ova krivina u svakom od tunela izaziva spiralno kretanje i pojavu kosih stojećih talasa, jer su u uslovima strujanja u burnom režimu brzine veće od kritičnih. Opisani talasi se sa ovom geometrijom mogu dobiti samo na fizičkom modelu. Ovde će se ovi talasi prikazati samo šematski, slika 9, bez ambicija određivanja njihove veličine. Njihova veličina zavisi od Frudovog broja, tj. intenziteta brzine i odnosa prečnika tunela sa poluprečnikom krivine, uz napomenu da se oni povećavaju u pravcu krivine, što znači da ako je ugao skretanja veći može doći do "prevrtanja" toka u krivini.

Slično se događa i u račvi gde se vrši spajanje temeljnog ispusta sa horizontalnim tunelom preliva, s tom razlikom što tamo burni tok iz cevovoda temeljnog ispusta "udara" pod uglom u suprotni zid tunela i izaziva pojavu stojećeg talasa. Ovaj talas je pri probnom radu ispusta izazvao štetu na objektu, pošto je pokidao kablove za oskultaciju brane, koji su bili postavljeni na konzolama kalote tunela preliva (videti rad istih autora u broju 169 - 170 časopisa "Vodoprivreda", 1997.).

### 3.5. Uslovi strujanja na izlazu prelivnih tunela

Na slici 1 prikazan je izlaz iz prelivnih tunela, a u legendi piše da je to konstrukcija slapišta. Ovaj naziv je preuzet iz projekta, iako se ne može reći da je to slapište, već bi se pre moglo smatrati da je to "odskok" u vidu oblikovane vertikalne krivine koja stvara uslove za kos hitac. Na taj način se prelivni mlaz koji ističe iz tunela "baci" u vazduh, dodatno ovazduši i delimično uništi njegova kinetička energija, da ne bi imao eroziono dejstvo u nizvodnom delu korita. Prikaz tog dela tunela dat je na slici 10.

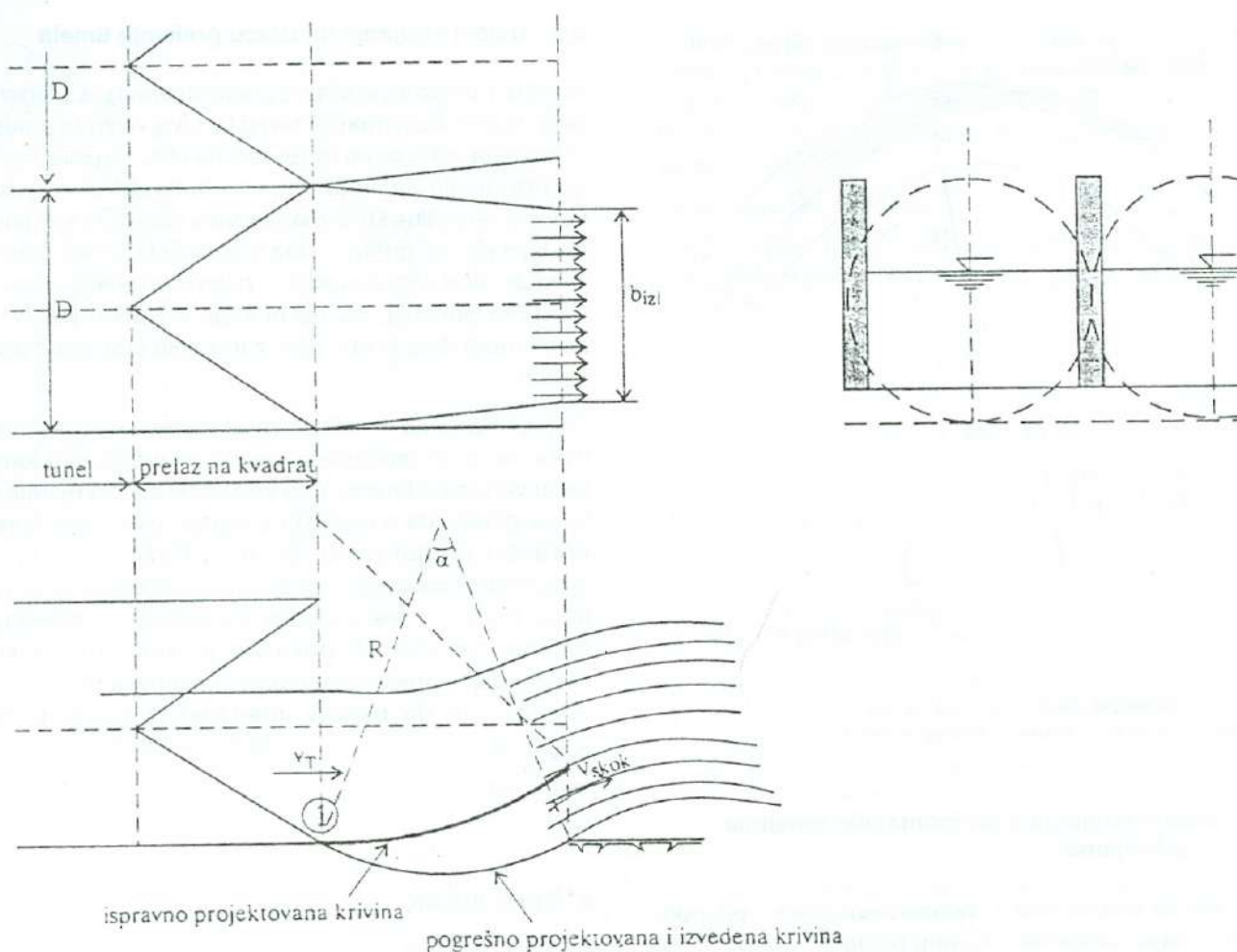
Želja projektanta da ističući mlaz primora u kosi hitac je ispravna, ali je urađena sa izvesnom greškom u formiranju vertikalne krivine. Ova vertikalna krivina morala se formirati tako da u tački ①, na izlazu tunela, dno tunela predstavlja tangentu krivine. Razlog za to je sprečavanje kavitacije, jer zbog pojave negativnog pritiska, na tom mestu, dolazi do neželjenih oštećenja betona. Na slici 10 prikazan je oblik krivine koji obezbeđuje sprečavanje pojave vakuma, a potrebno je napomenuti da njegov intenzitet iznosi približno

$$\frac{\rho v_{\text{vak}}}{\rho g} = \frac{v^2}{2g}$$

## 4. ZAKLJUČAK

Na brani "Grište" na Grištanskoj reci evakuacioni organi su vrlo složeni i nestandardni. Tokom projektovanja nisu urađeni odgovarajući hidraulički modeli, tako da su evakuatori projektovani sa više hidrauličkih nedostataka, koji ujedno predstavljaju ranjive tačke tog objekta. Zbog toga se u radu podseća da se pri projektovanju hidrotehničkih objekata mora se voditi računa o sledećem:

- Oblikovanje objekta mora da se prilagodi strujnoj slici, tako da se ona što manje remeti i da se ne pojavljuju negativni efekti povećanih pritisaka, a još više voditi računa o pojavi vakuma, koji mogu da izazovu kavitaciju i prekid strujanja.
- Položaj konstrukcije preliva u jezeru treba birati tako da strujna slika prema prelivu obezbeđuje ravnomerno pritanje vode do preliva.
- Potrebno ovazdušenje mlaza vode treba sprovesti tako da efekti dovođenja vazduha budu pozitivni, a ne negativni. Ovo se odnosi i na mesto ovazdušenja mlaza vode, i na količinu vazduha koja se dovodi. Greška koja se može desiti u oba slučaja može više da šteti nego da koristi konstrukciji u odnosu na slučaj kada ne bi uvodili vazduh u struju vode.



Sl. 10. - Izlaz prelivnih tunela  
Outlet from spillway tunnels

- Vođenje toka u burnom režimu je delikatno, pošto se voda ponaša kao "divlji konj" kad se sa njim pogrešno postupa.

LITERATURA

[1] Batinić B.: Hidraulika, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.

[2] Batinić B. i T. Milanović: Problemi pri skretanju burnog toka - kosi stojeći talas, časopis "Vodoprivreda", 169-170, Beograd, 1997.

[3] Milovanović D. i V. Milovanović: Inovacije na jednoj nasutoj brani od kamena sa zastorom od armiranog betona i prelivom kroz okna, časopis "Izgradnja", 2/88, Beograd, 1988.

EVACUATION STRUCTURE FOR THE GRIŠTE DAM

by

Prof. Božidar BATINIĆ, Ph.D. and Tina MILANOVIĆ  
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Summary

The main purpose of the Grište Dam is water supply for the town of Zajecar. Flood discharges are evacuated by a battery of shaft spillways and the bottom outlet. The spillway system consists of six linear overflow spillways units, two for each shaft. Although geometrically similar, the spillway units have different discharge

capacities, owing to the different flow patterns. The hydraulics of the spillway system is described, with particular attention to cavitation phenomena and flow aeration.

*Key words:* flood flow evacuation, spillway, cavitation, water flow aeration

Redigovano 22.04.1998.