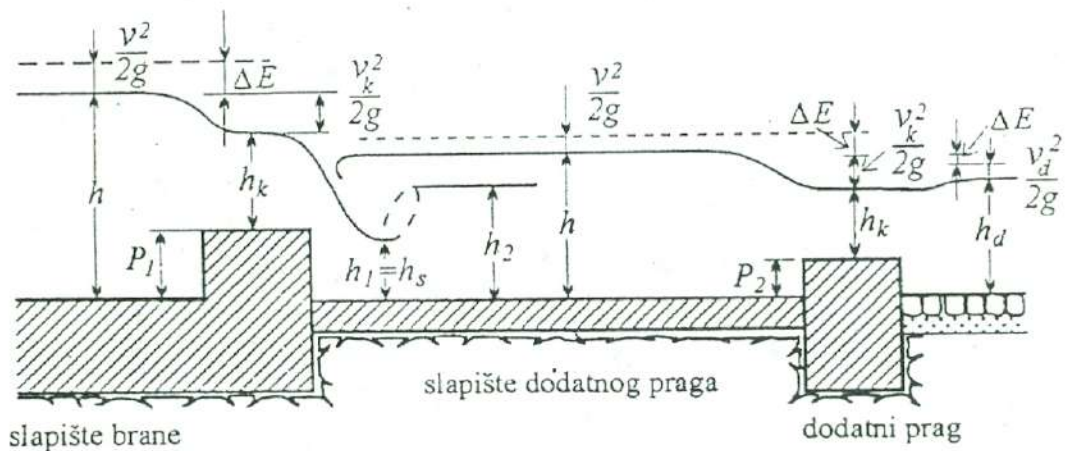
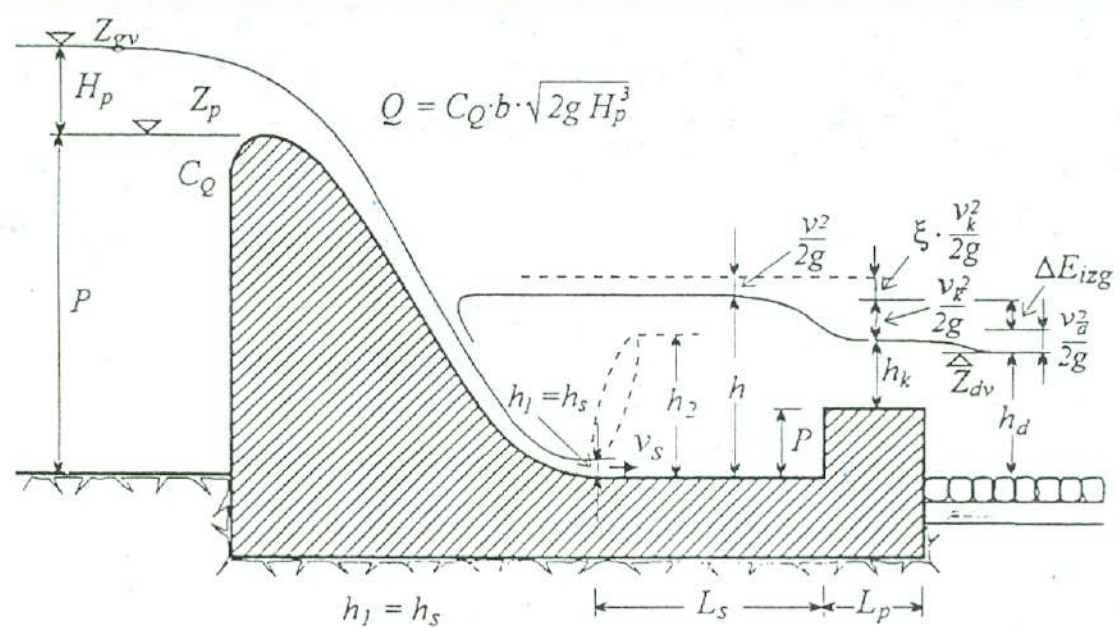


vodoprivreda



SADRŽAJ

NAUČNI PREGLEDNI RADOVI

Dr Stevan PROHASKA i dr Dragoslav ISAILOVIĆ: Hidrološke karakteristike vodnih tokova od značaja za njihovo uređenje i zaštitu od poplava. V deo - Teorijske postavke proračuna koincidencije velikih voda glavnog toka i pritoke 3

Dr Petar ANAGNOSTI: Geotehničko konstrukterstvo u hidrotehnici 17

Dr Đuro BOSNJAK: Potrebe za vodom i racionalan režim navodnjavanja lucerke 23

ORIGINALNI NAUČNI RADOVI

Dr Branislav ĐORĐEVIĆ i Tina MILANOVIĆ: Primena neuro-fazi metodologije u vodoprivredi 35

Mr Miloš STANIĆ i dr Dimitrije AVAKUMOVIĆ: Osnove koncepta neuralnih mreža i mogućnosti primene u hidrotehnici 43

Dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ: Hidraulička analiza umirenja vode iza preliva i ustava 51

Dr Vesna JEVREMOVIĆ i dr Jovan MALIŠIĆ: Problemi pri određivanju tačnosti ocena parametara 59

Dr Ratimir ZIVALJEVIĆ: Uticaji Cetinskog rasjeda i karakteristika lokalne kraške sredine na hidrološko-hidraulički odziv podzemnih voda 65

Dr Serafim OPRICOVIĆ i mr Sreten TOMOVIĆ: Optimizacija korišćenja električne energije za rad pumpi u vodovodnom sistemu Budve 73

Dr Gligorije PEROVIĆ: Matematički model geometrijskih deformacija brana 79

Mr Andra TUCOVIĆ i mr Marina VASILJEVIĆ: Primena procesa flotacije kao nove tehnologije u tretmanu akumulisanih voda za potrebe vodosnabdevanja 83

Dr Dejan LJUBISAVLJEVIĆ i saradnici: Teorijski i praktični aspekti pranja vodom brzih gravitacionih filtra 87

Mr Jasna PETROVIĆ: Analiza pouzdanosti procene velikih voda na malim slivovima 97

Goran RASULA i Milan RADOVANOVIĆ: Značaj lokalnih izvorišta sa aspekta akutnog rešavanja problema vodosnabdevanja naselja u donjem priobalju Dunava 105

PREGLEDNI RADOVI

Dr Dragutin MUŠKATIROVIĆ: Problemi unutrašnje i pomorske plovidbe u zemljama Istočne Evrope 109

Mr Marina BABIĆ MLADENOVIĆ i Svetlana VARGA: Problemi zasipanja akumulacija – osvrt na međunarodnu konferenciju u Fort Kolinsu, SAD 121

Pro et Contra 127

CONTENTS

SCIENTIFIC REVIEWS

Stevan PROHASKA and Dragoslav ISAILOVIĆ: HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF WATER COURSES IMPORTANT FOR THEIR REGULATION AND FLOOD CONTROL. PART V - THEORETICAL FOUNDATIONS FOR CALCULATION OF THE COINCIDENCE OF FLOOD WAVES ON THE MAIN RIVER AND TRIBUTARY 3

Petar ANAGNOSTI: GEOTEHNICAL STRUCTURES IN HYDRO WORKS 17

Đuro BOSNJAK: WATER REQUIREMENTS AND OPTIMUM IRRIGATION SCHEDULING IN ALFALFA 23

SCIENTIFIC TEMATIC REVIEWS

Branislav ĐORĐEVIĆ and Tina MILANOVIĆ: AN APPLICATION OF NEURO-FUZZY METHODOLOGY IN WATER RESOURCES MANAGEMENT 35

Miloš STANIĆ and Dimitrije AVAKUMOVIĆ: THE CONCEPT OF NEURAL NETWORKS AND POSSIBLE APPLICATION IN HYDROTECHNICS 43

Božidar BATINIĆ and Tina MILANOVIĆ: HYDRAULIC ANALYSES OF FLOW PACIFICATION AFTER SPILLWAY AND SLUICE 51

Vesna JEVREMOVIĆ and Jovan MALIŠIĆ: ON SOME PROBLEMS WITH THE POINT ESTIMATORS 59

Ratimir ZIVALJEVIĆ: CETINJE FAULT AND CHARACTERISTICS OF THE UNDERGROUND WATER 65

Serafim OPRICOVIĆ and Sreten TOMOVIĆ: OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER CONSUMPTION FOR PUMPS OPERATION IN WATER SUPPLY SYSTEM 73

Gligorije PEROVIĆ: MATHEMATICAL MODEL OF GEOMETRICAL DEFORMATIONS OF DAMS 79

Andra TUCOVIĆ and Marina VASILJEVIĆ: NEW APPROACH FOR TREATMENT OF RESERVOIR WATER FOR POTABLE WATER SUPPLY BY THE USE OF FLOTATION PROCESS. 83

Dejan LJUBISAVLJEVIĆ and all.: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF RAPID FILTERS BACKWASHING 87

Jasna PETROVIĆ: RELIABILITY OF FLOOD FLOW ESTIMATES ON SMALL CATCHMENTS 97

Goran RASULA and Milan RADOVANOVIĆ: LOCAL WATER SOURCES FROM THE ASPECT OF URGENT REALISATION OF WATER SUPPLYING PROBLEMS IN THE SMALLER TOWNS AT THE DANUBE COAST 105

REVIEWS

Dragutin MUŠKATIROVIĆ: INLAND AND MARITIME NAVIGATION PROBLEMS OF EAST EUROPEAN COUNTRIES 109

Marina BABIĆ MLADENOVIĆ and Svetlana VARGA: RESERVOIR SEDIMENTATION - OVERVIEW OF THE CONFERENCE HELD IN FORT COLLINS, USA 121

PRO ET CONTRA 127

VODOPRIVREDA

GOD. 29

Godina 1997.

BR. 165 - 166

(1997/1-2)

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 – 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
Stojišić 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
Dutina Nikola
Đukjć Miljan
Ilić Živka
Kovačević dr Dejan
Milenković dr Slobodan
Milojević dr Miloje
Pantelić Petar
Stamenković mr Ljubiša

Slika na naslovnoj strani korica:
Brana sa slapištem i dodatno slapište
(uz članak B. Batinića i T. Milanović u ovom broju)

HIDRAULIČKA ANALIZA UMIRENJA VODE IZA PRELIVA I USTAVA

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

REZIME

Slučajevi kada voda prelazi iz burnog u miran režim tečenja, kao i načini umirenja vode u tim režimima, sa hidrauličkog stanovišta su veoma interesantni problemi. U radu su razmatrane najčešće korišćene konstrukcije za umirenje vode, bučnice i slapišta. Date su metode za hidraulički proračun tih konstrukcija. Posebno je istaknuta potreba njihovog modelskog ispitivanja, a razmatrani su i problemi koji su se javili na nekim izvedenim branama.

Ključne reči: slapište, bučnica, hidraulička analiza, projektovanje

UVOD

Umirenje vode iza preliva - ustave svodi se na prelaz iz burnog režima ($F_r > 1$) na miran režim ($F_r < 1$). Tok vode pri burnom režimu raspolaže sa značajnom kinetičkom energijom koja bi razorila prirodno korito, pa čak i obloženo korito, tako da se ta energija mora putem hidrauličkog skoka "uništiti" i prevesti tok u miran režim, koji ima odgovarajuću vučnu silu, koju prirodno korito ili obloga može da izdrži. U ovom radu neće se ulaziti u problem određivanja te vučne sile, nego samo u metode prevođenja iz burnog u miran režim. Problem određivanja vučne sile koja se sme dozvoliti nizvodno od bučnice ili slapišta treba zasebno rešavati. Izrazi za bučnicu i slapište nastali su samo iz razloga složenosti hidrauličke analize i geomehaničkog stanja terena nizvodno od brane. Razlika između ova dva izraza, tj. načina umirenja vode, daće se u nastavku:

- Bučnica umiruje buran režim zapreminom, odnosno dubinom, koja se dobija ukopavanjem u teren;

- Slapište umiruje buran režim zapreminom, odnosno dubinom, koja se dobija izgradnjom preliva "širokog praga" koji se gradi iznad terena.

Ovde će se obraditi hidraulički problemi, tj. načini hidrauličkog proračuna za potrebe projektovanja odgovarajućeg umirenja burnog režima.

UMIRENJE VODE IZA PRELIVA PREKO BRANE

Pri planiranju brana na vodotocima najdelikatniji problem je projektovanje objekata koji obezbeđuju proticanje vode iz akumulacionog jezera u donju vodu nizvodno od brane. Ovo je posebno važno za propuštanje poplavnih talasa manje verovatnoće, tj. proticaja koji se javljaju jednom u više godina. Jedan od načina propuštanja ovih voda kroz objekat brane je izgradnja preliva. Ovi prelivi mogu da budu različiti po konstrukciji, a isto tako i sa stanovišta hidrauličkih uslova. Ovde se daje nekoliko primera preliva sa stanovišta hidraulike. Ne želi se da to bude podela koja bi obuhvatila sve vrste preliva, već je namera autora da pokažu samo načine hidrauličkog proračuna za pojedine tipove preliva.

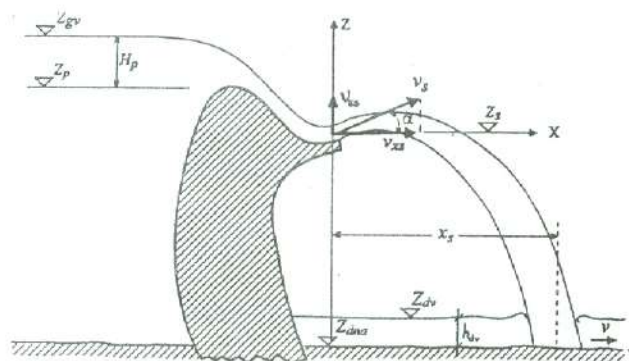
Kod pojedinih konstrukcija brane često se rade prelivi direktno na samoj brani, tako da donja kontura preliva bude sama brana. Ovde će se prikazati tri tipa preliva koji se, sa hidrauličke tačke gledišta razlikuju praktično samo po tome kako se umiruje voda nizvodno od brane.

A. Preliv sa ski skokom

Za pogodnu geometriju klisure i geoloških uslova nizvodno od brane, može se projektovati preliv sa ski skokom čije se karakteristike daju na slici 1.

Za kružu preliva se obično konstruiše preliv praktičnog profila¹, prema tome imamo izraz za proticaj:

$$Q = C_Q \cdot b \cdot \sqrt{2gH_p^3} \quad (1)$$



Sl. 1. – Lučna brana sa prelivom koji ima ski skok
Arch dam with ski - jump spillway

Karakteristika ovog preliva je što se kod njega javlja ski skok. Voda posle preliva primorava se vertikalnom krivinom da odskoči od brane, baš kao u slučaju skijaša na skakaonici, i da se obogaćena vazduhom spusti u donju vodu parabolom kosog hica.

Brzina vode na kraju odskoka dobija se iz Bernulijeve jednačine:

$$v_s = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} \cdot \sqrt{2g(Z_{gv} - Z_s)} \quad (2)$$

Predlaže se da se izraz $\frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} = C_v$ - koeficijent brzine

utvrdi na modelu, a ovde se savetuje da se on može uzeti približno $C_v = 0.95$ ukoliko je preliv u osnovi ravanski. Za sve druge preliva bilo bi preporučljivo odrediti ga na modelu.

Potrebno znanje iz fizike da bi se sračunala parabola vode koja odskaka od brane jeste:

- rastavljanje brzine v_s na

$$v_{xs} = v_s \cdot \cos \alpha \quad i \quad v_{zs} = v_s \cdot \sin \alpha$$

- pošto se zanemaruje gubitak energije pri kretanju vode kroz vazduh izrazi za brzine u bilo kojoj tački parabole iznosiće:

$$v_x = v_{xs} \quad i \quad v_z = v_{zs} - gt$$

- pređeni put, odnosno koordinate parabole u parametarskom obliku, gde je parametar vreme t:

$$X = v_{xs} \cdot t; \quad Z = Z_s + (v_{zs} \cdot t - g \frac{t^2}{2})$$

¹ Po kruži preliva ostvaruje se atmosferski pristisak.

Iz ovih jednačina može se dobiti dužina odskoka mlaza rešavanjem po X, ako se izbací parametar t i za uslov da je $Z = Z_{dna}$

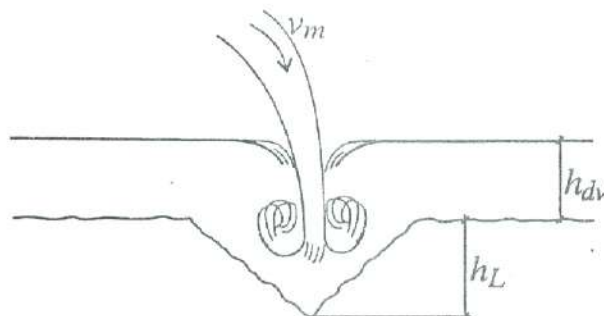
$$0.5 \cdot gt^2 - v_{zs} \cdot t + (Z_{dna} - Z_s) = 0$$

$$t = \frac{v_{zs} + \sqrt{0.25g^2 - 2g(Z_{dna} - Z_s)}}{g}$$

I na kraju domet kosog hica:

$$X_s = v_{xs} \cdot \frac{v_{zs} \sqrt{0.25g^2 - 2g(Z_{dna} - Z_s)}}{g}$$

Ovaj preliv upotrebljava se uglavnom u uslovima postojanja jake stene nizvodno od brane i u užim klisurama, kako bi dubina donje vode h_{dv} omogućila umirenje mlaza. U slučaju ne postojanja stene već postojanja rečnog nanosa nizvodno od brane nastaje levak u rečnom nanosu kako je prikazano na slici 2.



Sl. 2. – Formiranje levka u rečnom nanosu
Formation of funnel in river drift

Dubina levka h_L zavisi od: brzine mlaza v_m , dubine donje vode h_{dv} i od geomehaničkih svojstava rečnog nanosa (krupnoće zrna i njihove učestalosti na krivoj prosejavanja). Hidraulički model ne može da odredi ovu veličinu, ali može da je približno prikaže. U literaturi se može naći iskustveno određena dubina ili zapremina levka u zavisnosti od brzine i proticaja preko preliva.

Ovde se daje negativan primer ovog preliva koji je primenjen na brani Gruža, na reci Gruži u blizini grada Kragujevca. U ovom slučaju radi se o dosta sitnom nanosu za koji nije izvršena analiza stvaranja leyka u nanosu. Inženjerska je sreća što do sada (za 12 godina eksploatacije) praktično nije bilo prelivanja, osim u par slučajeva sa malim proticajima koji su izazvali formiranje levka u nanosu čije je širenje na određen način bilo kontrolisano i zaustavljeno delovanjem platoa nizvodno od prelivnog mlaza, po kome se za vreme građenja kretala toranjska dizalica. Ovakvi primeri ne bi trebalo da se ponove, pogotovo što Institut za vodoprivredu

"Jaroslav Černi" u kome je projekat brane rađen raspolaže hidrauličkom laboratorijom, gde su ti fenomeni mogli da budu ispitani na hidrauličkom modelu.

Isti tip preliva upotrebljen je i u slučaju brane Jablanica na Neretvi, ali su tamo geotehnički uslovi bili veoma dobri, jer je nizvodno od brane korito u stenskoj masi odličnog kvaliteta (gabro), tako da se formirao levak u stenskoj masi, nakon čega se proces erozije stene stabilizovao.

B. Preliv sa bučnicom

U slučaju kada se može konstruisati preliv duž cele visine brane, potrebno je konstruisati bučnicu za "uništenje" kinetičke energije, radi smirivanja brzine vode i upuštanja prelivene vode u nizvodni tok sa mirnim režimom tečenja. Ova konstrukcija preliva prikazana je na slici 3 sa potrebnim oznakama za hidrauličke proračune.

Da bi se našle potrebne dimenzije za bučnicu iz uslova da je hidraulički skok u bučnici potopljen, potrebno je rešiti sledeće jednačine:

- Bernulijeva jednačina za preseke jezero - suženi presek bučnice:

$$v_s = C_v \cdot \sqrt{2g(P + H_p + d - h_s)} \quad (3)$$

- Jednačina kontinuiteta:

$$Q = v_s \cdot b \cdot h_s \quad (4)$$

- Jednačina hidrauličkog skoka:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_1} \right)^3} - 1 \right]; h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad (5)$$

- Stepen potopljenosti skoka - obezbeđenje mirnog isticanja iz bučnice

$$h = C_p \cdot h_2 \quad (6)$$

Stepen potopljenosti treba usvojiti ili ispitati na hidrauličkom modelu iz uslova geometrije brane i bučnice. Preporučuju se vrednosti tog koeficijenta između 1.10 i 1.20.

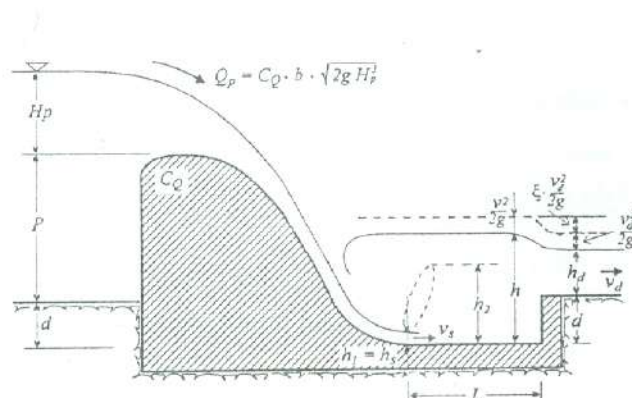
- Bernulijeva jednačina za presek bučnica - prirodno korito, donja voda koja zavisi od nizvodnih uslova oticanja:

$$h + \frac{v^2}{2g} = d + h_d + \frac{v_d^2}{2g} (1 + \xi) \quad (7)$$

Ovih pet jednačina mogu se rešavati bilo sukcesivnim približavanjem ili grafičkim putem presecanjem dve funkcije na dijagramu izabranih funkcija.

Dužina bučnice određuje se iz uslova dužine skoka koji bi se ostvatio da nije potopljen, sa izvesnim stepenom sigurnosti, pa se predlaže da se prihvati:

$$L \cong 5 h_2$$



S1. 3. - Preliv preko brane sa bučnicom
Spillway with stilling basin (first type) over the dam

C. Preliv sa slapištem

Razlika između bučnice i slapišta je u tome što je bučnica ukopana u teren, a slapište nije.

Ovi izrazi su se odomaćili u našoj projektantskoj praksi, iako postoje rešenja kombinovana između ova dva. Znači, kada geološki uslovi ne dozvoljavaju ukopavanje bučnice u teren, onda se slapište radi na površini terena. Naravno, odluka o izboru između te dve dispozicije zasniva se i na ekonomskoj analizi. Ove dve vrste umirenja kinetičke energije koja se javlja pri prelivanju, sa hidrauličke tačke gledišta nemaju nikakvu prednost jedna u odnosu na drugu. Izbor između njih zavisi samo od ekonomičnosti rešenja, odnosno hidrogeoloških uslova terena gde treba izgraditi branu. Mora se napomenuti da umirenje sa slapištem predstavlja u hidrauličkom i konstruktivnom smislu osetljivije rešenje pošto se i najmanja greška u računu, ukoliko rešenje nije provereno na modelu, pokaže tako da nemamo dovoljno umirenje i javlja se erozija nizvodno od brane. Primer za ovo upozorenje je brana Bajina Bašta na reci Drini uzvodno od Perućca, gde je slapište čak računato sa "zubima" radi smanjenja zapremine slapišta. Ovo smanjenje cene izgradnje slapišta kasnije je izazvalo dodatno ulaganje novca na obezbeđenju obala i korita nizvodno od slapišta. Još jednom se napominje da je za pravilno umirenje burnog toka potrebna odgovarajuća dubina i dužina bučnice - slapišta da bi što umirenija voda, sa što manjim vrtlozima, bila upuštena u donju vodu, odnosno u reku.

Prikaz prelivanja sa slapištem i potrebnim elementima za proračun dat je na slici 4.

Kod slapišta je hidraulički proračun jednostavniji, pošto se ne mora rešavati sistem jednačina od pet nepoznatih, već se račun sprovodi iz jednačine u jednačinu.

Iz Bernulijeve jednačine za preseke jezero - suženi presek u slapištu i jednačine kontinuiteta nalaze se sužena brzina i dubina.

- Bernulijeva jednačina:

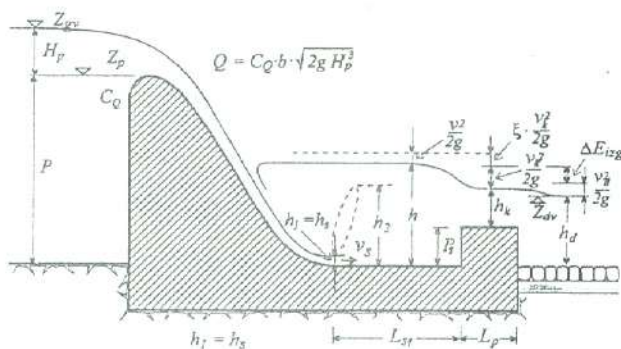
$$v_s = C_v \cdot \sqrt{2g(P + H_p - h_s)} \quad (8)$$

- Jednačina kontinuiteta:

$$Q = v_s \cdot h_s \cdot b \quad (9)$$

Sukcesivnim aproksimacijama nalaze se rešenja: dubina h_s i brzina v_s .

Za uslov da sužena dubina odgovara prvoj konjugovanoj dubini ($h_s = h_1$) iz jednačine hidrauličkog skoka nalazimo drugu konjugovanu dubinu (h_2).



Sl. 4. – Preliv preko brane sa slapištem
Spillway with stilling basin (second type) over the dam

- Jednačina skoka:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_1} \right)^3} - 1 \right]; h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad (10)$$

Iz uslova potopljenosti hidrauličkog skoka, sa unapred odabranim koeficijentom potopljenosti, dolazi se do dubine i brzine u slapištu:

$$h = 1.15 \cdot h_2$$

$$v = \frac{Q}{b \cdot h}$$

Dužina slapišta određuje se iz uslova dužine skoka koji bi se ostvario da nije potopljen, sa izvesnim stepenom sigurnosti, pa se predlaže da se prihvati:

$$L_{s1} \cong 5 h_2$$

Dimenzije prelivnog praga i njegov hidraulički proračun sprovodi se kao za tzv. preliv "široki prag".

Iz Bernulijeve jednačine za presek u slapištu i presek na pragu nalazi se visina praga P_1 .

$$h + \frac{v^2}{2g} = P_1 + h_k + \frac{v_k^2}{2g} (1 + \xi)$$

Iz uslova granice potopljenosti prelivnog praga donjom vodom nalazi se visina praga P_1^* .

$$P_1^* + h_k + \frac{v_k^2}{2g} = h_d + \frac{v_d^2}{2g} + \frac{(v_k - v_d)^2}{2g}$$

Za slučaj da su izračunate visine praga: $P_1 \leq P_1^*$, donja voda je dovoljna za potapanje preliivanja preko prelivnog praga. U tom slučaju potrebno je samo ojačati prirodno korito u dužini koja sprečava potkopavanje prelivnog praga: $L_{os} \cong 5 h_d$.

Dužina praga određuje se iz uslova da se na pragu ostvari "paralelno strujanje" na jednom delu praga kako bi se u toj zoni formirala kritična dubina:

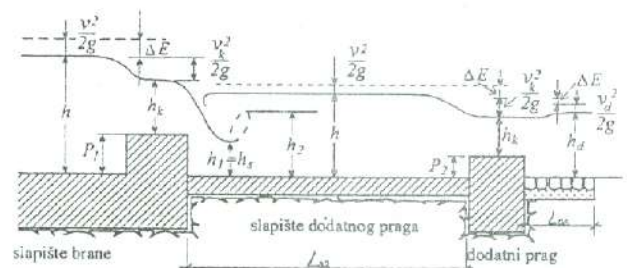
$$3(h - P_1) < L_p < 5(h - P_1)$$

Za slučaj da su izračunate visine praga: $P_1 > P_1^*$, donja voda nije dovoljna za potapanje preliivanja preko prelivnog praga, pa se mora raditi novo umirenje i račun se ponavlja kako je prikazano na slici 5, sve dok donja voda ne potopi preliivanje preko prelivnog praga.

Prema tome, ponovo određujemo vredosti h_s i v_s iz jednačina (8) i (9) sa malom razlikom pošto se sada radi o preliivanju preko širokog praga, a ne preko brane:

$$v_s = C_v \cdot b \cdot \sqrt{2g(P_1 + h_k + \frac{v_k^2}{2g} - h_s)} \quad (8.1)$$

$$Q = v_s \cdot h_s \cdot b \quad (9.1)$$



Sl. 5. – Dodatno slapište
Added spillway

Na isti način određujemo novu visinu praga P_2 i dužinu slapišta L_{s2} , sve dok se ne ostvari:

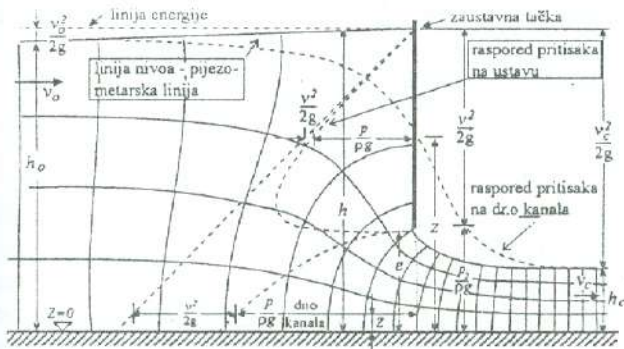
$$P_1 \leq P_1^*$$

i tada je račun završen. Ovo nastaje iz razloga što određena prva visina praga P_1 umiruje buran tok iza brane, ali je veća nego što je potrebna visina za prelaz na donju vodu, ovaj slučaj se javlja za hidraulički više brane. Može se postaviti pitanje zašto se to ne dešava kod bučnice. Odgovor je jednostavan ako se dobro poznaje hidraulika, tj. način uništenja kinetičke energije u "hidrauličkom skoku". Dubina i dužina bučnice je izračunata iz uslova da se pređe na uslove tečenja (h_d i v_d) koji važe nizvodno od brane, međutim visina praga P_1 i njegova dužina L_p su izračunate iz uslova umirenja,

a ne i za prelaz u donji tok, pa se mora dodatno proveravati uslov potopljenosti preliivanja praga $P_f \leq P_f^*$. Ovo objašnjenje se lako uočava na hidrauličkom modelu. Na žalost modeli se sve više zanemaruju i praktično se više ne rade kod naših projekatata i investitora, što je velika greška, jer ćemo to kad tad platiti naknadnim radovima.

UMIRENJE VODE IZA USTAVE

Isticanje vode ispod ustave u hidrauličkom smislu predstavlja ogledalnu sliku preliivanja vode preko brane, ali sa malim razlikama. Osnovna razlika je u geometriji strujanja, kod isticanja nema povijanja mlaza već strujanje prati dno kanala. Potencijalna energija koja se ogleda u nivou vode ispred ustave pretvara se u kinetičku energiju pri isticanju iza ustave. Prema tome ovu kinetičku energiju treba isto umiriti, kao kod preliva, pa onda upustiti u donju vodu. Prikaz ovog strujanja daje se na slici 6, gde se vidi strujna slika i pojedine oznake za prikazivanje hidrauličkih zavisnosti.



S1. 6 - Strujna slika za slučaj isticanja ispod ustave sa raspodelom energija u Bernulijevom smislu
Streams picture for flow under the sluice with energy distribution in Bernoulli's meaning

Za ovu strujnu sliku napisace se jednačina kontinuiteta i Bernulijeva jednačina za preseke gde su strujnice paralelne (presek 0-0 i c-c):

Jednačina kontinuiteta:

$$Q = v_0 \cdot h_0 \cdot b = v_c \cdot h_c \cdot b$$

Bernulijeva jednačina:

$$h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = h_c + \frac{v_c^2}{2g}$$

i dodatna geometrijska jednačina za oblik izlazećeg mlaza: koeficijent kontrakcije:

$$h_c = C_A \cdot e \Rightarrow C_A = \frac{h_c}{e}$$

Na osnovu ovih jednačina dobija se izraz za proticaj i širinu ustave b i za idealan fluid:

$$Q = C_A \cdot b \cdot e \cdot \sqrt{2g \left[\left(h_0 + \frac{v_0^2}{2g} \right) - h_c \right]}$$

Često se u literaturi dubina vode ispred ustave obeležava sa $h = h_0 + \frac{v_0^2}{2g}$ i uvodi globalni koeficijent za gubitak energije u Bernulijevom smislu $\Delta E_{izg} = C_v \cdot \frac{v_c^2}{2g}$, pa

izraz za proticaj glasi (za realan fluid):

$$Q = C_A \cdot C_v \cdot b \cdot e \cdot \sqrt{2g (h - h_c)}$$

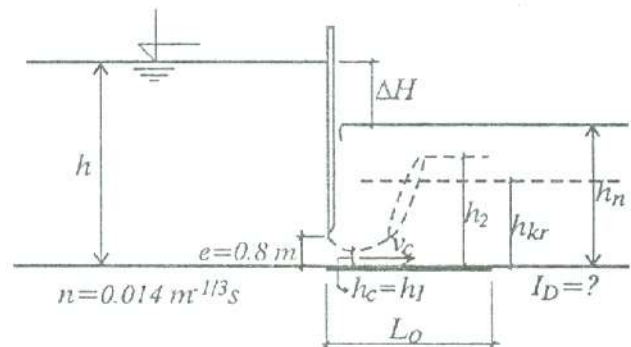
Ovo isticanje ispod ustave naziva se "slobodno isticanje" pošto je omogućeno da se formira linija nivoa od ustave do suženog preseka u atmosferskom pritisku - vazduhu. U preseku c-c (suženom preseku) imamo

Frudov broj $F_r = \frac{v_c}{\sqrt{gh_c}} > 1$ što predstavlja opasnost, sa

gledišta mogućnosti erozije dna nizvodno od preseka c-c ukoliko je kanal neobložen, a isto tako i zbog mogućnosti oštećenje obloge, ako je kanal obložen. Iz ovih razloga isticanje ispod ustave potapamo i umirujemo buran režim donjom vodom koja se ostvaruje bučnicom ili slapištem kao kod preliivanja preko brane, pa se ovde neće ponavljati.

Zbog mogućnosti iznalaženja pada kanala nizvodno od ustave, kojim se stvara normalna dubina veća od konjugovane dubine za skok formiran u suženoj dubini, daće se primer isticanja ispod ustave za taj slučaj. Na slici 7 daje se hidraulička šema za taj slučaj sa uputstvima za proračun. Kao što je napomenuto i ovde je potrebno ojačati oblogu kanala na dužini "L₀" koja odgovara dužini razvijenog hidrauličkog skoka.

Širina pravougaonog kanala $b=6\text{ m}$



S1. 7 - Hidraulička šema za proračun pada kanala
Hydraulic scheme for channel slope evaluation

Iz poznatih geometrijskih vrednosti za kanal i odgovarajućeg proticaja $Q = 35\text{ m}^3/\text{s}$, sprovodi se sledeći proračun:

Sužena dubina: $h_c = C_A \cdot e = 0.61 \cdot 0.8 = 0.49 \text{ m}$

Kritična dubina: $h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} = \sqrt[3]{\frac{35^2}{9.81 \cdot 6^2}} = 1.51 \text{ m}$

Konjugovana dubina u skoku:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_1} \right)^3} - 1 \right] = \frac{0.49}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{1.51}{0.49} \right)^3} - 1 \right] = 3.53 \text{ m}$$

Dubina koja potapa skok treba da bude veća od konjugovane za 20%. Prema tome, normalna dubina u kanalu nizvodno od ustave iznosi:

$$h_n = 1.2 \cdot h_2 = 1.2 \cdot 3.53 = 4.23 \text{ m}$$

Iz Šezi - Manningove jednačine za proticaj dobijamo pad kanala nizvodno od ustave:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A_n \cdot R_n^{2/3} \cdot \sqrt{I_D} \Rightarrow I_D = \left(\frac{Q \cdot n}{A_n \cdot R_n^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{35 \cdot 0.014}{25.38 \cdot 1.455} \right)^2 = 0.0176 \%$$

Potrebna dužina kanala sa oblogom koja se ojačava za umirenje h_n skoka, a koja u ovom slučaju predstavlja slapište, iznosi:

$$L_o = 6 \cdot h_2 = 6 \cdot 3.53 \approx 21 \text{ m}$$

Na ovaj način smo preko pada kanala došli do dubine koja umiruje skok, odnosno padom kanala je zamenjena izgradnja slapišta - bučnice. Napominje se da ovo možemo postići samo ako odgovarajući pad možemo ostvariti na terenu, u protivnom imamo na raspolaganju i druge hidrauličke mogućnosti. Jedna od mogućnosti, ukoliko kanal mora da ima veći pad, je pravljenje prelazne deonice između ojačane deonice kanala sra-

čunate na ovaj način i kanala koji ispunjava zahteve terena nizvodno.

Ostalo je još da se izračuna uzvodno dubina vode ispred ustave.

Potopljeno isticanje ispod ustave, kako je prikazano na slici 7, zahteva denivelaciju vode ΔH .

$$Q = C_o \cdot A_n \cdot \sqrt{2g\Delta H} \Rightarrow \Delta H = \left(\frac{35}{0.6 \cdot 6 \cdot 0.8 \cdot \sqrt{19.62}} \right)^2 = 7.35 \text{ m}$$

Dubina vode ispred ustave iznosi: $h = h_n + \Delta H = 4.23 + 7.53 = 11.76 \text{ m}$.

Pored ovog primera daće se još jedan primer isticanja ispod ustave, koji je karakterističan sa hidrauličke tačke gledišta. Na slici 8 prikazan je ispust iz veštačkog jezera koji služi za evakuaciju vode - predpražnjenje jezera za prijem poplavnog talasa.

Klasičnim hidrauličkim proračunom za maksimalnu denivelaciju sračuna se maksimalni proticaj:

$$\text{proticaj: } Q_{\max} = C_Q \cdot A_n \cdot \sqrt{2g \cdot \left(GV - Ku - \frac{D}{2} \right)}$$

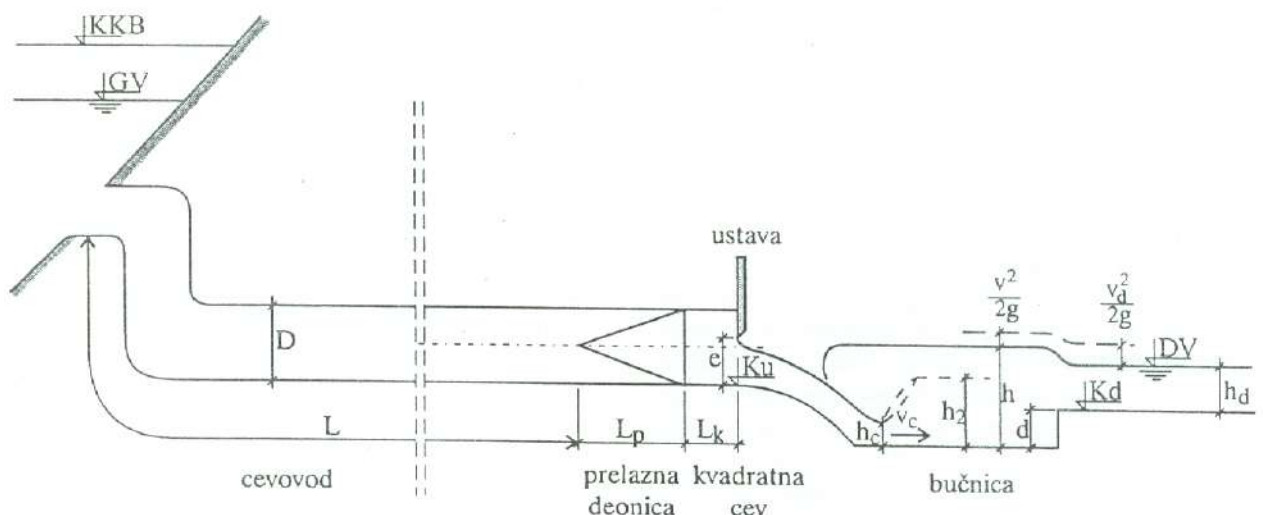
$$\text{koeficijent isticanja: } C_Q = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \xi_L + \lambda \frac{L}{D}}}$$

$$\text{poprečni presek otvora ustave: } A_u = D \cdot D = D^2$$

$e = D$ ustava potpuno otvorena

GV - kota gornje vode

Ku - kota ustave, ističućeg preseka.



Sl. 8. - Šematski prikaz ispusta sa elementima za hidraulički proračunu
Schematic view of drainage with elements for hydraulic evaluation

Za ovaj proticaj izvrši se proračun bučnice:

- Bernulijeva jednačina za presek ustava - suženi presek:

$$Ku + D + \frac{v_u^2}{2g} = Kd - d + h_c + \frac{v_c^2}{2g}$$

- Jednačina kontinuiteta:

$$Q = D^2 \cdot v_u = b \cdot h_c \cdot v_c$$

b - širina bučnice, dobijena iz geometrijskih uslova donjeg toka

- Jednačina hidrauličkog skoka:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_1} \right)^3} - 1 \right]; h_k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

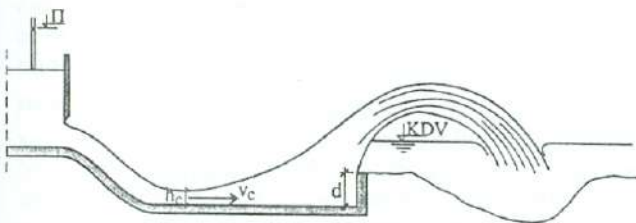
- Stepen potopljenosti skoka - obezbeđenje mirnog isticanja iz bučnice:

$$h = C_p \cdot h_2; C_p = 1.1 \div 1.2$$

- Bernulijeva jednačina za preseke bučnica - prirodno korito, donja voda koja zavisi od nizvodnih uslova tečenja u koritu:

$$h + \frac{v^2}{2g} = d + h_d + \frac{v_d^2}{2g} (1 + \xi); \xi = 0.20$$

Dubina bučnice određuje se rešavanjem ovih pet jednačina. Međutim, ovde se mora napomenuti da dubina bučnice "d" određena za maksimalni proticaj koji odgovara potpuno otvorenoj ustavi, ne mora da bude dovoljna za drugi stepen otvorenosti ustave. Preporučuje se da se ispita potapanje hidrauličkog skoka za neke druge otvore ustave, bilo proračunom ili ispitivanjem na hidrauličkom modelu. O ovome mnogi projektanti ne vode računa, pa se može desiti isto kao u slučaju ispusta za branu Čelije na reci Rasini. Pri otvorenosti ustave približno oko $e = \frac{D}{20}$ dolazi do iskakanja skoka iz bučnice, kao što je prikazano na slici 9.



S1. 9. - Šema bučnice za branu Čelije
Schematic view of stilling basin for Čelije dam

Do ovog fenomena dolazi jer za manji stepen otvorenosti ustave imamo manji proticaj, pa se javlja značajna kota pijezometra ispred ustave. Razlog za ovo je što je gubitak pritiska na cevovodu jezero - ustava znatno manji, zbog činjenice da gubitak opada sa kvadratom brzine u cevovodu. Na taj način imamo značajno veću brzinu "v_c" u bučnici, a time i veću kinetičku energiju mlaza koju dubina bučnice ne može da potopi, pa se javlja prikazano iskakanje iz nje. Još jednom preporučujemo da pri lokalnim fenomenima skoro uvek treba vršiti laboratorijska ispitivanja, jer uvek imamo neko iznenađenje u domenu primenjene hidraulike objekata.

ZAKLJUČAK

Iz svega što je izloženo, prvo što se može zaključiti je da se hidraulički skok - buran režim tečenja umiruje dubinom i dužinom bučnice - slapištem. Kratko rečeno, zapreminom sa odgovarajućim odnosom dubine i dužine, a što se tiče širine ona bi trebala da bude ista kao i osnovni tok. Međutim, širina se može povećavati, nikako smanjivati. Neki projektanti u cilju smanjenja radova na slapištu smanjuju njegovu širinu, što na drugoj strani plaćaju povećanjem dubine odnosno dužine. Dozvoljeno je povećanje širine burnog toka - bučnice da bi se izjednačila sa širinom prirodnog toka. Ovo proširenje mora se postepeno povećavati, tako da ugao širenja nije veći od sedam stepeni. Treba poštovati prirodu strujanja vode, tako da buran tok ne trpi nikakvo skretanje ni krivljenje, jer odmah nastaju negativni ili pozitivni stojeći talasi.

U ovom radu nisu prikazana slapišta sa tzv. "zubima" koji su prikazani u stručnoj literaturi, u pokušaju da se izvrši smanjenje zapremine slapišta - bučnice. Ovo smanjenje zapremine sa "zubima" prouzrokuje brže pretvaranje burnog toka u manje vrtloge, kojima je sada potrebna veća zapremina za nestajanje (veći vrtlog hidrauličkog skoka značajno "uništava" kinetičku energiju), pa se to dešava u nizvodnom prirodnom koritu. Na taj način se smanjenje objekta plaća na drugoj strani, potrebom za dodatnim obezbeđenjem korita - toka reke. Napominje se da su i "zubi" intenzivno opterećeni i izloženi pojavi kavitacije, tako da bi njih trebalo stalno nadzirati i popravljati oštećenja.

Još jednom se naglašava da sa ovim lokalnim objektom treba biti obazriv i bez obzira na iskustvo njegovo rešenje treba proveriti na fizičkom modelu.

LITERATURA

- [1] Božidar Batinić: *Hidraulika*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [2] Hunter Rouse: *Engineering Hydraulics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950.
- [3] Ven Te Chow: *Open - Channel Hydraulics*, Mc Craw - Hill Book Company, Inc., New York, 1959.

HYDRAULIC ANALYSES OF FLOW PACIFICATION AFTER THE SPILLWAY AND SLUICE

by

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

Summary

Occurrences when water passes from peaceful to turbulent regime of flow, and ways for its pacification are very interesting problems from hydraulic point of view. Constructions that are most often used, stilling basins and their different types, are presented in the

paper, as well as the methods for their hydraulic evaluation. Necessarity of model examination and problems on some build dams are specifically emphasized.

Key words: types of stilling basins, hydraulic analyses, projecting

Redigovano 07.02.1997.