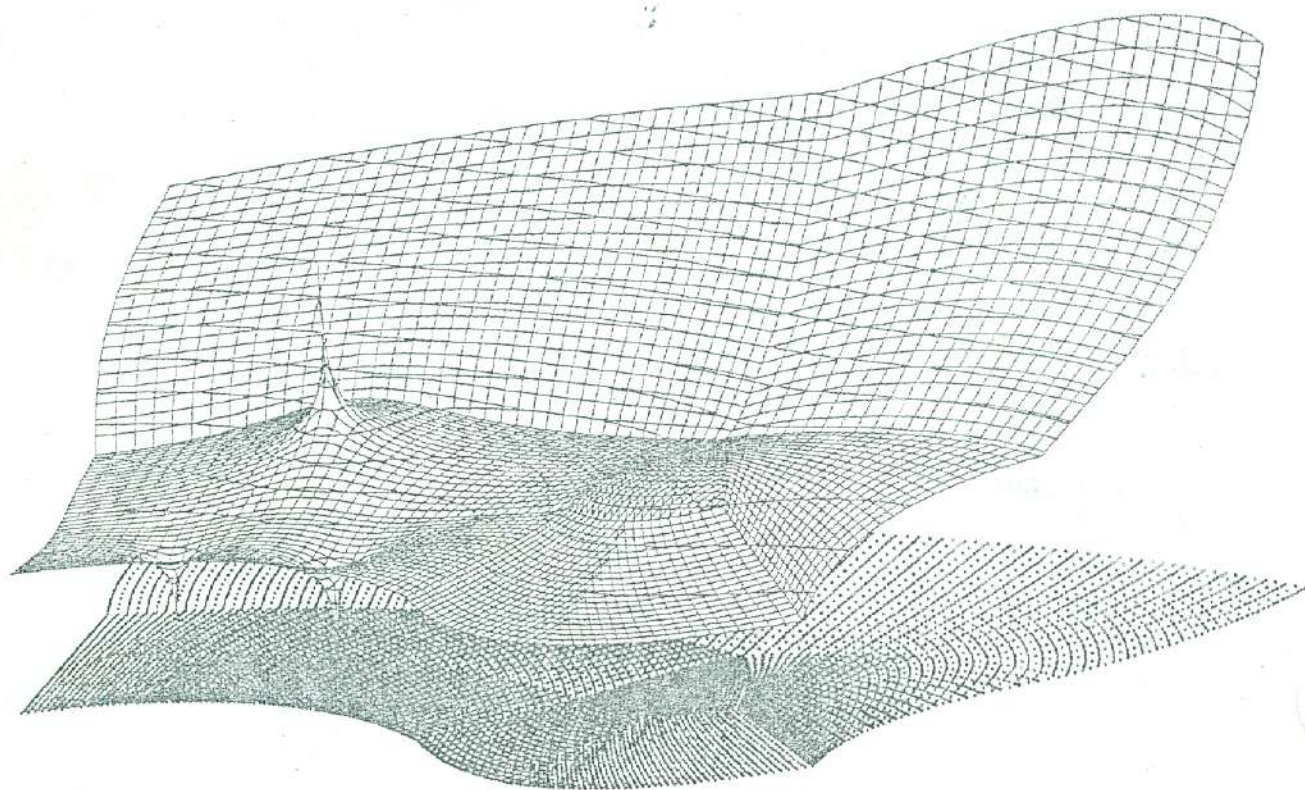


YU ISSN 0350-0519

UDK 626

BROJ 169-170
GODINA 29
SEPTEMBAR -
- DECEMBAR
1997/5-6

vodoprivreda



0350-0519, 29, (1997) 169 - 170, p. 251-400

SADRŽAJ

Živka ILIĆ: Neophodan je odlučan zaokret u politici finansiranja vodoprivrede Republike Srbije	253
PORTRETI STVARALACA: Vukadin Đorđević	261
NAUČNI PREGLEDNI RADOVI	
Dr Mirko POPOVIĆ i dr Ivanka BRKOVIĆ-POPOVIĆ: Nitrifikacija i denitrifikacija otpadnih voda koje sadrže toksične materije	265
Dr Branislav ĐORĐEVIĆ: Ugrađivanje pouzdanosti i pogodnosti održavanja u projekte hidrotehničkih sistema	275
ORIGINALNI NAUČNI RADOVI	
Mr Miloš Stanić, dr Dimitrije Avakumović i Zoran Kapelan: Razvoj evolucionog algoritma za određivanje optimalne pozicije mreža pod pritiskom	291
Dr Dubravka POKRAJAC i Ranko LAZIĆ: Softverski paket GROW za proračun strujanja podzemne vode i transporta zagađenja	299
Dr Božidar BATINIĆ i Tina MILANOVIĆ: Problemi pri skretanju burnog toka - kosi stojeći talas	307
Dr Vera MITROVIĆ-TUTUNĐIĆ i saradnici: Akutni problemi postojećih šaranskih ribnjaka u Srbiji i mogućnosti racionalnog gajenja konzumnog šarana u njima	315
Aleksandar ĐUKIĆ i saradnici: Primena procesa nanofiltracije na postrojenjima za pripremu vode za piće	323
Milivoje BRAJKOVIĆ: Modifikovana metoda sintetičkog jediničnog hidrograma	333
PREGLEDNI RADOVI	
Dr Branislav ĐORĐEVIĆ: O proceduri projektovanja vodoprivrednih sistema	343
Đuro RADINOVIĆ: Radarsko merenje padavina u Srbiji	357
Živodar ERCIĆ: Visoki sahtni preliv	363
Dr Slavko BOGDANOVIĆ: Pravno regulisanje zaštite mora i voda od zagađenja mineralnim uljima	379
STRUČNI RADOVI	
Dušan DUMIĆ: Dosadašnja iskustva i učinak plovne mehanizacije na izmulljivanju magistralnih kanala hidrosistema DTD.	391
In memoriam	399
CONTENTS	
Živka ILIĆ: IMPROVEMENT OF FINANCING POLITIC IN WATER RESOURCES MANAGEMENT OF REPUBLIC SERBIA.	253
PORTRET: Vukadin ĐORĐEVIĆ	261
SCIENTIFIC REVIEWS	
Mirko POPOVIĆ and IVANKA BRKOVIĆ-POPOVIĆ: NITRIFICATION AND DENITRIFICATION IN THE ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER TREATMENT PROCESS	265
Branislav ĐORĐEVIĆ: RELIABILITY METHODS AND MAINTENANCE PLANNING IN WATER RESOURCES SYSTEMS DESIGN	275
SCIENTIFIC TEMATIC REVIEWS	
Miloš STANIĆ, Dimitrije AVAKUMOVIĆ and Zoran KAPELAN: DEVELOPMENT OF EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR DETERMINING OPTIMAL NETWORK LAYOUT	291
Dubravka POKRAJAC and Ranko LAZIĆ: SOFTWARE PACKAGE GROW FOR GROUNDWATER FLOW AND POLLUTANT TRANSPORT SIMULATION	299
Božidar BATINIĆ and Tina MILANOVIĆ: PROBLEMS OF DIRECTION CHANGES IN SUPERCRITICAL FLOW - OBLIQUE STANDING WAVES	307
Vera MITROVIĆ-TUTUNĐIĆ: ACTUAL PROBLEMS OF EXISTING CARP FISHFARMS IN SERBIA AND POSSIBILITIES FOR RATIONAL PRODUCTION OF MARKET CARP IN THEM.	315
Aleksandar ĐUKIĆ et al.: THE APPLICATION OF NANOFILTRATION IN POTABLE WATER TREATMENT PLANTS	323
Milivoje BRAJKOVIĆ: A MODIFIED METHOD OF SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH	333
REVIEWS	
Branislav ĐORĐEVIĆ: PROJECT PROCEDURE IN DESIGN AND REALIZATION A LARGE WATER RESOURCES SYSTEM.	343
Đuro RADINOVIĆ: RADAR PRECIPITATION MEASUREMENT IN SERBIA	357
Živodar ERCIĆ: HIGH SHAFT SPILLWAYS	363
Slavko BOGDANOVIĆ: THE LOW OF SEE AND WATER POTENTIAL OF THE MINERAL OILS POLLUTIONS	379
PROFESSIONAL PAPERS	
Dušan DUMIĆ: PREVIOUS EXPERIENCES AND EFFICIENCY OF NAVIGABLE MACHINERY AT NUD - EXCAVATION OF THE MAGISTRAL CHANNEL OF HYDROSYSTEM DTD.	391
In memoriam	399

VODOPRIVREDA

GOD. 29

Godina 1997.

BR. 169 - 170

(1997/5-6)

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 – 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 Ratomir – 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:

Trodimenzionalni prikaz pijezometarskih kota sračunatih programskim paketom GROW
(uz članak Dubravke Pokrajac u ovom broju)

PROBLEMI PRI SKRETANJU BURNOG TOKA - KOSI STOJEĆI TALAS -

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

SAŽETAK

U radu se analizira buran tok vode sa slobodnom površinom i pojave do kojih dolazi usled naglog skretanja zida kanala. Ovakve nagle promene u burnom toku dovode do pojave kosih stojećih talasa.

Ovaj problem analizirao je A. Ippen. Osnovni nedostatak rešenja je što se dobijeni oblik strujnica javlja i u slučaju ukrštanja dva burna toka, pri čemu režim sa manjim Frudovim brojem skreće režim sa većim Frudovim brojem, što nije logično.

Urađena je nova analiza ovog fenomena, sa novim pretpostavkama, i proverena na modelu. Po ovom rešenju, neporemećeni sloj stiže do zida, gde se vertikalno okreće i formira gornji skrenuti sloj. Urađena laboratorijska merenja pokazala su da je rešenje prihvatljivo i za kanale sa podužnim padom.

Osnovna razlika između razmatrana dva rešenja je što u Ippen-ovom rešenju uzrok poremećaja može biti i zid i neki drugi tok, dok u novom rešenju poremećaj može izazvati samo čvrsta granica. Koristeći novo rešenje problema rezultat se dobija direktnim proračunom, a rezultati se bolje slažu sa eksperimentalnim rezultatima.

Ključne reči: tečenje u kanalima, buran tok, poremećaji toka, kosi stojećí talas

1. UVOD

Pri projektovanju delova objekta u kojima se može javiti tečenje sa slobodnom površinom mora se voditi računa o osobinama tog tečenja.

Kod tečenja vode sa slobodnom površinom, dolazi do pojave dva režima strujanja: (1) miran režim, (2) buran režim.

Ova podela je nametnuta prirodom strujanja vode sa slobodnom površinom. Uvođenjem pojma specifične energije (e) dobijamo granicu između burnog i mirnog režima.

Ova energija se odnosi na dno kanala i u tome se razlikuje u odnosu na Bernulijevu jednačinu, koja se, kao što je poznato, odnosi na horizontalnu ravan.

$$e(h) = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (1)$$

$Q = \text{const}$ - proticaj

$A = A(h)$ - površina poprečno na tok

h - dubina toka

Ako se nađe izvod specifične energije po dubini, dobija se sledeći izraz:

$$\frac{de}{dh} = 0 \quad 1 - \frac{Q^2 B}{gA^3} = 0 \quad (2)$$

$B = B(h)$ - širina vodenog ogledala

Dubina h pri kojoj je ispunjen uslov iz jednačine (2) nazivamo kritičnom dubinom h_k . Sada se može definisati podela na miran i buran režim:

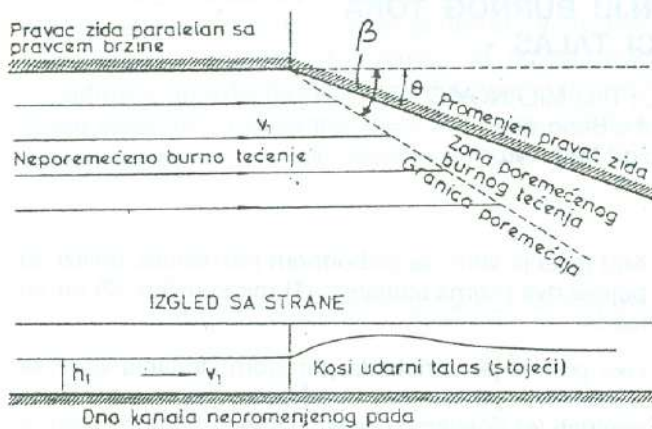
$h > h_k$ - miran režim

$h < h_k$ - buran režim

U hidraulici se izraz $\frac{Q^2 B}{gA^3} = F_r$ naziva Frudov broj, pa se pomoću njega može razgraničiti mirno i burno tečenje. Iz jednačine (2) vidi se da za $F_r = 1$ dobijamo kritičnu dubinu, za $F_r > 1$ dobijamo burno tečenje, a za $F_r < 1$ mirno tečenje. Ovu podelu je nametnula sama priroda strujanja vode, jer se razlikuju uslovi strujanja u burnom i mirnom režimu.

Mirno tečenje $F_r < 1$

Poremećaji u toku prenose se uzvodno, i tečenje zavisi od nizvodnih graničnih uslova. Znači, kod ovog tečenja moramo voditi računa o nizvodnim graničnim uslovima.



Sl. 1. - Kosi stojeći talas
Oblique standing wave

Burno tečenje $F_r > 1$

Poremećaji u toku ne prenose se uzvodno, i tečenje ne zavisi od nizvodnih graničnih uslova. Kod ovog tečenja ne vodimo računa o nizvodnim graničnim uslovima, nego o uzvodnim uslovima.

Od raznih poremećaja koji se javljaju u burnom tečenju usled promene konture - čvrste granice, u ovom radu će se razmatrati promene tečenja usled naglog skretanja vertikalnog zida u pravcu tečenja. Ovaj tip poremećaja burnog strujanja naziva se kosi stojeći talas, a njegov prikaz dat je na slici 1.

2. POSTAVKA PROBLEMA

Pri tečenju vode kanalom pravougaonog poprečnog preseka u burnom režimu, može doći do pojave kosog stojećeg talasa. Za pojavu ovog talasa dovoljan razlog je postojanje bilo kakve nepravivosti vertikalnih zidova. U ovom radu razmatraće se pojava kosog stojećeg talasa usled naglog skretanja vertikalnog zida kanala oko prave koja je upravna na ravan dna kanala. Ravan

*Magistarski rad, Božidar Batinić, 1968. godina, Građevinski fakultet u Beogradu

dna kanala ostaje neporemećena, kako u podužnom, tako i u poprečnom pravcu. Podužan pad kanala se za sada neće definisati, o njemu će se raspravljati u zaključku. Ovako okarakterisan hidraulički problem tečenja najbolje se može shvatiti iz slike 1.

Do sada je poznato teorijsko rešenje Ippen-a, koji problem rešava kao ravanski, zbog čega su se morale uvesti pretpostavke koje uprošćavaju problem. Naše teorijsko rešenje, koje problem razmatra kao prostorni problem, ima manje uprošćenja, što utiče na bolja slaganja rešenja sa eksperimentima na modelu. U nastavku su, u skraćenom obliku, prikazana oba rešenja.

Teorijsko rešenje IPPEN-a

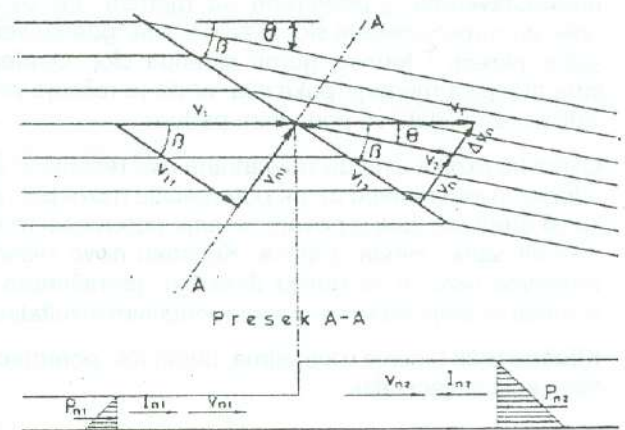
Ovo teorijsko rešenje izvedeno je pod sledećim pretpostavkama:

- za male uglove skretanja zida mogu se zanemariti vertikalne akceleracije, a na osnovu ovoga se može pretpostaviti da su pritisci raspoređeni po hidrostatičkom zakonu;
- brzine su nepromenljive po vertikali;
- rasipanje energije pri prelazu sa dubine h_1 na dubinu h_2 , u zoni čela talasa, može se zanemariti;
- tangencijalna sila na dnu kanala može se zanemariti;
- dno kanala je horizontalno.

Na osnovu ovih pretpostavki problem je postao ravanski, pa se na osnovu šeme strujanja (slika 2), može se pristupiti izvođenju jednačina za ravanski problem.

Jednačina kontinuiteta:

$$h_1 \cdot v_{n1} = h_2 \cdot v_{n2} \tag{3}$$



Sl. 2. - Šema strujanja
Schematic view of flow

Dinamička jednačina (postoji samo za normalni pravac jer je $v_{t1} = v_{t2}$):

$$\frac{\gamma h_1^2}{2} + \frac{\gamma}{g} h_1 v_{n1}^2 = \frac{\gamma h_2^2}{2} + \frac{\gamma}{g} h_2 v_{n2}^2 \quad (4)$$

Rešavanjem jednačine (3) po v_{n2} dobija se:

$$v_{n2} = \frac{h_1}{h_2} v_{n1} ; v_{n2}^2 = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2 v_{n1}^2$$

a zamenom u jednačinu (4) i deljenjem sa γ dobijamo:

$$\frac{h_1^2}{2} + \frac{1}{g} h_1 v_{n1}^2 = \frac{h_2^2}{2} + \frac{1}{g} \frac{h_1^2}{h_2} v_{n1}^2$$

Daljim sređivanjem dobija se:

$$v_{n1}^2 \frac{1}{gh_1} \left(1 - \frac{h_1}{h_2}\right) = \frac{h_2^2}{2h_1^2} - \frac{1}{2}$$

odnosno:

$$v_{n1} = \sqrt{gh_1} \sqrt{\frac{h_2}{2h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right)} \quad (5)$$

Ugao talasa β dobićemo iz uslova jednakosti tangencijalnih brzina $v_{t1} = v_{t2}$.

$$v_1 \cos \beta = v_2 \cos(\beta - \Theta)$$

$$\frac{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \Theta \cdot h_2}{1 + \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \Theta \cdot h_1} = \operatorname{tg} \beta \quad (6)$$

Jednačine (5) i (6) svode se na povoljniji oblik:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 F_{r1} \sin^2 \beta} - 1 \right) \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{\left(\frac{h_2}{h_1} - 1\right) \operatorname{tg} \beta}{\frac{h_2}{h_1} + \operatorname{tg}^2 \beta} \quad (8)$$

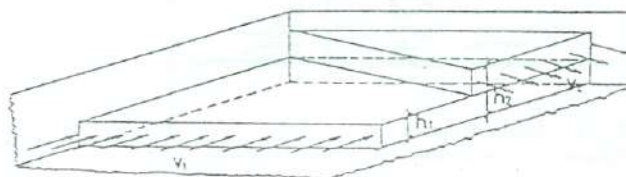
Ovakvo dobijene jednačine za ravanski problem imaju povoljan matematski oblik za računanje traženih veličina. Međutim, osnovne zamerke za ovakvo rešenje problema mogu se iskazati na sledeći način:

- Strujna slika, koja je prikazana na slici 2, nije posledica skretanja čvrste granice zida kanala. Bolje rečeno, samo prvu strujnicu skreće zid, dok ostale strujnice skreće već skrenuta strujnica. Da bi se ova zamerka još bolje istakla pokazaćemo sledeći primer: pri ukrštanju dva burna režima pod uglom Θ između pravaca brzina, dolazi se do zaključka da režim sa manjom brzinom skreće režim sa većom brzinom.
- Posmatranjem jednačine (5) smanjenje ugla skretanja $\Theta \rightarrow 0$, utiče na dubinu poremećene struje $h_2 \rightarrow h_1$, pa bi, pošto više nema uzroka poremećaja, i brzina trebala da teži nuli, $v_{n1} \rightarrow 0$. Ovo prema jednačini (5) nije slučaj, jer iz nje sledi $v_{n1} \rightarrow \sqrt{gh_1}$.

- Tumačenje da se gubitak energije pri prelazu sa dubine h_1 na dubinu h_2 zanemaruje je neshvatljivo, jer je taj gubitak uračunat samom postavkom dinamičke jednačine.

Teorijsko rešenje sa novim pretpostavkama

Uprošćena šema strujanja, sa novim pretpostavkama pri naglom skretanju zida kanala, najbolje se vidi na slici 3.



Sl. 3. - Šema strujanja prikazana aksiometrijski
Axonometric view of flow

Pretpostavke u ovom pristupu rešavanja opisanog problema su sledeće:

- Neporemećeni dolazeći sloj dubine h_1 i brzine v_1 produžava sve do zida, gde uz zid skreće nagore, i obrazuje gornji (od zida dolazeći) sloj. Prema tome, poremećaji za dolazeći sloj počinju u dodiru sa zidom, a ne na čelu talasa (kako je kod Ippen-a).
- U gornem sloju vlada brzina v_2 , a strujanje je paralelno sa čelom talasa (a ne sa pravcem zida kao kod Ippen-a).
- Pritisci se raspoređuju po hidrostatičkom zakonu, i to samo uz zid kao u jedinstvenom sloju, dok se dalje od zida raspoređuju za svaki sloj (donji i gornji) zasebno.
- Zanemaruje se gubitak trenja po dnu kanala u zoni stojećeg talasa, što je opravdano, jer se radi o lokalnom fenomenu sa izrazitim uticajem sile pritiska i inercijalnih sila.
- Dno kanala je horizontalno.

Sistemske merenja u Hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta, proverene su uvedene pretpostavke, a merenja su poslužila za kontrolu izvedenih jednačina.

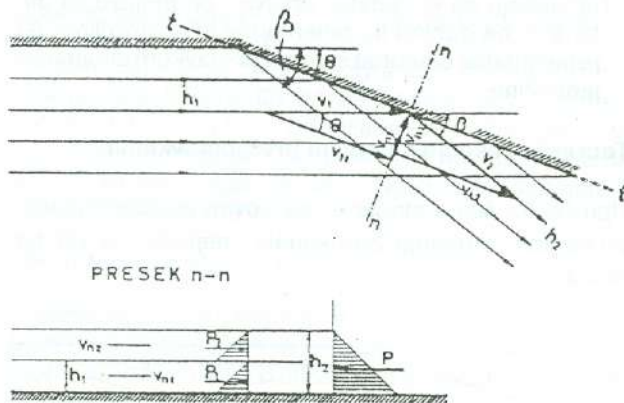
Navedene pretpostavke prikazane su u horizontalnoj i vertikalnoj ravni na slici 4.

Jednačina kontinuiteta:

$$h_1 v_{n1} = (h_2 - h_1) v_{n2} \quad (9)$$

Dinamička jednačina u pravcu $n - n$:

$$\frac{\gamma h_1^2}{2} + \frac{\gamma}{g} h_1 v_{n1}^2 + \frac{\gamma (h_2 - h_1)^2}{2} + \frac{\gamma}{g} (h_2 - h_1) v_{n2}^2 = \frac{\gamma h_2^2}{2} \quad (10)$$



Sl. 4 - Šema strujanja
Schematic view of flow

Rešavanjem jednačine kontinuiteta po v_{n2} i zamenom u dinamičku jednačinu dobijamo:

$$v_{n2} = \frac{h_1}{h_2 - h_1} v_{n1}$$

$$\frac{h_1^2}{2} + \frac{h_1 v_{n1}^2}{g} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{2} + \frac{h_1^2}{g(h_2 - h_1)} v_{n1}^2 = \frac{h_2^2}{2}$$

Daljim sređivanjem ove jednačine, dolazimo do izraza za v_{n1} :

$$v_{n1} = \sqrt{\frac{gh_1}{\frac{h_1}{h_2 - h_1} \left(1 + \frac{h_1}{h_2 - h_1}\right)}} \quad (11)$$

Jednačina (11) je, radi upoređivanja, svedena je na oblik koji je dobijen u Ippen-ovom rešenju, i u nastavku su date te dve jednačine:

$$v_{n1} = \sqrt{gh_1} \sqrt{\frac{(h_2 - h_1)^2}{h_1 h_2}} \quad (\text{rešenje B. Batinića}) \quad (12)$$

$$v_{n1} = \sqrt{gh_1} \sqrt{\frac{h_2}{h_1} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right)} \quad (\text{Ippen-ovo rešenje}) \quad (5)$$

Odmah se uočava da novo rešenje nema manjkavost u pogledu graničnih uslova. Kada $\Theta \rightarrow 0$, ond je $h_2 \rightarrow h_1$, iz čega sledi $v_{n1} \rightarrow 0$.

Daljim sređivanjem jednačine (12), zamenom komponente brzine $v_{n1} = v_1 \sin\Theta$ dobijamo jednačinu koja se po obliku može porediti sa Ippen-ovim rešenjem datim jednačinom (7)

$$\frac{h_2}{h_1} = 1 + \frac{1}{2} F_{r1} \sin^2 \Theta + \sqrt{\left(1 + \frac{1}{2} F_{r1} \sin^2 \Theta\right)^2 - 1} \quad (13)$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 F_{r1} \sin^2 \beta} - 1) \quad (7)$$

Analizirajući obe jednačine lako se može utvrditi da ukoliko se uzrok poremećaja smanjuje $\Theta \rightarrow 0$, onda po novom rešenju odnos dubina teži $h_2 / h_1 \rightarrow 1$, dok kod starog rešenja ovaj odnos teži $h_2 / h_1 \rightarrow 0$, što je neprihvatljivo kao fizička pojava.

Postavljanjem odgovarajućih jednačina za tangencijalni pravac $(t-t)$, na slici 4, dobijamo:

$$v_1 \cos \Theta = v_2 \cos(\beta - \Theta) \quad (14)$$

$$\frac{\gamma}{g} v_{1t} Q = \frac{\gamma}{g} v_{2t} Q \quad (15)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{h_1 \sin \Theta}{h_2 - h_1 \sin(\beta - \Theta)} \quad (16)$$

Rešavanjem ovih jednačina dolazi se do povoljnog oblika za skretni ugao čela β :

$$\text{tg } \beta = \frac{\frac{h_2}{h_1} \text{tg } \Theta}{\frac{h_2}{h_1} - 1 - \text{tg}^2 \Theta} \quad (17)$$

Jednačina (13) sa jednačinom (17) daje zavisnost poremećaja sa novim pretpostavkama - naše rešenje.

Poređenje teorijskih rešenja

Da bi što bolje istakli razliku između rešenja po različitim pretpostavkama, napišimo još jednom oba para jednačina:

Ippen-ovo rešenje:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 F_{r1} \sin^2 \beta} - 1) \quad (7)$$

$$\text{tg } \Theta = \frac{\left(\frac{h_2}{h_1} - 1\right) \text{tg } \beta}{\frac{h_2}{h_1} + \text{tg}^2 \beta} \quad (8)$$

Rešenje B. Batinića:

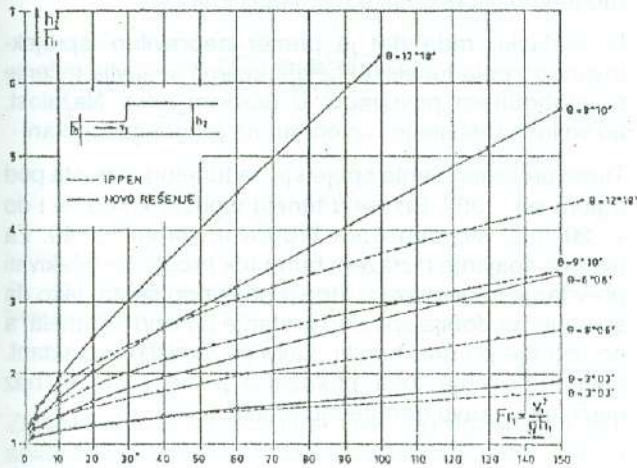
$$\frac{h_2}{h_1} = 1 + \frac{1}{2} F_{r1} \sin^2 \Theta + \sqrt{\left(1 + \frac{1}{2} F_{r1} \sin^2 \Theta\right)^2 - 1} \quad (13)$$

$$\text{tg } \beta = \frac{\frac{h_2}{h_1} \text{tg } \Theta}{\frac{h_2}{h_1} - 1 - \text{tg}^2 \Theta} \quad (17)$$

Razliku između ova dva rešenja najbolje ćemo videti na slikama 5 i 6.

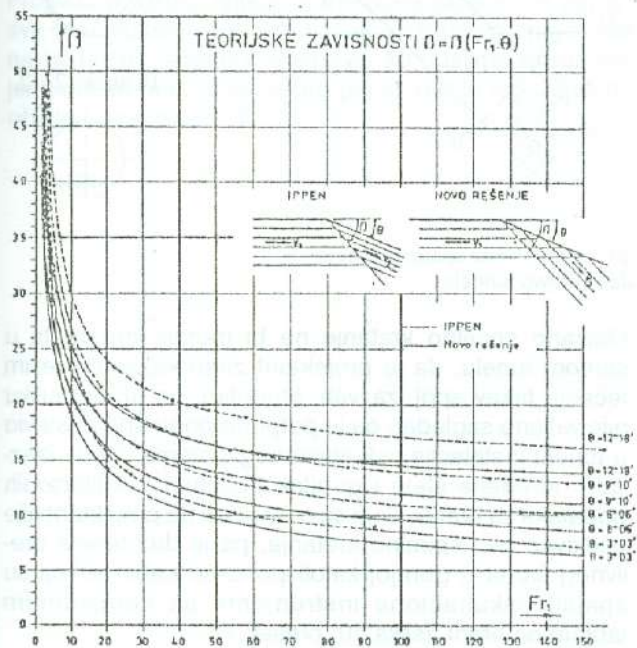
Bitna razlika između ova dva rešenja, po našem mišljenju, je u tome što kod Ippen-ovog rešenja uzrok poremećaja ne mora da bude zid, nego može da bude i drugi tok pod određenim uglom, dok kod našeg rešenja uzrok poremećaja može da bude samo čvrsta granica. Ovaj uslov smo postavili u toku samog izvođenja, a treba se napomenuti da za slučaj sudara

dva toka pod uglom treba tražiti novo rešenje, jer se u fizičkom smislu te dve pojave ne mogu svesti na isto. Dodatni razlog je što po Ippen-ovom rešenju tok sa manjom brzinom skreće tok sa većom brzinom. Kod novog rešenja trebalo bi da tok sa većom brzinom prođe u tok sa manjom brzinom do zida, i tek tada da menja pravac brzine.



Sl. 5. - Upoređivanje rešenja za $\frac{h_2}{h_1} = f(F_{r1})$

Comparison of solutions for $\frac{h_2}{h_1} = f(F_{r1})$



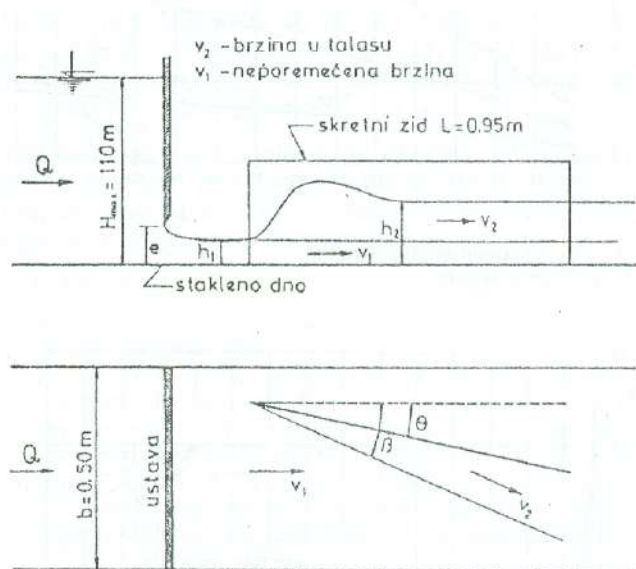
Sl. 6. - Upoređivanje rešenja za $\beta = f(F_{r1})$

Comparison of solutions for $\beta = f(F_{r1})$

Na kraju, možemo reći da pogodnost računanja po novom rešenju nije zanemarljiva, jer dobijamo rezultat bez probanja, dok se kod starog rešenja do rezultata dolazi sukcesivnim aproksimacijama.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Šema instalacije na kojoj je izvršeno ispitivanje prikazana je na slici 7.



Sl. 7. - Šema instalacije - fizički model
Schematic view of installation - physical model

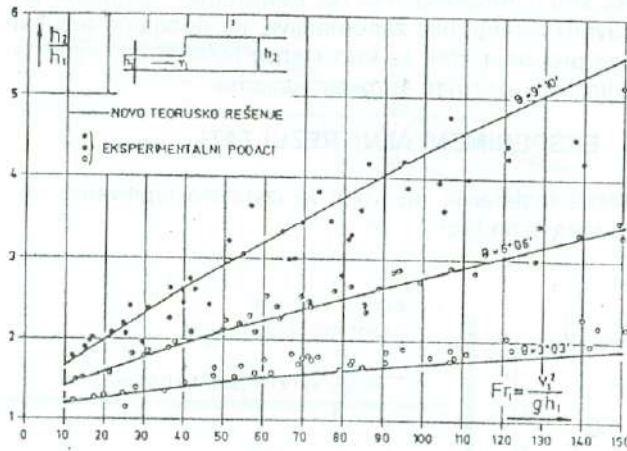
Ispitivanja su vršena za različite vrednosti specifične energije, ugla skretanja zida kanala, brzine i dubine vode u kanalu, Frudovog broja, i dr. U tabeli 1 dati su opsezi vrednosti fizičkih veličina za koje su izvršena ispitivanja.

T a b. 1. - Vrednosti fizičkih veličina za koje su izvršena ispitivanja

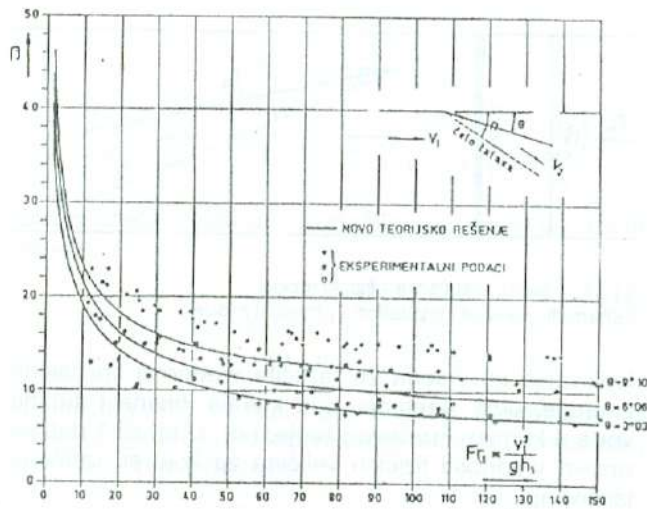
e	θ	h_1	h_2	v_1	F_{r1}
(cm)		(cm)	(cm)	(dm/s)	
od 1.5	3° 03'	od 0.96	od 1.5	od 14	od 10
do 4.0	6° 06'	do 2.57	do 9.0	do 50	do 150
	9° 10'				

Rezultati ispitivanja prikazani su na slikama 8 i 9, na kojima su nacrtane teorijske zavisnosti. Upoređivanjem ovih rezultata možemo biti zadovoljni, jer se neslaganja teorije i merenja mogu zanemariti.

Uticaj podužnog pada kanala meren je na laboratorijskoj instalaciji, na kanalu čiji se podužni pad menja. Eksperimenti su pokazali da nema bitnih promena usled promene pada. Do $l_0 = 30\%$ zavisnost $h_2/h_1 = f(F_{r1})$ i $\beta = f(F_{r1})$ ostaje ista.



Sl. 8. - Eksperimentalni rezultati
Experimental results



Sl. 9. - Eksperimentalni rezultati
Experimental results

4. PRIMENA U PROJEKTOVANJU

Praksa pokazuje da je neophodno ponovo skrenuti pažnju projektantima da buran tok ne treba skretati, ni u njemu menjati oblik kanala bez velike potrebe. Sva skretanja i promene oblika kanala treba izvršiti u mirnom toku, a buran tok, koji nastaje posle mirnog režima, voditi u pravcu do bučnice ili slapišta, gde se ponovo prevodi u miran režim. Ako se iz nekih razloga mora remetiti buran tok, treba iskoristiti napred navedena rešenja, uz vođenje računa o učinjenim pretpostavkama i domenu ispitivanja. Naročito treba imati na umu da su teorijska rešenja dobijena za kanal pravougaonog poprečnog preseka, pa se u slučaju drugih poprečnih preseka strujanje mora proveriti na fizičkom modelu.

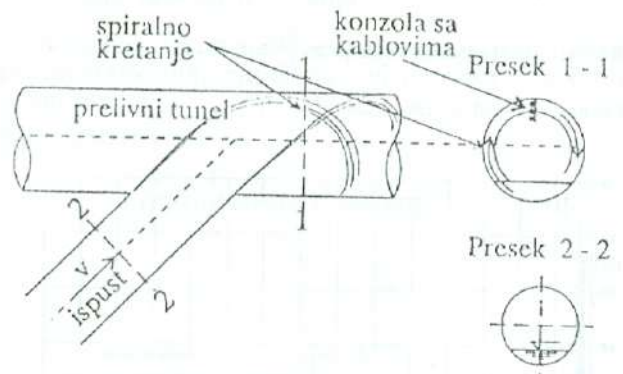
Naše rešenje je provereno za skretanje zida do 12° , pad dna kanala do 30% i Frudovog broja do $Fr=150$.

Ippen-ovo rešenje važi samo za horizontalan kanal, a veličina Frudovog broja je ograničena samim rešenjem, jer se za veće Frudove brojeve, zavisno od ugla skretanja dobijaju imaginarna rešenja.

Svaki drugi oblik zida kanala koji nije vertikalni izaziva veća izdizanja, pa čak i prevrtanja mlaza, tako da se ne mogu koristiti rešenja u ovim oblicima.

U nastavku rada dat je primer nepravilno isprojektovanog spoja tunelskih cevi u kojima se javlja tečenje sa slobodnom površinom u burnom toku. Nažalost, takvo loše rešenje je i izvedeno na jednoj našoj brani.

Tunel prelivnog šahta spojen je sa tunelom ispusta pod uglom od $\sim 30^\circ$. Brzine u tunelu ispusta kreću se i do $v=20$ m/s, što odgovara Frudovom broju $Fr=40$. Za ovakvo spajanje i izraženi burni tok moglo se očekivati prevrtanje toka mlaza u tunelu prelivnog šahta, tako da se u njemu dobija spiralno kretanje po obodu tunela, a ne tečenje po dnu tunela, kako je zamislio projektant. Ovo remećenje toka prikazano je na slici 10, bez ulaženja u pravu geometriju tunela.

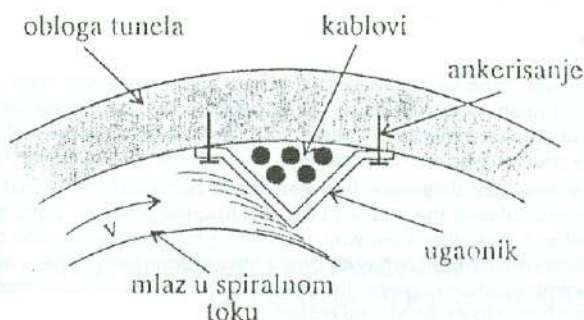


Sl. 10. - Prikaz spajanja tunela
Joint of two tunnels

Opisano spiralno kretanje ne bi moralo da smeta u samom tunelu, da je projektant znao kakav će režim tečenja takav spoj izazvati. Međutim, on tu hidrauliku nije valjano sagledao pa je potpuno pogrešno postavio u tunelu instalacije oskultacionog sistema, što je izazvalo određene štete i gubitak početnih oskultacionih podataka za branu. Radi se o činjenici da projektant nije očekivao ovo spiralno kretanje, pa je duž tunela prelivnog šahta u gornjoj kaloti postavio kablove koji su spajali oskultacione instrumente sa komandnom tablom na brani. (slika 10, presek 1).

Pri puštanju ispusta došlo je do spiralnog kretanja u tunelu, pa je spiralni mlaz - tok vode velike brzine 20 m/s praktično odsekao konzole i pokidao sprovodne

kablove, tako da sada za taj objekat nemamo nultu stanje instrumenata. Investitor je izvršio odgovarajuću popravku ovog oštećenja, na način koji je prikazan na slici 11.



Sl. 11. - Prikaz nove zaštite kablova
New protection for cables

Zaštita kablova korišćenjem čeličnog ugaonika koji je ankerisan za oblogu tunela, predstavlja zaštitu, ali ne dovoljnu. Pitanje je vremena kada će snaga spiralnog mlaza isčupati ugaonik i ponovo oštetiti kablove. Ponovo se napominje da u mlaz vode veće brzine ne treba stavljati nikakvu prepreku bez prethodnog ispitivanja na fizičkom modelu.

Projektanti, zbog teške ekonomske situacije u zemlji, sve češće izbegavaju izradu fizičkih modela, misleći da na taj način "šparaju" sredstva. Mi mislimo drugačije, jer kada se nešto desi teško je i skupo to ispravljati na objektu u razmeri 1:1.

5. ZAKLJUČCI

Ovaj rad posvećen je problematici kosih stojećih talasa koji nastaju u burnom toku, pri skretanju bočnog zida kanala.

Obavljen je obiman eksperimentalni rad radi utvrđivanja odnosa između dubine vode ispred i iza talasa i smera čela talasa – u zavisnosti od dolaznih uslova i skretanja bočnog zida.

Učinjen je pokušaj da se proceni i uticaj pada dna kanala na obrazovanje kosog stojećeg talasa, što je od posebnog interesa, jer su se dosadašnja razmatranja odnosila na horizontalno dno.

Treba još jednom naglasiti da skretanje i menjanje oblika u kanalu u kome se javlja buran režim tečenja nije preporučljivo, a ako se to mora uraditi savetuje se ispitivanje strujanja na fizičkom modelu.

LITERATURA

- [1] Batinić B.: *Kosi stojećih talasa*. Magistarski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 1968.
- [2] Chow W.T.: *Open-channel Hydraulics*. Mc Fraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1959.
- [3] Harrison A.J.M.: *Design of Channels for Supercritical Flow*. Proceedings ICE, vol. 35, November, 1966, pp. 475-490
- [4] Ippen A.T. & Knapp R.T.: *Experimental Investigations of Flow in Curved Channels* (2 volumes), report to Los Angeles County Flood Control District, reproduced by U.S. Engineer Office, Los Angeles, 1938.
- [5] Knapp R.T.: *Design of Channel Curves for Supercritical Flow*. Paper in High-velocity flow in open channels: A Symposium, Transactions, ASCE, vol. 116, pp. 296-325, 1951.
- [6] Rouse H.: *Engineering Hydraulics*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1950.
- [7] Tursunov A.A.: *The Methods of Governing of Geometrical Forms of Supercritical High Velocity Flows*. 11-th Congress AIRH, vol. 1, Leningrad, 1965.

PROBLEMS OF DIRECTION CHANGES IN SUPERCRITICAL FLOW
- OBLIQUE STANDING WAVES -

by

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

Summary

The paper deals with the supercritical flow in the channels with vertical walls, and the problem of water flow changes due to an abrupt change of the vertical channel wall. An abrupt change of channel walls in supercritical water flow results in an oblique standing wave.

A. Ippen analyzed this problem. The essential objection to this solution is that the streamline pattern cannot be the consequence of the wall change only, since it also occurs by mutual crossing of two supercritical regimes. It is not logical that the regime within a smaller Froude number deflects the regime with a larger Froude number.

The phenomenon was analyzed with new assumptions, and checked on a model. The undisturbed layer depth reaches the wall

where it turns vertically and forms an upper deflected layer. In order to show the effects of the longitudinal fall, systematic laboratory measurement were carried out, and the results showed that the solution was also applicable to channel with a longitudinal fall. The essential difference between these two solutions is that in Ippen's solution the cause of the disturbances may be both, the wall or some other flow, while according to this new solution the cause of disturbance may be only a strong boundary. Truss and Ippen's original solution is given, the results of which are in much better agreement to experimental results.

Key words: water flow in channels, supercritical water flow, changes of water flow, oblique standing wave

Redigovano 3.11.1997