GEORGIJE HAJDIN

Prilog proučavanju tokova sa usputnom promenom proticaja

SABIRNI KANALI SA RAVNOMERNIM PRITICAJEM

— DOKTORSKA DISERTACIJA —

II

BEOGRAD, 1965.

-drugi deo-

REŠAVANJE PRAKTIČNIH ZADATAKA IZ TEČENJA SABIRNIM KANALIMA SA RAVNOMERNIM PRITICAJEM

4.

Kvalitativna analiza. Odredjivanje uslova za obezbedjenje mirnog tečenja

4.1. Osnove za sprovodjenje analize

Prepisuje se jednačina (3-44):

$$\frac{dY}{dX} = \frac{\Gamma - 2F_0 \frac{X}{Y^2} - \frac{\partial \Omega}{\partial X}}{\frac{\partial \Omega}{\partial Y} - F_0 \frac{X^2}{Y^3}} \tag{4.-1.}$$

koja će poslužiti za kvalitativnu analizu tečenja u sabirnom kanalu. Ista jednačina može se simbolično napisati:

$$\frac{dY}{dX} = f(X,Y) = \frac{f_n(X,Y)}{f_k(X,Y)} \tag{4.-2.}$$

jer je desna strana u (4-1) funkcija od X i Y, pošto je, shodno ranijim izlaganjima, Ω funkcija od X i Y, a Γ i F_0 konstante za odredjeni konkretni slučaj.

Mogu se odrediti, pa i grafički prikazati, ovakve funkcije:

$Y_n = Y_n(X)$ koja zadovoljava $f_n(X,Y) = 0$

t.j.

$$\Gamma - 2F_o \frac{X}{Y_n^2} - \frac{\partial \Omega_n}{\partial X} = 0 \qquad (4.-3.)$$

i $\quad Y_k = Y_k\ (X)$ koja predstavlja $f_k(X,Y)=0$

što znači:

$$1 - F_o \frac{X^2 \tau_k}{Y_k^3} = 0 \qquad (4.-4.)$$

ili $\quad 1 - F = 0$

Prethodna jednačina napisana je saobrazno sa ranijim izrazima (3-39) i (3-31).

Lako se zaključuje da je

$$\text{za} \quad Y = Y_n \qquad \frac{dY}{dX} = 0 \qquad (4-5.)$$

jer je tada brojitelj u (4-1) ravan nuli. Na isti način uvidja se da dY/dX dobija beskonačnu veliku vrednost pri $Y = Y_k$ a tada je Frudov broj ravan jedinici, odnosno

$$\text{za} \quad Y = Y_k \qquad F = 1 \qquad (4-6.)$$

Dakle, funkcija $Y_k = Y_k\,(X)$ odredjuje proticajne preseke koji bi davali $F = 1$. To su tzv. "kritični poprečni preseci" pa se analogno sa elementarnom hidraulikom može napisati:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{pri} & Y > Y_k & \text{tečenje je mirno} \\ \text{pri} & Y < Y_k & \text{tečenje je burno} \end{array}\right\} \quad (4-7.)$$

Funkcija $Y_n = Y_n(X)$ može se shvatiti kao da odredjuje "normalne poprečne preseke". Analogijom sa analizom nejednolikog tečenja u kanalu (bez usputne promene proticaja) može se Y_n shvatiti kao presek gde se sila težine tačno izravnava sa potrebnom silom koju zahteva tečenje. Naime, kod kanala bez usputne promene proticaja, normalni poprečni presek je onaj gde raspoloživa sila težine tačno podmiruje trenje. Ovde kod sabirnih kanala, kako se pretpostavilo, uticaj trenja je zanemarljiv u odnosu na inercijalni uticaj koji zahteva uključivanje proticaja u kanalski tok, pa baš ovaj inercijalni uticaj zamenjuje ono što predstavlja trenje kod kanala bez usputne promene proticaja. Izraz "normalni presek" nije najpogodniji za sabirni kanal, bolji naziv za nacrtanu funkciju $Y_n = Y_n(X)$ bio bi "linija ekstremnih preseka", jer kada je $Y = Y_n$ tu je maksimalna (ili minimalna) vrednost poprečnog preseka.

Uvodjenjem Y_n i Y_k analiza je znatno olakšana jer se može napisati:

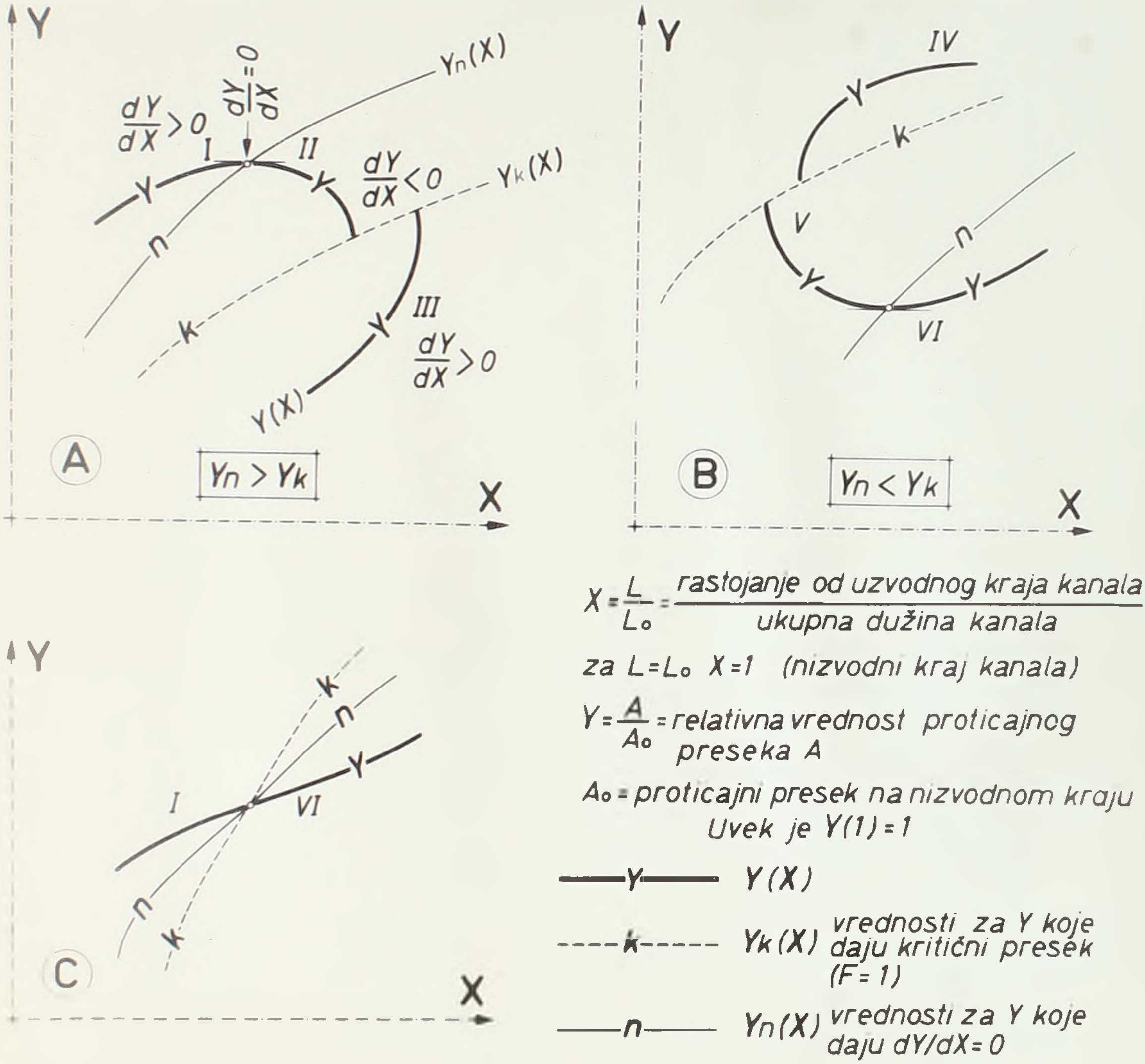
$$\left\{\begin{array}{l} Y > Y_k > Y_n \\ Y > Y_n > Y_k \\ Y < Y_k < Y_n \\ Y < Y_n < Y_k \end{array}\right\} \qquad \frac{dY}{dX} > 0 \qquad (4-8.)$$

$$\left\{\begin{array}{l} Y_k < Y < Y_n \\ Y_k > Y > Y_n \end{array}\right\} \qquad \frac{dY}{dX} < 0 \qquad (4-9.)$$

Napisani izrazi lako se objašnjavaju: (4-8) obuhvata one slučajeve kada su brojitelj i imenitelj (4-1) istog znaka, dok se (4-9) odnosi na slučajeve kada su suprotnog znaka.

Prethodna izvodjenje i iz njega proizašle konstatacije omogućili su crtanje sl. 4-1 iz koje se vidi da je analogija sa elementarnom hidraulikom posve očigledna. Posebno je interesantan slučaj C., kada se ukrštaju linije Y_n i Y_k . Tada se u (4-1) deli nula sa nulom što može dovesti, i dovodi, do konačne vrednosti za dY/dX pa i do mogućnosti za prelaz iz mirnog kretanja u burno.

* * *



Sl. 4-1 UZ KVALITATIVNU ANALIZU PROMENE PROTICAJNOG PRESEKA DUŽINOM SABIRNOG KANALA

Pri izvodjenju praktičnih zaključaka treba utvrditi neke osobine funkcije $Y_n = Y_n(X)$ i $Y_k = Y_k(X)$. Dovoljno će biti ako se dokaže sledeće:

a/ Linije $Y_n(X)$ i $Y_k(X)$ prolaze kroz koordinatni početak:

$$Y_n(0) = Y_k(0) = 0 \tag{4–10.}$$

i uvek imaju pozitivnu vrednost ako je $X > 0$ tj.

$$\text{za} \quad X > 0 \qquad Y_n > 0 \qquad Y_k > 0 \tag{4–11.}$$

Domen $X < 0$ nema nikakav praktičan značaj, jer je dimenzionalna analiza svela problematiku u granice $Y \leq X \leq 1$

b/ U naznačenom domenu i Y_n i Y_k monotono rastu, odnosno od vrednosti $Y_n = Y_k = 0$, za $X = 0$, neprekidnim porastom dostižu neku odredjenu vrednosti za $X = 1$, što se može napisati:

$$\frac{dY_n}{dX} > 0 \qquad \frac{dY_k}{dX} > 0 \tag{4–12}$$

c/ Uslovom pod a) navedeno je da linije Y_n i Y_k polaze iz koordinatnog početka, ali se kasnije pokazuje da je

$$0 < X \ll 1 \qquad Y_n > Y_k \tag{4–13.}$$

gde se znakom $\ll$ (mnogo manje) ukazuje da je uzeta vrednost za X neuporedivo bliže nuli nego jedinici, odnosno podrazumeva se da je vrednost X bliska nuli. Navedeni uslov znači da je u samom početku linija Y_n iznad linije Y_k.

d/ Ako se linije Y_n i Y_k seku za $X=1$, one ne mogu imati još neku presečnu tačku za $0<X<1$, pa se s obzirom na uslove a) i c) može napisati:

$$\text{ako je } Y_n(1) = Y_k(1) \qquad \text{onda je } Y_n > Y_k \text{ za } 0<X<1 \tag{4-14}$$

* * *

Dokazi za stavove izložene pod a), b), c) i d) su sledeći:

a) U jednačinama (4-3) i (4-4) veličine F_o, Γ, $\frac{\partial \Omega_n}{\partial X}$ i $\mathcal{T}_k$ su konačnih vrednosti, što znači da se ostvaruje napisano pod (4-1o) i (4-11). Izuzeci, kada te veličine nisu konačnih vrednosti, ne menjaju zaključak, jer su oni u ovome:

- Za trougaono korito, $M=0$ prema (3-23), $\mathcal{T}=\sqrt{Y}$ pa je zaključak opet isti.

- Za prizmatična korita, $\frac{\partial \Omega}{\partial X}=0$ a to opet ne menja stvar. Ako je uz to još i dno horizontalno, $\Gamma=0$ onda se zaključuje da

$Y_n = Y_n(X)$ postaje $X = 0$ za $\Gamma - \dfrac{\partial \Omega}{\partial X} = 0$ (4-15.)

što se opet uključuje u (4-lo).

b/ Diferenciranjem (4-3) po X daje:

$$2F_o\left(\frac{1}{Y_n^2} - \frac{2X}{y_n^3}\frac{dY_n}{dX}\right) + \frac{d}{dX}\left(\frac{\partial \Omega_n}{\partial X}\right) = 0$$

a iz (3-37), ako se iskoriste izrazi (3-33 do -36) i (3-21), dobija se:

$$\frac{d}{dX}\left(\frac{\partial \Omega_n}{\partial X}\right) = \frac{2M^2N}{1-M^2}\frac{1}{Б_n^2}\left(Б_n\frac{\partial \beta}{\partial X} - \beta\frac{\partial Б_n}{\partial X} - \frac{\partial Б_n}{\partial Y}\frac{dY_n}{dX}\right) =$$

$$= 2\frac{M^2N^2}{Б_n^3}Y_n - \frac{M^2N}{Б}\frac{dY_n}{dX}$$

Uz nije stavljen indeks "n", jer β prema (3-34) i nije funkcija od Y, nego isključivo od X.

Ako bi funkcija $Y_n(X)$ imala neku ekstremnu vrednost, tu bi se ostvarilo $dY_n/dX = 0$. Stavljanjem $dY_n/dX = 0$ u prethodna dva izraza, i zamenom poslednjeg člana u prvom izrazu rezultatom drugoga, dobija se:

$$F_o \frac{1}{Y_n^2} + \frac{M^2N^2}{Б_n^3} Y_n = 0$$

a to je nemoguće ostvariti, jer su svi članovi leve strane u domenu od $0 \geq X \geq 1$, uvek pozitivni. Dakle, ekstremna vrednost za Y_n ne može se pojaviti i, s obzirom da je već dokazana osobina napisan pod (4-1o) i (4-11), Y_n monotono raste u domenu od $X = 0$ do $X = 1$.

Slično se dokazuje i za funkciju $Y_k(X)$, jer diferenciranje (4-4) po X, i kasnije stavljanje $dY_k/dX = 0$ daje:

$$\frac{1}{Y_k^3}\left(2X + \frac{\partial Б_k}{\partial X} + \frac{\partial Б_k}{\partial Y_k}\frac{dY_k}{dX}\right) - \frac{3Б X^2}{y^4}\frac{dY_k}{dX} = 0$$

$$\frac{1}{Y^3}\left(2X + \frac{M^2N\beta}{Б}\right) = 0$$

što je opet neostvarivo.

c/ Da se dokaže navedeno pod (4-13), jednačine (4-3) i (4-4) napisaće se ovako:

$$\left.\begin{aligned} X^2 &= \left(\frac{Г - \frac{\partial \Omega}{X}}{2F_o}\right)^2 Y_n^4 \\ X^2 &= \frac{1}{F_o Б} Y_k^3 \end{aligned}\right\} \qquad (4\text{-}16)$$

Faktori koji množe Y_n^4, odnosno Y_n^3, su veličine konačne vrednosti, kako je to malo pre, pod a) zaključeno, pa su Y_n^4 i Y_n^3 veličine istog reda. Kako se radi o veličinama bliskim nuli, mora Y_n biti znatno veće od Y_k, a tako je dokazano napisano pod (4-13). I u izuzetnim slučajevima, kada pomenute veličine nisu konačne vrednosti, dobio bi se isti rezultat - istim rasudjivanjem kao pod a).

d/ Za tačku preseka linija Y_n i Y_k mora za isto X biti $Y_n = Y_k = Y_c$. Indeks "c" neka se odnosi na zajedničku vrednost. Iz (4-16) dobija se:

$$\frac{1}{2\sqrt{F_o}}\left(\Gamma - \frac{\partial \Omega_c}{\partial X}\right)\sqrt{Y_c Б_c} = 1 \qquad (4-17)$$

Ako je tačka preseka pri $X = 1$, druga tačka preseka, izuzev za $X = 0$, ne može se ostvariti kada je kanal prizmatičan, je za taj slučaj prethodni izraz postaje:

$$\frac{\Gamma}{2\sqrt{F_o}}\sqrt{Y_c}\; Б_c = 1$$

gde je faktor pred korenom konstanta, a $YБ$ monotono raste sa X, jer kada raste X raste i Y (dokazano malo pre pod b), a zajedno sa njima i $Б$ (što se vidi iz 3-23). Prema tome, ako je prethodni izraz zadovoljen pri $X=1$ ne može biti zadovoljen i pri nekoj vrednosti u domenu $0<X<1$.

Dokaz nije tako očigledan za neprizmatične kanale. Medjutim, može se i tada dokazati napisano pod (4-14). Uzeće se pravougaoni kanal gde je uticaj sužena najizrazitiji. Za ovaj slučaj je $Б=\beta$ i $M=1$ pa se iz (3-38) i (3-28) dobija:

$$\frac{\partial \Omega_c}{\partial X} = -N\,\frac{Y_c}{Б_c^2}$$

Stavljanjem ovog u (4-17) dolazi se do:

$$\frac{\Gamma}{2\sqrt{F_o}}\sqrt{Y_c Б_c} + \frac{N}{2\sqrt{F_o}}\sqrt{Y_c^3/Б_c^3} = 1 \qquad (4\text{-}18)$$

a kako presečna tačka leži i na liniji Y_k , može se smenom prema (4-4) prethodni izraz dovesti na:

$$\frac{\Gamma}{2\sqrt{F_o}}\sqrt{Y_c Б_c} + \frac{N}{2}\,\frac{X}{Б_c} = 1$$

Dalje, kako je $Б_c=\beta_c$, drugi član je, prema (3-17):

$$\frac{N}{2}\,\frac{X}{1-N+NX}$$

Taj član ima konstantnu vrednost samo za $N=1$ a to je slučaj kada se širina dna na uzvodnom kraju svede na nulu. Za ostale slučajeve, tj. $0<N<1$ i ovaj član raste kada raste X. Prema tome, s obzirom da je dokazano da prvi član u (4-18) uvek raste sa porastom X-a, ne može se ostvariti presek linije Y_n i Y_k za neku vrednost izmedju nule i jedinice ukoliko se one seku za $X=1$. Tim je dokazano ono što se želelo i što je napisano pod (4-14).

4.2. Pregled mogućih tečenja

Prethodna izlaganja olakšavaju daljnju analizu, jer ukazuju da mogu nastati sledeći slučajevi:

I. U celom domenu $0<X<1$ ostvaruje se:

$$Y_n(X) > Y_k(X)$$

što znači i

$$Y_n(1) > Y_k(1) \tag{4-19}$$

Poseban slučaj je horizontalno dno i prizmatičan kanal kada $Y_n(X)$ postaje $X=0$, kako je već napisano pod (4-15).

II. Dok je u početku, shodno (4-15), $Y_n > Y_k$,

$$\text{za} \quad X=1 \quad \text{je} \quad Y_n(1) < Y_k(1) \tag{4-20}$$

tj. linije Y_n i Y_k se seku

Poseban slučaj je ako je presečna tačka baš za $Y=1$ odnosno kada je:

$$Y_n(1) = Y_k(1) \tag{4-21}$$

Tada, prema napisanom pod (4-14), što je kasnije i dokazano, te linije nemaju druge presečne tačke, pa je $Y_n > Y_k$ u celom domenu od praktičnog interesa $0<X<1$.

Sa druge strane, u zavisnosti od Frudevog broja na nizvodnom kraju, mogu nastati ovi slučajevi:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{za} & F_o < 0 & Y_k(1) < 1 \\ \text{za} & F_o = 0 & Y_k(1) = 1 \\ \text{Za} & F_o > 1 & Y_k(1) > 1 \end{array}\right\} \qquad (4-22)$$

Na osnovu svega do sada izloženog u ovom poglavlju nacrtana je 4-2, gde je dat pregled mogućih i neostvarljivih tečenja u sabirnom kanalu.

Slučajevi 1, 2., 3 i 4. nastaju kada je $F_o < 1$ i redosledom kojim su nacrtani znače postepeno povećavanje pada ukoliko se ostali parametri ne menjaju. Jedino slučaj 1. daje neprekidno smanjenje poprečnog preseka idući nizvodno sabirnim kanalom. U slučaju 2/1 posle porasta poprečnog preseka, nastaje njegova maksimalna vrednost i iza toga opadanje, dok slučaj 2/2, kod koga je pad veći nego kod 2/1., ostvaruje neprekidan porast poprečnog preseka. Isto je i u slučaju 3., dok slučaj 4. pokazuje da je pojava burnog tečenja moguća. Jasno je da će do toga doći ako se sa padom predje neka odredjena kritična vrednost. Granica za uslov da je burno tečenje moguće je baš slučaj 3., odnosno uslov napisan pod (4-21). Prelaz iz mirnog tečenja u burno, prikazan pod 4, već je ranije prikazan, u uvodu u analizi, to je C. na sl. 4- 1. Ponovni prelaz iz burnog u mirno tečenje može se ostvariti samo hidrauličkim skokom i tako će i biti ako se nizvodnim uslovima obezbedi $F_o<1$ i ako je pre nizvodnog kraja sabirnog kanala dubina dovoljno velika da se skok obrazuje. Ako ona nije za to dovoljna burno kretanje će prodreti sve do kraja sabirnog kanala i neće se moći ostvariti projektovano $F_o<1$.

Slučajevi 5. - 8. na sl. 4-2 odnose se na Frudov broj ravan jedinici na nizvodnom kraju ($F_o = 1$) i tu se pokazuju kvalitativno iste osobine promena poprečnog preseka dužinom kanala. Razlika, u odnosu na odgovarajuće slučajeve pri $F_o < 1$, je u tome što ovde $\frac{dX}{dY} \rightarrow -\infty$ kada $X \rightarrow 1$ slučajevi 5. i 6. Slučaj 7. je sada slučaj C. sa sl. 4-1, dok je tečenje neostvarljivo pri $Y_n(1)<1$ (slučaj 8).

Da bi se na nizvodnom kraju kanala obrazovalo burno tečenje potreban je izvestan veći pad i za to je na sl. 4-2 ucrtan samo slučaj 9. On će nastati onda kada se slučaj 4. ne može ostvariti tj. ako nije moguće obrazovati skok.

* * *

Opšta konstatacija je ova: U početku sabirnog kanala $X = 0$ tečenje mirno, jer je

$$F(0) = 0$$

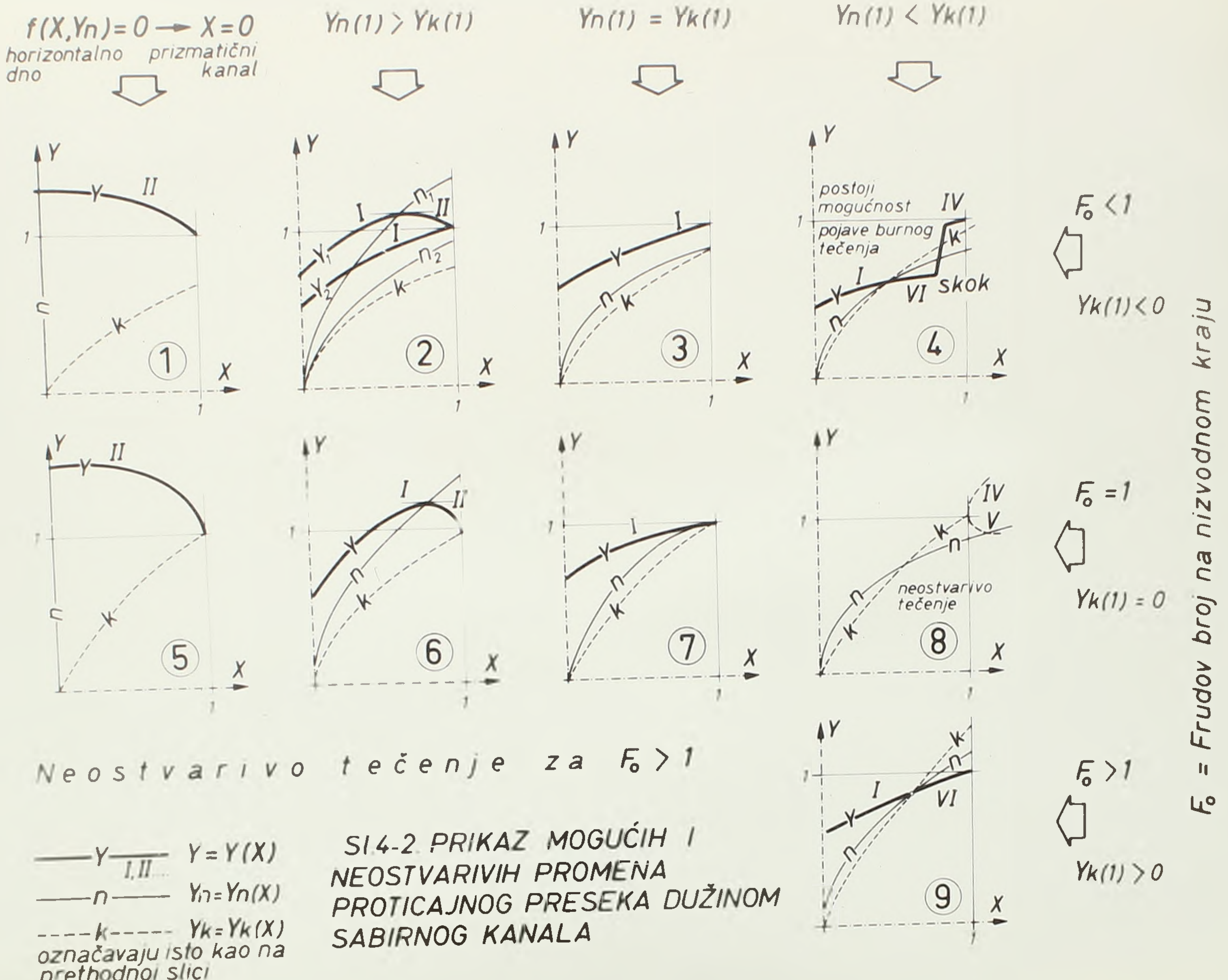
tj. Frudov broj na uzvodnom kraju, za $X = 0$, uvek je nula, što se vidi iz izraza (3-31) s obzirom da se na početku kanala obrazuje dubina izvesne vrednosti $Y(0)$.

Tečenje će ostati mirno celom dužinom kanala, tj. F će biti manji od jedinice ako kanal nema prevelik pad i ako nizvodnim uslovima obezbedi pretpostavljena vrednost A_o i $F_o \leqslant 1$. Kasnije će se odrediti koja je kritična vrednost pada da se to obezbedi. Ako se padom predje kritična vrednost, postoji mogućnost prelaska iz mirnog u burno kretanje i burno kretanje ostaće do nizvodnog kraja kanala, ili će se prekinuti hidrauličkim skokom. Kanali kod kojih se obezbedi mirno tečenje sa unapred odredjenim $F_o \leqslant 1$ računaju se uzvodnim smerom, što je potpuno u skladu sa stavovima elementarne hidraulike. Takvim kanalima je i namenjen ovaj rad i stoga je u ranijim izlaganjima i uzet nizvodni granični uslov. U produžetku će se ipak reći nekoliko reči o kanalima kod kojih nije obezbedjeno mirno tečenje.

* * *

Kanali kod kojih nastaje tečenje prema slučaju 9. sa sl. 4-2, imaju na nizvodnom kraju $F_o > 1$. Kod njih se obavlja prelaz iz mirnog u burno kretanje. Sada račun mora otpočeti od kritičnog preseka, od preseka gde kretanje prelazi iz mirnog u burno, i smer računanja je uzvodni za uzvodnu deonicu mirnog kretanja, odnosno nizvodno za nizvodnu deonicu burnog kretanja. To je opet po principima elementarne hidraulike. Teškoća je, medjutim, što mesto tog preseka nije unapred odredjeno, nego bi se moralo probanjem utvrditi. Ovo znači da za poznati pad dna, ili za njegovu bezdimenzionalnu zamenu Γ, ne može se unapred odrediti ni nizvodni presek, ni F_o, nego se mora pretpostaviti, pa onda se sprovodi račun, i ako tečenje predje iz mirnog u burno baš tamo gde je $Y = Y_k$ i $Y = Y_n$ (slučaj C., sa sl. 4-1), onda se pretpostavka usvaja, odnosno ponovo se pokušava sve dotle dok se to ne uskladi. Ti slučajevi, $F_o < 1$ su, medjutim, od malog praktičnog značaja, jer se sabirnim kanalima u praksi daje što je moguće manji pad, da bi objekat bio što je moguće racionalniji. Dalje, burno tečenje u sabirnom kanalu dovodi do nemogućnosti prihvatljivog prijema priticaja u kanal. I na kraju, takvo tečenje je teško uskladiti sa nizvodnim uslovima. U ovom radu takvi slučajevi se dalje ni ne obradjuju. Može se napomenuti da su, iz navedenih razloga skoro nikakvog njihovog praktičnog značaja.

oni i nisu obradjivani. Izuzetak je rad Sassolije (lit. 16) gde su tečenja sa burnim kretanjem na nizvodnom kraju sabirnog kanala eksperimentalno prouzčavana. Kvalitativnu analizu takvog tečenja dao je Gusberthi (lit. 7), ali samo za pravougaoni prizmatični kanal, na kakav se odnosi i rad Sassolije. Rezultati te analize su poseban slučaj ovde sprovedene. Takodje je i Li (lit. 19) samo ukazao na mogućnost nastanka burnog tečenja, a bavio se d etaljnije samo slučajevima mirnog tečenja u kanalu.



SI.4-2 PRIKAZ MOGUĆIH I NEOSTVARIVIH PROMENA PROTICAJNOG PRESEKA DUŽINOM SABIRNOG KANALA

4.3. Uslov za obezbedjenje mirnog tečenja

Uslov za odredjivanje kritičnog pada, ili granične vrednosti pada dna sabirnog kanala, za obezbedjenje mirnog tečenja, prema prethodnim izlaganjima, dat je sa (4-21).

$$Y_n\ (1) = Y_k\ (1) = Y_1$$

Nadalje će se uprošteno pisati Y_1 i to je, kao što se vidi zajednička vrednost za Y_n i Y_k pri $X=1$.

Stavljajući $X=1,\ Y_n = Y_k = Y_1\ ,\ \beta = 1$

i prema (3-23) i (3-37)

$$Б = Б_1 = \sqrt{Y_1\ (1-M^2)+M^2}$$

$$-\frac{\partial \Omega_n}{\partial X} = \frac{2MN}{1-M^2}\left(1 - \frac{M}{\sqrt{Y_1\,(1-M^2+M^2)}}\right)$$

u jednačine (4-3) i (4-4), kao i pisanjem (kritična, ili granična vrednost), Γ_K dobija se

$$\left.\begin{aligned} &\Gamma_K - 2F_o\,\frac{1}{Y_1^2} + \frac{2MN}{1-M^2}\left(1 - \frac{M}{\sqrt{Y_1\,(1-M^2)+M^2}}\right) \\ &\qquad\qquad F_o\sqrt{Y_1\,(1-M^2+M^2)}\ \ Y_1^3 = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (4-23)$$

Iz ovog sistema jednačina, eliminacijom Y_1, dobija se Γ_K, kao funkcija Frudovog broja na nizvodnom kraju i parametara M i N, odnosno:

$$\Gamma_K = \Gamma\,(F_o\,, M, N)$$

Iz sistema napisanog pod (4-23) uvodja se da Γ_K opada linearno sa N tj. da se može primeniti linearna interpolacija i ekstrapolacija pri promeni vrednosti za N.

Umesto sistema (4-23), koji se primenjuje za trapezni kanal, za pravougaoni i trougaoni kanal jednačine su znatno prostije, pa se Γ_K može izraziti eksplicitno.

Za pravougaoni kanal:

$$M = 0, \qquad \beta_1 = Б_1 = 1\,, \qquad \frac{\partial \Omega_1}{\partial X} = -\,N\,Y_1$$

gde je poslednji izraz dobijen iz (3-38) i (3-28), jednačine (4-3) i (4-4) omogućavaju eliminaciju Y_1 i krajnji rezultat je:

$$\Gamma_K = F_o^{1/3}(2-N) \qquad (4-24)$$

Za trougaoni kanal:

$$M = 0, \qquad N = 0, \quad Б_1 = \sqrt{Y_1}\,,$$

jednačine (4-3) i (4-4) daju:

$$\Gamma_K = 2F_o^{1/5} \qquad (4-25)$$

Jednačine (4-23 do -35) iskorišćene su za crtanje sl. 4-3, gde je prikazana kritična vrednost Γ_K za prizmatične kanale i za kanale sa suženjem kada je širina dna na uzvodnom kraju polovina širine dna nizvodnom kraju, tj. dato je Γ_K za $N=0$ i $N=1/2$, a u funkciji F_o i M, i to za $M=0$, $M=1/2$ i $M=1$. Treba napomenuti da slučaj $M=0$ za $N=1/2$ nema realne osnove, jer kod trougaonog kanala ne može se ostvariti suženje. Ta linija je zbog toga, nacrtana isprekidano i služi samo kao uporedjenje, za procenu vrednosti Γ_K za domen $0<M<1/2$. Kako važi zakon interpolacije i ekstrapolacije pri variranju N, lako se mogu odrediti vrednosti Γ_K za proizvoljno N, dok se medjuvrednosti za M mogu opet proceniti. Sl. 4-3 može uspešno poslužiti za procenu Γ_K, a ako treba tačna vrednost, može se sračunati iz (4-24), odnosno (4-25), ili, ako se radi o trapeznom kanalu, može se sistem (4-23) reši ti probanjem i kada se eliminiše Y_1, dobija se Γ_K u funkciji zadatih: F_o, M i N. Može se napomenuti da će se u praksi samo proveravati da li je projektovani manji od Γ_K, i da će najčešće tako i biti, jer se veliki padovi i ne projektuju, pošto se dobija isuviše duboko ukopavanje, odnosno spuštanje, kanala.

* * *

Navešće se neki primeri u praksi ostvarenih sabirnih kanala i pokazaće se kako se odnose projektovani Γ i kritični Γ_K .

a) Primer uz odeljak 5.2, sračunat na prilogu 5.1, i Prilogu 5.4, sa grafičkim prikazom računa na sl. 5.3, ima ove parametre:

$$F_o = 0.286, \quad M = 0.462, \quad N = 0.250, \quad \Gamma = 0.971$$

Za dato M , a $N=0$ iz levog grafikona na sl. 4-3 može se proceniti da je $\Gamma_K \sim 1.5$. Za isto M, a $N = 1/2$ iz desnog grafikona ispada da je $\Gamma_K \sim 1.2$. Interpolacijom, za $N = 1/4$ dobija se otprilike:

$$\Gamma_K \sim 1.35 > \Gamma$$

odnosno projektovano Γ je znatno manje od kritične vrednosti Γ_K .

b) Prvi primer uz odeljak 5.3, sračunat na sl. 5-5 i na Prilogu 5.5, karakterišu ovakve vrednosti parametara:

$$F_o = 0.60, \quad M = 0.69, \quad N = 0, \quad \Gamma = 0.63$$

Za takve vrednosti levi grafikon na sl. 4-3 daje:

$$\Gamma_K \sim 1.7 > \Gamma$$

c) Drugi primer u odeljku 5.3, prikazan sl. 5-6 odnosi se na pravougaoni prizmatični kanal sa Frudovim brojem na nizvodnom kraju ravnim jedinici, tj.

$$F_o = 1, \qquad M = 1, \qquad N = 0,$$

pa je

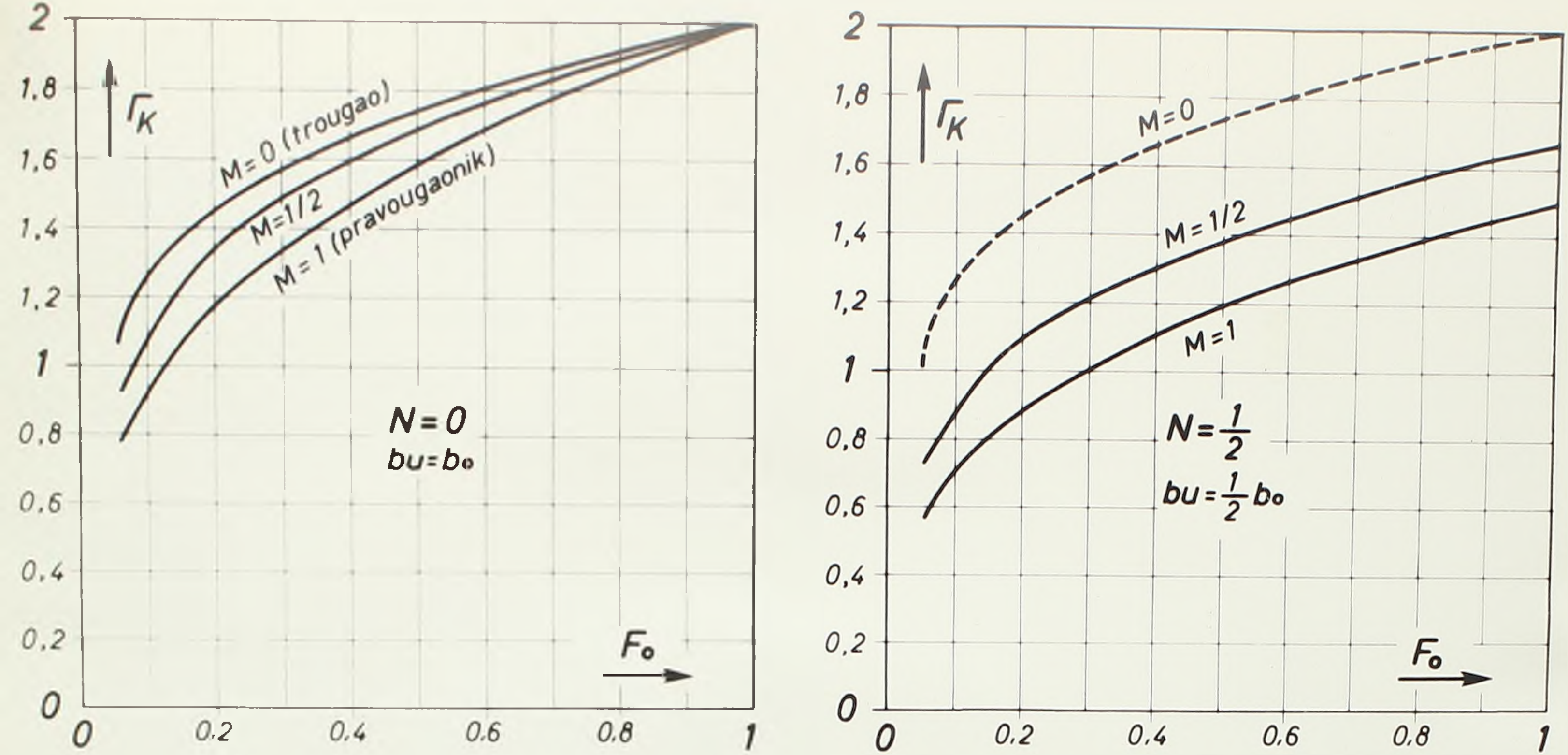
$$\Gamma_K = 2$$

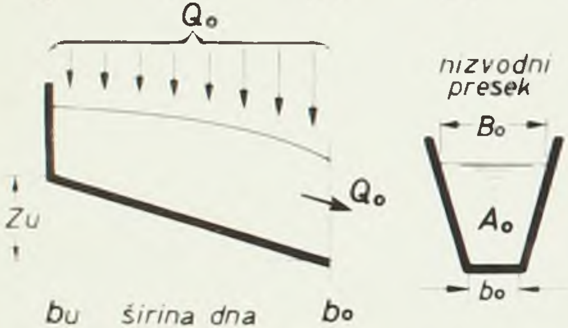
Ako se pogleda pregled rezultata integracije za navedeni primer, može se zaključiti da zbir $\Gamma + Y_n$, raste kada raste Γ, tj. veći pad kanala uslovljava i veću dubinu ukopavanja na nizvodnom kraju, koju izražava zbir $\Gamma + Y_n$. Prema tome, praktičari nikada neće izabrati tako veliki pad da predju kritičnu vrednost.

Može se napomenuti da su primeri uzeti iz tehničke prakse, da se odnose na realizovane objekte i da imaju i svoju modelsku proveru, što će izložiti uz same proračune primera – u narednom, 5-om poglavlju.

* * *

Na kraju se može napomenuti da autoru nije poznato da je kvalitativna analiza negde ranije sprovedena i za neprizmatične kanale. Izvodjenje praktičnog zaključka iz analize takodje je retko. Rad Lija (lit. 19) daje takav zaključak, ali samo za prizmatične pravougaone i trougaone kanale. Ima izvesne razlike izmedju njegovih i ovde iznetih zaključaka, ali to nema bitnog praktičnog značaja. Razlika je nastala jer je ovde izabran originalni put za sprovodjenje analize.





$$\Gamma = \frac{Z_u}{A_o/B_o}$$

$$F_o = \frac{Q_o^2\,B_o}{g\,A_o^3}$$

$$M = \frac{b_o}{B_o}$$

$$1-N = \frac{b_u}{b_o}$$

Za $\frac{1}{2} < N < 1$ primeniti linearnu interpolaciju

Za $N < \frac{1}{2}$ primeniti linearnu ekstrapolaciju

Pri $\Gamma < \Gamma_k$ ne može doći do burnog tečenja ako je uzvodnim uslovima obezbeđeno

$F_o \leqq 1$

Sl.4-3. ODREĐIVANJE KRITIČNOG PADA DNA SABIRNOG KANALA

4.4. Uslov za neprekidan porast poprečnog preseka nizvodnim smerom

Za praksu može biti interesantan i kriterijum da li će duž sabirnog kanala proticajni poprečni preseci neprekidno rasti, neprekidno opadati, ili rasti pa opadati. Naime, interesantno je unapred kvalitativno odrediti kome slučaju sa sl. 4-2 odgovara zadati problem. Iz sl. 4-2 lako se zaključuje sledeće:

Jedino ako je dno horizontalno, a kanal prizmatičan, može doći do neprekidno opadanja proticajnog poprečnog preseka duž kanala. To su primeri pokazani u odeljku 5.1 i prikazani sl. 5-1, a odnose se na slučajeve 1. i 5. sa sl. 4-2.

Čim nije ispunjen prethodni uslov, poprečni presek u početku raste, jer (3-44) za $X = 0$ daje:

$$\frac{dY}{dX}(0) = \frac{\Gamma - \partial\Omega/\partial X}{\partial\Omega/\partial Y} > 0$$

(3-38) pokazuje da je uvek $\partial\Omega/\partial X < 0$, pretpostavlja se da je kanal nagnut u nizvodnom smeru, odnosno da je $\Gamma > 0$, a

(3-39) pokazuje da je $\frac{\partial \Omega}{\partial X} = Б$ što je veće od nule.

Poprečni presek počinje sa porastom i sada nastaju dve mogućnosti: ili će nep ekidno rasti sve do nizvodnog kraja kanala mogućnosti, ili će posle porasta doći do opadanja, tj. poprečni presej dobiće maksimalnu vrednost negde unutar kanala. U prvu grupu spadaju slučajevi 2/2., 3. i 7. sa sl. 4-2, dok u drugu grupu ulaze 2/1. i 6.

Maksimalna vrednost proticajnog preseka neće se ostvariti na nizvod nom kraju, tj. biće i vrednosti $Y > 1$ ako je, prema sl. 4-2:

$$Y_n\ (1) > 1 \qquad (4-26)$$

Granična vrednost $Y_n(1) = 1$ biće uvrštena u (4-3), uz $X = 1$ i

$$-\frac{\partial \Omega}{\partial X} = \frac{2MN}{1-M^2}(1-M) = \frac{2MN}{1+M}$$

jer za ove uslove $Б = \beta = 1$ pa (3-37) daje napisano.

Sa ovakvim vrednostima (4-3) daje:

$$\Gamma_m = 2F_o - \frac{2MN}{1+M} \qquad (4-27)$$

Za pravougaoni kanal, $M = 1$ prethodni izraz je još prostiji:

$$\Gamma_m = 2F_o - N \qquad (4-28)$$

Za prizmatične kanale, posle razumljivo, otpada drugi član u (4-27), odnosno (4-28).

Uz Γ upisan je indeks "m" da bi se označilo da se radi o posebnoj vrednosti za Γ. Može se napisati

$$\text{za} \quad \Gamma > \Gamma_m \qquad Y_{max} = Y(1) = 1$$

$$(4-29)$$

$$\text{tj.} \quad Y < 1 \qquad \text{za} \quad 0 < X < 1$$

* * *

Malo pre, u odeljku 4.3, uzeti primeri pokazuju sledeće:

a) Sa datim vrednostima jednačina (4-27) daje:

$$\Gamma_m = 2 \cdot 0,286 - \frac{2 \cdot 0,462 \cdot 0,25o}{1 + 0,462} = 0,41$$

Kako je projektovano $\Gamma = 0.971$, ovo znači da je ostvareno napisano pod (4-29), i Prilozi 5.1 i 5.4 i pokazuju neprekidan porast poprečnog preseka duž kanala. To je primer za slučaj 2/2 sa sl. 4-2.

b/ Ovde se ne ostvaruje (4-29) i nastaje slučaj

2/1. sa sl. 4-2, jer pad dat sa

$$\Gamma = 0.63$$

nije dovoljno velik da bi premašio graničnu vrednost Γ_m koja za ovaj slučaj, shodno (4-27) iznosi:

$$\Gamma_m = 2 \cdot 0.6 = 1.2$$

c/ Ovde je:

$$\Gamma_m = 2$$

odnosno

$$\Gamma_m = \Gamma_k$$

tj. svi pravougaoni prizmatični kanali sa $F_o = 1$ ne ostvaruju uslov (4-29), nego se uvek javlja neki maksimalni poprečni presek veći od nizvodnog. Jedino može da nastupi neprekidan porast poprečnog preseka za poseban slučaj:

$$\Gamma = \Gamma_k = 2$$

Ovo se lepo vidi na sl. 5-6, gde je dato rešenje za ove kanale. Naime, za $0 < \Gamma < 2$ tečenje pripada slučaju 6, za $\Gamma = 0$ slučaju 5., a za $\Gamma = 2$ slučaju 7. sa sl. 4-2.

5.

Kvantitativna analiza. Metode proračuna sa primerima njihove primene

5.1. Tačno rešenje

Diferencijalna jednačina tečenja u sabirnom kanalu, bilo kako se ona napisala, integrabilna je samo za prizmatične kanale i horizontalno dno. Prema ovde primenjivanim oznakama, to su slučajevi kod kojih je: $N = 0$ i $\Gamma = 0$. Nažalost, ti slučajevi se vrlo retko ostvaruju u praktičnoj primeni, ali su često eksperimentalno izučavani – verovatno zbog mogućnosti vrlo prostog uporedjenja izmedju računskog i eksperimentalnog rezultata.

Ranije napisana jednačina (3-52) važi za prizmatične kanale, i ako se u nju unese još i $\Gamma = 0$ važiće za slučajeve za koje je, kako je rečeno, diferencijalna jednačina integrabilna. Naime, dobija se:

$$d\left(\Psi + F_o \frac{X^2}{Y}\right) = 0 \qquad (5\text{-}1)$$

ili

$$\Psi + F_o \frac{X^2}{Y} = const \qquad (5\text{-}2)$$

Konstanta se eliminiše graničnim uslovom:

za $X = 1$ $\qquad Y = 1$ i $\psi = \psi(1) = \psi_o$ (5-3)

$\psi(1)$ može se sračunati iz (3-5) stavljajući) $Y = 1$. Za pravougaono korito prema (3 - 57), je

$$\psi_o = \psi(1) = \frac{1}{2} \tag{5-4}$$

Korišćenjem graničnog uslova (5-3), (5-2) se može se napisati:

$$\psi + F_o \frac{X^2}{Y} = \psi_o + F_o \tag{5-5}$$

Kako je ψ , prema (3-56), funkcija isključivo od Y , uz konstantan parametar M , može se za dato Y sračunati ψ , i kako je desna strana konstanta, lako se odredi X . Na taj način dolazi se do rešenja funkcije $X = X(Y)$, pa se može nacrtati i $Y = Y(X)$ tj. poprečni presek u funkciji rastojanja, a to je traženo rešenje.

Za pravougaoni kanal, staviće se (5-4), a za ψ uneće se (3-57), pa se, umesto (5-5) dobija vrlo prost izraz:

$$\frac{1}{2} Y^2 + F_o \frac{X^2}{Y} = F_o + \frac{1}{2} \tag{5-6}$$

Uzeće se, kao primer, pravougaoni kanal sa $F_o = \frac{1}{2}$

Prethodna jednačina daje ovakvo rešenje:

$$\frac{1}{2}\left(Y^2+\frac{X^2}{Y}\right)=1 \tag{5-7}$$

što se ne može izraziti eksplicitno po Y, ali se može po X, pa se tako mogu sračunati vrednosti za X, za odredjene vrednosti Y. Tako je i postupljeno i rezultat je prikazan na sl. 5-1.

Pravougaoni kanal sa $F_o = 1$ dao bi ovakvo rešenje:

$$\frac{1}{2}Y^2+\frac{X^2}{Y}=\frac{3}{2} \tag{5-8}$$

koje je takodje prikazano na sl. 5-1.

Ako se sračuna dX/dY za nizvodni presek (tj. za $X=Y=1$) dobija se, za primer odredjen sa (5-7)

$$dX/dY=-1/2$$

dok se za primer izražen sa (5-8) dobija:

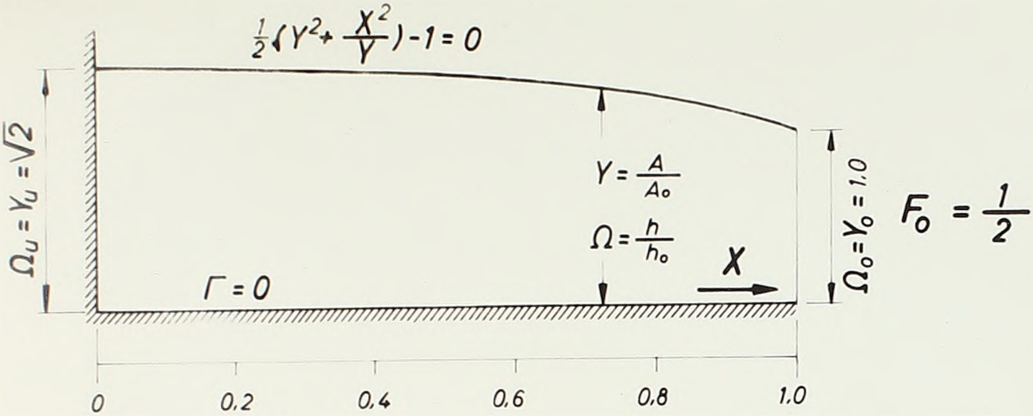
$$dX/dY=0$$

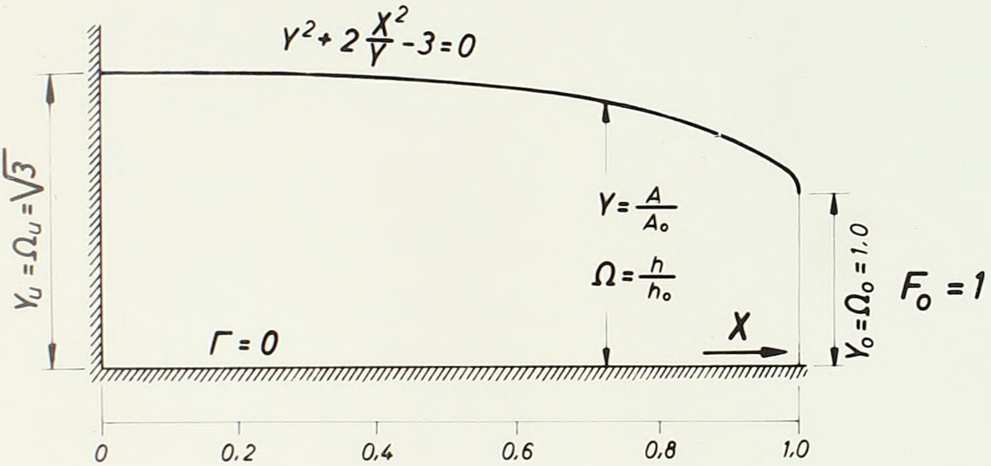
što znači da se za $F_o = 1/2$ i uopšte za svaki $0<F_o<1$ dobija konačna i negativna vrednost za dY/dX, dok se za $F_o=1$ dobija beskonačna vrednost, što je potpuno u skladu za sprovedenom kvalitativnom analizom. Prethodni primeri već su pomenuti i naznačeno je da oni ulaze u slučajeve 1., odnosno 5., na sl. 4-2.

Za trougaono korito račun bi bio isto tako prost kao i za pokazane primere pravougaonog, dok bi za trapezno bio nešto komplikovaniji. Medjutim, u Prilogu 5.2, date su vrednosti funkcije ψ pa se i tada odabirajući nekoliko vrednosti za Y, lako dobijaju odgovarajuće vrednosti za X .

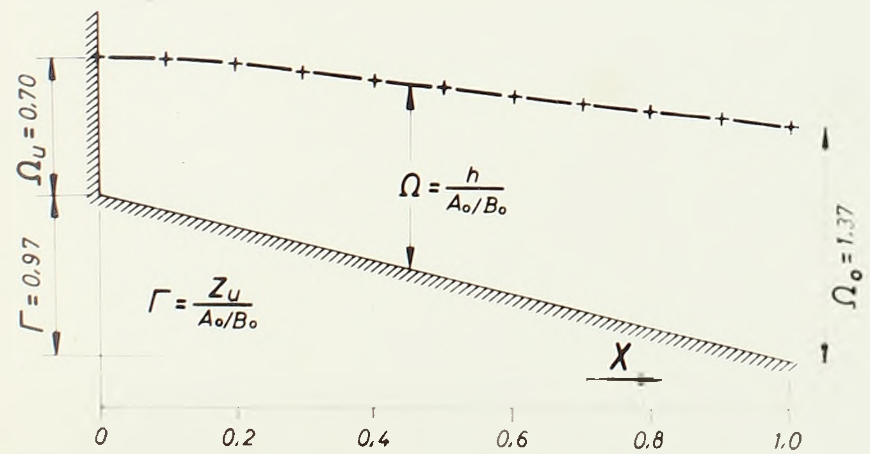
* * *

Medju prve radove iz oblasti sabirnih kanala spadaju radovi čiji su autori Favre (lit. 5) i De Marchi (lit . 3) i oni su se uglavnom odnosili na slučajeve gde je jednačina integrabilna, tj. kada je kanal prizmatičan sa horizontalnim dnom. Interesantno je primetiti da je De Marchi pokušao da takvo rešenje primeni i na ostale slučajeve navodeći da pad dna kompenzira trenje u kanalu. Takva konstatacija, medjutim, teško se može prihvatiti, jer se sabirni kanali projektuju obično sa velikim padom. Rad Favra je interesantan zbog toga što je eksperimentalno proverio rešenje za pravougaoni kanal, i to za slučaj kada sabirni kanal prima niz normalno na njega usmerenih priključaka sa istim proticajem. Eksperimenti se dobro slažu sa analitičkim rešenjem, iako se ne radi o kontinualnom, nego i diskontinualnom priticanju.





Sl. 5.1. DUBINE DUŽ SABIRNOG PRAVOUGAONOG PRIZMATIČNOG KANALA SA HORIZONTALNIM DNOM



Sl. 5.3. GRAFIČKI PRIKAZ RAČUNA
Primer sa priloga 5.1. i 5.4.

5.2. Metoda podele na računske deonice uz proračun postepenim približavanjem

Sem izuzetnih slučajeva, razmotrenih u prethodnom odeljku, diferencijalna jednačina tečenja u sabirnom kanalu nije neposredno integrabilna i mora se rešavati uobičajenim načinom, prelaskom sa beskonačnih na konačne priraštaje, da kojima je onda moguće numeričko rešenje pojedinog primera. Za takav račun ima niz postupaka, navedenih u radovima iz priloženog spiska literature, a medjusobno se razlikuju u tome što se jednačina prethodno dovede na onaj oblik koji se smatra najpogodniji za račun. Često puta je to samo ubedjenje onoga koji preporučuje odredjeni način računa, kao i onoga koji to prihvata, jer će drugom izgledati da je pogodnije računati po drugom obliku jednačine. Treba naglasiti da se načelno radi samo o drugom obliku jednačine, jer je suštinski to uvek ista jednačina, samo su jedne veličine zamenjene drugima (računa se sa dubinama pa su poprečni preseci odredjeni dubinama, ili obratno računa se sa poprečnim presecima, ili računa se sa proticajima, a ne sa brzinama i sl.). Jasno je da je tačnost računa veća ako se uzmu manji priraštaji, ali je tada račun duži. Nužno je stoga praktično iskustvo za izbor priraštaja da bi se dobila za praktične potrebe dovoljna tačnost uz što je moguće kraći račun.

Ako se računa jedan odredjeni konkretni slučaj, može se primeniti jednačina (3-42) sa konačnim priraštajima:

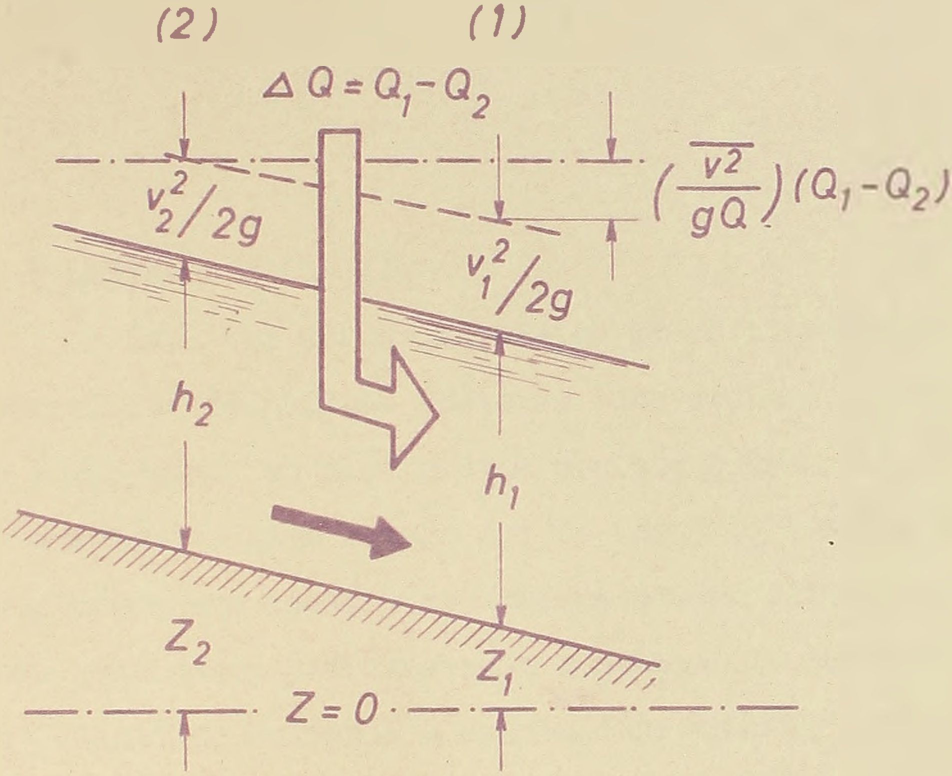
$$\Delta Z + \Delta\left(h + \frac{v^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{gQ}\,\Delta Q \qquad (5-9)$$

Po ovoj jednačini računa se sa konačnim priraštajem ΔQ , što znači za priraštaj dužine kanala ΔL , jer je:

$$\Delta Q = q\,\Delta L \qquad (5-1o)$$

Kako se račun namenjuje mirnom tečenju u sabirnom kanalu, smer računa je uzvodni, a polazi se od poznatih vrednosti za nizvodni presek koje su hidraulički usklađjene sa nizvodnim uslovima oticanja. Uvek se na osnovu poznatih i već sračunatih veličina za jedan presek, računaju veličine za presek nešto uzvodniji od prvoga. Na sl. 5-2 računa se presek "2" na osnovu poznatih elemenata preseka "1". Prema tome, za jedan "korak" računa jednačine (5-9) postaje:

$$Z_2 - Z_1 = \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right) + \left(\overline{\frac{v^2}{gQ}}\right)(Q_1 - Q_2) \qquad (5-11)$$



Slika 5.2.

U jednačini (5-11) poznati su: h_1 , v_1 , Z_1 , Z_2 i $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ jer je presek "1" već utvrđjen, a zna se položaj dna u preseku "2" i priraštaj proticaja ΔQ . Elementi preseka "2" ne mogu se sračunati direktno nego postepenim približavanjem, dok se ne zadovolji jednačina. Pretpostavljajući h_2 , za njega se odmah sračuna poprečni presek A_2 , i potom i brzina $v_2 = Q_2/A_2$. U poslednjem članu uzme se srednja vrednost za dva granična preseka tj.

$$\left(\frac{\overline{v^2}}{gQ}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{v_1^2}{gQ_1} + \frac{v_2^2}{gQ_2}\right) \qquad (5-12)$$

kako je i napisano u (5-11).

Sa dva, tri pokušaja može se utvrditi vrednost za koja zadovoljava jednačinu. Pošto se tako sračuna presek "2", on u sledećem "koraku" računa postaje presek "1", pa se sračuna njemu uzvodniji i tako sve do uzvodnog kanala. Metodika ovog proračuna spada u uobičajene hidrauličke proračune na osnovu postepenog približavanja i potpuno je ista kao i račun nejednolikog kretanja u kanalu (bez usputne promene proticaja). Zbog toga je ovaj način za preporuku, jer se posao obavlja sa uobičajenim hidrauličkim veličinama, odmah se uvidja kojim putem treba usmeriti približavanje, lako se uvidja stepen tačnosti računa, račun je lako proveriti, rezultati se mogu odmah prikazati. Podelom sabirnog kanala na deset deonica, odnosno sa deset konačnih priraštaja, dobiće se skoro uvek dovoljna tačnost za praktične potrebe. Treba napomenuti da za ovaj način ne postoje nikakva ograničenja: kanal može biti proizvoljnog oblika, pad dna može biti promenljiv, priticaj ne mora biti ravnomeran, nego se samo mora znati kako je rasporedjen dužinom kanala.

Izrazom (5-12) data je srednja vrednost za veličinu koja se menja unutar jedne računske deonice. Pri objašnjavanju računskog postupka, autori ne daju isti način osrednjavanja. Bez obzira sa kojim se veličinama sprovodila integracija (već je rečeno da je to stvar izbora), razlika u načinu osrednjavanja može se pokazati i u ovde usvojenom postupku - naime, umesto leve strane (5-12) mogu se uzeti:

$$\frac{(\overline{v})^2}{g\overline{Q}} \quad \text{ili} \quad \frac{\overline{v^2}}{g\overline{Q}}$$

gde je:

$$\overline{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$$

$$\overline{v^2} = \frac{1}{2}(v_1^2 + v_2^2)$$

$$\overline{Q} = \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)$$

tj. može se uzeti srednja vrednost brzine $\overline{v}$, pa ona kvadrirati, ili se uzme srednja vrednost kvadrata brzine $\overline{v^2}$, pa se uz srednju vrednost proticaja $\overline{Q}$ unesu u izraz. U (5-12) izabran je način osrednjavanja koji je, sa matematskog stanovišta najprihvatljiviji - to je integracija gde se kriva linija zameni sečicama, pa se integriše sabirajući površine trapeza.

* * *

Ista metoda može se primeniti i na račun sa bezdimenzionalnim veličinama. Tada se primenjuje jednačina (3-43) koja je u stvari drugi način pisanja malo pre uzete jednačine (3-42). (3-43) napisana u konačnim priraštajima glasi:

$$\Gamma \Delta X = \Delta\left(\Omega + \frac{1}{2} F_o \frac{X^2}{Y^2}\right) + F_o\left(\overline{\frac{X}{Y^2}}\right) \Delta X \tag{5-13}$$

gde je: $\Delta X = X_1 - X_2$

$$\Delta\left(\Omega + \frac{1}{2} F_o \cdot \frac{X^2}{Y^2}\right) =$$

$$= \left(\Omega + \frac{1}{2} F_o \frac{X^2}{Y^2}\right)_1 - \left(\Omega + \frac{1}{2} F_o \frac{X^2}{Y^2}\right)_2$$

pa se opet indeksi "1" i "2" odnose na nizvodni, odnosno uzvodni presek jedne računske deonice kanala.

Uz prethodnu jednačinu upotrebljavaće se i (3-27) kombinovana sa (3-17), da bi se izrazilo Ω u funkciji Y i β :

$$\Omega = \frac{2}{1-M^2} \sqrt{Y(1-M^2) + M^2 \beta^2} \tag{5-14}$$

$$\beta = 1 - N + NX \tag{5-15}$$

Može se, radi kraćeg pisanja, uvesti i:

$$\varepsilon = \Omega + \frac{1}{2} F_o \frac{X^2}{Y^2} \tag{5-16}$$

pa se, umesto (5-13), može napisati:

$$\Gamma \Delta X = \Delta \varepsilon + F_o\left(\overline{\frac{X}{Y^2}}\right) \Delta X \tag{5-17}$$

Račun se sprovodi na već opisani način. Ovde se pretpostavlja Y , čime je uslovljeno i Ω , jer je β

uvek poznato. Svaka računska deonica računa se postepenim približavanjem sve dotle dok se ne zadovolji jednačina (5-17).

* * *

Na prilogu 5.1. dat je jedan primer proračuna. Uzet je već korišćeni primer a) iz odeljka 4.3 i 4.4. Isti primer sračunat je i elektronskom računskom, kao jedan od primera uz odeljak teksta pod 5.4., i priložen, kao Prilog 5.4. Uporedjenjem oba računa vidi se da neslaganje nastaje tek na trećoj decimali. Na sl. 5-3 dat je i grafički prikaz tog računa. Primer je iz prakse - to je sabirni kanal uz bočni preliv brane Vodoča, koji je modelski ispitan (lit.). Karakteristične veličine tog objekta su ove:

a) Proticaj.................. ...Q_o = 14o m^3/s

b/ Dužina sabirnog kanala ......L_o = 44 m

c/ Elementi nizvodnog preseka:

- širina dna ....b_o = 4.o m
- dubina vode ....h_o = 6.2 m
- širina vodene površine ....B_o = 8.65 m
- poprečni presek ....A_o = 39.2 m^2

d/ Širina dna uzvodnog preseka b_u = 3.0 m

e/ Razlike kote dna uzvodnog i nizvodnog kraja ....Z_u = 4.4 m

I. Modelska ispitivanja dala su sledeće:

Pošto su nizvodni uslovi oticanja odredili nizvodni presek kanala sa elementima datim pod c), na rastojanjima o, 11, 22, 33 i 44 m od uzvodnog kraja uspostavile su se dubine:

$X = L/L_o$	1.o	o.75	o.5	o.25	o
h	6.2	5.6	4.9	4.4	3.5 m

II. Račun sa istim nizvodnim presekom, odnosno sa istim graničnim uslovom dat je Prilogom 5.1, jer su za dati slučaj karakteristični parametri:

$A_o/B_o = 4{,}53$ m $\qquad M = b_o/B_o = o.462$

$N = 1 - b_u/b_o = o.25$

$$F_o = \frac{1}{g}\left(\frac{Q}{A_o}\right)^2 \frac{B}{A_o} = o.286 \qquad \Gamma = \frac{Z_u B_o}{A_o}\ o.971$$

sa kojima je račun i sproveden.

III. Uporedjenje računa i modelskih rezultata je sledeće:

$X = L/L_o$	1	o.75	o.5	o.25	o	
$\Omega = \frac{hB_o}{A_o}$	1.37 1.37	o1.25 1.24	1.1o 1.o8	o.98 o.97	o.8o o.77	račun model

5.3. Grafička integracija

Za odredjivanje poprečnih preseka, odnosno dubina, duž sabirnog kanala, ovaj rad prilaže i originalnu grafičku metodu koja se može primeniti na prizmatične kanale.

Osnova grafičke metode je jednačina (3-52) koja se može napisati u sledećem vidu:

$$\Gamma Y \, dX = d\phi \tag{5-18}$$

gde je:

$$\phi = \Psi + F_o \frac{X^2}{Y} \tag{5-19}$$

ϕ je, prema tome, bezdimenzionalni izraz za silu u preseku ako se pod pojmom podrazumeva zbir sile pritiska i inercijalne sile u preseku, kako je navedeno iza jednačine (3-5o), pa je ϕ u stvari:

$$\phi = \frac{B_o}{A_o^2} \left(S + \frac{Q^2}{gA} \right) \tag{5-2o}$$

(5-18) napisana sa konačnim priraštajima glasi:

$$\Gamma \bar{Y} \Delta X = \Delta \phi \tag{5-21}$$

gde je:

$$\Delta X = X_1 - X_2$$

$$\Delta \phi = \phi(X_1) - \phi(X_2)$$

$$\overline{Y} = \frac{1}{2}\left[Y(X_1) + (X_2)\right]$$

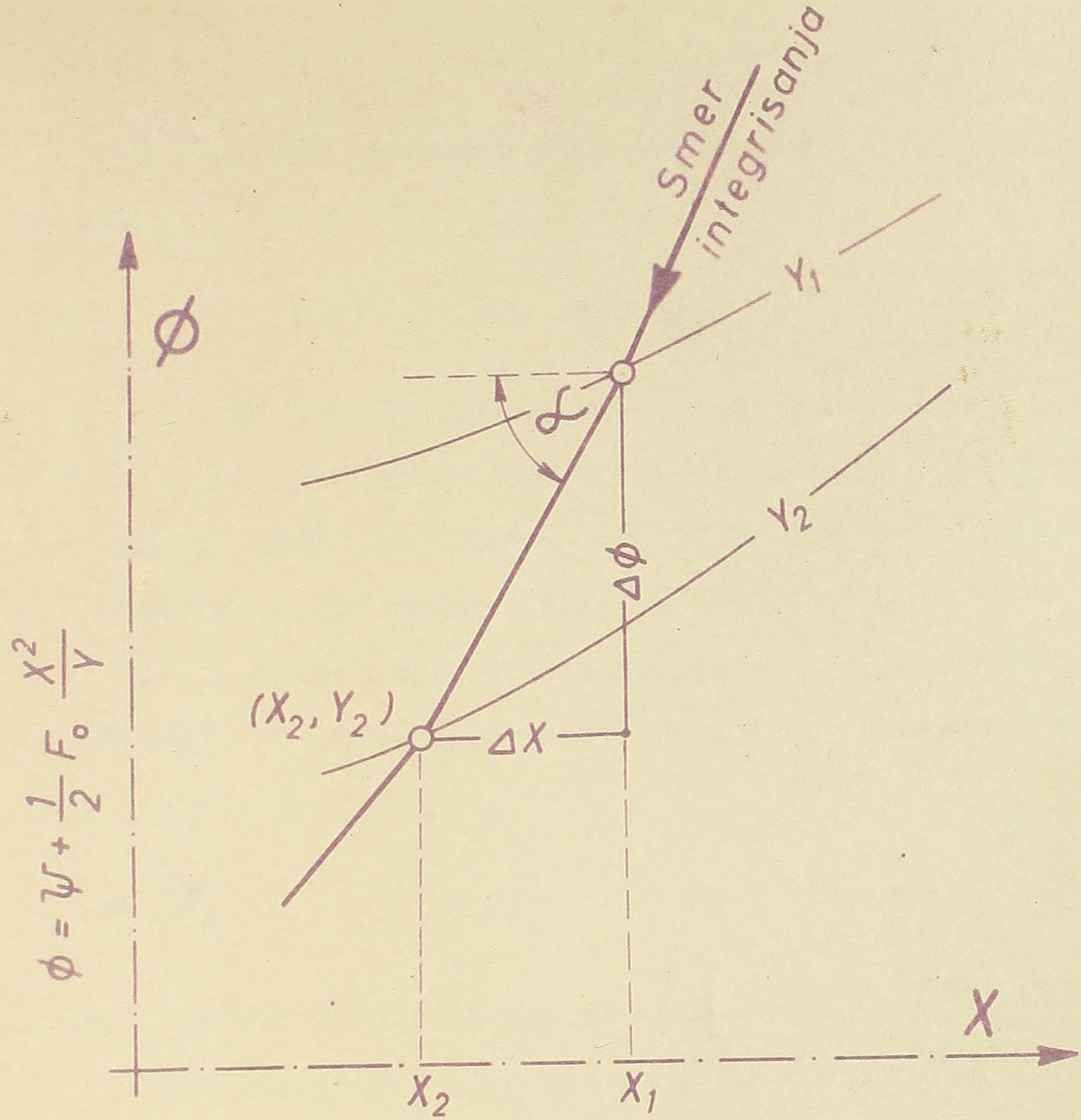
ϕ , odredjen jednačinom (5-19), je funkcija od X i Y, jer je, Ψ , prema (3-56), funkcija od Ψ i M, a M je konstanta za zadati pojedinačni primer. Prema tome, može se grafički prikazati:

$$\phi = \phi(X, Y) \tag{5 - 22}$$

U koordinatnom sistemu (X, ϕ) sa familijom krivih linija, od kojih svaka odgovara odredjenoj vrednosti za Y, može se grafički prikazati funkcija data prethodnim izrazom. Na sl. 5-4 prikazana je grafička metoda, ona je razmerno prosta, jer se jednostavno mora zadovoljiti jednačina (5-21), ponovno napisana na samoj slici.

Uz priloženi postupak treba navesti sledeće:

a/ Vrednosti za Ψ daju se na Prilogu 5.2. Time se otklanja malo komplikovaniji račun po (3-56). Za medjuvrednosti M može se primeniti linearna interpolacija. Tako se vrlo brzo može nacrtati niz krivih linija, za razne vrednosti Y u koordinatnom sistemu (X, ϕ) .



$$\Delta\phi = tg\,\alpha\,\Delta X$$

$$tg\,\alpha = \Gamma\,\overline{Y}$$

$$\Delta\phi = \Gamma\,\overline{Y}\,\Delta X$$

$$\overline{Y} = \frac{1}{2}\left(Y_1 + Y_2\right)$$

Slika 5.4.

b/ Grafički postupak počinje zadovoljenjem graničnog uslova:

za $X = 1$: $Y = 1$ i $\phi = \Psi(1) + F_o$

c/ ϕ dostiže maksimalnu vrednost za $X = 1$, ako je $\Gamma > 0$, što je redovan slučaj. Idući uzvodno ϕ opada odnosno uvek je $\Delta\phi$ negativan, ali je i ΔX negativan, jer se računa navodnim smerom (vidi sl. 5-4).

d/ Jednačina (4-27) primenjena na prizmatične kanale $(N = 0)$ i kriterijum (4-29) mogu imati praktičan interes, jer ako je

$$\Gamma > 2F_o \qquad \text{biće} \qquad Y_{max} = Y(1) = 1$$

pa ne treba uopšte crtati linije za $Y > 1$.

Ako taj uslov nije ispunjen, dolazi odmah u početku integracije do porasta Y, (uzvodnim smerom poprečni preseci rastu).

e/ Linije za odredjene vrednosti Y-a mogu se postepeno dodavati, kako zahteva proračun i time se izbegava nepotrebno i suvišno računanje.

* * *

Prvi primer - sl. 5-5.

Uz prikazanu grafičku integraciju dato je i uporedjenje sa proračunom istog primera elektronskom računskom mašinom. Vidi se da je slaganje posve zadovoljavajuće.

Ovaj primer uzet je iz ranijeg autorovog rada (lit. 9)gde je dato opšte (tipsko) rešenje evakuacije velikih voda iz manjih akumulacija, a primer je proračun sabirnog kanala u koga voda preliva preko njegovog boka. Opšte rešenje tamo je dato tako što je osnovna veličina (jedinica, baza za uporedjenje) širina dna b_0 sabirnog kanala, a ostale veličine izražavaju se u odnosu na nju. Ostale važnije karakteristike toga rešenja daće se ukratko u produžetku.

a) Nizvodni presek sabirnog kanala hidraulički je uskladjen sa nizvodnim uslovima na sledeći način: iza sabirnog kanala je kanalska deonica (tamo nazvana "prelazna") koja završava sa hidraulički merodavnim (kontrolnim) presekom u kome se uspostavlja kritična dubina, jer iza njega počinje brzotok za odvodjenje ka donjoj vodi. Prema tome, nizvodni presek sabirnog kanala izabran je tako da se energetski uskladio sa navedenim merodavnim presekom.

b) Elementi nizvodnog preseka sabirnog kanala su ovi:

- širina dna . . . . b_o
- dubina . . . . $h_o = 0.50\, b_o$
- širina vodene površine . . . . $B_o = 1.46\, b_o$
- proticajni presek. . . . . $A_o = 0.615\, b_o^2$
- proticaj . . . . $Q_o = 0.31 \sqrt{g\, b_o^5}$

c) Uzvodni presek ima istu širinu dna, odnosno kanal je prizmatičan . . . . $b_u = b_o$

d) Dužina sabirnog kanala je $L_o = 20/3\, b_o$

e) Nagibi bokova . . . . 4:1 (neprelivni)

3:2 (prelivni)

f) Visinska razlika dna na uzvodnom i nizvodnom preseku je...... $Z_u = 0.04\, L_o = 0.27\, b_o$

g) Navedeni elementi daju:

$$N = 1 - \frac{b_u}{b_o} = 0 \qquad M = \frac{b_o}{B_o} = 0.69$$

$$\Gamma = \frac{Z_u B_o}{A_o} = 0.63 \qquad F_o = \frac{1}{g} \left(\frac{Q}{A_o}\right)^2 \frac{B_o}{A_o} = 0.60$$

koliko je i uzeto na sl. 5-5.

h) Grafička integracija, kao krajnji rezultat, daje dubinu na uzvodnom kraju, izraženu bezdimenzionalno

$$\Omega_u = \frac{h_u B_o}{A_o} = 1.1o$$

Model koji je proverio rešenje dao je:

$$h_u = o.46\ b_o$$

čemu odgovara:

$$\Omega_u = \frac{h_u B_o}{A_o} = 1.o9$$

i) Interesantno je primetiti da, pored primene bočne prelive na nekoliko malih akumulacija, čemu je rad i namenjen, ovo rešenje primenjeno i za hidrauličko rešenje sabirnog kanala uz bočni preliv brane Gračanka (lit. 25), gde je proticaj Q_o = 4oo m^3/s, pa je širina dna sabirnog kanala b_o = 11,2, a njegova dužina L_o = 75 m. Po takvom rešenju objekat se realizuje na terenu.

* * *

<u>Drugi primer</u> - sl. 5-6.

To je ranije primer b) u odeljcima 4.3 i 4.4. Radi se o pravougaonom prizmatičnom kanalu, sa kritičnom dubinom na nizvodnom kraju $F_o = 1$. Grafička metoda omogućava dobijanje čitavog niza rezultata, varirajući vrednosti za Γ . Na taj način može se odabrati najprihvatljivije rešenje, sa stanovišta ekonomičnosti. Primer, sa $\Gamma = 0$, već je ranije sračunat - jednačina (5-3), grafički prikaz na donjem crtežu sl. 5-1. Slučaj sa $\Gamma = 0.6$, primera radi, kontrolisan je elektronskom računskom mašinom i slaganje je dobro. Isti primer razmatran je kao Treći primer u ranijoj publikaciji autora (lit. 10) i uporedjenje tamošnjeg i ovog računa pokazuje sledeće:

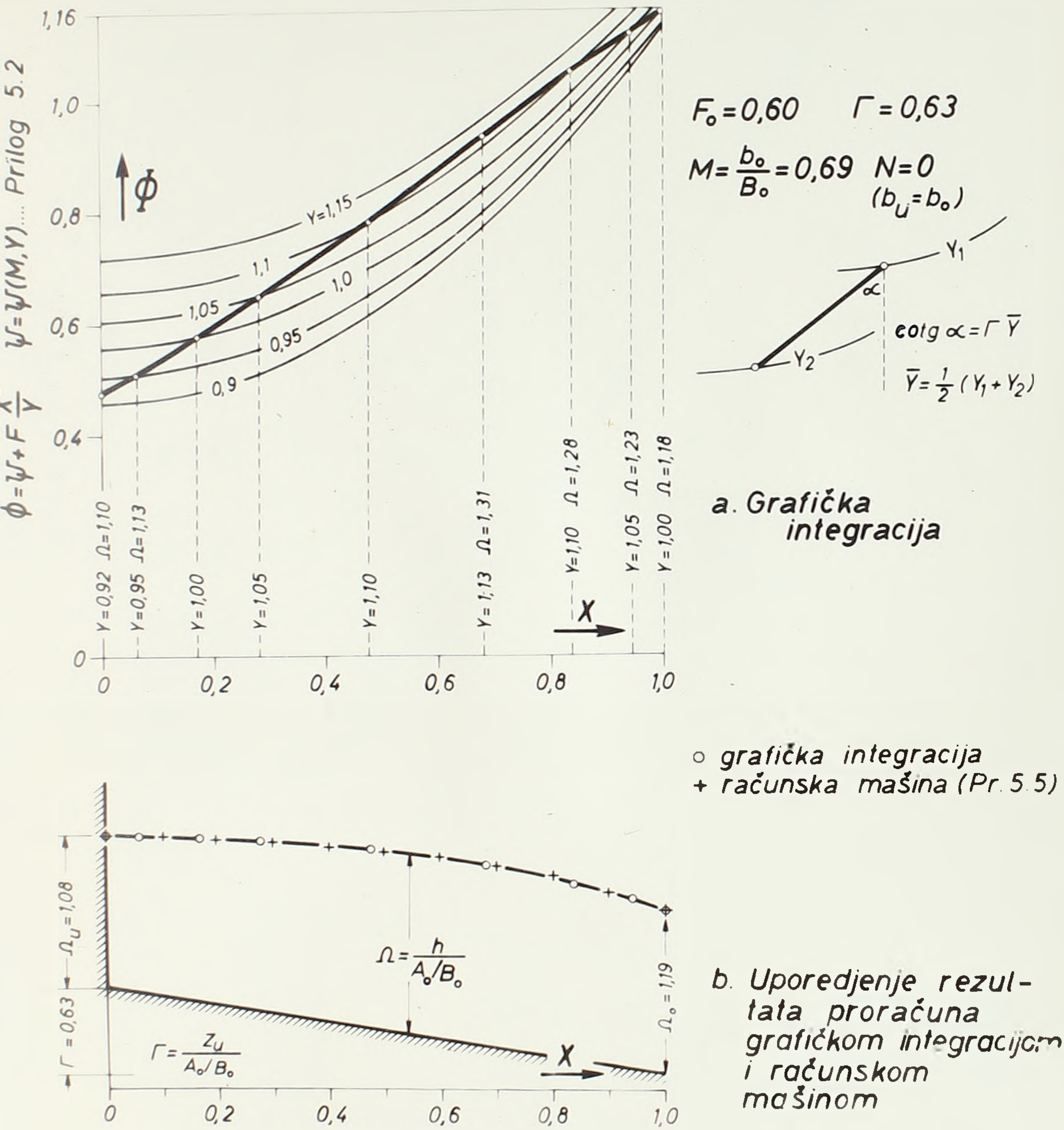
x_u	o.59	o.6o	o.7o	o.72	o.8o	o.87	1.oo	1.o4
Γ	1.4o	1.37	1.21	1.2o	1.o6	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		*	*		*		*	

(Zvezdicom su obeleženi rezultati iz ranije publikacije, dok su bez oznake rezultati sa sl. 5-6. ovog rada).

U ranijoj publikaciji navedeno je da se time razmatra sabirni kanal ispod vodozahvata na dnu ("tirolski" ili "alpski" vodozahvat). Medjutim, u praksi se ovakvo rešenje može primeniti i na sabirnim kanalima projektovanim i u drugu svrhu.

* * *

Grafička metoda može se primeniti i za prizmatičan kanal od koga pad dna nije konstantan - samo bi se saobrazno sa promenom pada, menjao i Γ .

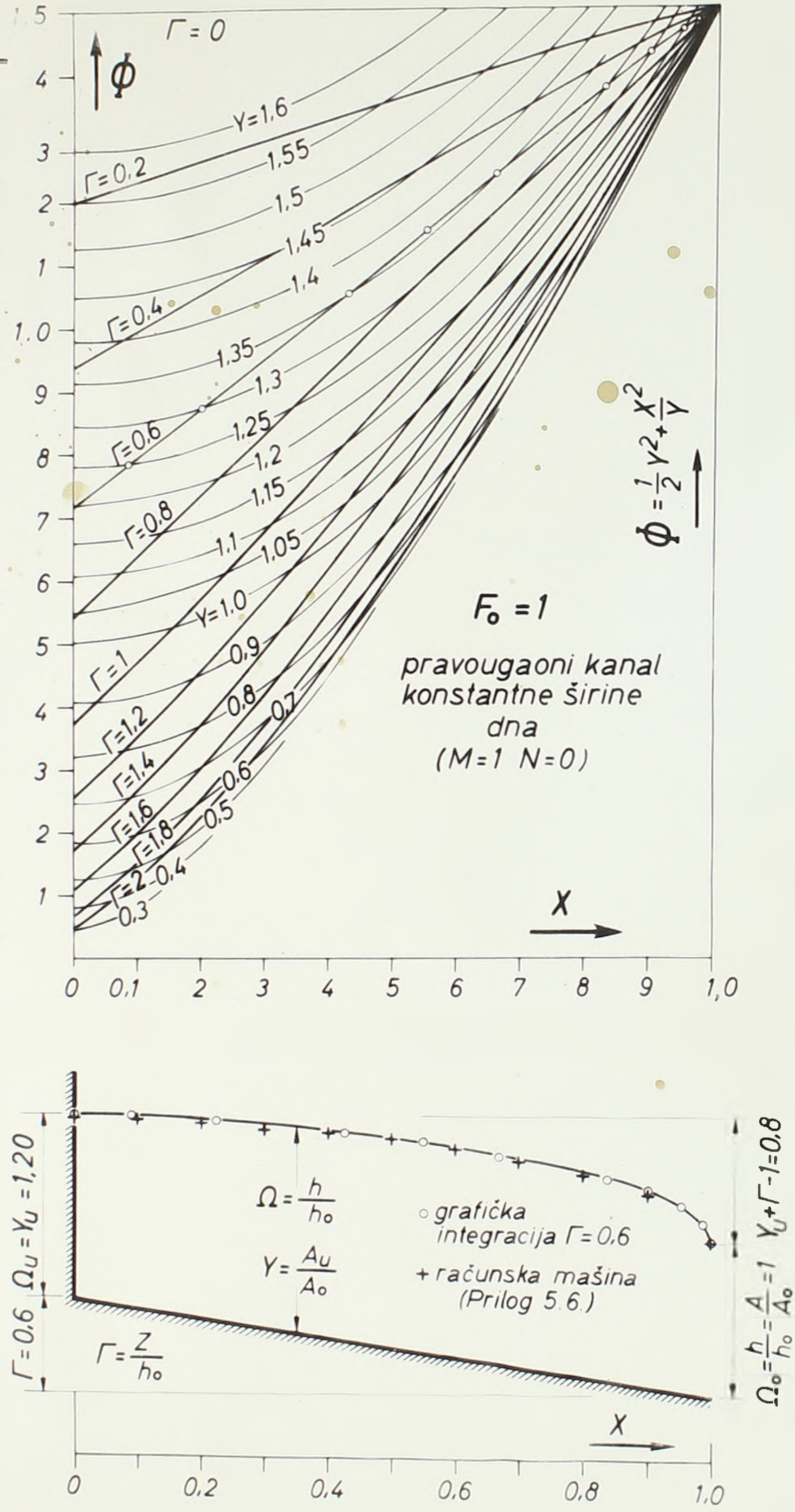


Sl. 5-5. I. PRIMER PRORAČUNA GRAFIČKOM INTEGRACIJOM

$Y(o) = Y_u = \frac{A_u}{A_o} = \frac{h_u}{h_o} = \Omega_u$

rezultati integracije

Y_u	Γ
1,73	0
1,55	0.2
1,37	0,4
1,20	0.6
1,04	0.8
0,87	1.0
0,72	1.2
0,59	1,4
0,47	1,6
0,37	1,8
0,30	2,0



Sl. 5-6. II PRIMER PRORAČUNA GRAFIČKOM INTEGRACIJOM

5.4. Račun elektronskom računskom mašinom

Za račun sabirnog kanala elektronskom digitalnom mašinom izradjen je program - Prilog 5.3. On koristi osnovnu diferencijalnu jednačinu, napisano sa bezdimenzionalnim veličinama, tj. jednačinu (3-45). Ulazni podaci za mašinu su parametri: N , M , F_o i Γ , koji se daju uz program za pojedinačni slučaj koji se predaje mašini na računanje. U program su stavljena upozorenja da za $M=1$ (pravougaoni kanal) mašina prihvata jednačinu (3-46), umesto (3-45), čime izbegava delenje nule sa nulom, odnosno upozorenje je dato iz istog razloga iz koga je napisano (3-46), pored (3-45). Takodje je za $M=0$, trougaoni kanal, kod koga je uvek $N=0$ stavljeno upozorenje da se izostavi poslednji član u brojitelju, jer bi u protivnom mašina, računajući njega, naišla na delenje sa nulom. Da ne bi bilo nikakve zabune, može se napomenuti da je brojitelj i imenitelj desne strane jednačine (3-45) prethodno pomnožen sa Y^3 i za takav oblik jednačine napravljen je program. U program je stavljen i granični uslov jednačine (3-45), tj. $Y(1)=1$. Mašina rešava diferencijalnu jednačinu standardnim dodatnim programom. Ostaje samo pitanje "koraka" u računu - on je, prema programu o.ol, odnosno ukupna dužina sabirnog kanala podeljena je na loo računskih deonica. Time se dobijaju rezultati sa dovoljno tačnosti, jer provere sa još manjim korakom daju rezultate koji se zanemarljivo razlikuju od onih sa usvojenim korakom.

Na Prilozima 5.4, 5.5 i 5.6 dati su rezultati koje je odštampala računska mašina. Vidi se da je podešeno da budu najpre ispisani parametri, a zatim tabelarno vrednosti za X i Ω (za poprečne preseke i dubinu) za X = 1.o o.9 o.8 ..... o.o. To je dovoljno za praktične potrebe.

Uz primere nije potreban nikakav komentar, jer su to oni već ranije sračunati drugom metodom: ili postepenim približavanjem (Prilog 5.4), ili grafičkom integracijom (5.5 i 5.6). Uz to su rezultati već i prikazani grafički - sl. 5-3. 5-5. i 5-6.

Mora se dodati da program ne dozvoljava računanje sa $F_o = 1$, jer to daje beskonačno veliki priraštaj na početku računa, za $X = Y = 1$, pa bi to omelo mašinu u računanju. Medjutim, ako se stavi $F_o =$ o,98 (što znači za svega 1% manji proticaj), mašina će dati prihvatljiv rezultat, što se vidi iz računa na Prilogu 5.6. i njegovog uporedjenja sa grafičkom integracijom na sl. 5-5.

5.5. Rešenje uz pretpostavku zavisnosti brzine od rastojanja po eksponencijalnom zakonu

U praksi se mnogo primenjivala metoda čija je suština da se unapred pretpostave brzine duž sabirnog kanala. Metoda potiče od Hindsa (lit. 11), on daje:

$$v = a\,L^{n} \qquad (5-23)$$

što znači brzinu u funkciji rastojanja po eksponencijalnom zakonu.

Ista metoda obradjena je u ranijoj publikaciji autora (lit. 8) i tamo je isti zakon napisan:

$$\frac{v}{v_o} = \left(\frac{L}{L_o}\right)^{n} \qquad (5-24)$$

tj. sa bezdimenzionalnim veličinama, jer je originalna Hindsova zakonitost (5-23) dimenzionalno nesredjena.

(5-24) može se napisati:

$$\frac{Q}{Q_o} \cdot \frac{A_o}{A} = \left(\frac{L}{L_o}\right)^{n}$$

ili, sa oznakama iz ovoga rada, koristeći osnovne bezdimenzionalne veličine, prema (3-6), (3-7) i (3-14):

$$Y = X^{1-n} \qquad (5-25)$$

Usvajanjem zakonitosti (5-24) mogu se sa odabranim elementi-za nizvodnog preseka odmah sračunati kote pijezometarske linije (kote nivoa vode) duž sabirnog kanala, jer se osnovna diferencijalna jednačina (3-4o) pošto se integriše od usvodnog do proizvoljnog preseka, može napisati:

$$\Pi - \Pi_u + \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{g}\int_0^L \frac{v^2}{g}\,\frac{dL}{L}$$

ili sa oznakom $\Delta\Pi$, prema sl. 3-1

$$\Delta\Pi = \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{g}\int_0^L \frac{v^2}{g}\,\frac{dL}{L}$$

$$\Delta\Pi = \frac{v_o^2}{2g}\left[\frac{v^2}{v_o^2} + 2\int_0^{L/L_o}\left(\frac{v}{v_o}\right)^2\left(\frac{L_o}{L}\right)d\left(\frac{L}{L_o}\right)\right]$$

Napisani izraz je integrabilan, a baš uvodjenje eksponencijalne zavisnosti brzine od rastojanja omogućava integrisanje, jer se korišćenjem (5-24) dobija:

$$\Delta\Pi = \frac{v_o^2}{2g}\left(\frac{L}{L_o}\right)^{2n}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

Ukupna denivelacija $\Delta\Pi_o$ u sabirnom kanalu, dobija se stavljanjem $L = L_o$ tj.

$$\Delta\Pi_o = \frac{v_o^2}{2g}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

pa se iz prethodna dva izraza dobija:

$$\frac{\Delta \Pi}{\Delta \Pi_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{2n} \qquad (5-26)$$

Ovaj odnos omogućava da se odmah nacrta linija nivoa duž kanala, jer se samo spušta sa $\Delta \Pi$ ispod nivoa na uzvodnom kraju. Dalje, jednačina (5-25) daje poprečne preseke, a iz njih se sračunaju dubine pa je tako odredjena i kota dna.

Primeri proračuna mogu se naći u nizu publikacija, počevši od originalnog rada Hindsa. I u ranijoj i već pomenutoj publikaciji autora (lit. 8) daje se jedan numerički primer.

Prednost metode je u tome što se odmah mogu sagledati primarne dimenzije kanala, odnosno poprečni preseci i njihov visinski smeštaj. Naime, do takvih rezultata dolazi se lako i brzo. Medjutim, mane metode su u sledećem: Izbor vrednosti za eksponent n , koja se mora unapred usvojiti, prepušta se iskustvu. Zatim, linija dna se dobija tek kao rezultat računa i ona je uvek kriva linija. Obično se ta linija posle aproksimira pravom linijom, pa se dobija konstantan pad dna, ili se nastoji da se pad barem ne menja mnogo puta duž kanala. Po usvajanju kota dna, račun se može prekontrolisati metodom postepenog približavanja (datoj pod 5.2). Uostalom sam autor metode, Hinds, to i savetuje.

Može se naglasiti da je načelna karakteristika metode u tome što se usvaja baš eksponencijalni zakon, a opravdanje je već dato: to je omogućilo sprovodjenje integrisanja.

Na kraju treba naglasiti da postoji prilično veliko iskustvo za rad po ovoj metodi, ona je dosta primenjivana, kao uopšte, tako i kod nas. U narednom poglavlju (6) daje se opšte rešenje sabirnog kanala, koje omogućava procenu primarnih dimenzija kanala bez ikakvog računa, odnosno čitanjem na grafikonu, čime je dobijeno ono što je navedeno kao prednost Hindsovog postupka. Jasno je da je to moglo uslediti posle čitavih serija integracija, koje su omogućile dobijanje opšteg rešenja. Bez toga, odnosno pre toga, Hindsova metoda bila je vrlo korisna, a sada nema jakih razloga da se ona i dalje naročito preporučuje.

PRIMER PRORAČUNA METODOM POSTEPENOG PRIBLIŽAVANJA

X	β	Y	Ω	$\frac{X}{Y^2}$	$\frac{F_0}{2}\cdot\frac{X^2}{Y^2}$	$\varepsilon = \Omega + \frac{F_0}{2}\frac{X^2}{Y^2}$	$\Delta\varepsilon$	$F_0\left(\overline{\frac{X}{Y^2}}\right)$	$\Delta\varepsilon + F_0\left(\overline{\frac{X}{Y^2}}\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.0	1.000	1.000	1.367	1.000	0.143	1.510			
0.9	0.975	0.930	1.314	1.040	0.134	1.148	0.062	0.029	0.091
0.9	0.975	0.920	1.304	1.060	0.137	1.441	0.069	0.029	0.098
0.9	0.975	0.922	1.306	1.059	0.136	1.442	0.068	0.029	0.097
0.8	0.950	0.860	1.255	1.081	0.124	1.379	0.063	0.031	0.094
0.8	0.950	0.850	1.243	1.107	0.127	1.370	0.072	0.031	0.103
0.8	0.950	0.858	1.250	1.087	0.124	1.374	0.068	0.031	0.099
0.8	0.950	0.859	1.252	1.084	0.124	1.376	0.066	0.031	0.097
0.7	0.925	0.800	1.204	1.094	0.110	1.314	0.062	0.031	0.093
0.7	0.925	0.790	1.194	1.122	0.112	1.306	0.070	0.032	0.102
0.7	0.925	0.795	1.199	1.108	0.111	1.310	0.066	0.031	0.097
0.6	0.900	0.740	1.151	1.095	0.094	1.245	0.065	0.032	0.097
0.5	0.875	0.690	1.108	1.050	0.075	1.183	0.062	0.031	0.093
0.5	0.875	0.680	1.098	1.080	0.077	1.175	0.070	0.031	0.101
0.5	0.875	0.685	1.103	1.066	0.076	1.179	0.066	0.031	0.097
0.4	0.850	0.630	1.049	1.008	0.058	1.107	0.072	0.030	0.102
0.4	0.850	0.640	1.062	0.976	0.056	1.118	0.061	0.029	0.090
0.4	0.850	0.634	1.054	0.995	0.057	1.111	0.068	0.029	0.097
0.3	0.825	0.580	1.001	0.893	0.038	1.039	0.072	0.027	0.099
0.3	0.825	0.590	1.014	0.862	0.037	1.051	0.060	0.027	0.087
0.3	0.825	0.582	1.006	0.885	0.038	1.044	0.067	0.027	0.094
0.3	0.825	0.581	1.003	0.888	0.038	1.041	0.070	0.027	0.097
0.2	0.800	0.530	0.950	0.712	0.020	0.970	0.071	0.023	0.094
0.2	0.800	0.520	0.935	0.741	0.021	0.956	0.085	0.023	0.108
0.2	0.800	0.528	0.947	0.717	0.020	0.967	0.074	0.023	0.097
0.1	0.775	0.470	0.884	0.452	0.006	0.890	0.077	0.017	0.094
0.1	0.775	0.460	0.869	0.472	0.007	0.876	0.091	0.017	0.108
0.1	0.775	0.468	0.880	0.457	0.007	0.887	0.080	0.017	0.097
0.0	0.750	0.400	0.794	0	0	0.794	0.093	0.013	0.106
0.0	0.750	0.410	0.811	0	0	0.811	0.076	0.013	0.089
0.0	0.750	0.405	0.803	0	0	0.803	0.084	0.013	0.097

$F_0 = 0.286$

$M = 0.462$

Računa se prema jednačinama (5-14 do 5-17) $\Delta X = 0.1$

$\beta = 0.75 + 0.25\,X$

Pretpostavlja se vrednost za Y i račun se ponavlja sve dok se ne zadovolji :

$N = 0.250$

$\Gamma = 0.971$

$$\Delta\varepsilon + F_0\left(\overline{\frac{X}{Y^2}}\right) = 0.097$$

Za pretpostavljeno Y $\Omega = 2.541\left[\sqrt{0.787\,Y + 0.213\,\beta^2} - 0.462\right.$

TA[illegible]LICA [illegible] ψ

Y	M				
	o.o	o.1	o.2	o.3	o.4
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	o.[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible].119	[illegible].104
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible].143	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	o.174	o.1[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]10	[illegible]	[illegible]	[illegible].279	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	o.300
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	o.357	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible].391
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible].817	o.804	[illegible]	[illegible].769
[illegible]	[illegible].976	[illegible].871	[illegible].858	[illegible]	o.824
[illegible]	[illegible].932	[illegible].926	o.914	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	o.971	o.95[illegible]	[illegible].937
[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.028	1.[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	1.159	1.147	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

$$\psi = \frac{2}{3}\frac{M^2}{(1-M^2)^2}\left\{\left[Y(1-M^2)+M^2\right]^{3/2} - M^3\right\} - 2\frac{M^2}{(1-M^2)^2}\left(\sqrt{Y(1-M^2)+M^2} - M\right)$$

TABLICA VREDNOSTI ZA ψ

Y	M					
	o.5	o.6	o.7	o.8	o.9	1.o
o.2o	o.o34	o.o3o	o.o27	o.o24	o.o22	o.o2o
o.25	o.o51	o.o46	o.o41	o.o37	o.o34	o.o31
o.3o	o.o72	o.o65	o.o57	o.o53	o.o49	o.o45
o.35	o.o95	o.o86	o.o77	o.o72	o.o66	o.o61
o.4o	o.12o	o.11o	o.1o1	o.o93	o.o86	o.o8o
o.45	o.149	o.137	o.127	o.117	o.1o9	o.1o1
o.5o	o.179	o.166	o.154	o.144	o.134	o.125
o.55	o.212	o.198	o.185	o.172	o.161	o.151
o.6o	o.247	o.231	o.217	o.2o4	o.191	o.18o
o.65	o.284	o.267	o.252	o.237	o.224	o.211
o.7o	o.322	o.3o5	o.289	o.273	o.259	o.245
o.75	o.363	o.345	o.328	o.311	o.296	o.281
o.8o	o.4o6	o.387	o.369	o.352	o.335	o.32o
o.85	o.45o	o.431	o.412	o.394	o.377	o.361
o.9o	o.496	o.476	o.457	o.439	o.422	o.4o5
o.95	o.543	o.524	o.5o5	o.486	o.468	o.451
1.oo	o.593	o.573	o.554	o.535	o.517	o.5oo
1.o5	o.643	o.624	o.6o5	o.586	o.568	o.551
1.1o	o.696	o.676	o.657	o.639	o.622	o.6o5
1.15	o.749	o.73o	o.712	o.694	o.677	o.641
1.2o	o.8o5	o.786	o.768	o.751	o.735	o.72o
1.25	o.861	o.843	o.826	o.81o	o.795	o.781
1.3o	o.919	o.9o2	o.886	o.871	o.857	o.845
1.35	o.979	o.962	o.947	o.933	o.921	o.911
1.4o	1.o4o	1.o24	1.o1o	o.998	o.988	o.98o
1.45	1.1o2	1.o87	1.o75	1.o64	1.o56	1.o51
1.5o	1.165	1.152	1.141	1.132	1.127	1.125

PROGRAM ZA ELEKTRONSKU RAČUNSKU MAŠINU

```
SETS NM(2)SI
SETV A(1)D(2)F(1)H(3)K(14)X(1)Y(1)TGQLZE(15)
SETF SQRT
SETR 28
14)LINES 15
READ L
READ Q
READ T
READ G
LINES 2
TITLE   L      Q       T       G
LINES 2
PRINT L, 2
PRINT Q, 1:3
PRINT T
PRINT G
LINES 3
TITLE   X       Y       Z
LINES 2
X=1
Y1=1
D=.0001
S=13
N=1
H=0
K5=0
CYCLE X1=1:-.01:0
SUBR 1
K5=K5+1
JUMP IF X1=1@ 19
JUMP IF K5=10@ 19
JUMP @20
19)JUMP IF Q=1@ 21
E11=2/E5
E12=E6-E13
Z=E11*E12
JUMP @ 22
21)Z=Y1/E13
22)PRINT X1,1:1
PRINT Y1,1:3
PRINT Z,1:3
K5=0
LINE
20)REPEAT X1
STOP
13)E=Y1*Y1
E=E*Y1
E1=G*E
E2=X1*Y1
E2=E2*T
E2=2*E2
E1=E1-E2
E2=1-L
E3=L*X1
E2=E2+E3
E13=Q*E2
E3=E13*E13
. . . . . . . .
. . . . . . . . .
E4=Q*Q
E5=1-E4
E6=Y1*E5
E6=E6+E3
E6=SQRT E6
E7=E/E6
E8=X1*X1
E8=E8*T
E7=E7-E8
JUMP IF Q=1 @15
JUMP IF Q=0 @17
E8=2*E
E8=E8*E4
E8=E8/E5
E8=E8*L
E9=1/Q
E10=E2/E6
E9=E9-E10
E8=E8*E9
18)E1=E1+E8
E1=E1/E7
JUMP   @16
17)E8=0
JUMP   @18
15)E8=Y1*Y1
E8=E8*E8
E8=E8*L
E8=E8/E3
E8=E8+E1
E1=E8/E7
16)F1=E1
EXIT
```

U produžetku se dodaje uobičajeni program za rešavanje diferencijalne jednačine:

$$\frac{d\,Y1}{d\,X1} = F1$$

NAPOMENA:

U programu, pa i u rešenjima (Prilozi 5.4., 5.5., i 5.6.), oznake su nešto drukčije, nego u tekstu:

L	zamenjuje	N
Q	zamenjuje	M
T	zamenjuje	F_o
G	zamenjuje	Γ
Z	zamenjuje	Ω

5. PRIMER REZULTATA PRORAČUNA ELEKTRONSKOM RAČUNSKOM MAŠINOM

[illegible] *

[illegible]	[illegible]	[illegible] **
[illegible]	[illegible]	7.368
[illegible]	[illegible],013	2.5[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

* [illegible]

** Z označuje Ω .

II. PRIMER REZULTATA PRORAČUNA ELEKTRONSKOM RAČUNSKOM MAŠINOM

L = 0.[illegible] Q = [illegible].596 T = [illegible].600 R = 0.[illegible] *

X	Y	Z **
[illegible]	[illegible]	[illegible].[illegible]83
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	1.11[illegible]	[illegible]
[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]1
[illegible]	1.o59	1.242
[illegible]	1.[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

*
** Vidi Prilog [illegible].

Prilog 5.6.

III. PRIMER REZULTATA PRORAČUNA ELEKTRONSKOM RAČUNSKOM MAŠINOM

L = o.ooo Q = 1.ooo T = o.98o G = o.6oo *

X	Y	Z
1.o	1.ooo	1.ooo
o.9	1.238	1.238
o.8	1.3o2	1.3o2
o.7	1.334	1.334
o.6	1.346	1.346
o.5	1.345	1.345
o.4	1.333	1.333
o.3	1.31o	1.31o
o.2	1.278	1.278
o.1	1.235	1.235
o.o	1.181	1.181

** (uz zaglavlje tabele)

*, ** vidi Prilog 5.4.

6.

Opste rešenje u obliku elementarnog hidrauličkog obrasca

Jedan od osnovnih zadataka ovog rada je da se primarne dimenzije sabirnog kanala odmah odrede na osnovu pretpostavljenih elemenata nizvodnog preseka. Ne treba mnogo objašnjavati od kolikog je praktičnog značaja postizanje takvog rezultata, jer bi se onda lako i brzo odmah sagledale osnovne dimenzije sabirnog kanala, odmah bi se mogao načelno rešiti taj objekat, i to sa sigurnošću da će kasniji detaljni proračuni samo neznatno promeniti unapred stečenu opštu sliku objekta. To je od velike koristi pri projektovanju, jer se odmah utvrdjuje da li je takav objekat prihvatljiv na zahtevanom mestu, ili je razumnije usvojiti nekakvo drugo hidrauličko rešenje sa istom svrhom. Ako se pak zaključi da se odvodjenje vode može uspešno rešiti sabirnim kanalom, onda se brzo i lako pronadje najprihvatljiviji odnos primarnih njegovih dimenzija.

Kao prilog rešavanju ovog problema autor je jednim svojim ranijim radom (lit. 10) dao približno rešenje za prizmatične kanale. Pri tome je koristio rad Lija (lit. 19), koji je jedini rad gde se daje opšte rešenje, ali samo za pravougaoni prizmatični i za trougaoni kanal. Li daje grafikone iz kojih se može očitati dubina na uzvodnom kraju na osnovu poznatih elemenata nizvodnog preseka, kao i pada dna. Kako se čitanjem iz grafikona vrednosti mogu proceniti sa izvesnim odstupanjem, a baza Lijevog rada je numerička integracija koja već sama donosi izvesna odstupanja, i uz to u ranijem radu (lit. 10) Lijevi rezultati su svedeni na drugi oblik (da bi se dobila direktno denivelacija u sabirnom kanalu) i prošireni na trapezne kanale, sve je to ranijem radu dalo karakter procene sa mogućnostima izvesnih odstupanja.

Tačnije rešenje, medjutim, zahteva ogroman broj sprovedenih integracija, jer se mora menjati dosta parametara ako se želi doći do opšteg rešenja koje će uključiti i neprizmatične kanale. Problem je rešen zahvaljujući elektronskoj računskoj mašini, jer sa njom nije bilo teškoća da se obavi veliki broj integracija. U odeljku 5.4. već je izloženo kako se mašina koristila, a na Prilogu 5.3 dat je program kojim se rešava zadati problem. Pri traženju opšteg rešenja, mašina je radila po istom programu, samo s tom razlikom, što se podesilo da kao rešenje štampa samo krajnji rezultat: relativne vrednost uzvodnog poprečnog preseka, Y_u , i pri-

...ajuća dubina Ω_u.

Daje se pregled vrednosti parametara: M, N, F_o i Γ koje su izabrane za opisani račun mašinom.

a/ Parametri M i N bili su ovi:

$$M = 1 \ \text{(pravougaoni kanal)} \quad \begin{cases} N = 0 \\ N = 0.25 \\ N = 0.5 \end{cases}$$

$$\left.\begin{array}{l} M = 0.5 \ \text{(trapezni kanal)} \\ M = 0 \ \text{(trougaoni kanal)} \end{array}\right. \quad \begin{cases} N = 0 \\ N = 0.25 \\ N = 0.5 \\ N = 0.75 \end{cases}$$

Tako su obuhvaćeni od pravougaonih kanala: prizmatični (konstantna širina dna, tj. N = 0) i oni sa promenom širine dna ako širina na uzvodnom kraju nije manja od polovine širine dna na nizvodnom kraju. Kod trapeznih kanala ... se i dalje, sve dok širina na uzvodnom kraju ne siđe ispod četvrtine širine dna nizvodnom kraju.

Zahvaćeni domen može se napisati sledećim izrazom:

$$\frac{M}{1-N} \leqslant 2 \qquad (6-1)$$

Ovim su obuhvaćeni svi prihvatljivi praktični slučajevi, jer velika suženja kod pravougaonog kanala, ili trapeza bliskog pravougaonika, dovode do dubine na uzvodnom kraju veće od dubine na nizvodnom kraju, iako je poprečni presek manji. Sem toga, veliko sužavanje dovodi i pri manjim padovima po mogućnosti pojave burnog tečenja, što je jasno iz uporedjenja crteža na sl. 4-2. U praktičnoj primeni stoga će i retko doći do slučajeva koji nisu uključeni u kriterijum (6-1).

b/ Frudovom broju na nizvodnom kraju davane su ove vrednosti

F_o o.1 o.2...... o.9 i o.98

Završnim tekstom u odeljku 5.4 objašnjeno je da je naš nom nemoguće obaviti proračun za $F_o = 1$ pa se stoga uzelo $F_o = o.98$. Uostalom, tako je već postupljeno u ranijem primeru u Prilogu 5.6.

Iz navedenog se vidi da je obuhvaćen domen

$$o.1 > F_o > 1 \qquad (6-2)$$

gde ulaze praktični problemi.

c/ Bezdimenzionalna vrednost pada dna Γ menjana je 5 puta pri svakoj vrednosti M, N i F_o i to od nule do kritične vrednosti Γ_K date sl. 4-5. Tako je obuhvaćen onaj domen u kome je obezbedjeno mirno kretanje. Rečeno se može napisati:

$$\Gamma < \Gamma_K \qquad (6-3)$$

Iz izloženog vidi se da je obavljeno 8 serija integrisanja varirajući M i N, a svaka serija sa lo vrednosti za F_o, a svaka od tako dobijenih 8o kombinacija još je integrisana 5 puta, za 5 različitih padova. Ovo znači svega 4oo integracija.

* * *

Svaka od integracija dala je bezdimenzionalnu vrednost Ω_u za dubinu na uzvodnom kraju, pa se prema (3-61) sračunalo za svaki pojedinačni slučaj:

$$K = \frac{\Delta \Pi_o}{v_o^2/g} = \frac{\Omega_u + \Gamma - \Omega_o}{F_o} \qquad (6-4)$$

Rezultati su omogućili odredjivanje ranije simbolično napisane funkcije (3-65) koja se prepisuje:

$$K = K\left(\frac{A_u}{A_o}, F_o\ M, N\right) \qquad (6-5)$$

Analizom tih rezultata došlo se do rešenja prikazanog sl. 6-1 koja daje:

$$K = K_1 \cdot K_2 \qquad (6-6)$$

gde je:

$$K_1 = K_1\left(\frac{A_u}{A_o}\right) \qquad (6-7)$$

$$K_2 = K_2(F_o) \qquad (6-8)$$

Naslojalo se da se rezultat da u tom vidu, jer se tako očigledno pokazuje sledeće:

I. Potrebna denivelacija $\Delta\Pi_0$ u sabirnom kanalu da bi se na njegovom nizvodnom kraju dobila brzina V_0 , zavisi uglavnom od odnosa poprečnih preseka na uzvodnom i nizvodnom kraju.

II. Vrednost Frudovog broja na nizvodnom kraju pri tome ima daleko manji uticaj. Podesilo se da je $K_2 = 1$ za $F_0 = 1/2$ i onda K_2 varira svega od o.9 do 1.1, ako F_0 varira od nule do jedinice. Vrednost K_2 prikazana je grafički na sl. 6-1, a može se i napisati sledećim obrascem

$$\frac{1}{K_2} = 0.9 + 0.2 F_0 \qquad (6-9)$$

III. Na vrednost K neznatno utiču parametri M i N i oni su i izostavljeni u prikazanom grafikonu. Ovo je vrlo značajan rezultat, jer pokazuje da bez obzira na oblik kanala (od trougla, preko trapeza, do pravougaonika) i bez obzira da li se kanal sužava, denivelacija u sabirnom kanalu za odredjenu vrednost brzine je ista ako je isti odnos uzvodnog i nizvodnog preseka i ako je Frudov broj isti.

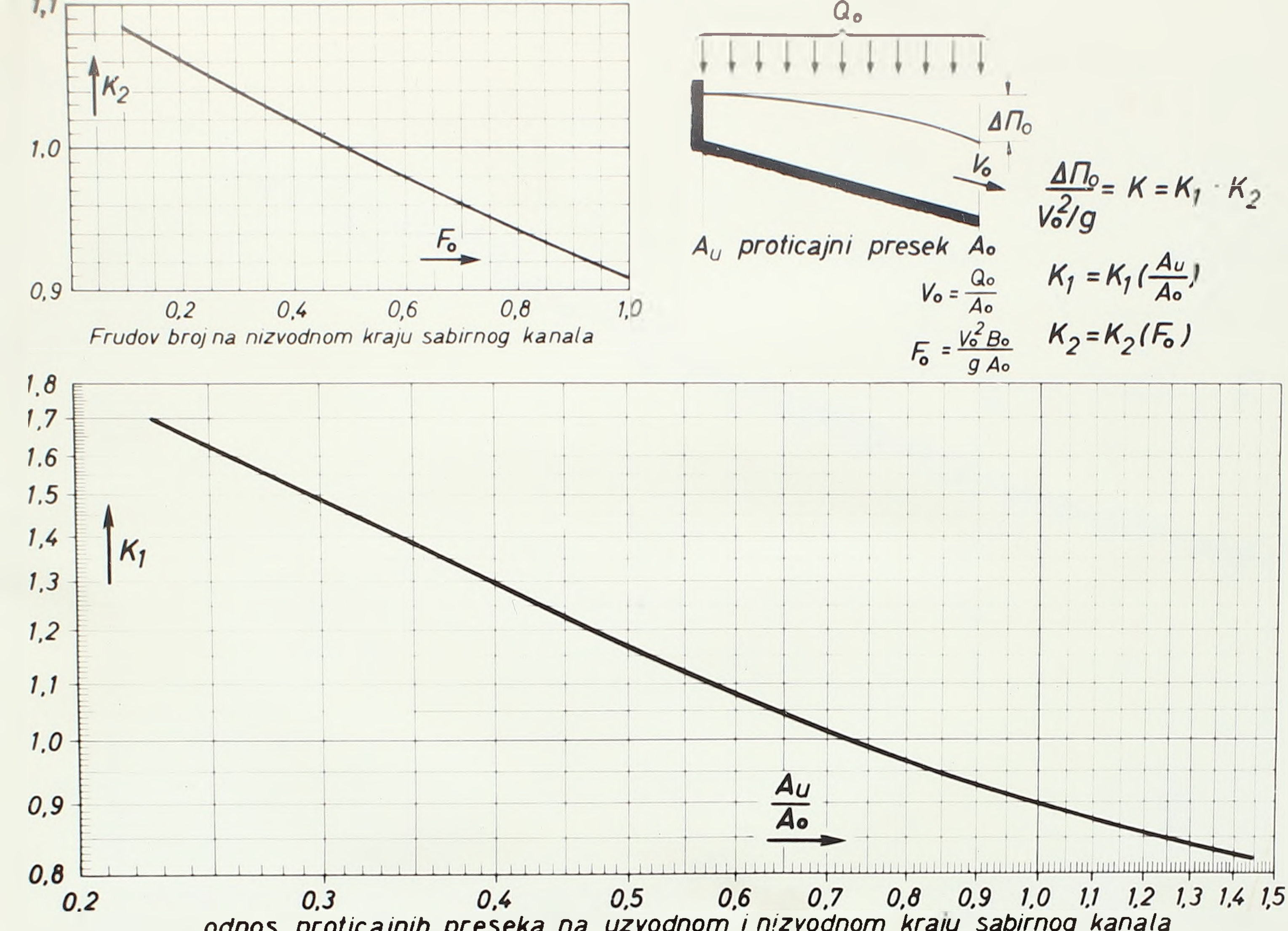
Ovi zaključci biće od velike koristi praktićarima pri projektovanju sabirnih kanala.

* * *

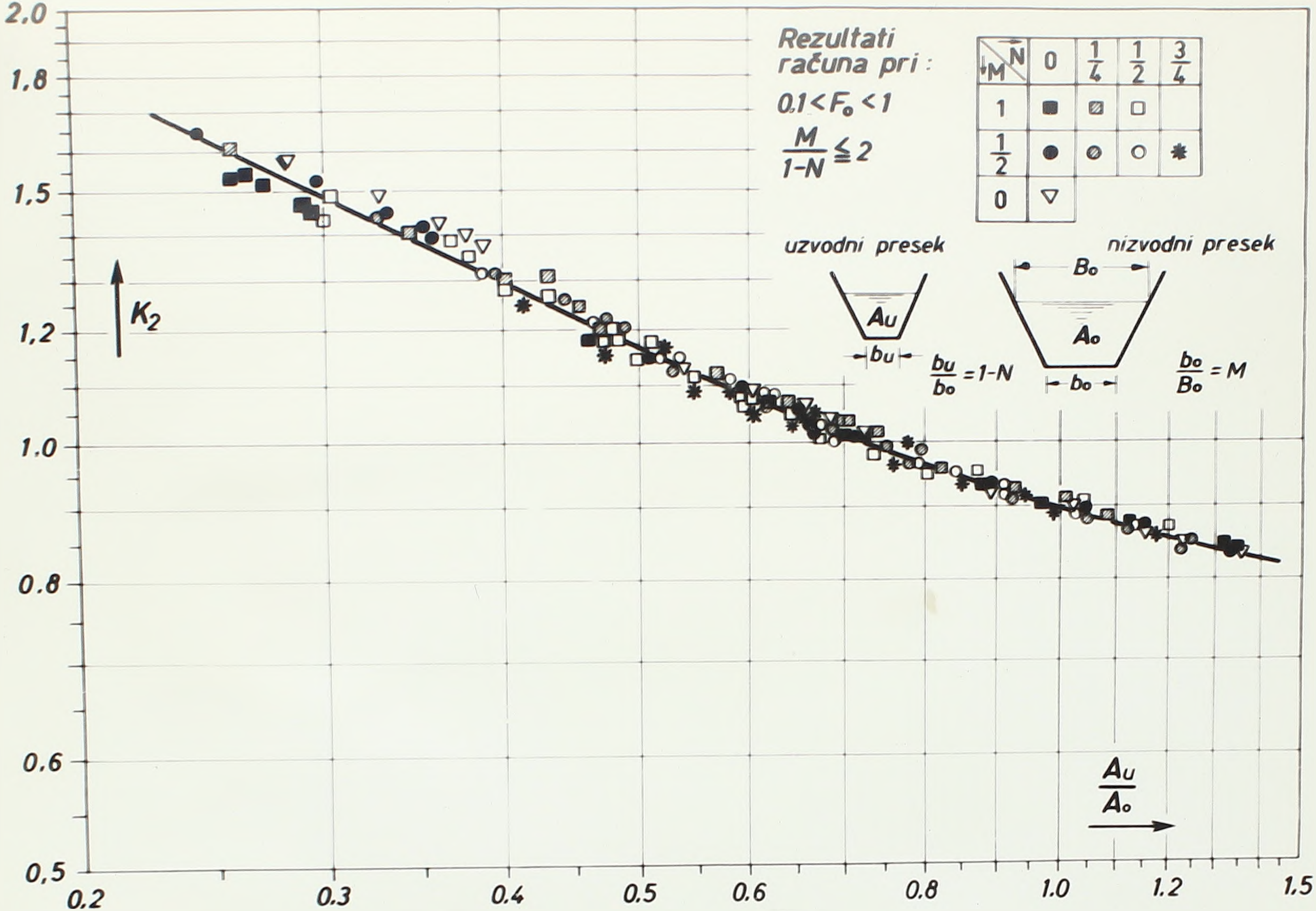
Upotrebom grafikona na sl. 6-1 lako je doći do primarnih dimenzija sabirnog kanala. Nizvodni presek se pretpostavi i uskladi sa daljnjim nizvodnim hidrauličkim uslovima. Uzvodni presek se bira, odabere se nekoliko vrednosti radi uporedjenja i za svaku se lako odredi potrebna denivelacija $\Delta\Pi_o$, jer se K_1 i K_2 jednostavno očitaju i pomnože da se dobije K . Kada je uzvodni presek tako odredjen i visinski smešten, pad dna sam po sebi ispada, jer on se uzima konstantnim. Taj uslov je zastupljen kroz celokupnu analizu. Ostaje da se još reši gde se može smestiti kota nivoa u uzvodnom preseku, a da ne ometa priticanje u kanal. To pitanje biće raspravljeno u odeljku 7.4.

* * *

Sl. 6-2 dokumentovana je zavisnost $K_1 = K_1\left(\frac{A_u}{A_o}\right)$ data na sl. 6-1. Od pomenutih 4oo integracija na sl. 6-2 unneto je 15o, da se ne bi crtež pretrpavao. Naime, od 8 serija sa variranjem M i N svaka sa lo Frudovih brojeva i 5 padova, uzeto je kod svake serije 5 Frudovih brojeva i 3 pada, i to je izostavljanje vršeno po pravilu (svaki drugi), a ne namerno. U crtež su ubačeni i rezultati iz grafičke integracije sa sl. 5-5. Za svaki konkretni slučaj integracije sračunato je K i K_2 , prema (6-4), odnosno (6-9). Delenjem K sa K_2 dobija se K_1 , kako



Sl.6.1. GRAFIKONI ZA ODREĐIVANJE DIMENZIJA SABIRNOG KANALA



Sl.6-2.UTVRĐIVANJE FUNKCIJE $K_2 = K_2\left(\frac{A_u}{A_o}\right)$ PRIKAZANE NA Sl.6.-1.

i pokazuje (6-6), i tako dobijene vrednosti za K_1, a u funkciji A_u/A_o, nanesene su kao tačke na sl. 6-2 i vidi se da sve tačke leže približno na usvojenoj zavisnosti. Odstupanja su otprilike do ± 3%, a takva odstupanja se mogu tolerisati za praktične potrebe. Naime, želja je bila da zavisnosti budu što prostije, a da ostupanja ne budu velika. Išlo se razumnim nastojanjem da empirijska zavisnost bude kompromis izmedju prostote izraza i postignute tačnosti. Želja za većom tačnosti dala bi komplikovane odnose koji se onda teško koriste, a samo stvaraju iluziju veće tačnosti, jer ne treba smetnuti sa uma da je sve to namenjeno realnim uslovima tečenja, gde su odstupanja od usvojenih teorijskih ustavova neminovna, pa onda nema opravdanja da se postiže veća tačnost od one koje nameće sama problematika, upravo njena primena. Uostalom, rezultati koji se postižu datim graficima su pouzdaniji nego najelementarniji hidraulički računi, jer se, na primer, kod najprostijeg tečenja kroz cevi ili kanale, trenje procenjuje sa očekivanjem znatno većih odstupanja.

*　*　*

Prethodnim izlaganjem pokazalo se da se računski rezultati mogu uklopiti u jedno opšte rešenje. Ako se za bilo koji pojedinačni slučaj sprovede proračun duž celog sabirnog kanala, prema metodama izloženim u prethodnom poglavlju, 5., krajnji rezultat neće mnogo odstupati od unapred poznatog rezultata, dobijenog na osnovu ovde datog opšteg rešenja. Ovo, medjutim, znači da je rešeno pitanje računanja, odnosno analitičkog razmatranja sabirnog kanala, na bazi usvojenih teorijskih pretpostavki. Kako ovaj rad ima za svaku svrhu praktičnu primenu rezultata, interesantno je uporediti eksperimentalne rezultate sa postignutim opštim rešenjem. Drugim rečima, treba utvrditi da li će stvarna tečenja u sabirnim kanalima dovoditi do rezultata koji se podudaraju sa rezultatima analize. U Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi" u njegovoj Hidrauličkoj laboratoriji pod Avalom, ispitivano je nekoliko sabirnih kanala za evakuaciju velikih voda iz akumulacija. U te kanale, preko preliva na njihovom boku, voda se u njih ravnomerno (dužinom kanala) sliva. U spisku literature dati su elaborati koji su korišćeni za uporedjenje modelskih rezultata iz ovog rada. To su sabirni kanali uz bočne prelive uz brane: Vodoča, Glažanj, Globočica, Polimedija, Gujranvala, kao i tipizirani bočni preliv namenjen mikroakumulacijama (lit.9, 20-25). Prvi primer (Vodoča) već je korišćen u ovom radu - primer pod a) u odeljku 4.3. i 4.4. račun na Prilozima 5.1 i 5.4, sl. 5-3. Poslednji primer takodje je korišćen - primer pod b) u odeljku 4.3 i 4.4 račun na Prilogu 5.5., grafička integracija na sl. 5-5, a sem toga on se raspravlja i u poslednjem poglavlju - pod 7.3.

Ovde je priložen Prilog 6.1, radi uporedjenja opšteg rešenja, prema sl. 6-1., sa modelskim rezultatima. Uporedjene su dve vrednosti za K_1. Prva je dobijena direktnim korišćenjem podataka sa modela, a druga je pročitana sa sl. 6-1. Slaganje je vrlo dobro, odstupanja su mala i na strani sigurnosti jer račun po sl. 6-1 daje nešto veće vrednosti za K_2 od modelskih. Uz ovu eksperimentalnu potvrdu teorijskih rezultata korisno je dodati objašnjenje da su modelska ispitivanja odnose na sabirne kanale sa vrlo velikim rasponom karakterističnih parametara - tako da je obuhvaćeno uglavnom sve ono što se može naići u praksi. Naime, Froudovi brojevi na nizvodnom kraju kreću se od 0.2 do 0.5, padovi dna su od skoro horizontalnog pa sve do $\Gamma \sim 1$ suževanje širine dna ide čak do $N = 0.71$, odnosno uzvodna širina varira od 0.29 nizvodne širine dna pa do jedinice, nagibi neprelivnog boka idu od skoro vertikalnih pa sve do nagiba 1:1,5, dakle manje od 35°, priticaj u kanal kreće se od preko 15 m^3/s, po metru dužinom prelivne ivice, odnos širine i dubine ide čak do 10 a spušta se ispod jedinice(što znači da su zastupljeni i vrlo plitki a široki, ako i vrlo uski a duboki kanali).

7.

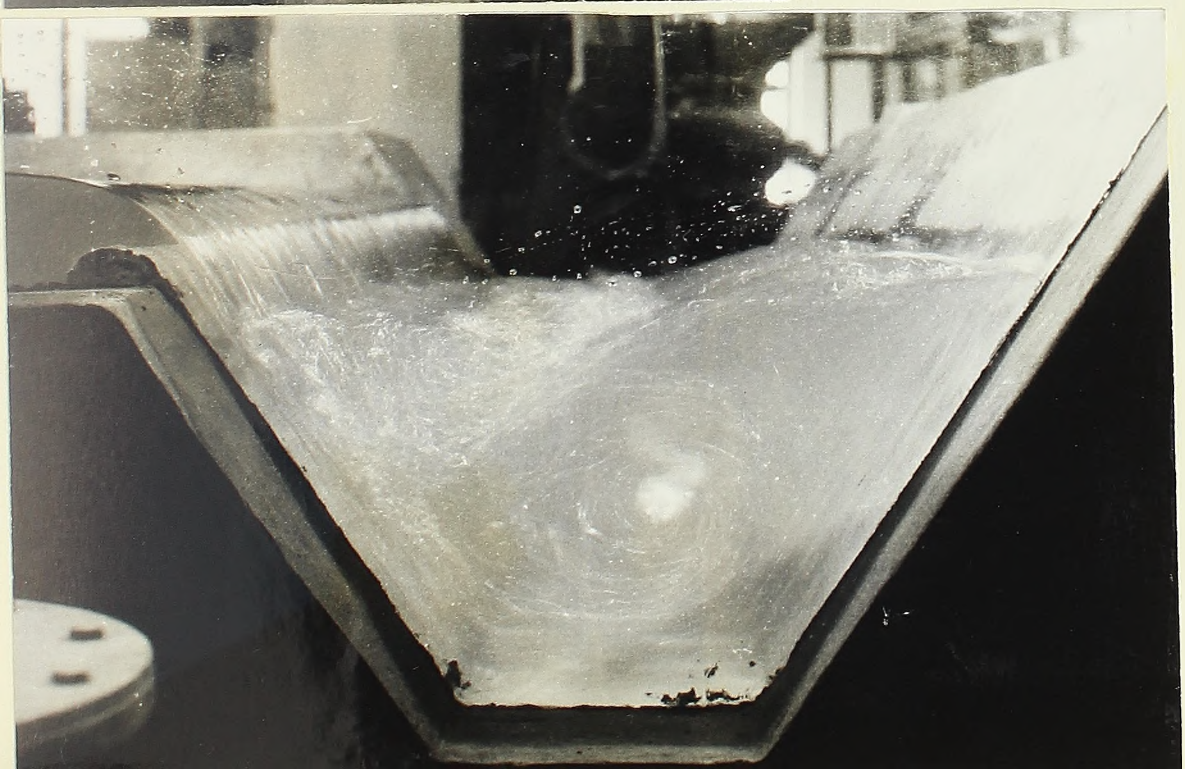
Uticaj bočnog prelivanja

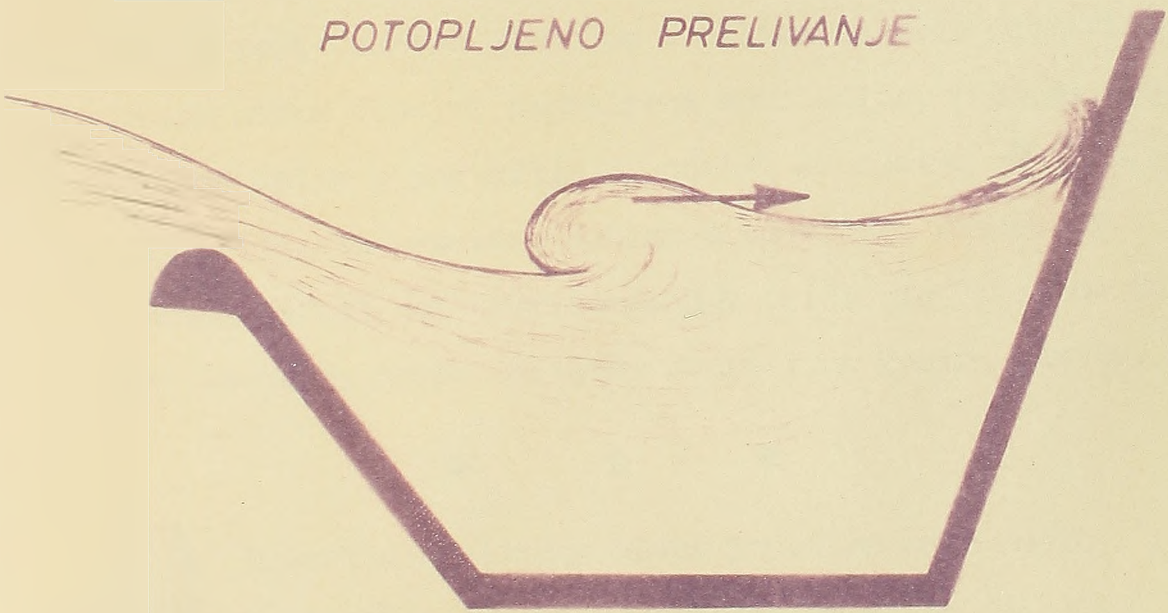
7.1. Opis problema i opšta razmatranja

Sva dosadašnja izlaganja obavljena su smatrajući tečenje u sabirnom kanalu kao linijski problem. Praktična posledica toga je rešenje tečenja u podužnom smislu, što je i primarno. Ipak, pored toga, moraju se proučiti i izvesni uticaji koji su posledica priticanja u sabirni kanal. Ako se radi o priticanju u kanal prelivanjem preko njegovog boka, kakvoj je problematici prvenstveno ovaj rad i namenjen, onda je zadatak: proučavanje uticaja bočnog slivanja, pa je takav naslov i dat ovom poglavlju. Ovakvo odredjivanje zadatka ovog poglavlja već je nagovešteno u uvodnim razmatranjima.

Uticaj bočnog slivanja je očigledan čim se pogleda tečenje u sabirnom kanalu. Izvestan utisak o tome može se steći iz fotografija - sl. 7-1. Na sl. 7-2 skiciran je poprečni presek sabirnog kanala sa karakterističnim pojavama prouzrokovanim bočnim slivanjem:prodiranje prelivnog mlaza u sabirni kanal dovodi do dva vrtloga sa osovinama duž kanala. Ti vrtlozi prime i utroše veliki deo kinetičke energije prelivnog mlaza. Ovakva situacija nastaje kada je preliv nepo-

Slika 7.1.





Slika 7.2.

topljen (gornja skica na sl. 7-2) i kada prelivni mlaz prodire ispod prvog vrtloga koji se obrazuje neposredno uz prelivnu kosinu. Ako je pak preliv potopljen, odnosno ako prelivni mlaz prodire površinski (donja skica na sl. 7-2), ne postoje uslovi za ublaženje njegovog dejstva na remećenje nizvodnog oticanja kanalom.

Rešavanje praktičnih zadataka svodi se na procenjivanje posledica bočnog slivanja, u vidu odgovora na sledeća pitanja: Kakav treba da bude proticajni poprečni presek sabirnog kanala pa da bočno slivanje ne sprečava u većoj meri pronošenje vode kanalom nizvodno i kolika se mogu očekivati izdizanja nivoa vode uz neprelivni bok. Naime, računom prema metodama datim u poglavlju 5, dobija se dubina h, koju treba shvatiti kao presečnu dubinu u poprečnom preseku i istoj treba dodati još nadvišenje Δh (vidi sl. 7-1), da bi se utvrdilo dokle treba oblagati neprelivnu kosinu kanala.

* * *

Energiju prelivnog mlaza treba na neki način prihvatiti i utrošiti i sama se priroda stara za to, samo joj to treba omogućiti. Naime, poznata je stvar da vrtlozi uzimaju mehaničku energiju da bi je unutar sebe utrošili, odnosno preobratili u toplotu. Ako dubina u kanalu prisiljava prelivni mlaz da prodire odozdo, dolazi do opisanih i na gornjem crtežu sl. 7-1 skiciranih vrtloga. Prema tome prvi i neophodni uslov da se sa dubinom ne pretera, jer tada do vrtloga ne dolazi - donji crtež na sl. 7-1. Drugi je uslov da proticajni poprečni presek u kanalu nije isuviše mali, jer tada ne bi dozvolio obrazovanje vrtloga u takvoj meri da oni dovoljno ublaže uticaj bočnog slivanja. Naime, razuman je zahtev da se nadvišenje uz neprelivni bok sve da što je moguće manju meru. Medjutim, rešenje je u kompromisu: Ne sme se ići opet na preterano smanjenje ovog nadvišenja ako to dovodi do nerazumno velikih poprečnih preseka kanala.

Uz prethodno može se dodati da opisano stanje dovodi do raspodele pritisaka po poprečnom preseku koja zanemarljivo odstupa od hidrostatičke, koja se pretpostavlja za linijski problem. Naime, sem sila pritisaka i težine, nema drugih sila po poprečnom preseku ako je raspodela pritiska hidrostatička, a ovde je to poremećeno i silom koju unosi prelivni mlaz. Ta sila je, medjutim, mala u odnosu na silu težine kada se ne uzme isuviše mali presek, što će se sprečiti kasnijim utvrdjivanjem uslova za proveru preseka. Sem toga, uticaj prelivnog mlaza baš se oseća uz neprelivni bok, a tu su dubine niže, pa se pritisak približava onome koji bi dala prosečna dubina. Uz neprelivni bok, gde je dubina nešto veća, opisano vrtložno kretanje opet nešto snizi pritiske na dno, tako da se opet približe onima koje bi dale presečna dubina preseka. Ova činjenica ustanovljena je nizom merenja pritisaka po konturi kanala.

Treba primetiti da spiralno kretanje u vrtlozima prenosi tečnost nizvodno kanalom brzinom koja mnogo ne odstupa od srednje brzine u poprečnom preseku, odnosno podužna brzina u vrtlozima ne razlikuje se bitno od brzine u delu poprečnog preseka nezahvaćenog vrtlozima. Ovo znači da se zahvaljujući vrtlozima priticanje odmah uključi u podužni tok kanalom, pa se može računati sa srednjom brzinom preseka. O ovome je već bilo reči u odeljku 1.2, kada se koeficijent neravnomernosti brzine izostavio, odnosno izjednačio sa jedinicom. Vrlo je interesantno da je raspored brzina prilično nepravilan ako se priticanje prisilno smiri i takvo uvedi u kanal. Eksperimenti Sasolija (lit. 16) bili su tako sprovedeni, jer se htelo da nivo vode u poprečnom preseku bude horizontalan, pa se prelivni mlaz najpre smirivao u komori [illegible] kanala i smirena voda upuštala [illegible] u tečenje u sabirnom kanalu, ali je baš tako dobijena velika neravnomerno[illegible] raspodela brzine po poprečnom preseku.

Kako [illegible] tečenje u sabirnom kanalu, [illegible]

[illegible]

[illegible]

jer su uočljive razlike izmedju takvih i običnih kanalskih tokova. Medjutim, iako to na prvi pogled izgleda paradoksalno, izloženo govori da baš takvo vrtloženje dovodi do okolnosti koje dozvoljavaju da se problem rešava kao linijski.

* * *

Navedeno je da nije savetno prepunjavanje kanala, jer to dovodi do toga da prelivni mlaz prodire u kanal po površini vode. Površno rasudjivanje, da veća zapremina vode u kanalu dovodi do boljeg umirenja prelivnog mlaza, pogrešno je, jer dovodi do suprotnog zaključka. Ovo se navodi iz razloga što se nailazi da se uticaj bočnog slivanja rešava davanjem potrebne zapremine vode u kanalu (lit. 18), ili zahtevom da poprečni presek predje odredjenu vrednost. Nailazi se i na opisivanje teškoća zbog toga, jer je prelivni mlaz prodirao površinski u kanal, stvarajući nemirno i poremećeno oticanje kanalom, praćeno znatnim poprečnim talasanjem prelivni mlaz povremeno naglo prodre i poveća prelivni proticaj, da bi potom povratni talas potapao prelivanje, i tako se to smenjuje (lit. 6). Medjutim, ne objašnjava se zašto se uopšte dozvolio ovakvo potapanje preliva. Opisane pojave primećene su i kod eksperimentalnih proučavanja u ovom radu i to je načelno prikazano na donjem crtežu sl. 7-2.

Iz prethodnog je posve jasno da preliv u sabirni kanal nije uputno potapati i ovaj zaključak će se iskoristiti za izvesne praktične preporuke koje će se dati kasnije - odeljak 7.4. Postavljeni zadatak tim se samo ograničio, a ostaje da se dodje do odgovora na postavljena pitanja o izboru poprečnog preseka pa da prelivni mlaz ne remeti oticanje kanala, kao i odredjivanju nadvišenja nivoa vode uz neprelivni bok. Do sada objavljeni radovi nisu gotovo ni ulazili u rešavanje ovog pitanja - izuzetak su samo dva rada (lit. 1 i 18). Prvi to pokušava rešiti potrebnom zapreminom vode u kanalu da bi se postiglo umirenje prelivnog mlaza i taj rad je već i pomenut iz tog razloga. Medjutim, u njemu se daje i uputstvo za proračun nadvišenja uz nivoe vode uz neprelivni bok na bazi osnovnih hidrauličkih zakona, ali uz pretpostavke koje nisu baš najprihvatljivije, jer se, izmedju ostalog, uzima da prelivni mlaz prodire horizontalno u kanal i pretpostavlja se da je linija nivoa vode u poprečnom preseku prava nagnuta linija. Drugi rad pokušava rešiti problem uporedjenjem zapremine vode u kanalu za zapreminom vode koju sadržava hidraulički skok, što se ne mora prihvatiti, jer zapremina nije uopšte merodavna veličina pri razmatranju skoka.

* * *

U ovom radu učinjen je pokušaj procene uticaja bočnog slivanja na osnovu brojnih eksperimentalnih podataka je sproveo autor. Ti podaci doveli su do jedne približne zavisnosti kojom se odredjuje nadvišenje nivoa vode uz neprelivni bok. Ovo nadvišenje ujedno je i najbolji pokazatelj uticaja bočnog slivanja, jer ako je ono preterano izraženo, očigledno je da je tečenje u kanalu poremećeno. Ti rezultati izlažu se u produžetku.

7.2. Odredjivanje nadvišenja nivoa vode uz neprelivni bok kanala

Sl. 7.3. prikazuje rezultate eksperimentalnih istraživanja nadvišenja nivoa vode uz neprelivni bok. Pod a) [illegible] varijante sabirnog kanala koje su ispitivane, [illegible] [illegible] rezultati, u vidu procene nadvišenja po sledećem obrascu:

$$\frac{\Delta h}{H} = \frac{q}{\sqrt{g A h}} \qquad (7-1)$$

[illegible] što može da prebaci ili podbaci sračunatu vrednost po obrascu za 0.2.

U navedenom obrascu pojedini simboli označavaju:

h = prosečna dubina (sa njom se računa tečenje duž sabirnog kanala; to je dubina razmatrana u poglavljima 1. - 6.)

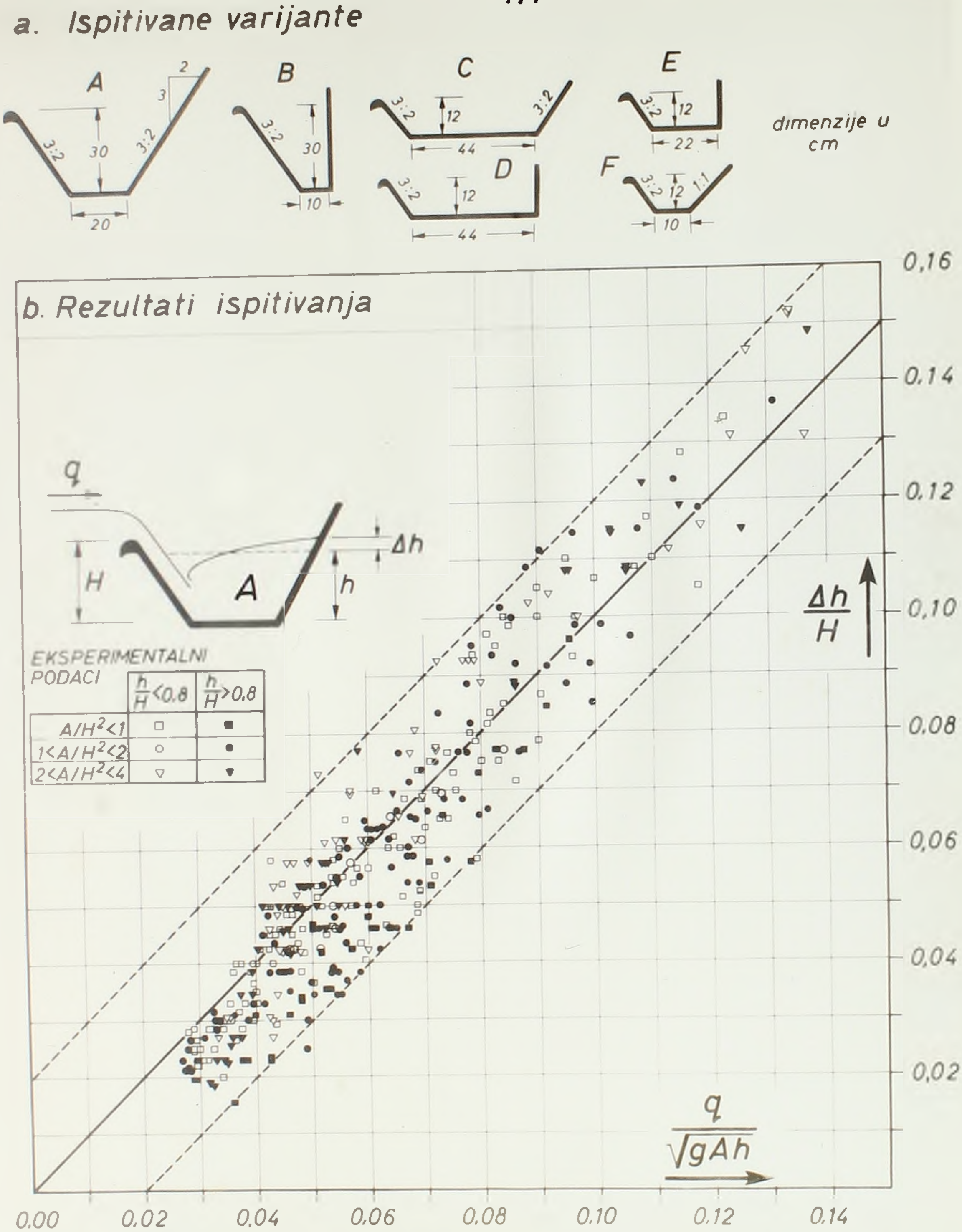
Δh = nadvišenje dubine uz neprelivni bok

A = proticajni presek (sračunat sa dubinom h)

H = konstruktivna dubina kanala (od dna do prelivne ivice)

q = priticaj po jedinici dužine preliva

- Vidi skicu na slici 7 - 3.



Sl.7-3. PREGLED EKSPERIMENTALNOG ODREĐIVANJA UTICAJA BOČNOG SLIVANJA NA IZDIZANJE (Δh) NIVOA VODE UZ NEPRELIVNI BOK SABIRNOG KANALA

Eksperimentalni podaci, njih preko 500 na broju, obuhvatili su karakteristične veličine u sledećim granicama:

a) Odnos dubine vode i konstruktivne dubine, h/H kretao se od 0.4 sve do potapanja preliva, tj. do nešto preko jedinice, jer kada se nivo uz neprelivni bok izravna sa prelivnom ivicom prosečni nivo nju predje.

b) Odnos širine dna i dubine, b/h bio je u granicama od otprilike 1 do 10.

c) Prelivni bok imao je nagib 3:2, kakav se najčešće i projektuje, dok je neprelivni bok imao nagibe od 1:1 do vertikalnog.

d) Dužina prelivne ivice L_o na modelu bila je alternativno 1 i 2 m, pa se odnos dužine i konstruktivne dubine L_o/H kanala kretao izmedju 3.3 i 16.7.

e) Visina prelivnog mlaza dostizala je do konstruktivne dubine kanala.

Kako su svi navedeni parametri dati u bezdimenzionalnim veličinama, oni imaju opšti značaj. Pri njihovom izboru, upravo izboru njihovih granica, nastojalo se da se obuhvati celokupna oblast na koju se može naići u praksi, pa će se vrlo retko naići na praktičan primer, koji ne bi bio obuhvaćen u oblast zahvaćenu eksperimentima.

* * *

Rezultat eksperimentalnog rada, prikazan slikom 7-3., i izražen aproksimativno obrascem (7-1), može se objasniti na sledeći način:

Nadvišenje Δh zavisi od niza veličina i može se simbolično napisati kao:

$$\Delta h = \Delta h \, (H, h, b, m_1, m_2, q, L, g) \qquad (7-2)$$

tj. nadvišenje Δh zavisi od konstruktivne dubine kanala H, od elemenata proticajnog poprečnog preseka (širina dna b, dubina h i nagibi bokova m_1 i m_2) od odstojanja L, od uzvodnog kraja kanala, i od proticaja q po jedinici dužine prelivne ivice. Ovim veličinama posredno su odredjeni: proticajni presek A, proticaj Q, a preko njih i prosečna brzina V u preseku, a jedinični proticaj q odredjuje približno i visinu prelivnog mlaza. Prema tome sve one veličine od kojih se može očekivati uticaj na nadvišenje predviđene su obuhvaćene. Razume se, pretpostavlja se da su uticaji viskoznosti, stišljivosti i kapilarnosti vode zanemarljivi i problem je sveden na isključivo dejstvo inercijalnih i gravitacionih uticaja, pa je u (7-2) dopisano još samo g. Ova funkcija je načelno ista kao i ranija (3-75), što znači da se i ovde, sa istim objašnjenjem, može očekivati da će dimenzionalna analiza smanjiti broj veličina u razmatranju za dve. Nastojalo se da se problem uprosti na sledeći način:

a) Nadvišenje nivoa pokušava se izraziti kao pojava koja zavisi isključivo od elemenata u poprečnom preseku, što znači da je zanemarljivo uticanje rastojanja na kome se presek nalazi. Na taj način analiza podužnog tečenja bila bi potpuno odvojena od analize u poprečnom preseku. Tako bi se stvar jako uprostila i tome se težilo makar se malo i izgubi u tačnosti. Ovo nastojanje je potpuno u skladu sa osnovnom koncepcijom ovog rada, koja je izložena u uvodnim razmatranjima.

b) Pokušalo se da se i broj veličina koje definišu poprečni proticajni presek smanji, razmatranje se svelo na uzimanje samo: dubine h i poprečnog preseka A , jer je njima već donekle odredjena i širina kanala. Sem toga, prelivni bok projektuje se uvek u nagibu približno 3:2, a uticaj variranja nagiba neprelivnog boka nije toliko izrazit da znatno menja vrednost za nadvišenje.

Opisana nastojanja dovela su do toga da se pokušalo sa uproštenom zavisnošću:

$$\Delta h = \Delta h \, (H, h, A, q, g) \qquad (7-3)$$

koja zamenjuje ranije napisanu (-7-2).

Kako je za (7-2) navedeno da se primenom dimenzionalne analize broj veličina može smanjiti za dve, to

...da važi i za (7-3), pa se umesto nje, uzevši H za jedinicu, dobija

$$\frac{\Delta h}{H} = \frac{\Delta h}{H}\left(\frac{h}{H}, \frac{A}{H^2}, \frac{q}{\sqrt{gH^3}}\right) \qquad (7-4)$$

Nizom pokušaja prethodna simbolično napisana funkcija svela se na sledeći eksponencijalni izraz:

$$\frac{\Delta h}{H} = \left(\frac{h}{H}\right)^{-1/2}\left(\frac{A}{H^2}\right)^{-1/2}\frac{q}{\sqrt{gH^3}} = \frac{q}{\sqrt{gAh}} \qquad (7-5)$$

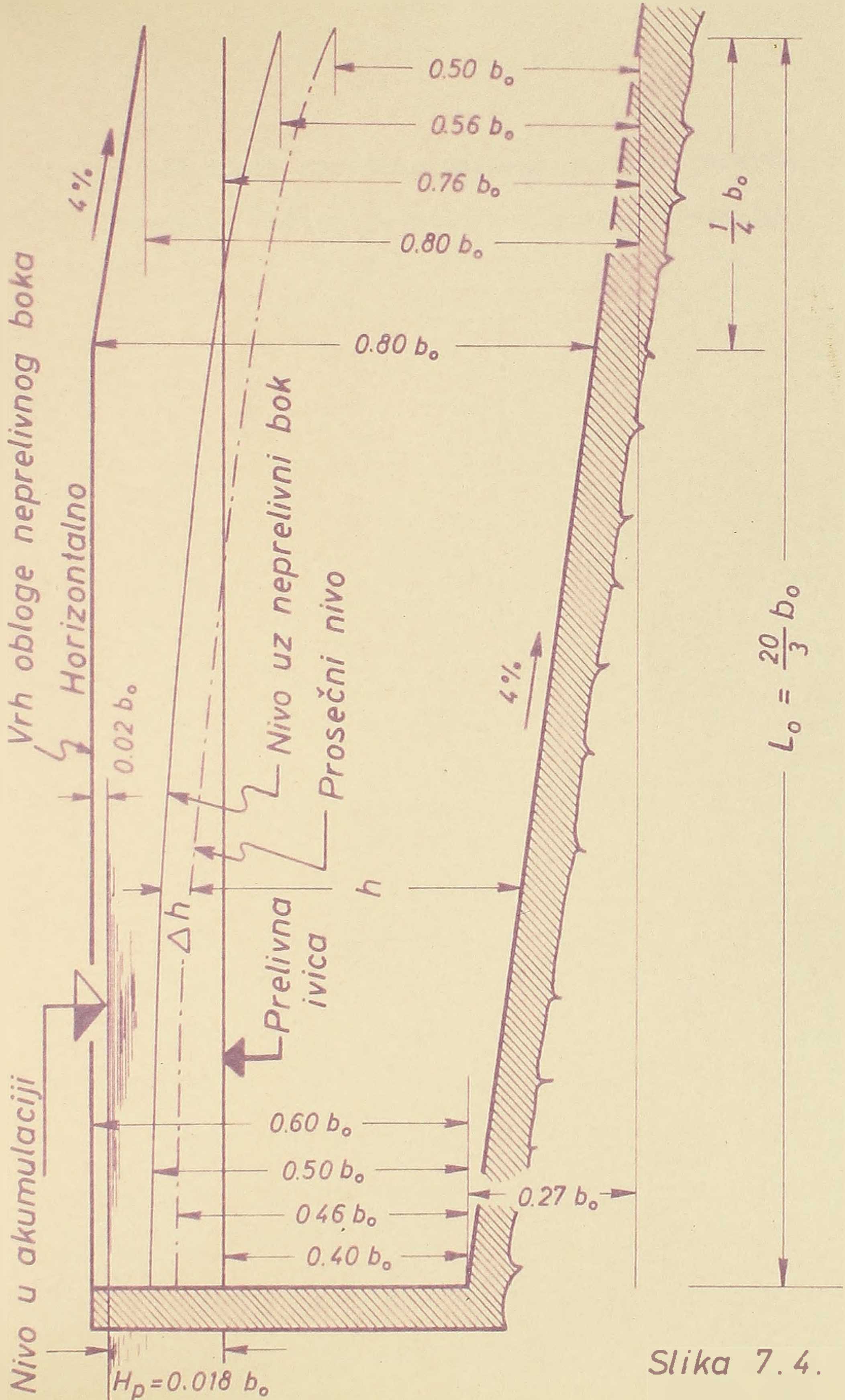
To je u stvari krajnji rezultat, napisan unapred, kao (7-1).

* * *

Ovde se može dodati načelno isti komentar kao i iza opšteg rešenja u poglavlju 6. Naime, treba opet naglasiti da se težilo da izraz bude što prostiji, jer težnja ka većoj tačnosti nije opravdana, pošto prethodno ima karakter procene – kao i svi hidraulički računi, odnosno svi računi u tehničkoj praksi. Odredjivanje gornje ivice neprelivnog boka sabirnog kanala treba obaviti istim rasudjivanjem koje se čini i pri dimenzionisanju uobičajenih kanalskih tokova. Tamo je sadržana izvesna rezerva u izboru koeficijenta rapavosti, jer preporuke za praktičnu primernu unose neminovno takvu rezervu, a pored toga još se ne sračunati nivo vode dodaje nadvišenje obloge. Ovde, kod samog proračuna ne mogu se očekivati namerne rezervo na strani sigurnosti. Pored toga, ovde se mora voditi računa da nivo vode znatno pulzira, a da su eksperimentima odredjene prosečne (kroz vreme osrednjenje) vrednosti nadvišenja. Dalje, može se očekivati uvlačenje vazduha usled vrtložnog kretanja, talasanje nivoa usled vetra i slično. Čak kada se jedan konkretni zadatak poveri modelu, mora se, pri prenošenju zaključaka na objekat u prirodi, voditi računa o navedenim činjenicama, jer su pulzacije nivoa znatno objektima u prirodi znatno izrazitije od onih koje se dobijaju direktnim prenošenjem sa smanjenog modela. Zbog toga, a i zbog činjenice da na modelu ne dolazi do uvlačenja vazduha, dok u prirodi može doći, mora se pri davanju preporuke za projekat dati znatna rezerva. Sve ove činjenice govore da je nesmotreno štedeti na oblozi kanala, a to je skoro i besmisleno, jer opravdano nastojanje za nadvišenje obloge dovodi do zanemarljivog povećanja ukupnih troškova iz izgradnje sabirnog kanala. Uz ovo treba još dodati i to da je sabirni kanal uvek sastavni deo nekog hidrauličkog sistema i da kod njega nema smisla nastojanje za nekom preteranom tačnošću kada to nije moguće u hidrauličkim proračunima uopšte. Naime, ostali delovi objekta neminovno će unositi izvesnu rezervu, pa istu ne treba uskratiti i sabirnom kanalu i namerno tu stvarati "usko grlo proticaja ". Jasno je i to da će projekat lakše moći opravdati i eventualno preterivanje u nadvišenju obloge ako su posledice od prskanja vode iz kanala nepoželjnije. Prethodna razmatranja mogu se shvatiti kao neminovnosti koje prate svaki konkretni zadatak tehničke prakse i tako ih treba i shvatiti. Moglo bi se, medjutim, zapitati čemu se zašto se sprovodio tako obiman eksperimentalni rad, a zaključak se ne može shvatiti kao potpuno odredjen. Odgovor je sledeći: O nadvišenju nivoa uz neprelivni bok pronije bilo nikakvih sigurnijih podataka i prethodno data procena, u vidu obrasca (7-1), ukazuje na red veličine, bez toga to pitanje bi bilo u potpunoj neizvesnosti; dok se ovako zna da to nadvišenje i nije problem koji zahteva izuzetnu pažnju. Sem toga procena nadvišenja nivoa vode poslužiće, kako je u početnim razmatranjima navedeno, i za dobijanje kriterijuma čije zadovoljenje znači da se može očekivati da tečenje kanalom nizvodno neće biti izrazitije i neprihvatljivo poremećeno bočnim slivanjem. Ovo će biti izloženo u narednom odeljku (7.3.), a to je pitanje koje zaslužuje pažnju.

* * *

Modelska ispitivanja sabirnih kanala sa bočnim slivanjem, koja su namenjena hidrotehničkim objektima, i koja su već korišćena u poglavlju 6. (Prilog 6.1.) poslužiće i ovde da se na rezultatima tih ispitivanja proveri dobijeni obrazac (7-1). To je učinjeno na Prilogu 7.1., koji ukazuje da na prilično dobro slaganje rezultata tih modelskih ispitivanja i sistematskih eksperimentalnih istraživanja u okviru ovog rada. Projekti koji su izradjeni prema tim modelima odredili su gornju ivicu obloge na neprelivnom boku nešto više iznad registrovanog nivoa vode uz bok, a tako je i preporučeno modelskim izveštajem, a to je potpuno u skladu sa malopre izloženim. Daće se i jedan primer kako je postupljeno.Sl. 7-4. odnosi se na sabirni kanal bočnim prelivom za evakuaciju velikih voda iz mikroakumulacija - taj primer korišćen je u poglavljima 4.- 6. i ucrtane linije su u skladu sa ranije iznesenim podacima. Izmedju računa i modela nema bitnih razlika, a vidi se da je ostavljena prilična rezerva iznad nivoa uz neprelivni bok i gornje ivice obloge. Na sličan način se postupa i u drugim slučajevima. Naime, uvek se neprelivni bok za prvu polovinu sabirnog kanala (pa čak i duže) može podići do nivoa vode ispred preliva, jer je tu opadanje nivoa u kanalu uvek blago. Nizvodnim smerom se ovaj blok snižava, prema uslovima na nizvod-



Vrh obloge neprelivnog boka
Horizontalno
4%
0.50 b_0
0.56 b_0
0.76 b_0
0.80 b_0
0.80 b_0
$\frac{1}{4}$ b_0
0.02 b_0
Nivo uz neprelivni bok
Prosečni nivo
4%
$L_0 = \frac{20}{3} b_0$
Δh
h
Prelivna ivica
Nivo u akumulaciji
0.60 b_0
0.50 b_0
0.46 b_0
0.40 b_0
0.27 b_0
$H_p = 0.018\ b_0$

Slika 7.4.

nom kraju, ali idući nizvodno razumna je veća rezerva, jer su svi elementi,o kojima je bilo reči, sve izrazitiji

7.3. Uslov za ostvarenje nizvodnog oticanja kanalom bez neprihvatljivog uticanja bočnog slivanja

Na sl. 7-3, vidi se da su eksperimenti obuhvatili domen:

$$\frac{\Delta h}{H} \sim \frac{q}{\sqrt{g A h}} > 0.15$$

i da bi daljne povećanje $\frac{q}{\sqrt{g A h}}$ dovodilo do naglijeg povećanja $\Delta h/H$, a $\Delta h/H = 0.15$ već se može smatrati prilično velik, jer je razlika nivoa vode uz neprelivni bok i uz prelivni otprilike $2\Delta h$ (vidi sl. 7-1). Dalje, kako je u nizvodnom preseku $h < H$, a h/H može da bude i ispod 0.8, ispada da je za $\Delta h/H = 0.15$:

$$\frac{2\Delta h}{h} \sim 0.4$$

pa čak i veće, a ovo znači da je razlika dubine uz neprelivni i prelivni bok kanala ravna 0.4 dubine. Takvo rešenje govori o jako velikom poprečnom nagibu vodene površine i velikom nadvišenju nepravilnog boka, uz prilično slabo korišćenje iskopanog poprečnog preseka. Sem toga, primećeno je, kod tako velikih $\Delta h/H$, da je oticanje sabirnim kanalom već dosta poremećeno bočnim slivanjem.

Ako se pogledaju modelom ispitani i za gradjenje preporučeni sabirni kanali (Prilog 7.1) vidi se da je, kod njih, $\Delta h / H$, odnosno $q / \sqrt{gAh}$, negde izmedju o.lo i o.15. Izuzetak čini sabirni kanal uz bočni preliv brane Polemidija, gde je ta vrednost dostigla o.2o. Medjutim, taj objekat propušta traženu količinu vode, ali se iz fotografija tečenja može zaključiti da je tu tečenje prilično neumireno, odnosno izrazito poremećeno bočnim slivanjem.

Sve ovo govori o tome da se kao preporuka za projektovanje može dati sledeći kriterijum:

$$\frac{q}{\sqrt{gAh}} < 0.15 \qquad (7-6)$$

uz napomenu da je to krajnja granica i da je poželjno da se ona nikada ne dostiže.

Kriterijum (7-6) može da posluži kao provera usvojenih dimenzija poprečnog preseka, jer kada je isti zadovoljen, ne treba očekivati da će bočno slivanje znatnije remetiti oticanje kanalom nizvodno.

7.4. Obezbedjenje nepotopljenosti preliva. Uslov za visinski smeštaj uzvodnog preseka

Bočno slivanje utiče i na visinski smeštaj sabirnog kanala, jer uzvodni presek treba tako postaviti da on ne potapa preliv. Treba dati uslov za to, jer će sa tim biti upotpunjeno opšte rešenje. Naime, tamo, u poglavlju 6., to pitanje je ostavljeno nerešeno i ostavljeno za ovde.

Najprihvatljivije rešenje je ovo:

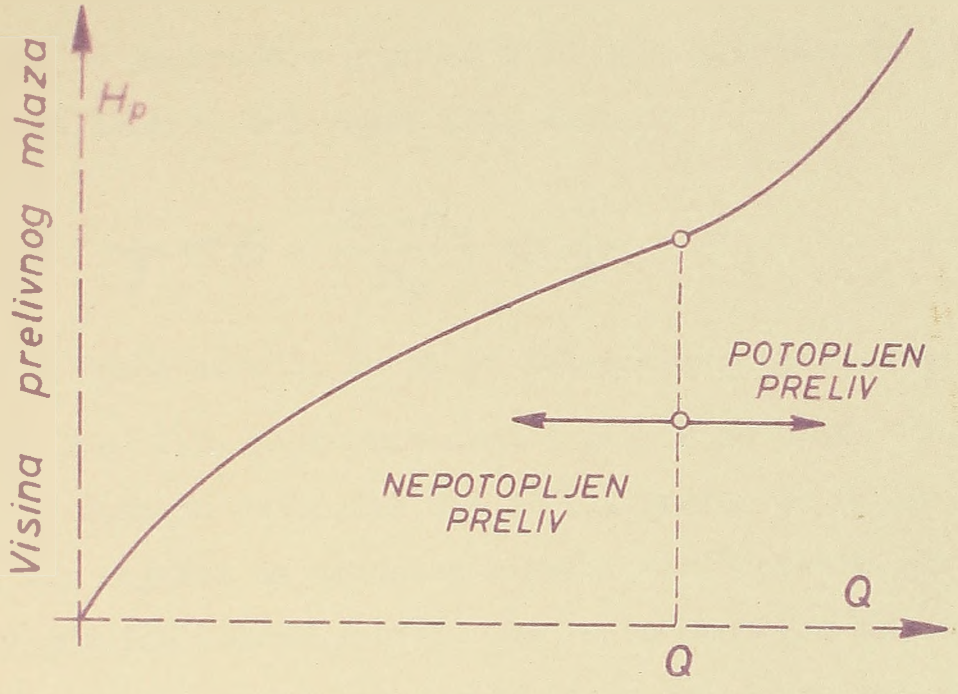
Proticaj za koje kanal predvidjen (maksimalni očekivani proticaj kanalom) treba da bude na granici potopljenosti. Ako se ova granica postiže pri nekom manjem proticaju, onda će maksimalni proticaj potopiti preliv što dovodi do izdizanja vode ispred preliva. To je, sa jedne strane, neekonomično, jer se mora računati da znatno većim vodostajima ispred preliva. Medjutim, sa druge strane, a kako je to malo pre objašnjeno, potapanje preliva dovodi do neželjenih posledica u sabirnom kanalu, do remećenja oticanja. Naime, kako je izloženo, potapanje ne umiruje tečenje, nego baš naprotiv - remeti ga. Medjutim, preterano spuštanje uzvodnog poprečnog preseka dovodi do nepotrebnog spuštanja celog kanala, što je opet nerazumno. Prema tome, posve je razumljiv, navedeni uslov da maksimalni predvidjeni proticaj teče na samoj granici potopljenosti uzvodnog preseka. Kod modelski ispitivanih objekata za praksu tako se i postupa. Sl. 7-5 načelno je prikazan prethodno objašnjeni uslov.

Odredjivanje položaja uzvodnog poprečnog preseka može se obaviti preko bezdimenzionalne veličine Θ koja se daje sledećim odnosom:

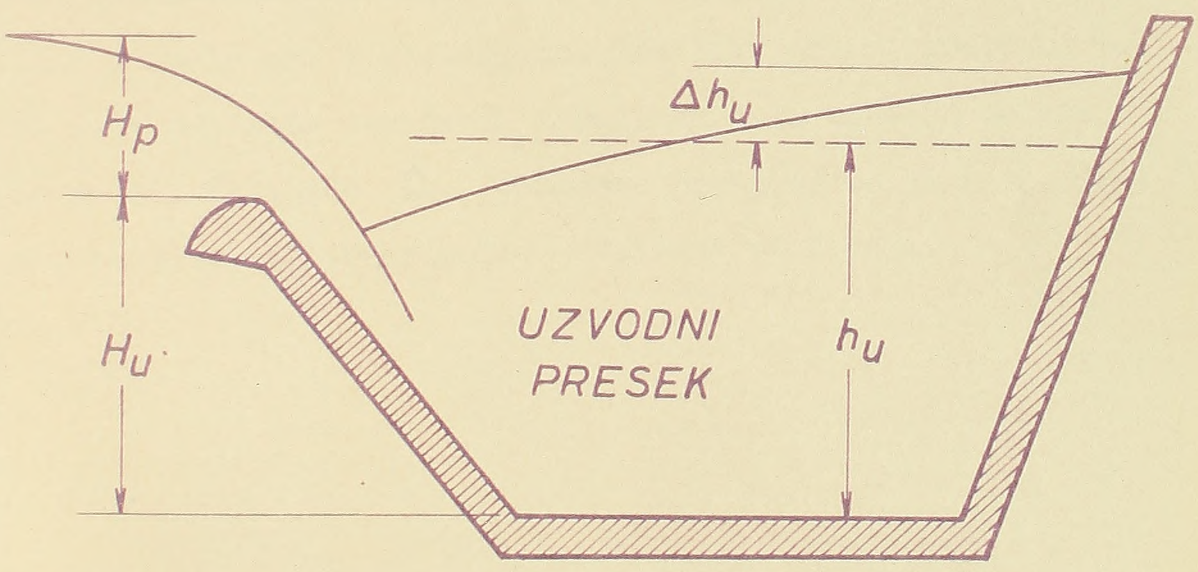
$$\Theta = \frac{h_u - H_u}{H_p} \qquad (7-7)$$

jer konstruktivna dubina, na uzvodnom kraju H_u može da bude manja od prosečne dubine h_u (vidi sl. 7-6), a da se preliv ne potapa. Jasno je da $H_u - h_u$, a samim tim i može dostići veću vrednost ako je Δh veći, jer je veći poprečni nagib nivoa vode.

Na Prilogu 7.2. prikazan je uvedeni pokazatelj za modele iz prakse (opet su uzeti oni sa Priloga 6.1 i 7.1.). Vidi se da je Θ najveći i ravan o.74 za objekat Polemidija, ali kod njega je najveći i $\Delta h/H$. To je, medjutim objekat za koga je rečeno da bočno slivanje nije u dovoljnoj meri umireno. Kod ostalih objekata Θ se kreće otprilike izmedju 1/3 i 1/2. Ranijim radovima (lit. 8 i 1o) autor je preporučivao da se uzme $\Theta = 1/2$. Može se dome



Slika 7.5.



Slika 7.6.

dodati da je to krajnja granica i da nije neuputno to smanjiti, ali ipak ne ići ispod 1/3, odnosno

$$\frac{1}{3} < \Theta = \frac{h_u - H_u}{H_p} < \frac{1}{2} \tag{7-8}$$

Treba dodati, da bi se izbegla eventualna zabuna, da na Prilogu 7.2. nije prikazan i preliv uz branu Vodoča, koji je uziman na Prilozima 6.1 i 7.1. Razlog za to je što se kod tog objekta sa zahtevanim maksimalnim proticajem ne dostiže granica potopljenosti. Ona bi se dostigla tek sa 150 m^3/s, pa je, prema tome, ovde uzeta još i izvesna rezerva u tom pogledu. Kod svih ostalih objekata, medjutim, baš sa maksimalnim očekivanim proticajem počinje potopljenost kako je malo pre i objašnjeno. Grafički prikaz propusne moći svih objekata navedenih u Prilogu 7.1. načelno se podudara sa sl. 7-5. gde Q_o označava proticaj za koja je kanal projektovan, tj. maksimalno očekivani proticaj.

NADVIŠENJA NIVOA VODE UZ NEPRELIVNI BOK IZMERENA NA MODELIMA PROJEKTOVANIH OBJEKATA

Sabirni kanal sa bočnim prelivom uz branu	Presek	H	Δh	$\frac{\Delta h}{H}$	$\frac{q}{\sqrt{g \cdot \Delta h}}$
		m			
Vodoča	Uzvodni	3.5	o.5	o.14	o.14
	Nizvodni	7.9	o.7	o.o9	o.o7
Glašanj	Uzvodni	4.8	o.5	o.1o	o.1o
	Nizvodni	5.9	o.5	o.o9	o.11
Globočica	Uzvodni	11.6	1.5	o.13	o.13
	Nizvodni	15.3	1.9	o.12	o.1o
Polemidija	Uzvodni	4.2	o.7	o.17	o.19
	Nizvodni	4.o	1.o	o.2o	o.19
Gujranvala	Uzvodni	2.7	o.4	o.15	o.14
	Nizvodni	2.7	o.4	o.15	o.14
Mikro akumulacije	Uzvodni	o.4o·b_o	o.o4·b_o	o.1o	o.o9
	Nizvodni	o.67·b_o	o.o6·b_o	o.o9	o.o8

H i Δh označavaju isto što i na slici 7-3. $q = \frac{Q_o}{L_o}$

Poslednja vertikalna kolona sračunata iz podataka sa Priloga 6.1., gde se, kao i kroz ceo rad, indeks "o" odnosi na nizvodni, a indeks "u", na uzvodni presek kanala

Vrednosti upisane u poslednje dve kolone tablice medjusobno se mnogo ne razlikuju, što ukazuje da se procena nadvišenja nivoa po obrascu (7-1) ne odstupa mnogo od rezultata dobijenih modelom.

Prilog 7.2.

VREDNOSTI POKAZATELJA POTOPLJENOSTI θ

ZA OBJEKTE PROJEKTOVANE PREMA MODELSKIM

ISPITIVANJIMA

Objekat	H_u	h_u	H_p	$\theta = \frac{h_u - H_u}{H_p}$
Glažanj	4.8	5.7	1.8	o.5o
Globočica	11.6	12.7	3.4	o.32
Polemidija	4.2	7.o	3.7	o.74
Gujranvala	2.7	4.3	2.8	o.57
Mikro - akumulacija	o.4o b_o	o.46 b_o	o.18 b_o	o.33

Oznake iz zaglavlja tablice prikazane su na sl.7-6.

Podaci se odnose na projektovani (maksimalno očekivani) proticaj (Q_o na prilogu 6.1.), za koga se dostiže granica potopljenosti, (vidi sliku 7-5.).