

**GRAĐEVINSKI FAKULTET
BEOGRAD**

**OBJEKTI
ZA ODREĐIVANJE
PROTICAJA
U OTVORENIM
KANALIMA**

**BEOGRAD
februar 1977.**

ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU INGIG-a
Građevinski fakultet Beograd

STUDIJA

OBJEKTI ZA MERENJE PROTICAJA U OTVORENIM
KANALIMA MERENJEM JEDNE DUBINE

Upravnik
Zavoda za hidrotehniku

Upravnik INGIG-a

Dr Vojislav Vukmirović

Prof. Živorad Radosavljević

Beograd, februara 1977.

ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU

Institut za građevinarstvo i geodeziju
Građevinskog fakulteta

Na sednici Katedre za hidrotehniku koja je održana 23.06.1976. godine, formirana je stalna komisija za pregled i ocenu stručne i naučne dokumentacije koja se radi u okviru Zavoda za hidrotehniku.

Komisija ima sledeći sastav:

1. Prof. dr Mladen Boreli, član
2. Prof. dr Slavoljub Jovanović, zamenik
3. Asistent mr Božidar Batinić, član
4. Asistent mr Miodrag Radojković zamenik
5. Asistent mr Dimitrije Avakumović, član
6. Asistent Čedo Maksimović, zamenik

Za potrebe pregleda dokumentacije iz gornjeg sastava se formira komisija od 3 člana za svaki posao pojedinačno.

Mandat članova komisije traje dok se ne izabere nova

Upravnik
Zavoda za hidrotehniku

Dr Vojislav Vukmirović

ZAVOD ZA HIDROTEHNIKU

Institut za građevinarstvo i geodeziju Građevinskog fakulteta
Beograd

IZVEŠTAJ KOMISIJE ZAVODA ZA HIDROTEHNIKU

Komisija Zavoda za hidrotehniku pregledala je hidrauličku studiju:

„OBJEKTI ZA ODREĐIVANJE PROTICAJA U OTVORENIM KANALIMA
MERENJEM JEDNE DUBINE“

i na osnovu toga zaključila:

- a) Studija je urađena u potpunosti u skladu sa odredbama ugovora 9/12 – 1976. sa naručiocem Hidrosistem „Dunav-Tisa-Dunav“ O.V.P. iz Novog Sada.
- b) Radni naziv studije je glasio „Tipizirani objekti za merenje proticaja u otvorenim kanalima sistema za odvodnjavanje na području Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav“
- c) Studija je urađena na osnovu eksperimentalnog istraživanja obavljelog na seriji hidrauličkih modela u laboratoriji za hidrauliku Zavoda za hidrotehniku.
- d) Rezultati istraživanja predstavljaju značajan doprinos tehnici merenja proticaja.
- e) Studija se u potpunosti prihvata.

Beograd 20.02.1977.



Komisija:

Prof. dr Slavoljub Jovanović

Dr Božidar Batinić

Mr Miodrag Radojković

O MERENJU PROTICAJA U OTVORENIM TOKOVIMA

1. UVOD

Prema ugovoru broj i-9/12 sklopljenog između Opšteg vodoprivrednog preduzeća „Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav“, kao naručioca, i Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu, Zavod za hidrotehniku je izradio ovu studiju o određivanju proticaja u kanalima na osnovu jedne merene dubine.

Studija se oslanja na rezultate ispitivanja serije modela koji su napravljeni i ispitani u Hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta. Spisak modela i parametara koji su na njima varirani daje se u tabeli 1.

U odeljku 2 govori se o određivanju proticaja na osnovu jedne merene dubine i o eksperimentalnoj potvrdi tih razmatranja. Posmatraju se odvojeno trapezni kanal i pravougaoni kanal, kao specijalni slučaj trapeznog kanala. Na kraju se daju i krive proticaja (tabelarno – tabele 3, 4 i 5 i dijagramima – dijagrami 5, 6 i 7, za trapezni kanal i analitički za pravougaoni kanal).

U odeljku 3. govori se o dubini vode iza mernog objekta i njenom uticaju na normalno funkcionisanje mernog objekta. Daju se kriterijumi za maksimalnu dubinu vode iza objekta (dijagram 7 i slika 2). U odeljku 4. se govori o mogućem štetnom uticaju mernog objekta na deo kanala neposredno nizvodno od objekta a posredno i na sam objekat; to je slučaj kada burno tečenje prođe iz suženja u kanal i izaziva znatnu lokalnu eroziju.

U petom odeljku se daje dispozicija mernog objekta i granice u kojima treba da se kreću njegove osnovne dimenzije.

U šestom odeljku je skiciran redosled kod projektovanja mernog objekta.

Na kraju se daju i neki praktični saveti.

2. OSNOVNE JEDNAČINE

Merni objekti, o kojima je ovde reč, spadaju u klasu objekata gde se u jednom poprečnom preseku uspostavlja kritično tečenje. Kritično tečenje se postiže sužavanjem poprečnog preseka kanala. Veza između kritične dubine (h_{kr}) i proticaja je poznata i daje se preko jednačine (4). Ipak, za određivanje proticaja meri se dubina (h) u nekom preseku ispred suženja (presek M–M na slici 1). To stoga, jer je tako zgodnije: meri se dubina (h) u jednom definisanom preseku sa paralelnim strujnicama, a ne kritična dubina, jer je teško odrediti presek u kome se ona javlja.

Dubina (h) se formira pod direktnim uticajem kritične dubine (h_{kr}), pa je preko (h_{kr}) moguće dovesti dubinu (h) u vezu sa proticajem (Q). Na slici 1. prikazan je opšti slučaj tečenja kroz suženje. Uz pretpostavku da su strujnice paralelne u presecima M–M i S–S i uz zanemarenje gubitka energije između ta dva preseka i za horizontalno dno između tih preseka, može se napisati Bernulijeva jednačina:

$$\frac{Q^2}{2gA_{\star}^2} + h_{\star} = h_{kr} + \frac{Q^2}{2gA_{kr}^2} \quad (1)$$

Za presek S–S je:

$$A_{kr} = b_s h_{kr} + m h_{kr}^2 \quad (2)$$

$$B_{kr} = b_s + 2m h_{kr} \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{g \frac{A_{kr}^3}{B_{kr}}} \quad (4)$$

gde su korišćene oznake sa sledećim značenjem:

- A – površina poprečnog preseka struje
- B – širina vodenog ogleđala
- b – širina dna
- h – dubina vode
- g – gravitaciono ubrzanje ($g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$)
- $m = \text{ctg}\alpha$; α – ugao nagiba boka kanala prema horizontali.

indeksi:

- s – odnosi se na presek S–S
- kr – odnosi se na kritično tečenje u preseku S–S
- \star – idealno (dobijeno rešavanjem jednačine (1) uz zanemarenje gubitaka) za presek M–M
- oznaka bez indeksa – stvarno za presek M–M.

Na dijagramu 1 nanete su vrednosti (h/h_{\star}) u zavisnosti od dubine (h). Dubina (h) je dobijena merenjem na modelu u preseku M–M, a (h_{\star}) kao rešenje jednačine (1). Sve tačke izuzev za vrednosti (h) manje od 10 cm su grupisane između 1,015 i 1,025 (za trapezni kanal na dijagramu 1) i između 1,035 i 1,046 (za pravougaoni kanal – na dijagramu 2).

Odstupanje merenih dubina (h) od računatih (h_{\star}) je posledica zanemarenja gubitka energije. Kod manjih dubina veći su uticaji rapavosti, kapilarnosti i viskoznosti pa su razlike, procentualno, tu i veće. Na

osnovu ovoga daje se i preporuka da se izbegava merenje dubina manjih od 10 cm (kasnije će se videti da je to skoro uvek moguće i pri malim proticajima povoljnim izborom širine dna u suženju i nagiba bokova mer-nog objekta).

Dijagrami 1 i 2 su potvrda da se može napisati sledeća relacija

$$h = k h_{\star} \quad (5)$$

gde je k neka konstanta ($k = 1,02$ za trapezni kanal; $k = 1,04$ za pravougaoni kanal), dobijena eksperimentalnim putem.

Značaj ovoga zaključka je veliki, jer se, na osnovu ovoga, i za druge slične merne objekte (koji nisu ispitani na modelu) može računom dobiti kriva proticaja. Naravno, dimenzije objekata treba da su u skladu sa ograničenjima datim u odeljku 5.

Relacija (5) je zadovoljena sve dotle dok k u sebi sadrži samo gubitak energije, odnosno dok je zadovoljena jednačina (1). Na modelima je primećeno da za

$$h_{kr} > 0,5 L_3, \quad (L_3 \text{ je dužina suženja}),$$

vrednost za k iz relacije (5) nije konstantno, nego počinje da opada za šta postoji logično objašnjenje koje se zbog konciznosti izlaganja ovde ne prikazuje. Zato je u odeljku 5. dužina suženja (L_3) ograničena sa donje strane tj. $L_3 \geq 2 h_{kr}$.

2.1 Suženje u pravougaonom kanalu

Za slučaj pravougaonog kanala ($m = 0$, prema oznakama sa slike 1) jednačina (1) se jako pojednostavljuje, i postupkom dimenzionalne analize dobija se:

$$\varphi + \frac{1}{2} \frac{S^2}{\varphi^2} = \frac{3}{2} \quad (6)$$

gde figurišu svega dve bezdimenzionalne veličine:

$$\varphi = \frac{h_{\star}}{h_{kr}} \quad \text{i} \quad S = \frac{b_s}{b}$$

Jedna od njih (S – stepen suženja) je konstantna za određeni merni objekat pa sledi da i druga mora to biti, tj.

$$\varphi = \frac{h_{\star}}{h_{kr}} = \text{konst.} \quad (7)$$

Eksperimentalne tačke se zaista grupišu oko konstantne vrednosti za h/h_{kr} što se vidi na dijagramu 3. Sam odnos h/h_{\star} tj. k je za pravougaoni kanal (ispitana su dva stepena suženja $S = 0,6$ i $S = 0,8$) jednak je 1,04.

Za pravougaoni kanal jednačina (4) ima oblik:

$$Q = b_s \sqrt{g h_{kr}^3} \quad (4')$$

4.

Iz toga se dobija analitički izraz za krivu proticaja

$$Q = \beta b_s h^{3/2} \sqrt{g} \quad (8)$$

gde je

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{(k\varphi)^3}} \quad (9)$$

Formulu, oblika (8), gde je proticaj proporcionalan dubini na neki eksponent, moguće je dati samo za pravougaoni kanal. Za nekoliko vrednosti S (stepena suženja) daju se u tablici 2. odgovarajuće vrednosti za φ i β (usvojeno je $k = 1,04$).

Tabela 2.

S	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
φ	1,0	1,234	1,315	1,369	1,409	1,440
β	1,06	1,45	1,60	1,70	1,77	1,83

2.2 Suženje u trapeznom kanalu

Istim postupkom kao u 2.1. dolazi se do sledećeg oblika jednačine (1)

$$\varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{S+mF}{S+2mF} \right) \left[\frac{1}{\varphi} \frac{(S+mF)^2}{(1+m\varphi F)^2} - 1 \right] = 1 \quad (10)$$

gde je

$$F = \frac{h_{kr}}{b}; \quad \varphi = \frac{h_{\star}}{h_{kr}}; \quad S = \frac{b_s}{b}; \quad m = \text{ctg } \alpha$$

Isti ugao nagiba bokova α se zadržava u svakom poprečnom preseku mernog objekta pa je $m = \text{const}$. S je takođe konstantno za određeni merni objekat. F se menja sa proticajem (jer ta bezdimenzionalna veličina zamenjuje proticaj) pa se vidi da ni φ nije konstanta. Eksperimentalne tačke slede neku krivu liniju što se vidi na dijagramu 4. gde se za jedan slučaj daje rešenje jednačine (10) i odgovarajuće eksperimentalne tačke.

Kada je u pitanju trapezni kanal nije moguće dati eksplicitno ni zavisnost kritične dubine (h_{kr}) od proticaja (Q), kao što se to moglo kod pravougaonog kanala. To je objašnjenje zašto se kod trapeznog kanala ne može dati formula za krivu proticaja u obliku (8). Zato se na dijagramima 5, 6 i 7 i tabelama 3, 4 i 5 daje zavisnost proticaja (ustvari $Q/\sqrt{g b^5}$) od merene dubine (ustvari h/b). Prema zaključku datom u odeljku 2, uzeto je da se merene dubine (h) razlikuju od idealnih (h_{\star}) za 2% i onda je $k = 1,02$.

$$h = 1,02 h_{\star}$$

Da bi se dobila kriva proticaja, za svaki slučaj posebno, potrebno je ordinatu (h/b) pomnožiti sa b (dobija se samo h) i apscisu ($Q/\sqrt{g b^5}$) pomnožiti sa $\sqrt{g b^5}$, gde je b širina ulazne deonice za razmatrani merni objekat (pre suženja).

3. POTAPANJE STRUJE U SUŽENJU

Za mirno tečenje koje je ispred suženja, kontrolni presek je suženi presek a dubina koja se u njemu formira zavisi samo od proticaja – to je kritična dubina. Kritično tečenje u suženju je barijera za prostiranje nizvodnih uticaja uzvodno.

Relacije izvedene u prethodnom odeljku važe sve dotle dok je u suženju kritično tečenje (slika 1). Dokle će biti tako zavisi isključivo od dužine suženog dela kanala i dubine vode iza suženja. U prethodnom odeljku je bilo reči o prvom uslovu, a ovde će biti o drugom. Za sve dubine vode iza suženja manje od neke granične vrednosti tečenje u suženju će biti kritično. Na slici 2 je prikazan slučaj kada je dubina vode iza suženja jednaka graničnoj. Utvrđivanje te granične vrednosti bio je jedan od zadataka modelskih ispitivanja.

Teorijska analiza ove pojave, slična onoj u prethodnom odeljku se ne navodi jer su eksperimenti pokazali da je nepouzdana. Naime, parametri koji tako mogu biti obuhvaćeni malo utiču na potapanje, a oni koji utiču ne mogu u potpunosti biti obuhvaćeni.

Potapanje se manifestuje povećanjem dubine ispred suženja (h) usled povećanja dubine iza suženja (h_d). Dubina ispred suženja sada zavisi od proticaja (Q) i od dubine donje vode (h_d), pa u tom slučaju za određivanje proticaja treba meriti dve dubine.

Potapanje zavisi najviše od dužine na kojoj se obave povećanje širine dna kanala od suženog na širinu dna iza suženja i od mogućnosti prelaska (vraćanja) kinetičke energije struje u suženju u potencijalnu energiju iza suženja, tj. od samog gubitka energije na toj deonici. Kod bržeg širenja veći je gubitak energije (moguće je odvajanje struje od zidova) i potapanje nastupa pri manjim dubinama iza suženja, a pri istim ostalim uslovima. Na dijagramu 8. data je zavisnost bezdimenzionalne veličine ψ (označena na slici 2) i širenja bokova kanala u bilo kom horizontalnom preseku (ovo odgovara širenju dna kanala samo kod pravougaonih kanala).

Nepotopljenost struje u suženju se obezbeđuje izdizanjem dna mernog objekta iznad dna kanala. Određivanje ovog nadvišenja podrazumeva da, za određeni proticaj, proed toga što znamo dubinu u suženju (iz uslova kritičnog tečenja) moramo znati i dubinu koja se javlja iza suženja.

Da bi se ovo ilustrovalo navodi se primer na dijagramu 10. koji se odnosi na slučaj kada je jednoliko tečenje u delu kanala iza suženja, i dubina iza suženja je normalna. Pad dna kanala je $I = 1\%$, nagib bokova $m = 1,5$ i maksimalni proticaj koji će se meriti $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$. Merni objekat zadržava isti nagib bokova ($m = 1,5$), širina dna ulazne deonice $b = 1,5 \text{ m}$, stepen suženja $S = 0,1$ i širenje bokova u horizontali je $M = 6$ (sledi da je $\psi = 0,5$). Linija (1) se dobija iz uslova nepotopljenog tečenja u suženju ako nema visinske razlike između dna u suženju i kanalu. Linija (2) je dubina vode iza suženja. Za sve vrednosti proticaja tečenje je potopljeno (linija (2) je iznad linije (1)). Ako se dno mernog objekta podigne za $\Delta = 0,5 \text{ m}$ u odnosu na dno kanala (linija (3) umesto linije (1)), tečenje je nepotopljeno sve do $Q = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Važno je uočiti da je kod ovih objekata dovoljno obezbediti nepotopljenost za maksimalni proticaj, a da je time za sve ostale, manje proticaje, to obezbeđeno. Linija (4) je merena dubina (h). Posle potapanja (za $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$), tačkasto je nacrtana vrednost dubine (h) ako zavisi samo od proticaja, a stvarna vrednost se lagano odvaja od toga i počinje da sledi liniju (3) jer zavisi od dubine (h_d). Razlika nivoa vode ispred i iza mernog objekta je razlika između linija (4) i (2), i jednaka je $(1 - \psi)(h - h_{kr})$. Ona je najveća za najmanje proticaje (red veličine Δ), a najmanja za maksimalni proticaj. Za $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta h = 0,15 \text{ m}$. Ovo je posebno važno zbog toga što merni objekat normalno radi do maksimalnog proticaja koji merimo, a za eventualne veće proticaje on ne predstavlja smetnju.

Za praktičnu primenu ovoga, važno je uočiti kako dolazi do potapanja. Na dijagramu 9. nanete su vrednosti (h/h_{kr}) u zavisnosti od dubine donje vode za 2 ekstremna širenja bokova kanala, koja su ispitivana na modelima, $M = 3$ i $M = 10$ (prema oznakama sa dijagrama 8), a za po jednu vrednost proticaja

$$Q_{\star} = \frac{Q}{\sqrt{g b^5}}$$

Kada bi se i za slučaj sa $M = 3$ usvojila ista granica potapanja kao i kod $M = 10$, greška koju činimo u čitanju dubine (povećavanje dubine usled nizvodnih uticaja) nije veća od 2%. Greška u proticaju je tada 3 do 5%. Zato, ako je potrebno tačno određivati proticaje bliske po vrednosti maksimalnom, računati sa ψ iz dijagrama 8, a ako nije, dovoljno je tačno ako se radi sa $\psi = 0,5$. Zbog neizvesnosti kod određivanja dubine vode iza suženja bolje je, ako je to moguće, ostaviti nešto rezerve (kao na dijagramu 10). Veličinu Δ ograničava sa uzvodne strane mogućnost izlivanja iz kanala pri maksimalnom proticaju. Iz ta dva uslova se određuje vrednost Δ , tj. dizanje dna mernog objekta u odnosu na dno kanala.

4. SMIRIVANJE STRUJE IZA SUŽENJA

Pri prolasku kroz suženje vodena struja se ubrzava i iz suženja izlazi sa dubinom manjom od kritične (burno tečenje). U kanalu iza objekta je mirno tečenje pa treba još na objektu preći iz burnog u mirno tečenje, za razne proticaje treba odrediti najmanje dubine (h_d^{min}) koje se mogu javiti i proveriti da li su dovoljne da smire struju iza suženja tj. da li je

$$h_d^{min} \geq h''_{\Delta}$$

gde je h_{Δ} dubina vode iza suženja koja odgovara spuštanju dna iza suženja za Δ , h''_{Δ} dubina koja se sa h_{Δ} spreže u hidraulički skok, a h_d dubina vode iza suženja.

Ako je:

$$h_d^{min} < h''_{\Delta}$$

potrebno je dno iza suženja spustiti za neku vrednost Δ_1 ispod dna kanala i ponovo ga vratiti na nivo dna kanala, s tim da bude

$$h_d^{min} + \Delta_1 = h''_{(\Delta + \Delta_1)}$$

gde je $h_{(\Delta + \Delta_1)}$ dubina iza suženja koja odgovara spuštanju dna za $(\Delta + \Delta_1)$, a $h''_{(\Delta + \Delta_1)}$ dubina koja se sa $h_{(\Delta + \Delta_1)}$ spreže u hidraulički skok.

Deo dna kanala iza objekta treba zaštititi krupnijim kamenom u dužini od najmanje $(3 \text{ do } 4)h_d$ i sprečiti ispiranje sitnijih frakcija ispod zaštite obrnutim filtrom.

5. OSNOVNE DIMENZIJE MERNOG OBJEKTA

Na osnovu prethodnog moguće je dati dispoziciju mernog objekta koji najviše odgovara postavljenim zahtevima.

Na slici 3 je prikazan takav merni objekat, i on se preporučuje za trapezne kanale. Daju se sledeća ograničenja za dimenzije sa skice:

$$L_1 \geq 2,5 b$$

$$L_2 \geq 3/2 (b - b_s)$$

$$L_3 \geq 2 h_{kr}$$

$$L_M \geq \max (b/2; 1,5 h_{kr})$$

$$L_4 \geq 3 [b_d/2 + m (\Delta + \Delta_1) - b_s/2]$$

$$L_5 = \frac{L_4}{(\Delta + \Delta_1)} \Delta_1$$

$$L_6 \geq \frac{h_d^{\max}}{2}$$

$$L_7 \geq (3 \div 4) h_d^{\max}$$

b_d je širina dna objekta iza suženja

Usvajanjem većih vrednosti za dužine L_1, L_2, \dots ne dobija se mnogo izuzev kod L_4 . Za L_4 je predložena minimalna dužina iz razloga ekonomičnosti. Tolikoj dužini L_4 odgovara $\psi = 0,3$ (tačna vrednost sa dijagrama 8), i denivelacija na objektu $(1 - \psi) (h - h_{kr})$ pri maksimalnom proticaju koji se određuje. Ako je denivelacija ograničena, a nivo vode iza suženja može biti tačno određen, ima smisla produžavati L_4 jer se tako povećava ψ a, samim tim, smanjuje denivelacija $(1 - \psi) (h - h_{kr})$.

Stepen suženja ($S = b_s/b$) se može kretati od nule do 0,5. Prethodno važi za sve kanale čiji su nagibi bokova od $m = 1$ do $m = 2$.

Za pravougaone kanale preporučuje se merni objekat sa sledećim dimenzijama (slika 4):

$$L_1 \geq 2,5 b$$

$$L_2 \geq 3/2 (b - b_s)$$

$$L_3 \geq 2 h_{kr}$$

$$L_M \geq \max (b/2; 1,5 h_{kr})$$

$$L_4 \geq 3 (b_d - b_s)$$

$$L_5 = \frac{L_4}{(\Delta + \Delta_1)} \Delta_1$$

$$L_6 \geq \frac{h_d^{\max}}{2}$$

$$L_7 \geq (3 \div 4) h_d^{\max}$$

Stepen suženja ($S = b_s/b$) se može kretati od 0,6 do 0,8.

Ispred mernog objekta potrebno je imati pravu deonicu kanala u dužini od najmanje 10 širina dna kanala. Ako na kanalu postoji deonica sa koncentrisanim padom pogodno je tu postaviti merni objekat. Prelaz iz kanala na objekat treba zaštititi krupnijim kamenom, a na početku mernog objekta predvideti priboj, koji treba da smanji filtraciju oko i ispod mernog objekta. Na taj priboj će se oslanjati početak mernog objekta.

6. IZBOR VELIČINE I OBLIKA MERNOG OBJEKTA

Kada se odabere profil gde će se graditi merni objekat na izbor oblika i dimenzija utiču sledeće veličine (I) i zahtevi (II):

(I) Širina dna kanala i nagib bokova kanala. Ovim su grubo određeni širina dna ulazne deonice (b) i nagib bokova mernog objekta (m). Konačne vrednosti za (b) i (m) usvojiće se u zavisnosti od ostalih veličina nabrojanih ovde.

(II) – Q_{\min}^m , tj. najmanji proticaj koji želimo da odredimo

– Q_{\max}^m , tj. najveći proticaj koji, od očekivanih, želimo da izmerimo

– $(h_{\max}^m - h_{\min}^m)$ – raspon merenih dubina

– zahtevana tačnost u određivanju proticaja (za veću tačnost uzme se ψ sa više rezerve, tj. prema dijagramu 8. i što veći raspon merenih dubina).

Pored toga, ograničenje je da se ne mere dubine manje od 10 cm (odeljak 2) kao ni proticaji manji od 10 l/s.

Parametri m , S i b se biraju tako da se preko dijagrama 5, 6 i 7 dode do one kombinacije koja najbolje odgovara postavljenim zahtevima. Na primer: ako je mali raspon mernih dubina a velika razlika između Q_{\max}^m i Q_{\min}^m treba usvojiti veće S i veće m , itd.

Sledeći korak je provera da li je moguće merni objekat sa ovakvim parametrima ugraditi u postojeći kanal, odnosno da li on zadovoljava granične uslove koje nameće kanal.

Nizvodni granični uslov je maksimalni nivo vode iza objekta (h_d^{\max}) koji se može javiti pri proticaju Q_{\max}^m . Za tu dubinu potrebno je obezbediti nepotopljeno tečenje u suženju izdizanjem dna mernog objekta za Δ . Kod jednolikog tečenja najveća dubina se javlja pri najvećoj rapavosti koja se realno može očekivati u kanalu iza objekta.

Na osnovu toga sledi uslov za Δ (prema oznakama na slici 2 i u odeljku 3):

$$\Delta \geq (h_d^{\max} - h_{kr}) - (h_{\max}^m - h_{kr})$$

Δ je ograničeno i sa uzvodne strane zbog mogućnosti izlivanja iz kanala. Ako je maksimalna dozvoljena dubina vode uzvodno od mernog objekta h_{\max} , može se napisati i drugi uslov za:

$$\Delta \leq h_{\max} + \Delta z - h_{\max}^m$$

gde je Δz prirodna denivelacija u dnu kanala (naravno, ako postoji).

Ako ove dve nejednakosti imaju rešenje merni objekat se može ugraditi u kanal. Ako nema rešenja promeniti zahteve (II) koji su postavljeni i probati sa drugim kombinacijama parametara m , S i b , ili odustati od izgradnje objekta na tom mestu.

Za usvojene parametre m , S i b ostale dimenzije se određuju prema slici 3, odnosno 4.

7. ZAVRŠNE NAPOMENE

Merni objekat je sastavljen od ravnih površina pravilnih geometrijskih oblika. Posebnu pažnju kod izgradnje treba posvetiti ulaznom delu i suženju (dužine L_M , L_2 i L_3) gde dno treba da bude horizontalno a površine glatke. U preseku M—M meri se visina vodene površine u odnosu na dno u suženju. Ukoliko se posle izgradnje objekta ustanovi da dimenzije (m , b i b_s) odstupaju od projektovanih treba za taj slučaj dobiti krivu proticaja na način prikazan u odeljku 2.

Za manje kanale, i za proticaje manje od $1 \text{ m}^3/\text{s}$ moguće je ulazni deo i suženje praviti van kanala i gotove spustiti u kanal. Uzvodnom dijafragmom sprečiti filtraciju ispod takvog objekta, a ostvariti vodonepropusni spoj dijafregme i mernog objekta. Deo iza suženja se menja od slučaja do slučaja pa ga nije moguće tipizirati.

Za veće kanale, moraju se merni objekti graditi na licu mesta. Zato treba birati deonice u stabilnijem zemljištu. Poželjno je poznavati i podatke o geomehničkim karakteristikama i vodopropusnosti tla.

Presek M—M u kome se meri dubina vode (h) je na rastojanju L_M od početka suženja. Dubina se meri u jednom bunaru koji je sa kanalom povezan jednom cevi prečnika $D \approx 10 \text{ cm}$. Otvor cevi treba da je ispod najnižeg nivoa u kanalu, koji će se meriti. Ovaj prečnik je dovoljno velik da nivo vode u bunaru prati nivo u kanalu, a dovoljno mali da se ne prenose oscilacije vodene površine u kanalu (usled uzburkanosti, duvanja vetra itd) u bunar. Pošto postoji mogućnost istaloživanja suspendovanog nanosa iz vode iz kanala treba predvideti povremeno čišćenje bunara od nataloženog mulja. Zato dno bunara treba obavezno da bude ispod onog nivoa koji se zahteva zbog normalnog funkcionisanja merača nivoa. Ukoliko je ta rezerva veća ređe će se čistiti. Isto važi i ako voda sadrži manje suspendovanog nanosa. Bunar sa donje strane treba da bude zatvoren (izolovan od okolne podzemne vode).

Beograd februara 1977.

Autori:
Georgije Hajdin
Marko Ivetić
Slavko Kulačin
Čedo Maksimović

Tabela 1

m	b_s/b	b (cm)	Δ (cm)		
0	0,8	40	4	4	0
		20		2	
		10	0	1	2
	0,6	20		4	
		10		2	
	1	0,5	20	1	3
0		20	3		
		10	1,5		
		5	0,5		
1,5	0,1	20		5	
2	0	10		0	
	0,2	13		1,0	
	0,5	20		2,0	

PREGLED MODELA I PARAMETARA KOJI SU NA NJIMA VARIRANI

Tabela 3

TRAPEZNI KANAL

 $m = 1$

$H_1 = h/b$	$\frac{Q}{\sqrt{g b^5}}$					
	$S = 0,00$	$S = 0,05$	$S = 0,10$	$S = 0,20$	$S = 0,30$	$S = 0,50$
0,06	0,0003	0,0007	0,0011	0,0019	0,0027	0,0045
0,08	0,0007	0,0013	0,0019	0,0031	0,0043	0,0071
0,10	0,0012	0,0020	0,0028	0,0045	0,0063	0,0102
0,12	0,0019	0,0030	0,0041	0,0063	0,0086	0,0137
0,14	0,0028	0,0042	0,0055	0,0083	0,0113	0,0177
0,16	0,0040	0,0056	0,0072	0,0107	0,0143	0,0222
0,18	0,0053	0,0072	0,0092	0,0134	0,0177	0,0271
0,20	0,0069	0,0092	0,0115	0,0164	0,0215	0,0326
0,22	0,0088	0,0114	0,0141	0,0197	0,0256	0,0385
0,24	0,0109	0,0140	0,0170	0,0234	0,0301	0,0449
0,26	0,0134	0,0168	0,0203	0,0274	0,0351	0,0517
0,28	0,0161	0,0200	0,0238	0,0319	0,0404	0,0591
0,30	0,0192	0,0234	0,0277	0,0367	0,0462	0,0672
0,32	0,0225	0,0273	0,0321	0,0420	0,0524	0,0755
0,34	0,0263	0,0314	0,0367	0,0475	0,0591	0,0844
0,36	0,0303	0,0360	0,0418	0,0536	0,0662	0,0939
0,38	0,0348	0,0409	0,0471	0,0600	0,0739	0,1040
0,40	0,0396	0,0463	0,0531	0,0670	0,0820	0,1146
0,42	0,0448	0,0519	0,0592	0,0743	0,0905	0,1258
0,44	0,0504	0,0582	0,0660	0,0823	0,0996	0,1376
0,46	0,0564	0,0646	0,0729	0,0904	0,1092	0,1499
0,48	0,0628	0,0717	0,0807	0,0993	0,1193	0,1628
0,50	0,0696	0,0790	0,0885	0,1085	0,1299	0,1765
0,52	0,0770	0,0870	0,0973	0,1184	0,1411	0,1908
0,54	0,0846	0,0952	0,1059	0,1286	0,1528	0,2055
0,56	0,0929	0,1042	0,1157	0,1395	0,1650	0,2211
0,58	0,1014	0,1133	0,1253	0,1507	0,1779	0,2370
0,60	0,1106	0,1233	0,1361	0,1627	0,1912	0,2539
0,65	0,1355	0,1497	0,1642	0,1947	0,2271	0,2987
0,70	0,1636	0,1796	0,1960	0,2304	0,2669	0,3477
0,75	0,1952	0,2134	0,2318	0,2704	0,3109	0,4011
0,80	0,2300	0,2499	0,2703	0,3131	0,3586	0,4592
0,85	0,2686	0,2910	0,3136	0,3609	0,4106	0,5217
0,90	0,3107	0,3349	0,3597	0,4117	0,4671	0,5886
0,95	0,3569	0,3839	0,4111	0,4679	0,5281	0,6615
1,00	0,4069	0,4358	0,4655	0,5283	0,5934	0,7384
1,05	0,4613	0,4931	0,5253	0,5924	0,6626	0,8213
1,10	0,5196	0,5535	0,5884	0,6614	0,7388	0,9089
1,15	0,5826	0,6197	0,6572	0,7354	0,8177	1,0025
1,20	0,6498	0,6891	0,7291	0,8144	0,9040	1,1012

Tabela 4

TRAPEZNI KANAL

 $m = 1,5$

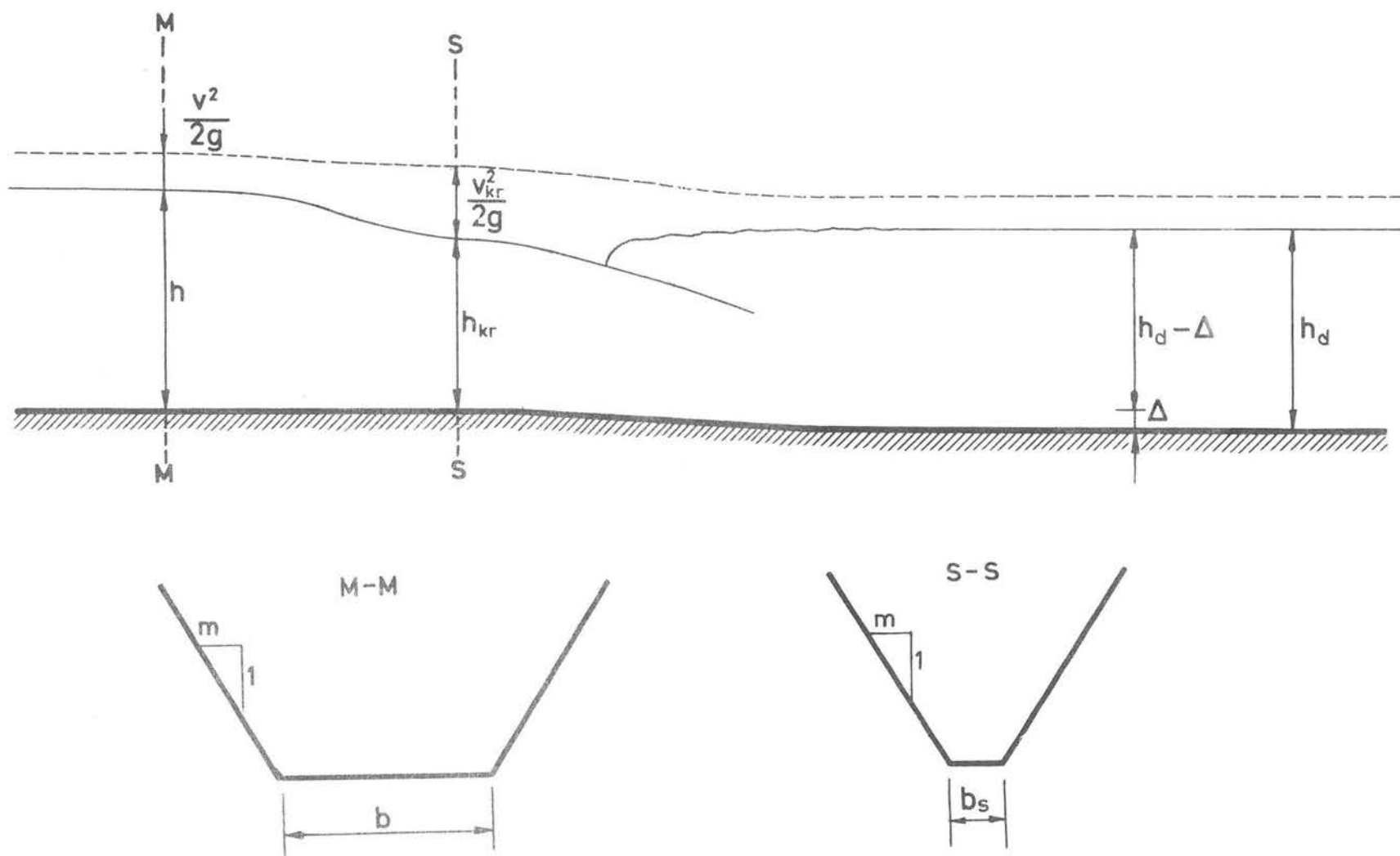
$H_1 = h/b$	$\frac{Q}{\sqrt{g} b^5}$					
	$S = 0,00$	$S = 0,05$	$S = 0,10$	$S = 0,20$	$S = 0,30$	$S = 0,50$
0,06	0,0005	0,0009	0,0013	0,0021	0,0029	0,0047
0,08	0,0010	0,0016	0,0022	0,0034	0,0047	0,0075
0,10	0,0018	0,0026	0,0035	0,0052	0,0069	0,0108
0,12	0,0029	0,0039	0,0050	0,0073	0,0096	0,0148
0,14	0,0043	0,0056	0,0070	0,0098	0,0128	0,0193
0,16	0,0060	0,0076	0,0093	0,0127	0,0164	0,0244
0,18	0,0080	0,0100	0,0120	0,0161	0,0205	0,0301
0,20	0,0104	0,0127	0,0151	0,0200	0,0252	0,0365
0,22	0,0133	0,0160	0,0187	0,0243	0,0303	0,0435
0,24	0,0165	0,0196	0,0227	0,0292	0,0361	0,0512
0,26	0,0202	0,0237	0,0273	0,0346	0,0424	0,0595
0,28	0,0244	0,0282	0,0322	0,0405	0,0493	0,0685
0,30	0,0291	0,0334	0,0378	0,0470	0,0568	0,0782
0,32	0,0342	0,0389	0,0438	0,0540	0,0649	0,0886
0,34	0,0399	0,0452	0,0506	0,0618	0,0737	0,0998
0,36	0,461	0,0518	0,0577	0,0700	0,0832	0,1118
0,38	0,0529	0,0592	0,0657	0,0790	0,0933	0,1247
0,40	0,0602	0,0670	0,0739	0,0885	0,1041	0,1381
0,42	0,0682	0,0756	0,0832	0,0988	0,1156	0,1525
0,44	0,0767	0,0846	0,0927	0,1097	0,1278	0,1676
0,46	0,0859	0,0946	0,1033	0,1216	0,1409	0,1837
0,48	0,0957	0,1048	0,1141	0,1337	0,1546	0,2005
0,50	0,1062	0,1161	0,1262	0,1472	0,1692	0,2183
0,52	0,1173	0,1277	0,1384	0,1607	0,1845	0,2369
0,54	0,1293	0,1405	0,1519	0,1757	0,2007	0,2565
0,56	0,1418	0,1535	0,1655	0,1906	0,2177	0,2768
0,58	0,1552	0,1678	0,1806	0,2074	0,2355	0,2983
0,60	0,1691	0,1823	0,1958	0,2241	0,2542	0,3206
0,65	0,2076	0,2229	0,2384	0,2707	0,3048	0,3808
0,70	0,2510	0,2681	0,2856	0,3223	0,3613	0,4474
0,75	0,2997	0,3192	0,3388	0,3799	0,4224	0,5199
0,80	0,3537	0,3751	0,3969	0,4433	0,4921	0,6001
0,85	0,4134	0,4375	0,4618	0,5129	0,5660	0,6859
0,90	0,4790	0,5054	0,5331	0,5889	0,6485	0,7806
0,95	0,5505	0,5804	0,6093	0,6698	0,7348	0,8803
1,00	0,6279	0,6602	0,6928	0,7607	0,8323	0,9928
1,05	0,7126	0,7475	0,7826	0,8551	0,9317	1,1070
1,10	0,8049	0,8425	0,8802	0,9605	1,0448	1,2301
1,15	0,9018	0,9420	0,9824	1,0680	1,1579	1,3641
1,20	1,0077	1,0530	1,0962	1,1899	1,2880	1,5036
1,25	1,1189	1,1646	1,2106	1,3107	1,4178	1,6546

Tabela 5

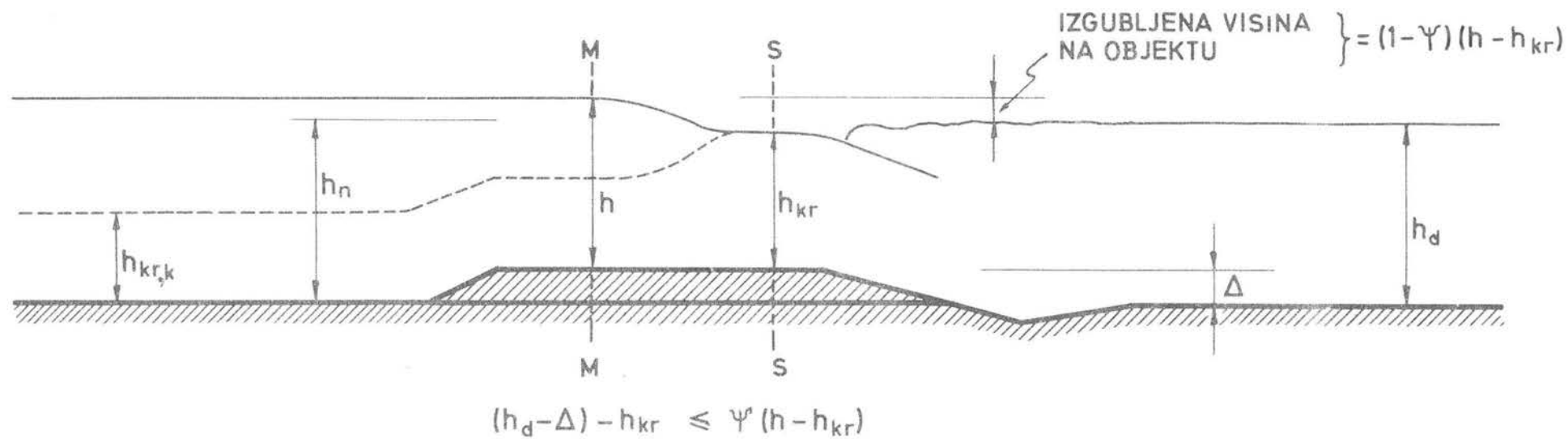
TRAPEZNI KANAL

 $m = 2,0$

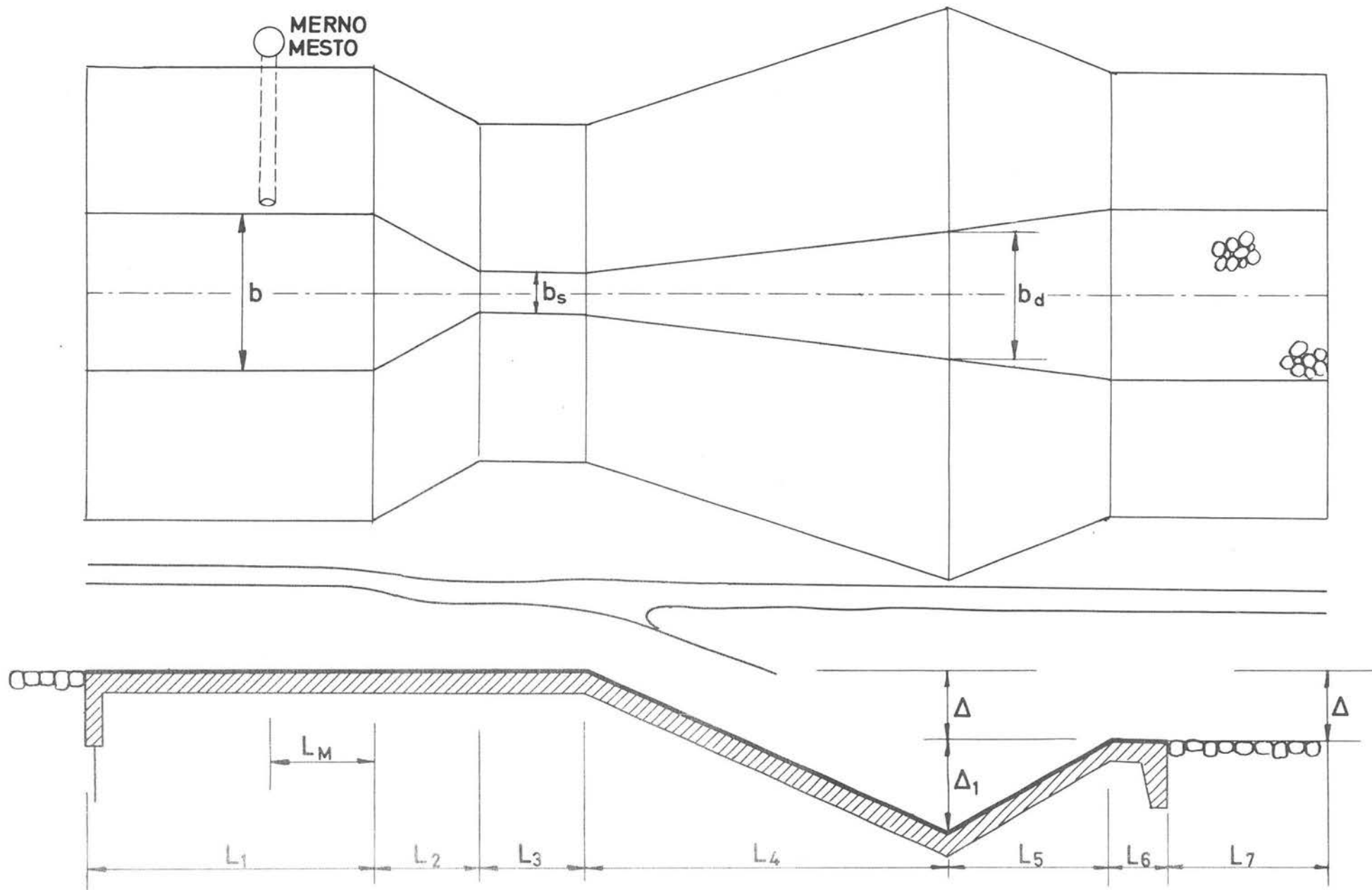
$H_1 = h/b$	$\frac{Q}{\sqrt{g b^5}}$					
	$S = 0,00$	$S = 0,05$	$S = 0,10$	$S = 0,20$	$S = 0,30$	$S = 0,50$
0,06	0,0007	0,0011	0,0014	0,0022	0,0031	0,0049
0,08	0,0014	0,0020	0,0026	0,0038	0,0051	0,0079
0,10	0,0024	0,0033	0,0041	0,0058	0,0076	0,0115
0,12	0,0039	0,0049	0,0060	0,0083	0,0107	0,0159
0,14	0,0057	0,0071	0,0084	0,0113	0,0143	0,0209
0,16	0,0080	0,0096	0,0113	0,0148	0,0186	0,0267
0,18	0,0107	0,0127	0,0148	0,0190	0,0234	0,0332
0,20	0,0140	0,0163	0,0187	0,0237	0,0290	0,0406
0,22	0,0178	0,0206	0,0233	0,0291	0,0352	0,0486
0,24	0,0222	0,0253	0,0284	0,0351	0,0422	0,0576
0,26	0,0272	0,0308	0,0344	0,0419	0,0499	0,0675
0,28	0,0328	0,0368	0,0408	0,0493	0,0584	0,0782
0,30	0,0391	0,0436	0,0481	0,0575	0,0676	0,0898
0,32	0,0461	0,0509	0,0559	0,0665	0,0777	0,1022
0,34	0,0538	0,0592	0,0648	0,0764	0,0886	0,1158
0,36	0,0621	0,0681	0,0741	0,0869	0,1004	0,1301
0,38	0,0714	0,0779	0,0846	0,0985	0,1132	0,1458
0,40	0,0813	0,0883	0,0955	0,1107	0,1268	0,1622
0,42	0,0921	0,0999	0,1077	0,1241	0,1414	0,1799
0,44	0,1037	0,1120	0,1204	0,1381	0,1570	0,1984
0,46	0,1163	0,1253	0,1344	0,1535	0,1737	0,2183
0,48	0,1296	0,1391	0,1489	0,1695	0,1912	0,2391
0,50	0,1439	0,1543	0,1648	0,1866	0,2097	0,2612
0,52	0,1591	0,1700	0,1812	0,2047	0,2295	0,2844
0,54	0,1753	0,1871	0,1990	0,2239	0,2498	0,3088
0,56	0,1924	0,2048	0,2175	0,2441	0,2723	0,3344
0,58	0,2106	0,2239	0,2374	0,2654	0,2950	0,3613
0,60	0,2297	0,2436	0,2578	0,2879	0,3196	0,3894
0,65	0,2822	0,2984	0,3154	0,3489	0,3847	0,4652
0,70	0,3417	0,3596	0,3786	0,4177	0,4590	0,5502
0,75	0,4081	0,4291	0,4502	0,4929	0,5389	0,6434
0,80	0,4825	0,5057	0,5291	0,5785	0,6305	0,7454
0,85	0,5639	0,5894	0,6150	0,6693	0,7262	0,8567
0,90	0,6545	0,6839	0,7120	0,7729	0,8365	0,9760
0,95	0,7519	0,7823	0,8146	0,8799	0,9508	1,1083
1,00	0,8609	0,8938	0,9293	1,0010	1,0798	1,2475
1,05	0,9749	1,0103	1,0492	1,1271	1,2122	1,4004
1,10	1,1011	1,1416	1,1839	1,2686	1,3624	1,5607
1,15	1,2342	1,2777	1,3221	1,4131	1,5136	1,7352
1,20	1,3804	1,4279	1,4775	1,5764	1,6865	1,9178



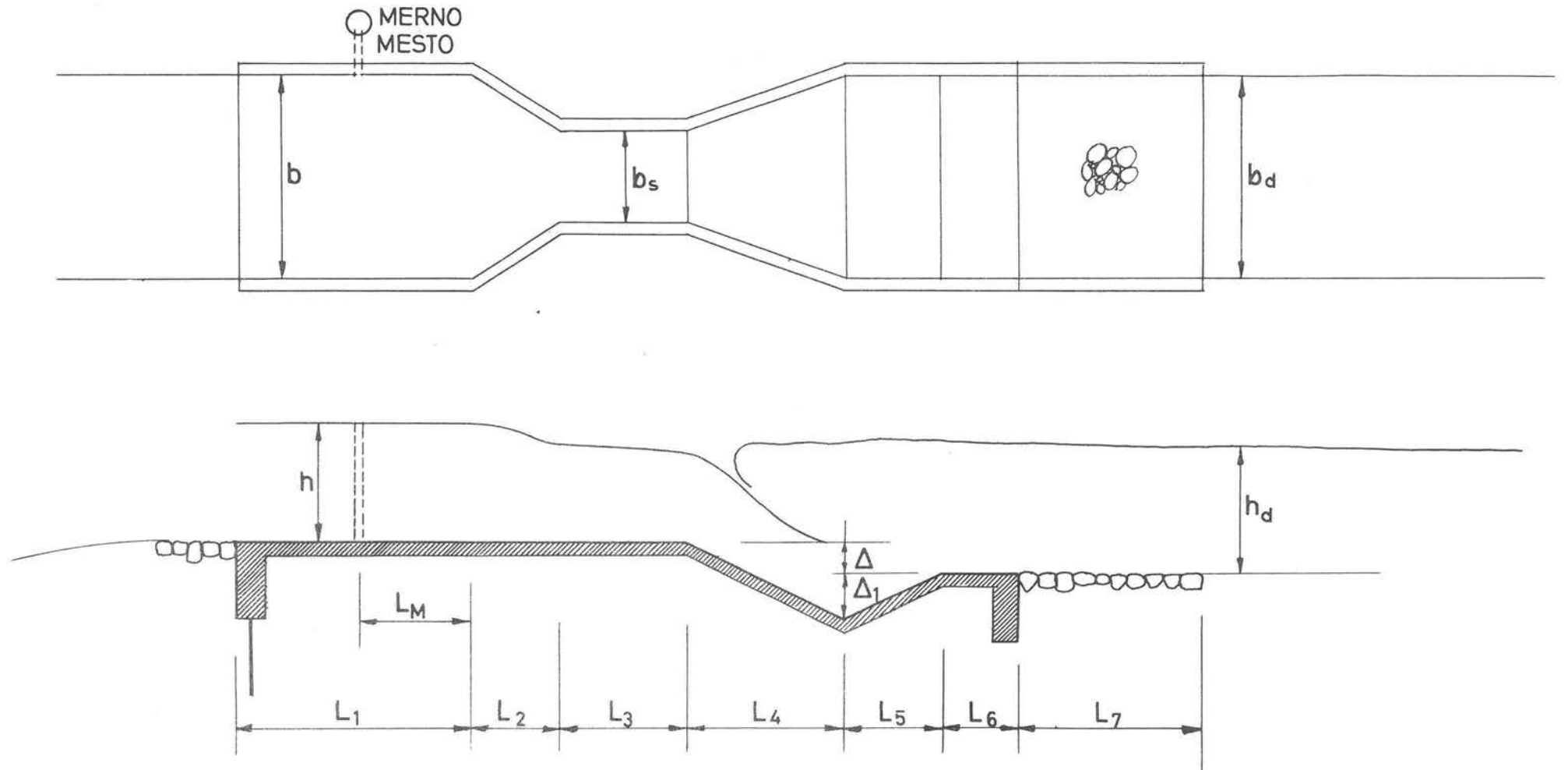
Slika 1.
Opšti slučaj tečenja
kroz merni objekat



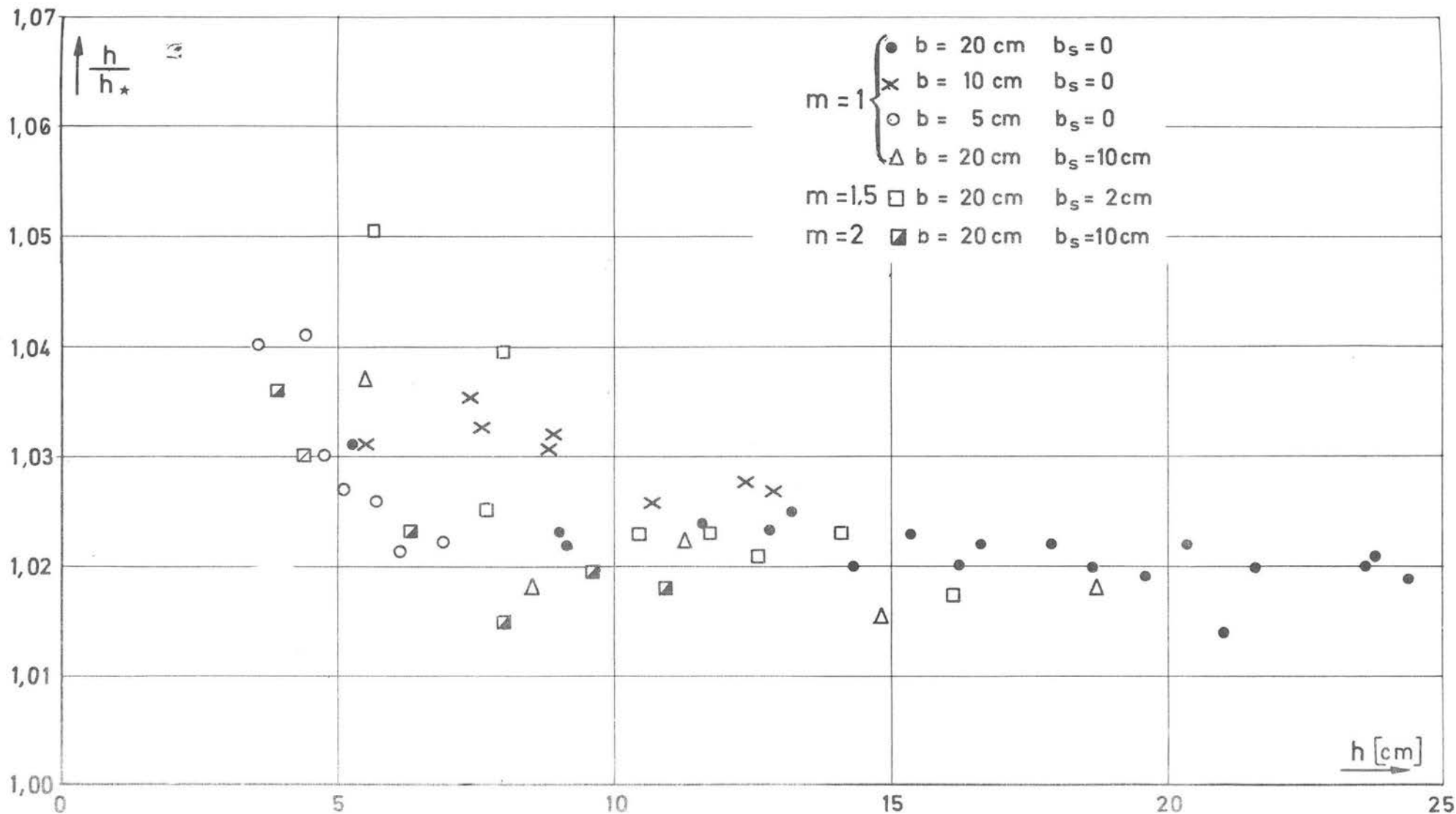
Slika 2.
 Granični slučaj nepotopljenog tečenja
 kroz suženje mernog objekta



Slika 3.
Trapezni kanal – predlog za projekt

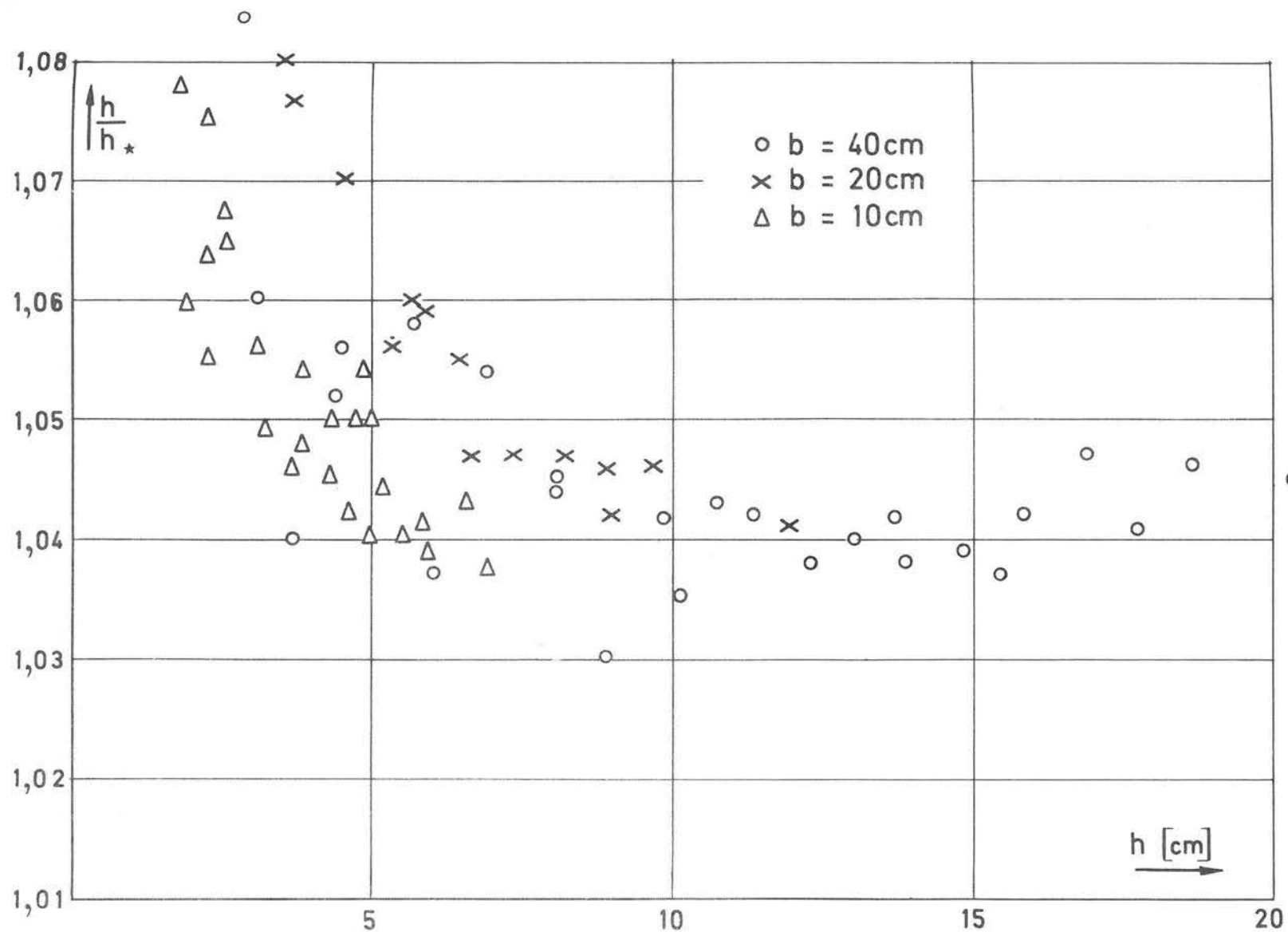


Slika 4.
Pravougaoni kanal - predlog za projekat



Dijagram 1.

Odstupanje merene dubine (h)
od računate (h_*) kod trapeznog kanala



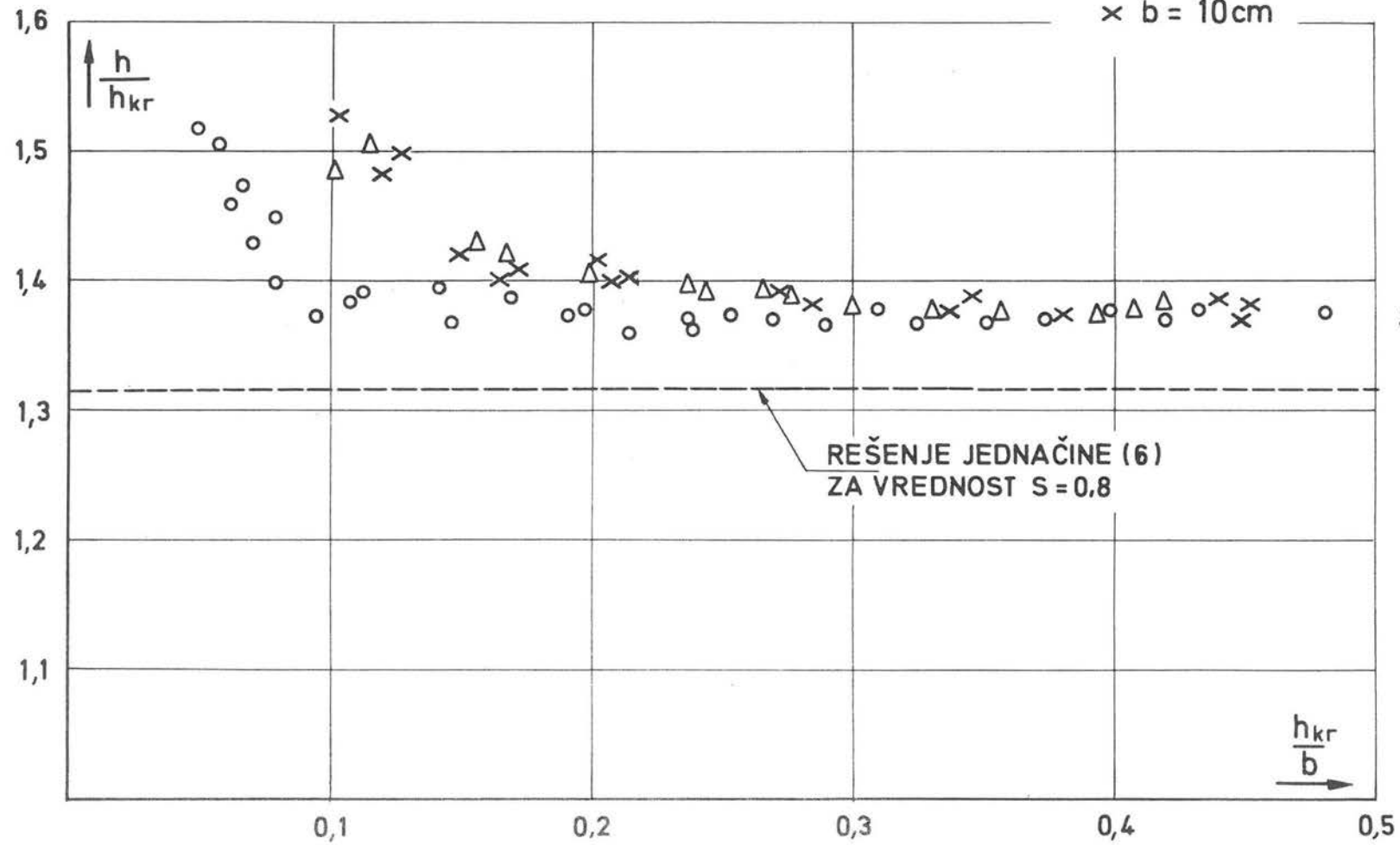
Dijagram 2.

Odstupanje merene dubine (h)
od računane (h_*) kod pravougaonog kanala

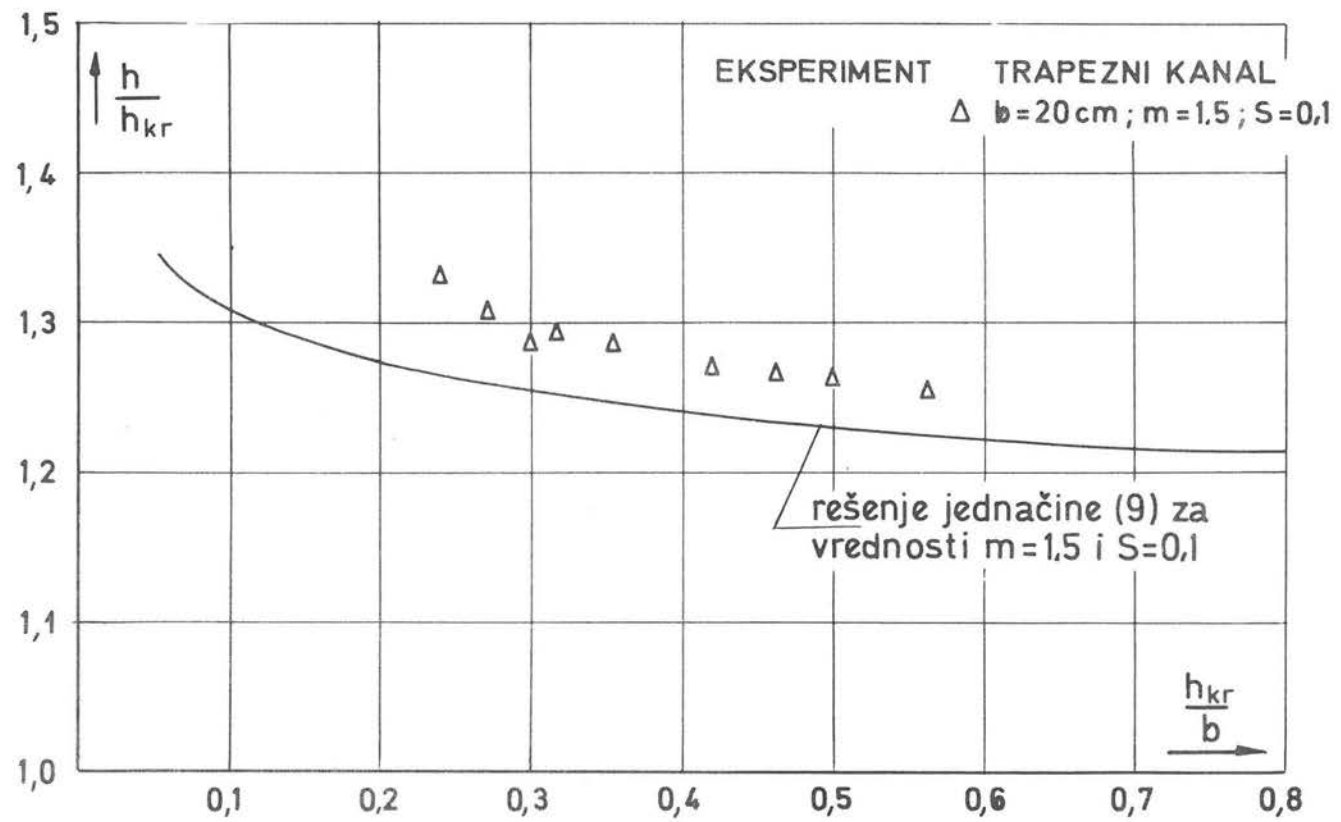
PRAVOUGAONI KANAL S=0,8

EKSPEPERIMENTALNE
TAČKE

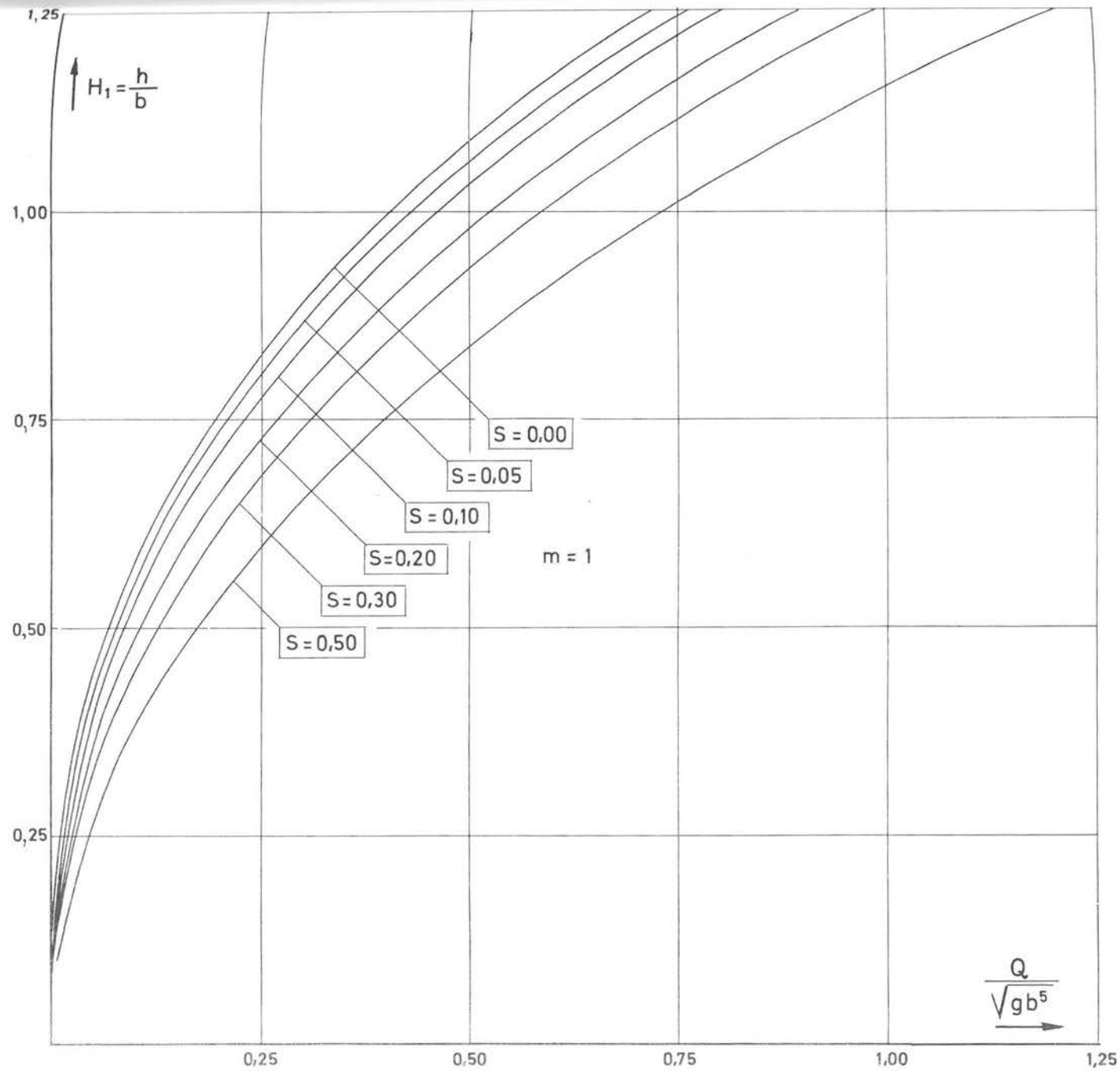
- b = 40 cm
- △ b = 20 cm
- × b = 10 cm



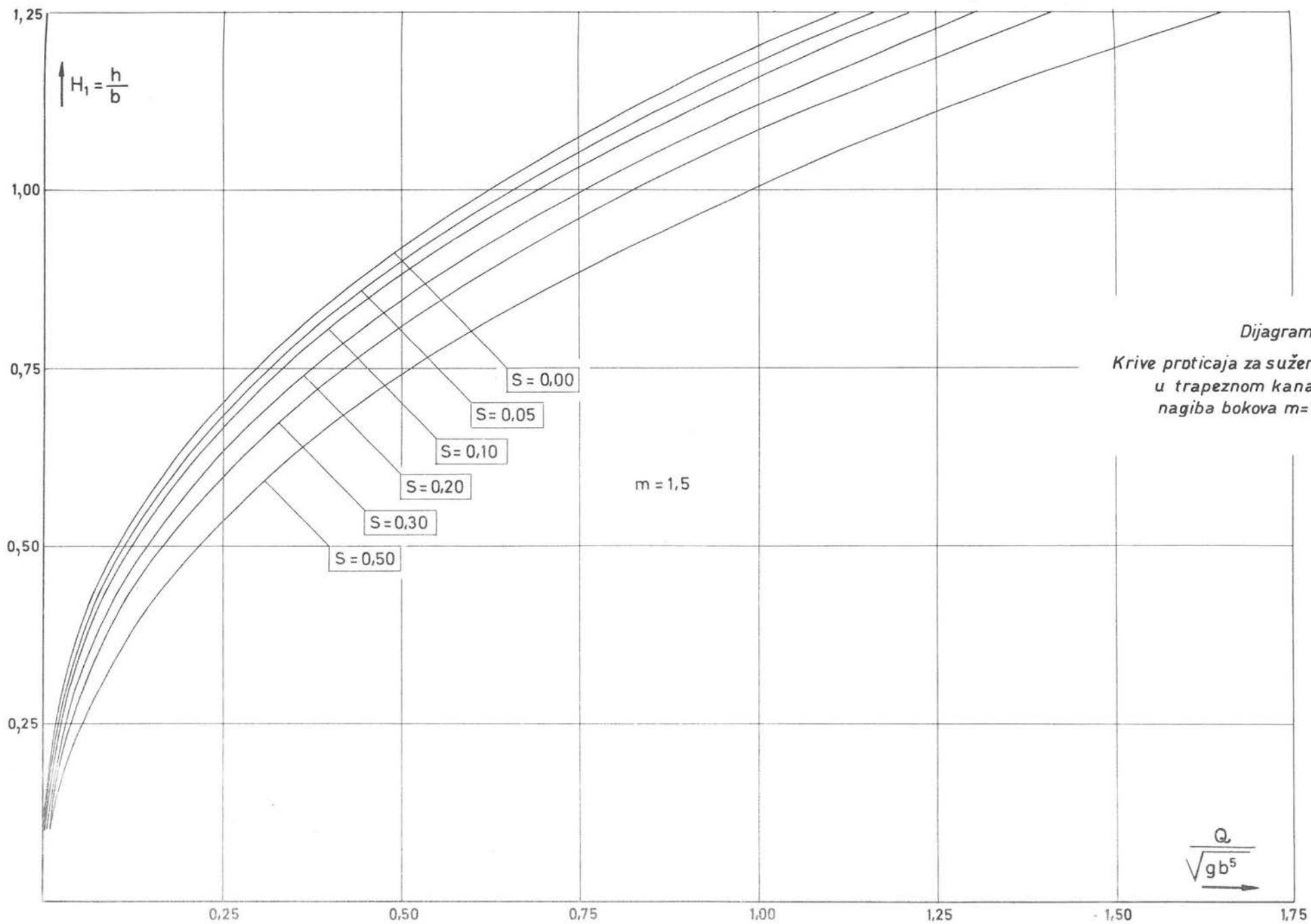
Dijagram 3.



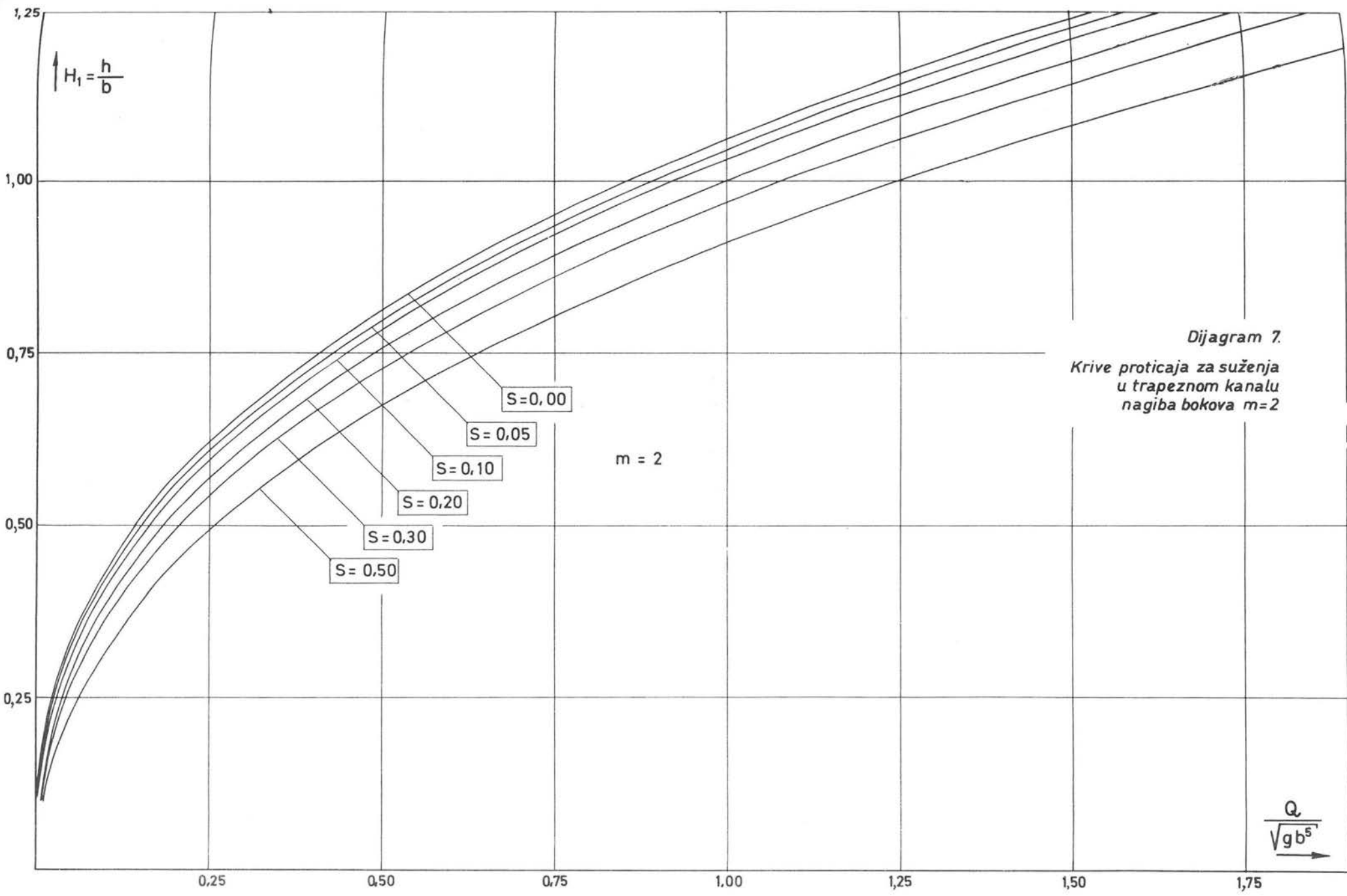
Dijagram 4.



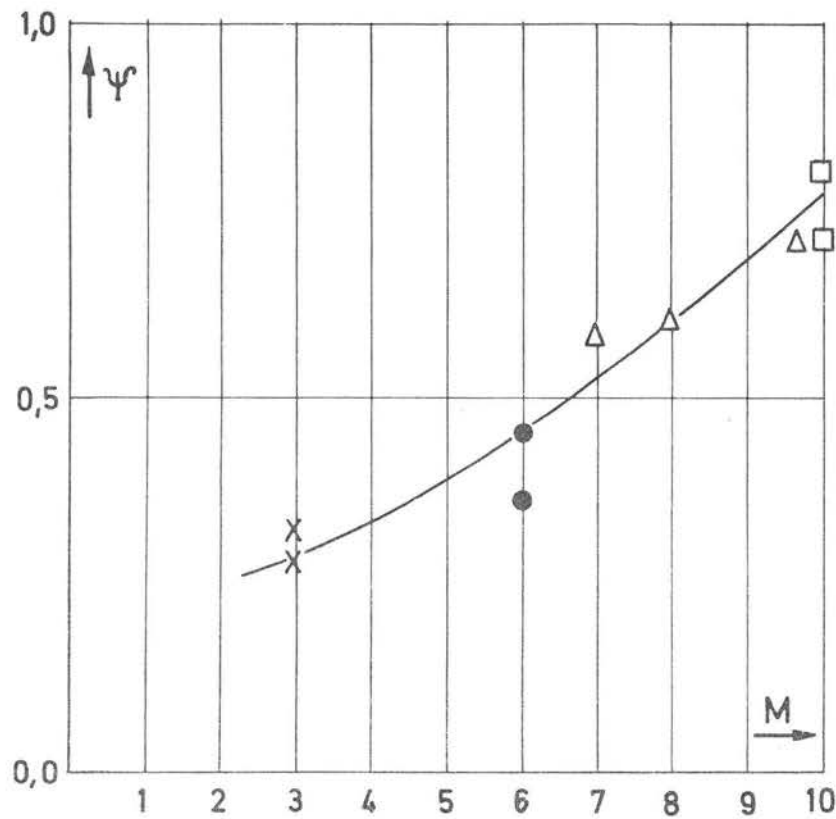
Dijagram 5.
 Krive proticaja za suženja
 u trapeznom kanalu
 nagiba bokova $m=1$



Dijagram 6.
 Krive proticaja za suženja
 u trapeznom kanalu
 nagiba bokova $m=1,5$

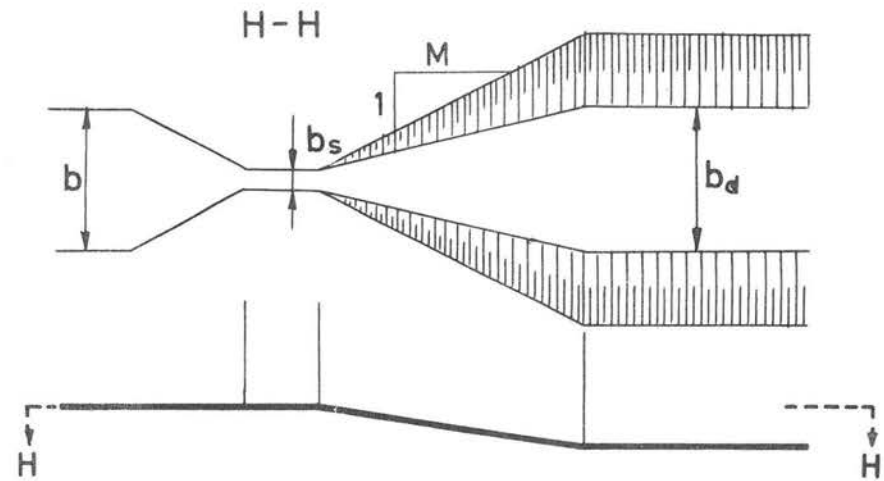


Dijagram 7.
 Krive proticaja za suženja
 u trapeznom kanalu
 nagiba bokova $m=2$

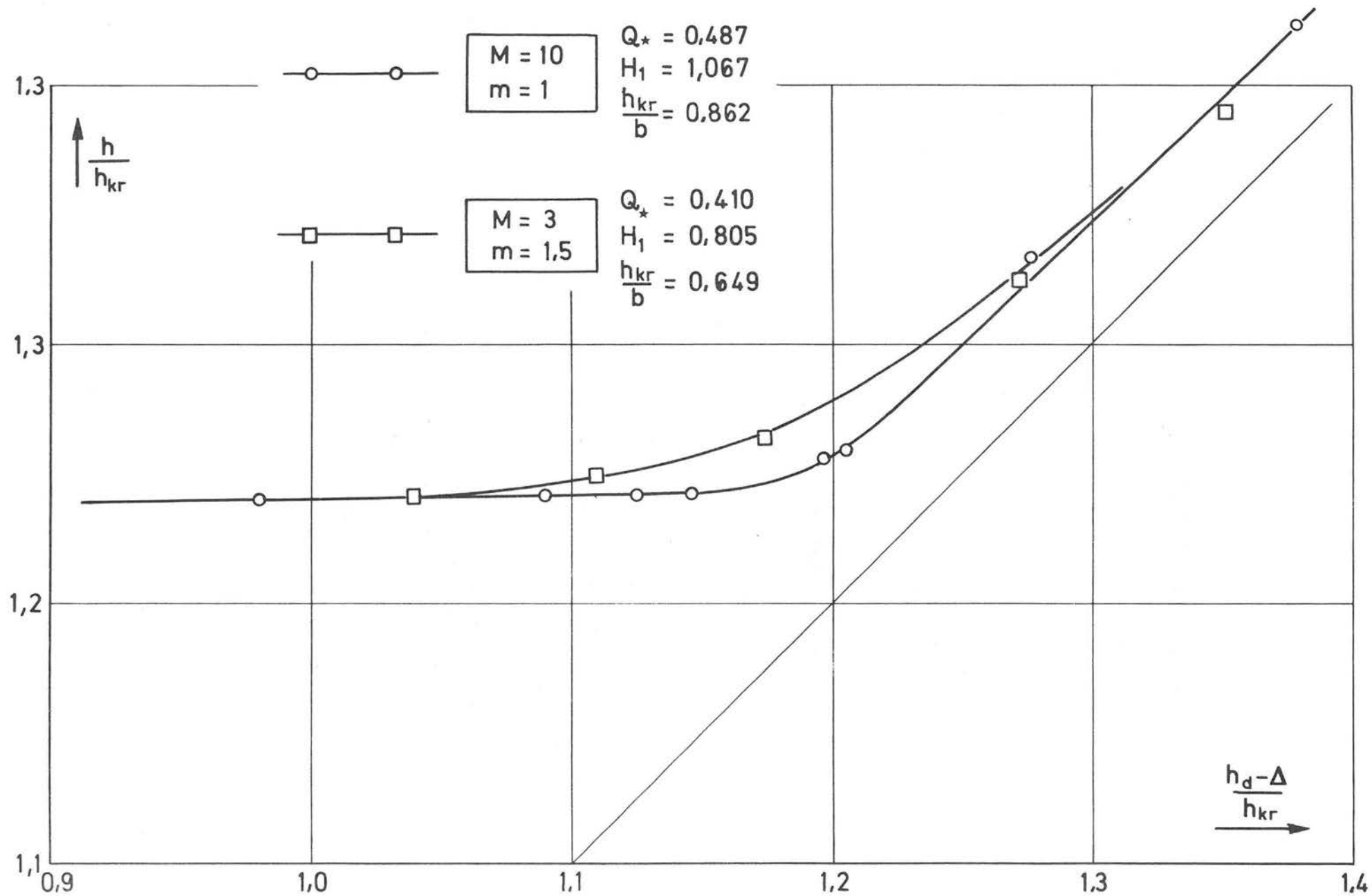


- X TRAPEZNI KANAL $m = 1,5$
- TRAPEZNI KANAL $m = 2$
- △ TRAPEZNI KANAL $m = 1$
- PRAVOUGAONI KANAL

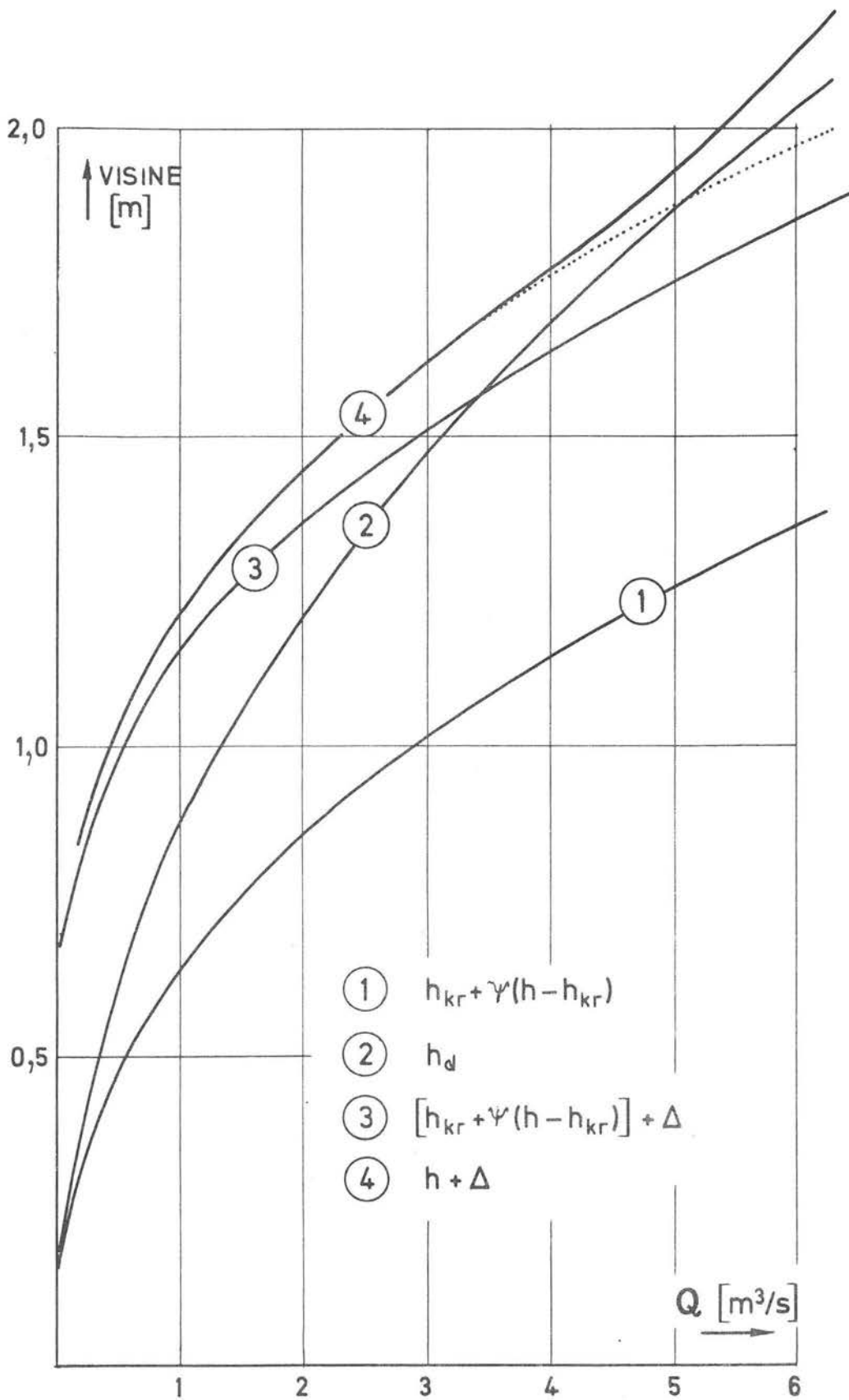
$$\psi = \frac{(h_d - \Delta) - h_{kr}}{h - h_{kr}}$$



Dijagram 8.
 Rezultati ispitivanja
 potapanja struje u suženju



Dijagram 9.
 Potapanje struje u suženju



Dijagram 10.
 Primer hidrauličke analize
 za jedan konkretan slučaj.

$b = 1,5\text{ m}$; $S = 0,1$; $m = 1,5$; $I = 0,001$