II vježba

Propagacija vodnog vala u otvorenom koritu

U prirodnim uvjetima najčešći oblik toka u otvorenim koritima je nejednoliko i nestacionarno tečenje. Nestacionarno tečenje može se klasificirati u osnovi na dva tipa tečenja, i to na:

a) *tečenje s blagim promjenama*
b) *tečenje s naglim promjenama*

Kod nestacionarnog tečenja s blagim promjenama je zakrivljenost strujnica blaga, a promjene dubine vode i protoka su postupne. Vertikalna komponenta ubrzanja je zanemariva u odnosu na ukupno ubrzanje, dok je doprinos sile trenja značajan.

Uobičajeni primjeri tečenja s blagim promjenama su vodni val i promjene nastale uslijed sporog manevriranja elemenata hidrotehničkih postrojenja (zapornica, zasun,...). Jednadžbe kojima se opisuje takvo tečenje su jednadžba kontinuiteta i energetska (dinamička) jednadžba.

Kod nestacionarnog tečenja s naglim promjenama zakrivljenosti strujnica je velika, a profil vodnog lica može imati prividne diskontinuitete (npr. vodni skok). Vertikalna komponenta ubrzanja je značajna, dok je efekt sile trenja praktički zanemariv u odnosu na dinamičku narav toka.

Uobičajen primjer za tečenje s naglim promjenama je vodni skok i poremećaji nastali brzim manevrom elemenata hidrotehničkih postrojenja koji rezultiraju propagirajućim strmim valom. Jednadžbe koje se koriste za hidraulički opis su jednadžba kontinuiteta i jednadžba očuvanja količine gibanja.

U okviru ovog tečaja će se promatrati nestacionarni tok za slučaj konzervativnog strujanja. Opis toka se zasniva na primjeni jednadžbe kontinuiteta i dinamičke jednadžbe.

1. Vladajuće jednadžbe

1.1 Jednadžba kontinuiteta

Jednadžba kontinuiteta za nestacionarni tok s blagim promjenama u otvorenom vodotoku (uz uvjet nestišljivosti vode), može se pisati u obliku:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{1}$$

Prvi član gornje jednadžbe označava promjenu protoka na promatranoj dionici korita dok drugi član označava promjenu volumena vode tijekom vremena unutar promatrane dionice korita.

1.2 Dinamička jednadžba

Dinamička jednadžba za nestacionarni tok s blagim promjenama u odnosu na stacionaran tok, razlikuje se po dodatnom članu koji predstavlja rad sile koja je proizvela ubrzanje (promjenu brzine u vremenu).

Dinamička jednadžba pisana za dva bliska presjeka (1) i (2) glasi:

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + \Delta H_t + \Delta H_a \tag{2}$$

pri čemu je ΔH_t dio energije potrošen na savladavanje trenja, a ΔH_a dio energije potrošen na ubrzanje.

Može se reći da je ukupna promjena energije između dva presjeka, energija potrošena na svladavanje sila trenja i na ubrzanje. Gornja jednadžba se može pisati i kao parcijalna diferencijalna jednadžba u obliku:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\alpha v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = I_o - S_f \tag{3}$$

Pri čemu je sa I_0 označen pad dna kanala. Gubitak energije zbog trenja S_f može je izraziti pomoću Chezyjeve jednadžbe $S_f = \frac{v^2}{c^2 \cdot R}$ pri čemu v i R predstavljaju osrednje veličine u presjeku (1) i (2).

U konačnici se dinamička jednadžba može pisati u obliku (uz $\alpha = 1$):

$$\frac{\partial h}{\partial x} - I_o + \frac{v^2}{c^2 R} + \frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \tag{4}$$

Pojedini članovi u gornjoj jednadžbi predstavljaju:

$\frac{\partial h}{\partial x}$	pad piezometarske linije
I_0	pad dna
$\frac{v^2}{c^2 R}$	potrošnja energije uslijed sila trenja
$\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}$	promjena kinetičke energije između dvaju presjeka
$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$	energija potrošena na ubrzanje (promjena brzine u vremenu na nivou presjeka)

Nepoznate veličine u dinamičkoj jednadžbi (4) su v i h. Jednadžba se rješava za poznati početni uvjet v i h na cijeloj dionici proračuna i za zadani nestacionarni rubni uvjet dubine $h = h(t)$ i protoka $Q = Q(t)$ na rubu proračunske dionice (kontrolni profil).

Interpretacijom članova dinamičke jednadžbe može se iskazati zakon očuvanja energije na razini kontrolnog volumena promatranog u jedinici vremena, tj. da je ukupna promjena energije (položaja, tlaka i kinetičke energije) jednaka radu sila trenja i sila inercije.

U matematičkom smislu, dane jednadžbe su parcijalne diferencijalne jednadžbe s dvije nezavisne koordinate (prostor i vrijeme), koje se zatvaraju početnim i rubnim uvjetom. Početni uvjet definira protok i razinu u koritu u početnom trenutku (za $t = 0$) i to na cijelom prostornom području analize, tj. na cijeloj modeliranoj dionici korita. Ako se razina i/ili protok na rubu modelirane dionice korita mijenjaju u vremenu, i ako se ta zakonitost poznaje za cijelo vremensko razdoblje analize, govori se o tzv. nestacionarnom rubnom uvjetu.

2. Rješavanje vladajućih jednadžbi

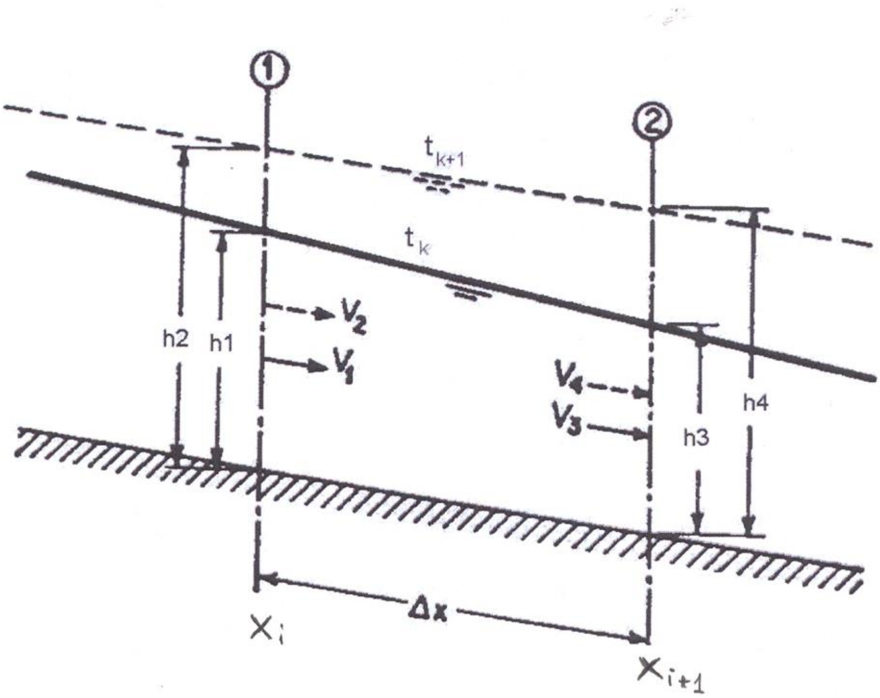
U općem slučaju se vladajuće jednadžbe ne mogu riješiti analitičkim putem, već se koriste u matematičkom smislu približna rješenja.

U okviru vježbi iz hidraulike će se prikazati najjednostavniji proračun s ciljem da se pokaže mogućnost proračuna, a suvremeni modeli se zasnivaju na znatno složenijim i učinkovitijim algoritmima.

Diskretizacija jednadžbi (1) i (4) postavlja se na razini prostornog inkrementa Δx i vremenskog inkrementa Δt, koji se definiraju pomoću uzastopnih prostornih i vremenskih vrijednosti x_i i x_{i+1} te t_k i t_{k+1} izrazima:

$$\Delta x = x_{i+1} - x_i$$

$$\Delta t = t_{k+1} - t_k$$



Slika 2.1 Definicijska skica

Promjenjivim veličinama (npr. h, v i A) iz jednadžbi (1) i (2) prilikom diskretizacije dani su indeksi 1, 2, 3 i 4, koji imaju sljedeća značenja:

- indeks "1" označava promjenjivu veličinu u profilu x_i u trenutku t_k
- Indeks "2" označava promjenjivu veličinu u profilu x_i u trenutku t_{k+1}
- Indeks "3" označava promjenjivu veličinu u profilu x_{i+1} u trenutku t_k
- Indeks "4" označava promjenjivu veličinu u profilu x_{i+1} u trenutku t_{k+1}

Parcijalne derivacije promjenjivih veličina po prostoru i vremenu se zamjenjuju konačnim diferencijama u sljedećem obliku:

$$\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{1}{2}\left(\frac{h_3-h_1}{\Delta x}+\frac{h_4-h_2}{\Delta x}\right)=\frac{1}{2\Delta x}\ (h_3+h_4-h_1-h_2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x}=\frac{1}{2}\left(\frac{v_3-v_1}{\Delta x}+\frac{v_4-v_2}{\Delta x}\right)=\frac{1}{2\Delta x}\ (v_3+v_4-v_1-v_2)$$

$$\frac{\partial (A\cdot v)}{\partial x}=\frac{1}{2}\left(\frac{A_3v_3-A_1v_1}{\Delta x}+\frac{A_4v_4-A_2v_2}{\Delta x}\right)=\frac{1}{2\Delta x}\ (A_3v_3+A_4v_4-A_1v_1-A_2v_2)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t}=\frac{1}{2}\left(\frac{A_2-A_1}{\Delta t}+\frac{A_4-A_3}{\Delta t}\right)=\frac{1}{2\Delta t}\ (A_2+A_4-A_1-A_3\ )$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}=\frac{1}{2}\left(\frac{v_2-v_1}{\Delta t}+\frac{v_4-v_3}{\Delta t}\right)=\frac{1}{2\Delta t}\ (v_2+v_4-v_1-v_3)$$

Uvodeći ove zamjene u jednadžbe (1) i (4), dobiva se:

$$A_3v_3+A_4v_4-A_1v_1-A_2v_2=\frac{\Delta x}{4\Delta t}(B_1+B_2+B_3+B_4)\cdot(h_1+h_3-h_2-h_4) \qquad (1a)$$

$$\frac{1}{2\Delta x}(h_3+h_4-h_1-h_2-I_0)+\frac{(v_1+v_2+v_3+v_4)^2}{16c^2\,\frac{1}{4}(R_1+R_2+R_3+R_4)}+ \qquad (4a)$$

$$+\frac{(v_1+v_2+v_3+v_4)\cdot(v_3+v_4-v_1-v_2)}{8g\Delta x}+\frac{v_2+v_4-v_1-v_3}{2g\Delta t}=0$$

U ovim diferencijskim jednadžbama, na razini jednog prostornog i vremenskog inkrementa, nepoznate veličine su v_4 i h_4, ukoliko se:

- za početni uvjet, u trenutku t = 0, pretpostavi poznata raspodjela brzine i dubine vode na čitavom prostornom području analize,

- za rubni uvjet, na uzvodnom rubu prostornog područja analize, pretpostavi poznata raspodjela protoka i dubine vode (time i brzine) u cijelom vremenskom razdoblju analize.

Rješavajući jednadžbu (1a) po v_4, te jednadžbu (2a) po h_4, dobije se:

$$v_4 = \frac{1}{A_4}\left(\frac{\Delta x}{4\Delta t}(B_1 + B_2 + B_3 + B_4)\cdot(h_1 + h_3 - h_2 - h_4) + A_1 v_1 + A_2 v_2 - A_3 v_3\right) \tag{1b}$$

$$h_4 = 2\Delta x I_o - \frac{2\Delta x\cdot(v_1 + v_2 + v_3 + v_4)^2}{16c^2\frac{1}{4}(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} + \frac{2\Delta x\cdot(v_1 + v_2 + v_3 + v_4)\cdot(v_1 + v_2 - v_3 - v_4)}{8g\Delta x} + \frac{2\Delta x\cdot(v_1 + v_3 - v_2 - v_4)}{2g\Delta t} + h_1 + h_2 - h_3 \tag{4b}$$

Određivanje nepoznatih v_4 i h_4 vrši se iterativno, odnosno pretpostavljanjem vrijednosti "h_4", izračunavanjem veličine "v_4" u jednadžbi (1b) i uvrštavanjem u jednadžbu (4b). Nakon korekcije pretpostavljene dubine, odrede se v_4 i h_4 te se s računom prelazi na slijedeći element po prostoru. Kada su izračunati svi elementi po prostoru, prelazi se na novi vremenski inkrement.

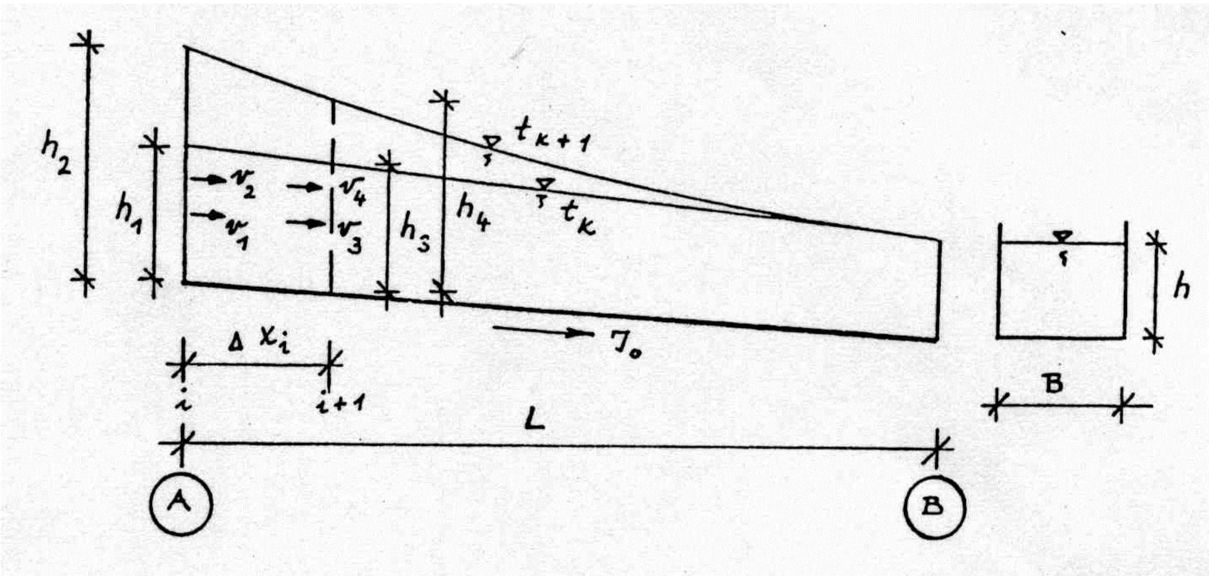
Nakon što se izračuna v i h za čitavo prostorno područje analize za jedan vremenski inkrement, prelazi se na idući, sve dok se ne prijeđe čitavo razdoblje analize. Kao preporuka odabira vrijednosti prostornog i vremenskog inkrementa, sa stanovišta stabilnosti računa, može poslužiti odnos:

$$\Delta x_{\max} \le \sqrt{g h_0}\cdot\Delta t$$

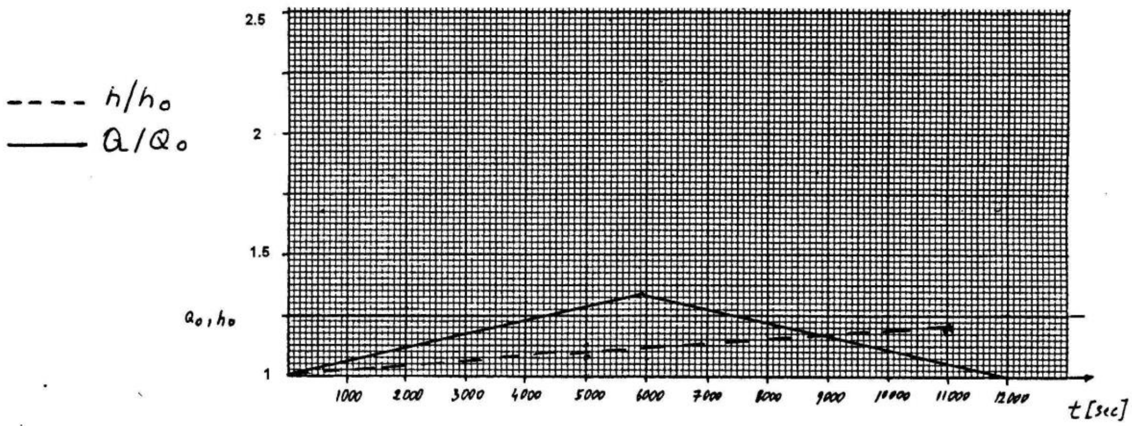
gdje je Δt iskazan u minutama, dok su $\Delta x_{\max}$ i h_0 iskazani u metrima.

3. Primjer

Na dionici otvorenog korita su u početnom (uzvodnom) presjeku *A* zadani $Q/Q_0 - t$ i $h/h_0 - t$ dijagram, čime je opisan prolazak vodnog vala kroz kontrolni presjek (rubni uvjet). Za zadane hidrauličke parametre korita odredi $Q - t$, $h - t$ i $Q - h$ dijagram u točki *B*, te usporedi $Q - h$ dijagram s konsupcijskom krivuljom za normalno tečenje. Kanal je pravokutnog poprečnog presjeka širine *B* i duljine *L* i s Manningovim koeficijentom hrapavosti *n*. Pad kanala I_0 je konstantan.

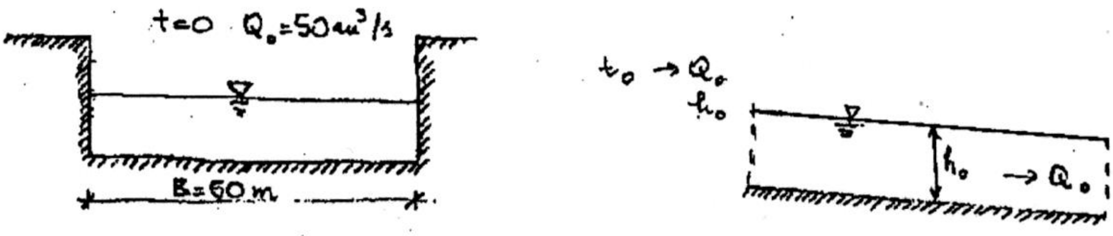


Slika 2.2 Shema za proračun



Slika 2.3 Parametri vodnog vala

Zadano: $I_0 = 0{,}00025$
$B = 50$ m
$n = 0{,}02$ s/m$^{1/3}$
$Q_0 = 50$ m^3/s
$\Delta x = 100$ m



Slika 2.4 Poprečni i uzdužni presjek korita u početnom trenutku t_0

S obzirom da se pretpostavlja da se prije dolaska vodnog vala odvijalo stacionarno strujanje, potrebno je izračunati normalnu dubinu h_0. Normalna dubina će se poslije usvojiti kao dubina h_1 tj. dubina na početku modelirane dionice korita prije nailaska vodnog vala.

3.1 Određivanje normalne dubine

Normalna dubina se određuje iterativno tako da se pretpostavi vrijednost normalne dubine (h_0), izračuna protok (Q'), te se na osnovu odnosa između izračunatog i zadanog protoka usvaja nova vrijednost normalne dubine. Postupak se ponavlja dok razlika između zadanog (Q_0) i izračunatog protoka (Q') ne postane manja od dozvoljenog odstupanja (δ).

	h_0	$O = B + 2h$	$A = Bh$	$R = \frac{A}{0}$	$Q' = A\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2}$
	$[m]$	$[m]$	$[m^2]$	$[m]$	$[m^3/s]$
Pretpostavljen	1,0	52,0	50,0	0,9615	38,507
$h_0 = h_0' \cdot \left(\frac{Q_0}{Q'}\right)^{0,5}$	1,1395	52,279	56,975	1,090	47,701
	1,1666	52,3332	58,330	1,115	49,573
	1,1716	52,3432	58,580	1,119	49,921
	1,1725	52,345	58,625	1,120	49,984
	1,1727	52,3454	58,635	1,120	49,998

Usvojena je normalna dubina: $h_0 = 1{,}1727$ m $\rightarrow \delta = |Q - Q'| = |50 - 49{,}998| = 0{,}002\,\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$

Normalna dubina je ujedno i dubina h_1. Dijeleći protok (Q = 50 m^3/s) s površinom protjecajnog presjeka se dobiva brzina u početnom stanju $v_0 = 0.8528$ m/s.

3.2 Definiranje h_4 i v_4

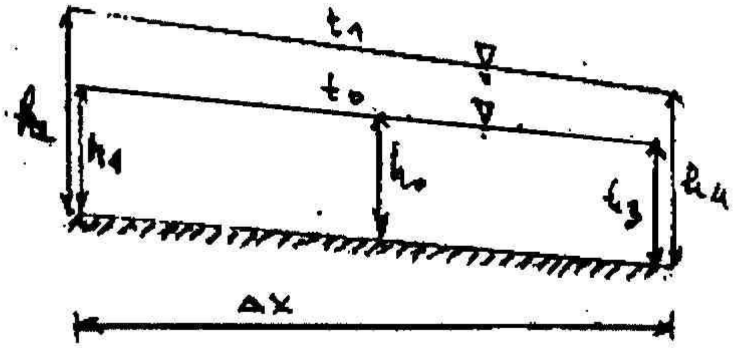
U prvom vremenskom stanju t_1 i na prvom prostornom inkrementu su dubine h_1 i h_3 jednake normalnoj dubini h_0. Brzine v_1 i v_3 se mogu odrediti na osnovu poznate početne dubine h_0 i početnog protoka Q_0. U prvom prostornom inkrementu su v_2 i h_2 definirani kao rubni uvjet (u ovom slučaju uzvodni). Preostaje da se za prvi prostorni inkrement u prvom vremenskom stanju t_1 izračuna h_4 i v_4.

Kao prvo, odredi se vrijeme t_1 za koje se računa oblik vodnog lica. Ovo vrijeme se dobiva kao zbroj početnog vremena t_0 i vremenskog inkrementa Δt (pretpostavit će se ta je $t_0 = 0$)

$$t_1 = t_0 + \Delta t = 0 + 1000\ [s] = 1000\ [s]$$

Prvi oblik vodnog lica se, dakle, računa za trenutak t_1 koji je 1000 s nakon zadanog početnog stanja. S obzirom da je prostorni inkrement Δx = 100 m dubina i brzina h_4 *i* v_4 će se računati za profil koji je na udaljenosti x_1 od početka promatrane dionice.

$$x_1 = x_0 + \Delta x = x_0 + 100 \text{ m}$$



Slika 2.5 Razina vode u jednom prostornom inkrementu u dva vremenska stanja

Na osnovu dijagrama prikazanog na slici 2.3 može se očitati prirast razine i protoka u početnom profilu (rubni uvjet) nakon Δt = 1000 s.

$$\frac{h_2}{h_0} = 1{,}017 \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_0 \cdot 1{,}017 = 1{,}192 \text{ m}$$

$$\frac{Q_2}{Q_0} = 1{,}05 \quad \Rightarrow \quad Q_2 = Q_0 \cdot 1{,}05 = 52{,}5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sada se mogu definirati hidraulički parametri za presjeke i = 1, 2 i 3 (slika 2.5)

Profil i	vrijeme t	h_i	$O_i = B+2h_i$	$A_i = Bh_i$	$R_i = \frac{A_i}{O_i}$	$v_i = \frac{Q_i}{A_i}$
	[s]	$[m]$	$[m]$	$[m^2]$	$[m]$	$[m/s]$
1	0	1,1727	52,3454	58,635	1,120	0,8528
2	1000	1,192	52,384	59,60	1,1377	0,8808
3	0	1,1727	52,3454	58,635	1,120	0,8528

Brzina v_4 je definirana jednadžbom:

$$v_4 = \frac{1}{A_4}\left[A_1 v_1 + A_2 v_2 - A_3 v_3 + \frac{\Delta x}{4\Delta t} \cdot 4B(h_1 - h_2 + h_3 - h_4)\right]$$

Kako u prvom vremenskom stanju vrijedi $A_1 v_1 = A_3 v_3 = A_0 v_0$ i $h_1 = h_3 = h_0$ jednadžba za računanje brzine v_4 se transformira u oblik:

$$v_4 = \frac{1}{A_4}\left[A_2 v_2 + \frac{\Delta x}{\Delta t} \cdot B(2h_0 - h_2 - h_4)\right]$$

Za računanje dubine h_4 vrijedi jednadžba:

$$h_4 = I_0 \cdot 2\Delta x - \frac{\left(v_1+v_2+v_3+v_4\right)^2}{16c^2 \cdot \frac{1}{4}\left(R_1+R_2+R_3+R_4\right)} \cdot 2\Delta x + \frac{\left(v_1+v_2+v_3+v_4\right)\left(v_1-v_2-v_3-v_4\right)\cdot 2\Delta x}{8g\Delta x} +$$

$$\frac{\left(v_1-v_2+v_3-v_4\right)\cdot 2\Delta x}{2g\Delta t} + h_1 + h_2 - h_3$$

U prvom vremenskom stanju vrijedi:

$$h_1 = h_3 = h_0$$

$$v_1 = v_3 = v_0 \qquad\qquad c = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{n}\left(\frac{1}{4}\left(R_1+R_2+R_3+R_4\right)\right)^{1/6}$$

$$R_1 = R_3 = R_0$$

pa se jednadžba za razinu na kraju promatranog prostornog inkrementa u prvom vremenskom stanju dobiva pomoću jednadžbe:

$$h_4 = 2I_0\Delta x - \frac{n^2\left(2v_0+v_2+v_4\right)^2 \cdot \Delta x}{4^{1/6}\left(2R_0+R_2+R_4\right)^{4/3}} + \frac{\left(2v_0+v_2+v_4\right)\left(v_2-v_4\right)}{4g} + \frac{\left(2v_0-v_2-v_4\right)\Delta x}{g\Delta t} + h_2$$

Uz pomoć izvedenih jednadžbi, mogu se iterativno odrediti h_4 i v_4 što je prikazano u donjoj tablici. Prvo se pretpostavi vrijednost h_4 u prvom koraku (može se pretpostaviti $h_4 = h_2$) te se izračuna brzina v_4. S tako izračunatom brzinom se može ponovo izračunati h_4. Postupak se ponavlja sve dok izračunata vrijednost dubine h_4 nije identična na početku iteracije pretpostavljenoj vrijednosti h_4.

h_4	$O_4 = B + 2\,h_4$	$A_4 = B\,h_4$	$R_4 = \frac{A_4}{O_4}$	v_4
$[m]$	$[m]$	$[m^2]$	$[m]$	$[m/s]$
1,192 (= h_2)	52,36	59,60	1,1268	0,8875
1,1899	52,37	59,47	1,1355	0,8796
1,1907	52,38	59,53	1,1365	0,8786
1,1908	52,38	59,54	1,1366	0,8785
1,1908				

U gornjoj tablici su izračunati h_4 = 1,1908 m i v_4 = 0,8785 m/s. Na slici 2.6 na kojoj su prikazani rezultati proračuna su h_4 i v_4 označeni kao h_b i v_b.

Sada se može prijeći na idući (drugi) prostorni inkrement pri čemu h_4 i v_4 iz prvog prostornog inkrementa postaju h_2 i v_2 u drugom prostornom inkrementu te se postupak ponavlja.

$$t_1 = t_0 + \Delta t = t_0 + 1000\,s = 1000\,s$$

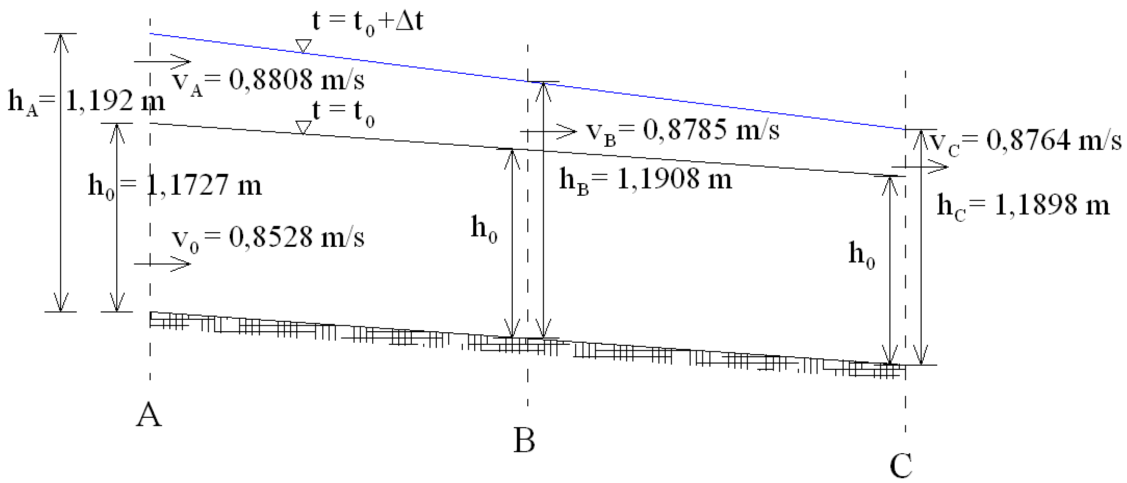
$$x_2 = x_1 + \Delta x = x_1 + 100\,m = 200\,m$$

Profil i	vrijeme t	h_i	O_i=B+2h_i	$A_i = B\, h_i$	$R_i = \dfrac{A_i}{O_i}$	$v_i = \dfrac{Q_i}{A_i}$
	[s]	[m]	[m]	[m^2]	[m]	[m/s^2]
1	0	1,1727	52,3454	58,625	1,120	0,8529
2	1000	1,1908	52,3816	59,540	1,136	0,8785
3	0	1,1727	52,3454	58,625	1,120	0,8529

Sada se istim iterativnim postupkom može dobiti h_4 i v_4 za drugi prostorni inkrement u prvom vremenskom koraku.

h_4	$O_4 = B + 2\, h_4$	$A_4 = B\, h_4$	$R_4 = \dfrac{A_4}{O_4}$	v_4
$[m]$	$[m]$	$[m^2]$	$[m]$	$[m/s]$
1,1800	52,360	59,000	1,1268	0,8845
1,1886	52,377	59,433	1,1347	0,8773
1,1897	52,379	59,484	1,1356	0,8764
1,1898	52,379	59,491	1,1357	0,8764
1,1898				

U idućem koraku se numerička shema pomiče za jedan prostorni inkrement te se dobivaju novi v_4 = 0,8764 m/s i h_4 = 1,1898 m (na slici 2.6 označeni kao v_0 i h_0) . Skica izračunatih vrijednosti za prva dva prostorna inkrementa u prvom vremenskom koraku je prikazana na idućoj slici (slika 2.6).



Slika 2.6 Rezultati proračuna za prva tri prostorna inkrementa

Opisanim postupkom se može izračunati oblik vodnog lica za cijelu promatranu dionicu u prvom vremenskom koraku. Nakon što je izračunat oblik vodnog lica za prvi vremenski korak t_1 prelazi se na proračun vodnog lica za drugi vremenski korak t_2.

$$t_2 = t_o + 2\Delta t = t_o + 2000\ s = 2000\ s$$
$$x_1 = x_o + \Delta x = x_o + 100\ m = 100\ m$$

Opisani postupak treba ponoviti do završetka proračuna.

U inženjerskoj praksi je uobičajeno da se prilikom modeliranja tečenja u otvorenom koritu koriste postojeći softveri. Takvim pristupom se jednostavnije i brže dolazi do rješenja, ali valja imati na umu da rezultati bitno ovise o ulaznim podacima te da nestručno korištenje gotovih programskih paketa može dati netočne rezultate. Za dobivanje točnih rezultata korištenjem gotovih programskih paketa, bitan je korektan inženjerski pristup i iskustvo.

Od dostupnog softvera se preporuča korištenje programa HEC-RAS izrađenog u US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Centar. Program je dostupan na stranici http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/ (program je besplatan), a popis ostalih dostupnih programa izrađenih u istoj organizaciji se nalazi na stranici http://www.hec.usace.army.mil/

GRAĐEVINSKI FAKULTET Ak.god.
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Diplomski studij

Predmet: **H I D R A U L I K A**

Student :

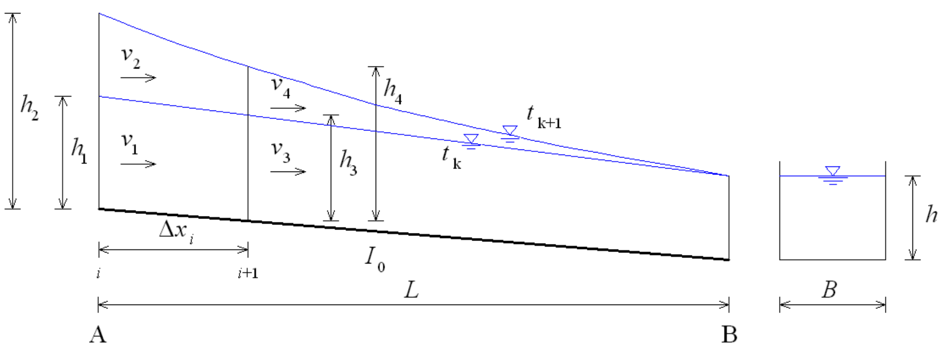
Mat. broj :

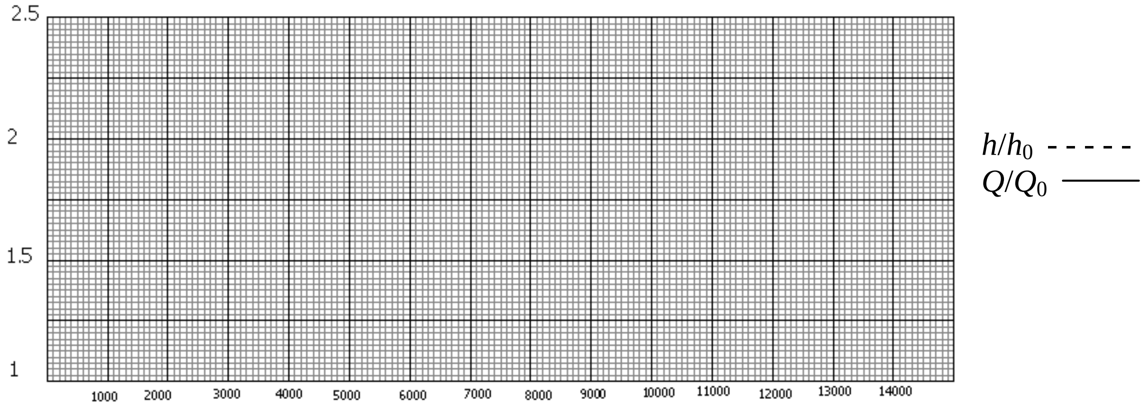
Zadatak 2 : Propagacija vodnog vala u otvorenom koritu

U kanalu pravokutnog poprečnog presjeka širine *B*, duljine *L*, s padom dna I_0 i s Manningovim koeficijentom hrapavosti *n*, odvija se nestacionarno strujanje.

U profilu *A* zadani su $Q/Q_0 - t$ i $h/h_0 - t$ dijagram. Odredi $Q - t$, $h - t$ i $Q - h$ dijagram u točki *B* te usporedi $Q - h$ dijagram s konsumpcijskom krivuljom za jednoliko tečenje.

I_0 = [1]
B = [m]
n = [s/m$^{1/3}$]
Q_0 = [m^3/s]
L = [m]





Zadano: Pregledao:

Rok predaje: