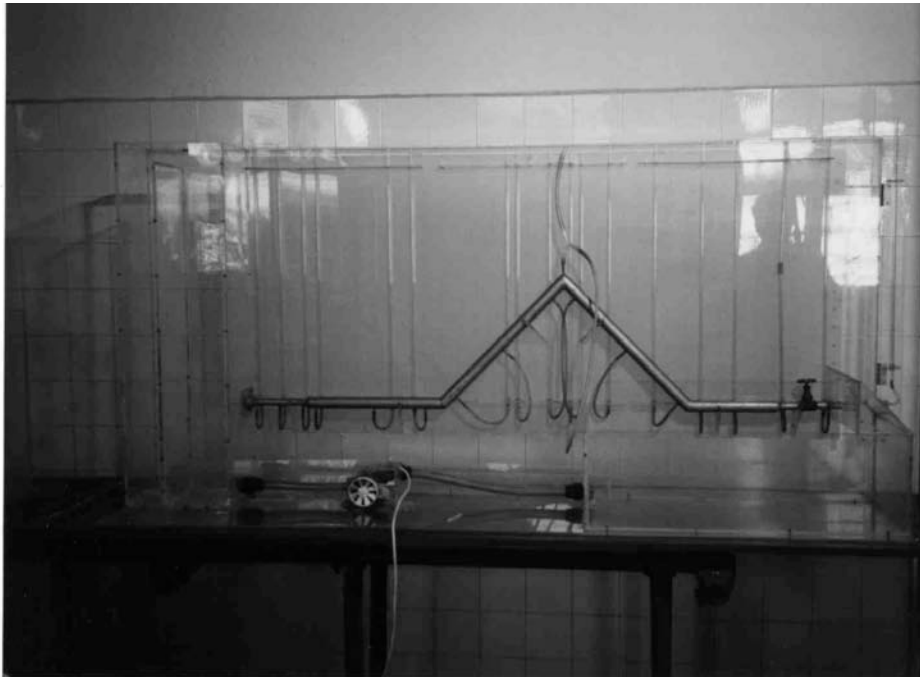


## VI vježba

### Stacionarno tečenje u sistemima pod tlakom

Primjena Bernoullijeve jednadžbe za strujanje realne tekućine u sistemima pod tlakom je prikazana na modelu koji se sastoji od posude iz koje voda utječe u cijev promjenjivog poprečnog presjeka sa nizom koljena i zasunom te slobodnim istjecanjem na kraju. Na modelu se mjeri promjena piezometarske linije duž strujne cijevi. Model je prikazan na slici 6.1



Slika 6.1 Fizikalni model linijskih i lokalnih gubitaka u sistemu pod tlakom

Na osnovu mjerenja tlaka u pojedinim protjecajnim profilima i brzine izmjerene pomoću Pitotove cijevi na izlazu iz promatrane dionice može se nacrtati energetska linija. Na osnovu pada energetske linije mogu se izračunati koeficijenti linijskih gubitaka za cijevi kao i koeficijenti lokalnih gubitaka na ulazu, proširenju, suženju, koljenu i zasunu. Procedura mjerenja je ukratko opisana u nastavku a na kraju su za orijentaciju priloženi neki od koeficijenata lokalnih gubitaka objavljeni u literaturi.

#### 1. Procedura mjerenja

Nakon uključivanja crpke se otvara zasun i formira stacionarno tečenje.

Prvi korak je mjerenje izlazne brzine pomoću Pitotove cijevčice  $h_{PI}$  i razine u svim piezometrima  $h_i$ ,  $i = 1-17$ .

Brzina u cijevi 1 (promjera  $D_1$ ) je:  $v_1 = \sqrt{2gh_{pIT}}$ , te se može izračunati protok kroz cijev

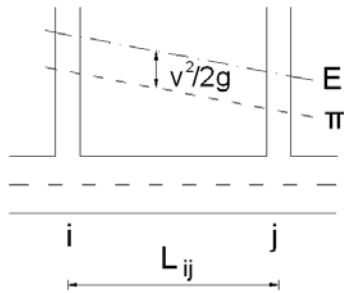
$$Q = v_1 \cdot D_1^2 \pi / 4$$

- 1) prema izmjerenim  $h_i$  i izračunatim brzinskim visinama nacrtati piezometarsku i energetska liniju i
- 2) odrediti relativnu i apsolutnu hrapavost cijevi 1 i 2

Postupak:

Na potezima gdje se mjeri linijski gubitak, a to su dionice između piezometara: 1-2, 2-3, 4-5, 5-6, 7-8, 8-9, 11-12, 12-13, 14-15, treba izračunati vrijednost linijskog gubitka iz konstruirane energetske linije

$$\begin{aligned} \Delta E_{ij} &= E_j - E_i \\ \Delta E_{ij} &= \lambda \cdot \frac{L_{ij}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \\ \Rightarrow \lambda &= \frac{D \cdot 2g \cdot \Delta h_{ij}}{L_{ij} \cdot v^2} \end{aligned}$$



Izračunaj i  $Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$ ,

$$\nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Za poznate  $\lambda$  i  $Re$  na Moody-evom dijagramu očitaj relativnu hrapavost  $\varepsilon/D$ , te iz te vrijednosti izračunaj apsolutnu hrapavost.

Dobivene podatke upiši u slijedeću tablicu:

CIJEV	POTEZ	$\Delta E(\text{cm})$	L (cm)	v (m/s)	$\lambda$	Re	$\varepsilon/D$	$\varepsilon(\text{mm})$
1	1-2							
	2-3							
2	4-5							
	5-6							
	7-8							
	.							

## 2) Određivanje koeficijenata lokalnih gubitaka

Na fizikalnom modelu je ugrađeno nekoliko parova piezometara na kojima se može mjeriti pad piezometarske linije iz koje se može izračunati koeficijent lokalnog gubitka. Piezometri su postavljeni na ulazu u cijev kao i na proširenju, koljenima i suženju. Za određivanje lokalnih gubitaka treba očitati razliku razina vode u piezometrima 3-4, 6-7, 9-11, 13-14, 15-16, 16-17. Valja obratiti pozornost da se u piezometru 10 dio kinetičke energije pretvara u potencijalnu te ga treba izostaviti kod računanja lokalnih gubitaka.

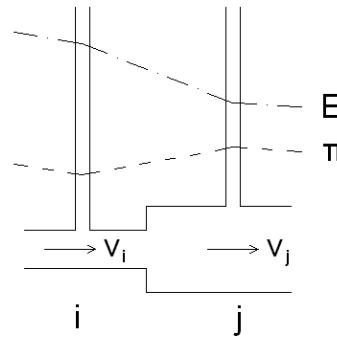
Za naglo proširenje

vrijedi :

$$\Delta h_{ij} = E_i - E_j$$

$$\Delta h_{ij} = \xi_{LOK} \cdot \frac{v_j^2}{2g}$$

$$\xi_{LOK} = \dots$$



Kod proširenja se dio kinetičke energije može pretvoriti u tlačnu energiju pa iz tog razloga može lokalno doći do porasta piezometarske linije.

Nakon mjerenja i obrade rezultata treba izvršiti usporedbu s vrijednostima prema izrazima objavljenim u literaturi:

npr. za naglo proširenje: 
$$\xi_{PR} = \left[ \left( \frac{d_j}{d_i} \right)^2 - 1 \right]^2$$

$$\Delta h_{PR} = \xi_{PR} \cdot \frac{v_j^2}{2g}$$

Za usporedbu ostalih izračunatih koeficijenata lokalnih gubitaka (npr. naglo suženje i oštro koljeno) koristiti dobivene tablice.

Usporedba se može prikazati u slijedećoj tablici:

MJESTO	OPIS	$\Delta E$	$\xi_{LOK}^{MJERENO}$	$\xi_{LOK}^{LITERATURA}$
Ulaz	Ulaz			
3-4	Proširenje			
6-7	Koljeno 45°			
9-11	Koljeno 90°			
13-14	Koljeno 45°			
15-16	Suženje			
16-17	Zatvarač			

Za zatvarač treba odrediti samo  $\xi_{LOK}^{MJERENO}$  jer nema smisla određivati  $\xi_{LOK}^{LIT}$ , obzirom da nije poznat postotak zatvorenosti površine presjeka cijevi.

NAPOMENA: Zbog obraštenosti otvora kojima su piezometri spojeni na cijev može doći do nelogičnosti u dobivenim rezultatima. Prilikom opisa rezultata mjerenja treba komentirati nelogičnosti te po potrebi korigirati izmjerenu piezometarsku i energetska liniju prije predaje programa.

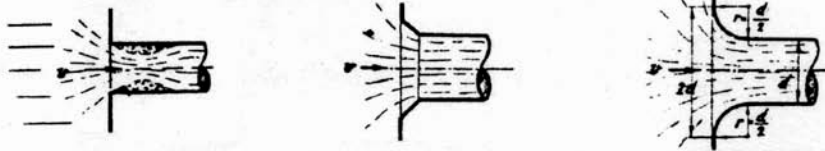
U nastavku je prikazano nekoliko vrijednosti koeficijenata lokalnih gubitaka objavljenih u literaturi.

KOEFICIJENTI LOKALNIH GUBITAKA ZA TLAČNE CIJEVI

$$\Delta h = \xi \frac{v^2}{2g}$$

1) Ulaz u cijev:

- ..... cijevi oštih bridova .....  $\xi = 0,5$
- ..... cijevi malo zaobljenih bridova .....  $\xi = 0,2 - 0,25$
- ..... cijevi jako zaobljenih bridova .....  $\xi = 0,05 - 0,10$
- ..... cijev ulazi u rezervoar .....  $\xi = 0,6 - 0,75$  ,  $l < (2 \div 3) d$
- ..... ("l" je duljina nasadka cijevi unutar rezervoara) .....  $\xi = 1,0 - 1,3$  ,  $l > 4 d$

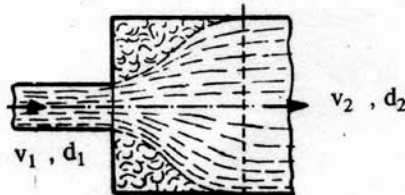


2) Naglo proširenje:

$$\xi = \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2 \dots \dots \text{obzirom na } v_1$$

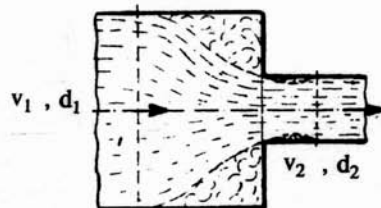
$$\xi = \left[ \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2 \dots \dots \text{obzirom na } v_2$$

Istjecanje u mirnu tekućinu .....  $\xi = 1,0$   
( $d_2$  vrlo velik)



3) Naglo suženje:

$A_2/A_1$	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
$\xi$	0,50	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00



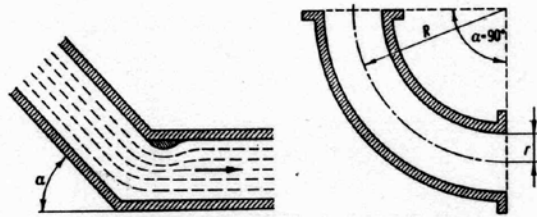
Napomena: Navedene vrijednosti koeficijenta gubitka se odnose na brzinsku visinu iza suženja.

4) Koljena u cijevnim vodovima:

4a) Koljeno s prijelomom:

$\alpha^\circ$	30	40	50	60	70	80	90
$\xi$	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

Napomena: Navedene vrijednosti koeficijenta gubitka na koljenu se odnose na cijevi promjera do 50 mm. Za veće promjere, koeficijent gubitka se smanjuje (pogledati literaturu).

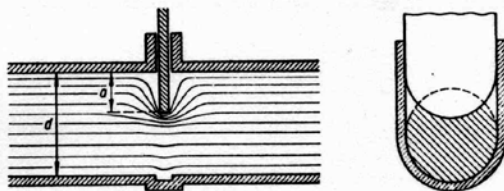


4b) Koljeno sa zavojem:

$r/R$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	0,977	1,408	1,978

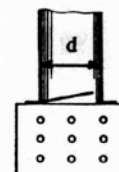
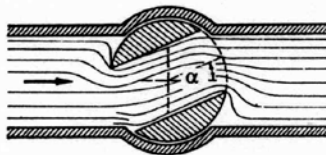
5) Zasun:

$a/d$	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
$\xi$	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8



6) Kuglasti ventil:

$\alpha^\circ$	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$\xi$	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206	486	$\infty$



7) Usisna košara:

$d$ (mm)	50	75	100	125	150	200	250	300	400
$\xi$	10	8	7	6,5	6	5	4,5	4	3

GRAĐEVINSKI FAKULTET  
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
Diplomski studij

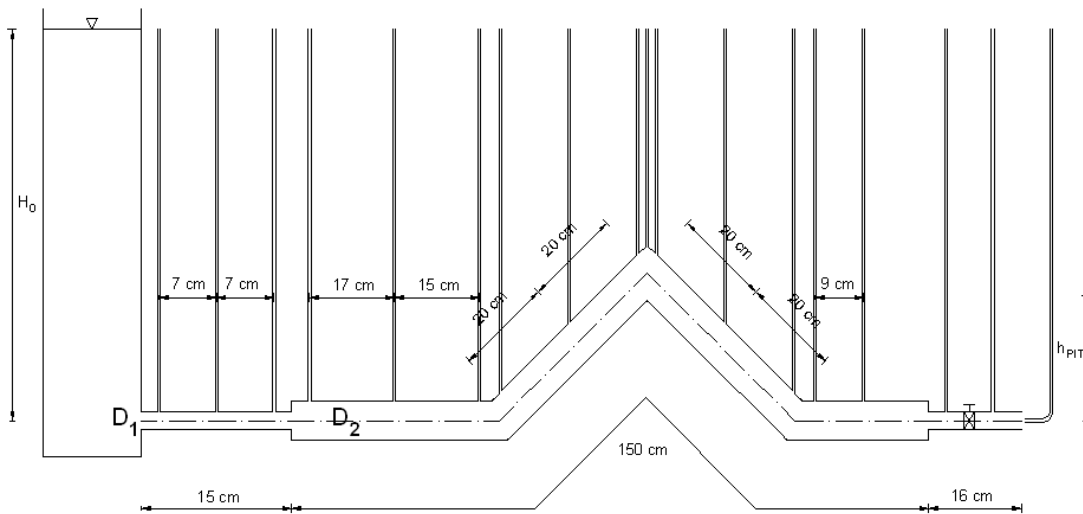
Šk.god.

Predmet: HIDRAULIKA

Student :

Mat.broj :

Zadatak 6 : **Linijski i lokalni gubici u sistemu pod tlakom** (Model br.6)



$$D_2 = 24.4 \text{ mm}$$

$$D_1 = 12.7 \text{ mm}$$

Svrha ispitivanja:

Određivanje koeficijenata linijskih i lokalnih gubitaka za sistem pod tlakom. Koeficijenti gubitaka određuju se baždarenjem mjernih podataka dobivenima na fizikalnom modelu.

Zadatak:

a) Obradom mjernih podataka za slučaj stacionarnog strujanja pod tlakom na fizikalnom modelu, odrediti koeficijente linijskih gubitaka. Također odrediti apsolutnu i relativnu hrapavost za cijev manjeg ( $D_1=12,7 \text{ mm}$ ) i većeg promjera ( $D_2=25,4 \text{ mm}$ ).

b) Obradom mjernih podataka odrediti koeficijente lokalnih gubitaka za naglo proširenje, koljena, naglo suženje i zasun, sve na tlačnoj cijevi. Dobivene vrijednosti treba usporediti s koeficijentima lokalnih gubitaka iz inženjerske literature, a koji su priloženi u dodatku.

c) Na osnovu mjernih podataka nacrtati piježometarsku i energetska liniju tlačne cijevi.

Tok ispitivanja:

Uključi se pumpa na modelu, te se namještanjem zasuna, s danim protokom “ $Q$ ”, uspostavi stacionaran režim kroz tlačnu cijev. Najprije se izmjeri brzinska visina “ $h_{PIT}$ ” u PITOT-ovoj cjevčici na nizvodnom kraju modela. Zatim se izmjere piježometarske kote za sve piježometre na modelu “ $h_i$ ”,  $i=1,17$ . Također se izmjere međusobne udaljenosti pojedinih piježometara “ $L_{i-j}$ ” po duljini tlačne cijevi:  $L_{1-2}$ ,  $L_{2-3}$ ,  $L_{4-5}$ ,  $L_{5-6}$ ,  $L_{7-8}$ ,  $L_{8-9}$ ,  $L_{11-12}$ ,  $L_{12-13}$  i  $L_{14-15}$ .

Obrada podataka:

Brzina u cijevi manjeg promjera “ $D_I$ ” se odredi spomoću brzinske visine PITOT-ove cjevčice:

$$v_1 = \sqrt{2gh_{PIT}}$$

Protok kroz cijev se izračuna na osnovu jednadžbe:  $Q = v_1 \cdot \frac{D_1^2 \pi}{4}$

Ad a) Za svaku dionicu tlačne cijevi duljine “ $L_{i-j}$ ”, odredi se energetske (tlačni) linijski gubitak  $\Delta h_{ij} = h_j - h_i$ , te se pomoću Darcy-Weisbach-ove formule izračuna koeficijent linijskog gubitka:

$$\lambda = \frac{D \cdot 2g \cdot \Delta h_{ij}}{L_{i-j} \cdot v^2}$$

, gdje se brzina “ $v$ ” i promjer “ $D$ ” odnose na cijev manjeg ili većeg promjera. Nadalje, odredi se za dani cjevovod i danu dionicu Reynoldsov broj:

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu}, \quad \nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Iz Moody-ovog dijagrama se za dane vrijednosti  $\lambda$  i  $R_e$  očita relativna hrapavost  $\varepsilon/D$ , te se konačno odredi i apsolutna hrapavost predmetne dionice cjevovoda.

Konačne vrijednosti relativne i apsolutne hrapavosti svake cijevi treba izračunati kao prosječnu vrijednost (aritmetička sredina) hrapavosti dobivenih za pojedine mjerne dionice.

Ad b) Iz pada energetske linije “ $\Delta h$ ”, ostvarenom na mjestu lokalnog gubitka, a rekonstruiranom iz mjerenih piježometarskih visina, odrediti koeficijent lokalnog gubitka:

$$\xi_{lok} = \frac{2g \Delta h}{v^2}$$

te ga usporediti s odgovarajućom vrijednošću iz tablica koeficijenata lokalnih gubitaka, priloženima u dodatku.

Ad c) Na priloženoj skici modela, ucrtati piježometarsku i energetske linije, obje rekonstruirane iz mjerenih piježometarskih kota i izračunatih brzina.

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje:



