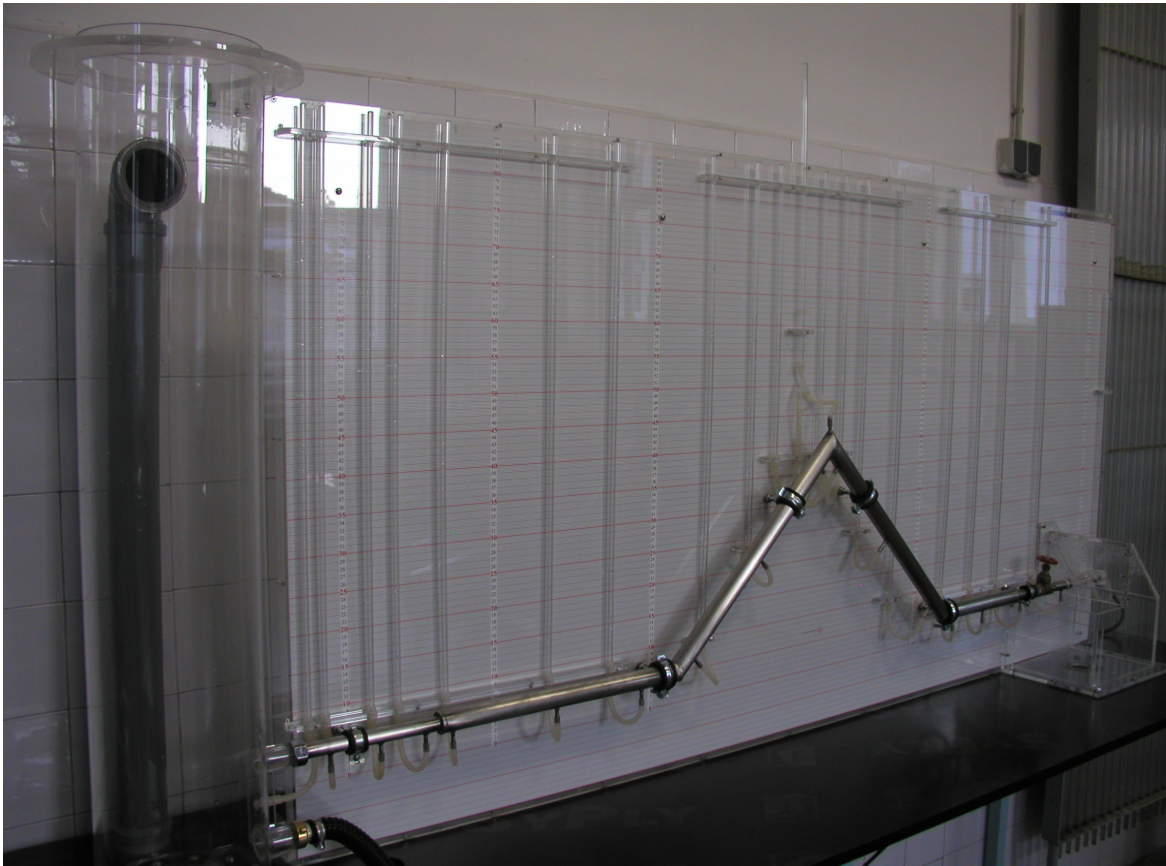


**VI vježba****Stacionarno tečenje u sustavu pod tlakom**

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



**Slika 6.1** Fizikalni model linijskih i lokalnih gubitaka u sustavu pod tlakom

Na osnovu tlaka izmjenenog 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 cjevčice  $h_{PIT}$  i razine u svim piezometrima  $h_i$ , gdje je  $i = 1-17$ .

Brzina u cijevi 1 (promjera  $D_1$ ) je  $v_1 = \sqrt{2gh_{PIT}}$  te se može izračunati protok kroz cijev prema formuli  $Q = v_1 \cdot D_1^2 \pi / 4$

Potrebno je:

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

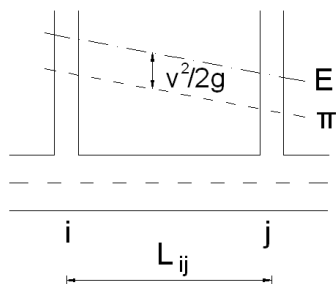
*Postupak:*

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 i 14-15, treba izračunati vrijednost linijskog gubitka iz konstruirane energetske linije

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

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

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



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

Za poznate  $\lambda$  i  $Re$  na Moodyjevom dijagramu očitati relativnu hrapavost  $\varepsilon/D$ , a iz te vrijednosti izračunati apsolutnu hrapavost  $\varepsilon$ .

Dobivene podatke upisati u sljedeću 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							
	8-9							
	11-12							
	12-13							
	14-15							

## 2. Određivanje koeficijenata lokalnih gubitaka

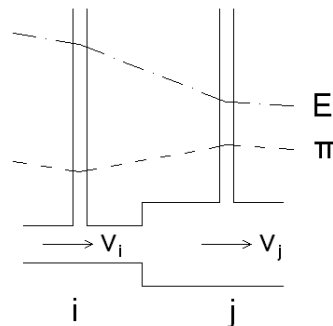
Na fizikalnom modelu je ugrađeno nekoliko parova piezometara na kojima se može mjeriti pad piezometarske linije, iz koje se može izračunati koeficijent lokalnog gubitka. Piezometri su postavljeni na ulazu u cijev, kao i na proširenju, koljenima i suženju. Za određivanje lokalnih gubitaka treba očitati razliku razina vode u piezometrima 3-4, 6-7, 9-11, 13-14, 15-16 i 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:

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

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

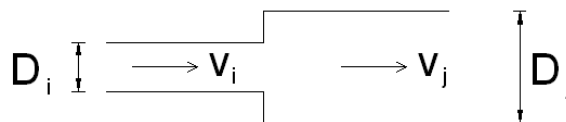
$$\xi_{LOK} = \frac{\Delta h_{ij} \cdot 2g}{v_j^2}$$



Kod proširenja se dio kinetičke energije pretvara 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 objavljenima u literaturi. Primjer 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 svih izračunatih koeficijenata lokalnih gubitaka (ulaz u cijev, naglo proširenje, naglo suženje, koljeno i zatvarač), može se koristiti sljedeća tablica:

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 zavarivanja priključaka kojima su piezometri spojeni na cijev može doći do smanjenja površine živog presjeka te nelogičnosti u dobivenim rezultatima. Također, na nekim piezometrima, koji su neposredno uz mjesto lokalnog gubitka, može doći do odstupanja od očekivane vrijednosti tlačne visine zbog izražene turbulencije. Prilikom opisa rezultata mjerenja treba komentirati nelogičnosti te po potrebi korigirati izmjerenu piezometarsku i energetska liniju prije predaje programa. **Drugim riječima, potrebno je nacrtati očitano i „ispravljenju“ piezometarsku i energetska liniju.**

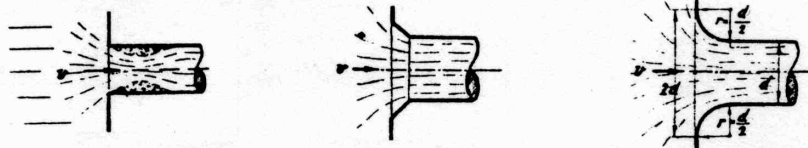
U nastavku je prikazano nekoliko vrijednosti koeficijenata lokalnih gubitaka objavljenih u literaturi.

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) .....  $\xi = 1,0 - 1,3$  ,  $l > 4 d$

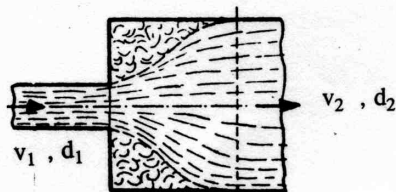


2) Naglo proširenje:

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

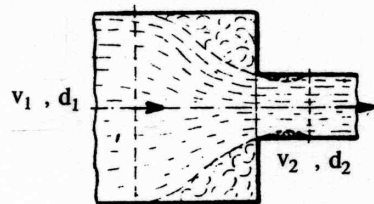
$$\xi = \left[ \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2 \dots \text{obzirom na } v_2$$

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



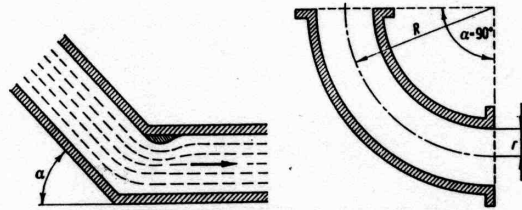
Napomena: Navedene vrijednosti koeficijenta gubitka se odnose na brzinsku visinu iza suženja.

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).

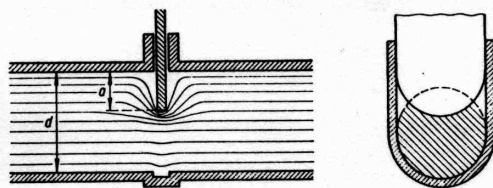


4b) Koljeno sa zavojem:

$r / R$	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

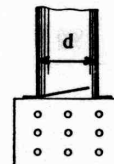
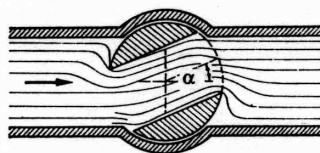
5) Zasun:

$a / d$	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

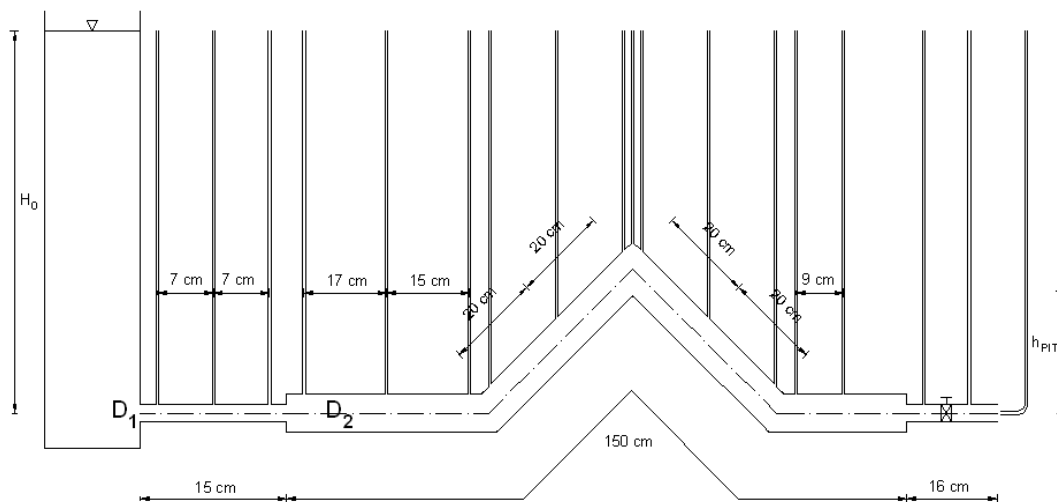
Ak.god.

Predmet: **HIDRAULIKA**

Student :

Mat. broj :

Zadatak 6 : **Stacionarno tečenje u sustavu pod tlakom**



$$D_1 = 18\text{mm} \quad D_2 = 28\text{mm}$$

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 ( $D_1 = 18\text{ mm}$ ) i većeg promjera ( $D_2 = 28\text{ mm}$ ).

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

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

Tok ispitivanja:

Uključi se pumpa na modelu, te se namještanjem zasuna uspostavi stacionaran režim kroz tlačnu cijev, s određenim protokom  $Q$ . Najprije se izmjeri brzinska visina  $h_{PIT}$  u Pitotovoj cjevčici na nizvodnom kraju modela. Zatim se izmjere piezometarske kote  $h_i$ ,  $i = 1-17$  za sve piezometre na modelu. Također se provjere međusobne udaljenosti pojedinih piezometara  $L_{i-j}$  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  $D_1$  se odredi pomoću brzinske visine u Pitotovoj cjevčici:  $v_1 = \sqrt{2gh_{PIT}}$

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 (tlačne) linijski gubitak  $\Delta h_{ij} = h_j - h_i$ , te se pomoću Darcy-Weisbachove 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 Moodyjevog dijagrama se za dane vrijednosti  $\lambda$  i  $R_e$ , očita relativna hrapavost  $\varepsilon/D$  te se konačno odredi i apsolutna hrapavost  $\varepsilon$  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  $\Delta h$ , ostvarenog na mjestu lokalnog gubitka, a preuzetog iz mjerenih piezometarskih visina, odrediti koeficijent lokalnog gubitka:

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

te ga usporediti s odgovarajućom vrijednošću iz literature (prema izrazima u prilogu).

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

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje:



