

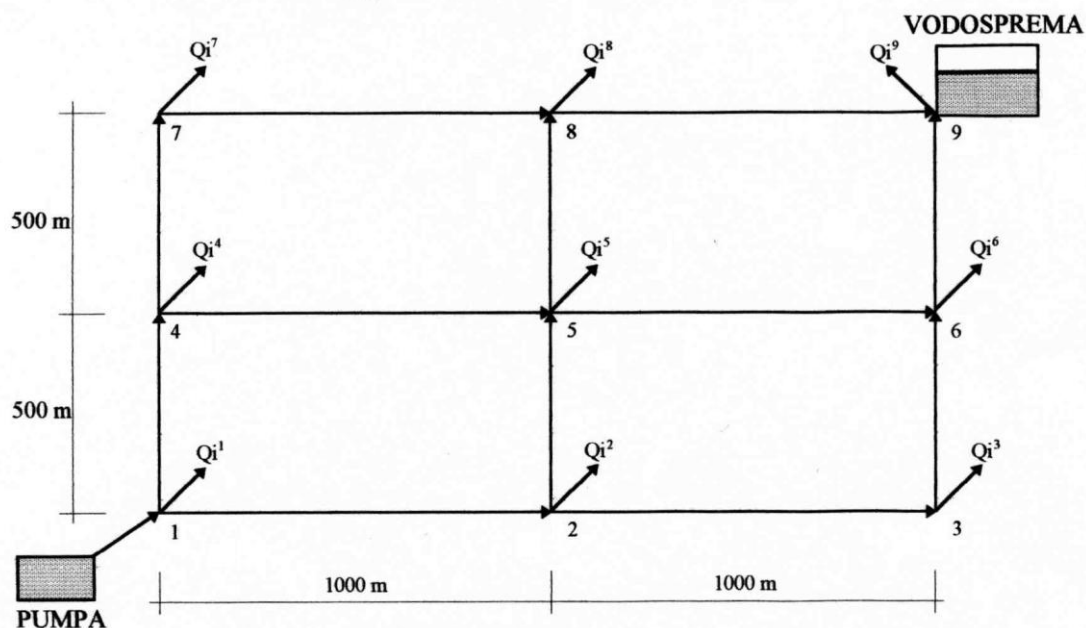
## VII vježba

### Stacionarno strujanje u vodovodnoj mreži

U hidrotehničkoj praksi se često javlja potreba za dimenzioniranjem sustava cijevi kroz koje protječe neka tekućina. Najčešće se računa stacionarno tečenje u vodovodnim mrežama ali se istom metodom može dimenzionirati i sustav centralnog grijanja, plinske instalacije,....

Proračuni cijevne, u našem slučaju vodovodne mreže, se može zasnivati na zadovoljavanju jednadžbe kontinuiteta u čvorovima (razlika ulaza i izlaza iz čvora treba biti jednaka potrošnji) i na zadovoljavanju dinamičke (Bernoullieve) jednadžbe koja kaže da suma gubitaka energije u jednoj zatvorenoj petlji treba biti jednaka nuli. Odnos između protoka kroz cijev i gubitka energije je definiran Darcy-Weisbachovom (Colebrook-Whiteovom) jednadžbom, a u nastavi se za računanje linijskih gubitaka najčešće koristi Moodyev dijagram.

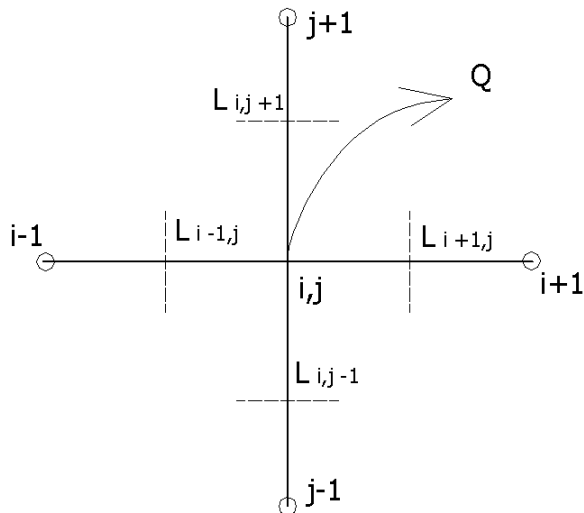
U ovom praktikumu će biti prikazan iterativni postupak koji se lagano programira na računalu. Sam postupak je prikazan na mreži koja je shematski prikazana na slici 7.1



Slika 7.1 Skica vodovodne mreže

#### 1. Definiranje potrošnje po čvorovima

Za potrebe proračuna se mora definirati potrošnja u pojedinom čvoru vodovodne mreže. Potrošnja u čvorovima se računa na osnovu specifične potrošnje koja je definirana po dužnom metru (slika 7.2).



Slika 7.2 Određivanje potrošnje u čvoru

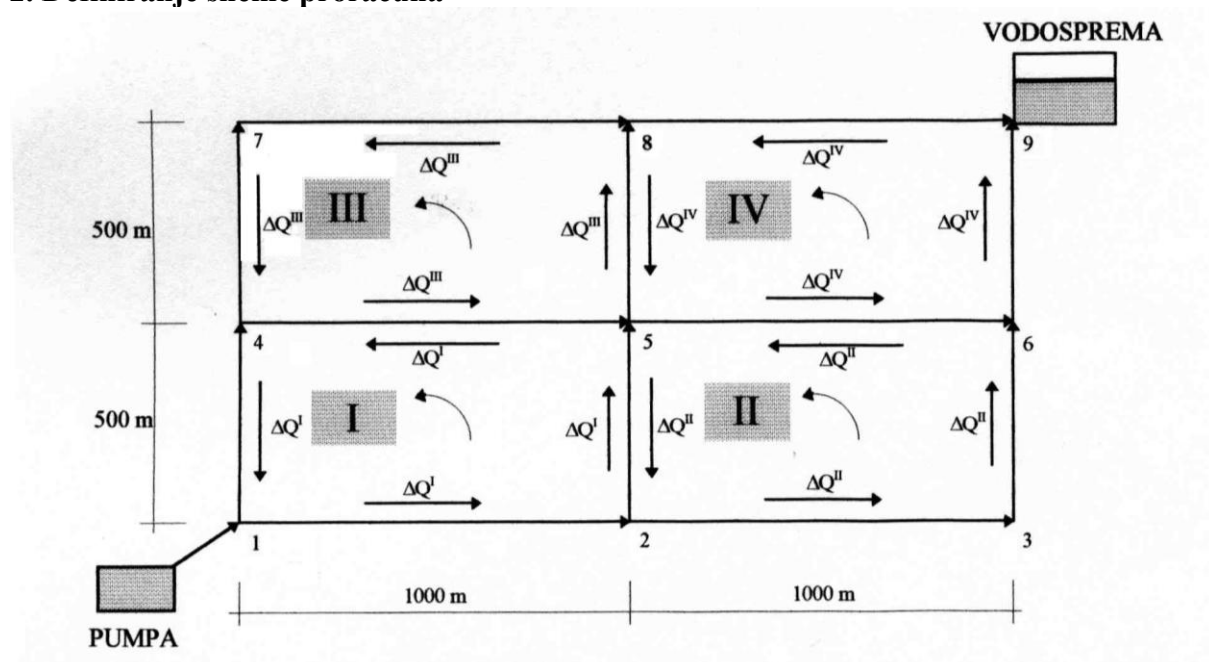
Udio potrošnje iz čvora od svake cijevi koja se veže u čvor se dobiva kao umnožak polovine duljine cijevi i specifične potrošnje (jednadžba 7.1)

$$\bar{Q}_i = -\sum_k \frac{L_k}{2} \cdot \bar{q} \quad (7.1)$$

pri čemu je :

- $k$  indeks cijevi koja je vezana u čvor ( $k = 1, \dots, N$ )
- $L$  duljina cijevi koja je vezana u čvor
- $q$  specifična potrošnja po  $m'$  cijevi

## 2. Definiranje sheme proračuna



Slika 7.3 Definiiranje smjerova i iznosa protoka u pojedinim cijevima

Proračun počinje pretpostavljanjem protoka kroz cijevi na način da je zadovoljena jednadžba kontinuiteta.

Nakon što su pretpostavljeni protoci u svim cijevima može se odabrati promjere cjevovoda pojedine dionice (između dva čvora) po formuli

$$D^* = \sqrt{\frac{4Q}{v \cdot \pi}} \text{ tako da bude } v \approx 1 \text{ m/s (što je optimalna brzina vode u vodoopskrbnoj mreži)}$$

(zaokružiti na puni broj  $D = 100, 150, 200, \dots$  mm)

$$\text{za sve cijevi se odredi : } \varepsilon / D \text{ i } R_e = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

i očita  $\lambda$  iz Moodyevog dijagrama.

Koeficijent  $\lambda$  se može izračunati i korištenjem Colebrookove jednadžbe za potpuno razvijeni turbulentni režim strujanja:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{\varepsilon}{14.8R} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

pri čemu je sa  $\varepsilon$  [m] označena hrapavost,  $R$  [m] hidraulički radijus, a sa  $Re$  Reynoldsov broj. Iterativno traženje koeficijenta hrapavosti  $\lambda$  definiranog gornjom jednadžbom može iziskivati dosta vremena. Swamee i Jain su izveli jednadžbu za direktno računanje koeficijenta linijskih gubitaka

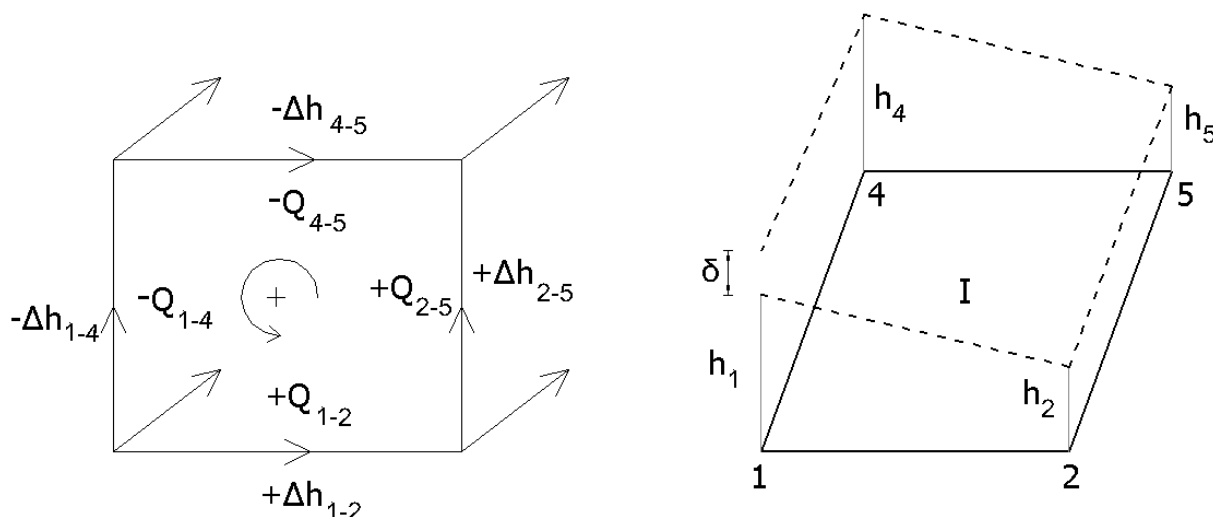
$$\lambda = \frac{1.325}{\left[ \log_e \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Gubitak energije (izražen u visinskom obliku) u pojedinoj cijevi se može definirati jednadžbom

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{16Q^2}{D^4 \pi^2 2g} = \frac{8\lambda L}{D^5 \pi^2 g} \cdot Q^2 = S \cdot Q^2$$

Prilikom računanja gubitaka u pojedinoj cijevi se uzimaju u obzir samo linijski gubici dok se lokalni zanemaruju ili se uzimaju proporcionalno od linijskih. Treba odrediti koeficijent gubitka  $S$  za sve cijevi, a tijekom proračuna se može usvojiti da je koeficijent gubitka  $S \approx \text{const.}$  (što pretpostavlja da je  $\lambda \approx \text{const.}$ ).

Nakon računanja koeficijenta gubitka  $S$  za sve cijevi može se provesti hidraulički proračun koji se zasniva na pretpostavci da je zbroj linijskih gubitaka u svakoj petlji jednaka nuli. U slučaju kad suma svih gubitaka u zatvorenoj petlji ne bi bila jednaka nuli, u nekom čvoru (npr. čvor 1 na slici 7.4 desno) postojala bi razlika tlakova  $\delta$  sa jedne i druge strane, što u praksi nije moguće.



Slika 7.4 Pad piezometarske linije u jednoj petlji

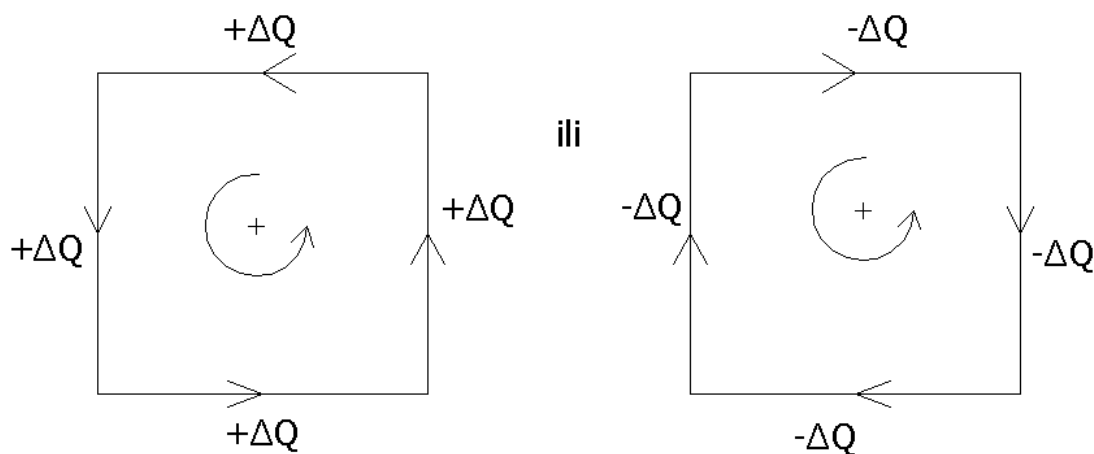
Protok u svakoj cijevi  $Q$  se može prikazati kao zbroj pretpostavljenog protoka  $Q_0$  i greške u pretpostavljenom protoku  $\Delta Q$ .

$$\Delta h = S \cdot Q^2 = S \cdot Q_0 + \Delta Q^2 = S \cdot Q_0^2 + 2Q_0 \cdot \Delta Q + \Delta Q^2 \quad \Delta Q^2 \text{ se zanemaruje}$$

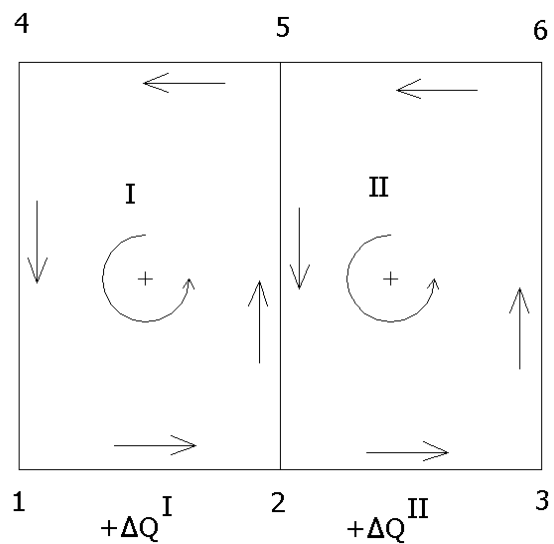
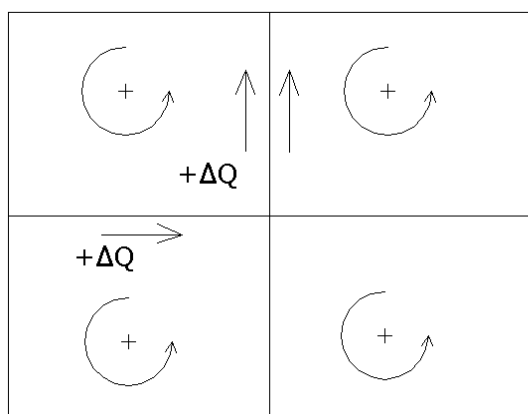
$$\Delta h = S \cdot Q_0 \cdot |Q_0| + 2 \cdot S \cdot |Q_0| \cdot \Delta Q \quad / \Sigma$$

$$\Sigma \Delta h = \Sigma S \cdot Q_0 \cdot |Q_0| + 2 \Sigma |Q_0| \cdot \Delta Q = 0$$

$$\Rightarrow \Delta Q = -\frac{\Sigma S \cdot Q_0 |Q_0|}{2 \Sigma S \cdot |Q_0|} \dots\dots \text{za cijelu petlju}$$



Napomena: Najprije treba iterirati po svim petljama, a onda vršiti korekciju protoka za cijeli sistem, nakon čega slijedi nova iteracija, itd...



U petlji I:  $Q_{2.5} = Q_{2.5}^o + \Delta Q^I - \Delta Q^{II}$   
 U petlji II:  $Q_{2.5} = Q_{2.5}^o + \Delta Q^{II} - \Delta Q^I$

Nakon tako izvršene korekcije  $Q_{2.5}$  mora po apsolutnoj vrijednosti biti isti gledano iz I ili II (kao što je bio i stari protok).

GRAĐEVINSKI FAKULTET  
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Diplomski studij

Šk.god.

Student :

Mat.broj :

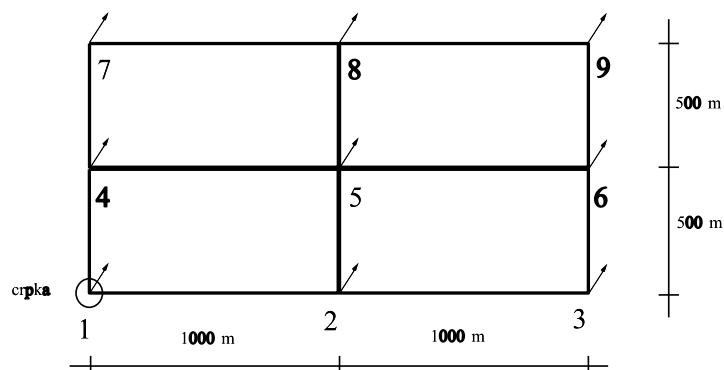
Predmet: HIDRAULIKA

### Zadatak 7 : Stacionarno strujanje u prstenastoj vodovodnoj mreži

Prstenasta vodovodna mreža dana je na skici. Potrebno je odrediti promjere svih cijevi u mreži, tako da se postigne što ravnomjerniji raspored tlakova za slučaj maksimalne potrošnje. Za minimalni promjer pojedinog cjevovoda uzeti 100 mm, a po potrebi povećavati promjere s korakom od 50 mm sve do promjera od 400 mm, iznad čega je korak povećavanja 100 mm. Cijevi su lijevano željezne s apsolutnom hrapavošću  $\varepsilon = 1$  mm. Kinematski koeficijent viskoznosti vode je  $\nu = 1.175 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Svi čvorovi mreže nalaze se na istoj nadmorskoj visini od 0.00 m.n.m. Pri projektiranju mreže treba zadovoljiti uvjet da kota tlaka u bilo kojem čvoru mreže ne smije pasti ispod 30 m.n.m. Rubni uvjet tlaka zadan je u čvoru 1, gdje se nalazi crpka i u kojem kota tlaka iznosi 60 m.n.m. te ujedno predstavlja najveći tlak u sistemu. Vodosprema se nalazi u čvoru \_\_\_\_\_.

Crpka osigurava srednju dnevnu potrošnju od  $\bar{q} = \text{_____}$  l/s/km, koja je ravnomjerno raspoređena po duljini cjevovoda. Potrošnja u pojedinom čvoru mreže simbolizirana je strelicom. Minimalna potrošnja sustava iznosi  $0.6\bar{q}$ , a maksimalna  $1.4\bar{q}$ .



Skica prstenaste vodovodne mreže

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje: