

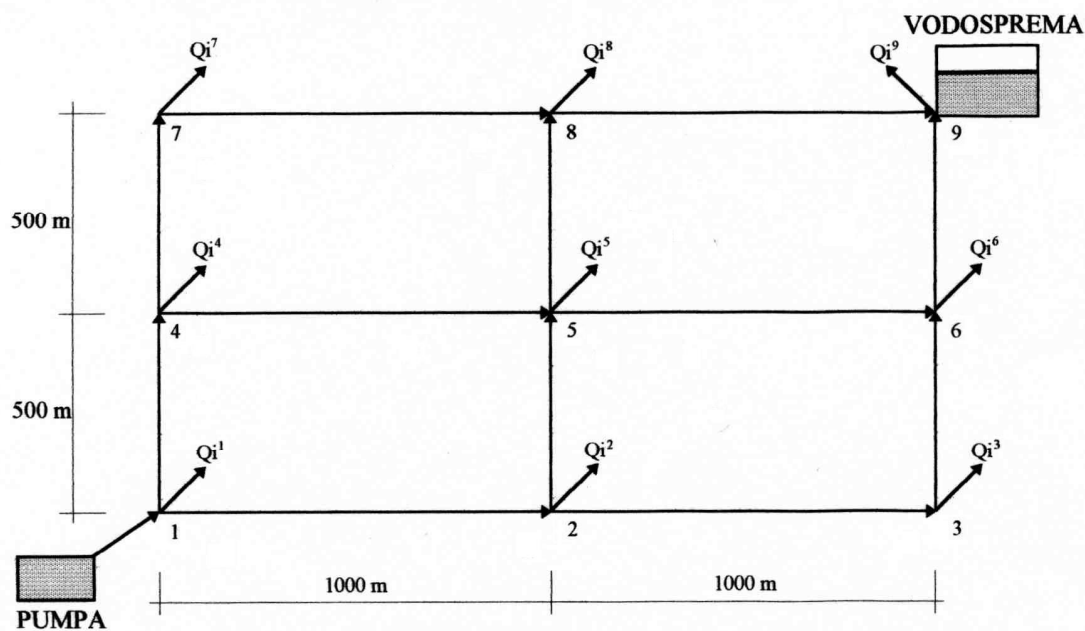
VII vježba

Stacionarno strujanje u prstenastoj 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,....

Proračun cijevne, u našem slučaju vodovodne mreže, se zasniva na zadovoljavanju jednadžbe kontinuiteta u čvorovima i dinamičke (Bernoullijeve) jednadžbe za zatvorenu petlju. Jednadžba kontinuiteta u čvorovima kaže da je razlika ulaza i izlaza iz čvora jednaka potrošnji u čvoru, a Bernoullijeva jednadžba 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 Moodyjev dijagram.

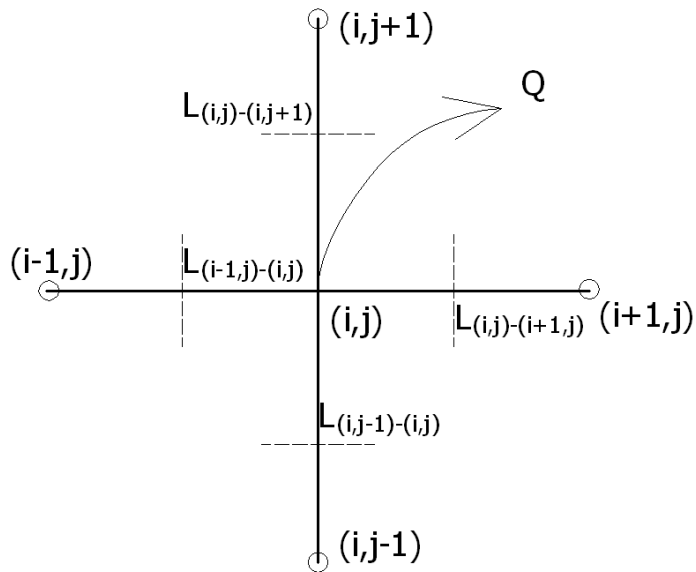
U ovom praktikumu će biti prikazan iterativni postupak koji se lagano programira na računalu. Sam postupak je prikazan na mreži koja je shematski prikazana na slici 7.1



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 cijevi (slika 7.2).



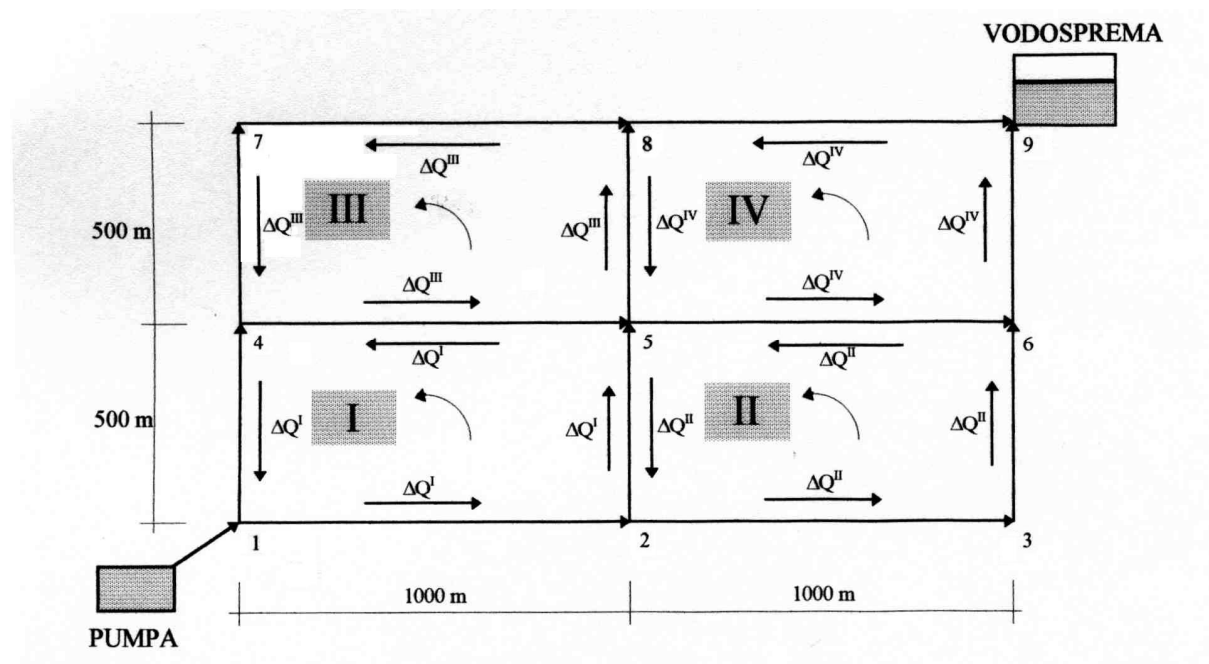
Slika 7.2 Određivanje potrošnje u čvoru

Potrošnja u čvoru se računa kao suma umnožaka polovice duljine svake cijevi koja se spaja u čvor i specifične potrošnje definirane za pojedinu cijev

$$Q = -\sum \frac{L}{2} \cdot q$$

pri čemu je : Q potrošnja u čvoru
 L duljina cijevi koja je vezana u čvor
 q specifična potrošnja po m' cijevi

2. Definiranje sheme proračuna



Slika 7.3 Definiranje smjerova i iznosa protoka u pojedinim cijevima

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

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

$D^* = \sqrt{\frac{4Q}{v \cdot \pi}}$ tako da bude $v \approx 1$ m/s (što je optimalna brzina vode u vodoopskrbnoj mreži) (zaokružiti na prvi veći puni broj $D = 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 \dots$ mm)

za sve cijevi se odredi: ε/D i $Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$; $\nu = 1.175 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

i očita λ iz Moodyevog dijagrama.

Koeficijent λ se može izračunati i korištenjem Colebrookove jednačbe za potpuno razvijeni turbulentni režim strujanja:

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

pri čemu je sa ε [m] označena hrapavost, R [m] hidraulički radijus, a sa Re [1] Reynoldsov broj. Iterativno traženje koeficijenta hrapavosti λ definiranog gornjom jednačbom može iziskivati dosta vremena. Swamee i Jain su izveli jednačbu za direktno računanje koeficijenta linijskih gubitaka

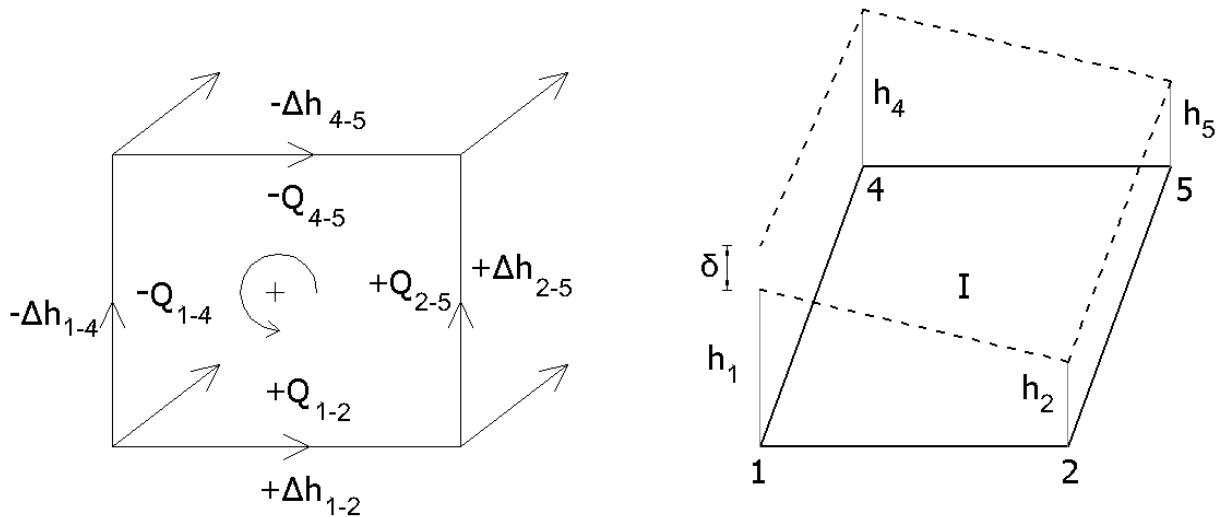
$$\lambda = \frac{1.325}{\left[\log_e \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

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

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

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 zatvorenoj petlji jednak 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 δ s jedne i druge strane, što fizikalno nije moguće.



Slika 7.4 Piezometarska linija u zatvorenoj petlji

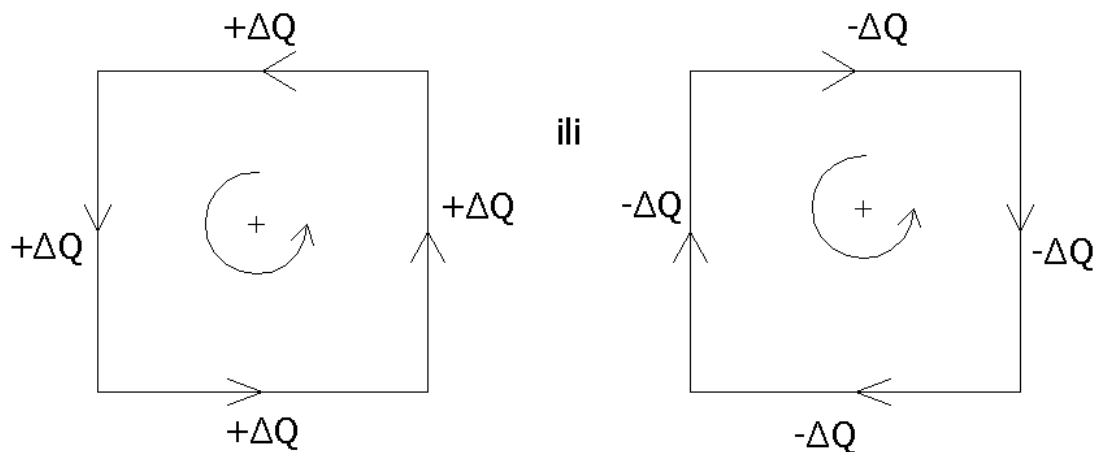
Protok u svakoj cijevi Q se može prikazati kao zbroj pretpostavljenog protoka Q_0 i greške u pretpostavljenom protoku ΔQ .

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

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

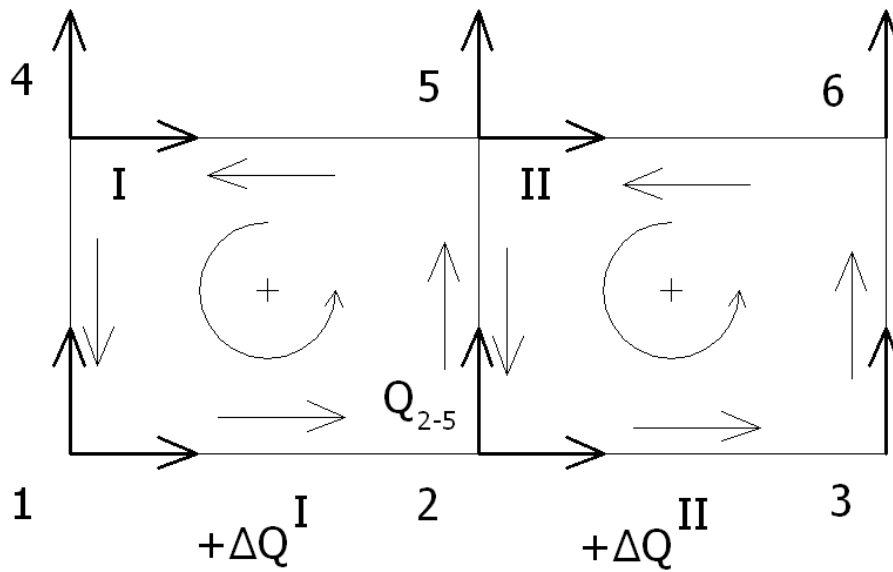
$$\Sigma \Delta h = \Sigma S \cdot Q_0 \cdot |Q_0| + 2 \Sigma S \cdot |Q_0| \cdot \Delta Q = 0$$

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



Slika 7.5 Dogovoreni pozitivni smjer toka

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



Slika 7.6 Pozitivni predznak za grešku u pretpostavljenim protocima (primjer za pretpostavljeni protok Q_{2-5} u petljama I i II)

$$\begin{aligned} \text{U petlji I:} \quad & Q_{2-5} = (Q_0)_{2-5} + \Delta Q^I - \Delta Q^{II} \\ \text{U petlji II} \quad & -Q_{2-5} = -(Q_0)_{2-5} + \Delta Q^{II} - \Delta Q^I \end{aligned}$$

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

Ak.god.

Predmet: **HIDRAULIKA**

Student :

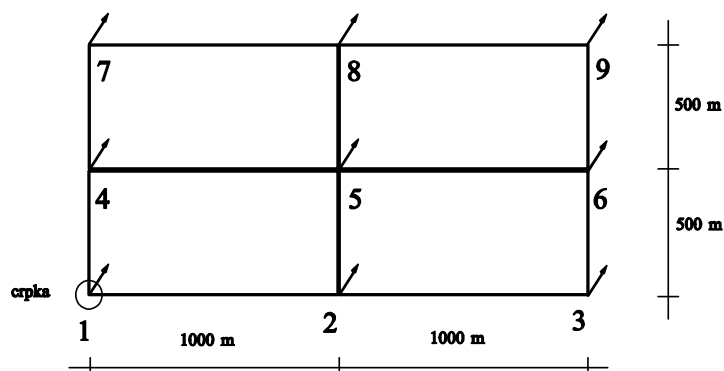
Mat.broj :

Zadatak 7 : Stacionarno strujanje u prstenastoj vodovodnoj mreži

Prstenasta vodovodna mreža prikazana 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 $\nu = 1.175 \times 10^{-6}$ m²/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 $\bar{q} =$ _____ 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 $1.4\bar{q}$.



Zadano:

Pregledao:

Rok predaje: