

2.3.5 Jednoliko strujanje sa slobodnom površinom

Razmatra se strujanje u otvorenim vodotocima, odnosno strujanje sa slobodnom površinom. Ova strujanja karakterišu sledeće dve osobine:

- (A) Položaj slobodne površine nije unapred dat, odnosno granica oblasti strujanja nije unapred definisana.
- (B) Na slobodnoj površini vlada atmosferski pritisak. Za atmosferski pritisak se uslovno uzima da je jednak nuli te se za neku tačku na površini tečnosti može napisati

$$\frac{p}{\gamma} = 0$$

odnosno

$$\Pi = \frac{p}{\gamma} + z = z$$

gde je

Π - piježometarska kota

z - kota nivoa vode

prema tome na slobodnoj površini piježometarska visina je jednaka geodetskoj koti.

Kod izučavanja strujanja vode u kanalima koristi se jednodimenziona analiza. Razmatra se dakle samo srednja brzina preseka. Ovaj način pretpostavlja da su strujnice kvaziparalelne, dakle blago zakrivljene, tako da se pritisak duž preseka upravnog na strujnice raspoređuje po hidrostatičkom zakonu.

Celokupno razmatranje odnosiće se na kanale koji su relativno malog pada i za koje se može uzeti

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &\approx \sin \alpha \approx i_0 \\ \cos \alpha &\approx 1.0 \end{aligned}$$

gde je i_0 nagib dna kanala, pozitivan kada se kota dna kanala smanjuje.

Jednoliko tečenje je ono tečenje kod koga se dubine odnosno brzine ne menjaju ni duž puta ni u vremenu. Matematički se jednoliko strujanje definiše izrazima

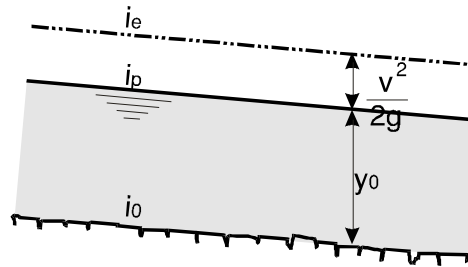
$$y = \text{const} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial y}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

$$v = \text{const} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial v}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

Jednoliki režim naziva se još i *ravnomernim* režimom tečenja. Suprotan slučaj, kada se dubine odnosno brzine menjaju duž puta ali ostaju konstantne tokom vremena, naziva se *nejednoliko* strujanje. Kod oba ova strujanja nema promena u vremenu te ona pripadaju stacionarnim strujanjima.

Kod jednolikog tečenja sa slobodnom površinom pad dna kanala i_0 poklapa se sa padom slobodne površine i_p i padom linije energije i_e .

$$i_0 = i_p = i_e$$



Slika 33.

Dubina koja odgovara jednolikom strujanju naziva se normalna dubina i obeležava se sa y_0 . Jednoliko strujanje može se javiti samo u kanalu nepromenljivih karakteristika, dakle u prizmatičnom koritu konstantnog pada i_0 kroz koji protiče konstantni proticaj.

Do osnovnih jednačina jednolikog tečenja doći ćemo proširenjem jednačine za kružnu cev na vodotok prizvoljne forme.

Ranije je pomenuto da za jednoliko strujanje u cevima konstantnog preseka važi jednačina

$$\Delta E = \Delta \Pi = \lambda \frac{L v^2}{D 2g}$$

gde su

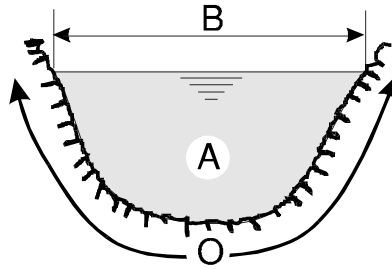
- λ koeficijent otpora
- L dužina cevi
- D prečnik cevi
- ΔE pad linije energije
- $\Delta \Pi$ pad piježometarske linije

za korito proizvoljne forme jednačinu treba proširiti tako što će se D zameniti drugom geometrijskom veličinom - hidrauličkim radijusom

$$R = \frac{A}{O}$$

gde je

- A okvašena površina
- O ovašeni obim



Slika 34.

Sada se gornja jednačina može napisati u formi

$$\Delta E = \Delta \Pi = \lambda_R \frac{L v^2}{R 2g}$$

gde je λ_R koeficijent otpora za slučaj kada se kao reprezentativna geometrijska veličina uzima hidraulički radijus R

Prema eksperimentima se može približno uzeti da je

$$\lambda_R = 0.0256 \left(\frac{k}{R} \right)^{1/3}$$

gde je k apsolutna ravnost cevi (mm)

Šezijeva formula

Za $\lambda_R = const$ gornja jednačina rešena po brzini v glasi

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda_R}} \sqrt{2g} \sqrt{RI}$$

gde je

$$I = \frac{\Delta E}{L} = \frac{\Delta \Pi}{L}$$

pad linije energije odnosno piježometarske linije.

Ako označimo:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_R}} \cdot \sqrt{2g} = \mathbf{C}$$

dobija se

$$v = C\sqrt{RI}$$

Jednačina predstavlja Šezijevu (Chezy) formulu koja jedna je od najvažnijih u hidraulici. Koeficijent C naziva se Šezijev koeficijent brzine. Treba obratiti pažnju da je ovaj koeficijent dimenzionalan i to sa dimenzijom

$$[C] = \left[g^{1/2} \right] = m^{1/2} s^{-1}$$

Manningova formula

Ako se empirijska jednačina za λ_R uvrsti u jednačinu za koeficijent C dobija se

$$C = 6.25 \left(\frac{R}{k} \right)^{1/6} \sqrt{2g}$$

Obeležimo sa

$$\frac{1}{n} = 6.25 \sqrt{2g} \frac{1}{k^{1/6}}$$

gde je n koeficijent rapavosti po Manningu. Tako se dobija takozvana Manningova formula za C :

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Manningov koeficijent rapavosti je takođe dimenzionalan i njegova vrednost se kreće između

$$0.01 < n < 0.03 \left[m^{-1/3} s \right]$$

Specifičnosti Šezijeve formule za jednoliko strujanje sa slobodnom površinom

Svi izvedeni obrasci važe kako za strujanje pod pritiskom tako i za strujanje sa slobodnom površinom. Za tečenje sa slobodnom površinom je specifično što se pad linije energije i_e odnosno pad pijezometarske linije i_p poklapa sa padom dna i_0 . Pošto je i_0 osnovna geometrijska karakteristika vodotoka to je ovde pogodnije koristiti Šezijevu jednačinu sa i_0 uz napomenu da I u Šezijevoj formuli fizički predstavlja pad linije energije.

$$v = C \sqrt{R i_0}$$

Šezi Manningove jednačine za brzinu i proticaj i propusna moć korita

Ako se **C** izrazi po Manningu Šezijeva jednačina postaje

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{i}$$

Ova jednačina se naziva Šezi-Manningova jednačina za brzinu. Šezi Manningova jednačina za proticaj ima oblik

$$Q = vA = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{i}$$

Ako se uvede oznaka

$$CA\sqrt{R} = K$$

ova jednačina postaje

$$Q = K\sqrt{i}$$

Veličina **K**, koja ima dimenzije proticaja, naziva se moduo proticaja ili propusma moć korita. Ako se **C**

izrazi po Manningu K dobija oblik

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{O^{2/3}}$$

gde je O okvašeni obim.