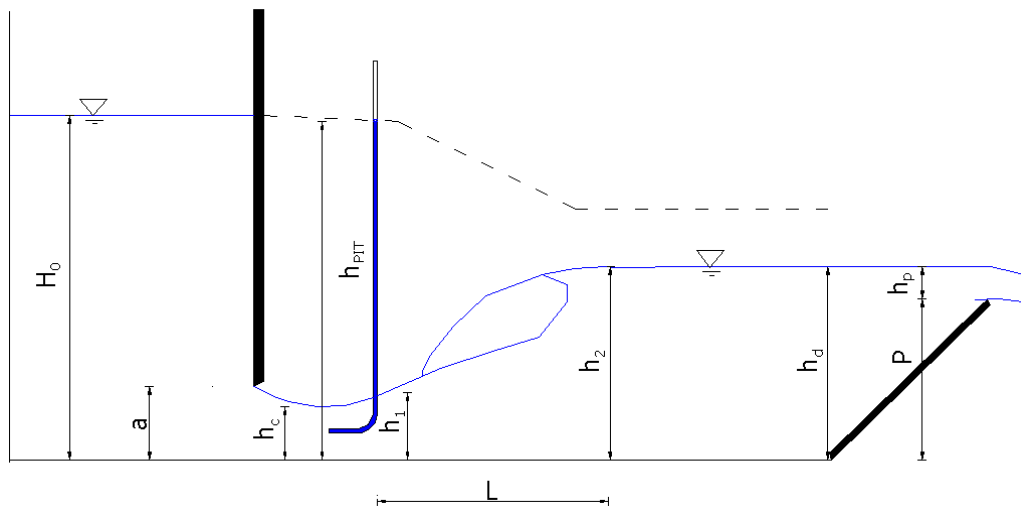


V vježba

Fizikalni model vodnog skoka

Ovaj fizikalni model je napravljen kao pravokutni kanal konstantnog poprečnog presjeka u kojem se pri istom protoku javljaju i mirni i siloviti režim tečenja. Na modelu je također moguće vidjeti prijelaz iz mirnog u siloviti režim prilikom istjecanja ispod ustave kao i prijelaz iz silovitog u mirni režim toka u vodnom skoku. Skica modela je prikazana na slici 5.1



Slika 5.1 Skica fizikalnog modela vodnog skoka

Voda ulazi u mjernu dionicu kroz perforiranu stjenku sa relativno velikom dubinom i malom brzinom te se uzvodno od zapornice javlja mirni režim toka. Pomoću Pitot-ove cjevčice se može izmjeriti brzinska visina i odrediti položaj energetske linije koji je cca 10 mm iznad vodnog lica.

Voda dolazi do vertikalne prepreke – ustave, ispod koje se javlja istjecanje. Na modelu se može mijenjati otvorenost ustave (udaljenost noža ustave od dna) te mjeriti kontrakcija mlaza i raspored tlakova po ustavi (pomoću piezometra).

U kontrahiranom mlazu neposredno iza ustave se javljaju velike brzine a relativno mala dubina vode tj. režim tečenja je silovit. Postavljanjem Pitot-ove cjevčice u kontrahirani dio mlaza vidjet će se da je brzinska visina praktički jednaka tlačnoj visini prije zapornice. To pokazuje da su energija prije i poslije zapornice praktički jednake, tj. da se tlačna energija u mirnom režimu prije zapornice pretvorila u kinetičku energiju iza zapornice (zorni prikaz Bernoullijeve jednadžbe). Gubitak energije prilikom istjecanja ispod zapornice je relativno mali.

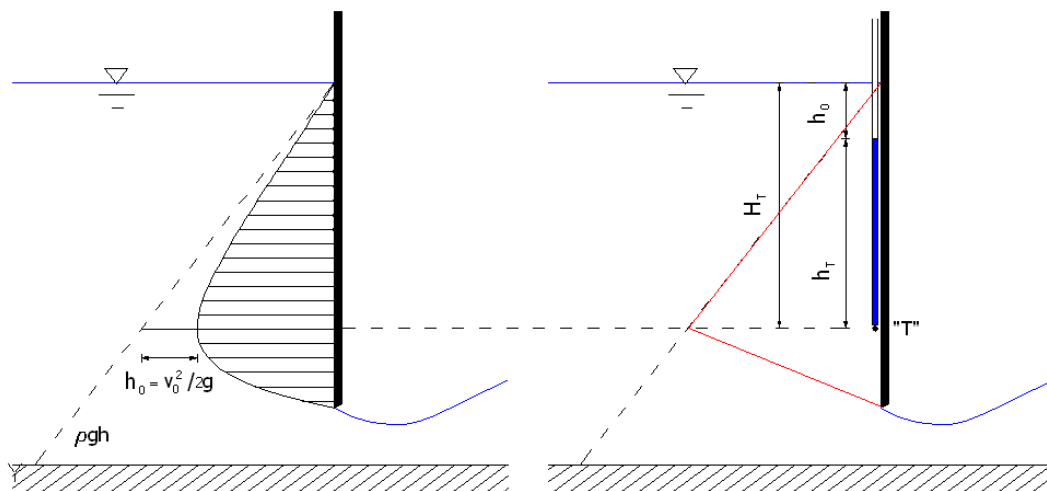
Ovaj dio modela također pokazuje da u koritu konstantnog poprečnog presjeka isti protok može proteći sa dvije različite dubine tj. u mirnom i u silovitom režimu (primjena krivulje specifične energije).

U silovitom režimu će se dubina vode nizvodno od kontrahiranog presjeka postepeno povećavati i kad dosegne prvu spregnutu dubinu, doći će do formiranja vodnog skoka. Vodni skok je područje izražene turbulencije, što se može zorno pokazati uranjanjem Pitot-ove cjevčice u vodni skok. Zbog izražene turbulencije dolazi i do velikog gubitka energije, što se može pokazati mjerenjem ukupne energije nizvodno od vodnog skoka.

Položaj vodnog skoka ovisi o dubini donje vode koja se regulira nizvodnom zapornicom, te razlikujemo potopljeni, normalni i odbačeni vodni skok.

Sama procedura mjerenja kao i tablice za upis izmjerenih vrijednosti su dane u okviru zadatka. U nastavku ovog opisa će se samo istaknuti detalji vezani za hidrodinamičku silu na ustavu.

Prilikom određivanja hidrodinamičke sile na zapornicu (navedeno u zadatku pod točkom 3) potrebno je spuštati piezometar uz stjenku zapornice i mjeriti tlak u pojedinim točkama. Prilikom spuštanja piezometra uz zapornicu se primjećuje da vrijednost tlaka opada prvo relativno sporo a kasnije sve intenzivnije sa povećanjem dubine što jer posljedica prirasta brzine sa približavanjem dnu zapornice. Skica rasporeda tlaka uz zapornicu (karikirana i distordirana) je prikazana na slici 5.2 lijevo. Točan raspored brzina duž zapornice se može dobiti rješavanjem Laplace-ove jednačbe jer se ovaj konvergentni tok može modelirati kao potencijalno – bezvrtložno strujanje. Stvarni raspored tlakova na zapornicu se može, za potrebe računanja hidrodinamičke sile u ovoj vježbi, aproksimirati sa trokutom (slika 5.2 desno).



Slika 5.2 Skica rasporeda tlaka uz zapornicu

Do promjene tlaka uz stjenku zapornice dolazi zbog pretvaranja dijela energije tlaka u kinetičku energiju (Bernoulijeva jednadžba), tako da se u profilu istjecanja praktički sva energija položaja pretvorila u kinetičku energiju pa se često usvaja da je brzina istjecanja $v = \sqrt{2gh}$ pri čemu je sa h označena razlika u razinama vode ispred i iza ustave ($h = H_0 - h_c$).

Integracijom izmjerenog dijagrama tlaka se može dobiti vrijednost hidrodinamičke sile na ustavu. U okviru ovih vježbi se vrijednost hidrodinamičke sile može izračunati kao površina trokuta prikazanog crvenom linijom na slici 5.2 (desno) kojim je aproksimiran stvarni raspored tlakova.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Šk.god.

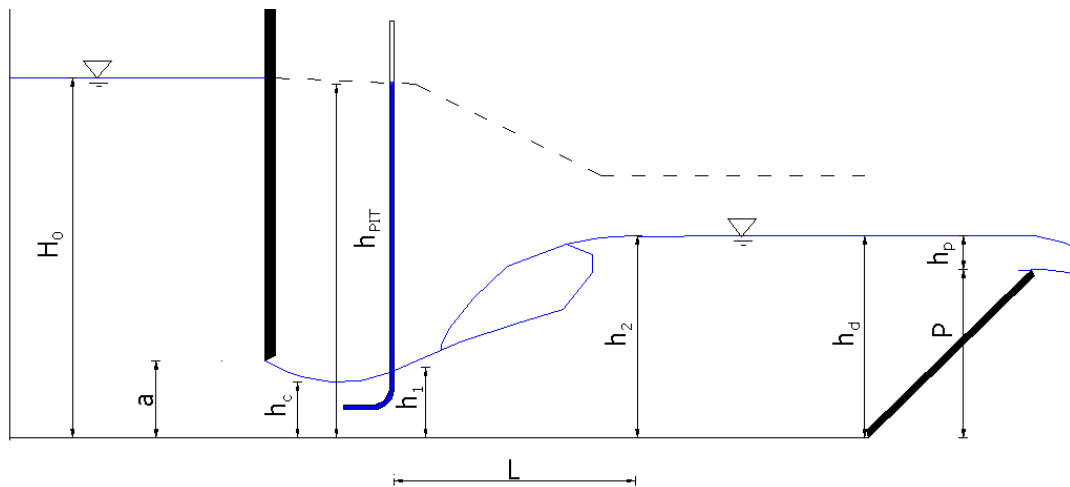
Diplomski studij

Predmet: HIDRAULIKA

Student :

Mat.broj :

Zadatak 5 : Istjecanje ispod ustave



Svrha ispitivanja:

Određivanje parametara slobodnog i potopljenog istjecanja iza vertikalne ustave, te određivanje parametara vodnoga skoka te hidrodinamičke sile tlaka na vertikalnu ustavu u slučaju slobodnog istjecanja.

Zadatak:

Nakon provedenih mjerenja na fizikalnom modelu istjecanja ispod vertikalne ustave, treba odrediti:

- 1) Koeficijent brzine " φ " za slobodno istjecanje iza ustave
- 2) Koeficijent oštrobriodnog preljeva $m = f(h_p)$ na nizvodnom kraju modela
- 3) Razdiobu hidrodinamičkog tlaka na vertikalnu ustavu mjerenjem piezometarske visine ispred ustave
- 4) Spregnute dubine normalnog vodnog skoka te duljinu vodnog skoka
- 5) Koeficijent potopljenosti $\sigma = f(h_d)$ za tri vrijednosti dubine donje vode " h_d "

Tok ispitivanja:

Cjelokupno ispitivanje sastoji se od četiri grupe mjerenja, od kojih se prva grupa odnosi na slobodno istjecanje iza ustave, dok se preostale tri grupe mjerenja odnose na potopljeno istjecanje iza ustave.

I grupa mjerenja

Prije uključivanja pumpe vertikalna zapornica se otvori za $a = 7$ do 10 mm, i formira se slobodno istjecanje ispod ustave, s prijelazom na mirni tok u vidu normalnog vodnog skoka iza ustave. Pri tome se mjere slijedeće veličine:

$$a, H_o, h_{PIT}, h_1, h_2, L, h_d, P$$

i hidrodinamički tlak ispred ustave spomoću pijezometarske cjevčice.

II grupa mjerenja

Pri istom otvoru ustave "a", na nizvodnom kraju se podigne preljev "P", čime se formira potopljeno istjecanje. Mjere se dubina donje vode "h_d" i visina preljeva "P".

III grupa mjerenja

Pri istom otvoru ustave "a", u uvjetima potopljenog istjecanja, na nizvodnom kraju se još podigne preljev "P", tako da se poveća dubina donje vode. Mjere se dubina donje vode "h_d" i visina preljeva "P".

IV grupa mjerenja

Isto kao i III grupa mjerenja.

Obrada podataka:

Redoslijed obrade podataka sukladan je redoslijedu navedenih zadataka.

Ad 1) Koeficijent brzine "φ" računa se prema formuli za protok slobodnog istjecanja:

$$\varphi = \frac{Q}{\varepsilon a B \sqrt{2g(H_o - \varepsilon a)}} \quad , \text{gdje je}$$

Q – protok slobodnog istjecanja ispod ustave
 ε – koeficijent kontrakcije = 0,612
 a – visina podizanja ustave
 B – širina pravokutnog korita = 0,10 m
 H_o – dubina vode ispred ustave

Protok se izračunava na osnovu jednadžbe kontinuiteta u kontrahiranom presjeku:

$$Q = v_c \cdot h_c \cdot B \quad , \text{gdje je} \quad h_c = \varepsilon \cdot a$$

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

Ad 2) Koeficijent preljeva "m" odredi se iz jednadžbe:

$$m = \frac{Q}{B \sqrt{2g} h_p^{3/2}} \quad , \text{gdje je} \quad h_p = h_d - P$$

Pomoću tri vrijednosti izmjerene preljevne visine h_p (grupe mjerenja II, III i IV) prikaži funkciju $m = f(h_p)$.

Ad 3) Nacrta se raspored hidrodinamičkog tlaka ispred vertikalne ustave (pojednostavljeno u obliku trokuta), te se integriranjem odnosno računanjem površine zamjenskog trokuta odredi sila tlaka na ustavu. Tako dobivenu silu usporediti s analitičkim rješenjem koje počiva na zakonu održanja količine gibanja:

$$F = \frac{\rho g B}{2} \cdot [H_o^2 - (\varepsilon a)^2] - \frac{\rho Q^2}{\varepsilon a B}$$

Ad 4) Izmjerenu vrijednost druge spregnute dubine vodnog skoka " h_2 " usporediti s analitičkim rješenjem:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 8 F_{r1}^2} \right), \text{ gdje je } h_1 \text{ izmjerena prva spregnuta dubina, a}$$

$$F_{r1}^2 = \frac{v_1^2}{g h_1}, \quad v_1 = \frac{Q}{h_1 B}.$$

Izmjerenu vrijednost duljine vodnog skoka " L " usporediti s empirijskom formulom za duljinu vodnog skoka po S m e t a n i : $L = 6 \cdot (h_2 - h_1)$, gdje su " h_1 " i " h_2 " izmjerene spregnute dubine na modelu.

Ad 5) Za potopljeno istjecanje vrijedi:

$$Q_p = \sigma \cdot Q$$

gdje je: Q_p protok kod potopljenog istjecanja,

σ koeficijent potopljenosti,

Q protok za slobodno istjecanje za istu gornju vodu i isti otvor vertikalne ustave.

Protok Q_p se odredi prema formuli za potopljeno istjecanje: $Q_p = \mu a B \sqrt{2g(H_o - h_d)}$ pri čemu je μ koeficijent protoka koji se može izračunati prema empirijskoj formuli:

$$\mu = 0,6 + 0,5 \cdot \frac{a}{h_d}, \quad \text{za } \frac{a}{h_d} \in [0,1 \div 0,75]$$

Za isti otvor ustave i istu dubinu vode (dolaznu energiju) ispred ustave H_o , protok Q_p a time i koeficijent potopljenosti σ ovise samo od dubine donje vode h_d . Koeficijent potopljenosti se za danu donju vodu izračunava prema definiciji:

$$\sigma = \frac{Q_p}{Q}$$

Prikaži funkciju $\sigma = f(h_d)$ spomoću tri vrijednosti donje vode (grupe mjerenja II, III i IV).

DODATAK : *Tablice za upis mjernih podataka*

I grupa mjerenja

a (mm)	H_o (cm)	h_{pIT} (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	L (cm)	h_d (cm)	P (cm)

Određivanje hidrodinamičke sile na ustavu – položaj točke "T": $h_T = \text{_____ cm}$

II grupa mjerenja

h_d (cm)	P (cm)	$h_p = h_d - P$ (cm)

III grupa mjerenja

h_d (cm)	P (cm)	$h_p = h_d - P$ (cm)

IV grupa mjerenja

h_d (cm)	P (cm)	$h_p = h_d - P$ (cm)

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje: