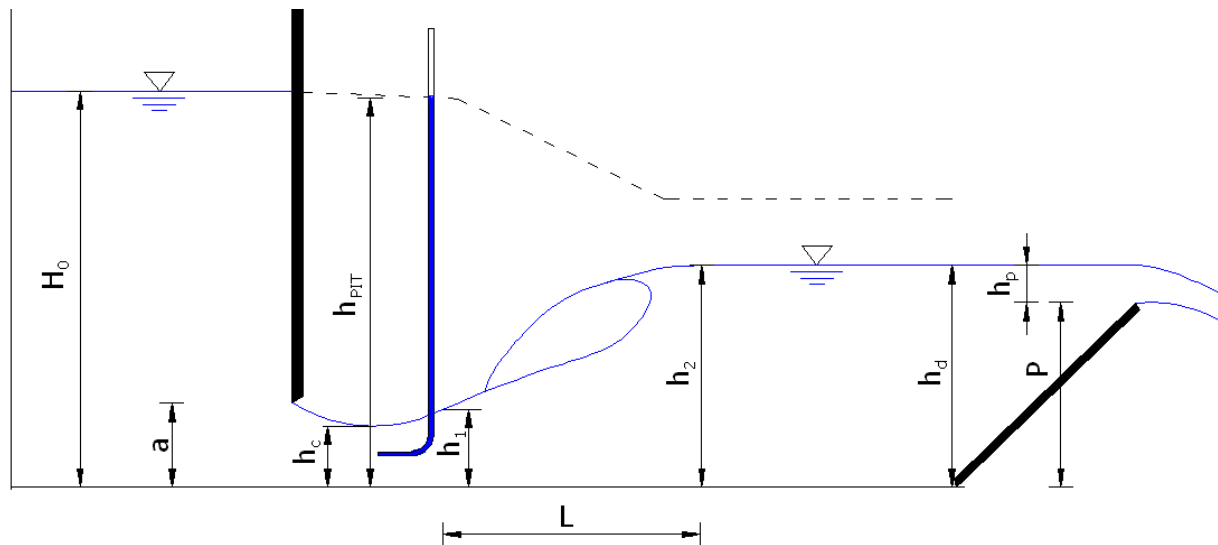


V vježba

Istjecanje ispod ustave i formiranje vodnog skoka

Ovaj fizikalni model je napravljen kao pravokutni kanal konstantnog poprečnog presjeka, u kojem se pri istom protoku javlja mirni i siloviti režim tečenja. Na modelu je 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 ustave javlja mirni režim toka. Pomoću Pitotove cjevčice se može izmjeriti brzinska visina i odrediti položaj energetske linije koji je cca 10 mm iznad vodnog lica.

Voda dolazi do vertikalne 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 visini ustave (pomoću piezometra).

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

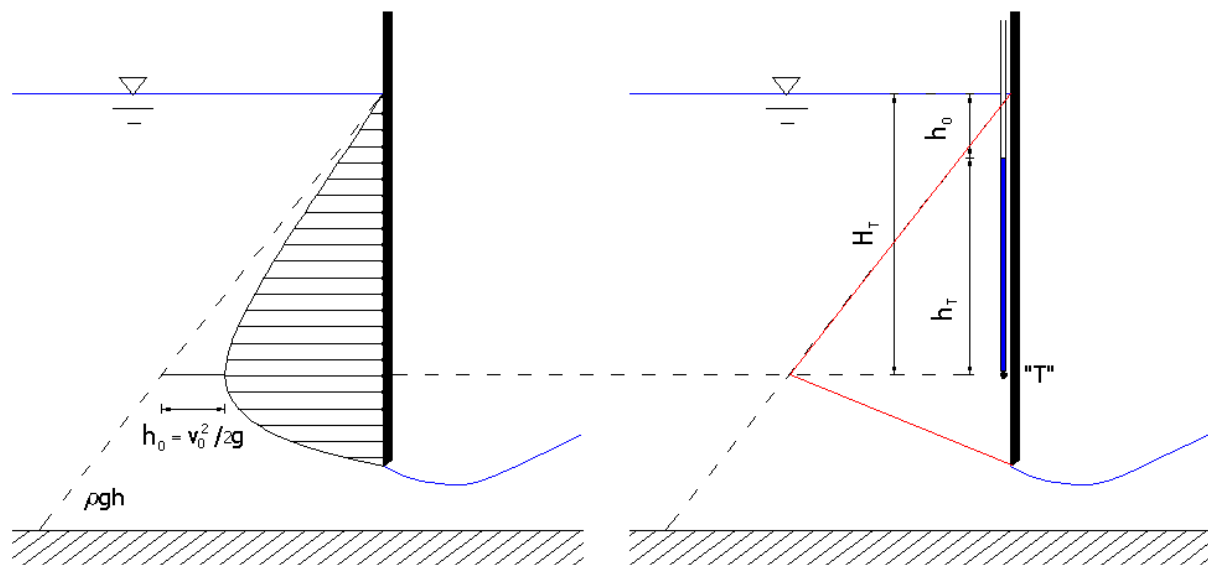
Ovaj dio modela također pokazuje da u kanalu konstantnog poprečnog presjeka isti protok može proteći s dvije različite dubine, tj. u mirnom i u silovitom režimu (primjena krivulje specifične energije).

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, zbog čega dolazi 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 nizvodnim preljevom (manevriranjem visinom P na slici 5.1), a 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 ustavu (navedeno u zadatku pod točkom 3), potrebno je spuštati piezometar uz stjenku ustave i mjeriti tlak u pojedinim točkama. Prilikom spuštanja piezometra uz ustavu se primjećuje da vrijednost tlaka opada prvo relativno sporo, a kasnije sve intenzivnije s povećanjem dubine, što jer posljedica prirasta brzine s približavanjem dnu ustave. Skica rasporeda tlaka uz ustavu (karikirana i distorzirana) je prikazana na slici 5.2. Točan raspored brzina duž ustave se može dobiti rješavanjem Laplaceove jednadžbe, jer se ovaj konvergentni tok može modelirati kao potencijalno (bezvrtložno) strujanje.



Slika 5.2 Skica rasporeda hidrodinamičkog tlaka uz ustavu

Do promjene tlaka uz stjenku ustave dolazi zbog pretvaranja dijela energije tlaka u kinetičku energiju (Bernoullijeva jednadžba). Može se reći 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 s $h = H_0 - h_c$ označena razlika u razinama vode ispred i iza ustave.

Integracijom izmjerenog dijagrama tlaka se može dobiti vrijednost hidrodinamičke sile na ustavu.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Diplomski studij

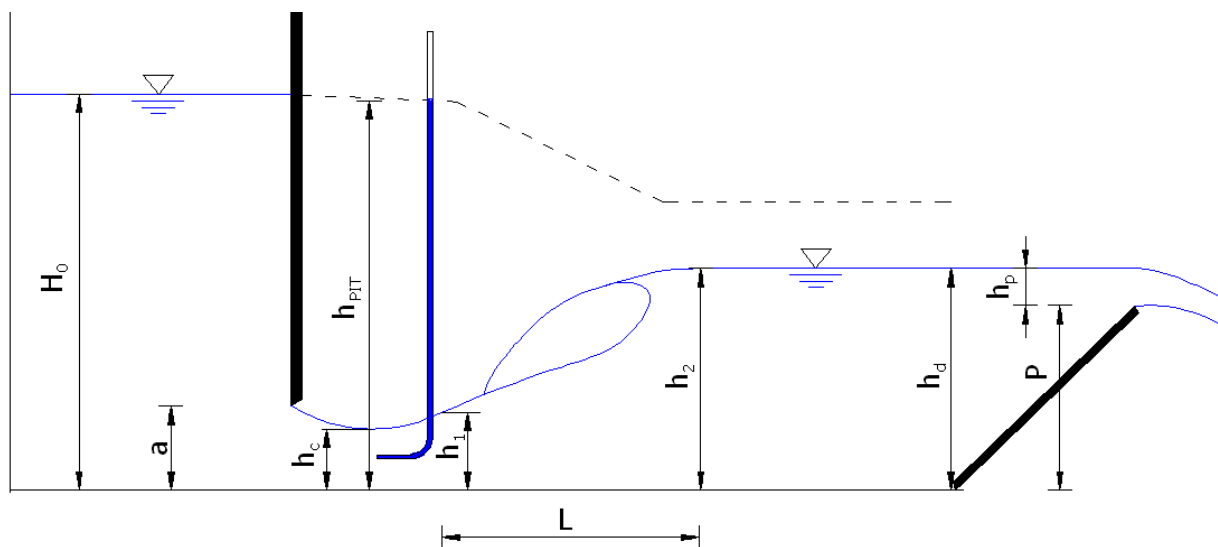
Ak.god.

Predmet: **HIDRAULIKA**

Student :

Mat. broj :

Zadatak 5 : **Istjecanje ispod ustave i formiranje vodnog skoka**



Svrha ispitivanja:

Određivanje parametara slobodnog i potopljenog istjecanja iza vertikalne ustave, te određivanje parametara vodnoga skoka. Za slučaj slobodnog istjecanja, odrediti hidrodinamičku silu tlaka na vertikalnu ustavu.

Zadatak:

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

- 1) Koeficijent brzine φ za slobodno istjecanje iza ustave
- 2) Koeficijent oštrobridnog 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 ispod ustave, dok se preostale tri grupe mjerenja odnose na potopljeno istjecanje ispod ustave.

I grupa mjerenja

Prije uključivanja pumpe vertikalna ustava se otvori za $a = 0,7$ do $1,0$ cm, 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_0 , h_{PIT} , h_1 , h_2 , L , h_d , P i hidrodinamički tlak ispred ustave pomoću piezometra.

II grupa mjerenja

Pri istom otvoru ustave a , na nizvodnom kraju se podigne visina preljeva 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 više podigne visina preljeva P i tako dodatno 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:

$$\varphi = \frac{Q}{\varepsilon a B \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon a)}} \quad \text{gdje je}$$

Q protok slobodnog istjecanja ispod ustave
 ε koeficijent kontrakcije = 0,612
 a visina podizanja ustave
 B širina pravokutnog kanala = 10 cm
 H_0 dubina vode ispred ustave

Protok se izračunava na osnovu jednadžbe kontinuiteta u kontrahiranom presjeku:

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

$h_c = \varepsilon \cdot a$
 $v_c = \sqrt{2gh_{PIT}}$

Ad 2) Koeficijent preljeva m odredi se iz formule:

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

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

Ad 3) Nacrta se raspored hidrodinamičkog tlaka ispred vertikalne ustave (pojednostavljeno u obliku trokuta) te se integriranjem odredi hidrodinamička 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:

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

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

Izmjerenu vrijednost duljine vodnog skoka L usporediti s empirijskom formulom za duljinu vodnog skoka prema Smetani: $L = 6 (h_2 - h_1)$, gdje su h_1 i h_2 izmjerene spregnute dubine na modelu.

Ad 5) Za potopljeno istjecanje vrijedi:

$$Q_p = \sigma \cdot Q \quad \text{gdje je } Q_p \text{ protok kod potopljenog istjecanja}$$

σ koeficijent potopljenosti

Q protok za slobodno istjecanje

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 proračunati 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 ispred ustave H_o , protok Q_p , a time i koeficijent potopljenosti σ ovise samo o dubini donje vode h_d . Koeficijent potopljenosti se za danu donju vodu izračunava prema definiciji: $\sigma = Q_p / Q$

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

DODATAK : Tablice za upis mjernih podataka

I grupa mjerenja

a (cm)	H_0 (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" (na slici 5.2 desno): $H_T = \text{_____ cm}$ 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: