

**XII vježba****Radijalno strujanje prema zdencu**

Jedan od prvih modela izrađenih za potrebe nastave je model na kojem se mjeri radijalni tok prema potpunom zdencu. Sam model je napravljen kao isječak valjka i tlocrtno zahvaća 1/12 kruga. U osi isječka valjka je ugrađena perforirana cijev kojom se simulira zdenac. Perforirana cijev (zdenac) je spojena s preljevom kojim se definira razina vode u zdencu, a na vanjskom obodu valjka je preljev kojim se regulira razina vode na radijusu utjecaja. Sam model je prikazan na slici 12.1.



**Slika 12.1** Fizikalni model radijalnog strujanja prema zdencu

Na modelu se za usvojenu razinu vode u zdencu (u osi valjka) i usvojenu razinu vode na plaštu valjka mjeri oblik vodnog lica u četiri piezometra kao i raspored tlakova po dnu zdenca. Na modelu se također može vidjeti pojava vrelne plohe, a na osnovu izmjerenih razina vode i protoka se može izračunati koeficijent vodopropusnosti pijeska ugrađenog u model.

Tijek ispitivanja je opisan u priloženom zadatku.

GRAĐEVINSKI FAKULTET  
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
Diplomski studij

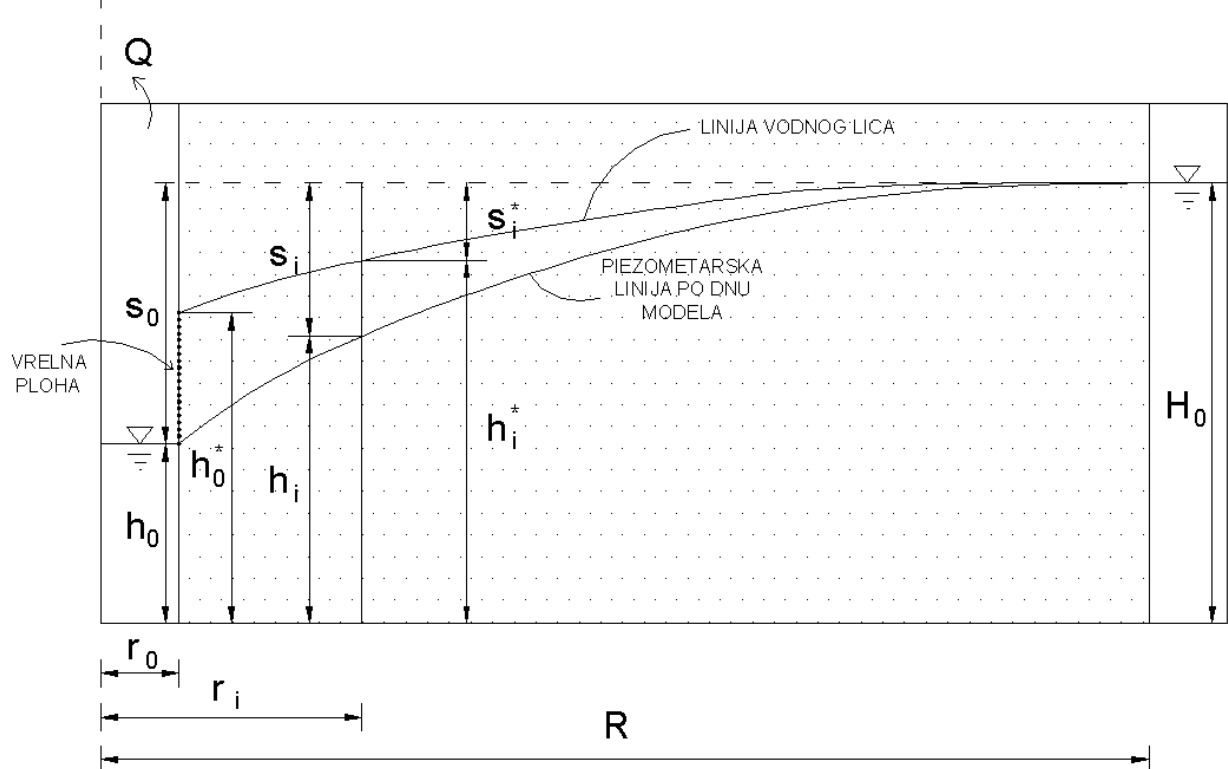
Ak.god.

Predmet: HIDRAULIKA

Student :

Mat.broj :

## Zadatak 12 : Radijalno strujanje prema zdencu



Slika 12.2 Skica modela

Svrha ispitivanja:

Određivanje parametara filtracijskog tečenja prema potpunom zdencu u otvorenom vodonosniku, ispitivanjem na fizikalnom modelu.

Zadatak:

Izvođenjem ispitivanja na fizikalnom modelu zdenca, potrebno je odrediti:

- piezometarsku liniju na dnu modela,
- liniju vodnog lica,
- protok vode prema zdencu  $Q$ ,
- koeficijent vodopropusnosti pijeska  $k$  i
- $Q$ - $s_0$  dijagram za zdenac.

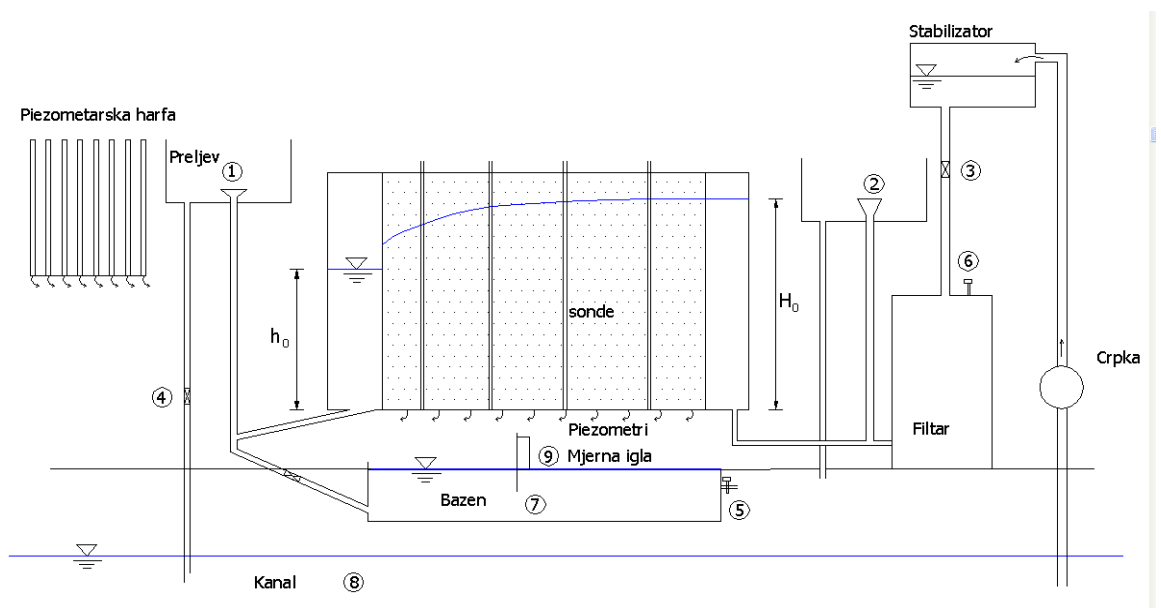
Opis modela:

Shematski prikaz modela dan je na skici 12.2. Modelom je tlocrtno obuhvaćena 1/12 kruga oko zdenca (kružni isječak  $\alpha=30^\circ$ ). Raspored sonde i piezometara je shematski prikazan na slici 12.3, a njihove međusobne udaljenosti su prikazane na slikama 12.4 i 12.5.

Tok ispitivanja:

Prije izvođenja vježbe, treba očitati razine u piezometrima pri horizontalnoj razini vode ("0" (nulta) očitavanja). U tu svrhu potrebno je učiniti pripremu modela kako slijedi. Uključi se crpka koja vodom iz sistema kanala (8) snabdijeva model. Uzvodni preljev (2) se postavi na željenu visinu kako bi se formirao saturirani vodonosni sloj konstantne debljine  $H_0$ . Reguliranjem zasuna (3) treba postići da se vrlo mala količina vode preljeva preko uzvodnog preljeva (2). Pri tome zasun (4) treba biti potpuno zatvoren, a nizvodni preljev (1) na maksimalnoj visini (viši od preljeva 2). Nakon što se uspostavi horizontalna površina vodnog lica, izvedu se nulta očitavanja na svim piezometrima i na svakoj sondi (tablice 1 i 2 u dodatku). U slučaju da svi piezometri (piezometarska harfa) nisu u istoj horizontali, potrebno je iz njih istjerati zrak.

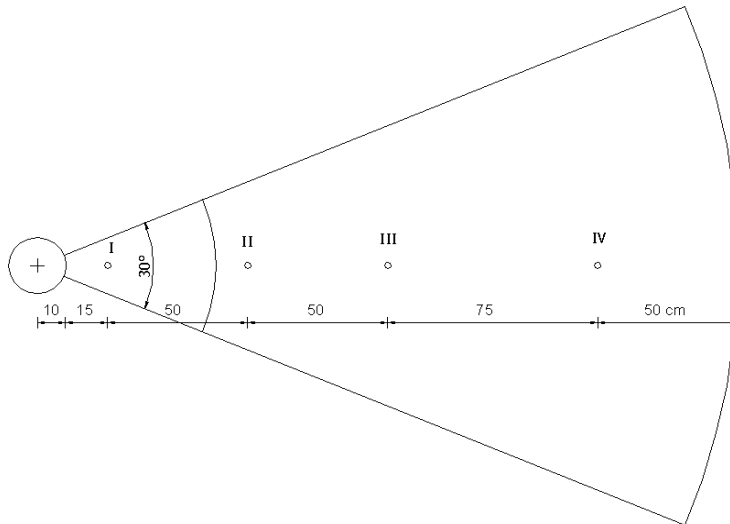
Nakon ove pripreme, simulira se crpljenje iz zdenca na način kako je to opisano u nastavku teksta. Izvode se redom tri pokusa, svaki pokus s pripadnim konstantnim protokom kroz model:  $Q_1$ ,  $Q_2$  i  $Q_3$  u stacionarnom režimu. Na osnovu rezultata prvog pokusa se određuje protok, piezometarska linija na dno modela i linija vodnog lica, te koeficijent vodopropusnosti (vidi obradu podataka). U drugom i trećem pokusu se mjeri protok i određuje koeficijent vodopropusnosti. Protoke u ova tri pokusa prilagoditi međusobnom odnosu:  $Q_1 > Q_2 > Q_3$ .



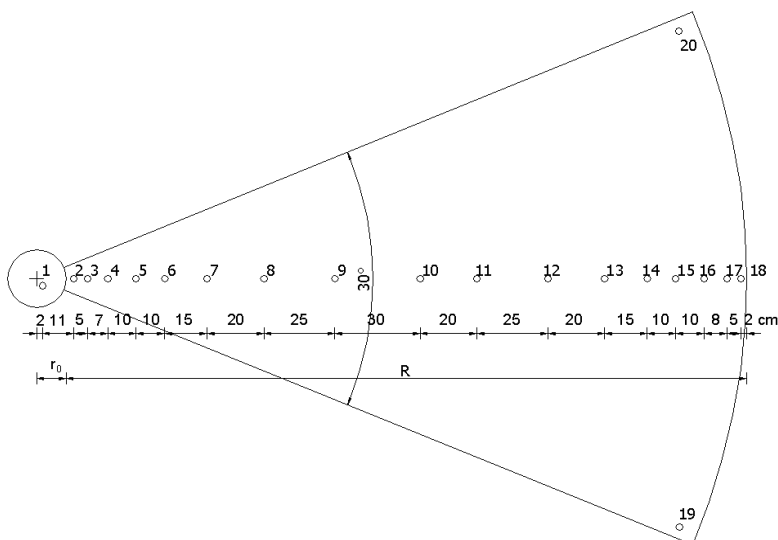
Slika 12.3 Hidraulička shema

## Pokus 1:

Nizvodni preljev (1) se spusti u odnosu na početnu razinu vodnog lica u modelu za odabrano sniženje  $s_0$ , tj. na visinu  $h_0$  (upisati u tablicu 3). Nizvodnim (4) i uzvodnim (3) zasunom se regulira protok dok razine vode na preljevima (1) i (2) ne postignu konstantnu vrijednost – malo ispod kote preljeva, pri čemu se ne smije smanjiti debljina saturiranog sloja  $H_0$  na ulazu u model. Pri ovako uspostavljenom stacionarnom režimu tečenja kroz model, pristupa se sljedećim mjerenjima.



Slika 12.4 Položaj sonđi na modelu

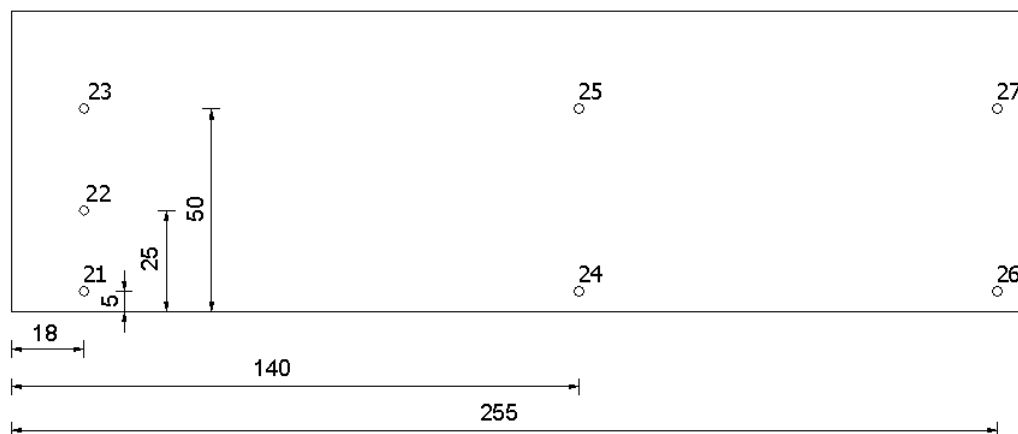


Slika 12.5 Položaj piezometara na dnu modela

Mjerenje protoka  $Q_1$  se vrši volumetrijski, gdje se kao kontrolni volumen koristi bazen (7), tlocrtne površine  $A = 5.10 \text{ m}^2$ . Najprije se uz zatvoreni zasun (5) očita razina vode na mjernoj igli (9) (mjerenje "0" u tablici 3), te se istodobno uključi mjerač vremena. Dok se bazen (7) puni vodom, izvrše se očitavanja na piezometrima i na sondama (mjerenja "1" u tablicama 1 i 2). Na kraju računskog vremenskog razdoblja mjerenja protoka, očita se ponovno mjerna igla (9) (mjerenje "1" u tablici 3) te proteklo vrijeme  $\Delta t$ , tj. vrijeme punjenja bazena vodom u danom stacionarnom režimu.

#### Pokus 2:

Nizvodni preljev (1) se postavi u odnosu na početnu razinu vodnog lica u modelu za odabrano novo sniženje  $s_0$ , tj. na visinu  $h_0$  (upisati u tablicu 3). Nizvodnim zasunom (4) se regulira protok dok razina vode na preljevu (1) ne postane stalna, a da se pri tome ne remeti debljina saturiranog sloja  $H_0$  na ulazu u model. Pri ovako uspostavljenom novom stacionarnom režimu tečenja, izmjeri se protok  $Q_2$ , onako kako je opisano u pokusu 1.



Slika 12.6 Položaj piezometara na bočnoj stranici

#### Pokus 3:

Nizvodni preljev (1) se postavi u odnosu na početnu razinu vodnog lica u modelu za odabrano novo sniženje  $s_0$ , tj. na visinu  $h_0$  (upisati u tablicu 3). Nizvodnim zasunom (4) se regulira protok dok razina vode na preljevu (1) ne postane stalna, a da se pri tome ne remeti debljina saturiranog sloja  $H_0$  na ulazu u model. Pri ovako uspostavljenom novom stacionarnom režimu tečenja, izmjeri se protok  $Q_3$ , onako kako je opisano u pokusu 1.

#### Obrada podataka:

Tablice priložene u dodatku služe kako za upis mjerenih podataka tijekom izvođenja pokusa, tako i za upis izračunatih veličina pri obradi podataka. Niže opisani postupci se odnose pod stavkama a) i b) na obradu podataka iz Pokusa 1, a pod stavkama c), d) i e) na obradu podataka iz pokusa 1,2 i 3.

a) Potrebno je usporediti (tablica 2) izmjerene vrijednosti piezometarskih kota na dnu modela s vrijednostima koje se izračunavaju analitički prema formuli za piezometarsku razinu u okolini zdenca sa slobodnim vodnim licem:

$$h_i = \sqrt{\frac{H_0^2 - h_0^2}{\ln(R/r_0)} \cdot \ln(r_i/r_0) + h_0^2}$$

- pri čemu je:  $h_i$  ..... visina piezometarske linije na pojedinom piezometru  
 $H_0$  ..... visina piezometarske linije na udaljenosti  $R$  od osi zdenca  
 $h_0$  ..... visina vode u zdenču  
 $r_0$  ..... radijus zdenca ( $r_0 = 0.1$  m)  
 $r_i$  ..... udaljenost piezometra od osi zdenca

Na grafičkom prikazu u mjerilu 1:10/5(H/V), koristeći izmjerene vrijednosti  $h_i$ , nacrtaj piezometarsku liniju tlačnih visina na dno modela (tzv. Dupuitova parabola).

b) Na osnovu mjerenja "0" i "1" sonđi I, II, III i IV u pokusu 1 (tablica 1), odredi na mjestima postavljenih sonđi, sniženja vodnog lica  $s_i^*$  i razine vodnog lica  $h_i^*$ . Liniju vodnog lica ucrtaj na isti grafički prikaz gdje je ucrtana piezometarska linija tlačnih visina na dno modela.

c) Količina vode koja dotječe u zdenac pri stacionarnom režimu može se, na osnovu volumetrijske metode, odrediti prema slijedećoj formuli:

$$Q = 12 \cdot A \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

- pri čemu je:  $Q$  ..... protok prema zdenču za priljev punog kruga  
 $A$  ..... površina mjernog bazena (7) ( $A=5,10$  m<sup>2</sup>)  
 $\Delta h$  .... porast razine vode u bazenu (7) za vrijeme  $\Delta t$   
 $\Delta t$  ..... trajanje volumetrijskog mjerenja protoka

Rezultati ovih proračuna se upisuju u tablicu 3.

d) Koeficijent filtracije pijeska se izračunava prema formuli:

$$k = \frac{Q \cdot \ln(R/r_0)}{\pi \cdot (H_0^2 - h_0^2)}$$

Rezultati ovih proračuna se upisuju u tablicu 3.

e) Za podatke iz tablice 3, konstruiraj  $Q-s_0$  dijagram za zdenac, interpolacijom kroz tri izmjerene točke.

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje:

**DODATAK:** Tablice za upis i obradu podataka

Tablica 1: Sonde za očitavanje vodnog lica – Pokus 1

SONDA	$r_i^*$ (cm)	Mjereno		Obrada mjerenja	
		"0" (mm)	"1" (mm)	$s_i^*$ (cm)	$h_i^*$ (cm)
I	25.0				
II	75.0				
III	125.0				
IV	200.0				

Tablica 2: Piezometarske kote tlačnih visina na dno modela – Pokus 1

Redni broj piezometra	Geometrijske veličine		Mjereno		Obrada mjerenja		Analitički
	$r_i$ (cm)	$\ln(r_i / r_0)$	"0" (cm)	"1" (cm)	$s_i$ (cm)	$h_i$ (cm)	$h_i$ (cm)
1	10.0						
2	13.0						
3	18.0						
4	25.0						
5	35.0						
6	45.0						
7	60.0						
8	80.0						
9	105.0						
10	135.0						
11	155.0						
12	180.0						
13	200.0						
14	215.0						
15	225.0						
16	235.0						
17	243.0						
18	248.0						
19 (rubni)	243.0						
20 (rubni)	243.0						

Tablica 3: Volumetrijsko mjerenje protoka i određivanje koeficijenta vodopropusnosti – Pokusi 1, 2 i 3

Pokus	Mjereno					Obrada mjerenja	
	$h_0$ (cm)	$H_0$ (cm)	Igla (9) "0" (mm)	Igla (9) "1" (mm)	$\Delta t$ (s)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$k$ (m/s)
1							
2							
3							

 $ksr$  (m/s) =

**Diskusija:**

U blizini zdenca, pri većim sniženjima, nije ispunjena Dupuitova hipoteza vertikalnih piezometarskih ekvipotencijala, stoga se u tom području pripadno rješenje za vodno lice - tzv. *Dupuitova parabola* ne podudara sa stvarnim položajem vodnog lica, sve do stanovite udaljenosti od osi zdenca. Dupuitova parabola se nalazi ispod vodnog lica, i predstavlja pijezometarsku liniju tlačnih visina na dno modela (nepropusna podina). Ovo se može objasniti na sljedeći način. Povećanje protoka prema zdencu prati odgovarajuće sniženje vodnoga lica u zdencu, čime se smanjuje procjedna površina na obodu zdenca. Zbog uvjeta kontinuiteta protoka, ovo smanjenje procjedne površine na obodu zdenca, prati odgovarajuće povećanje brzine tečenja vode u okolini zdenca. Teoretski gledano, najveći protok bi bio za najveće sniženje. Najveće sniženje se postiže kad se razina vode u zdencu spusti do dna zdenca. Tada je procjedna površina bliska nuli, a brzina toka bi težila u beskonačnost, što očito nije realno. Zbog nemogućnosti da razina vode u vodonosniku slijedi sniženje u zdencu, dolazi do pojave *vrelne plohe*.

S druge strane, poznato je da hidraulički otpor tečenju vode kroz poroznu sredinu u turbulentnom režimu raste razmjerno kvadratu brzine. Upravo hidraulički otpor tečenju ne dopušta povećanje brzine filtracije preko stanovite vrijednosti. Kada brzina filtracije dosegne tu krajnju vrijednost, a protok prema zdencu i dalje raste, jednadžba kontinuiteta može se održati jedino povećanjem procjedne površine prema zdencu i to u tolikoj mjeri dok se ne postignu novi ravnotežni uvjeti prihranjivanja zdenca. To povećanje procjedne površine očituje se podizanjem vodnoga lica u području neposredno oko zdenca iznad razine vodnoga lica u zdencu. Površina između slobodne strujnice koja izbija na obodu zdenca i vodnoga lica u zdencu zove se *vrelna ploha*. Podizanje vodnoga lica uslijed opisanoga efekta, proteže se i na stanovitu udaljenost od osi zdenca, i tim je izraženije što je veći protok  $Q$ , odnosno omjer  $(H_0 - h_0)/L$ , te što je manji koeficijent filtracije  $k$ , odnosno što je veći hidraulički otpor tečenju. Rubni uvjet piezometarskog potencijala na samoj vrelnoj plohi je  $h=z$ , budući da se vrelna ploha nalazi pod atmosferskim tlakom.

Opisani mehanizam adaptacije na nove ravnotežne uvjete tečenja oko zdenca, tj. formiranja vrelne plohe, u načelu se svodi na porast vodne razine (u otvorenom sustavu) ili porast tlaka (u zatvorenom sustavu) ispred svakog "uskog grla", "začepljenja" i sl. Razlika visine vodnog lica vrelne plohe i vodnog lica u zdencu ne treba se stoga tumačiti "gubicima na filteru zdenca" jer ti gubici proizlaze iz sume lokalnih otpora na prolazu kroz filter, i predstavljaju razmjerno manji dio pada vodnoga lica u zdencu, osobito kada uvjeti tečenja generiraju zamjetnu vrelnu plohu.

Dupuitova formula za protok prema zdencu, koji je u otvorenom vodonosniku razmjeran razlici kvadrata veličina  $H_0$  i  $h_0$ , ipak daje u izotropnoj i homogenoj sredini vrijednosti koje su gotovo jednake stvarnom dotoku u zdenac, tako da se za izračun protoka može koristiti u praktične svrhe i pri pojavi vrelne plohe.