



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **GRAĐEVINARSTVO**
Modul: **Zajedničke osnove**
Godina / Semestar: **2. godina / 4. semestar**
Naziv predmeta (šifra): **MEHANIKA TLA (B3O2MT)**
Nastavnik: **doc. dr Sanja Jocković**
Naslov predavanja: **VODA U TLU**
PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA
Datum: **18.3.2024.**

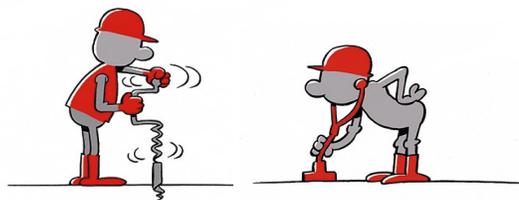
Beograd, 2024.

Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenata Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

Predavanja iz mehanike tla
Školska 2023/24.

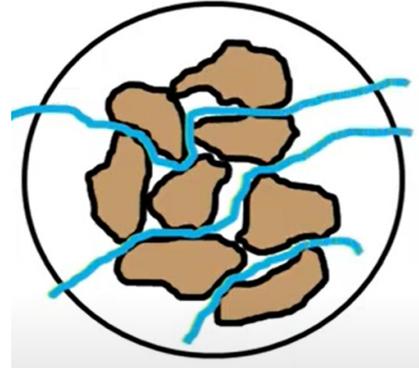
VODA U TLU

PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA



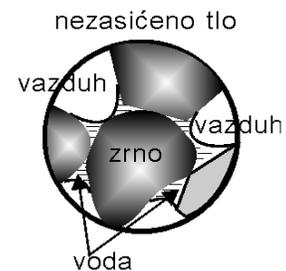
VODA U TLU

- Sva tla su vodopropusna, jer voda može da se kreće kroz prostor međusobno povezanih pora između čvrstih čestica.
- **Količina, raspored vode u tlu i raspored pritisaka u vodi** imaju veoma veliki uticaj na svojstva tla i na njegovo ponašanje u uslovima delovanja sopstvene težine i drugih opterećenja.
- Određeni broj praktičnih problema pri građenju u tlu ili pri korišćenju tla kao materijala za građenje ne potiče samo od zrnaste prirode tla već i od prisustva vode u porama.
- **Kada ne bi bilo vode, mehanika tla bi bila znatno jednostavnija, ali i manje interesantna!**

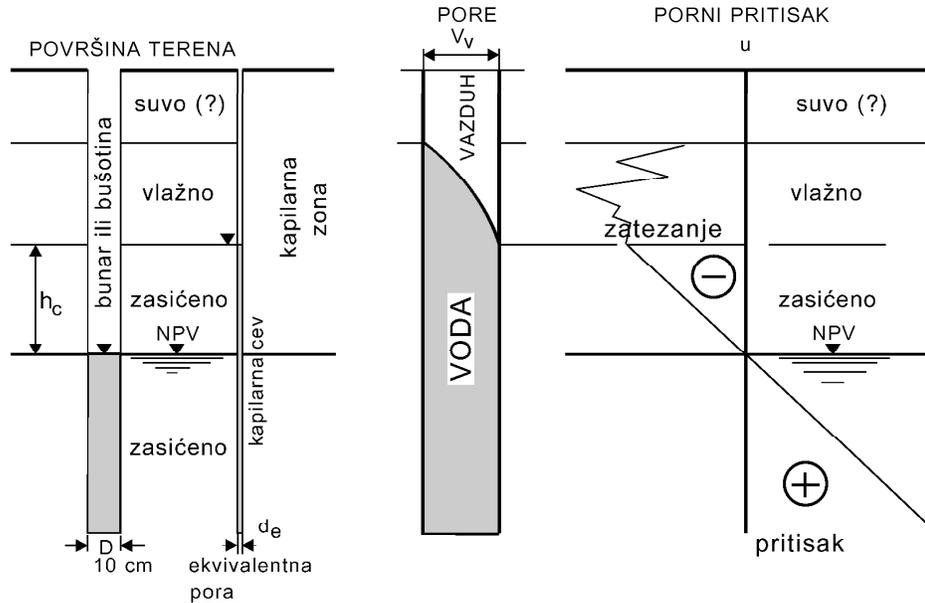


VODA U TLU

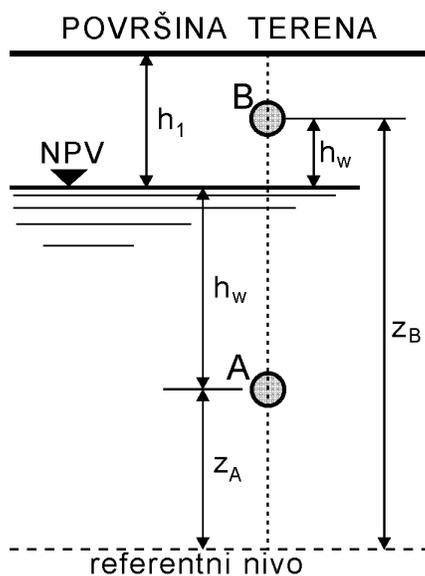
- Tlo je **delimično zasićeno ili nezasićeno** kada su pore tla ispunjene vodom i vazduhom.
- Tlo je **zasićeno** vodom kada su sve pore ispunjene vodom i nema mehurića vazduha što omogućava direktno prenošenje pritisaka i kretanje vode kroz prostor pora.
- U slučaju prisustva vode u tlu mogu postojati dva slučaja:
 - ✓ Hidrostatički uslovi (nema kretanja vode kroz tlo)
 - ✓ Kretanje vode kroz tlo



VODA U TLU – hidrostatički uslovi



VODA U TLU – hidrostatički uslovi



Na Slici su sve šupljine tla ispod NPV međusobno povezane. Prema tome, voda u porama tla izložena je hidrostatičkom pritisku:

$$u = \gamma_w h_w$$

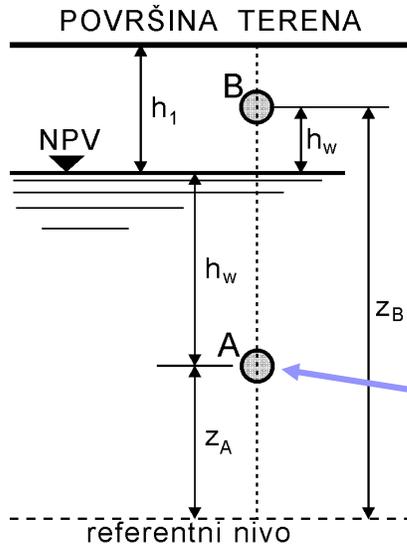
gde je h_w vertikalno rastojanje između tačke A i nivoa slobodne površine vode.

Pritisak u se naziva pritiskom porne vode ili pornim pritiskom!

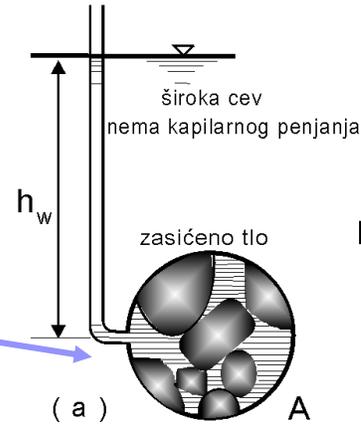


$$\gamma_w = 9.807 \text{ kN} / \text{m}^3$$

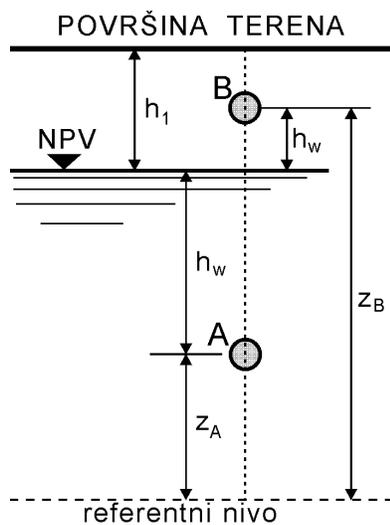
VODA U TLU – hidrostatički uslovi



Ukoliko bi se piježometarska cev postavila sa dnom u tački A, voda bi se u njoj podigla do odstojanja h_w .



VODA U TLU – kapilarni efekti

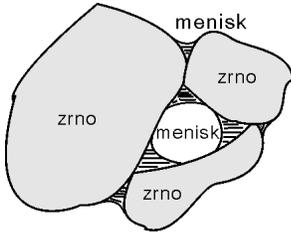


- U tački B koja je iznad hidrostatičkog nivoa podzemne vode, stanje je znatno složenije zbog kapilarnih efekata
- **Iznad nivoa podzemne vode, u kapilarnoj zoni kapilarne sile nastaju usled efekata površinskog napona na graničnoj površini vode u kontaktu sa vazduhom.**
- U kapilarnoj zoni voda se zadržava kapilarnim privlačenjem koje strukturi tla nanose relativno velike stabilizirajuće sile
- Kule od vlažnog peska građene na plaži duguju svoju stabilnu konfiguraciju ovim kapilarnim silama.



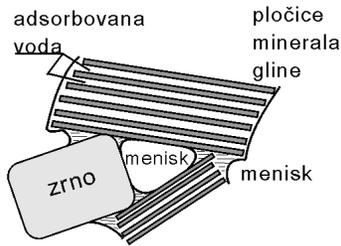
VODA U TLU – kapilarni efekti

KRUPNOZRNO TLO

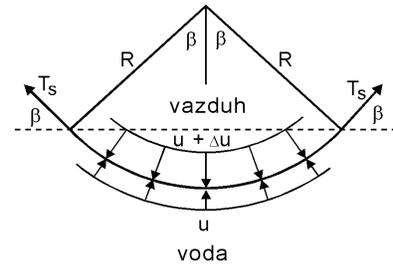


0.1 mm (i više)

SITNOZRNO TLO

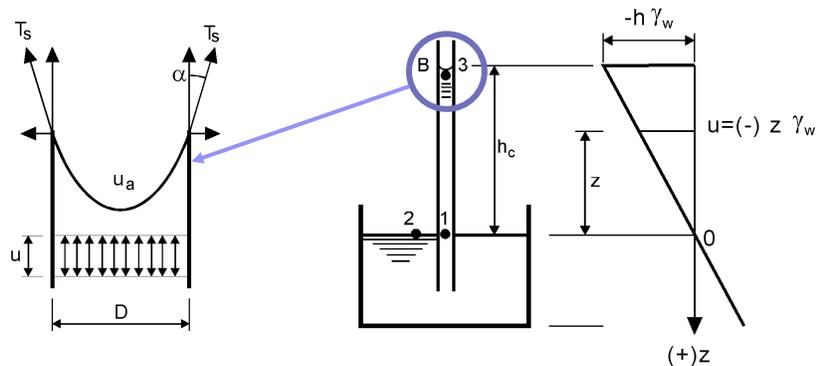


0.002 mm (i manje)



- Površinski napon deluje tangencijalno na površinu vode u kontaktu sa vazduhom, tako da se cela površina ponaša kao zategnuta elastična opna na koju deluju membranske sile
- U nezasićenom tlu, membrana je izložena pritisku vazduha u_a koji je veći od pritiska vode u_w .
- **Razlika pritisaka ($u_a - u_w$) naziva se sukcijom.**
- Ova veličina predstavlja jednu od najvažnijih promenljivih u tumačenju svojstava delimično zasićenog tla.

VODA U TLU – kapilarni efekti



- Ako bi cev malog prečnika, "kapilarnu cev", uronili u sud sa vodom, voda bi se u cevi popela do izvesnog nivoa h_c koji predstavlja visinu kapilarnog penjanja
- Ova pojava je posledica kombinovanih efekata površinskog zatezanja i privlačenja između stakla i molekula vode.

VODA U TLU – kapilarni efekti

$$h_c = \frac{0.3}{d \text{ (cm)}} \text{ [cm]}$$

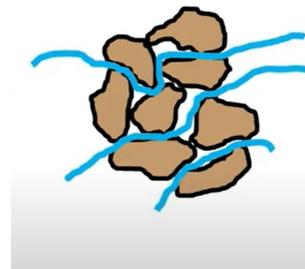
Tabela 3.1. Prosečne visine kapilarnog penjanja i zatezanja u pornoj vodi za različite tipove tla.

| Tlo | Visina h_c | Zatezanje (kN/m^2) |
|----------|----------------------|-------------------------------|
| Šljunak | $h_c < 5 \text{ cm}$ | < 0.05 |
| Pesak | 5 - 100 cm | 0.5 - 10 |
| Prašina | 1 - 10 m | 10 - 100 |
| Glina | $h_c > 10 \text{ m}$ | > 100 |
| Maksimum | $h_c > 35 \text{ m}$ | > 350 |

KRETANJE VODE KROZ TLO**KRUPNOZRNA TLA:**

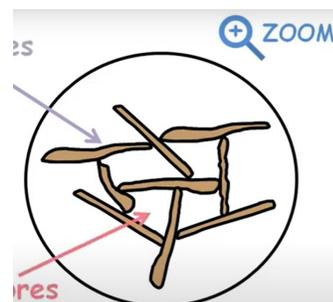
- Veliki prečnik zrna
- Velika zapremina pora između zrna
- Dobra povezanost pora

**VELIKA/VISOKA
VODOPROPUSNOST**

**SITNOZRNA TLA:**

- Mali prečnik zrna
- Velika zapremina pora između zrna
- Loša povezanost pora

**MALA/NISKA
VODOPROPUSNOST**



KRETANJE VODE KROZ TLO

- Za razmatranje kretanja vode kroz tlo (filtracija vode) koristićemo dve jednačine:
 - Bernulijevu jednačinu
 - Darsijev zakon filtracije
- **Bernulijevom jednačinom** se definiše raspodela pritisaka vode duž jedne strujne cevi (energija strujanja). Predstavlja zakon o održanju mehaničke energije pri kretanju nestišljivog fluida
- **Darsijev zakon filtracije** važi za strujanje vode u zasićenoj, poroznoj sredini i opisuje protok vode kroz tlo.

KRETANJE VODE KROZ TLO

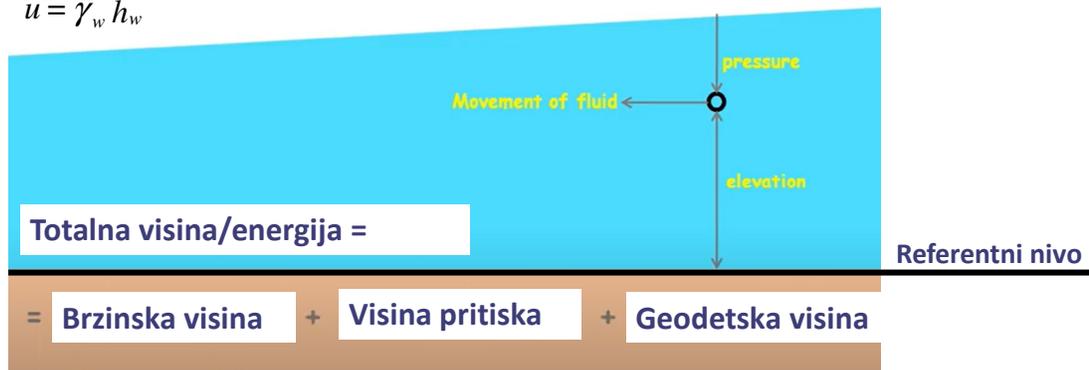
BERNULIJEVA JEDNAČINA (energetska jednačina)

- U odnosu na izabrani referentni nivo na Slici totalna visina/energija (total head) h u Bernulijevoj jednačini je:

$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{u}{\gamma_w} + z \quad \rightarrow \quad h = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

Za tlo

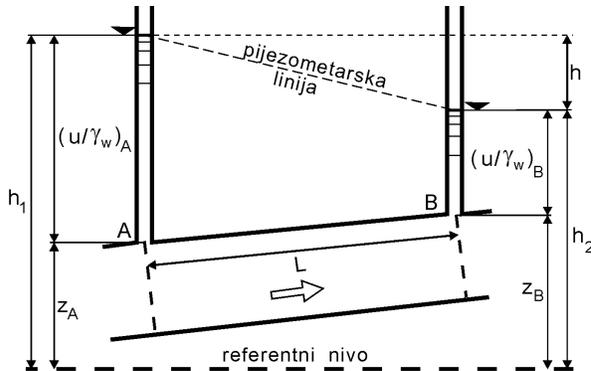
$$u = \gamma_w h_w$$



KRETANJE VODE KROZ TLO

DARSIJEV ZAKON FILTRACIJE

- Kada postoji razlika pijeziometarskih nivoa između dve tačke, voda se kreće, teče, od tačke sa višim nivoom ka tački sa nižim pijeziometarskim nivoom.
- Razlika totalnih pijeziometarskih nivoa između tačaka A i B je $h_1 - h_2$, a odstojanje između njih je L.



- Hidraulički gradijent: $i = \frac{h_1 - h_2}{L}$

- Prema **Darsijevom zakonu**, (Darcy 1856), koji važi za **strujanje u zasićenoj poroznoj sredini**, količina vode koja protekne kroz presek sa površinom A, ili jednostavno **protok Q**, **proporcionalan je hidrauličkom gradijentu**:

$$Q = k i A = k \frac{h_1 - h_2}{L} A$$

k - konstanta proporcionalnosti koja ima dimenziju brzine

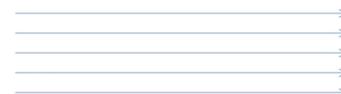
KRETANJE VODE KROZ TLO

- Konstanta **k** se naziva **koeficijentom vodopropusnosti ili koeficijentom filtracije**, ima dimenziju brzine, a određuje se eksperimentom, merenjem za razmatrano tlo!!!
- Veličina Q se izražava zapreminom u jedinici vremena. Ako se ova veličina izrazi zapreminom vode koja u jedinici vremena protekne kroz presek jedinične površine, Darsijev zakon se izražava brzinom:

$$v = \frac{Q}{A} = k i$$

- Gornji izraz ne opisuje stvarnu brzinu kretanja vode kroz pore, već neku fiktivnu brzinu koja daje protok kroz ukupan presek u tlu.
- S obzirom da se voda kreće samo između zrna, stvarna brzina kretanja čestica vode kroz pore tla je znatno veća.
- Darsijev zakon filtracije važi za laminarno strujanje vode

Laminar Flow



Turbulent Flow



KRETANJE VODE KROZ TLO

| Relativna vodopropusnost | k (m/s) | $k = a \cdot 10^{-b}$ |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------|
| - Velika ili visoka vodopropusnost | | $k > 10^{-3}$ |
| - Srednja vodopropusnost | | $10^{-3} - 10^{-5}$ |
| - Niska ili mala vodopropusnost | | $10^{-5} - 10^{-7}$ |
| - Veoma mala vodopropusnost | | $10^{-7} - 10^{-9}$ |
| - Zanemarljivo, praktično nepropusno | | $k < 10^{-9}$ |

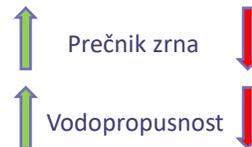
Tipične vrednosti koeficijenta vodopropusnosti k (m/s)

| | |
|--|--|
| - Čist šljunak | 1 do 5×10^{-2} |
| - Čisti peskovi i mešavine sa šljunkom | 5×10^{-2} do 5×10^{-5} |
| - Sitnozrni peskovi i prašine | 5×10^{-5} do 5×10^{-7} |
| - Ispucale gline | 5×10^{-2} do 5×10^{-7} |
| - Neispucale gline | $k < 5 \times 10^{-7}$ |

KRETANJE VODE KROZ TLO

Vodopropusnost zavisi od sledećih faktora:

➤ Od veličine zrna



➤ Od količine vazduha ili gasa u porama. Prisustvo vazduha smanjuje vodopropusnost. Zasićeno tlo ima veću vodopropusnost od delimično zasićenog tla

➤ Od viskoziteta vode, koji zavisi od temperature. Koeficijent vodopropusnosti je obrnuto proporcionalan viskozitetu vode

↑ Temperatura

↓ Viskozitet vode

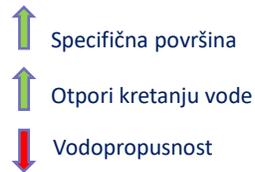
↑ Vodopropusnost

- Viskoznost predstavlja otpor tečnosti pri proticanju (unutrašnje trenje između molekula u fluidu)

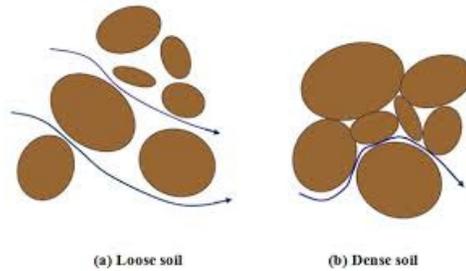
KRETANJE VODE KROZ TLO

Vodopropusnost zavisi od sledećih faktora:

- Od specifične površine zrna



- Od koeficijenta poroznosti. Koeficijent filtracije opada sa povećanjem zbijenosti tla, tj. sa smanjenjem poroznosti.



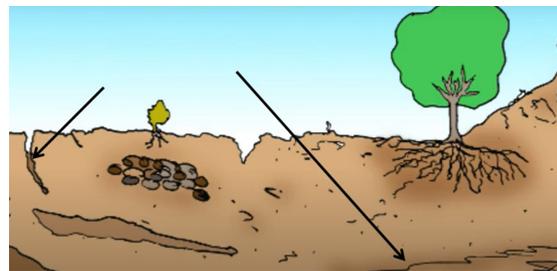
KRETANJE VODE KROZ TLO

Vodopropusnost zavisi od sledećih faktora:

- Zrna sitnozrnog tla imaju sloj vezane vode na površini



- Od strukture tla (od oblika zrna, njihove raspodele i povezanosti pora)



METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

➤ Indirektne metode

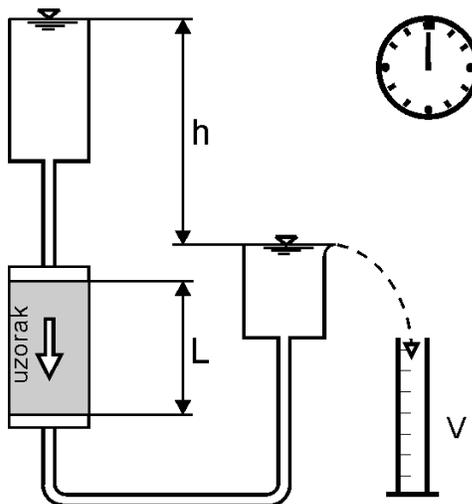
- empirijske formule
- iz konsolidacionog sleganja tla (vidi edometarski opit)

➤ Direktne metode

- terenski opiti:
 - metoda crpljenja,
 - metoda nalivanja
- laboratorijski opiti:
 - opit sa konstantnim pritiskom (za krupnozrna tla)
 - opit sa opadajućim pritiskom (za sitnozrna tla)

METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

SA KONSTANTNIM PRITISKOM za krupnozrno tlo



- Voda teče pod pritiskom visine stuba vode h koja je tokom opita konstantna.
- Površina poprečnog preseka uzorka je A , a visina L
- Zapremina vode V , koja protokne u vremenu t , određuje se merenjem količine vode u menzuri.

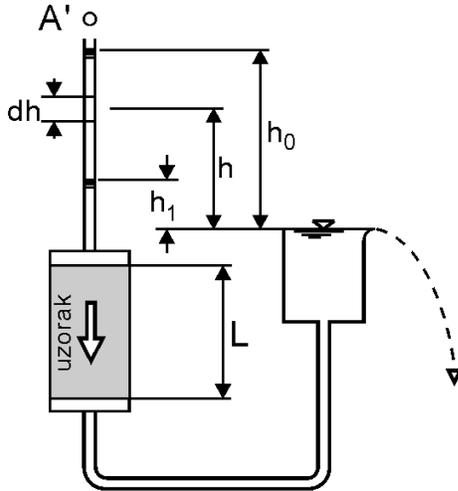
$$Q = \frac{V}{t} = k A \frac{h}{L}$$

$$k = \frac{V L}{A h t}$$

Merimo V za neko vreme t

METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

SA OPADAJUĆIM PRITISKOM za sitnozrno tlo



- Voda teče pod početnim pritiskom stuba vode visine h_0 .
- Nivo vode u bireti opada tokom opita tako da se na kraju vremenskog intervala t izmeri visina stuba vode h_1 .

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{A' dh}{dt} = k \frac{h}{L} A$$

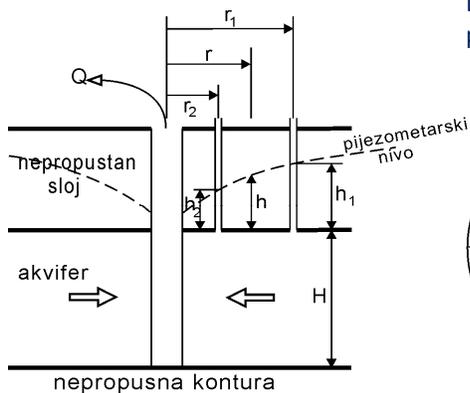
$$-\frac{dh}{h} = \frac{k A}{A' L} dt$$

Integrisanjem gornje jednačine u granicama od h_0 do h_1 i rešavanjem po k dobija se:

$$k = \frac{A' L}{A t} \ln \frac{h_0}{h_1}$$

METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

Metoda crpljenjem "in-situ"



Darsijev zakon u diferencijalnom obliku za protok kroz cilindrični zid poluprečnika r debljine dr :

$$Q = k \frac{dh}{dr} 2 r \pi H$$

integracijom u granicama od h_1 do h_2 i r_1 do r_2 i sređivanjem po k :

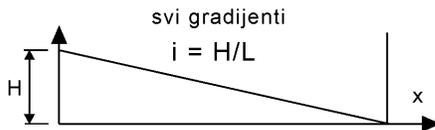
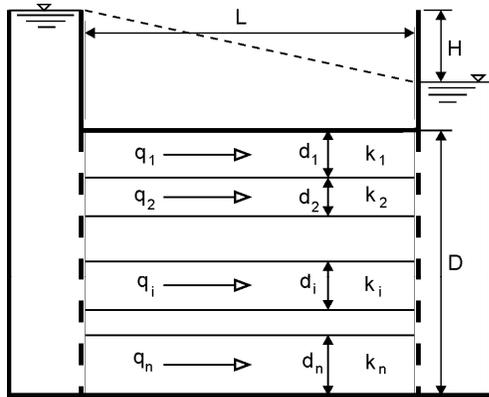
$$k = \frac{Q \ln(r_1/r_2)}{2 \pi (h_1 - h_2) H}$$

Q - konstantni protok

H - debljina vodopropusnog sloja

VODOPROPUSNOST USLOJENOG TLA

HORIZONTALNO KRETANJE VODE



Ukupan protok kroz slojeve je jednak zbiru protoka kroz sve slojeve pri konstantnom gradijentu filtracije $i_i = i = H/L$, odnosno

$$Q = \sum_1^n q_i = \frac{H}{L} \sum_1^n d_i k_i$$

Traži se prosečan ekvivalentni koeficijent vodopropusnosti k_x :

$$Q = k_x \frac{H}{L} \sum_1^n d_i$$

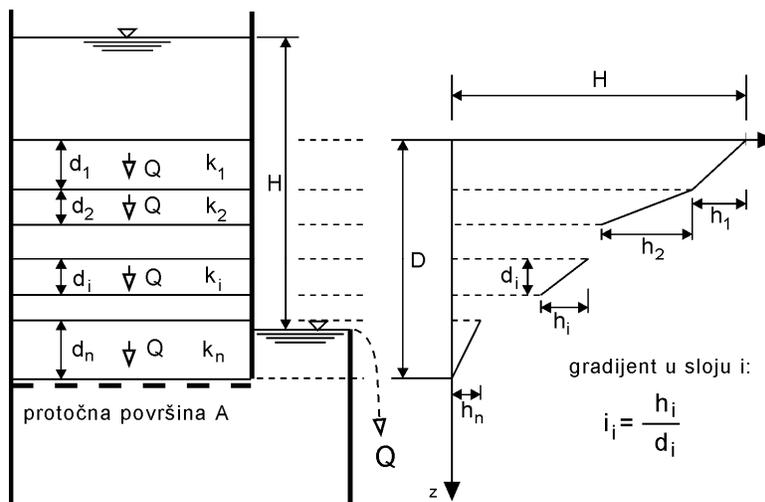
$$k_x = \frac{\sum d_i k_i}{\sum d_i} \quad \text{aritmetička sredina}$$

$$k_x = \frac{k_1 d_1 + k_2 d_2 + \dots + k_i d_i + \dots + k_n d_n}{d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_n}$$

najveću važnost ima sloj sa maksimalnom vodopropusnošću

VODOPROPUSNOST USLOJENOG TLA

VERTIKALNO KRETANJE VODE



Uslov kontinuiteta se može napisati kao:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i = \dots = Q_n = Q$$

Pad pijezometarske visine kroz svaki sloj je različit:

$$i_1 = h_1 / d_1$$

$$i_2 = h_2 / d_2$$

$$i_i = h_i / d_i$$

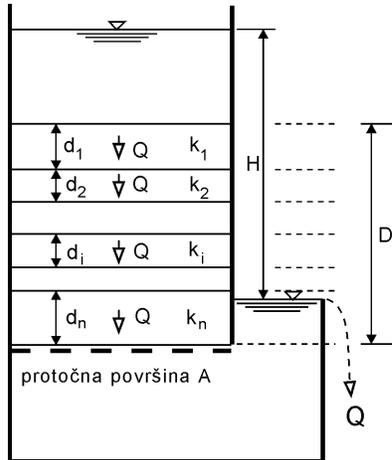
$$i_n = h_n / d_n$$

gradijent u sloju i:

$$i_i = \frac{h_i}{d_i}$$

VODOPROPUSNOST USLOJENOG TLA

VERTIKALNO KRETANJE VODE



- prosečna horizontalna vodopropusnost uvek veća od vertikalne, tako da je u takvim slučajevima najčešće $k_x/k_z > 2, 10$, pa i više

$$Q_i = A k_i i_i = A k_i h_i / d_i = Q$$

$$h_i = \frac{Q d_i}{A k_i}$$

$$\frac{Q}{A} \sum d_i / k_i = H$$

$$Q = \frac{A H}{\sum d_i / k_i}$$

$$Q = \frac{A k_z H}{\sum d_i}$$

harmonijska
srednja vrednost:

$$k_z = \frac{\sum d_i}{\sum d_i / k_i}$$

$$k_z = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_i + \dots + d_n}{d_1 / k_1 + d_2 / k_2 + \dots + d_i / k_i + \dots + d_n / k_n}$$

najveću važnost ima sloj sa minimalnom vodopropusnošću



PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA



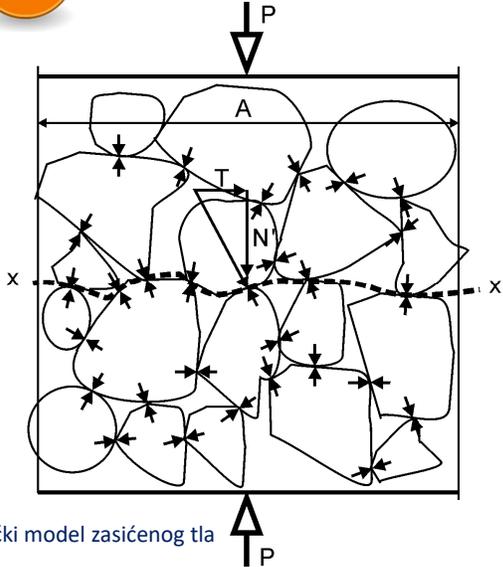
Princip efektivnih napona je najvažniji fundamentalni princip mehanike tla Terzaghi (1936)

Stav I:

Efektivni normalni napon σ_n' jednak je razlici totalnog normalnog napona σ_n i poreznog pritiska u , ili $\sigma_n' = \sigma_n - u$.

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA



fizički model zasićenog tla

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Totalni napon}$$

$$\sigma' = \frac{\sum N'}{A} \quad \text{Efektivni napon}$$

$$P = \sum N' + u A$$

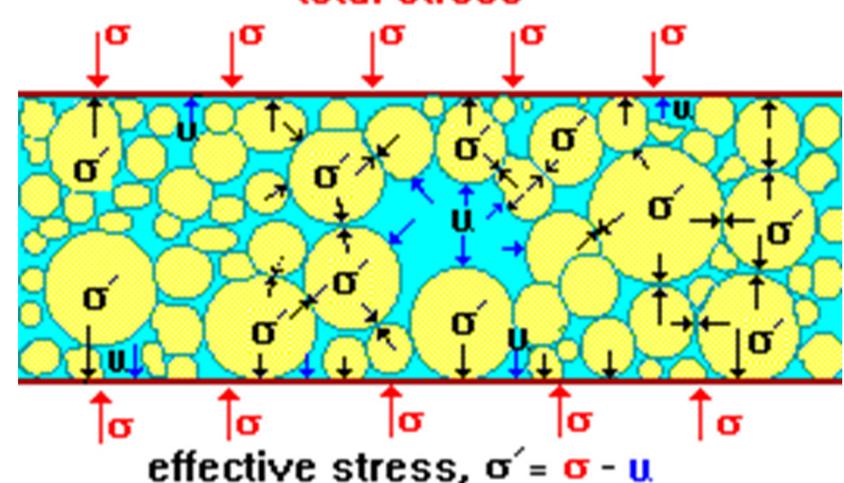
Normalna sila P koja deluje na površini A jednim delom se prenosi preko kontakata između zrna a drugim preko pritiska u pornoj vodi.

$$\frac{P}{A} = \frac{\sum N'}{A} + u \quad \text{ili} \quad \sigma' = \sigma - u$$

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA

total stress



effective stress, $\sigma' = \sigma - u$



PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA



Stav II:

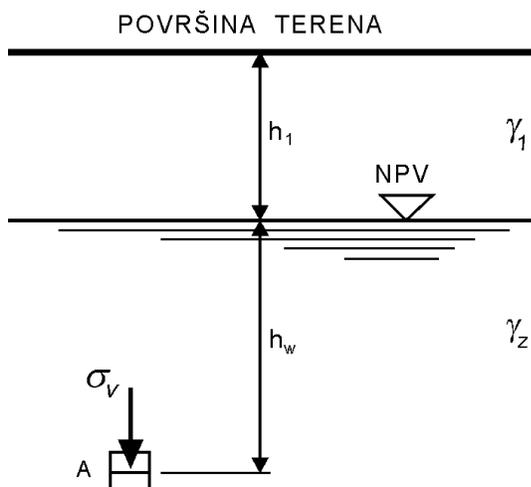
Svi merljivi efekti promene napona, kao što su promene zapremine, promene oblika i promena smičuće čvrstoće zavise isključivo od efektivnih napona.

Dva osnovna oblika ponašanja tla od interesa za prenošenje opterećenja i napona, čvrstoća i stišljivost, zavise od efektivnih normalnih napona:

$$\text{promena zapremine} = f_1(\sigma')$$

$$\text{smičuća čvrstoća} = f_2(\sigma')$$

VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPON "IN SITU"



Veličina vertikalnog totalnog napona σ_v je jednaka težini stuba tla i vode jediničnog poprečnog preseka iznad posmatrane tačke!!!

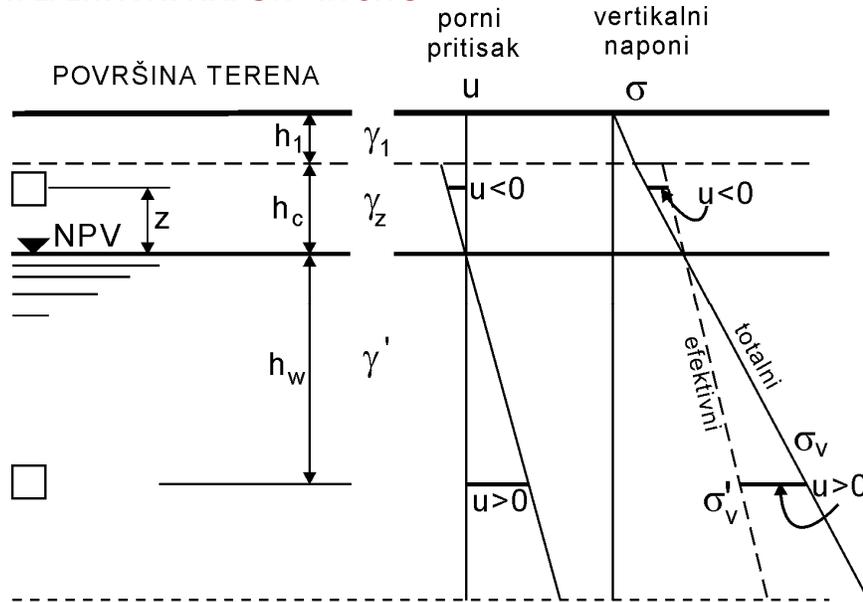
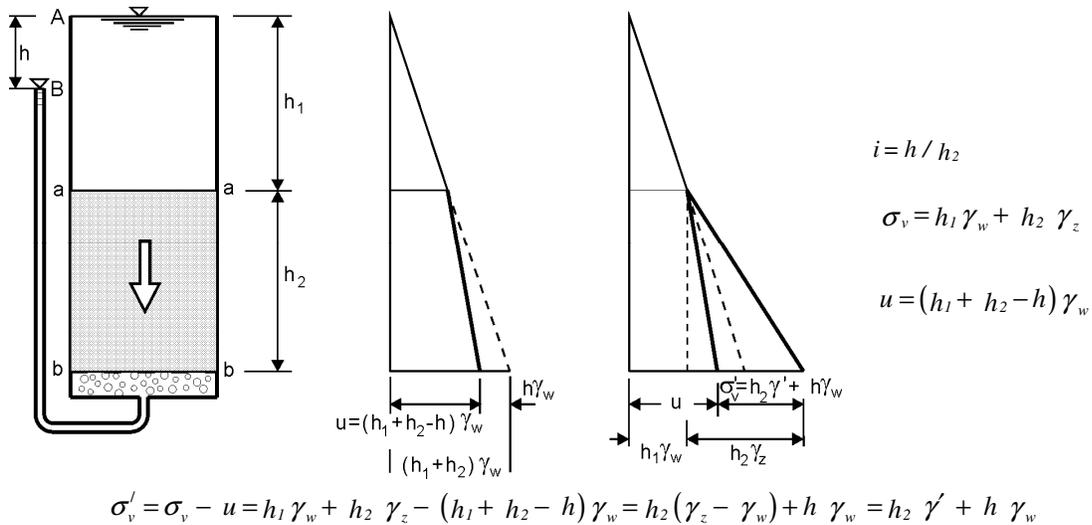
$$\sigma_v = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma_z$$

$$u = h_w \gamma_w$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma_z - h_w \gamma_w = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma'$$

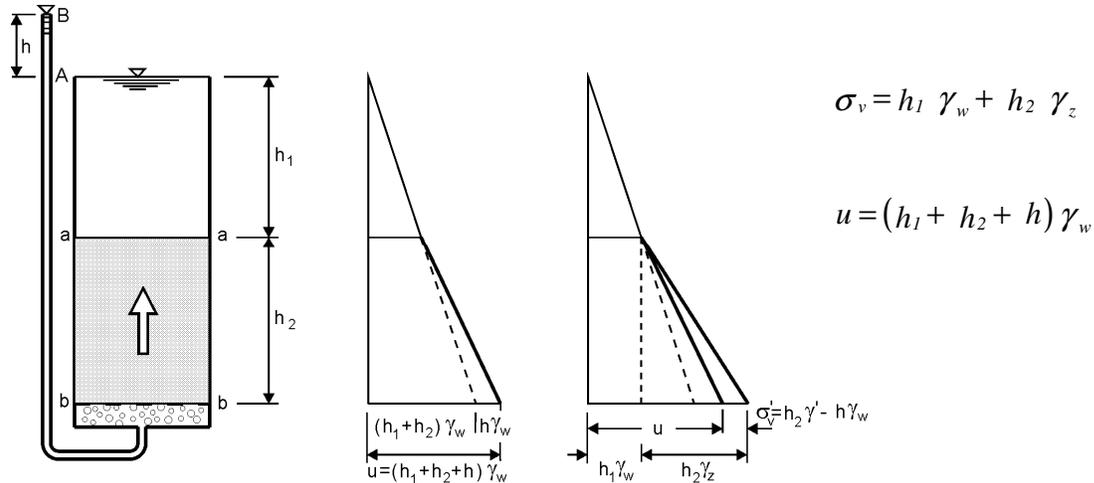
$$\gamma' = \gamma_z - \gamma_w$$

Ovi naponi se nazivaju i geostatički naponi (naponi usled sopstvene težine)

VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPON "IN SITU"**VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPONI PRI VERTIKALNOM TOKU VODE**

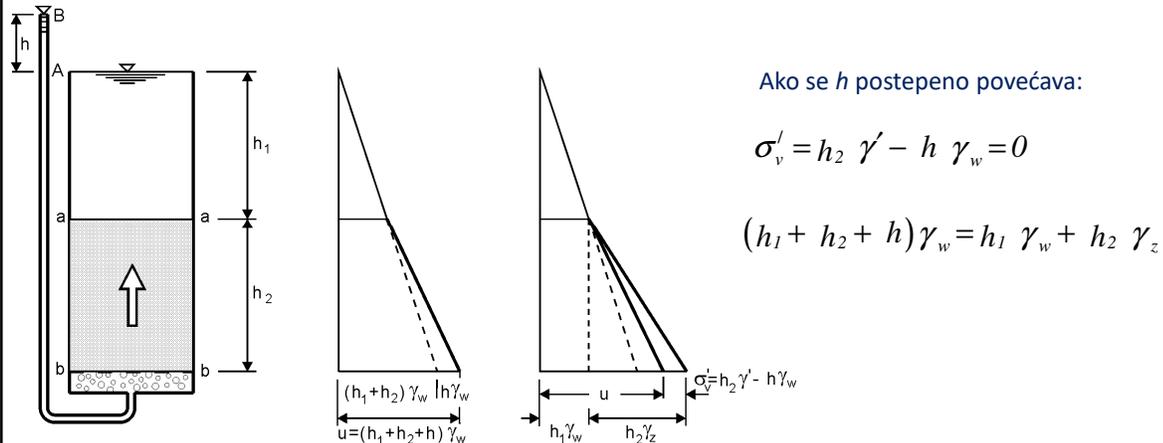
Vertikalni efektivni napon u ovom slučaju veći od onog koji bi postojao da filtracije nema!!!

VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPONI PRI VERTIKALNOM TOKU VODE



$$\sigma'_v = \sigma_v - u = h_1 \gamma_w + h_2 \gamma_z - (h_1 + h_2 + h) \gamma_w = h_2 (\gamma_z - \gamma_w) - h \gamma_w = h_2 \gamma' - h \gamma_w$$

VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPONI PRI VERTIKALNOM TOKU VODE



Kada je efektivni napon jednak nuli, nema kontakta između zrna tla i dolazi do pojave *ključanja tla*.

$$h_2 \gamma' = h \gamma_w$$

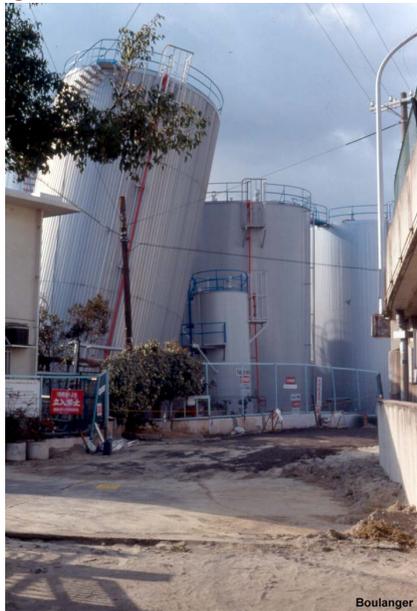
$$h/h_2 = i_{cr} = \gamma'/\gamma_w \text{ kritični vertikalni gradijent filtracije } i_{cr}$$

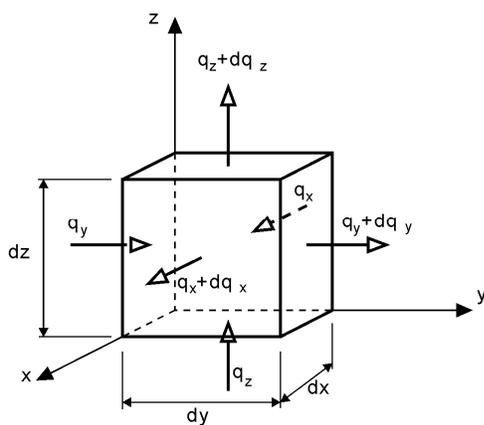


LIKVEFAKCIJA



LIKVEFAKCIJA



LIKVEFAKCIJA**OSNOVNE JEDNAČINE KRETANJA VODE KROZ TLO**

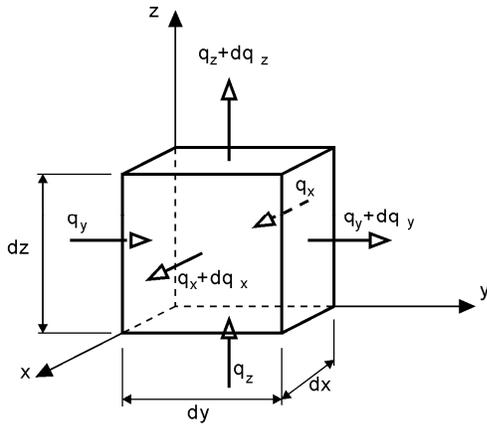
- Posmatra se element tla dimenzija dx , dy i dz sa koeficijentima vodopropusnosti k_x , k_y i k_z u odgovarajućim pravcima x , y i z .
- Ako zapremina pora u elementu tla ostaje konstantna, što znači da element tla ne menja zapreminu i ako se pretpostavi da je voda nestišljiva, tada ukupni dotok vode u element tla mora biti jednak količini vode koja iz elementa istekne
- Darsijev zakon za homogeno anizotropno tlo se može napisati u sledećem obliku:

$$q_x = k_x i_x dy dz \quad q_x + dq_x = k_x (i_x + di_x) dy dz$$

$$q_y = k_y i_y dx dz \quad q_y + dq_y = k_y (i_y + di_y) dx dz$$

$$q_z = k_z i_z dx dy \quad q_z + dq_z = k_z (i_z + di_z) dx dy$$

OSNOVNE JEDNAČINE KRETANJA VODE KROZ TLO



Ukupni dotok vode u element tla mora biti jednak količini vode koja iz elementa istekne:

$$q_x + q_y + q_z = (q_x + dq_x) + (q_y + dq_y) + (q_z + dq_z)$$

$$k_x di_x dy dz + k_y di_y dx dz + k_z di_z dx dy = 0$$

$$i_x = \partial h / \partial x \quad i_y = \partial h / \partial y \quad i_z = \partial h / \partial z$$

$$di_x = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} dx \quad di_y = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} dy \quad di_z = \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} dz$$

Jednačina kontinuiteta:

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dx dy dz = 0$$

Diferencijalna jednačina filtracije

OSNOVNE JEDNAČINE KRETANJA VODE KROZ TLO

- Jednačina filtracije u ravni:

$$\left(k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) dx dy = 0$$

- Za izotropno tlo $k_x = k_y = k$ diferencijalna jednačina filtracije u ravni je:

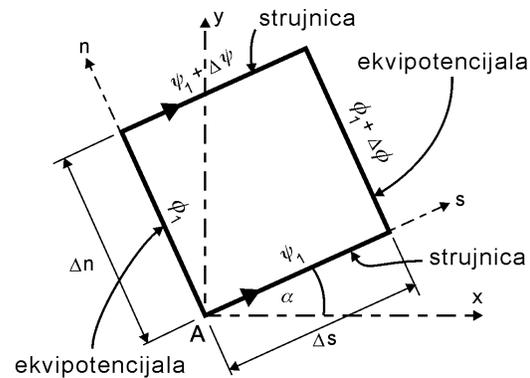
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \text{Laplasova jednačina}$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

- Direktnim integriranjem diferencijalne jednačine može se rešiti samo mali broj relativno jednostavnih dvodimenzionih zadataka koji imaju praktičan značaj.

STRUJNA MREŽA

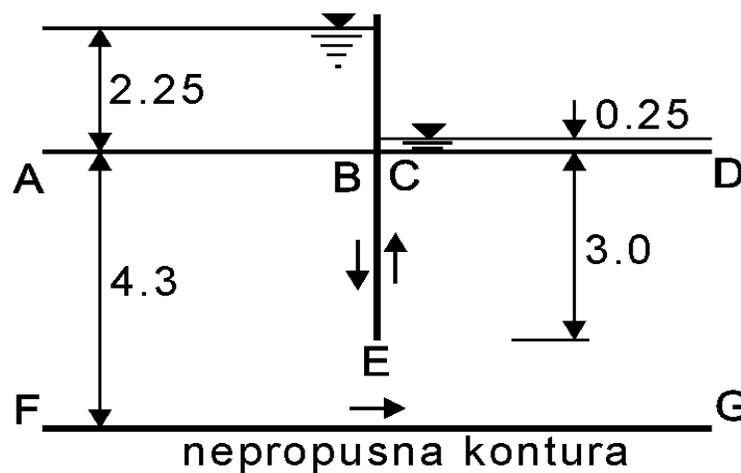
- Strujnu mrežu čine linije koje se nazivaju **ekvipotencijale i strujnice**
- Strujnica opisuje putanju strujanja, odnosno kretanja vode.
- Ekvipotencijala je linija kojoj je totalna pijezometarska visina konstantna.



Osobine strujne mreže!

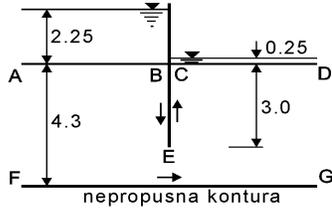
STRUJNA MREŽA

Priboj pobijen 3 m u sloj vodopropusnog tla



STRUJNA MREŽA

Priboj pobijen 3 m u sloj vodopropusnog tla

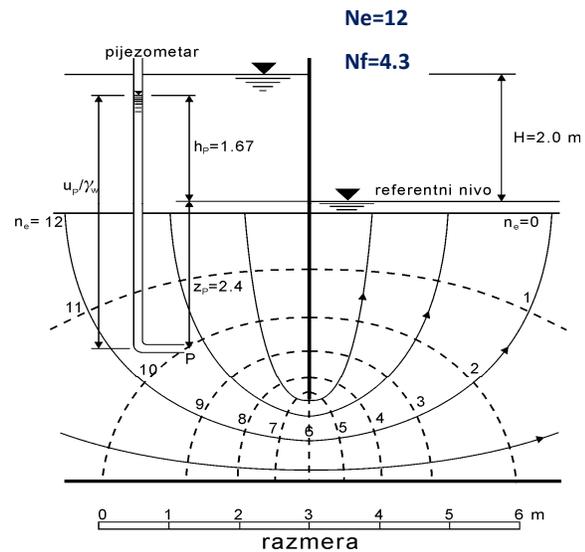


Granični uslovi:
 AB ekvipotencijala
 CD ekvipotencijala
 BEC i FG granične strujnice

$$\Delta h = \frac{H}{N_e} = \frac{2}{12} = 0.167 \text{ m}$$

$$q = k H \frac{N_f}{N_e} = k 2,0 \frac{4.3}{12} = 0.72 \times k \text{ (m/s)/m}^1$$

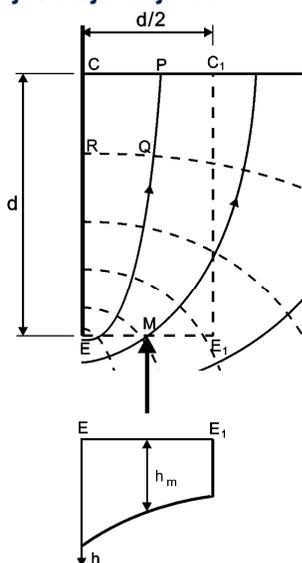
$$h_p = \frac{n_e}{N_e} H = \frac{10}{12} \times 2 = 1.67 \text{ m}$$



$$u_P = \gamma_w (h_p + z_p) = 9.807 \times (1.67 + 2.4) = 39.9 \text{ kPa}$$

STRUJNA MREŽA

Pojava ključanja tla



- Desno od priboja (duž poteza EC) pravac filtracije je praktično vertikalni naviše.
- Deo mase tla uz priboj, približnih dimenzija $d \times d/2$ može postati nestabilan.
- Prosečan vertikalni gradijent u tački M

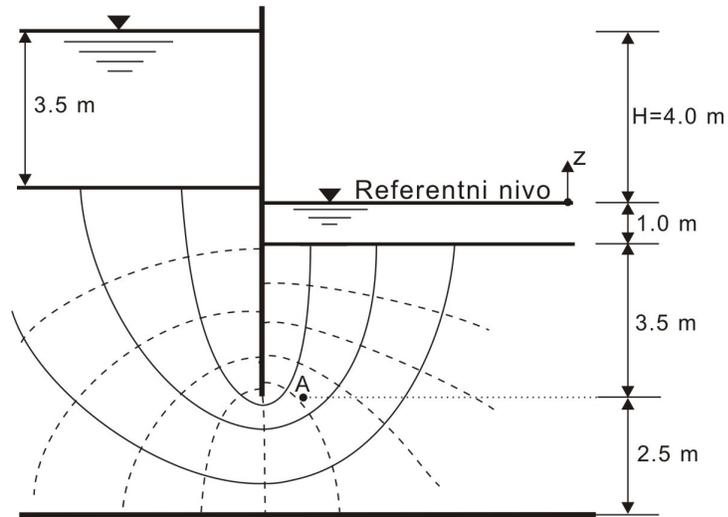
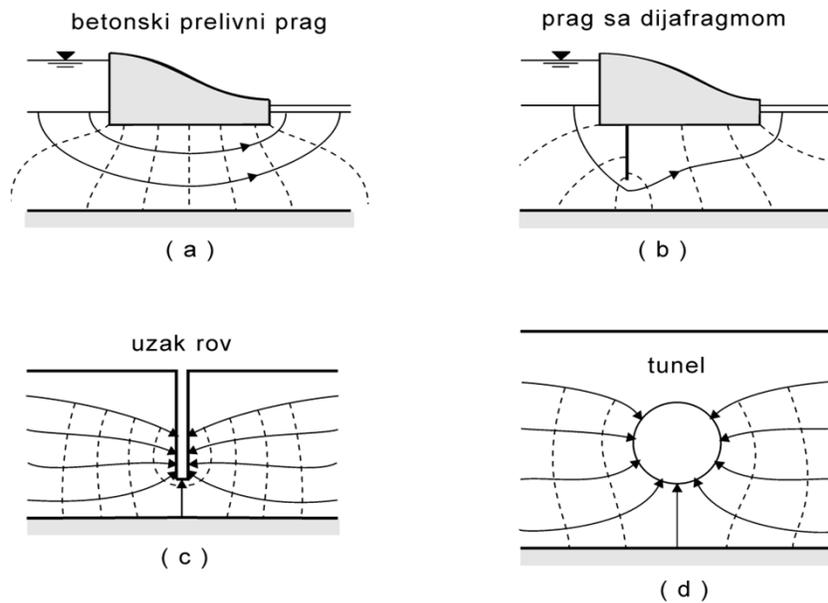
$$i_m = \frac{h_m}{d} = \frac{4\Delta h}{d} = 0.22$$

- Faktor sigurnosti protiv ključanja tla

$$F_s = i_{cr}/i_m \geq 3$$

Alternativno $F_s = i_{cr}/i_e$ $i_e = \Delta h/\Delta s$

Δh pad pijezometrijske visine između ekvipotencijala RQ i CP

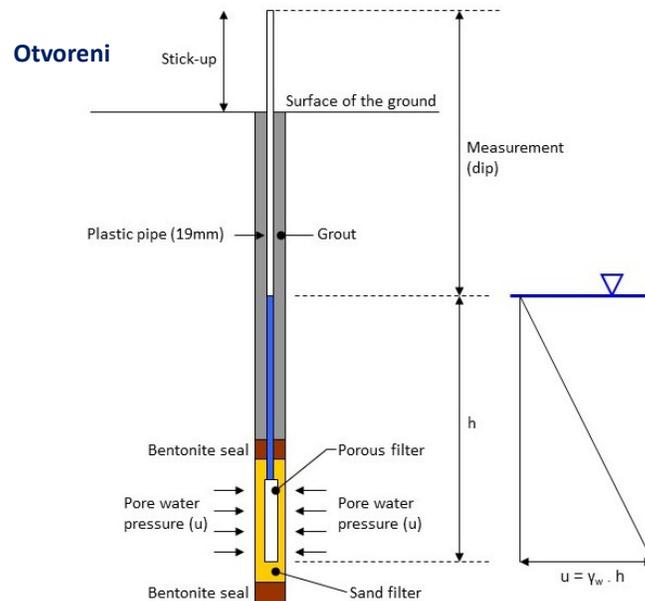
STRUJNA MREŽA**STRUJNA MREŽA**

MERENJE NIVOVA PODZEMNE VODE - PIJEZOMETRI

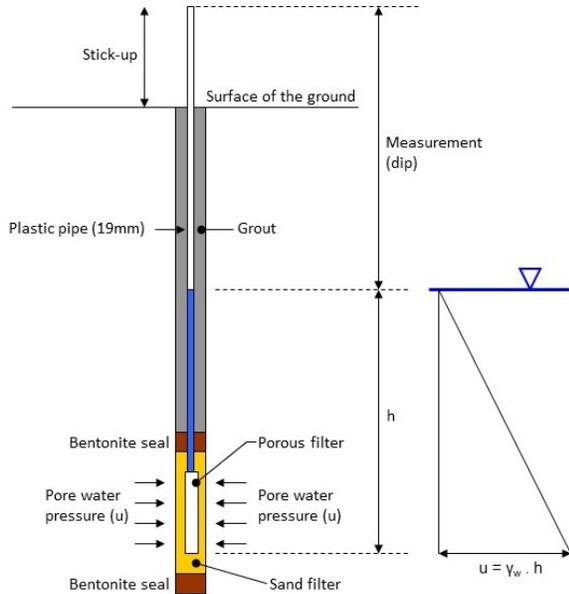
- **Položaj nivoa podzemne vode kao i raspodela pornih pritisaka u terenu** predstavljaju veoma važan skup podataka neophodnih za rešavanje većine praktičnih problema u mehanici tla.
- Prilikom izvođenja istražnih radova, tokom bušenja u tlu, vrši se registrovanje nivoa podzemne vode.
- **Merenja nivoa podzemne vode i pornih pritisaka** najčešće se vrši **pijezometrima** ugrađenim u bušotine.
- Postoji veći broj tipova i konstrukcija pijezometara za primenu u različitim uslovima i često služe za definisanje uslova temeljenja građevinskih objekata.
- **Otvoreni** (za tla veće vodopropusnosti) i **zatvoreni**



- Najjednostavnija forma manometra, koji se sastoji od plastične cevi malog prečnika (obično 19 mm), gde je donji kraj na mestu gde želimo da merimo porni pritisak, a gornji kraj u vezi sa atmosferskim pritiskom

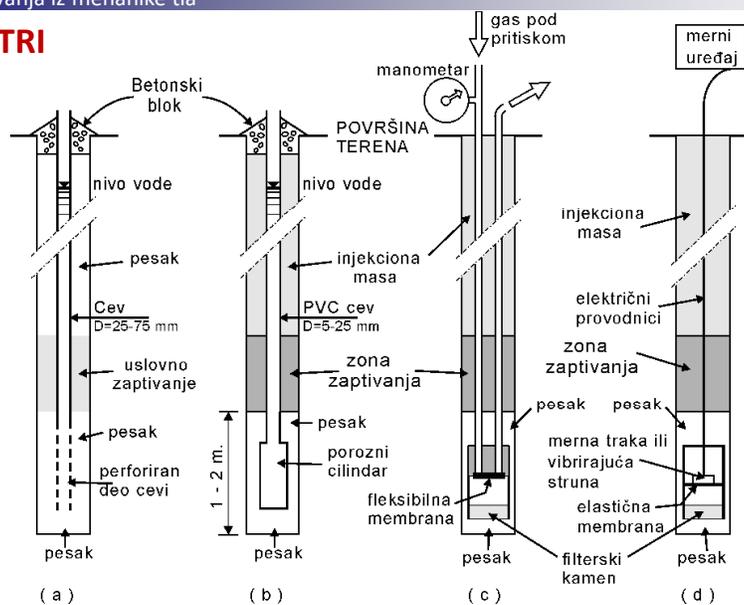


MERENJE NIVOVA PODZEMNE VODE - PIJEZOMETRI



- Nivo vode u svim otvorenim pijezometrima se meri jednostavnom električnom sondom (pištaljka) koja se spušta u cev, a na površini se registruje zatvaranje strujnog kola, kada sonda dosegne nivo vode.

PIJEZOMETRI



- c) meri se veličina pritiska potrebna da otvori ventil izložen pornom pritisku

- d) meri se deformacija baždarene elastične membrane izložene pritisku vode

Šeme pijezometara u bušotini,
a i (b) otvoreni, (c) pneumatski, (d) električni

