

## 1. VRSTE TLA PREMA NAČINU POSTANKA

Tlo je necementirani skup zrnastog mat. mineralnog i organskog porijekla. Ukoliko cementne veze postoje, smatra se da su one relativno slabe i na taj način značajnije ne utiču na mehaničko ponašanje mase tla, u suprotnom, reč je o stenama.

Tlo se sastoji od zrna različitog oblika, veličine i min. sastava između kojih se nalaze intergranularne šupljine (pore).

Zrna tla nastaju u cikličnim procesima raspadanja stena pod dejstvom temp. uticaja, vode, vetra, sunca, erozije...

Svi ovi destruktivni procesi dele se na:

- ① fizičke ✓
- ② hemijske ✓

Pod dejstvom ① stene se raspadaju na fragmente različitih veličina, pri čemu, treba naglasiti, min. sastav zrna ostaje isti kao i kod stene od koje su zrna nastala, dok im se oblik i veličina naknadno menjaju u procesu transporta.

(gravitacioni, vodeni, vetar, sa glečerima → transport)

Pod dejstvom ② za razliku od ① dovode do promene min. sastava zrna u odnosu na stenu od koje su nastala, sa najčešće nešto / više slabijim meh. karakteristikama, budući da su najčešće u pitanju bazične ili kisele vode koje deluju na stenu.

Tom prilikom nastaju min. različite čvrstoće i veličine što generiše i različita ponašanje mase tla.

Po čvrstoci → kvarcni felspat (u pesku i šbunku)  
→ olivin i hematit (zadovoljavajući)  
→ lisicun i mikazit (lako se mrve)  
→ ilit, kaolinit, montmorionit  
(zanemarljivo mala čvrstoća)

★ U zavisnosti od toga da li je brzina raspadanja manja ili veća od brzine transporta, tlo se dele na transportovana i rezidualna.

## 2. TRANSPORTOVANA I REZIDUALNA TLA

60

Proces cikličnog raspadanja čvrste stenske mase pod dejstvom fizičkih i hemijskih procesa teče uporedo sa transportom raspadnutog mat. sa mesta nastanka.

★ — — —

Budući da su hemijski procesi znatno brži od fizičkih, to upravo oni karakterišu rezidualna tla, čija meh. svojstva variraju po dubini. Proces raspadanja najveći je na površini, i lagano se smanjuje po dubini do završetka stene, shodno tome menjaju se i meh. karakteristike.

Rezidualna tla karakteristična su za tople, vlažne klimatske bogate vegetacija, koja onemogućava blagovremeno transportovanje formiranog tla.

Međutim, mnoga veća pažnja naučnika privlači transportovano tlo koje nastaje kao posledica i fiz. i hem. procesa sa složenim meh. karakteristikama, još više i zbog toga što je ono u najvećoj mjeri zastupljeno u razvijenim industrijskim zonama, u kojima njegove korak. dolaze da izražaja pri eksploataciji ili samo kao podlozi za - nova indust. postrojenja i objekte različitih namjena.

### ③. FRAKCIJE ZRNA I - NJIHOVE GRANICE

U zavisnosti od granitne urednosti veličine zrna, tla (najčešće neorganskog sastava) podeljena su u dve glavne klase:

✓ ① - Krupnozrna tla ( $\phi d_{\text{zrna}} > 0.075 \text{ mm}$  ( $0.06 \text{ mm}$ ))

✓ ② - Sitnozrna tla ( $(\phi 50\% d) < 0.075 \text{ mm}$  ( $0.06$ ))

① se dalje može podeliti na

→ pesak	$0.06 \div 2 \text{ mm}$
→ šljunak	$2 \div 60 \text{ mm}$
→ obluci	$> 60 \text{ mm}$

② se deli na

→ glina: $d \leq 2 \mu\text{m}$
→ prašina $2 \mu\text{m} < d < 0.06 \text{ mm}$

Za klasifikaciju krupnozrnog tla koristi se metoda sejanja, dok je klasifikacija sitnozrnog tla nešto složenija, i za njeno odred. najčešće se primenjuje (Kasagrandeova metoda i dijagram uz poznate granicu tečenja  $w_L$  i index plastičnosti)

VELIČINA SITNOZRNOG TLA SE OBICNO ODEĐUJE „OPITOM HIDROMETRISANJA“ I „AEROMETRISANJA“

### \* Nastavak ② pitanja:

Transportovana tla → nastaju na mestima gde je brzina odnošenja mat. znatno veća od brzine raspakivanja istog.

Vrste transporta:

**Gravitacija** → Fragmenti stena pod dejstvom sile  $G$  se kotrljaju niz padine i sa viših na niže nivoe usled čega se dodatno lomje i zaobljavaju. U tu grupu spada i koluvijum

**Voda** → bilo da su u pitanju atmos. padavine ili sami tokovi reka i potoka, voda koja se sliva poseduje odred. energiju. U višim predelima, brzacima, moguće je pomeranje i šljunka i obluka, u srednjim tokovima peska i prašine, dok je u donjim tokovima i na ušću brzina vrlo mala pa je moguć samo transport prašine i gline. Na ovaj način nastaju:

- aluvijalne naslage u području rečnih tokova
- Estuarna tla na ušću reka u mora
- Laksustrinska tla su jezerski sedimenti
- Morski sedimenti koji se formiraju na dnu mora

Vetar → snagom vetra prenose se ogromne količine sitnih čestica, ali i zrna peska. Veličina zrna zavisi od brzine (energije) vetra. Ova vrsta transporta karakteristična je za prašnaste i pustinjske predela.

Glečeri → Prilikom kretanja iz viših predela u doline glečeri se sobom iz svog korita zahvataju kameni mat. i nose ga do mjesti njihovog otapljanja gde se formiraju morene.

#### ④ FAZE U TLU I ODNOSI FAZA

Tlo je trofazni materijal. Čvrstu fazu čine mineralna zrna, tečnu fazu voda i gasovitu fazu vazduh i vodena para.

Osnovni pokazatelji odnosa faza su:

✓ 1° Specifična težina tla

$$G_s = \frac{\text{težina čvrstih čestica}}{\text{težina vode}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Najčešće 2.60 ÷ 2.80 uzima vrednosti, samo izuzetno iznad → Hematit i Magnetit ≈ 5.0

✓ 2° Poroznost

$$n = \frac{\text{zapremina šupljina}}{\text{ukupna zapremina}} = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V}$$

✓ 3° Kompaktnost

$$g = \frac{V_s}{V} = 1 - n$$

✓ 4° Koef. poroznosti

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\text{zap. pora}}{\text{zap. čvrstih čestica}}$$

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 = \frac{1}{g} - 1 = \frac{1}{1-n} - 1 = \frac{n}{1-n}$$

✓ 5° Vlažnost

$$\omega = \frac{\text{težina vode}}{\text{težina čvrstih č.}} = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

$\omega \geq 100\%$  (može biti) ako su u pitanju meke i žitke gline normalno konsolidovane i visoke plastičnosti

• 6° Stepen zasićenja

$$S_r = \frac{\text{zap. vode}}{\text{zap. pora}} = \frac{V_w}{V_v} \times 100 [\%]$$

$$S_r = \frac{V_w}{V} \times \frac{\gamma_w}{\gamma_w} = \frac{W_w}{W_{w,z}} ; W_{w,z} \rightarrow \text{težina vode u potpuno zasićenom stanju}$$

$$S_r = \frac{W_w}{W_s} \cdot \frac{W_s}{W_{w,z}} = \frac{\omega}{\omega_z} ; \omega_z \rightarrow \text{vlažnost uzorka pri totalnom zasićenju}$$

$$Sr = \begin{cases} 0 & \rightarrow \text{suvo tlo} \\ 0 \div 100\% & \rightarrow \text{nezasićeno ili delimično zasićeno} \\ 100\% & \rightarrow \text{zasićeno tlo} \end{cases}$$

7° Jedinčna težina tla

$$\gamma = \frac{\text{ukupna težina}}{\text{ukupna zapremina}} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a}$$

za potpuno suvo tlo:

$$W_w = 0 \wedge V_w = 0 \quad (W = W_s)$$

$$[6 \div 18] \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V_s + V_v} \quad [\text{kJ/m}^3]$$

za zasićeno tlo:

$$V_a = 0 \quad (V = V_w)$$

$$[12 \div 20] \quad \gamma_z = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \gamma_d + \frac{W_w}{V_s + V_v} \cdot \frac{W_s}{W_s} = \gamma_d (1 + \omega)$$

\* Mere se samo  $G_s$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_s$  i  $\gamma_d$ , ostale se preko njih mogu izraziti.

8° Jedinčna težina u potopljenom stanju:

$$\gamma^o = \gamma_z - \gamma_w \quad [\text{kJ/m}^3]$$

VLAŽNOST → DEF I NAČIN ODREĐIVANJA  
STEPEN ZASIĆENJA → DEF

Vlažnost:

$$\omega = \frac{\text{ukupna težina vode}}{\text{težina čvrstih čestica}} = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad [\%]$$

$$\omega = \frac{M_g - M_s \times g}{M_s \times g} = \frac{M - M_s}{M_s}$$

Određivanje:

\* Laboratorijski postupak

Uzme se vlažan uzorak, stavi se u posudu poznate mase  $M_p$  i izmeri sa posuclom →  $M_1$

Nakon toga se suši na temp.  $105^\circ - 110^\circ \text{C}$

( $50^\circ - 60^\circ$  organska tla)

do konst. mase  $M_2$

$$\omega = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_p}$$

$$M_2 = M_d + M_p$$

masa uhlj. gipka  
+ masa  
vode

\* Brze terenske metode:

1° Metoda sa vagom

2° Metoda neutronskega zračenja

(potrebno kalibracione krive koja pokazuje zavisnost broja otkucata / 1. kilometri)

### 3° SPEEDY metoda (sa $\text{CaC}_2$ )

Stavi se uzorak tla u metalnu bocu i uspu se 1-3 kašike kalcijum karbida. Voda iz uzorka reaguje sa  $\text{CaC}_2$  pri miješanju oslobađajući gas acetilen, čiji se pritisak mjeri manometrom.

Iz p-w dijagrama  $\rightarrow$  vlažnost.

Stepen zasićenja:

$$S_r = \frac{\text{uk. zap. vode}}{\text{uk. zap. } \underset{\text{pora}}{\text{pore}}} = \frac{V_{wv}}{V_v} \times 100 [\%]$$

(ostatak ④) pitanje  $\rightarrow$  dvije strane navedi)

### ⑥ SPECIFIČNA POVRŠINA ZRNA TLA I NJEN ZNAČAJ

... definiše se kao ukupna površina suih zrna u jedinici mase  $[\text{m}^2/\text{g}]$

Što je mat. sitnozrniji  $\rightarrow$  spec. površina je veća, i njen značaj pogotovo dolazi do izražaja kod glina čija su zrna ljuspastog i listastog oblika (2 dim.  $\ll$  od treće)

Tako, za kvarc  $S_p = 0.002 \text{ m}^2/\text{g}$

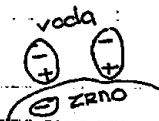
za montmorionit  $S_p = 840 \text{ m}^2/\text{g}$

Sa povećanjem  $S_p$ , povećavaju se površinski efekti zrna, koji se ogledaju u tome da za negativno nael. površinu zrna prijenjaju pozitivni delovi bipolarnih molekula vode, usled čega se na površini zrna javlja tanak sloj tzv. "vezane vode" koja omogućuje njegovu laku pokretljivost duž površine čestice. Usled toga, kod glinenih mat. dolazi do promene konzistencije sa promenom vlažnosti što definiše plastična svojstva gline.

Rista

D se smanjuje  $\rightarrow$  površinske sile  $= f \cdot CD^2$

$$\rightarrow W = f \cdot (CD)^2$$

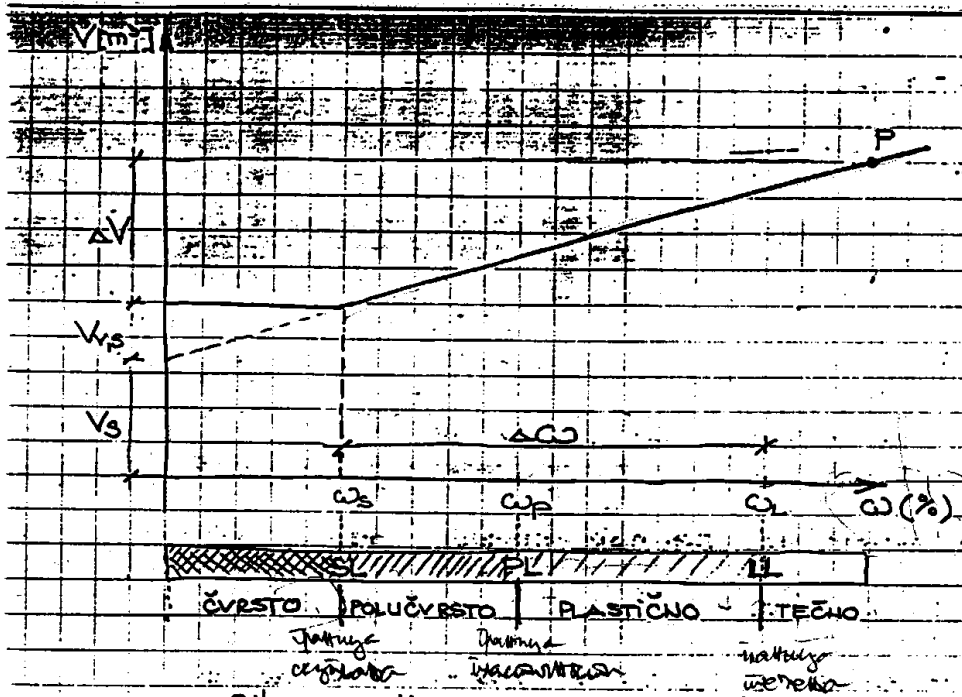


$S_p$  važniji kod sitnozrnih materijala, a kod peska i šljunka površinski efekti zanemarljivi

### ⑦ ATTERBERG, GRANICE LL, PL, SL, DEF I NAČIN ODREĐIVANJA

1

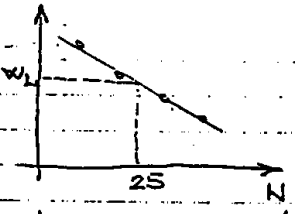
Granice konzistentnih stanja (Atterbergove granice) ili kraće granice plastičnosti, služe s obzirom na karakteristiku glinovitog tla da menja svoje konz. stanje sa promenom sadržaja vode, za određivanje (na indirektni način) osobina glinovitih komponenti u tlu.



Sitozrno tlo čija je vlažnost  $\omega > \omega_L$  nalazi se u tečnom stanju i njegova smičuća čvrstoća je jednaka nuli.  
 Pri postepenom sušenju sadržaja vode, glinovita masa postaje gušća, viskozitet joj se povećava i ima smičuću čvrstoću, istina, svega 2-5 kN/m<sup>2</sup>.  
 Za ovakvu masu, kaže se da je dostigla granicu tečenja:

62 \*  $LL \rightarrow \equiv \omega_L \rightarrow$  vlažnost pri kojoj se uzorak u Casagrande - ovoj treskalici razdvojen standardnim profilisanim nožem nakon 25 udaraca spoji do na dužinu od 10-11 mm.  
 (Ovit se ponavlja 4x i te se vrednosti unose na dijagram)

Daljim sušenjem sadržaja vode, masa postaje još gušća sa većom mehaničkom čvrstoćom dostižući granicu plastičnosti:



63 \*  $PL \rightarrow \equiv \omega_p \rightarrow$  vlažnost pri kojoj se mogu valjati valjčići prečnika 3mm dužine 70mm, pri čemu se na njima pojavljuju tek male pukotine.  
 $(CPL) = 100 \times T(PL)$

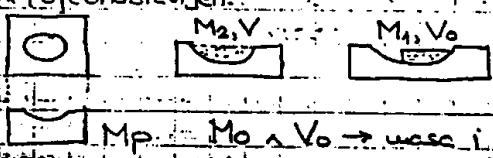
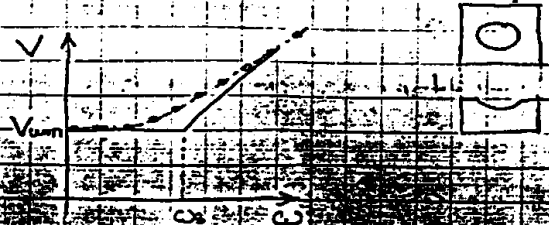
U intervalu od LL do PL, tlo, usled aplicirane sile, zadržava defor. oblik i nakon prestanka dejstva opterećenja.

Daljim sušenjem, voda iz tla se lagano gubi, i čestice počinju međusobno da se dodiruju, usled čega se i pri daljem gubitku vode evakuise zapravo samo voda, dok skelet tla zadržava konstantnu zapreminu.

Granica pri kojoj sitoizarno tlo dobija  $V = \text{const.}$  sa značajnom smič. čvrstoćom, naziva se granica skupljanja:

64 \*  $SL \rightarrow \equiv \omega_s \rightarrow$  min. vlažnost potrebna da popuni sve pore uzorak koji je dostigao  $V_{min}$ .

Detaljan opit: Pojednostavljen:



$M_0 \wedge V_0 \rightarrow$  masa i zap. suvog uzorka  
 $M_p \rightarrow$  masa posude  
 $M_1 \wedge M_2 \rightarrow$  bruto mase (posuda + zasićen / suv uzorak)

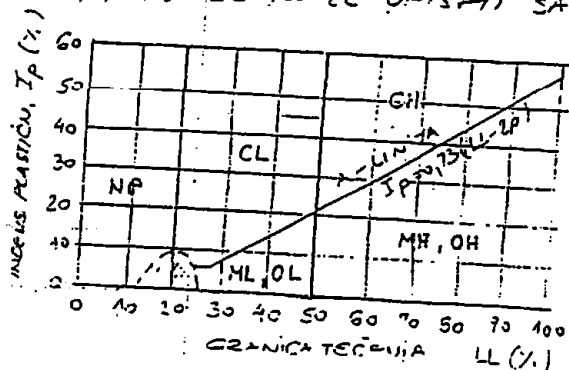
## 15. INDEKS PLASTIČNOSTI, DEFINICIJA

66 DEFINIŠE INTERVAL  $I_p = LL - PL$ , T.J. KOLIČINU VODE POTREBNU ZA PRELAZAK IZ POLUČVRSTOG U TEČNO STANJE.

PREDSTAVLJA NERJED OSETLJIVOSTI SITNOŽRNOG TLA NA PROMJENU VLAGE. ( $I_p \uparrow \rightarrow$  TLO JE MANJE OSETLJIVO). SMICUĆA ČVRSTOĆA PRERABENOG TLA SA VLAČEŠĆU NA GRANICI PLASTIČNOSTI JE OKO 100 PUTA VEĆA OD SMICUĆE ČVRSTOĆE ISTOG MATERIJALA NA GRANICI TEČENJA.

## 16. CASAGRANDE-OV DIJAGRAM PLASTIČNOSTI

2 OVAJ DIJAGRAM SE ODOŠI NA SITNOŽRNA TLA. PREMA NJEMU, SVAKI TIP TLA SE MOŽE OPISATI SA DVA SLOVA (PRIMARNA + OPISNA OZNAKA)



AKO SE NA DIJAGRAMU PLASTIČNOSTI, TAJLA SA UOODINATAMA ( $LL, I_p$ ), NALAZI:

- IZNAD A-LINIJJE  $\Rightarrow$  TLO JE GLINA SA PRVIM SLOVOM C, A DRUGO SLOVO <sup>ZAPRICH.</sup> OD GRANICE TEČENJA  $WL$
- ISPOD A-LINIJJE  $\Rightarrow$  TLO JE PRASINA (M) ILI ORGANSKO TLO (O).

$$\frac{WL(SUS\check{S}ENO)}{WL(PRIRODNO)} < 0,75 \Rightarrow C$$

$$\frac{WL(PRIRODNO)}{WL(SUS\check{S}ENO)} > 0,75 \Rightarrow M$$

## 17. POROŽNOST I KOEFICIJENT POROŽNOSTI

POROŽNOST ILI RELATIVNA POROŽNOST PREDSTAVLJA ODNOS IZMEĐU ZAPREMINE PORA I UKUPNE ZAPREMINE UZORKA:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

KOEFICIJENT POROŽNOSTI PREDSTAVLJA ODNOS IZMEĐU ZAPREMINE PORA I ZAPREMINE ČVRSTIH ČESTICA:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

PREDNOST TREBA DATI KOEFICIJENTU POROŽNOSTI, JER SE PRI PROMJENI ZAPREMINE, MIJENJA SAMO ZAPREMINA PORA DOK ZAPREMINA ČVRSTIH ČESTICA OSTAJE FRAKCIJNO KONSTANTNA.

## 18. SPECIFIČNA TEŽINA, DEFINICIJA I NAČIN ODREĐIVANJA

67 PREDSTAVLJA ODNOS IZMEĐU JEDINIČNE TEŽINE ČVRSTIH ČESTICA  $\gamma_s$  I JEDINIČNE TEŽINE VODE  $\gamma_w$ :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

ZA PRIRODNA TLA  $G_s$  SE UREĆE OD 2,6 ÷ 2,8, ZA ORGANSKA TLA  $< 2$ , PIZESAK 2,67 ÷ 2,69, GUNE 2,7 ÷ 2,8

NAČIN ODREĐIVANJA:

\* METODA PULNOMETRA - UZORAK SE OSUŠI, USITNI I PROBIJE. IZMJEŠI SE 10-50g ( $M_1$ ) I SIPA POMOĆU UTEJELA U BOČICU. ONA SE ZATIM DO POLA NAPUNI VODOM I VAKUUMIRA SE (OSTRANJIVANJE VZDUHA IZ BOČICE). OSTAVI SE DA MIRUJE 12 NA 20°C. A ZATIM SE IZMJEŠI ( $M_2$ ). BOČICA SE ISPRAZNI I DO VRHA NAPUNI VODOM I IZMJEŠI SE MASA ( $M_3$ ).



$$G_s = \frac{M_1}{M_1 + M_3 - M_2}$$





$$\omega_s = \omega - \Delta\omega$$

$$\Delta\omega = \frac{\Delta V}{M_0} S_w = \frac{V - V_0}{M} S_w$$

$$\omega = \frac{W_w}{W_s}$$

$$\omega_s = \frac{W_w - \Delta V S_w}{W_s}$$

### 8. Index plastičnosti, definicija (15. skripte)

66

Index plastičnosti definiše interval od LL do PL relacijom:

$$I_p = LL - PL = \omega_L - \omega_p$$

Tim prije, što se smičuća čvrstoća na granici LL povećava za oko 100% do granice PL, ovaj index je značajniji. Koristi se pri definisanju indexa konzistencije.

### 9. Stanja konzistencije, index konzis. i tečenja

65

LL, PL, SL → (f) pitanje

Index konzistencije:

$$I_c = \frac{\omega - \omega_L}{I_p} \quad \text{u zavisnosti od vrednosti}$$

definiše sledeća konz. stanja:

$$I_c < 0 \rightarrow \text{tečno stanje}$$

$$0 < I_c < 1.0 \rightarrow \text{plastično - II -}$$

$$1 < I_c < 1.25 \rightarrow \text{polutvrdo - II -}$$

$$I_c > 1.25 \rightarrow \text{tvrdo - II -}$$

$$I_c \in [0, 1] \Rightarrow 0 - 0.25 \rightarrow \text{Velo meko, utisnute pesnica}$$

$$0.25 - 0.50 \rightarrow \text{Meko, utisnut palac}$$

$$0.50 - 0.75 \rightarrow \text{Srednje-plastično, utisnut palac sa vecim naporom}$$

$$0.75 - 1.0 \rightarrow \text{Tvrdo-plastično, utisnut vrh olovke}$$

$$I_c \in [1, 1.25] \Rightarrow \text{Polu-tvrdo stanje, nedeformabilno od opt. nanešenih rukom}$$

$$I_c \in [1.25, +\infty] \Rightarrow \text{Tvrdo stanje, nedeformabilno od opt. nastalih izgradnjom objekta}$$

Index tečenja je pored indeksa konz. još jedan (alternativan) način utvrđivanja konz. stanga:

$$LI = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} = \frac{\omega - \omega_L + (\omega_p - \omega_L)}{I_p} = I_c - 1$$

za  $LI > 1 \rightarrow \omega > \omega_L$  (tečnost)

za  $LI < 0 \rightarrow \omega < \omega_p$  (polucvrsto ili čvrsto)



## Casagrande - ov dijagram plastičnosti

Koristi se za klasifikaciju sitnozrenog tla. Na osnovu njega svakom tipu tla se mogu pripisati dva slova koja def. karakt. istog.

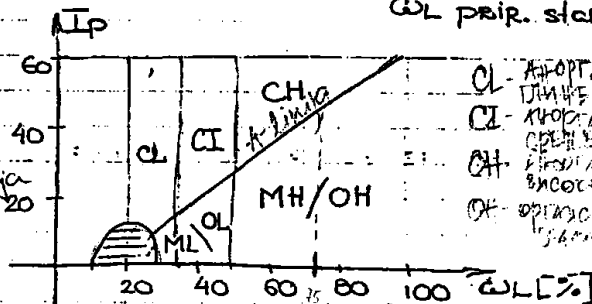
Ukoliko tlo ima vrednosti  $\omega_L$  i  $I_p$  koje def. tačku koja se nalazi iznad A - linije, tada je reč o glini sa prvom oznakom C (clay), druga oznaka zavisi od vr.  $\omega_L$ ,

Ukoliko se tačka nalazi ispod A - linije, u pitanju je prašina (M) ili organsko tlo (O) u zavisnosti da li je  $\frac{\omega_L \text{ sušenog uzorka}}{\omega_L \text{ pripr. stanje}} \leq 0.75$

za  $\leq 0.75 \rightarrow O$

za  $> 0.75 \rightarrow M$

$$I_p = 0.73(LL - 20) - \text{A numera}$$



CL - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI  
CI - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI  
CH - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI  
ML - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI  
OL - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI  
MH/OH - KLOPOTAVOKE PLASTIČNOSTI



## KOLOIDNA AKTIVNOST GLINE PO SKEMPTONU

69

Predstavlja indirektnu meru specifične površine čestica gline i definiše se kao:

$$A = \frac{I_p}{CF}$$

gde je CF procenat zrna čiji je prečnik manji od  $2 \mu m$

$A \begin{cases} < 0.75 \text{ Neaktivne gline} \\ 0.75 \div 1.25 \text{ Normalne} \\ > 1.25 \text{ Aktivne} \end{cases}$

[kvarc 0  
monmorionit (Na) 7.20]

Sa povećanjem aktivnosti, povećava se i tendencija tla da menja svoju zapreminu pri promeni vlažnosti, bez znatnije promene napona.

68 ZAPREMINSKA TEŽINA TLA; METODE ODREĐIVANJA  
 PREDSTAVLJA ODNOS IZNEBU UUPNE TEŽINE UZORKA W I NJEGOVE UUPNE  
 ZAPREME V.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

NAČIN ODREĐIVANJA:

1. ZAVIJEZANATLA (SITNOZRNATA TLA)

\* OPIT POMOCU CILINDRA POZNATE ZAPREME - CILINDAR MASE  $M_1$  I ZAPREM.  
 V SE UTISNUJE U TLO I VADI SE UZORKA.

$$\gamma = \frac{M_2 - M_1}{V} \cdot g \quad g = 9,807 \text{ KN/m}^3$$

\* METODA PARAFINA - KONTJER SE MASA UZORKA  $M_1$ , PA SE UZORKA POTOPU U  
 POSUDU SA UREUM PARAFINOM. PARAFIN OBRUZE UZORKA I ONDA IZVUCIMO  
 TAKAVU MASU  $M_2$ . OSTAVIMO DA SE OSUŠI, PA ONDA UZORKA POTAPAMO U VODU  
 (MENJURU) I ODREĐIMO ZAPREMINU NA OSNOVU ISTISNUTE VOCE.

$$\gamma = \frac{M_1}{V - \frac{M_2 - M_1}{\gamma_{\text{par.}}}} \cdot g \quad \gamma_{\text{par.}} = 0,89 \text{ g/cm}^3$$

\* METODA ŽIVE - KONTJER SE MASA UZORKA. U POSUDU PUNU ŽIVE NEONI SE  
 UZORKA. MJER SE V ŽIVE KOJA SE PREČE  $\Rightarrow$  ZAPREMINA UZORKA.

$$\gamma = \frac{M}{V} \cdot g$$

2. ZANEVEZANATLA (KRUPNOZRNATA TLA)

\* METODA PLASTIČNOS ODOTAČA - POVRŠINA TERENA SE PORAVNJA I POMOCU KALUPA  
 SE ISKOPA RUPA. ISKOPANI MATERIJAL SE IZKONTJER U VUČNOM STANJU (M).  
 U ISKOPANU RUPU SE STAVI PLASTIČNA FOUJA I SIPA SE VODA IZ MENJURE I NA  
 TAK NAČIN SE ODREĐUJE ZAPREMINA TLA (UZORKA) V.

$$\gamma = \frac{M}{V} \cdot g$$

\* METODA GUMENE MEMBRANE - ISTO KAO GORE, SAMO ŠTO SE U RUPU NARU-  
 MPA ELASTIČNA GUMENA MEMBRANA SA TEČNOSTU I ZAPREMINA SE OČITAVA NA  
 INDIKATORU ZAPREME.

\* METODA KALIBRISANOG PIJESKA - POVRŠINA TERENA SE OČISTI, IZRAVNA I  
 POSTAVI SE POSTOJEĆE I APARATURA. KROZ OTVOR NA POSTOJEĆU SE ISKOPA RUPA  
 (DUBINE 10-20 cm) I ISKOPANI MATERIJAL SE IZKONTJER. NA POSTOJEĆE SE STAVI  
 APARATURA I SIPA SE KALIBR. PIJESAK. KONTJER SE APARATURU SA PREOSTALIM  
 PIJESKOM

$$V = \frac{M_{\text{pijes.}}}{\gamma_{\text{pijes.}}} \cdot g$$

\* NUKLEARNA METODA - ZASNIVA SE NA UPOTREBI OPREME SA IZVOROM

$\gamma$ -ZRAČENJA. IMA VIŠE OVIH METODA.

POVRŠNU RADIOLAKTIVNOST. IZOTOPOVA.



## 12. POROZNOST I KOEFICIJENT POROZNOSTI

Poroznost (relativna) predstavlja:

$$n = \frac{\text{zapremina šupljina}}{\text{ukupna zapremina}} \times 100\% = \frac{V_a}{V} \times 100\%$$

Koef. poroznosti [e]:

$$e = \frac{\text{zapremina šupljina}}{\text{zapremina čvrstih čestica}} = \frac{V_a}{V_s}$$

Poroznost uvek ima koef. poroznosti  $e$ , budući da se pri promeni zap. menja samo zap. pora, pa je vrednost  $e$  u odnosu na  $n$ , manje podložna grešci, zbog  $V_a = \text{const}$ .

## 13. SPECIFIČNA TEŽINA → DEF. I NAČIN ODREĐIVANJA

$$G_s = \frac{\text{jedinčna težina čvrstih čestica}}{\text{vode}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

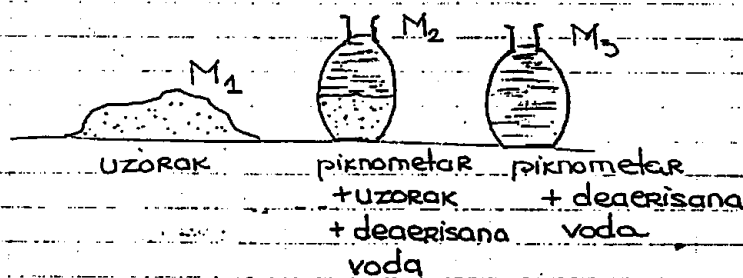
Pokazuje koliko su čestice tla teže od čestice vode.

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

za prirodna tla  $G_s \in [2,6 \div 2,8]$

12. ORGANSKA TLA  
[2,65 ÷ 2,67] za S. DEŠAK  
[2,7 ÷ 2,80] za C. GLINA

Određuje se pomoću metode piknometra



$$G_s = \frac{M_1}{M_3 - M_2}$$

## 14. ZAPREMINSKA TEŽINA TLA, METODE ODREĐIVANJA

Komplet isto pitanje / odgovor kao (19.) skripte!

## 15. SUVA I ZASICENA ZAPREMINSKA TEŽINA TLA

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\text{težina čvrstih čestica}}{\text{ukupna zapremina}} \quad [\text{kN/m}^3]$$

$$\gamma_z = \frac{W_z}{V} = \frac{\text{težina tla u zasícenom stanju}}{\text{ukupna zapremina}} \quad [\text{kN/m}^3] \quad V_a = 0$$

# GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA 1: METODE, ODREĐIVANJA

Definisan je granulometrijskom krivom koja opisuje sadržaj zrna određene veličine u odnosu na njihovu masu u odnosu na ukupnu masu uzorka, procentualno.

Kriva se pored klasifikacije krupnozrnog tla, koristi za određivanje vodopropusnosti, osjetljivosti na mraz i projektovanje filtera.

Prečnik koji se propisuje zrnju je zapravo prečnik kuglice koja može da prođe kroz kvadratni otvor istih dim. kroz koje zrno prolazi.

Metode određivanja:

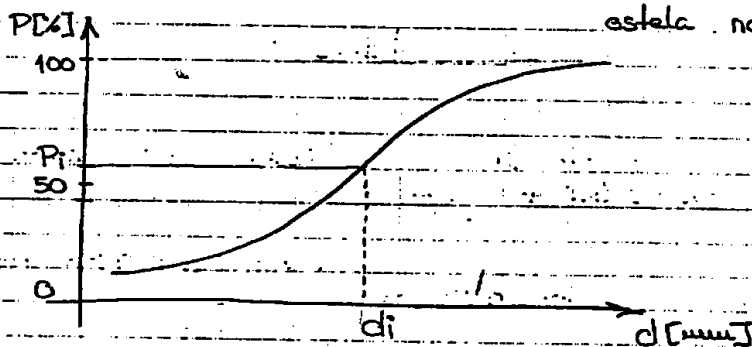
\* Metoda siranja  $\rightarrow$  suvo (Ovom metodom vrši se prosejavanje krupnozrnog materijala bez sitnijih frakcija na vibrastolu.

$\rightarrow$  vlažno (kod krupnozrnih materijala sa sitnijim frakcijama (slepljenim zrnima). Uzorak se ispira kroz sita mlazom vode.)

U oba slučaja siranja, meri se masa ostatka na svakom situ (u drugom slučaju, prvo se osuši do  $m = \text{const}$ ) i nakon toga se izračuna procenat ostatka u odnosu na ukupnu masu.

$$P[\%] = \frac{M_{uk} - ZMd}{M_{uk}}$$

$ZMd \rightarrow$  masa suhih zrnja koja su ostala na prethodnim sitima



\* Metoda hidrometriranja ( $< 0.06 \text{ mm}$ ) (za sitnozrna tla) Zasniva se na Stock-savom zakonu za brzinu taloženja ekvivalentnog sfernog zrna u suspenziji.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} \times D^2 \Rightarrow D = K\sqrt{v} = K\sqrt{\frac{L}{T}}$$

$\eta \rightarrow$  viskoznost tečnosti

Pri čemu ta brzina odgovara brzini pri laminarnom tečenju za čestice od  $0.0002 \div 0.2 \text{ mm}$ .



## 29 TERENSKA IDENTIFIKACIJA I KLASIFIKACIJA SITNOŽRNOG TLA

SITNOŽRNA TLA SU TLA SA VIŠE OD 50% ŽRNA MANTIH OD 0,075 mm. SASTOJE SE UGLAVNOM OD ŽRNA PRAŠINE I GUNE. ČAK I MALA KOLIČINA GUNENIH ČESTICA ZNATNO MIJENJA OSOBINE SITNOŽRNOG TLA. ZA IDENTIFIKACIJU SE KORISTE INDIRECTNI OPITI:

- 1) OPIT TREŠENJA - VLAŽAN UZORAK SE STAVI NA DLAN I PODRŠINA MU SE ZASLADI NOŽEM. UZORAK SE PROTRESE I POSMATRA SE POJAVLJIVANJE VODE NA PODRŠINI UZORAKA.  
BRZA POJAVA VODE → PRAŠINA  
SPORA POJAVA I NEISTAJANJE VODE → JNA NEKA PRAŠINASTIH KOMPONENTI  
VEOMA SPORA POJAVA VODE → GUNA
- 2) OPIT ČVRSTOĆE U SUVOM STANJU - OSUŠENI UZORAK SE LOMI I MRVI PRSTIMA. SA PORASTOM PLASTIČNOSTI RASTE I SUVA ČVRSTOĆA. AUKO JE MALA SUVA ČVRSTOĆA → PRAŠINASTA I PLESNOVITA TLA. AUKO JE VEĆA SUVA ČVRSTOĆA → VISOKOPLASTIČNE GUNE (CH).
- 3) OPIT VALJANJA (PLASTIČNOSTI) - VLAŽAN UZORAK SE VALJA U VALJČICE DEBJINE 3 mm. POSTUPAK SE PONAVLJA SVE DOK VALJAK USLED GUBITKA VODE NE POSTANE KRTO I POČNE DA SE LOMI.  
TLO VISOKE PLASTIČNOSTI (MASNE GUNE) → DOBITAKU SE TVRDI VALJČICI  
TLO SREDNJE ——— (POSNE GUNE) → POJAVLJUJU SE PULUTINE  
TLO NISKE ——— (PRAŠINASTI I FINI PIJESAK) → VALJAK SE LAKO LOMI  
TLO BEZ PLASTIČNOSTI (ČISTI PIJESKOVIT) → NE MOGU SE NAPRAVITI VALJCI
- 4) OPIT SJAJA - UZORAK SE ZASITEČE OŠTRIM NOŽEM. AUKO JE PRESEK BEZ SJAJA, TO SU PRAŠINASTA TLA. MAU DO SREDNJI SJAJ - SREDNJE PLASTIČNA TLA (GUNE NISKE PLASTIČN.). IZRAZITO SJAJNA PODRŠINA - VISOKA PLASTIČNOST (GUNE VISOKE PLASTIČNOSTI)
- 5) OSJETLJIVOST NA POREMEĆAJE - UZORAK VLAŽNE GUNE SE GUTEČI PRSTIMA (POREMETI MU SE STRUKTURA). UPOREBUJE SE ČVRSTOĆA POREMEĆENOG I NEPOREMENENOG UZORKA ŠTO ULAŽUJE NA SENZITIVNOST GUNE.
- 6) SADRŽAJ  $\text{CaCO}_3$  (KALCIJUM KARBONAT) - ODREBUJE SE KAPANJEM PO UZORKU 20% -NE HCL. PREMA JAČINI I TRAJANJU ŠUMA ODREBUJE SE PRISUSTVO  $\text{CaCO}_3$ :  

AKO NE ŠUMI → % $\text{CaCO}_3 < 1\%$	} BENDELOVA SKALA
SLABO ŠUMI I KRATKO → % $\text{CaCO}_3$ 1-2%	
JAKO ŠUMI I KRATKO → % $\text{CaCO}_3$ 3-4%	
JAKO ŠUMI I DUGO → % $\text{CaCO}_3 > 5\%$	
- 7) OPIT MIRISA I BOJE - UTVRBUJE SE PRISUSTVO ORGANSKIH MATERIJU U SITNOŽRNOU TLU. TAMNA BOJA I MIRIS TRULERI ULAŽUJU NA ZNATNE KOLIČINE ORGANSKIH MATERIJU.



## 17. KOMBINOVANA METODA ZA ODREĐIVANJE GRAN: SAST. TLA

Koristi se kada više od 10% materijala prođe kroz sito prečnika 0,075 mm. Tada se izdvaja 10-50g istog materijala nad njim se sprovođi proces hidrometriranja, ostatak uzorka  $\rightarrow$  0,075 mm - klasifikuje se metodom sejanja.

## 18. KOEFICIJENTI UNIFORMNOSTI I ZAKRIVLJENOSTI TLA

- Koef. uniformnosti:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$D_{10} \rightarrow$  efektivna veličina zrna  
 $= D_{uax}$  za koje 10% materijala ima zrna manje veličine

$D_{60} \rightarrow$  prečnik dominantnog zrna (60% zrna ima manji prečnik)

\*  $C_u$  se koristi kao pokazatelj stepena varijabilnosti veličine zrna u jednoj mešavini.

- Koef. zakrivljenosti:

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Koristi se za određivanje graduiranosti tla

Npr.  $C_u > 4 \wedge C_z \in [1,3] \rightarrow$  GW DOBRO GRADUIRAN PESAK

$C_u > 6 \wedge C_z \in [1,3] \rightarrow$  SW DOBRO GRADUIRAN SJUNAK

## 19. TEREŃSKA IDENTIFIKACIJA I KLASIFIKACIJA KRUPNOZRNOGI TLA

Osnovna podjela: ① krupnozrna tla (sa preko 50% zrna krupnijih od 0,075 mm)

② sitnozrna tla ( -||- zrna sitnijih od 0,075 mm)

① se dele na:  $\rightarrow$  oblutke  $d \geq 60$  mm  
 $\rightarrow$  sjunak  $d \in [2, 60]$   
 $\rightarrow$  pesak  $d \in [0,075, 2]$

② se dele na:  $\rightarrow$  prašinu  $d \in [0,002, 0,075]$   
 $\rightarrow$  glinu  $d < 2 \mu$

Terenska klasifikacija je relativno jednostavna i sprovođi se vizuelno ili opitom disperzije.

Opit disperzije:

U menzuru sa vodom, stavi se uanija količina materijala, protrese se i meri se vreme taloženja čestica.

$t < 30s \rightarrow G$  šljunak

$t \in [30, 60]s \rightarrow S$  pesak

$t \in [15, 60]min \rightarrow M$  prašina

$t \in [1, 24]h \rightarrow C$  glina

## 20. TERENSKA IDENTIFIKACIJA I KLASIFIKACIJA SITNOZRNOG TLA

Potpuno isto kao 29. skripte!

## 21. JUGOSLOVENSKI KLASIFIKACIONI SISTEM ZA TLA

PRIMARNA OZNAKA		SEKUNDARNA (OPISNA) OZNAKA
Krupnozrna tla	šljunak (G)	W (well):
> 50% zrna većih od 0,075 mm	de [2,60]	U (unified) gradiviranost
	pesak (S)	P (poor)
	de [0,075; 2]	F (prašina)
		C (glina) primese
Sitnozrna tla	Prašina (M)	L niska
> 50% zrna manjih od 0,075 mm	Glina (C)	I srednja plastičnost
	Organsko tlo (O)	H visoka
Vlaknasta struktura	Pt (treset)	

Krupnozrna tla klasifikuju se prema obliku i veličini zrna i obliku gran. krive izražene preko koef.  $C_u$  i  $C_z$ , ukoliko je procenat sitnozrnih frakcija relativno mali ( $< 5\%$ ), u suprotnom, plastičnost tih primese utiče na karakteristike tla, a samim tim i na oznaku.

Simboli (oznake) sitnozrnih tla određuju se na osnovu granice tečenja  $\sigma_L$  i indeksa plastičnosti  $I_p$  na Casagrande - ovom dijagramu plastičnosti.

(22)

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI: GW, GU, GP

GW → dobro graduisani šljunak ( $>50\%$   $d \in [2,60]$  mm)  
i  $<5\%$  sitnozrnih frakcija

$$C_u > 4 \wedge C_z \in [1,3]$$

GU → jednolično graduisani šljunak ( $>50\%$   $d \in [2,60]$  mm  
< 5% sitnozrnih frakcija), ali jedan od uslova po  
 $C_u$  i  $C_z$  nije zadovoljen. Prevladava jedna frakcija

GP → slabo graduisani šljunak, (-||- -||-)  
Jedan od uslova po  $C_u$  i  $C_z$  nije ispunjen, a i  
nedostaje jedna frakcija

(23)

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI GF, GC

GF → šljunak sa primesama prašine, ( $>50\%$   $d \in [2,60]$ ,  
 $>12\%$  sitnozrnih frakcija  
Atterbergove granice su ispod A-linije i  $I_p < 4$

GC → šljunak sa primesama gline (-||- sue -||-)  
Atterbergove granice su iznad A-linije sa  $I_p > 7$

\* Za  $I_p \in [4,7]$  potrebni dvojni simboli

(24)

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI SW, SU, SP

SW → dobro graduisani pesak ( $>50\%$   $d \leq 2$  mm i  
 $<5\%$  sitnijih frakcija)

$$C_u > 6 \wedge C_z \in [1,3]$$

SU → jednoliko graduisan S (-||- -||- -||-)  
Jedan od uslova po  $C_u$  i  $C_z$  nije ispunjen i  
prevladava jedna frakcija

SP → slabo graduisan S (-||- -||- -||-)  
Jedan od uslova neispunjen i nedostaje jedna frakcija

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI SF i SC

SF → pesak sa primesom prašine ( $>50\%$   $d \leq 2\text{mm}$  i  $>12\%$  sitnih frakcija)  
 Atterbergova granica ispod A-linije i  $I_p < 4$

SC → pesak sa primesom gline (-II- -II- -II-)  
 Atterbergova granica iznad A-linije i  $I_p > 7$

\* Za  $I_p \in [4, 7]$  potrebni su dodatni simboli

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI ML, CL i OL

ML → Prašina niske plastičnosti  $I_p$  ispod A-linije  
 i  $w_L \in [20\%; 35\%]$

$$\frac{w_{L, \text{sušeno}}}{w_{L, \text{prirodno}}} > 0.75$$

CL → Glina niske plastičnosti  $I_p$  iznad A-linije  
 i  $w_L \in [20, 35]\%$

OL → Organsko tlo niske plastičnosti  $I_p$  ispod A-linije,  
 $w_L \in [20, 35]\%$

$$\frac{w_{L, \text{sušeno}}}{w_{L, \text{prirodno}}} < 0.75$$

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI MI, CI i OI

MI → Prašina srednje plastičnosti  $I_p$  ispod A-linije  
 $w_L \in [35\%; 50\%]$

$$\frac{w_{L, \text{sušeno}}}{w_{L, \text{prirodno}}} > 0.75$$

CI → Glina srednje plastičnosti  $I_p$  iznad A-linije,  
 $w_L \in [35\%; 50\%]$

OI → Organsko tlo srednje plastičnosti  $I_p$  ispod A-linije  
 $w_L \in [35\%; 50\%]$

$$\frac{w_{L, \text{sušeno}}}{w_{L, \text{prirodno}}} < 0.75$$

28.

## KLASIFIKACIONI SIMBOLI: MH, CH, OH

MH → prašina visoke plastičnosti,  $I_p$  ispod A-linije,  
 $w_L > 50\%$

$$\frac{w_L, \text{sušeno}}{w_L, \text{prirodno}} > 0.75$$

CH → glina visoke plastičnosti,  $I_p$  iznad A-linije  
 $w_L > 50\%$

OH → Organsko tlo visoke plastičnosti,  $I_p$  ispod A-linije  
 $w_L > 50\%$

$$\frac{w_L, \text{sušeno}}{w_L, \text{prirodno}} < 0.75$$

29.

## KLASIFIKACIONI SIMBOL Pt

Pt → (treset) Jako organsko tlo. Reč je o vlaknastoj strukturi, pa se klasifikacija vrši vizuelnom makro-klasifikacijom.

30.

## SVRHA TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

Svrha terenskih istraživanja je obezbeđivanje dovoljnog broja informacija o vrsti tla, pre svega materijalu od koga je izrađen, zatim o redosledu, debljini i dubini slojeva, kao i nivou zdrave stenke mase (do razumnih granica), potrebnih za ekonomičnu i sigurnu gradnju.

Pored toga uzorci se koriste za identifikaciju i klasifikaciju i za laboratorijska određivanja parametara čvrstoće, vodopropustljivost, ugradljivost i deformabilnost uz rutinske opite "in situ".

Sve to, doprinosi racionalnijem izboru vrste fundiranja, pri čemu je učino ove radove vršiti grupno, zbog tačnosti rezultata.

Istraživanja su podeljena u faze:

- ① Preliminarna → grube informacije uz postojeće, geološke, geotehničke, hidrološke, seizmičke... planove + iskustveni podaci i podaci stenouništa sa tog područja
- ② Detaljna → uključuju sve precizne metode za dobijanje što tačnijih podataka potrebnih za početak gradnje
- ③ Dopunska → vrše se u toku izgradnje, usled promena plana izgradnje u određenim mjeri i pravcu
- ④ Kontrolna → vrše se u toku eksploatacije u cilju merenja promene parametara tla usled dejstva opterećenja od objekta

Svi dobijeni rezultati prikazuju se u geoteh. elaboratu kao sastavnom delu projekta

# VRSTE TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

## ① Istraživanja sa površine terena

### 1° Prethodna geotehnička

(priкупljanje dokumentacije, postojećih razrada, izlazak na teren...)

### 2° Inženjersko - biološka

(podaci o vegetaciji i položaju stabala)

### 3° Geofizička

#### 4) Geoelektrična (merenje el. potencijala

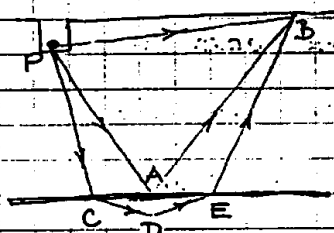
na više mesta i na različitim dubinama, na osnovu čega se određuje spec. otpor, vrste tla...)  
Do 30 m!

#### 2) Seizmička metoda

(merenje brzine prostiranja dinamički izazvanih deformacionih talasa)

#### 3) Metoda radioaktivnog zračenja

za sitnozrna tla (najčešće za merenje vlažnosti)



P → tačka paljenja  
B → geofon

$$U = U\left(\frac{1}{3}, E, D\right)$$

## ② Dubinska istraživanja

\* Sondazne jame  $h_{max} = 6m$  (4÷5)

\* Sondazni bunari ( $h = 15-20m$  obavezno podgrađi)

\* Sondazne galerije i zaseci (za teren sa većim nagibom, dubina mora biti u skladu sa teretnom stabilnošću terena, obavezno podgrađivanje)

\* Sondazne bušotine (najčešći vid istraživanja)

(uzorci za određivanje sastava, zasićenosti, nivoa HPV i pornog pritiska)

\* Penetraciono sondiranje (zbog nemogućnosti uzimanja neporemećenog uzorka)

1) SPT (STANDARD PENETRACION TEST)

2) CPT (STATICKI PENETRACION TEST)

3) Džepni penetrometar

32

## DUBINSKA ISTRAŽIVANJA I UZIMANJE UZORAKA IZ BUŠOTINE

\* Sondažne jame  $\rightarrow h_{\max} = 6\text{m}$  [4 ÷ 5m]

Izvode se ručno ili mašinski, pri čemu jedna strana iskopa obezbeđuje pristup, a ostale su strane i po potrebi se podgrađuju.

Ovom metodom moguće je izvršiti vizuelni pregled granice slojeva i prirode tla. Za sitnozrna tla može se koristiti džepni penetrometar ili minijaturna rečna sonda.

Moguće se dobiti poremećeni i neporemećeni uzorci.

\* Sondažni bunari  $\rightarrow$  Kopanje do 15-20m sa obaveznom podgrađivanjem. Radovi na iskupu neekonomični, pa se zato radi relativno retko (kod većih objekata).

\* Sondažni zasjeci, potkopi i galerije  $\rightarrow$  Služe za definisanje granica slojeva, vrste i stanja tla u horizontalnom pravcu. Dubina iskopa može biti značajna, uz podgrađivanje ako to stabilnost nagnutog terena zahteva.

\* Sondažne bušotine  $\rightarrow$  najčešći oblik radova, izvodi se:

- ručnom sondažnom aparaturom (svrdla i šipke, ručna garnitura sa tripodom za učvršćivanje bušenja);
- mašinskom sondažnom aparaturom (udarno i rotaciono bušenje sa jezgrovanjem).

Bušotine se koriste za:

- $\rightarrow$  uzimanje poremećenih i neporemećenih uzoraka
- $\rightarrow$  određivanje NPV (pištoljnom ili el. meraćem)
- $\rightarrow$  određivanje hemijskog sastava i agres. vode u tlu
- $\rightarrow$  merenje pornog pritiska pomoću pjezometara

Pored ovih istraživanja postoje još i:

- $\rightarrow$  SPT
- $\rightarrow$  CPT
- $\rightarrow$  Opit stišljivosti metodom probnog opter. kružnom pločom na dno bušotine
- $\rightarrow$  opit pomeranja u tlu pomoću inklinometra

(Sledeće pitanje)

\* Uzimanje uzoraka:

Uzorci  $\rightarrow$  poremećeni (narušena struktura i vlažnost, isti gran. sastav... uzimaju se iz sondažnih jama, bušotina i neporemećeni sa aparata za bušenje (uzimaju se ručno ili utiskivanjem udarcima ili kontinualnim stat. pritiskom)



### 33. VRSTE UZORAKA, UZIMANJE, PAKOVANJE I TRANSPORT

Postoje dve vrste uzoraka:

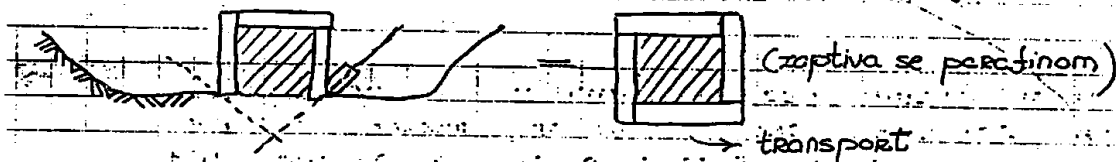
- ① poremećeni
- ② neporemećeni

① Poremećeni uzorci zadržavaju isti gran. sastav, dok im se struktura, a najčešće i vlažnost, mijenjaju. Koriste se za terensku identifikaciju, lab. klasifikaciona ispitivanja i opite zbijanja.

Uzimaju se iz sondaznih jama i bušotina, kao i sa ravnata za bušenje.

② Neporemećeni uzorci su oni koji i nakon vađenja zadržavaju svoju strukturu, gran. sastav, vlažnost, poroznost...

Uzimaju se ručno, i oblike su kocke ili cilindra.



Cilindrični uzorci dobijaju se utiskivanjem tankozidnih cilindara, potrebnih dim., udarima ili dejstvom kontinualnog pritiska.

Nakon čega se tako izvađen uzorak zatvara sa gornje i donje strane, sa potrebnim označavanjem koja se odnose na: mesto, vreme, dubinu i bušotinu odakle je uzorak izvađen.

\* Pri transportu ne sme doći do oštećenja ili biti izložen svetlosti i toploti.

### 34. ISTRAŽNI RADovi ZA POTREBE FUNDIRANJA MOSTA

Budući da je za masovne konstrukcije karakteristično veliko koncentrisano opt. na njihovim stopama, to se u najvećem broju slučajeva radi: fundiranje na šipovima. Zbog toga se od istr. radova najčešće primenjuju istražne bušotine. tako, za šipova = 10m  $\Rightarrow$  h bušotina = 15-30m... Dubina bušotina može da dosegne 30-50m i prvo se radi na većem rastojanju, a po potrebi to rastojanje se smanjuje. Od opita SPT se spruadi kod svih bušotina, a CPT obavezno kod fundiranja na šipovima.





35.

## ISTRAŽNI RADOVI ZA POTREBE PUTOGRADNJE

Naponi u tlu usled opterećenja od saob. konstrukcije i saob. opt. prostire se u dubinu do 3m, zbog toga je dovoljno od istražnih rade sandažne jame do te dubine, na rastojanju od 50 do 500m. Najpre ređe, a zatim po potrebi na većoj gustini.

Prvo se određuje redosled i debljina slojeva, zatim NPV, kao i varijacije istog (postavljanjem pjezometara). Na uzorcima koji se izvedu, radi se identifikacija i klasifikacija, pa se na osnovu ovih sprovode sve ostale istraživanja.

36.

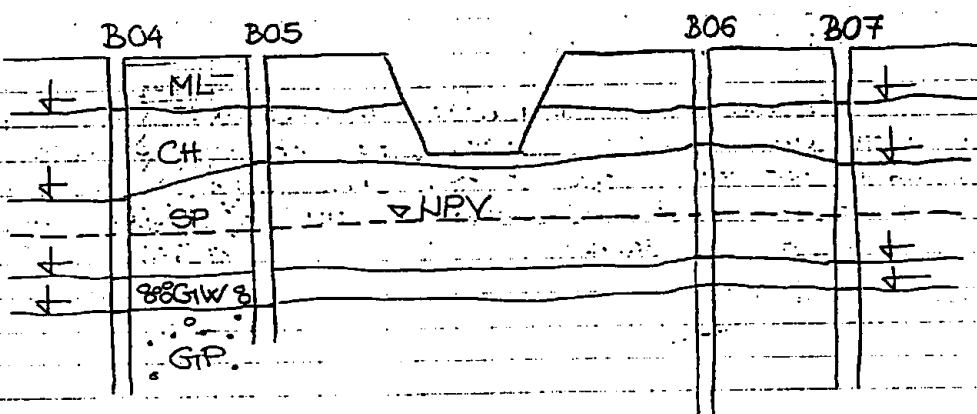
## ISTRAŽNI RADOVI ZA POTREBE FUNDIRANJA INDUSTRIJSKE HALE

Hale se najčešće rade na stubovima, na međusobnom odstojanju od oko 30-90m, naponi u tlu se prostiru do 2x širina temeljne stope stuba, zbog čega se od radova sprovode uglavnom pliće bušotine, do 10m. A ispitivanja na horizontalnom odstojanju od objekta, svega 5-6m.

37.

## ELEMENTI GEOTEHNIČKOG PROFILA, NAČIN PRIKAZIVANJA

Geotehnički profil terena predstavlja skup međusobno povezanih rezultata dobijenih iz više bušotina na jednom terenu, usled čega se dobija jasna predstava sastava tog terena, kao i položaja, pravca rasprostiranja i debljine slojeva, koji se inače obeležavaju oznakama jedinstvene klasifikacije.



# OPTI. STATIČKE PENETRACIJE [CPT]; STANDARDNI PENETRACIONI OPT. [SPT]

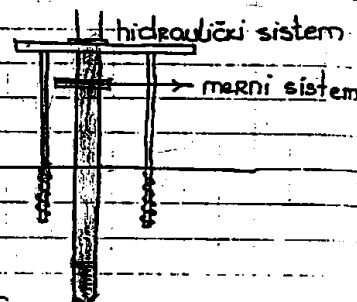
\* CPT-om se mjeri otpor koji tlo pruža pri utiskivanju konusnog vrha penetrometra sa uglom od  $60^\circ$  i površinom projekcije baze konusa od 10-15 cm<sup>2</sup>.

Mjerna veličina penetrometra ima dimenziju napora i označava se sa  $q_c$ ; pri čemu je poznat brzina utiskivanja i iznosi 2 cm/s.

Sam penetrometar se sidri spiralnim ankerima i ima karakteristike tankog šipa, zbog čega je ovaj opt. neizbežan kod istovrsnih radova za fundiranje objekata sipovima.

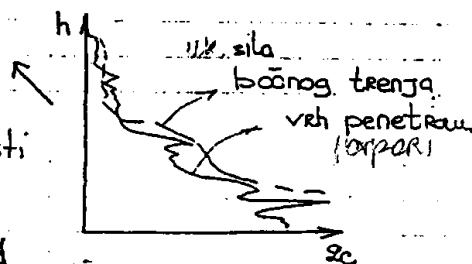
Postoji više vrsta penetrometara, pri čemu neki od njih pored otpora vrha mogu da mjeru bočno trenje po okolaju cevastih šipke, na osnovu čega se može izvršiti procena vrednosti smičućih napora koji deluju po obodu cevi.

Kod tvrdih gline, šljunka i krupnozrnih tla opt. nije moguć jer naponi u takvom tlu prevazilaze kapacitet penetrometra koji iznosi od 10-20 tona. CPT rezultati se kombinuju sa ostalim ispitivanjima radi dobijanja tačnijih podataka.



\*

SPT opt. izvodi se u bušotini, pri čemu se na niz bušaćih šipki umesto alata namjesti penetraciona kašika, koja ima oblik debelo-zidnog cilindra. Opt. se sastoji u brojanju udara: udarcima težine 63,50 kg sa visine od 76 cm da bi se postiglo peckiranje kašike u 3. nivoa od po 15 cm, pritom se broj udara iz prvog sloja ne uzima, jer na njega u velikoj mjeri utiče poremećenost tla, a konačan rezultat predstavlja zbir preostala dva broja. Pored ovog podatka, potrebno dostaviti podatke o mestu i vremenu bušenja, NPV-u i naravno klasifikaciji uzorka koji je izvađen iz same penetracione kašike.



Važan faktor koji utiče na broj udara  $N$  je energetska efikasnost udara malja.  $\frac{N_{stv}}{N_{teor}} = 55 \div 60\%$ , zbog čega se za relevantan podatak usvaja  $N_{teor}$  efikasnost od 60% ( $N_{60}$ ), a zatim se vrši korekcija istog za efektivne normalne vertikalne naponne od 100 kPa, po formuli:

$$C_N = \frac{2}{1 + p_0'/100}$$

za sitnozrna tla

$$C_N = \frac{3}{2 + p_0'/100}$$

za krupnozrna tla

$$\Rightarrow N_1^{(60)} = C_N \cdot N_{60}$$

39

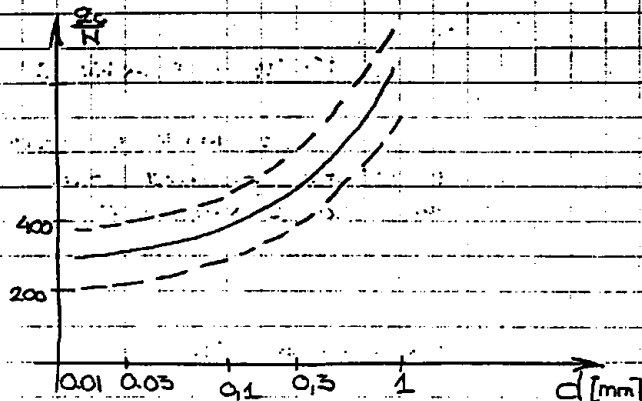
## KORELACIJE REZULTATA CPT-a i SPT-a

Iz čistih G i S moguće je uzeti poremećeni uzorak za identifikaciju (samo), dok se stježe zbijenosti od koje zavise parametri čvrstoće i deformabilnosti ispituju CPT-om i SPT-om.

Kao rezultat prvog dobija se napon otpora:  $q_c$  pri utiskivanju vrha konusa penetrometra, a kao rezultat drugog dobija se broj udara  $N$  potreban da pen. kosa prođe u dva sloja od po 15 cm.

Između ovih rezultata uspostavljena je empirijska korelacija i drugačija je od mat. do materijala.

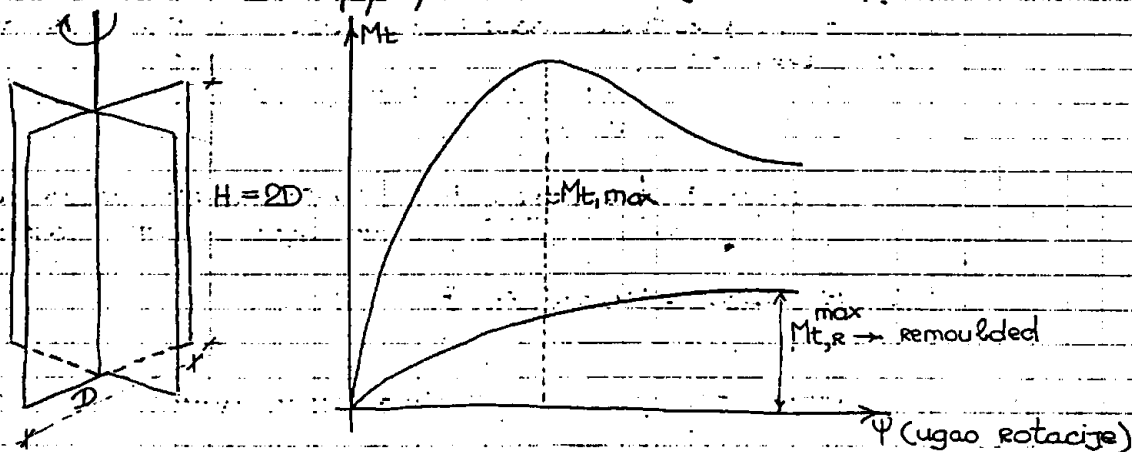
$G_i \rightarrow q_c = 800 \text{ N}$   
 $S \rightarrow q_c = 400 \text{ N}$   
 $(MC) \rightarrow q_c = 200 \text{ N}$



40

## KRILNA SONDA → NAČIN SPROVOĐENJA OPITA, REZULTATI I PRIMENLJIVOST

Opit krilnom sondom koristi se za određivanje nedrenirane smič. čvrstoće, neispucalih i potpuno zasćenih glina, kao i za žitke, meke i vrlo meke gline ( $I_c < 0.25$ ) čija se struktura može narušiti već u samoj pripremi i uzimanju uzoraka.



Max vrednost momenta torzije je u ravnoteži sa graničnom vrednošću smič. čvrstoće po bazama i omotaču.

$$M_{t,max} = D \pi H \times c_u \times \frac{D}{2} + 2 \sqrt{\frac{D^3 \pi}{4}} \times c_u \times \frac{D}{2}$$

$$\rightarrow M_{t,max} = c_u D^2 \pi \left[ \frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right] \rightarrow c_u = \frac{M_{t,max}}{D^2 \pi \left( \frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right)}$$

→ nedrenirana kohezija

Ukoliko se utvrdi, da li nastaju sa probiranjem krilaca, dolazi do promjene strukture i velike del. tla. Nakon toga se meri ponovo otpor koji tlo pruža, kao rezultat se dobija nedrenirana kohezija prerađenog tla  $c_{ur}$ .

$$St = \frac{c_u}{c_{ur}} = \text{sensitivnost} \quad (\text{pri istoj vlažnosti uzorka})$$

$$St = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{neosetljiva} \\ 1-2 \rightarrow \text{malo osetljiva} \\ 2-4 \rightarrow \text{srednje} \\ 4-8 \rightarrow \text{osetljive} \\ > 8 \rightarrow \text{veoma osetljive} \end{cases}$$

## 41. DARCY-JEV ZAKON FILTRACIJE

Do kretanja vode u tlu dolazi usled razlike  $\Pi$  nivoa u dvema posmatranim tačkama, pri čemu se voda kreće sa mesta većeg pijezometričkog nivoa (odnosno pritiska) ka manjem.

\* Darcy's zakon filtracije glasi:  
Količina vode  $Q$  koja protekne kroz pop. pres. površine  $A$  upravo je srazmerna hidrauličkom gradijentu  $i$ :

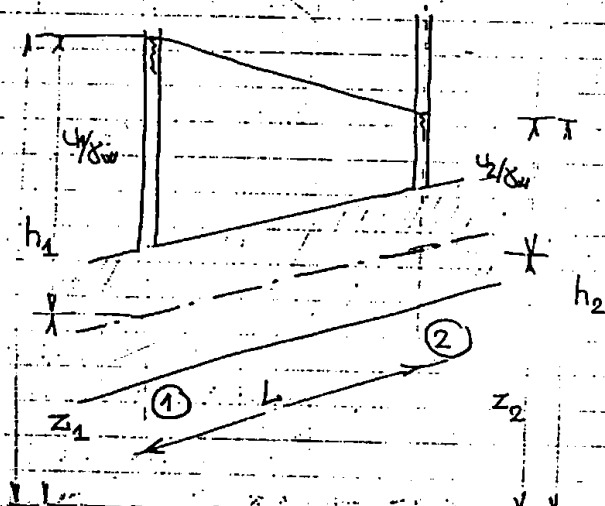
$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

$$\Rightarrow Q = K \frac{h_1 - h_2}{L} \times A = KiA$$

gdje je  $K \rightarrow$  koef. vodopropusnosti (filtracije) i ima dim. brzine  $[m/s]$  pri čemu je

$U = Ki \rightarrow$  diktivna brzina filtracije zbog pretpostavke da se voda kreće kroz ceo pop. pr.

$$U_{stv} = \frac{1}{n} U_{siktivna} \rightarrow U_{stv} > U_{fik} \text{ zbog proticaja kroz smanjeni pop. pr. (župetine)}$$



## 42. METODE ODREĐIVANJA K

Koef. filtracije je teško izračunati, budući da isti zavisi od velikog broja faktora (temp. vazduha, veličine, oblika i rasporeda zrna, poroznosti...) stoga je on za većinu mat. empirijski određen iz:

$$K = \frac{Q}{iA} \quad ; \quad Q \text{ se meri, a } A \text{ i } i \text{ se definišu vrstom opita i uprskature.}$$

U tu svrhu postaje dve vrste opita:

① Opit sa konstantnim pritiskom

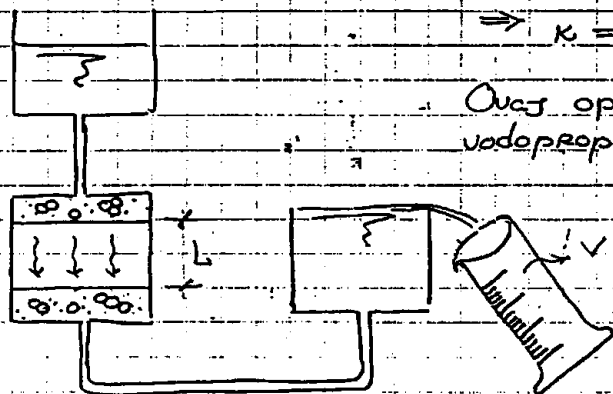
② Opit sa opadajućim pritiskom

## 13. ISPITIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA SA KONSTANTNIM PRITISKOM

Uzorak se stavlja u cilindar dužine  $L$  i prečnika  $D$ , voda teče pod  $p = \text{const}$ , visine stuba  $h = \text{const}$ . Zapremina vode koja proteče u toku vremena  $t$  meri se u menzuri, nakon čega se računa protok kao  $Q = \frac{V}{t}$ .

$$\Rightarrow k = \frac{Q \times L}{h \times A}$$

Ovaj opit se koristi za tla sa većom vodopropusnošću.



## 14. ISPITIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA SA OPADAJUĆIM PRITISKOM

Opit se upotrebljava za određivanje  $k$  kod slabo propusnih tla (prašine, i gline)

Voda teče pod početnim pritiskom visine stuba  $h_0$ , za vreme  $t$ , u bireti poznate površine pop pr., taj nivo će se spustiti do  $h_1$ , pa pošto je  $h = h(t)$ , Darcy zakon se može izraziti u obliku DJ:

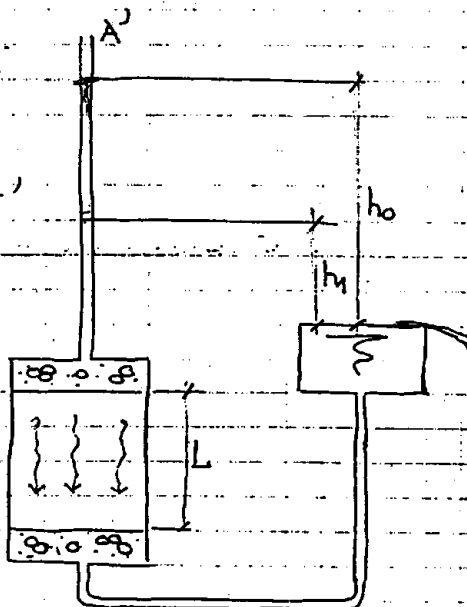
$$Q = \frac{V}{t} = -A' \frac{dh}{dt} = k \frac{h}{L} A$$

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

$$-\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \int_0^t \frac{k A}{L A'} dt$$

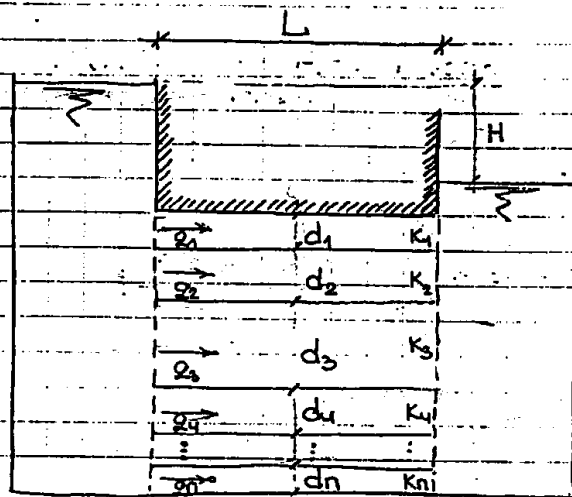
$$-\ln(h) \Big|_{h_0}^{h_1} = \frac{k A}{L A'} t$$

$$\Rightarrow k = \frac{A^2 L}{A' t} \times \ln \frac{h_0}{h_1}$$



## 45. VODOPROPUSNOST HORIZONTALNO USLOJENOG TLA U HORIZONTALNOM PRAVCU

Razmatranje vodopropusnost tla u različitim pravcima: je vrlo čest slučaj zbog velike zastupljenosti sedimentnih tla u prirodi



$q_i \rightarrow$  protok kroz pojedine slojeve

$$q_1 = k_1 \times \frac{H}{L} \times d_1 \quad [l/m^2]$$

$$q_2 = k_2 \times \frac{H}{L} \times d_2$$

$\vdots$

$$q_n = k_n \times \frac{H}{L} \times d_n$$

$$Q = k_x \times \frac{H}{L} \times \sum d_i = k_x \times \frac{H}{L} \times D$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \frac{H}{L} (k_1 d_1 + k_2 d_2 + \dots + k_n d_n)$$

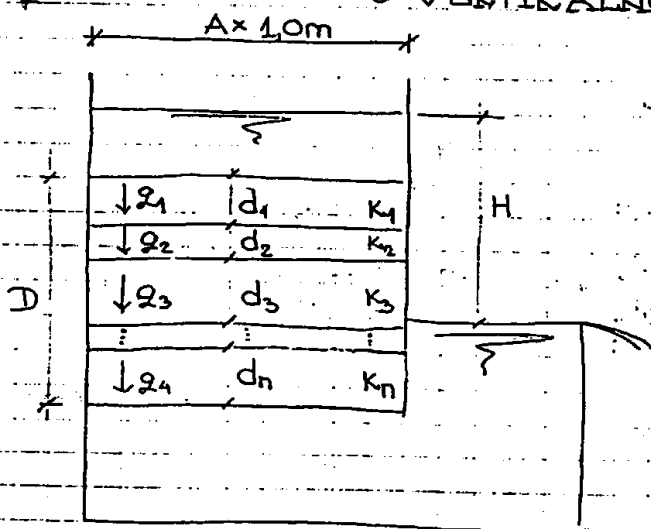
$k_x \rightarrow$  ekvivalentni koef. filtracije

$$k_x \times \frac{H}{L} \times D = \frac{H}{L} (k_1 d_1 + k_2 d_2 + \dots + k_n d_n)$$

$$k_x = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^n k_i d_i$$

( $k_x = k_{x \max}$ )

## 46. VODOPROPUSNOST HORIZONTALNO USLOJENOG TLA U VERTIKALNOM PRAVCU



$$q_1 = q_2 = \dots = q_n = Q$$

$$q_1 = k_1 \times \frac{h_1}{d_1} \times A \rightarrow h_1 = \frac{Q}{A} \frac{d_1}{k_1}$$

$$q_2 = k_2 \times \frac{h_2}{d_2} \times A \rightarrow h_2 = \frac{Q}{A} \frac{d_2}{k_2}$$

$\vdots$

$$q_n = k_n \times \frac{h_n}{d_n} \times A \rightarrow h_n = \frac{Q}{A} \frac{d_n}{k_n}$$

$$H = \sum_{i=1}^n h_i = \frac{Q}{A} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}$$

$$Q = k_z \times \frac{H}{D} \times A \rightarrow \frac{Q}{A} \frac{D}{k_z} = \frac{Q}{A} \sum \frac{d_i}{k_i}$$

$k_z \rightarrow$  ekvivalentni koef. filtracije;

$$\frac{Q}{A} \frac{D}{k_z} = \frac{Q}{A} \sum \frac{d_i}{k_i}$$

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

$k_z = k_{z \min}$

# FAKTORI KOJI UTIČU NA VODOPROPUŠNOST TLA

Postoji 5 faktora koji značajno utiču na vrijednost koef.  $k$ :

① Veličina zrna  $d$ :

$$k = f(d^2)$$

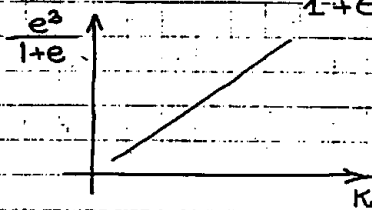
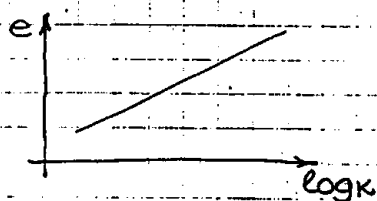
Po Hazenu, za rastresite uniformne peskove:

$$k = (100 \div 150) d_{10}^2$$

② Koef. poroznosti  $e$ :

$$k = f(e)$$

za C:  $\log k = \log k_0 + b(e - e_0)$ ; za S i G:  $k = a \frac{e^3}{1 + e}$



③ Viskozitet tečnosti koji zavisi od temperature  
Usvajeno  $k = k(t = 20^\circ)$

$$k_{20} \times \eta_{20} = k_t \times \eta_t$$

$$k_t = k_{20} \times \frac{\eta_{20}}{\eta_t}$$

$t^\circ$	30	20	15	10	5
$\frac{\eta_{20}}{\eta_t}$	1.25	1	0.87	0.77	0.66

④ Oblik, raspodela i međusobna povezanost zrna

Ovaj faktor se teško može kvantifikovati

⑤ Količina vazduha ili gase u porama:

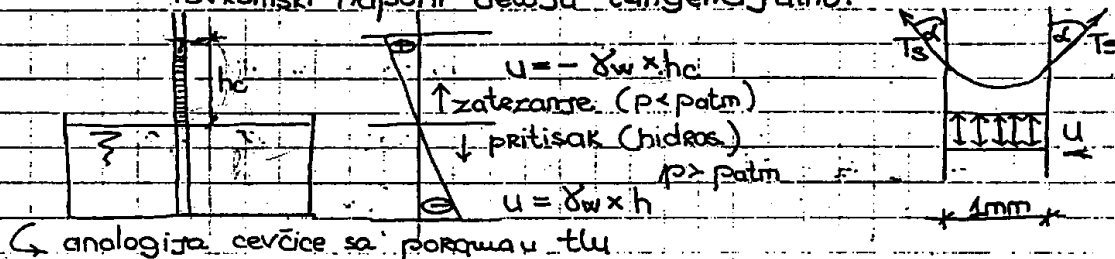
Količina vazduha smanjuje efektivnu površinu protoka, pa se time smanjuje i vodopropustljivost tla.

48.

# KAPILARNI PENJANJE VODE U TLU, RED VELICINE VISINE ISTOGI

Usled postojanja površinskih napona zatezanja  $T_s$  [kN/m] u kontaktnoj zoni vazduha i vode, dolazi do pojave kapilarnih sila u porama tla koje se nalaze iznad NPV-a, pa u zavisnosti od njihovog inteziteta, u toj delu tla u manjoj ili većoj meri postoji voda.

Površinski naponi deluju tangencijalno.



$$dT \times Ts \cos \alpha + \frac{d^2 \pi}{4} \times u = 0$$

$$u = \frac{4Ts \cos \alpha}{d} = \gamma_w \times hc$$

$$hc = \frac{4Ts \cos \alpha}{d \gamma_w} ; Ts \cos \alpha \approx 7 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

ZONA DELINIČNOG ZASIĆENJA

ZONA KAPILARNOG PENJANJA

NPV

potpuno zasićeno

Prosečne vrednosti:

$$G \rightarrow hc < 5 \text{ cm}$$

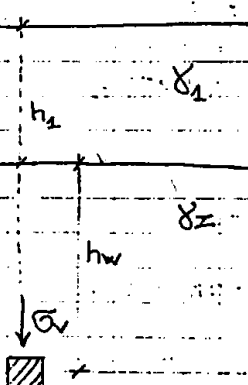
$$S \rightarrow hc \in [5 \text{ cm}, 1 \text{ m}]$$

$$M \rightarrow hc \in [1 \text{ m}, 10 \text{ m}]$$

$$C \rightarrow hc \in [10 \text{ m}, 35 \text{ m}]$$

49.

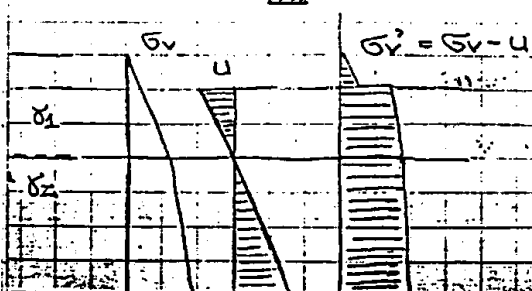
## GEOSTATIČKI NAPONI U TLU - HORIZONTALAN TEREN SA NIVOOM PODZEMNE VODE



Voda u porama potpuno zasićenog tla nalazi se pod pritiskom  $u = h_w \times \gamma_w$ . Ukoliko postoji kapilarno penjanje, u u tlu porama je negativan  $u_{hc} = -hc \times \gamma_w$ .

Ukupan (totalni) vertikalni napon  $G_v$  je jednak je zbiru težine stuba tla i pornog pritiska vode.

$$G_v = \gamma_1 h_1 + \gamma_w h_w$$



Efektivni naponi dobijaju se kao razlika totalnih napona i pornog pritiska.

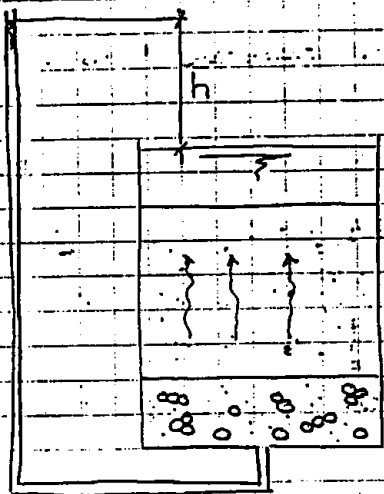
$$G_v' = G_v - u = \gamma_1 h_1 + \gamma_z h_w - \gamma_w h_w = \gamma_1 h_1 + (\gamma_z - \gamma_w) h_w$$

$$G_v' = \gamma_1 h_1 + \gamma^s h_w$$





# JEDNODIMENZIONALNO KRETANJE VODE NAVIŠE. (4-5) KRITIČNI GRADIJENT



$$\bar{\sigma}_v = h_1 \gamma_w + h_2 \gamma_z$$

$$u = (h_1 + h_2 + h) \gamma_w$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_v' = \bar{\sigma}_v - u =$$

$$= h_1 \gamma_w + h_2 \gamma_z - (h_1 + h_2 + h) \gamma_w =$$

$$= h_2 \frac{(\gamma_z - \gamma_w)}{\gamma'} - h \gamma_w =$$

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

Es. napon je prosečan  
napon između zrna



Izg.  $\bar{\sigma}_v' = 0 \rightarrow$  nema kontakta među zrnima.  
 $\rightarrow$  dolazi do pojave ključanja  
tla

$$\Rightarrow h_2 \gamma' - h \gamma_w = 0 \rightarrow \frac{h}{h_2} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \approx 1$$

$h/h_2 = i_{cr} \rightarrow$  kritični gradijent



## JEDNODIMENZIONALNO KRETANJE NANIŽE, $\bar{\sigma}_v \wedge \bar{\sigma}_v'$

Totalni napon:

$$\bar{\sigma}_v = h_1 \gamma_w + h_2 \gamma_z$$

Porni pritisak:

$$u = (h_1 + h_2 - h) \gamma_w$$

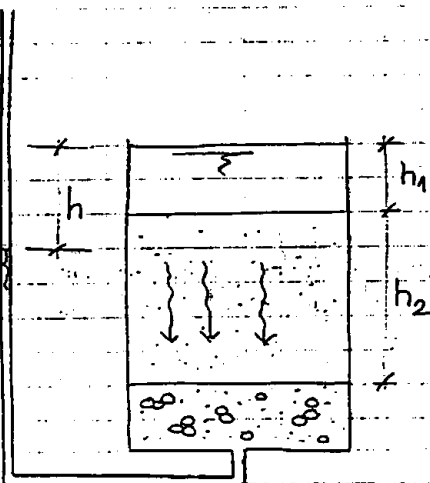
Efektivni:

$$\bar{\sigma}_v' = \bar{\sigma}_v - u =$$

$$= h_1 \gamma_w + h_2 \gamma_z - (h_1 + h_2 - h) \gamma_w =$$

$$= h_2 \frac{(\gamma_z - \gamma_w)}{\gamma'} + h \gamma_w =$$

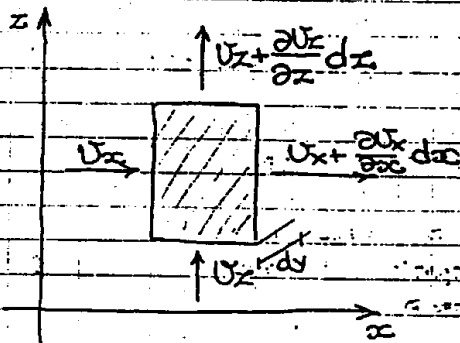
$$= h_2 \gamma' + h \gamma_w$$



\* Efektivni naponi u tlu su veći ukoliko postoji  
filtracija vode naniže.

## 52) DIF. J-NA FILTRACIJE

Zbog promjene brzine i gradijenta po prostoru, filtraciju vode nije moguće prikazati Darcy-ovim zakonom, već samo Dž-ma.



$$U_x = k \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$U_z = k \frac{\partial h}{\partial z}$$

Posmatramo elementarni delić, dimenzija  $dx \times dz$ .

Protok kroz ovaj element je:

$$\begin{aligned} U_x dx dy + U_z dz dy &= \\ &= \left( U_x + \frac{\partial U_x}{\partial x} dx \right) dy dz + \left( U_z + \frac{\partial U_z}{\partial z} dz \right) dx dy \\ &\Rightarrow \left( \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) dx dy dz = 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0 \rightarrow \text{J-na filtracije (Nestišljiv skelet tla)}$$

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = \frac{dv}{dt} \rightarrow \text{J-na konsolidacije (Stišljiv skelet tla)}$$

$$u = \gamma_w (\pi - z)$$

## 53) STRUJNA MREŽA I PRINCIPI KONSTRUISANJA

Strujna mreža se <sup>predstavlja približno kvadratnu</sup> mrežu dvije familije krivih → strujnice i ekvipotencijala.

F-ja potencijala  $\phi(x, y)$  je ona za koju važi da za određenu vrednost  $\phi_1 = \text{const.}$  predstavlja liniju sa  $\Pi = \text{const.}$  odnosno ( $i = \text{const.}$ )

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = U_x \quad \wedge \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = U_y$$

Strujna f-ja  $\psi(x, y)$ , je takođe f-ja za koju važi da se tangenta u tački  $\psi = \psi_1 = \text{const.}$  poklapa sa pravcem brzine i toka, te na taj način ona, ustvari, opisuje pravac strujanja, tj. kretanja vode.

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -U_y \quad \wedge \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = U_x$$

Principi konstruisanja:

\* Najpre se odredi domen i granični uslovi, zatim usvoji referentni uzvodni nivo vode.

Pri konstruisanju se uopće ne poštuju sledeća pravila:

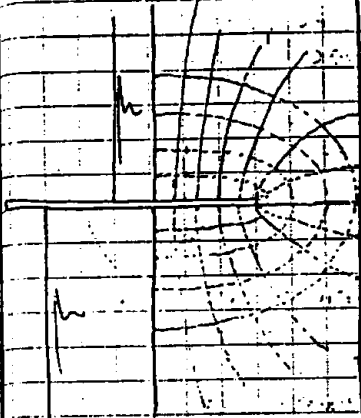
(1) Dvije strujnice/ekvipotencijale se ne smeju sresti niti susticati

(2) Pad pizometarske linije između dve ekvipot. je konstantan

(3)  $Q$  između dve strujnice je konstantan

(4) Brzina je obrnuto prop. širini kanala  $\rightarrow$  rastojanje između dve strujnice

(5) U homogenoj, izotropnoj sredini strujnice i ekvipotencijale su ortogonalne jedna na drugu (posledica: Koši-Riemannovih uslova)



## (54) STRUJNA MREŽA I ODREĐIVANJE $Q$

\* Prvi dio (53) pitanja = strujna mreža

\* Određivanje  $Q$ :

$N_f \rightarrow$  broj kanala

$N_e \rightarrow$  broj intervala podova između ekvipotencijala

$H \rightarrow$  razlika nivoa između prve i poslednje ekvipot.

$\Delta h \rightarrow$  razlika nivoa između dve susjedne ekvipot.  $\rightarrow \Delta h = \frac{H}{N_e}$

$$Q = \sum_{i=1}^{N_f} q_i = N_f \times \Delta q; \quad \Delta q = \text{const}$$

$$\Delta q = K \frac{\Delta h}{\Delta s} \times \Delta h; \quad \text{za kvadratnu mrežu } \Delta n \approx \Delta s$$

$$\Delta q = K \Delta h$$

$$Q = N_f \times K \Delta h \Rightarrow \boxed{Q = K^H \frac{N_f}{N_e}}$$

## (55) STRUJNA MREŽA I ODREĐIVANJE PORNOG PRITISKA

\* Prvi dio (53) pitanja = strujna mreža

Neka se tačka  $P$  nalazi unutar strujne mreže.

$n_e \rightarrow$  broj ekvipotencijala na kojima se  $P$  nalazi

$$h_p = n_e \Delta h = n_e \frac{H}{N_e} = \frac{n_e}{N_e} H$$

Porni pritisak:  $u = \gamma_w (\Pi - z_p)$ ;  $z_p < 0$  (ispod referentnog nivoa)

$$u = \gamma_w (h_p + |z_p|)$$

56

## PJEZOMETAR - VRSTE I PRINCIPI MERENJA

Nivo podzemne vode i rasporeda pornih pritiska, predstavljaju neophodne podatke pri rešavanju bilo kog geo-mehaničkog problema. Isti se mere pjezometrijski, ugrađenim u bušotine.

Tip i konstrukcija pjezometra zavisi od uslova u kojim se meri. Tako, postoje:

- 1) Otvoreni pjezometri, koji nemaju veliku osetljivost podizanja nivoa u cevi usled podizanja nivoa vode u tlu. Zbog toga se, uglavnom, koriste za tla sa većom vodonopustljivošću. Sastoji se od čelične ili PVC - cijevi koja se spušta u bušotinu. Njen krajnji deo je perforisan, a iznad njega postoji zona zaptivanja, koja obezbeđuje stalnost i tačnost rezultata, koliko to aparatura omogućava, uz pretpostavku da je sloj homogen i da se pritisci menjaju linearno po visini (pretpostavka  $\leftrightarrow$  opravdanost).
- 2) Pjezometri, koji u kombinaciji sa manometrom čine zatvoren sistem i služe za merenje u NPV u malopropusnom tlu.

Dalja podela  $\rightarrow$  ① hidraulički  
 $\rightarrow$  ② pneumatski  
 $\rightarrow$  ③ električne

- ① za merenje pornog pritiska u nasutim branama. Pjez. element je od porane keramike sa dve cevi, što omogućava eliminisanje vazduha iz sistema.
- ② sastoji se od dve cevi. Pri merenju, na kraju jedne cevi nanosi se pritisak gasa i meri se upravo ta veličina pritiska koja je potrebna da otvori ventil izložen pornom pritisku.
- ③ meri deformacije elastične membrane, izložene pritisku vode. Deformacija se pretvara u signal pomoću merne trake ili promene el. otpora na merenom uređaju.

57

## FILTERSKA PRAVILA, ZONIRANI FILTRI

Izlazno područje filtracije, ne sme biti nezaštićeno, jer je ono najosetljivija tačka na kojoj nastaje odnošenje mat. i regresivna erozija, što, u krajnjem, može dovesti do rušenja nasipa.

Zbog toga se za drenžni mat. bira onaj koji svojim gran. sastavom mora da zadovolji dve konfliktne uslova:

1° Veličina pora između zrna mora da bude tolika da čestice branjene zone ne mogu da prođu kroz njih.

2° Vodopropustljivost istog silura da bude dovoljno velika da obezbedi efikasno i brzo odvođenje vode iz branjene zone.

Ovi uslovi se zadovoljavaju empirijskim ispitivanjem filterskih pecula, koje su pojedinačno različite za svaki mat.

$D \rightarrow$  veličina zrna filtera.

$d \rightarrow$  veličina zrna branjenog materijala.

$$1.10. \quad \frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$$

$\rightarrow$  15% branjenog mat je veće od efektivne veličine pora filtra (sa faktorom sigurnosti 2)

$D_{15}/5 \rightarrow$  efektivna veličina pora u filteru

$$1.20. \quad \frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$$

$$1.30. \quad \frac{D_{15}}{d_{15}} < 20$$

$$2.10. \quad \frac{D_{15}}{d_{15}} > 5 \rightarrow \text{Vodopropusnost filtera je bar } 25 \times \text{ veća od vodopr. branjenog mat.}$$

\* Filter mora da ima  $< 5\%$  sitnozrnih frakcija, a eksperimentalno je dokazano da su gran. krive filtera i branjenog mat. paralelne.

Uslov za gline:  $D_{15} < 0,40 \text{ mm}$

$$\frac{D_{50}}{D_{10}} < 20$$

Ukoliko zadovoljavanje ova 2 uslova (konfliktna) nije moguće se jednime filterima, primenjuju se završeni, kod kojih važe sledeći princip, a oblik varira od tipa objekta kod kojih se ugrađuju:

1. sloj mora da ispunji uslov neispiranja zrna

2. sloj je krupniji po sastavu i za njega prvi sloj predstavlja branjeni sloj

3. sloj (to je ujedno i max broj slojeva koji se izvodi) se u praksi često zamenjuje perforiranom cevi.

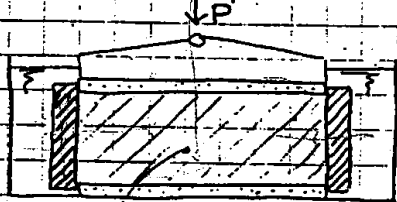
Sintetički filteri ili geotektili služe za sprečavanje iznošenja čestica, ali je njima teško obezbediti vodopropusnost. pa se koriste u kombinaciji sa prirodnim mat.

Pored toga, oni moraju da zadovolje trajnost u periodu koji je predviđen za vek trajanja objekta.

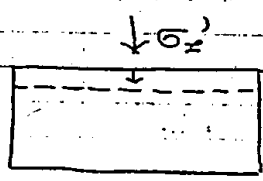
58. **EDOMETAR → APARAT I NAČIN SPROVOĐENJA OPITA**

Proces opadanja pornih pritiska, smanjenja zapremine i povećanja ef. napona, na račun istisnute vode, kada se naponi pornih pritiska prenose na skelet tla, naziva se konsolidacija.

Opit stišljivosti (konsolidacije) naziva se edometarski opit i vrši se u aparatu - edometru.



$H = 2 \text{ cm}$   
 $\phi = 6-10 \text{ cm}$



$\sigma_r = \sigma_z$

Uzorak se u aparatu izlaže kontrolisanom prirastaju napona uz sprečene bočne deformacije. Obično je plitkog cilindra i nalazi se između dvije porozne pločice koje služe za evakuaciju vode.

Kao rezultat opita dobija se veličina sleganja uzorka:

$$\bar{\epsilon}_z = \frac{\Delta h}{h}$$

Naponi se povećavaju postepeno u intervalima. Najpre se nanese 5-10 kPa radi ostvarenja kontakta između pločica i uzorka, a zatim stepenasto: 25, 50, 100, 200, 400...

Uobičajno trajanje dejstva jednog stepenika opt. je 24h

