

Predavanja iz mehanike tla
Školska 2023/24.

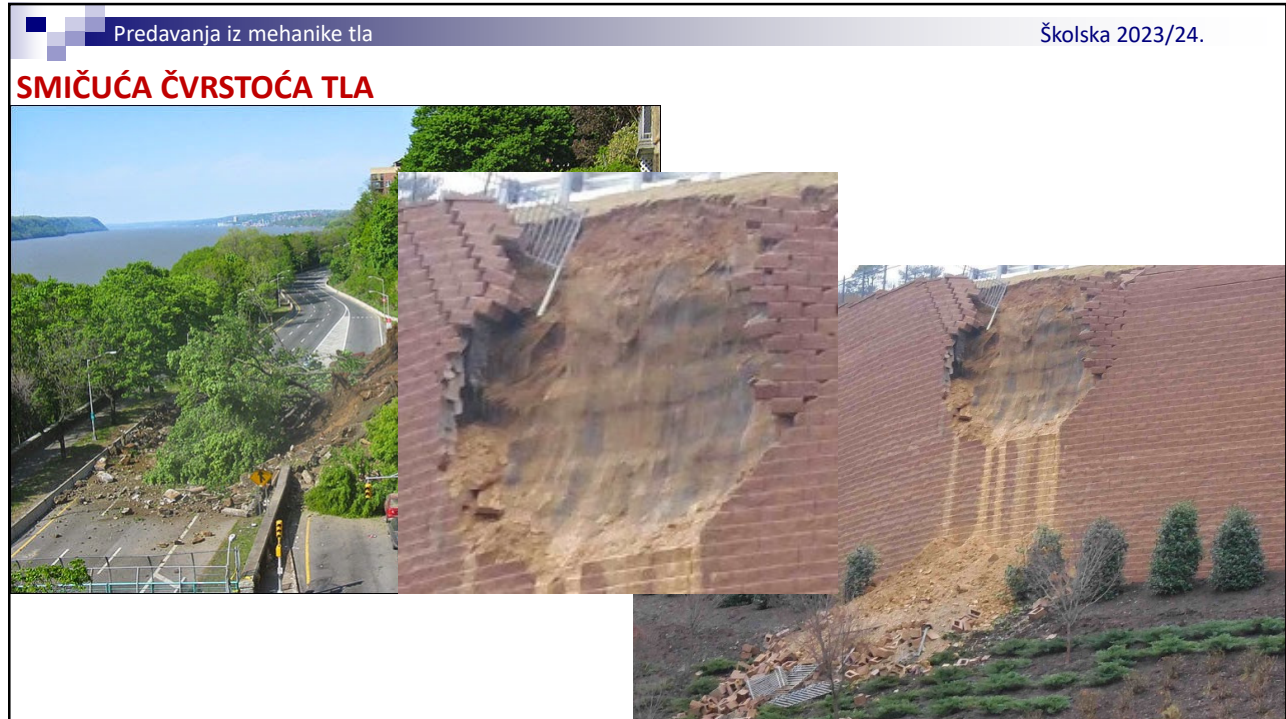
ČVRSTOĆA TLA

Predavanja iz mehanike tla

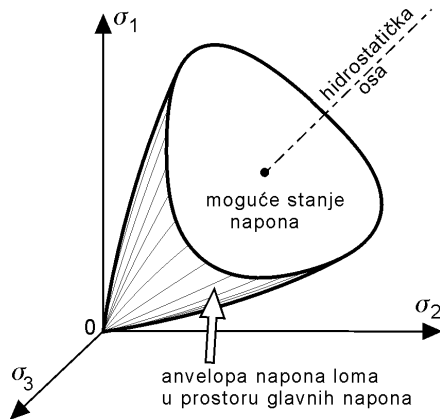
Školska 2023/24.

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA





PROSTOR MOGUĆIH STANJA NAPONA



- U trodimenzionom prostoru glavnih napona postoji delimično ograničen domen koji definiše područje mogućih stanja napona.

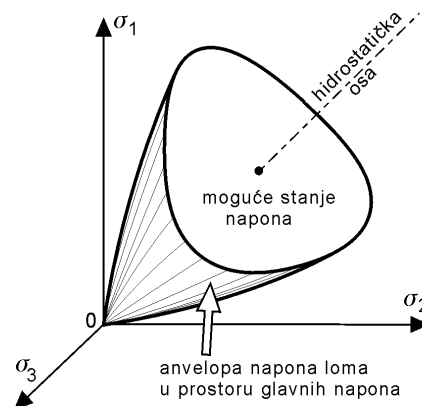
- **Anvelopa napona loma materijala** – površ u trodimenzionom prostoru glavnih napona, koja deli područja mogućih i nemogućih stanja napona

- **ANVELOPA NAPONA LOMA MATERIJALA KARAKTERIŠE ČVRSTOĆU MATERIJALA**

PROSTOR MOGUĆIH STANJA NAPONA

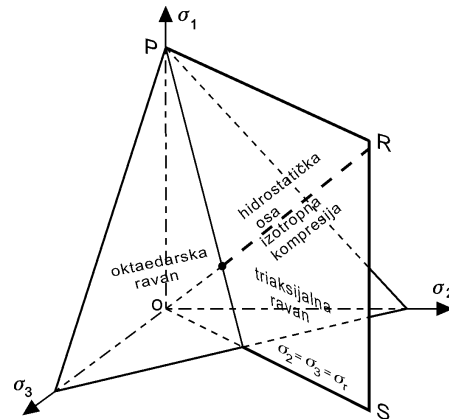
- Matematički opis prikazane anvelope napona loma tla nije sasvim jednostavan, ali za sada je dovoljno reći da u opštem slučaju ima oblik:

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$$



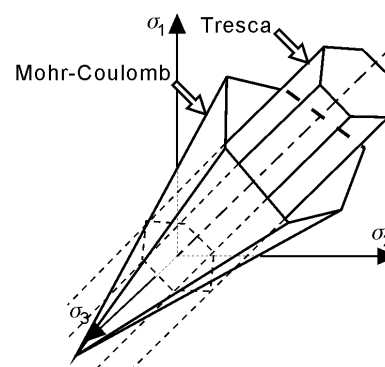
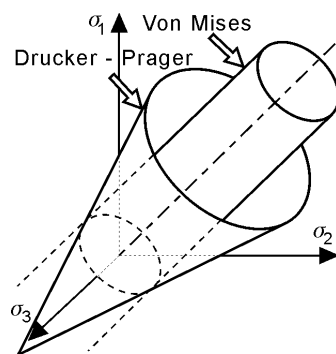
- Površ anvelope ima "vrh" u kordinatnom početku i definisana je samo u prvom oktantu koordinatnog sistema, jer tipično tlo ne može da primi napone zatezanja, po obliku asocira na kupu sa osom koja se poklapa sa glavnom dijagonalom $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, ali "izvodnice" nisu sasvim prave linije.

PROSTOR MOGUĆIH STANJA NAPONA



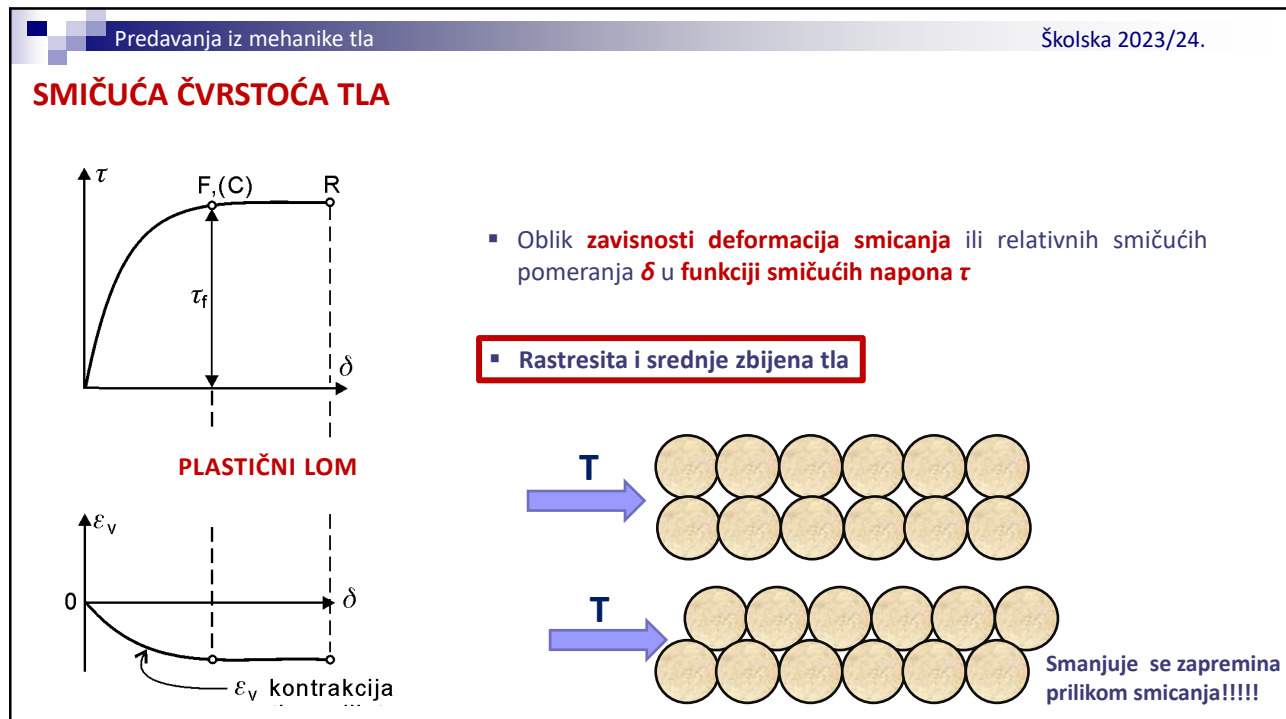
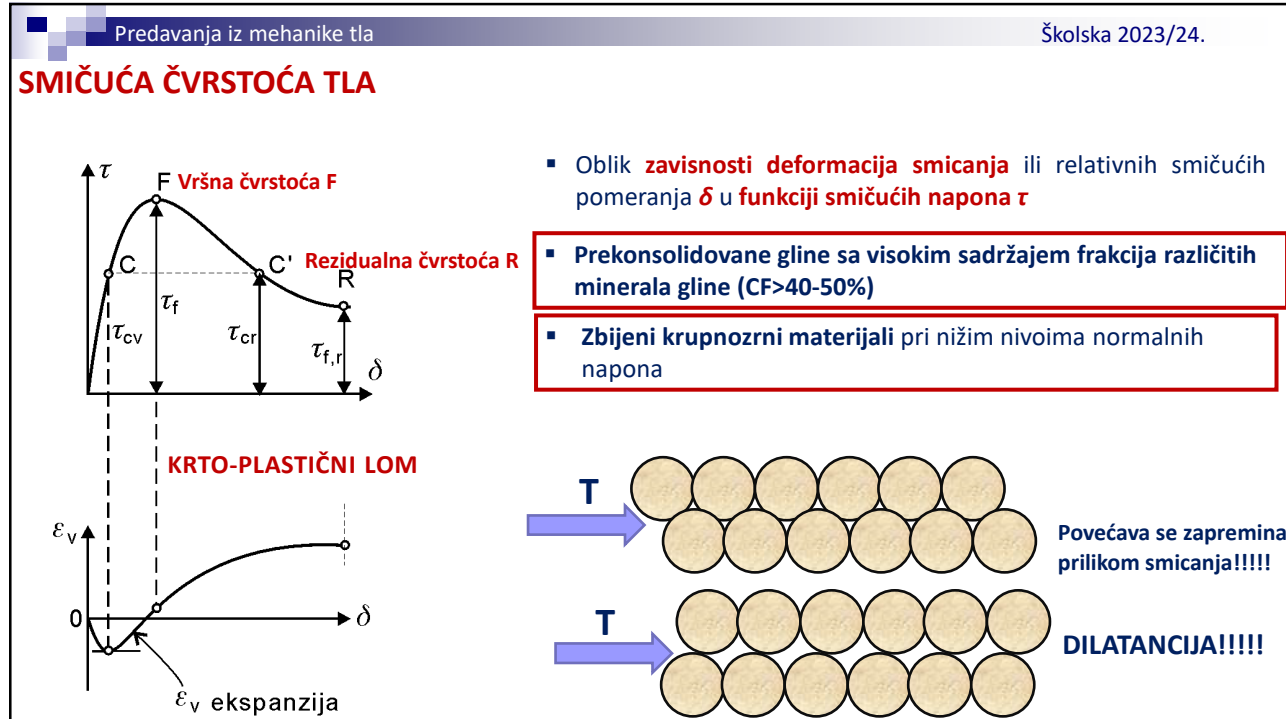
- Ravan upravna na glavnu dijagonalu se naziva **oktaedarskom ravni**, a glavna dijagonala se naziva i **hidrostatičkom osom**, jer su sva tri glavna napona definisana ovom pravom međusobno jednaka, što je karakteristično za hidrostatički pritisak.

PROSTOR MOGUĆIH STANJA NAPONA

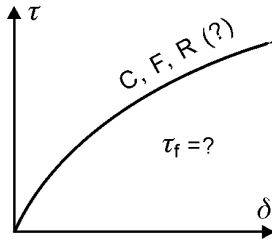


Klasične teorije loma u prostoru glavnih napona:

1. Von Mises
2. Drucker-Prager
3. Tresca
4. Mohr-Coulomb (Mor-Kulon)

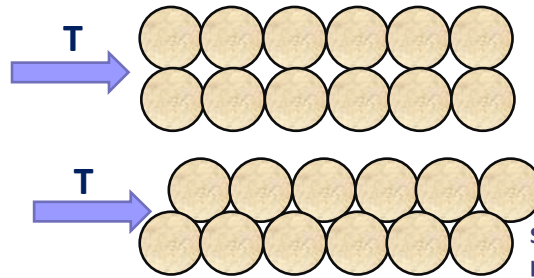
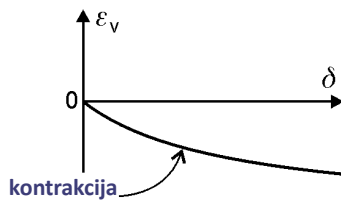


SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA



- Kada se sa porastom distorzijskih deformacija povećava smičući napon i ne dostiže se karakteristična maksimalna vrednost u ispitanom intervalu deformacija. Ovo obično znači da deformacije nisu bile dovoljno velike da bi se mobilisala sva smičuća čvrstoća tla.

ŽILAVO PONAŠANJE TLA



Smanjuje se zapremina prilikom smicanja!!!!

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

DILATANCIJA!!!



Povećanje zapremine prilikom smicanja!!!!

- Prekonsolidovane gline
- Zbijeni krupnozrni materijali

KONTRAKCIJA!!!



Smanjenje zapremine prilikom smicanja!!!!

- Normalno konsolidovane gline
- Rastresita i srednje zbijena tla

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

- JEDAN MATERIJAL DATE ZBIJENOSTI MOŽE POKAZATI CELOKUPAN NIZ OBLIKA PONAŠANJA OD KRTO-PLASTIČNOG, PREKO PLASTIČNOG, KA ŽILAVOM OBLIKU LOMA PRI PORASTU NIVOA NORMALNIH NAPONA PRI LOMU.



SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

- CILJ – odrediti smičuću čvrstoću tla!?! 



- Pre toga potrebno je opisati smičuću čvrstoću, tj. izraziti je koristeći parametre tla

- Jednačina kojom se opisuje smičuća čvrstoća naziva se ZAKON LOMA 



- Jedan od najviše korišćenih zakona loma je MOR-KULONOV zakon loma

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA**MOR-KULONOV ZAKON LOMA:**

Čvrsti materijali imaju koheziju, a na kontaktu dva materijala, pri relativnom smičućem pomeranju, se pojavljuje otpor trenja!!!

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

gde su:

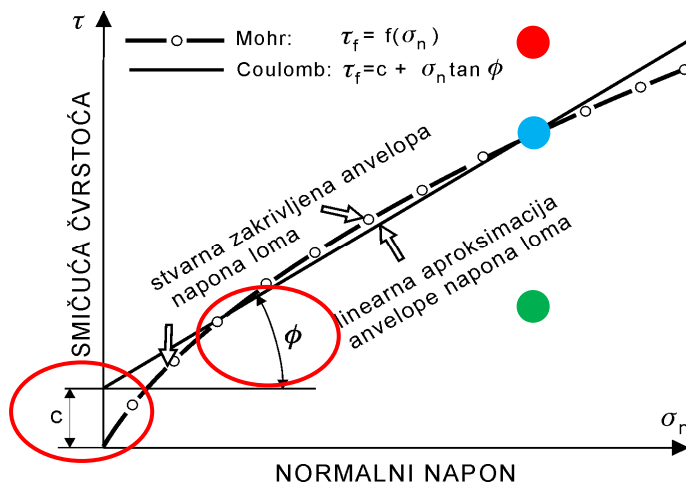
- τ_f smičući napon pri lomu – smičuća čvrstoća tla
- c' kohezija za efektivne napone,
- ϕ' ugao smičuće otpornosti (ugao trenja) za efektivne napone,
- σ'_n efektivni normalni napon koji deluje na ravan smicanja tj. ravan loma.

- Indeks f odnosi se na lom (*failure*)

- NAPOMENA: Mor-Kulon-ov zakon loma se, zbog linearnosti i relativne jednostavnosti, široko upotrebljava u praksi, iako to nije ni jedini moguć, niti najbolji, opis odnosa napona pri lomu tla!!!

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA**MOR-KULONOV ZAKON LOMA:**

Jednačina prave: $\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$ ANVELOPA LOMA

**PARAMETRI SMIČUĆE ČVRSTOĆE:**

c' – KOHEZIJA (odsečak na τ osi)

ϕ' – UGAO SMIČUĆE ČVRSTOĆE (nagib anvelope loma)

● Nemoguće naponsko stanje

● Stanje loma

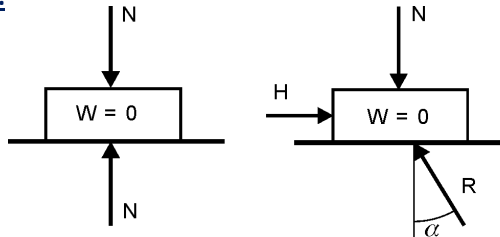
● Moguće naponsko stanje

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

UGAO SMIČUĆE ČVRSTOĆE

- Najveći deo smičuće čvrstoće potiče od otpora trenja po kontaktima između zrna!!! Da nema trenja tlo bi se ponašalo kao teška tečnost.

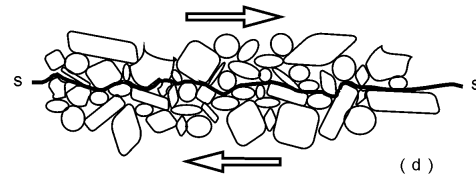
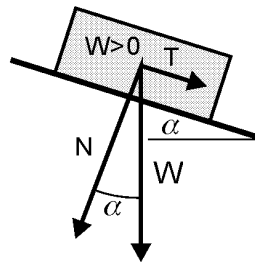
- Pojednostavljen model trenja:



- Blok bez težine na horizontalnoj podlozi, opterećen vertikalnom silom N , u ravnoteži je sa jednakim reaktivnim opterećenjem koje deluje na kontaktu bloka i podloge.
- U slučaju da se u prisustvu vertikalne sile N blok dodatno opterećuje horizontalnom silom H , pravac reaktivne sile R odstupa od normale za ugao α
- Ako postoji relativno pomeranje između bloka i podloge, jer je savladano trenje na kontaktu, rezultanta R u odnosu na normalu zaklapa ugao ϕ koji predstavlja ugao trenja.

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

UGAO SMIČUĆE ČVRSTOĆE



- Ako se blok težine W podvrgne postepenoj rotaciji podloge tako da ona postaje kosa ravan, u trenutku kada nagib podloge α u odnosu na horizontalu dostigne veličinu ugla trenja ϕ , nastaće klizanje bloka niz ravan.
- Normalna sila N na na kontaktu je tada: $W \cos \phi$
- Sila smicanja T je: $W \sin \phi$
 $T/N = \tan \alpha = \tan \phi.$
- U fizici se govori o koeficijentu trenja μ za koji se u mehanici tla kaže da je $\mu = \tan \phi$, gde je ϕ ugao smičuće čvrstoće tla!!!

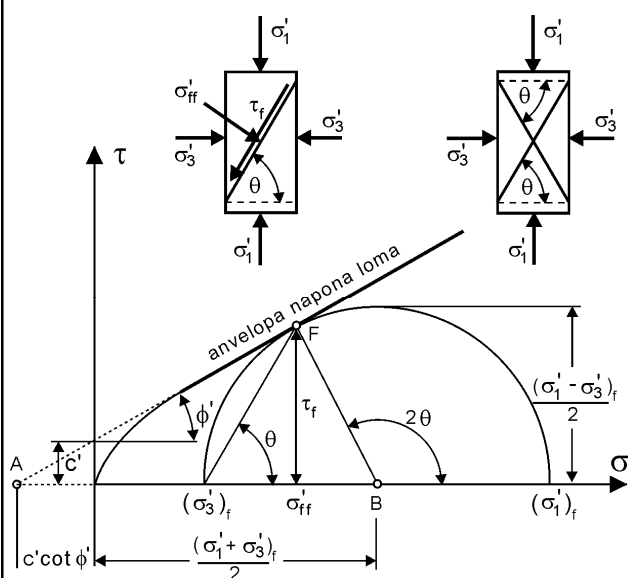
SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA


KOHEZIJA

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

- Ako se podsetimo da smo tlo definisali kao skup međusobno nevezanih, necementiranih zrna, tada u odsustvu normalnih napona između zrna tlo i nema nikakvu smičuću čvrstoću, a ne može da primi ni efektivne napone zatezanja. U tom smislu "kohezija" c ili c' , kao veličine smičuće čvrstoće pri nultom nivou efektivnih normalnih napona, i ne postoje.
- Kohezija c' zaslužuje naziv "*prividna kohezija*" kod necementiranog tla jer ona samo predstavlja odsečak prave na τ osi i **posledica je linearne ekstrapolacije** merenih rezultata prema nultom nivou efektivnih normalnih napona.
- Sile privlačenja između zrna mogu postojati kao posledica negativnih pornih pritisaka, kapilarnih sila, sukcije
- Tla kod kojih su zrna međusobno povezana usled rekristalizacije, ili cementirana oksidima gvožđa, mangana, kalcijuma, silicijuma ili drugih materija, mogu imati **stvarnu koheziju**, odnosno smičuću čvrstoću kada je efektivni normalni napon jednak nuli. Ukoliko postoji stvarna kohezija znatne veličine, tada se, najčešće, može govoriti o **steni**, a ne o tlu.

MOR KULONOV ZAKON LOMA



- Prava linija: $\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$ tangira Morove krugove efektivnih napona loma. 

- Koordinate tangentne tačke F predstavljaju normalni i smičući napon u ravni loma:

$$\tau_f = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f}{2} \sin 2\theta$$

$$\sigma'_{ff} = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)_f}{2} + \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f}{2} \cos 2\theta$$

- θ ugao između ravni u kojoj deluje maksimalni glavni napon i ravni loma:

$$\theta = \pm (45^\circ + \phi' / 2)$$

(može se odrediti iz geometrijskih odnosa sa slike)

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

MOR KULONOV ZAKON LOMA

Posmatrajući trougao ABF možemo napisati vezu između parametara smičuće čvrstoće i glavnih napona:

$$\sin \phi' = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f}{2 c' \cot \phi' + (\sigma'_1 + \sigma'_3)_f}$$

Mor-Kulon-Terzagijev kriterijum loma se, zbog linearosti i relativne jednostavnosti, široko upotrebljava u praksi, iako to nije ni jedini moguć, niti najbolji, opis odnosa napona pri lomu tla!!!

Prethodni izraz se može pisati i u sledećem obliku:

$$(\sigma'_1 - \sigma'_3)_f = (\sigma'_1 + \sigma'_3)_f \sin \phi' + 2 c' \cos \phi'$$

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

MOR KULONOV ZAKON LOMA

- Anvelopa koja prolazi kroz naponske tačke u **Lembovom dijagramu** se naziva Modifikovana anvelopa loma
- Parametri smičuće čvrstoće u Lembovom dijagramu su α' i a'

$$t' = a' + s' \tan \alpha'$$

$$s' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3)_f$$

$$t' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)_f$$

- Veza između parametara smičuće čvrstoće u Lembovom i Morovom dijagramu:

$$\sin \phi' = \tan \alpha'$$

$$\phi' = \arcsin (\tan \alpha') \text{ i } c' = a' / \cos \phi'$$

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

LABORATORIJSKI OPITI:

1. Opit direktnog smicanja
2. Opit triaksijalne kompresije
3. Opit jednoaksijalne kompresije
4. Opit krilne sonde



Određujemo:

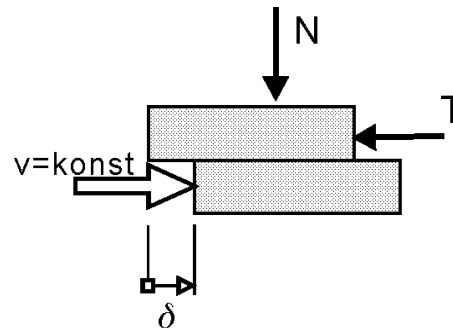
- c koheziju [kPa]
- ϕ ugao smičuće čvrstoće (ugao trenja) [°]



OPIT DIREKTNOG SMICANJA

I faza: Nanosi se normalna sila N koja je konstantna za jedan uzorak tokom celog trajanja opita.

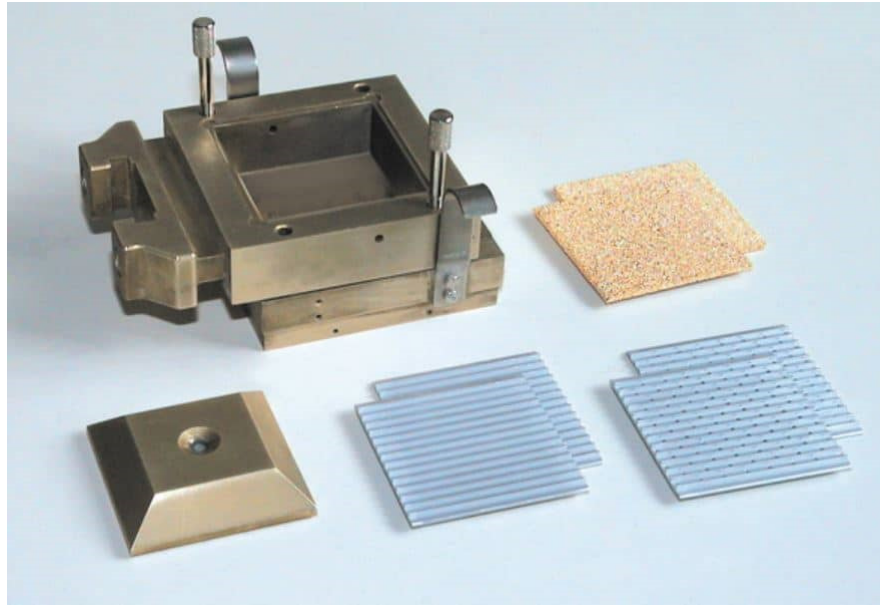
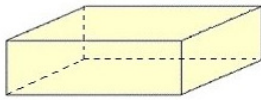
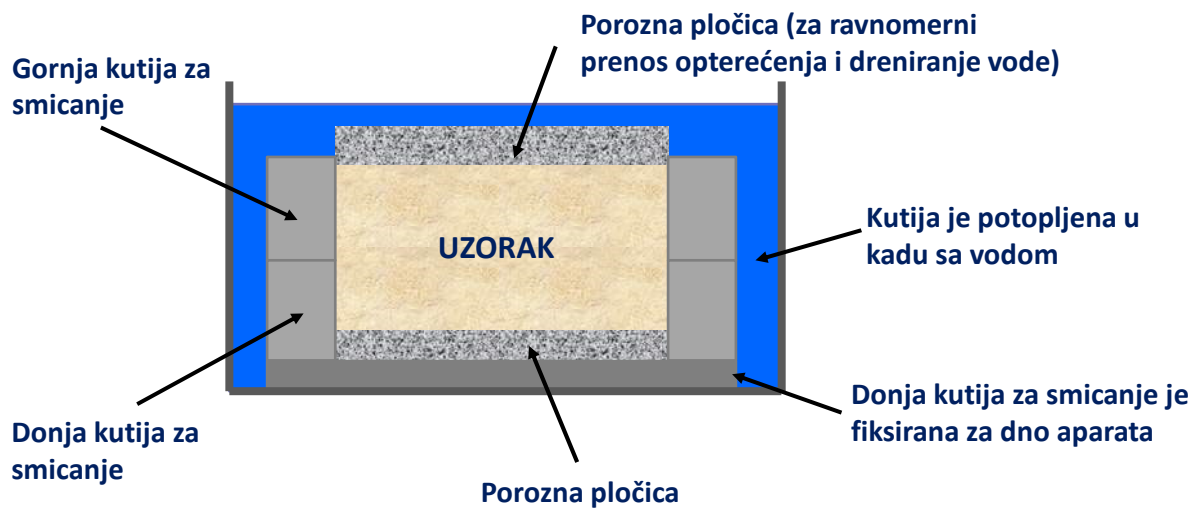
II faza: Povećava se smičuća sila T do loma ili do veličine pomeranja u iznosu od 10 % - 15 % dimenzije uzorka u pravcu smicanja.



1. **DRENIRANI ili SPORI opit (D opit).** Postupak sa dreniranjem u obe faze opita za određivanje vršne čvrstoće tla za efektivne napone. Ovaj opit se standardno primenjuje u praksi i daje parametre izražene efektivnim naponima!!!
2. **POVRATNI ili REVERZNI (R opit).** Drenirani opit smicanja za određivanje rezidualne smičuće čvrstoće za efektivne napone (rezidualna čvrstoća, u najvećoj meri, zavisi od mineralne kompozicije, a ne i od početne strukture ili zbijenosti tla, tako da se korektni parametri rezidualne smičuće čvrstoće mogu dobiti i na potpuno poremećenim, ili laboratorijski prerađenim uzorcima).

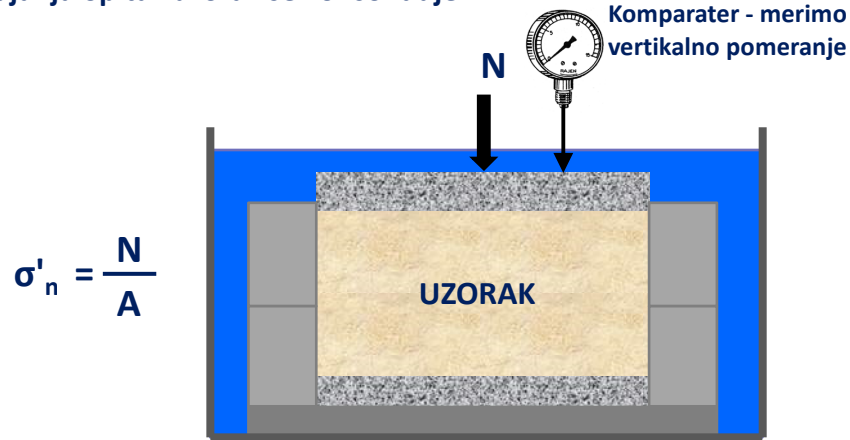
OPIT DIREKTOG SMICANJA

Dvodielna kutija
aparata za direktno
smicanje

**OPIT DIREKTOG SMICANJA****Dvodielna kutija za smicanje**

OPIT DIREKTOG SMICANJA

FAZA I: Nanosi se normalna sila N koja je konstantna za jedan uzorak tokom celog trajanja opita i uzorak se konsoliduje.

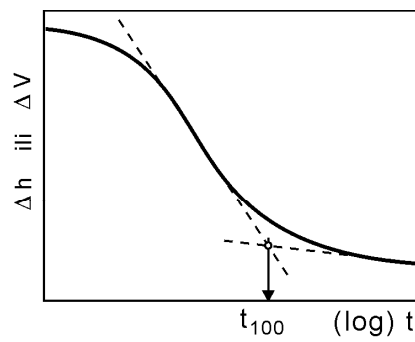
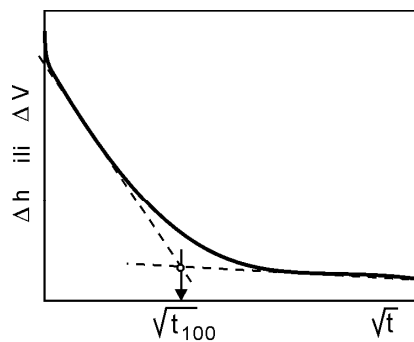


$$\sigma'_n = \frac{N}{A}$$

Obično je $\sigma'_n = 50, 100, 200$ ili 400 kPa

OPIT DIREKTOG SMICANJA

- **Faza I:** konsolidacija uzorka normalnim opterećenjem.
- Trajanje procesa konsolidacije se prati merenjem veličine sleganja, slično kao u edometru, tako da se zahteva znatno prekoračenje vremena t_{100}



Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

OPIT DIREKTOG SMICANJA – drenirani D opit

Faza II: Povećava se smičuća sila T do loma ili do veličine pomeranja u iznosu od 10 % - 15 % dimenzije uzorka u pravcu smicanja.

Donji okvir se kreće konstantnom brzinom, dok je gornji okvir nepomerljiv

Smičući naponi se javljaju na polovini visine uzorka

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

OPIT DIREKTOG SMICANJA – drenirani D opit

Faza II: Povećava se smičuća sila T do loma ili do veličine pomeranja u iznosu od 10 % - 15 % dimenzije uzorka u pravcu smicanja.

Komparater - merimo vertikalno pomeranje

Gornji okvir nepomerljiv

Dinamometar - Merimo silu

Komparater - merimo horizontalno pomeranje

Donji okvir se kreće konstantnom brzinom $v = \text{const}$

OPIT DIREKTOG SMICANJA – drenirani D opit

- **Faza II:** postepeno i relativno polako, povećava se smičući napon do loma.
- Merimo smičući napon τ i smičuću deformaciju δ
- **Brzina smičuće deformacije mora biti dovoljno mala, tako da ima dovoljno vremena da se, istovremeno sa eventualnim nastankom pornog pritiska, odvija i proces konsolidacije koji omogućava istovremeno svođenje pornih pritisaka na zanemarljivu veličinu.**
- Da bi sa dovoljnom tačnošću za praktične potrebe totalni naponi bili jednaki efektivnim naponima, brzina smičućeg pomeranja određuje se tako da se lom uzorka dostiže nakon vremena koje se izračunava po formuli:

$$v = \delta_f / t_f$$

δ_f smičuće pomeranje pri lomu, a t_f je potrebno vreme postepenog nanošenja smičućeg opterećenja do loma:

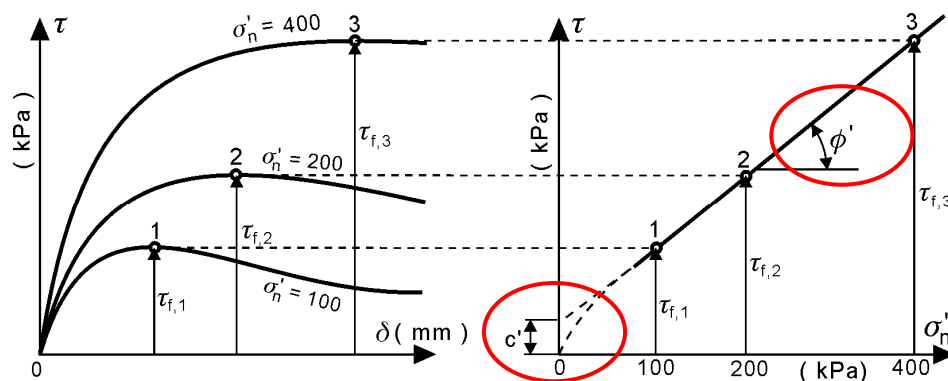
$$t_f = 10 t_{100}$$

Orijentaciono:

pesak 1 mm/min,
prašina oko 0,01 mm/min
glina 0,001-0,003 mm/min

OPIT DIREKTOG SMICANJA – drenirani D opit

- **Ispitujemo tri uzorka sa različitim nivoom normalnih napona!!!**
Najčešće: $\sigma_n = 50, 100, 200$ kPa ili $\sigma_n = 100, 200, 400$ kPa ili $\sigma_n = 50, 150, 450$ kPa
- **Rezultat opita je NAPONSKO-DEFORMACIJSKA KRIVA (3 nap-def. krive)**

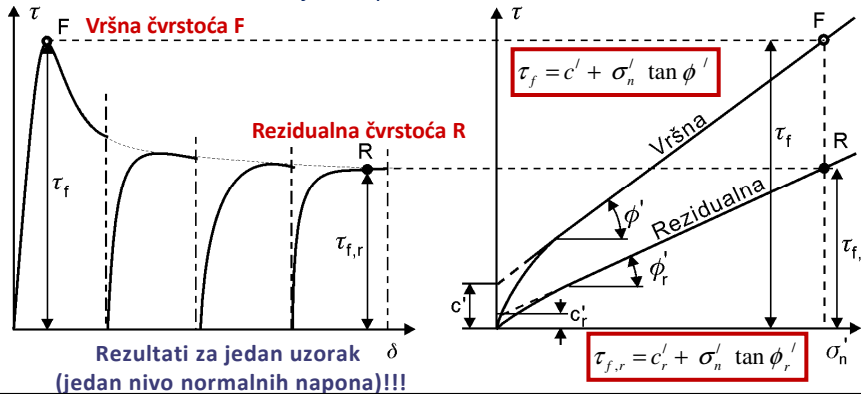


Rezultati faze II

Interpretacija

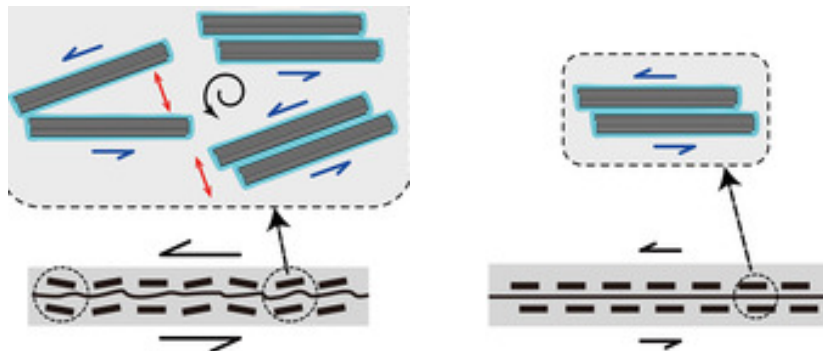
OPIT DIREKTOG SMICANJA – POVRATNI ili REVERZNI (R opit)

- **Faza I** - konsolidacija identična "D" opitu
- **Faza II**- prvi ciklus smicanja identičan "D" opitu. Nakon dostizanja relativnih smičućih pomeranja, ne većih od oko 10% smicane dužine uzorka, obično oko 5 do 10 mm, smičuće pomeranje se zaustavlja, okviri se vraćaju polako u početni položaj pre početka smičućeg opterećivanja, sačeka vreme za ponovnu konsolidaciju i nakon toga ponovo polako smiče. Ovaj postupak se ponavlja sve dok, nakon par ponovljenih ciklusa, smičuća čvrstoća dalje ne opada.



OPIT DIREKTOG SMICANJA – POVRATNI ili REVERZNI (R opit)

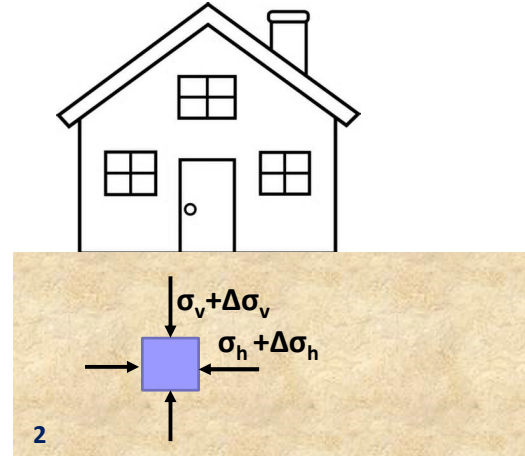
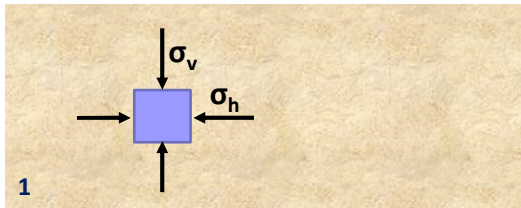
- Ovom opitu se najčešće podvrgavaju uzorci tla koji sadrže sitnozrne frakcije, minerale glina, koji imaju pločast oblik.
- Dolazi do promene orijentacije takvih zrna u procesu smicanja, od haotičnog ka uređenom



- Kod krupnozrnih materijala ne može se postići savršena orijentisanost čestica paralelno ravni smicanja.

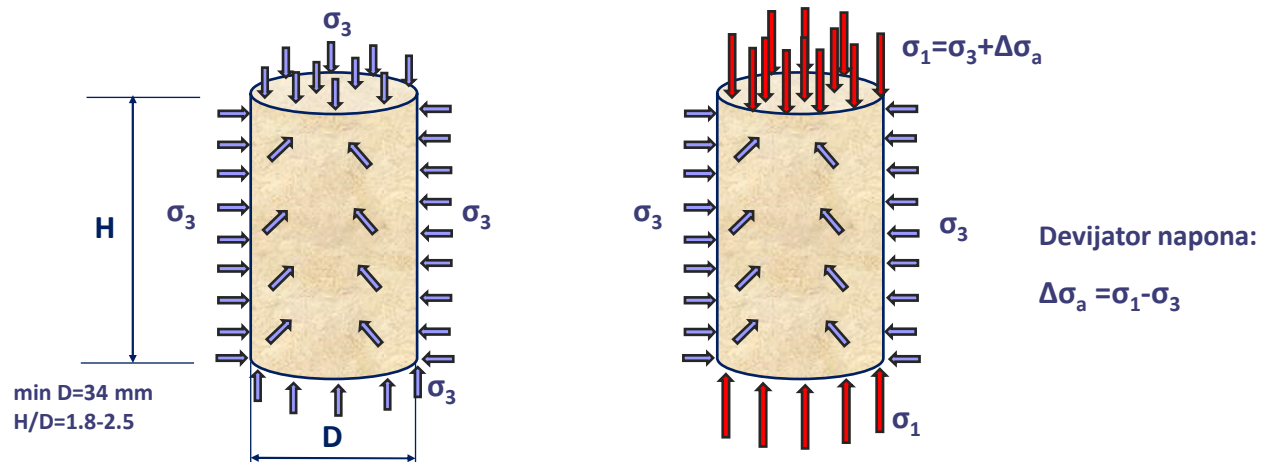
NAPONI U TLU

- Naponi u tlu:
 - 1 – geostatički naponi usled sopstvene težine tla
 - 2 – naponi indukovani izgradnjom objekta



OPIT TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE

- **I faza:** Nanosi se svestrani pritisak $\sigma_r = \sigma_a = \sigma_3 = \sigma_2 = \sigma_1$. Radijalni pritisak $\sigma_r = \sigma_3$ nakon nanošenja ostaje konstantan za jedan uzorak tokom celog trajanja opita.
- **II faza:** Povećava se aksijalni pritisak $\sigma_a = \sigma_1$ do loma ili do deformacije od oko 20% visine uzorka.



OPIT TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE

Vrste opita:

1. **NEKONSOLIDOVANI NEDRENIRANI opit, (UU opit)**, postupak bez dreniranja u obe faze opita, odnosno "brzi opit".
2. **KONSOLIDOVANI NEDRENIRANI opit, (CU opit)**, postupak sa konsolidacijom u prvoj fazi i bez dreniranja u drugoj.
3. **KONSOLIDOVANI DRENIRANI opit, (CD opit)**, postupak sa dreniranjem u obe faze opita, odnosno "spori opit".

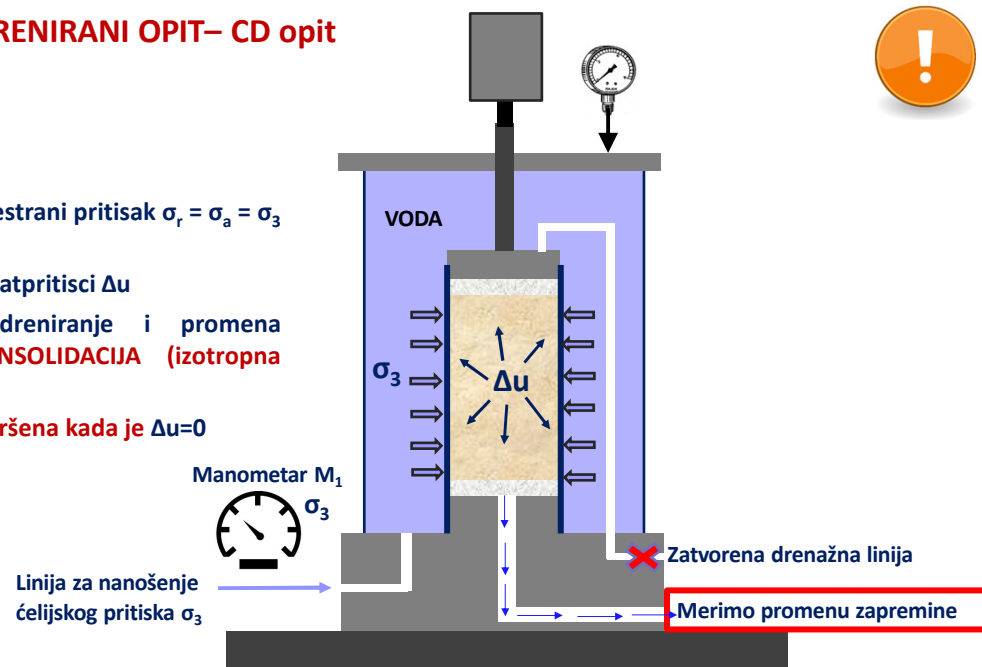
▪ Za sve tri vrste opita se najčešće podrazumeva da su uzorci potpuno zasićeni

Ispitujemo tri uzorka sa različitim nivoom svestranih napona σ_3 !!!

Najčešće: $\sigma_3 = 50, 100, 200$ kPa ili $\sigma_3 = 100, 200, 400$ kPa ili $\sigma_3 = 50, 150, 450$ kPa

KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT– CD opit

- **I faza:** Nanosi se svestrani pritisak $\sigma_r = \sigma_a = \sigma_3 = \sigma_2 = \sigma_1$.
- Generišu se porni natpritisaci Δu
- Omogućava se dreniranje i promena zapremine – **KONSOLIDACIJA (izotropna konsolidacija)**
- Konsolidacija je završena kada je $\Delta u = 0$



Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT – CD opit

I faza II faza

- **II faza:** Povećava se aksijalni pritisak **SPORO** u **DRENIRANIM USLOVIMA** $\sigma_a = \sigma_1$ do loma ili do deformacije od oko 20 % visine uzorka.
- Postolje prese se kreće naviše konstantnom brzinom koja mora biti dovoljno mala da se ne bi generisali porni natpritisaci tokom smicanja.
- Brzina smicanja se određuje iz rezultata faze konsolidacije $t_f = \kappa t_{100}$ $v_a = \Delta h_f / t_f$
- gde je κ koeficijent koji zavisi od vrste opita i uslova dreniranja uzorka.
- Totalni naponi su jednaki efektivnim naponima

Merimo silu (otpor)

Merimo pomeranje

VODA

σ_1

$\Delta u = 0$

klizna površ

σ_3

porni pritisci jednaki nuli:
 $u = 0$

$v = \text{const}$

Zatvorena drenažna linija

Merimo promenu zapremine

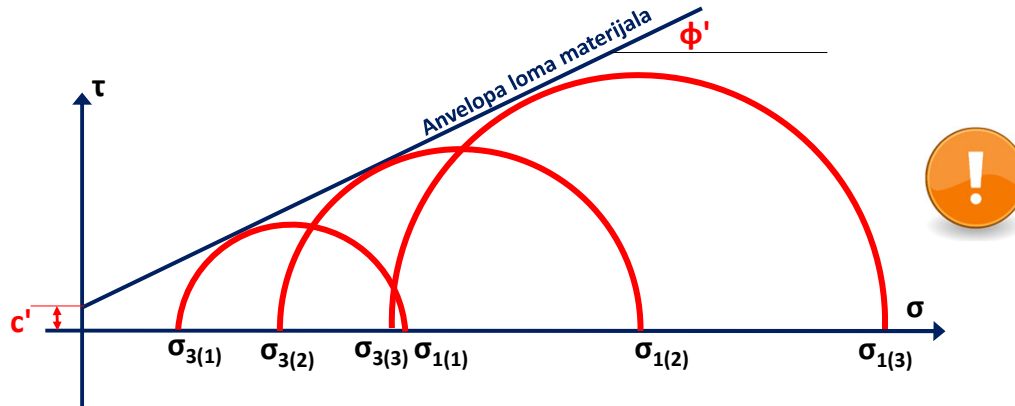
Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT – CD opit

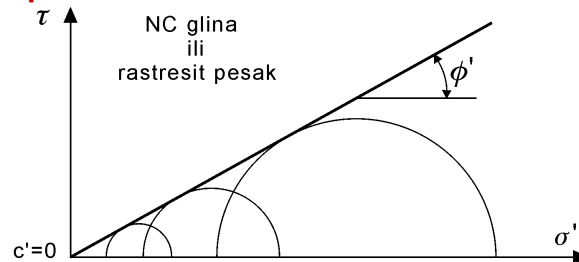
- Opterećenje se prenosi samo preko sila na kontaktima između zrna
- Ako se opterećenje nanosi dovoljno sporo da se ne razvija porni natpritisak u vodi u porama tla, onda su totalni naponi (naponi koji se nanose tlu) jednaki efektivnim naponima (naponi na kontaktima između zrna)

KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT– CD opit

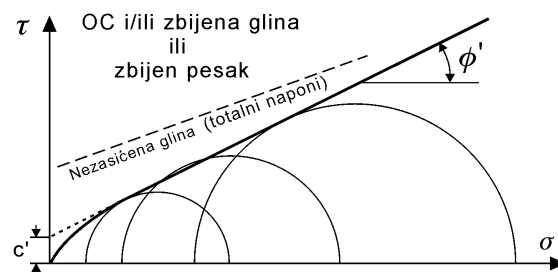
- Ispitujemo tri uzorka sa različitim nivoom svestranih napona $\sigma_3!!!$



- Povlačimo anvelopu loma koja tangira tri Morova kruga pri lomu.
- Nagib anvelope je ugao smičuće čvrstoće ϕ' , dok je odsečak na τ osi kohezija c'

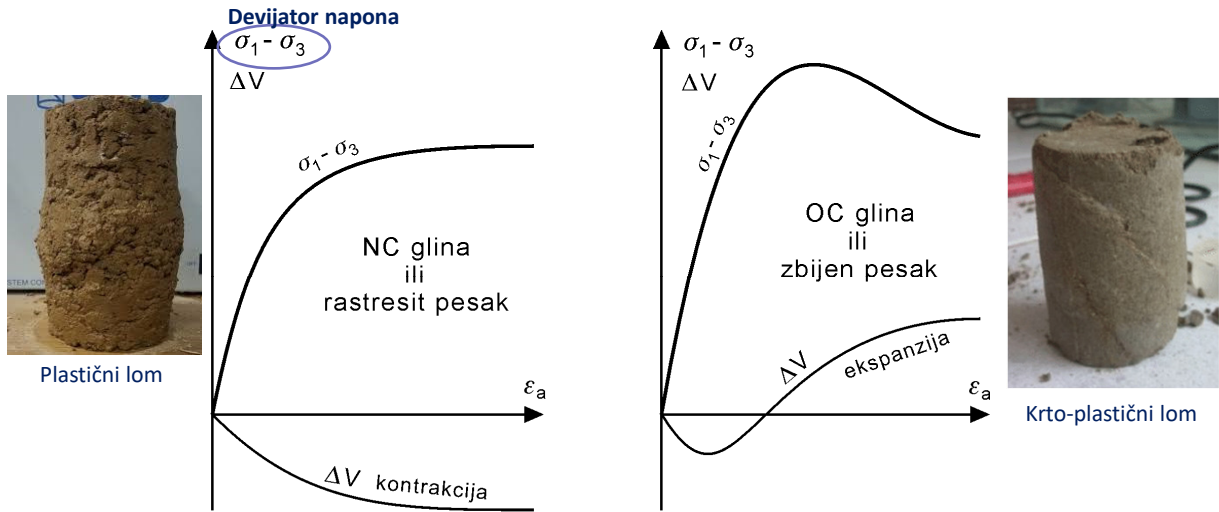
KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT– CD opit

- Karakteristični rezultati ispitivanja u CD opitu



KONSOLIDOVANI DRENIRANI OPIT– CD opit

- Karakteristični rezultati ispitivanja u CD opitu



DILATANCIJA!!!



Povećanje zapremine prilikom smicanja!!!!

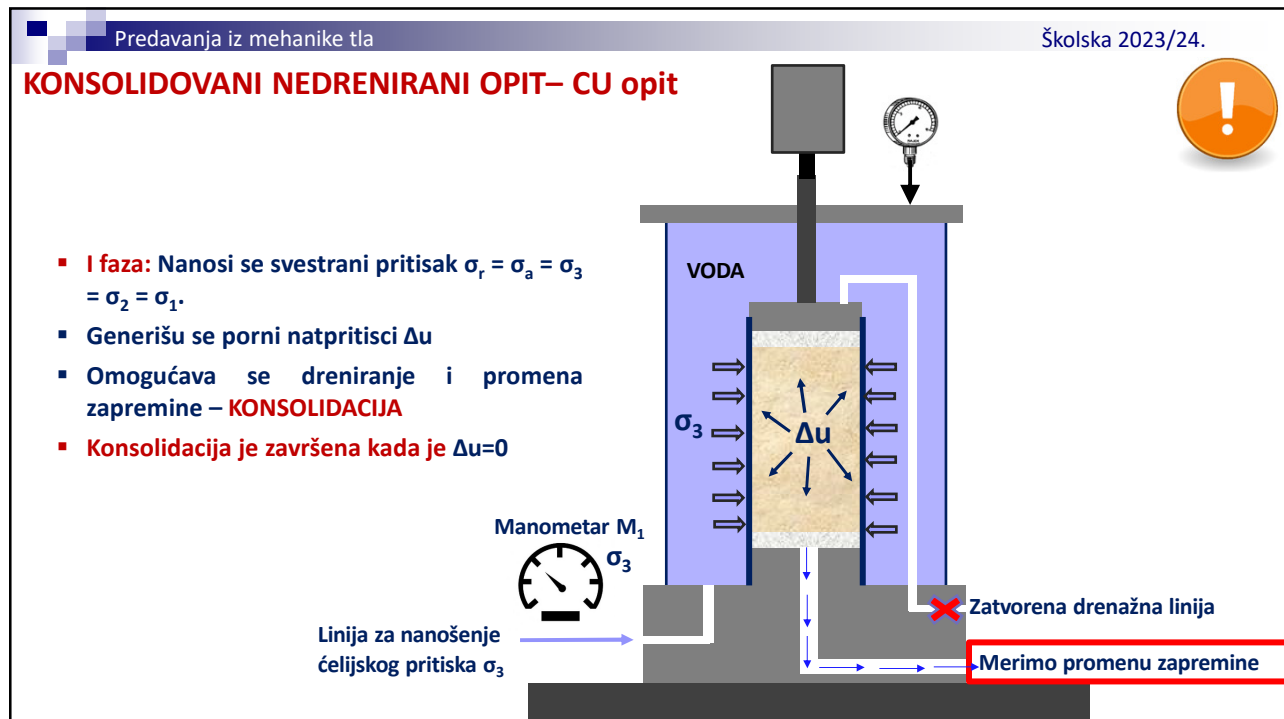
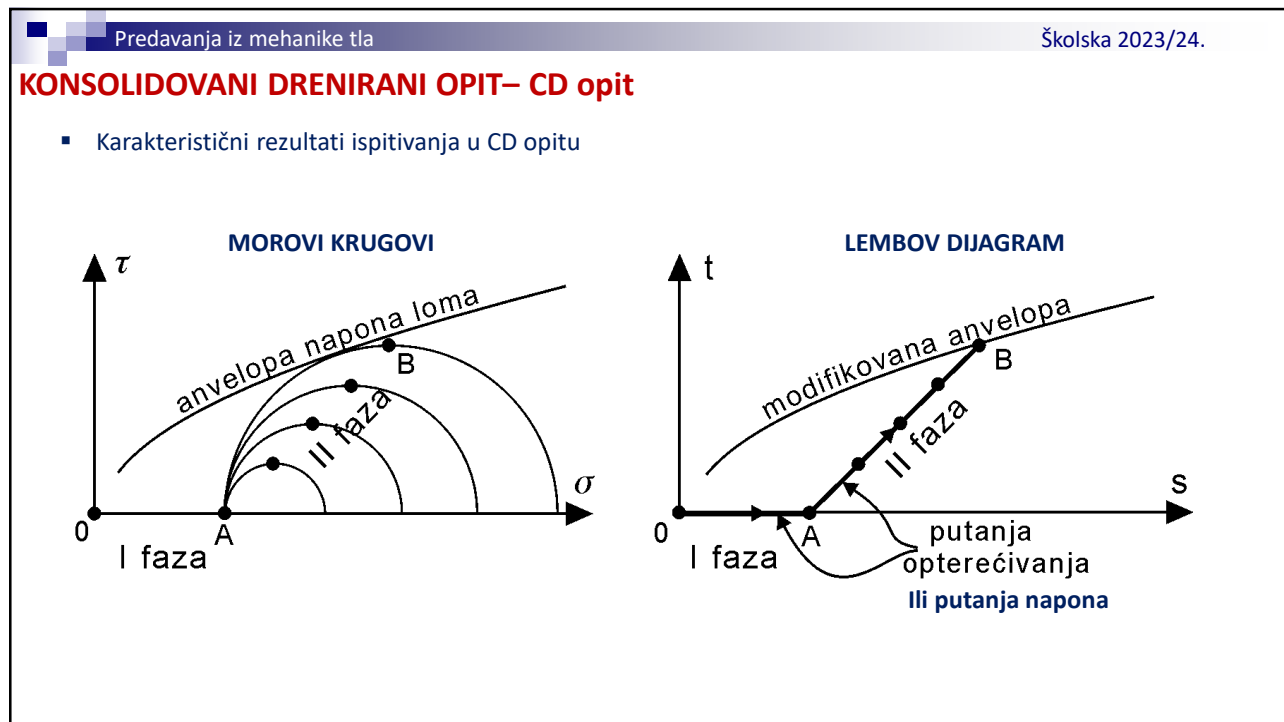
- Prekonsolidovane gline
- Zbijeni krupnozrni materijali

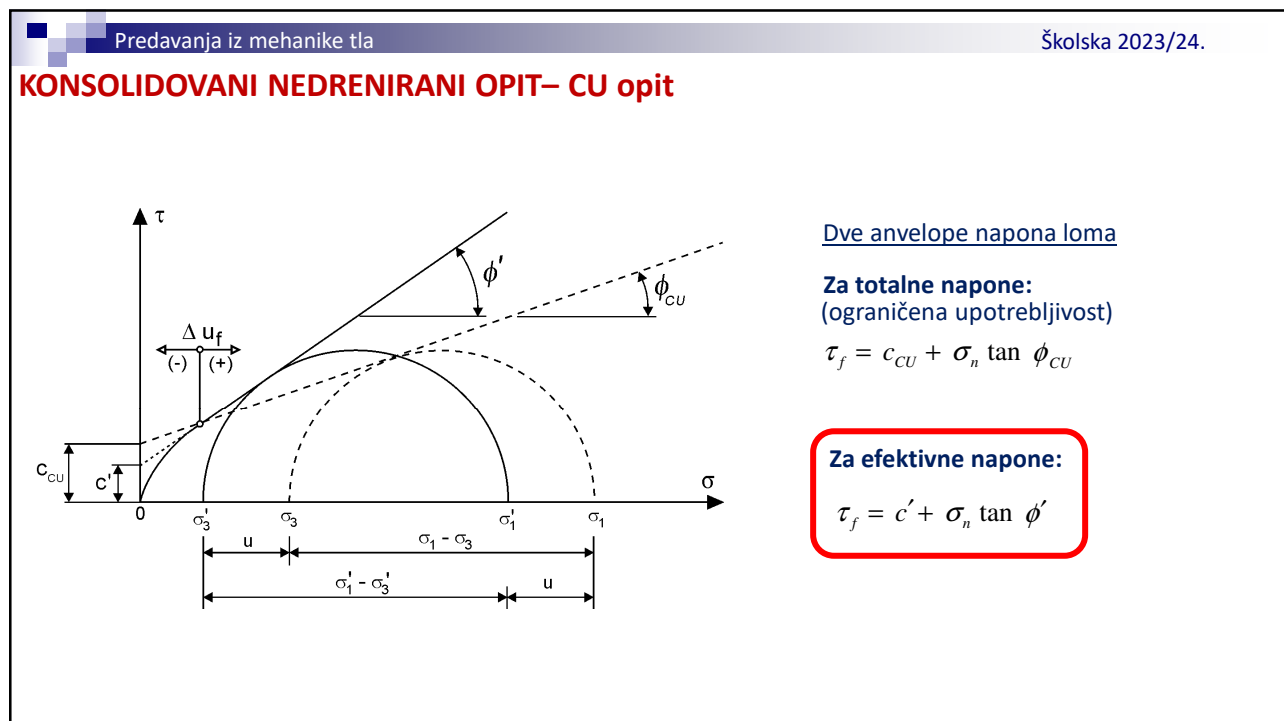
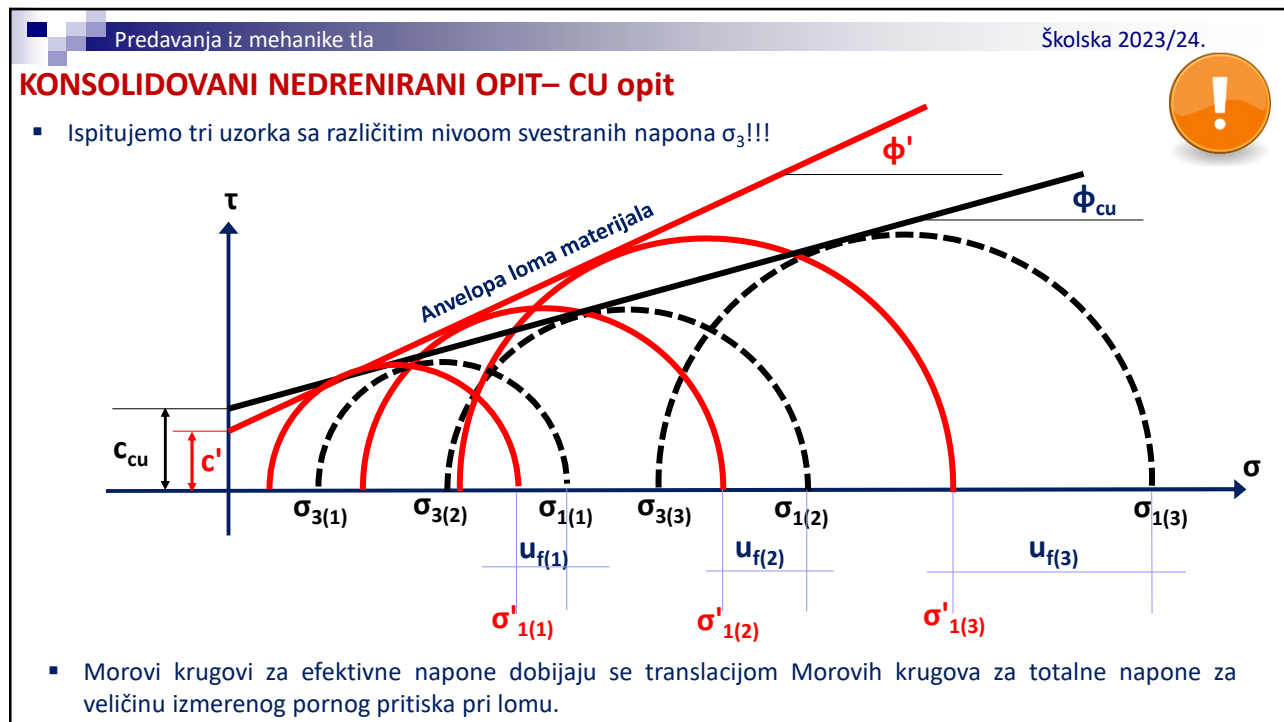
KONTRAKCIJA!!!



Smanjenje zapremine prilikom smicanja!!!!

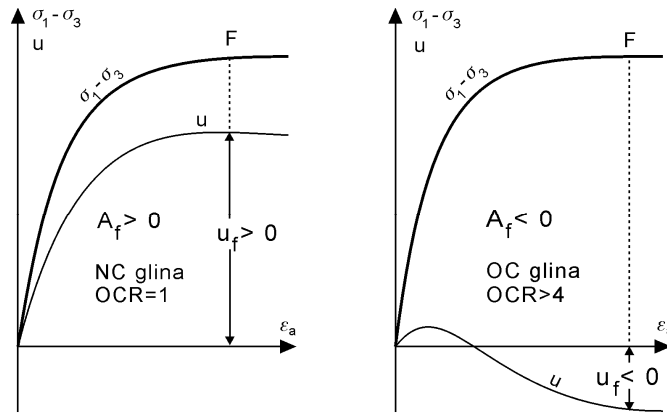
- Normalno konsolidovane gline
- Rastresita i srednje zbijena tla





KONSOLIDOVANI NEDRENIRANI OPIT– CU opit

- Tipični rezultati merenja veličina devijatora napona i pornih pritisaka u "CU" opitu na normalno konsolidovanim i prekonsolidovanim uzorcima gline



- Porni pritisak se kontinualno povećava sa aksijalnom deformacijom i povećanjem devijatora napona. Takvi uzorci imaju tendenciju da smanjuju zapreminu pri smicanju, generišu se pozitivni porni pritisci
- Kod jako prekonsolidovanog uzorka, porni pritisak prvo raste a zatim opada. Porni pritisak pri lomu može biti i negativan kod jako prekonsolidovanih gline

NEKONSOLIDOVANI NEDRENIRANI OPIT– UU opit

- Parametre smičuće čvrstoće izražene preko efektivnih napona treba primenjivati uvek kada je to praktično moguće, tj. kada su poznate veličine pornih pritisaka.
- Pri opterećivanju zasićenog tla u nedreniranim uslovima generišu se porni natpritisci (recimo problem izgradnje nasipa na sitnozrnim, vodom zasićenom tlu – nasip se relativno brzo gradi i u podtlu se generišu porni natpritisci).
- Zbog toga se rade nedrenirani opiti kod kojih nema promene zapremine u toku nanošenja opterećenja, kakve praktično nema ni u masi tla koja se opterećuje relativno brzo u odnosu na moguć proces konsolidacije, i tako dobijena čvrstoća, izražena preko totalnih napona, se direktno koristi u analizi realnog zadatka, pri čemu treba imati u vidu da nedrenirana smičuća čvrstoća zavisi i od putanje napona.
- U prirodi ne postoji trajno nedrenirana situacija**, jer tokom vremena dolazi do konsolidacije pri opterećenju ili bubrenja pri rasterećenju i porni pritisci se izjednačavaju sa hidrostatičkim ili filtracionim uslovima podzemnih voda. Posle dovoljno dugog vremena postaje merodavna drenirana čvrstoća. **Nedrenirana čvrstoća se uglavnom primenjuje za analizu privremene stabilnosti mase tla, koja može, ali i ne mora biti kritična**

SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA

U DRENIRANIM USLOVIMA

parametri: ϕ' i c'

U NEDRENIRANIM USLOVIMA

parametri: $\phi_u=0$ i c_u

▪ Koji uslovi će se na terenu javiti zavisi od :

- Brzine opterećivanja
- Vodopropusnosti tla

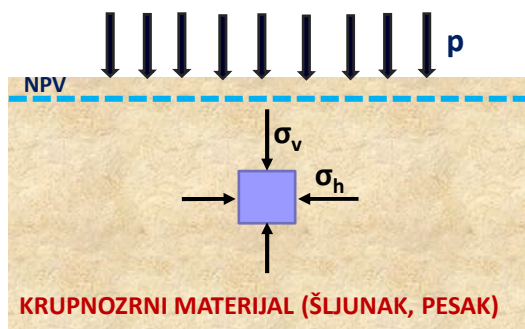
▪ **KRUPNOZRNI MATERIJALI (ŠLJUNAK, PESAK):**

Zahvaljujući visokoj vodopropusnosti, nezavisno od brzine opterećivanja (osim u slučaju seizmičkog opterećenja) javljaju se drenirani uslovi

▪ **SITNOZRNI MATERIJALI (GLINA, PRAŠINA):**

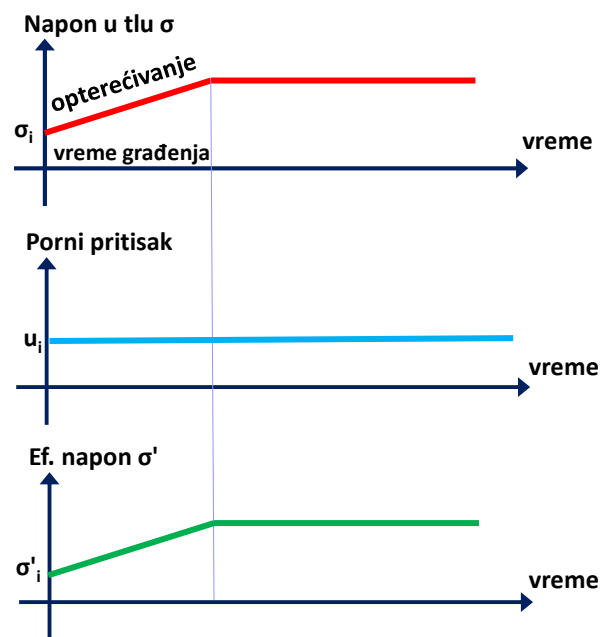
Zahvaljujući niskoj vodopropusnosti, u zavisnosti od brzine opterećivanja javljaju se ili drenirani uslovi ili nedrenirani uslovi

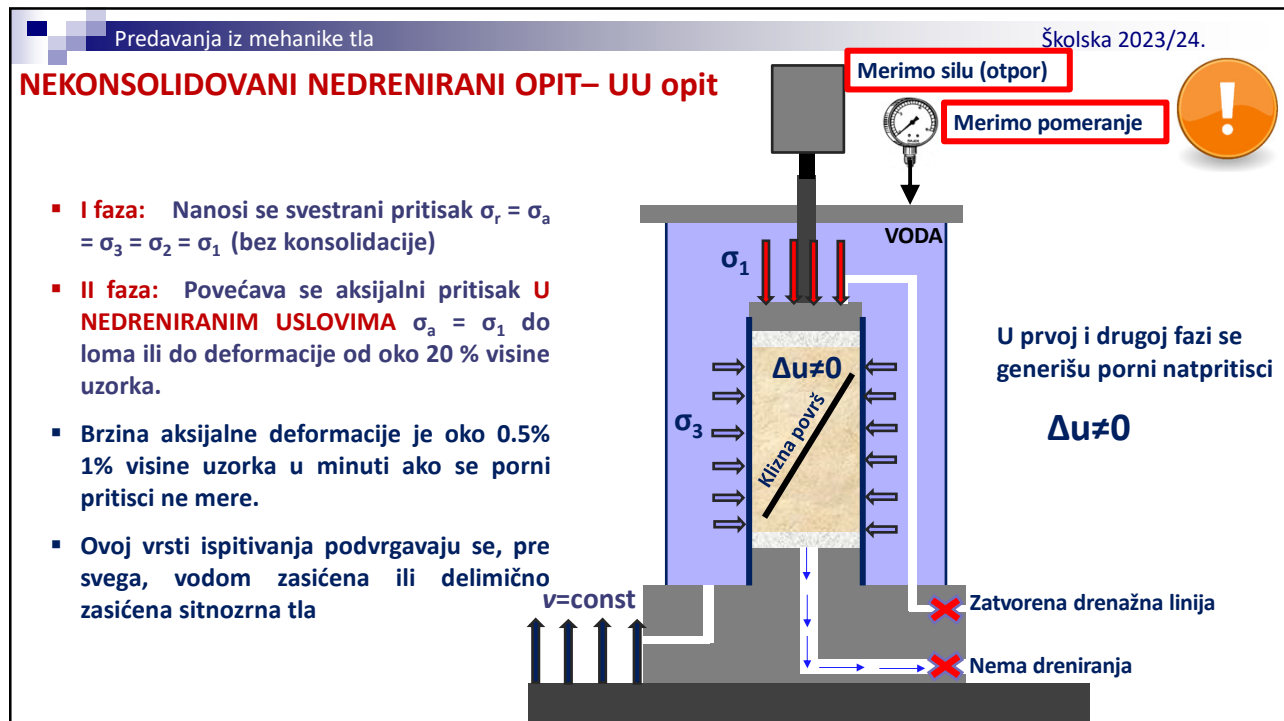
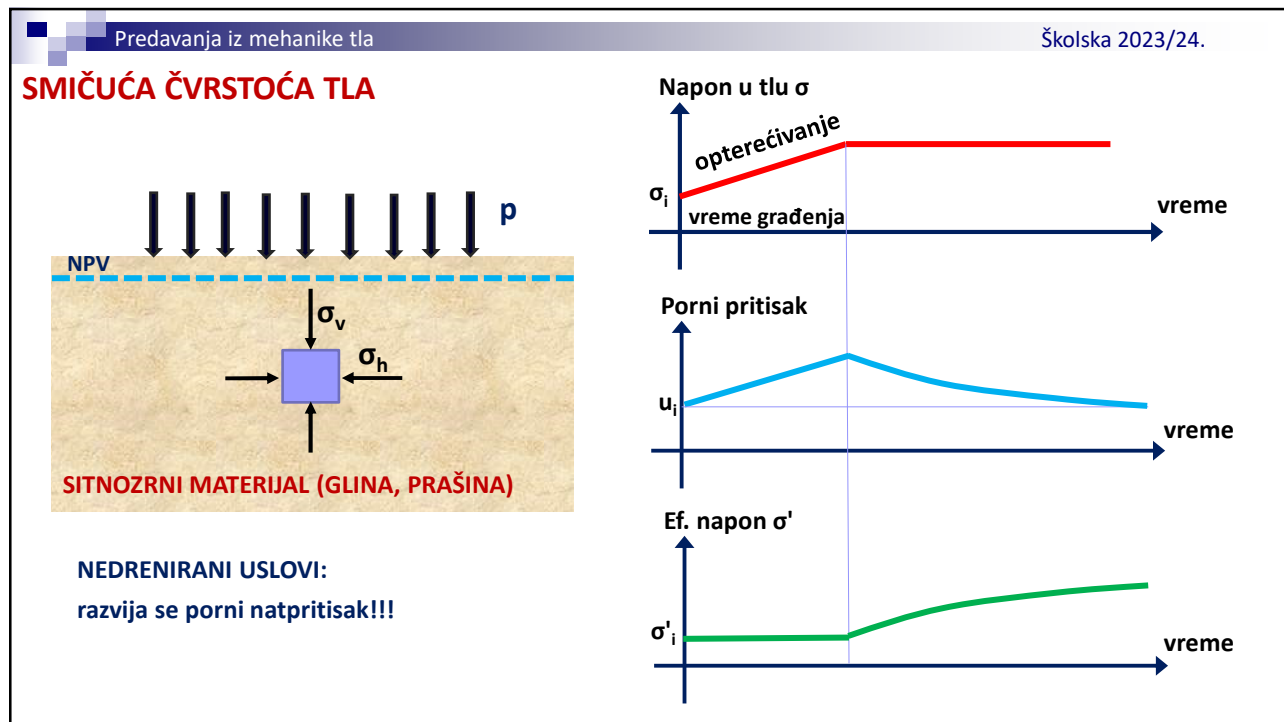
SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA



DRENIRANI USLOVI:


ne razvija se porni natpritisak!!!



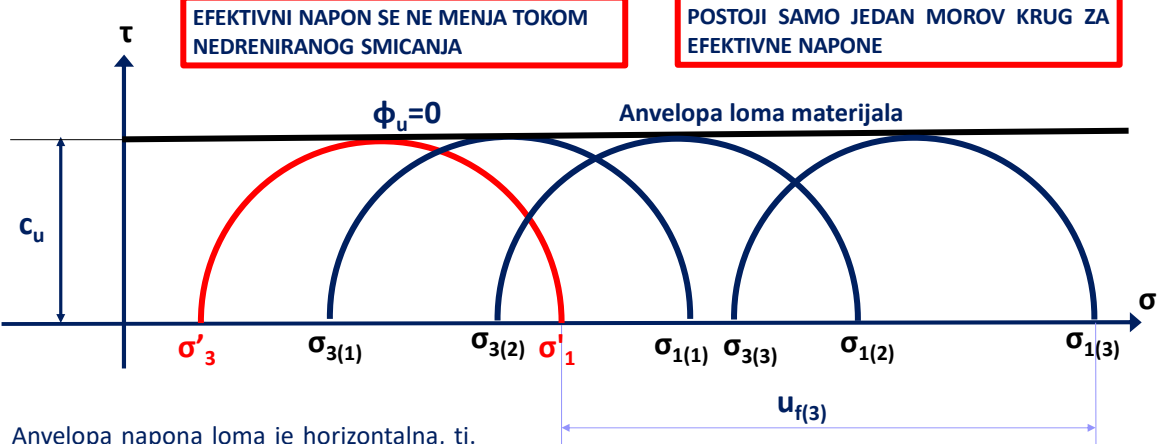


Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

NEKONSOLIDOVANI NEDRENIRANI OPIT– UU opit

U literaturi c_u ili s_u 

- Ispitujemo tri uzorka sa različitim nivoom svestranih napona σ_3 !!!

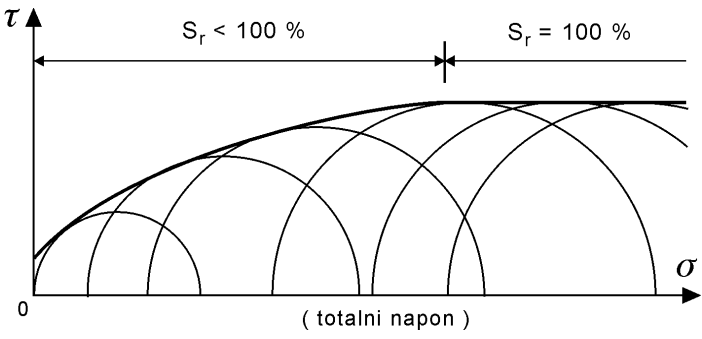


- Anvelopa napona loma je horizontalna, tj. $\phi_u = 0$, a smičuća čvrstoća je konstantna nedrenirana kohezija $\tau_f = c_u$!!!

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

NEKONSOLIDOVANI NEDRENIRANI OPIT– UU opit

Karakteristični rezultati UU opita na delimično zasićenom uzorku



- Poznato je da nedrenirana čvrstoća gline c_u zavisi od vlažnosti, veličine uzorka koji se ispituje, od istorije napona, od brzine smicanja, kao i od pojave lokalnih zona smicanja.
- Ispitivanjem u različitim laboratorijskim i terenskim opitima mogu se dobiti različite vrednosti nedrenirane čvrstoće. **Iz tog razloga, nedrenirana čvrstoća nije fundamentalna karakteristika tla**

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

OPIT JEDNOAKSIJALNE KOMPRESIJE

- Opit se najčešće radi na neporemećenim uzorcima vodom zasićenih sitnozrnih materijala uzetih iz terena.
- Cilindričan uzorak, sličnih dimenzija kao u opitu triaksijalne kompresije, opterećuje se povećanjem aksijalnog napona $\sigma_1 = \sigma_o$ do loma, pri čemu su bočni naponi $\sigma_r = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$.
- Maksimalna vrednost aksijalnog napona predstavlja jednoaksijalnu čvrstoću q_u .
- Opit se provodi relativno brzo, sa brzinom aksijalne deformacije većom od 1% visine uzorka u minuti, tako da je opit praktično nedreniran.

Merimo silu (otpor)

Merimo pomeranje

$\sigma_{1,max} = q_u$

$\sigma_3 = 0$

klizna površ

Generišu se porni natpritisici $\Delta u \neq 0$

$v = \text{const}$

Zatvorena drenažna linija

Nema dreniranja

Predavanja iz mehanike tla Školska 2023/24.

OPIT JEDNOAKSIJALNE KOMPRESIJE

- Anvelopa napona loma je horizontalna, tj. $\phi_u = 0$, a smičuća čvrstoća je konstantna nedrenirana kohezija $\tau_f = c_u$!!!

τ

$\phi_u = 0$ Anvelopa loma materijala

c_u

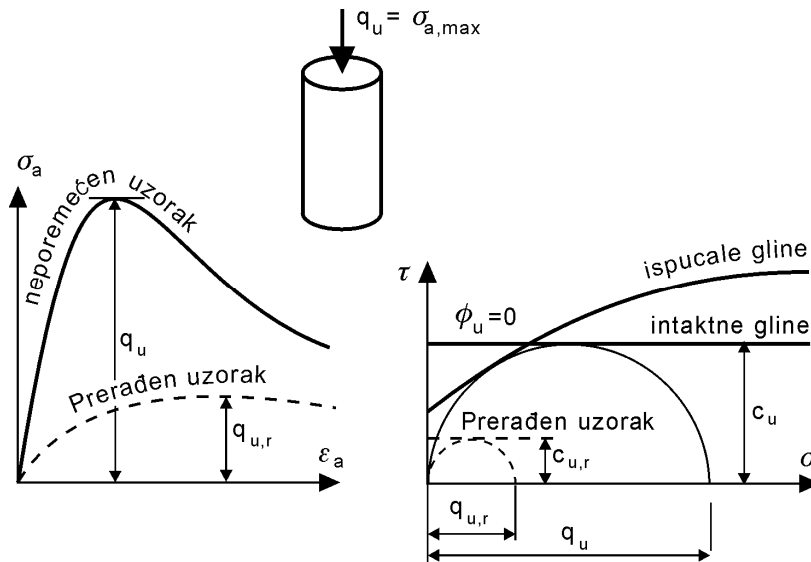
$\sigma_3 = 0$

$\sigma_1 = q_u = \text{jednoaksijalna čvrstoća}$

σ

- Iz Morovog dijagrama proističe da je nedrenirana kohezija jednaka polovini jednoaksijalne čvrstoće tj. $c_u = q_u/2$.

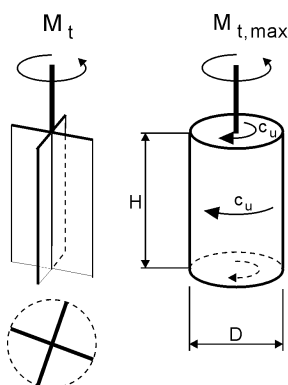
OPIT JEDNOAKSIJALNE KOMPRESIJE



- Neporemećeni uzorci i prerađeni uzorci istog tla sa istom vlažnošću najčešće imaju različitu nedreniranu čvrstoću, jer je prerađivanjem izmenjena originalna struktura neporemećenog uzorka tla.
- Odnos ove dve čvrstoće $c_u / c_{u,r}$ se naziva **senzitivnost ili osetljivost**, a označava se sa S_t .

KRILNA SONDA

- Ovit krilnom sondom se primenjuje za određivanje nedrenirane smičuće čvrstoće neispucalih i potpuno zasićenih glina *in situ*.
- Posebno pogodan za ispitivanje mekih glina ($I_c < 0,25$) čija struktura može biti poremećena u procesu uzimanja uzorka i rukovanja uzorkom



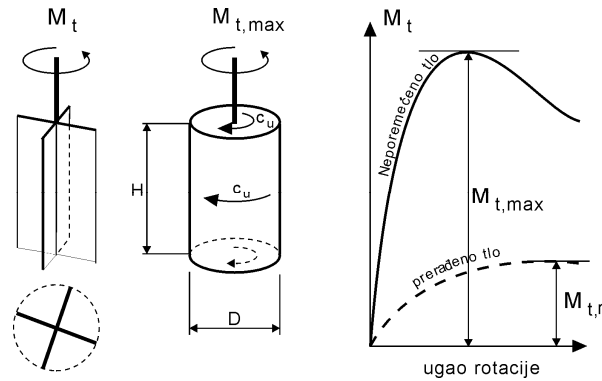
- Krilna sonda prikazana na Slici se sastoji od četiri krilca od tankih čeličnih limova na kraju čelične šipke.
- Sonda se pomoću šipke utisne u tlo, obično u dno bušotine, do dubine koja je bar tri puta veća od prečnika bušotine, a u mekim glinama, ovit se može provoditi i direktno sa terena.
- Na gornji kraj šipke se postepeno nanosi momenat torzije sve dok ne dođe do smičućeg loma gline usled rotacije sonde.
- Smicanje se odvija po omotaču i po bazama cilindra koje krilca sonde opisuju pri rotaciji.

KRILNA SONDA

- Iz uslova ravnoteže cilindra opterećenog momentom torzije i momenata smičućih napona koji deluju na omotač i na bazama cilindra, kada moment torzije dostigne maksimalnu vrednost, $M_{t,max}$, dobija se da je nedrenirana kohezija:

$$c_u = \frac{M_{t,max}}{D^2 \pi (H/2 + D/6)}$$

- Izraz važi ukoliko je nedrenirana smičuća čvrstoća izotropna, tj. jednaka po vertikalnim i po horizontalnim ravnima.



HVALA NA PAŽNJI