

KLASIFIKACIONI SISTEM ZA TLA

KRUPNOZRNA TLA: G_T - Šljunak
S - Pesak

W - Dobra graduiranost
U - jednolična graduiranost
P - slaba graduiranost

F - primese prašina
C - primese gline

SITNOZRNA TLA: M - Prašina
C - Gлина
O - Organsko tlo

L - niska plastičnost
I - srednja plastičnost
H - visoka plastičnost

Vlaknasta struktura: Pe - TREŠET

KLASIFIKACIONI SIMBOLI G_W, G_U, G_P

G_W - dobro graduirani šljunak, više od 50% krupnozrne frakcije je veće od 2 mm, manje od 5% sitnih frakcija, $C_u > 4$ i C_z između 1 i 3.

G_U - jednolično graduirani šljunak, jedan od uslova C_u ili C_z nije zadovoljen, prevladava jedna frakcija.

G_P - slabo graduirani šljunak, jedan od uslova C_u ili C_z nije zadovoljen, nedostaje jedna frakcija.

KLASIFIKACIONI SIMBOLI G_F, G_C

G_F - šljunak sa primesama prašine, više od 50% krupnozrne frakcije je veće od 2 mm, više od 12% sitnijih frakcija, ATEBERGOVE granice su ispod A linije i $I_p < 4$.

G_C - šljunak sa primesama gline, ATEBERGOVE granice su iznad A linije i $I_p > 7$.

KLASIFIKACIONI SIMBOLI S_W, S_U, S_P

S_W - Dobro graduirani pesak, više od 50% krupnozrne frakcije je manje od 2 mm, manje od 5% sitnih frakcija, $C_u > 6$ i C_z između 1 i 3.

S_U - Jednolično graduirani pesak, jedan od uslova C_u ili C_z nije ispunjen, prevladava jedna frakcija.

S_P - Slabo graduirani pesak, jedan od uslova C_u ili C_z nije ispunjen, nedostaje jedna frakcija.

KLASIFIKACIONI SIMBOLI S_F, S_C

S_F - Pesak sa primesama prašine, više od 50% krupnozrne frakcije je manje od 2 mm, više od 12% sitnijih frakcija, ATEBERGOVA granica ispod A linije i $I_p < 4$.

S_C - Pesak sa primesama gline, ATEBERGOVA granica iznad A linije i $I_p > 7$.

za I_p između 4 i 7 potrebni dvojni simboli.

KLASIFIKACIONI simboli ML, CL, OL

ML - Prašina niske plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, GRANICA TEŽENJA WL između 20 i 35%

CL - Gлина niske plastičnosti, Ip iznad A-LINIJ, GRANICA TEŽENJA WL ∈ [20%, 35%]

OL - Organsko tlo niske plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, WL ∈ [20, 35]%

$$\text{za ML} \quad \frac{WL_{\text{sušeno}}}{WL_{\text{prirodno}}} > 0,75$$

$$\text{za OL} \quad \frac{WL_{\text{sušeno}}}{WL_{\text{prirodno}}} < 0,75$$

KLASIFIKACIONI simboli MI, CI, OI

MI - Prašina srednje plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, WL ∈ [35, 50]%

$$\frac{WL_{\text{suš}}}{WL_{\text{pri}}} > 0,75$$

CI - Gлина srednje plastičnosti, Ip iznad A-LINIJ, WL ∈ [35, 50]%

OI - Organsko tlo srednje plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, WL ∈ [35, 50]%

$$\frac{WL_{\text{suš}}}{WL_{\text{pri}}} < 0,75$$

KLASIFIKACIONI simboli MH, CH, OH

MH - Prašina visoke plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, WL > 50%

$$\frac{WL_{\text{suš}}}{WL_{\text{pri}}} > 0,75$$

CH - Gлина visoke plastičnosti, Ip iznad A-LINIJ, WL > 50%

OH - Organsko tlo visoke plastičnosti, Ip ispod A-LINIJ, WL > 50%

$$\frac{WL_{\text{suš}}}{WL_{\text{pri}}} < 0,75$$

KLASIFIKACIONI simbol Pt

Pt - Treset, jako organsko tlo, reč je o vlaknastoj strukturi, pa se klasifikacija vrši vizuelnom makro klasifikacijom.

Stanja konsistencije. Indeks konsistencije i indeks tečenja

Konzistentna stanja sitnozrnog tla u zavisnosti od vlažnosti mogu biti: čvrsta, polučvrsta, plastična, tečna.

Indeks konsistencije pokazuje u kom se konzistentnom stanju uzorak nalazi

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

$I_c < 0$ - tečno stanje

$0 < I_c < 1$ - plastično stanje

$1 < I_c < 1,25$ - polutvrdo stanje

$I_c > 1,25$ - tvrdo stanje

Indeks tečenja predstavlja alternativni pokazatelj konzistentnog stanja.

$$LI = \frac{W - PL}{I_p}$$

$LI < 0$ - polučvrsto i čvrsto stanje

$0 < LI < 1$ - plastično stanje

$LI > 1$ - tečno stanje

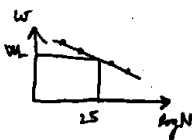
$$LI + I_c = 1$$

Atterberg, granica tečenja, plastičnosti, skupljanja

Atterbergove granice konsistencije, odnosno granice plastičnosti odnose se na sitnozrna tla. One služe za indirektno definisanje osobina glinovitih komponenti u tlu.

Granica tečenja ($WL = LL$) - vlažnost pri kojoj se uzorak u Kasagrandeovoj treskalici, presečen standardnim nožem nožem spoji na dužini od 10-12 mm nakon 25 udaraca.

Registruje se broj udaraca kada se žleb zatvori na dužini od 10-12 mm, pri brzini od dva udarca u sekundi. Iz sredine spojenog dela se uzima uzorak tla i određuje vlažnost. Opit se izvodi četiri puta.



$WL < 20\%$ neplastično tlo

$20 < WL < 50\%$ niska plastičnost

$WL > 50\%$ visoka plastičnost.

Granica plastičnosti ($WP = PL$) - vlažnost pri kojoj se uzorak može valjati po glatkoj podlozi u valjice prečnika 3 mm, dužine ~70 mm, a da se pri tome mestimično pojavljuju pukotine. Smislena zvrsta $PL = 100 \cdot LL$.

Kod nas se za određivanje formira kuglica od koje se valjanjem dobija valjak. Kada se pojave pukotine to je granica vlažnosti, koja se određuje kao prosečna vrednost iz tri uzorka.

Granica skupljanja ($Ws = SL$) - vlažnost dovoljna da se popune sve pore u tlu, kada je tlo dostiglo minimalnu zapreminu pri sušenju u atmosferskim uticajima.

Način određivanja: 1) Detaljni opit; 2) Povednostavljeni opit

Indeks plastičnosti

Predstavlja količinu vode potrebnu za prelazak iz polučvrstog u tečno stanje. Što je veći indeks plastičnosti tlo je manje osetljivo.

$$I_p = LL - PL(WP)$$

ZBIJENOST SITNOZRNOS TLA, STEPEN ZBIJENOSTI

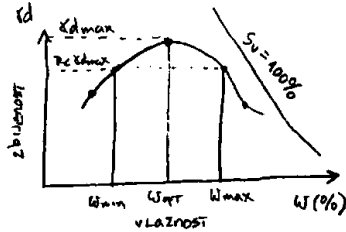
Zbijanjem tla utiče se na povećanje smičuće čvrstoće tla i smanjenje vodopropustljivosti i deformabilnosti tla.

Stepen zbijenosti: $RC = \frac{\delta_d}{\delta_{dmax}} \cdot 100 [\%]$

$RC > 95\%$ - dobra zbijenost tla

Određuje se: Standardnim prokurovim opitom, modifikovanim prokurovim opitom.

Standardni Prokurov opit zbijanja



Linearni zakon loma: $\tau_f = c + \sigma_n \cdot \tan \phi$ **NIŠTA**
 c - kohezija, ϕ - usao za **VAŽNA** σ_n - **POSREDAVANJE** napona.
Mohova hipoteza: $\tau_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cdot \tan \phi$
Terzagij je modifikovao ovaj zakon: $\tau_f = c' + \sigma_n' \cdot \tan \phi'$
 c' - prividna kohezija, ϕ' - usao za **EKSTRA** efektivne napone.

Koeficijent uniformnosti i koeficijent zaokrivljenosti

Koeficijent uniformnosti služi za opis krupnozrnos tla.

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

d_{10} - efektivna veličina zrna, predstavlja najveće zrno od koga je 10% materijala u uzorku

d_{60} - prečnik dominantnog zrna

Koeficijent zaokrivljenosti koristi se za blize definisanje graduiranosti

$$Cz = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

Tlo je dobro graduirano za $1 < Cz < 3$

Koeficijent konsolidacije C_v , vremenski faktor T_v

Koeficijent konsolidacije C_v predstavlja vezu između parametara stišljivosti i vodopropusnosti i konstantan je za jedan interval napona.

$$C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w}$$

Vremenski faktor T_v opisuje zavisnost porednog pritiska iznad hidrostatičke veličine po dubini sloja krivom koja se naziva izohorna.

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$$

Izohorna

Izohorna je kriva kojom se opisuje zavisnost porednog pritiska od dubine z , tj. raspored porednih pritisaka iznad hidrostatičke veličine po dužini sloja.

$T_v = 0$ - početna vrednost porednih pritisaka

$T_v = 0,05$ - poredni pritisak u sredini sloja je malo opao

$T_v = 0,12$ - površina dijagrama ispod izohorne je oko polovine ukupne površine dijagrama napona.

Rezidualna tla

Rezidualna tla nastaju kada je brzina raspadanja osnovnih stena veća od brzine odnošenja formiranog tla, pa tlo ostaje na mestu na kom je i nastalo.

Određivanje vlažnosti

1) Laboratorijski postupak

2) Brze terenske metode:

- metode sa vagonom
- indirektna metoda sa karbidom
- metoda neutronskega zračenja.

Svrha TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

Svrha je obezbeđivanje pouzdanih informacija o tlu i steni u području građevina od interesa je utvrđivanje:

- vrste materijala
- prostorno materijala u tlu
- režima podzemnih voda
- inženjerskih svojstava tla

Faze u izvođenju radova:

- Preliminarna
- Detaljna
- Dopunska

VRSTE TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

Istraživanja sa površine terena:

- Prethodna geološko-geotehnička istraživanja
- Inženjersko biološka istraživanja
- Geofizička istraživanja

Dubinska istraživanja tla:

- Sondažne jame
- Bunari
- Zaseci
- Potkopi
- Galerije
- Bušotine

Istražni radovi za potrebe fundiranja mosta

Prave se istražne bušotine, a potrebna dubina bušenja je od 30-50 m. Poželjno je bušiti i u steni do 2 m. Rade se bar tri bušotine.

Elementi geotehničkog profila terena

Predstavljaju prikaz više rezultata bušotina koje se međusobno povezuju pri čemu se prikazuje:

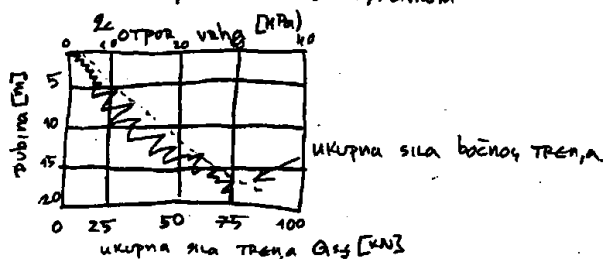
- Sastav terena
- Položaj i rasprostiranje slojeva u određenom preseku

OPIT STATIČKE PENETRACIJE (CPT)

Meri se otpor koji pruža tlo pri utiskivanju vrha penetrometra sa konusnim vrhom sa uglom od 60° i površinom projekcije osnovne konusa od 10 cm^2 .

Merena veličine otpora vrha penetrometra ima dimenziju napona i oznaku (Zc) pri čemu je poznata brzina utiskivanja 2 cm/s .

Rezultati se prikazuju dijagramom:



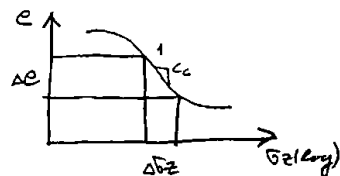
Standardni penetracioni opit (SPT)

Izvodi se u bušotini kada se na bušiču žitku uvrsti standardizovana penetraciona kladiva.

Opit se sastoji u brojanju udaraca malom težine $63,5\text{ kg}$ koji slobodno pada sa visine od 76 cm , a koji postigne prodiranje od 30 cm .

U šljunkovitom tlu se nož na vrhu zamenjuje masivnim konusom.

Indeks stišljivosti C_c



$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \left(\frac{p_{0'} + \Delta \sigma'z}{p_{0'}} \right)}$$

$$\Delta \epsilon_z = \frac{\Delta e_0}{1 + e_0}$$

$$\Delta \epsilon_z = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{p_{0'} + \Delta \sigma'z}{p_{0'}} \right)$$

TERČAGI $\rightarrow C_c = 0,009 \cdot (W_L - 10\%)$

Indeks rekompresije C_R i indeks bubrenja C_s

PRI RASTEREŽENJU TLO BUBRI I.TJ POVEĆAVA ZAPREMINU. PRI PONOVNOM OPTEREŽENJU (REKOMPRESIJI) DOLAZI DO SMANJENJA ZAPREMINA.

$$C_R = - \frac{\Delta e}{\log \left(\frac{p_{0'}}{p_{0'}} \right)} \approx C_s$$

$$\frac{C_R}{C_c} = \frac{1}{3} : \frac{1}{5} \quad (\text{NAJČEŠĆE } \frac{1}{4} : \frac{1}{5})$$

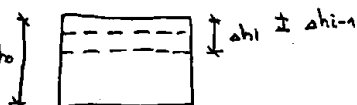
$OCR > 1$ ako je $p_{0'} + \Delta \sigma'z \leq p_{c'}$ \Rightarrow VERTIKALNA DEFORMACIJA

$$\epsilon_z = \frac{C_R}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p_{0'} + \Delta \sigma'z}{p_{0'}}$$

$OCR = 1$ ako je $p_{0'} + \Delta \sigma'z > p_{c'}$ \Rightarrow VERTIKALNA DEFORMACIJA

$$\epsilon_z = \frac{C_R}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p_{c'}}{p_{0'}} + \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p_{0'} + \Delta \sigma'z}{p_{c'}}$$

Modul stišljivosti



$$\Delta \epsilon_z = \frac{\Delta h_i - \Delta h_{i-1}}{\Delta h_0 - \Delta h_i}$$

$$\Delta \sigma'z = \sigma'z_{i+1} - \sigma'z_i$$

SEKANTNI MODUL STIŠLJIVOSTI: $M_v = \frac{\Delta \sigma'z}{\Delta \epsilon_z}$

M_v ZAVISI OD POČETNOG NAPONA I OD VELIČINE PRIRASTAJA NAPONA. KADA BI M_v BILO KONSTANTNO MATERIAL BI BIO ELASTIČAN.

VEZA IZMEĐU MODULA STIŠLJIVOSTI I ELASTIČNOSTI I POASONOVOG KOEFICIJENTA

$$M_v = \frac{1 - \nu'}{(1 - 2\nu')(1 + \nu')} \cdot E'$$

KOEFICIJENT ZAPREMINSKE STIŠLJIVOSTI

KOEFICIJENT ZAPREMINSKE STIŠLJIVOSTI PREDSTAVLJA ODNOS PROMENE DEFORMACIJE I PROMENE NAPONA:

$$m_v = \frac{\Delta \epsilon_z}{\Delta \sigma'z}$$

$$m_v = \frac{1}{M_v}$$

$$\Delta \epsilon_z = m_v \cdot \Delta \sigma'z$$

PERMAFROST - JE ZONA STALNO SMRZNUTOG TLA. AKO JE INDEKS MRAZA MANJI OD NULE, TLO MOŽE BITI STALNO ILI POUKRETNOSTI ZAMRZNUTO.

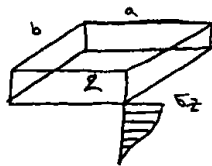
Indeks mraza je zbir proizvoda između prosečne dnevne temperature manje od nule i broja dana.

Temperatura zavisi od: - TEMPERATURE vazduha na površini TERENA
- TOPLOTE KOJA PROISTIČE IZ DUBINE ZEMLJINE KORE I TOPLOTNIH OSOBINA TLA

PERMAFROST SE FORMIRA U USLOVIMA PROSEČNE GODIŠNJE TEMPERATURE $t < -3^\circ\text{C}$ Ili indeksa mraza od -3000°C dana.

METODA ŠTAINBRENERA za određivanje $\Delta \sigma_z$

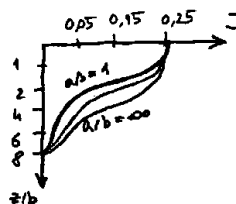
KORISTI SE ZA ODREĐIVANJE PRIRAŠTAJA VERTIKALNIH NAPONA ZA VERTIKALU KOJA PROLAZI KROZ UGAO OPTEREĆENE PRAVOKUTNE PLOŠTINE.



$$\Delta \sigma_z = J \cdot q_n$$

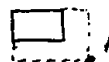
J - UTICAJNI KOEFICIJENT

$$J\left(\frac{a}{b}, \frac{z}{b}\right)$$



1	2
3	4

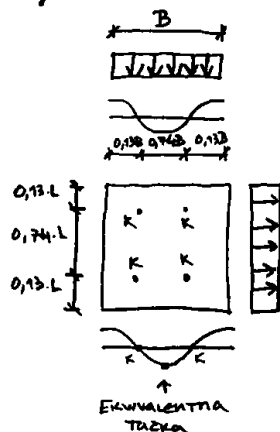
$$\Delta \sigma_z = (J_1 + J_2 + J_3 + J_4) \cdot q_n$$



$$+J_1 + J_2 - J_3 - J_4$$

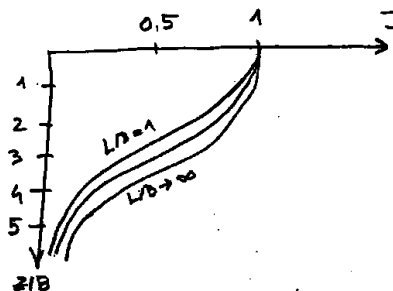
$$\Delta \sigma_z = (J_1 + J_2 + J_3 - J_4) \cdot q_n$$

Kani EKVIVALENTNA TAČKA ZA SLEŠANJE KRUTOG TEMELJA



$$\Delta \sigma_z = J \cdot q_n$$

$$J\left(\frac{L}{B}, \frac{z}{B}\right)$$



KANIEVA EKVIVALENTNA TAČKA JE TAČKA U KOJOJ SU IZJEDNAČENA SLEŠANJA SAVITLIVOG I KRUTOG TEMELJA.

KANIEV DIJAGRAM DAJE VERTIKALNE NAPONE ISPOD EKVIVALENTNE TAČKE PRAVOKUTNOG TEMELJA.

METODA BUISMANN DE BEERA ZA PRORAČUN SLEŠANJA

KORISTI SE ZA PRORAČUN SLEŠANJA TEMELJA NA PESKU I KORISTI SE ISKLJUČIVO ZA NORMALNO KONSOLIDOVANE PESKOVE. KAO REZULTAT MERENJA DOBIJA SE OTPOR VRHA KONUSA STATIČKOG PENETROMETRA (q_c), POMOĆU KOGA SE RAČUNA KONSTANTA STIČLIVOSTI.

$$C = 1,5 \cdot \frac{q_c}{p_0}$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{C} \cdot \ln \frac{p_0' + \Delta \sigma_z'}{p_0'}$$

- deformacije

SLEŠANJE:

$$s = \int_0^z \epsilon_z dz \Rightarrow s = \int_0^z \frac{1}{C} \cdot \ln \frac{p_0' + \Delta \sigma_z'}{p_0'} \cdot dz$$

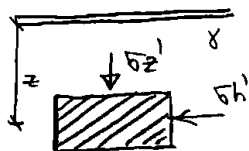
$$\Delta \sigma_z' < 10\% p_0'$$

PRITISAK TLA U STANJU MIROVANJA, ELASTIČNO TLO

VERTIKALNI I HORIZONTALNI NAPONI KOJI DELUJU NA MEĐUSOBNO UPRAVNIM RAVNIMA U STANJU MIROVANJA SU JEDNAKI.

$$\sigma_z' = \gamma \cdot z \quad \sigma_h' = K_0 \cdot \sigma_z'$$

K_0 - KOEFICIJENT PRITISKA TLA U MIROVANJU (0,40:0,75)



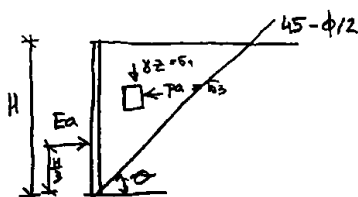
ZA IDEALIZOVANO ELASTIČNO TLO $K_0 = \frac{1-\nu}{\nu}$

ZA NORMALNO KONSOLIDOVANO TLO $K_{0,NC} = 1 - \sin \phi'$

ZA PREKONSOLIDOVANO TLO $K_{0,OC} = K_{0,NC} \cdot \sqrt{\sigma_{cr}}$

AKTIVNI PRITISAK PO RANKINU

OSNOVNE PRETPOSTAVKE: ZID JE POTPUNO GLADAK, VERTIKALAN I IDEALNO KRUT, TEREN JE HORIZONTALAN I NA TLO DELUJU SAMO NORMALNI NAPONI.

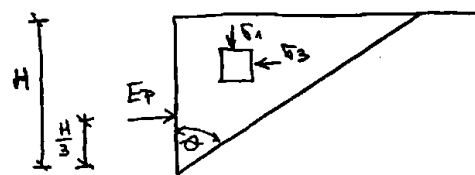


$$P_a = \gamma z \cdot K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2cH\sqrt{K_a}$$

PASIVNI PRITISAK PO RANKINU

OSNOVNE PRETPOSTAVKE: ZID JE POTPUNO GLADAK, VERTIKALAN I IDEALNO KRUT, TEREN JE HORIZONTALAN I NA TLO DELUJU SAMO NORMALNI NAPONI.



$$\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$$

$$P_p = K_p \cdot \gamma z + 2c\sqrt{K_p}$$

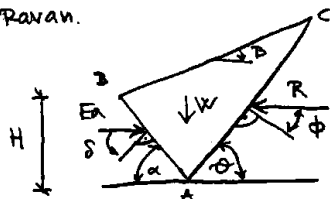
$$E_p = K_p \cdot \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 + 2cH\sqrt{K_p}$$

$$E_p = \frac{1}{2} H^2 \gamma \cdot \cos^2 \theta \cdot K_p$$

za $c=0 \Rightarrow E_a = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot \cos^2 \theta \cdot K_a$

AKTIVNI PRITISAK PO KULONU

OSNOVNE PRETPOSTAVKE: ZID JE POTPUNO KRUT U RAVNI, TEREN JE RAVAN, A MOŽE BITI I NAGNUT, NEMA KOHEZIJE ($c=0$). SMER SILE I NAPADNA TAČKA SU POZNATI, POUVRŠINA KLIZANJA JE RAVNA.

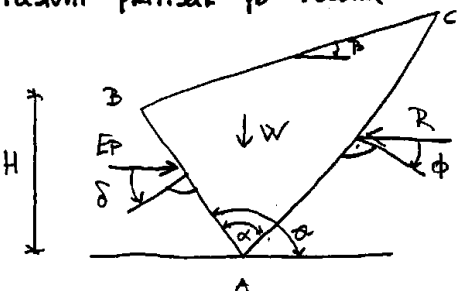


$$E_a = E_a(\alpha, \beta, \delta, \phi, \gamma, H)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

$$K_a = \left[\frac{\sin(\alpha - \phi)}{\sin \alpha} \right]^2 \frac{1}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta) + \frac{\sin(\delta + \phi) \cdot \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}}}$$

PASIVNI PRITISAK PO KULONU

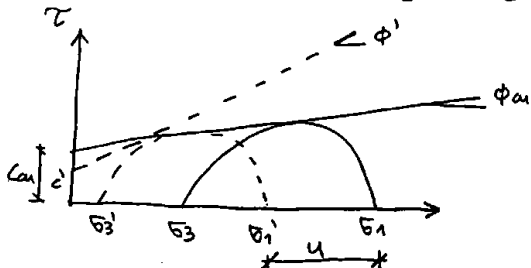


$$E_p = E_p(\alpha, \beta, \delta, \phi, \gamma, H)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

$$K_p = \left[\frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin \alpha} \right]^2 \frac{1}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}}}$$

MOROV KRUGOVI ZA TOTALNE I EFEKTIVNE NAPONE

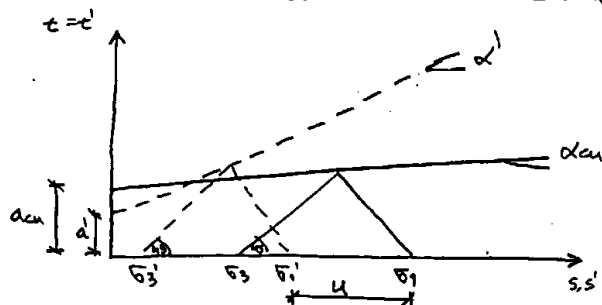


MOROVIM KRUGOVIMA ZA TOTALNE (-), EFEKTIVNE NAPONE (---) ODGOVARAJU RAZLIČITE ANVELOPE LOMA.

ZA TOTALNE NAPONE: $\tau_f = c_u + \sigma_n \cdot \tan \phi_u$

ZA EFEKTIVNE NAPONE: $\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \tan \phi'$

Lembov diagram za TOTALNE I EFEKTIVNE NAPONE



$$s' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \quad t' = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$$

$$\sin \phi' = \tan \alpha' \quad c' = \frac{a'}{\cos \phi'}$$

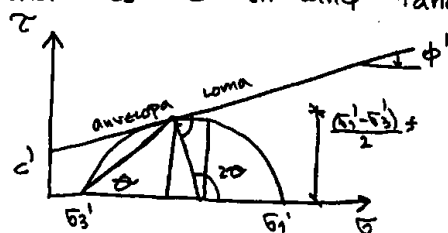
$$t' = a' + s' \tan \alpha'$$

$$t = a_u + s \cdot \tan \alpha_u$$

MOROV KRUG NAPONA LOMA I RAVNI LOMA

Prema zakonu LINEARNOG LOMA $\tau_f (c' + \sigma'_n \tan \phi')$, smičuza žurstoća se može izraziti PREKO GLAVNIH CENTRALNIH NAPONA σ_1' i σ_3' PRI LOMU u posmatranoj tački.

Prava $\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$ tangira MOROVE KRUGOVE EFEKTIVNIH NAPONA.



$$\tau_f = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{2} \cdot \sin 2\theta$$

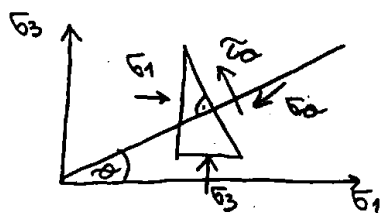
$$\sigma_f = \frac{(\sigma_1' + \sigma_3')}{2} + \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{2} \cdot \cos 2\theta$$

ϕ' - usao smičuže žurstoće

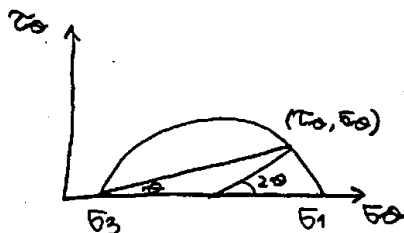
c' - prividna kohezija.

MOROV KRUG NAPONA I VEZE GLAVNIH NAPONA

Razmatra se dvodimenzionalno naponsko stanje. Stanje definisano sa dva glavna napona σ_1, σ_3 . Korišćenjem uslova RAVNI može se izračunati normalni i smičući napon u ravni sa proizvoljnom ORIJENTACIJOM.



$$\Rightarrow \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \Rightarrow$$



$$\sigma_\theta = \sigma_1 \cdot \cos^2 \theta + \sigma_3 \cdot \sin^2 \theta \Rightarrow \sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \cos 2\theta$$

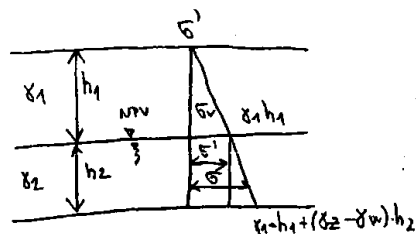
$$\tau_\theta = (\sigma_1 - \sigma_3) \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \sin 2\theta$$

PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA

EFEKTIVNI NORMALNI NAPON σ_n' JEDNAK JE RAZLIKA TOTALNOG NAPONA I PORNOG PRITISKA
VAŽI ZA GLAVNE I NORMALNE KOMPONENTALNE NAPONE

$$\sigma_n' = \sigma_n - u$$

Svi MERLJIVI EFEKTI PROMENE NAPONA (PROMENA ZAPREKINE, PROMENA OBLIKA, SMICUJE ČVRSTOĆE)
ZAVISI ISKLJUČIVO OD EFEKTIVNIH NAPONA.



TOTALNI VERTIKALNI NAPON:

$$\sigma_v = h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2$$

PORNI PRITISAK:

$$u = h_2 \cdot \gamma_w$$

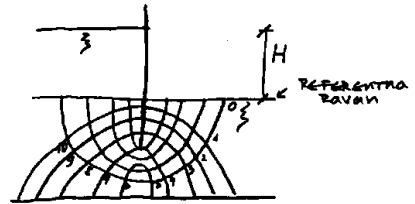
EFEKTIVNI NAPON

$$\sigma_v' = \sigma_v - u \Rightarrow \sigma_v' = h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2'$$

γ_2' - JEDINIČNA TEŽINA TLA U POTOPJENOM STANJU.

STRUJNA MREŽA

STRUJNA MREŽA PREDSTAVLJA Približno kvadratnu mrežu dve familije krivih: strujnica i ekvipotencijala



određivanje protoka (Q)

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

$$Q = N_f \cdot \Delta Q$$

$$\Delta Q = K \cdot \Delta h$$

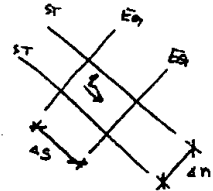
$$Q = K \cdot H \cdot \frac{N_f}{N_e}$$

N_f - broj kanala

N_e - broj intervala padova između ekvipotencijala

H - Razlika nivoa između prve i poslednje ekvipotencijale

Δh - Razlika nivoa između dve susedne ekvipotencijale



određivanje pornog pritiska (u)

Neka se tačka P nalazi unutar strujne mreže, n_e - broj ekvipotencijale na kojoj se P nalazi.

$$h_p = n_e \cdot \Delta h$$

$$h_p = \frac{n_e}{N_e} \cdot H$$

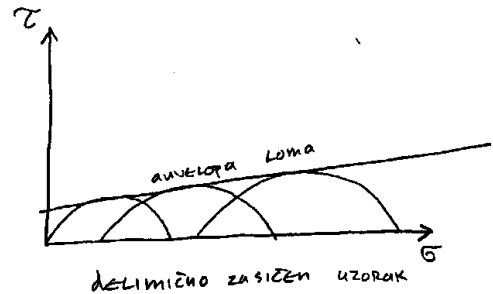
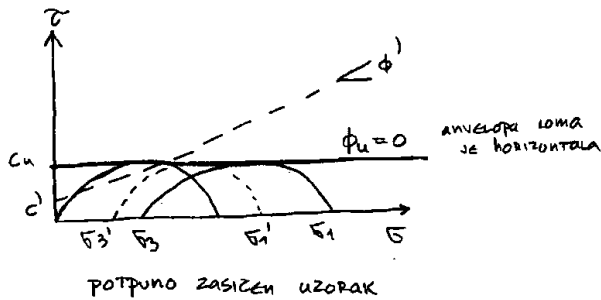
porni pritisak:

$$u = \gamma_w \cdot (H - h_p)$$

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

Nedrenirani ili "U" opit triaksljalne kompresije

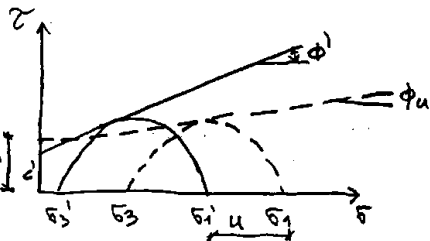
U toku ove faze sprečeno je dreniranje, odnosno promena zapremine usled evakuacije vode iz pora. Porni pritisak se ne menja. Primenuje se vodom zasićeno tlo. Ovim opitom određujemo nedreniranu čvrstoću gline.



Konsolidovani "CU" opit triaksljalne kompresije

U prvoj fazi omogućava se dreniranje i promena zapremine na račun istisnute vode iz uzorka pri otvorenom ventilu V1 i zatvorenom ventilu V2.

U drugoj fazi se V1 zatvara, V2 otvara. Nanosi se aksijalni pritisak konstantnom brzinom i meri se promena pornog pritiska u funkciji aksijalne deformacije.



$$\tau_f = c_u + \sigma_n' \tan \phi_{cu} \quad \text{— za totalne napone}$$

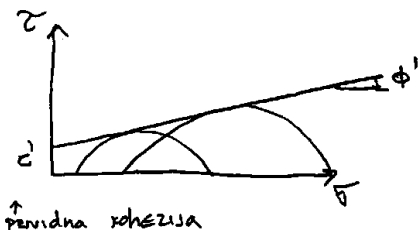
$$\tau_f = c' + \sigma_n' \tan \phi' \quad \text{— za efektivne napone}$$

Meri se nedrenirana smičuća čvrstoća, koristi se i za neporemećene uzorke i uzorke zbijene nakon vađenja.

Drenirani opit (CD ili D) triaksljalne kompresije

Porni pritisci u toku nanošenja napona su praktično jednaki nuli, odnosno totalni su jednaki efektivnim naponima. Tako da dobijamo parametre smičuće čvrstoće za efektivne napone c', ϕ' .

Prva faza ista kao CU. Druga faza povećavamo aksijalni pritisak do loma uz merenje promene zapremine uzorka, dok se porni pritisci ne mere i zanemarujemo ih.



$$v = \frac{\Delta h_f}{t_f}$$

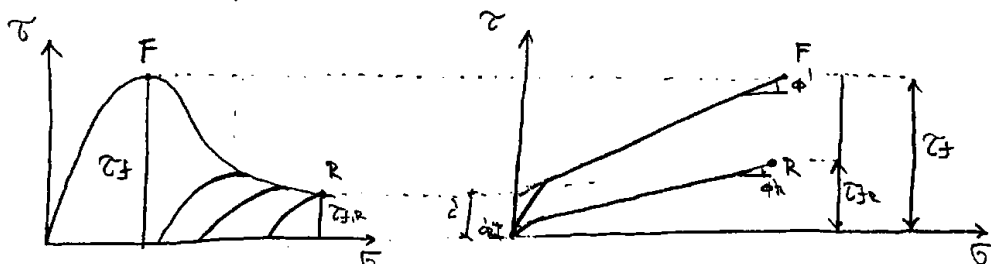
$$t_f = k \cdot t_{90}$$

$$\tau_f = c' + \sigma_n' \tan \phi'$$

Reverzni ili R opit direktnog smicanja

Služi za merenje rezidualne čvrstoće nakon velikih deformacija. Može se izvoditi na neporemećenim i poremećenim, pretrađenim uzorcima. Opit se izvodi isključivo aparatima sa kontrolisanom brzinom smičućih pomeranja i u drenažnim uslovima.

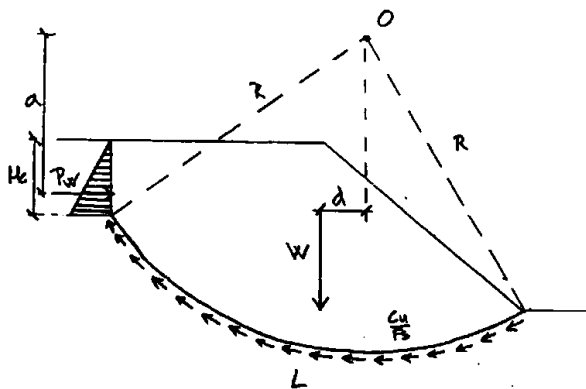
Opitu se najčešće podvrgavaju uzorci tla koji sadrže sitnozrne frakcije, minerale gline koji imaju pločast oblik.



$\phi_u = 0$ metoda za proračun stabilnosti kosina

Koristi se za analizu mase vodom zasićenog bitnozrnog tla u nedreniranim uslovima.

Kružno cilindrični presjek se izdeli na lamele koje su dovoljno uske tako da se luk osnove zamenjuje tetivom. Za svaku lamelu se spoljašnji uticaj zamenjuje odgovarajućim silama.



$$\tau_m = \frac{\tau_t}{F_s} \Rightarrow \tau_m = \frac{1}{F_s} \cdot [c' + (\sigma_n - u) \cdot \tan \phi']$$

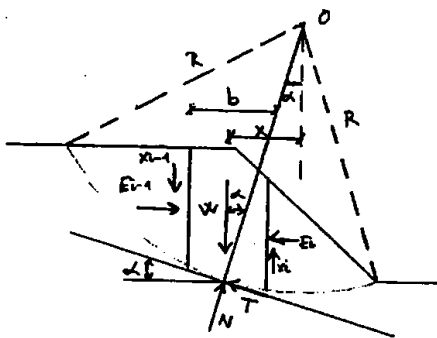
$$T = \tau_m \cdot l$$

$$F_s = \frac{\sum c_u \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \Rightarrow F_s = \frac{R \cdot \sum c_u \cdot l}{\sum W \cdot x}$$

$$F_s = \frac{c_u \cdot L \cdot R}{W \cdot d + P_w \cdot a}$$

Metoda Felleniusa za proračun stabilnosti kosina

Naziva se i švedska metoda. Zasniva se na projekciji svih sila na pravac normale na kliznu površ. Zasniva se na zanemarivanju obe komponente međulamelarnih sila.



$$\tau_m = \frac{\tau_t}{F_s} \Rightarrow \tau_m = \frac{1}{F_s} \cdot [c' + (\sigma_n - u) \cdot \tan \phi']$$

$$T = \tau_m \cdot l$$

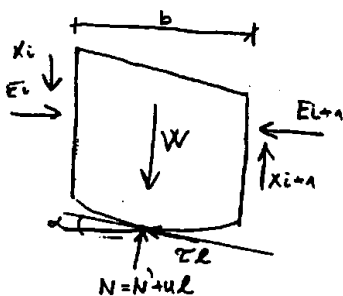
$$N' = (W + X_{i-1} - X_i) \cdot \cos \alpha + (E_{i-1} - E_i) \cdot \sin \alpha$$

$$N = W \cdot \cos \alpha \quad X = R \cdot \sin \alpha$$

$$F_s = \frac{\sum [c' \cdot l + (W \cos \alpha - u \cdot l) \cdot \tan \phi']}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Metoda Bishopa za proračun stabilnosti kosina

Uvode se uticaji komponenti međulamelarnih sila na raspodelu efektivnih normalnih napona duž klizne površi. Bishop je izvršio projekciju sile na vertikalni pravac, pa je dobio izraz za ravnotežu vertikalnih sila.



$$N' = \frac{W + X_i - X_{i+1} - u \cos \alpha - c' \cdot l \cdot \sin \alpha / F_s}{\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \phi' / F_s}$$

$$F_s = \frac{\sum [c' \cdot b + (W + X_i - X_{i+1} - u \cdot b) \cdot \tan \phi'] \cdot \frac{1}{\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \phi' / F_s}}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$$F_s = \frac{\sum [c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \phi'] \cdot m_\alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

PLITKO I DUBOKO TEMELJENJE

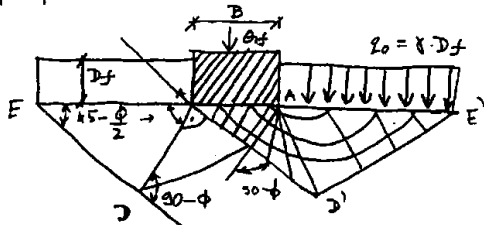
Osnovna podjela temelja: 1) PLITKI $\frac{D_f}{B} < 1$; 2) POLUDUBOKI $\frac{D_f}{B} = \frac{1}{4}$; 3) DUBOKI $\frac{D_f}{B} > 4$

Osnovni tipovi plitkih temelja: Samci, Trakasti, Temeljne ploče, Temeljne ploče ajazne gredama

Osnovni tipovi dubokih temelja: Šipovi, Diјаfragme, Bunari, Keson

NOSIVOST PLITKOG TEMELJA PO PRANDTL-U

Pretpostavka je da je tlo homogeno i izotropno bez težine i da je temelj krut i potpuno gladak.



$$q_f = c \cdot N_c + q_0 \cdot N_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot c \cdot \tan \phi$$

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \cdot c \cdot \pi \cdot \tan \phi$$

OPŠTI OBLIK ZA NOSIVOST PLITKOG TEMELJA PO HANESU

Opšti oblik za graničnu nosivost tela pri kosom opterećenju.

$$q_f = 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma + c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot i_q$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L} > 0,6$$

$$S_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L} \quad \text{za } \phi \neq 0$$

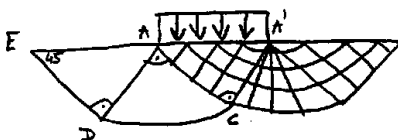
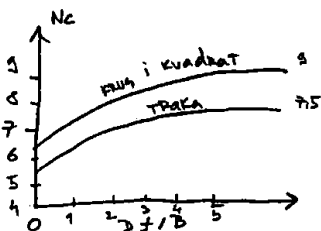
$$S_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B}{L} \quad \text{za } \phi = 0$$

NOSIVOST PLITKOG TEMELJA PREMA SKEMPTONU

Zasićene gline u nedreniranim uslovima $\phi_u = 0$, granična nosivost je $q_f = c_u N_c + \gamma D_f$

gde faktor nosivosti N_c zavisi od oblika temeljne stope $B < L$ i odnosa D_f/B .

Dopušteno opterećenje tela je: $q_a = \frac{c_u \cdot N_c}{F_s} + \gamma D_f$



$$\phi = \phi_u = 0$$

$$q_f = c_u$$

NOSIVOST TRAKASTOG TEMELJA NA POUVRŠINI VODOM ZASIĆENE GLINE - PRANDTL

$$q_f = c \cdot N_c + q_0 \cdot N_q$$

Za nosivost trakastog temelja na površini: $D_f = 0 \Rightarrow q_0 = 0 \Rightarrow q_f = c \cdot N_c$

$$N_c = (e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2(\frac{\phi}{2} + 45^\circ) - 1) / \tan \phi \Rightarrow N_{cu} = \lim_{\phi \rightarrow 0} N_c = 2 + \pi$$

$$q_f = \frac{q_u}{2} \cdot (2 + \pi) = 2,57 \cdot q_u \quad \text{za } F_s = 2,57 \Rightarrow \text{granična nosivost je jednaka jednoaksijalnoj čvrstoći}$$

Granična nosivost tela prema našim standardima

$$q_f = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma + c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \cdot i_q$$

S_c, S_γ, S_q - faktori oblika temelja

d_c, d_γ, d_q - faktori dubine

B, L - dimenzije temelja

i_c, i_γ, i_q - faktori nagiba sile

D_f - dubina fundiranja

N_c, N_γ, N_q - faktori nosivosti tela

DOZVOLJENA NOSIVOST TLA q_a

$$q_a = \frac{V}{A'} \Rightarrow q_a = \frac{\gamma'}{2} \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot i_\gamma + (c_m + \gamma_0 \cdot \tan \phi_m) \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c + \gamma_0$$

V - UKUPNO VERTIKALNO OPTEREĆENJE TEMELJA

A' - KORISNA PLOŠTA TEMELJA

γ' - EFEKTIVNA ZAPREMINSKA TEŽINA TLA ISPOD TEMELJNE SPojNICE

c_m - DOZVOLJENA MOBILISANA KOHEZIJA $c_m = \frac{c}{F_c}$

ϕ_m - DOZVOLJENI MOBILISANI USAO ODPORNOSTI NA SMICANJE $\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F_\phi}$

$$d_c = 1 + 0,35 \frac{D_f}{B} \leq 1,35$$

γ_0 - NAJMANJE VERTIKALNO OPTEREĆENJE U NIVOU TEMELJNE SPojNICE $\gamma_0 = \gamma \cdot D_f$

B' - REDUKOVANA DIMENZIJA TEMELJA

$$q_a = \frac{q_f}{F_s}$$

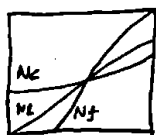
i - ZAVISI OD

$$X = \frac{H}{A' \cdot c_m + V \cdot \tan \phi_m}$$

$X = 1$ - KLIZANJE TEMELJA PO SPojNICI

$X < 1$ - PLITKO KLIZANJE

$X = 0$ - DUBOKI LOM



$$S_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'}$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$$

$$A' = B' \cdot X \cdot L'$$

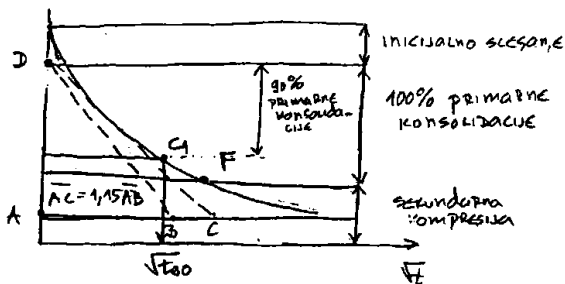
$$N_\gamma = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$$

$$N_c = (N_\gamma - 1) \cdot c \cdot \tan \phi$$

$$N_\gamma = 2(N_\gamma - 1) \cdot \tan \phi$$

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONSOLIDACIJE - METODA TEJLORA

Metoda kvadratnog korena vremena

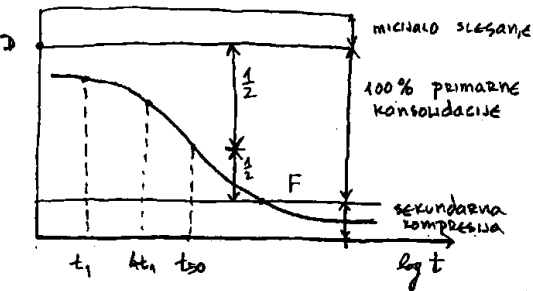


$$C_v = 0,848 \cdot \frac{H_{dr}^2}{t_{50}} \quad \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

$$H_{dr} = \frac{h_{sr}}{2}$$

h_{sr} - srednja vrednost visine uzorka na posmatranom intervalu napona.

Metoda Casagrande-a za određivanje koeficijenta konsolidacije



$$C_v = 0,197 \cdot \frac{H_{dr}^2}{t_{50}} \quad \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

$$H_{dr} = \frac{h_{sr}}{2}$$

ODREĐIVANJE NAPONA PREKONSOLIDACIJE P_c - prema Casagrandeu

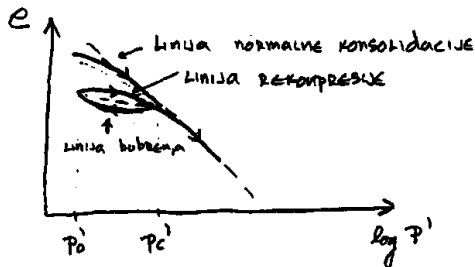
STEPEN PREKONSOLIDACIJE:

$$OCR = \frac{P_c'}{P_o'} \rightarrow \text{NAPON PREKONSOLIDACIJE}$$

\rightarrow TRENUTNI EFEKTIVNI NAPON U TLU

$$OCR = 1 \rightarrow NC \text{ (normalno konsolidovano TLO)} \Rightarrow P_c' = P_o'$$

$$OCR > 1 \rightarrow OC \text{ (prekonsolidovano TLO)} \Rightarrow P_c' > P_o'$$



FAKTOR SIGURNOSTI ZA DUGU KOSINU

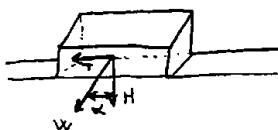
$$u \neq 0 \text{ i } c \neq 0 \Rightarrow u = u \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Efektivna sila: } N' = N - u \cdot l \Rightarrow N' = N - u$$

$$\text{Max otporna sila: } S = N' \cdot \tan \phi' + c' \cdot l$$

$$\text{FAKTOR SIGURNOSTI: } F_s = \frac{S}{T} \Rightarrow F_s = \frac{(W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) \cdot \tan \phi' + c' \cdot l}{W \cdot \sin \alpha}$$

FAKTOR SIGURNOSTI NA KLIZANJE ZA BLOK NA KOSOJ RAVNI



$$N = W \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Max otporna sila: } S = N \cdot \tan \phi \Rightarrow S = W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi$$

FAKTOR SIGURNOSTI:

$$F_s = \frac{S}{T} \Rightarrow F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} > 1$$