

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*

СТИШЉИВОСТ ТЛА

- Напони у тлу-

У тлу разликујемо:

- тоталне напоне (σ)
- порне притиске (u)
- ефективне напоне (σ')

Терцаги је 20-тих година прошлог вијека успоставио принцип који се односи на водом засићено тло и састоји се од два основна става:

Став I - *Ефективни напон је једнак разлици тоталног напона и порног притиска*

$$\sigma' = \sigma - u$$

Став II - *Сви мерљиви ефекти промјене напона, као што су промјене запремине, промјене облика и промјена смичуће чврстоће зависе искључиво од ефективних напона.*

- Вертикални ефективни напон "in situ"

Геостатички напони у тлу се јављају само као последица гравитације.

За случај два слоја:

Тотални напон:

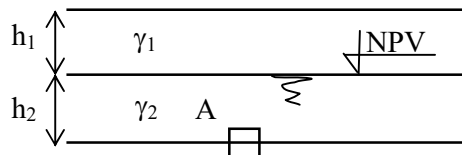
$$\sigma_{va} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$$

Порни притисак:

$$u_A = \gamma_w h_2$$

Ефективни напон у тачки А:

$$\sigma'_{va} = \sigma_{va} - u_a = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_w h_2 = \gamma_1 h_1 + \gamma_2' h_2$$



Слика 1 - профил тла

- Појам стишљивости тла-

Стишљивост тла је особина тла да тло смањује запремину при повећању ефективних напона. Процес смањења запремине је везан за истискивање воде и ваздуха из пора.

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*

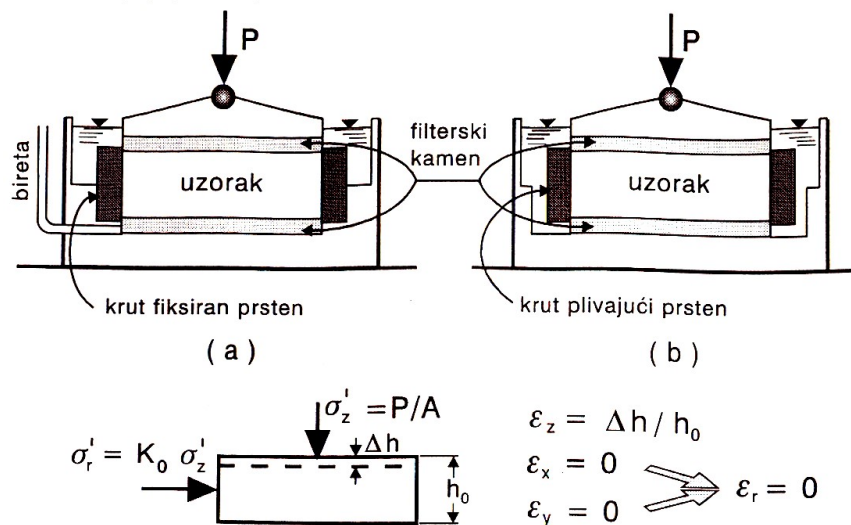
Прираштај тоталних напона у засићеном тлу је праћен повећањем порних притисака без промјене запремине јер је за евакуисање воде потребно одређено вријеме. Током времена, вода се дренира из тла, порни притисци опадају, односно расту ефективни напони. Овај процес се одвија све док цјелокупно оптерећење не прихвати скелет тла. На основу стишљивости и временског тока консолидације предвиђа се величина и временски ток слијегања објекта на терену.

Стишљивост тла одређује се у лабораторији **едометарским опитом**.

- Едометарски опит -

Узорак тла, облика ниског цилиндра, излаже се контролисаном прираштају вертикалних напона при чему је спријечена бочна деформација. Мјери се слијегање узорка, односно промјена његове запремине. Разликујемо двије врсте едометара (слика 2):

- едометар са фиксним прстеном
- едометар са пливајућим прстеном



Слика 2 Шема едометра (а) са фиксираним прстеном, (б) са пливајућим прстеном, (ц) напони и деформације

Едометар са фиксним прстеном. Прстен је крут и фиксиран. На врху и на дну узорка се налази порозан филтерски камен кроз који се обавља евакуација воде која се прикупља у бирети. Наношење силе се врши преко специјалног уређаја.

У току овог опита хоризонтална и вертикална равна нису равни главних напона јер се по ободу узорка јављају смичући напони услед спријечених бочних деформација. Нежељена појава смичућих напона се своди на минимум усвајањем односа пречника и висине узорка у износу већем од 4. Пошто са смањењем висине узорка грешке

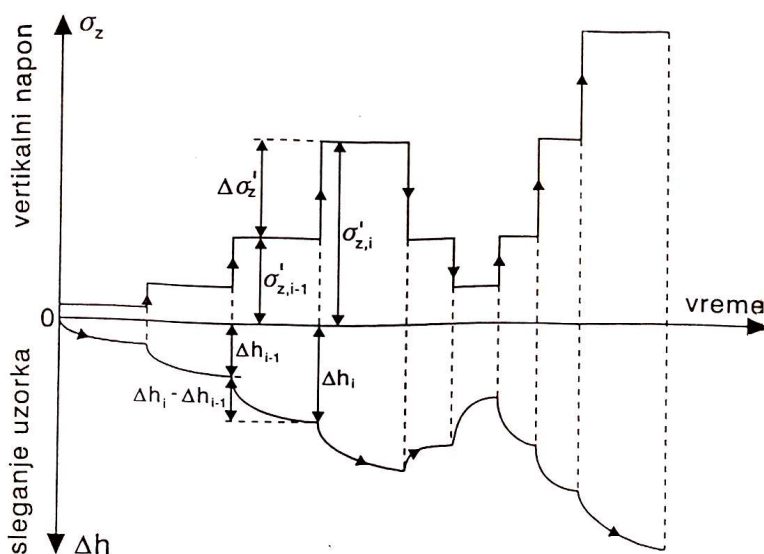
ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјезба број 6 - *Стабилност тла. Временски ток консолидације*

очитавања постају веће, минимални пречник узорка за едометар са фиксним прстеном је 7цм, односно 4цм за едометар са пливајућим прстеном.

Ток опита је следећи:

Водозасићени узорак се у почетку оптерећује малим напонам од 5 до 10 кПа који служи за обезбјеђивање контакта између узорка и порозних камених плоча. Ово мало почетно оптерећење се третира као нулто. Након тога се на узорак вертикално оптерећење наноси степенасто (слика 3), при чему је уобичајено да је однос између два сусједна вертикална напона 2 (25, 50, 100, 200,400,800 кПа). Промјена запремине узорка се региструје промјеном његове висине.



Слика 3 Наношење напона и деформација у едометарском опиту

Уобичајено је да свака степеница оптерећења траје 24h, али тада опит јако дуго траје. Поступак мјерења се убрзати праћењем развоја слијегања у току времена и наношењем нове степенице оптерећења након достизања око 100% примарне консолидације. Оваквим начином мјерења слијегања не смањујемо тачност резултата.

-Односи главних напона у едометарском опиту-

Напонско стање у узорку при извођењу едометарског опита је ротационо-симетрично а деформација је једнодимензионална (слика 2с). На узорак се контролисано наноси вертикални напон $\sigma_z = F/A$. Величине бочних (радијалних) напона σ_r се не мјере у опиту, али се могу процијенити уз претпоставку еластичности материјала узорка. Вертикална деформација се може срачунати из измјерених слијегања, док је у радијалном правцу спријечено помјерањ тј. $\epsilon_r = 0$.

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - Стилљивост тла. Временски ток консолидације

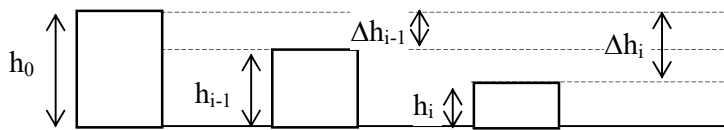
Како је

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r' - \nu(\sigma_r' + \sigma_z')] = 0 \Rightarrow \sigma_r' - \nu(\sigma_r' + \sigma_z') \Rightarrow \sigma_r' = \frac{\nu}{\nu - 1} \sigma_z' = k_0 \sigma_z'$$

гдје је k_0 коефицијент притиска тла у миру.

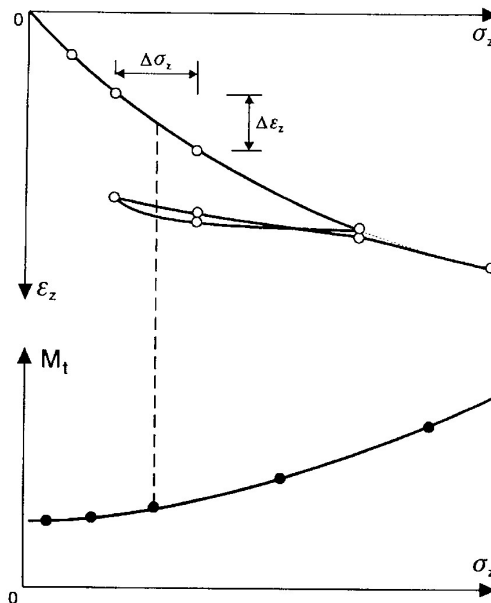
- Модул стилљивости (M_v) -

Секантни модул стилљивости представља однос између промјене напона $\Delta\sigma_z$ и специфичне деформације $\Delta\varepsilon_z$ (слика 4).



Слика 4 Деформације узорка у едометру за $i-1$ и i -ту степену оптерећења

$$\varepsilon_{zi} = \frac{\Delta h_i}{h_0} \quad \Delta \varepsilon_{zi} = \frac{\Delta h_i - \Delta h_{i-1}}{h_0 - \Delta h_{i-1}} \quad M_v = \frac{\Delta \sigma_{zi}'}{\Delta \varepsilon_{zi}} = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\frac{\Delta h_i - \Delta h_{i-1}}{h_0 - \Delta h_{i-1}}} [kN/m^2]$$



Слика 5 Резултати опита стилљивости у едометарском опиту. (а) специфичне деформације, (б) Тангентни модул стилљивости

Тангентни модул стилљивости се дефинише као:

$$M_v = \frac{d\sigma_{zi}'}{d\varepsilon_{zi}} \approx \frac{\Delta \sigma_{zi}'}{\Delta \varepsilon_{zi}} [kN/m^2]$$

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*

Тангентни модул се може апроксимирати секантном вриједношћу као што је приказано на слици. Тако израчуната секантна вриједност се припише тангентној величини у средини интервала напона за коју је израчуната, израчунају се вриједности у низ испитаних интервала напона и затим апроксимирају погодним аналитичким изразом (слика 5).

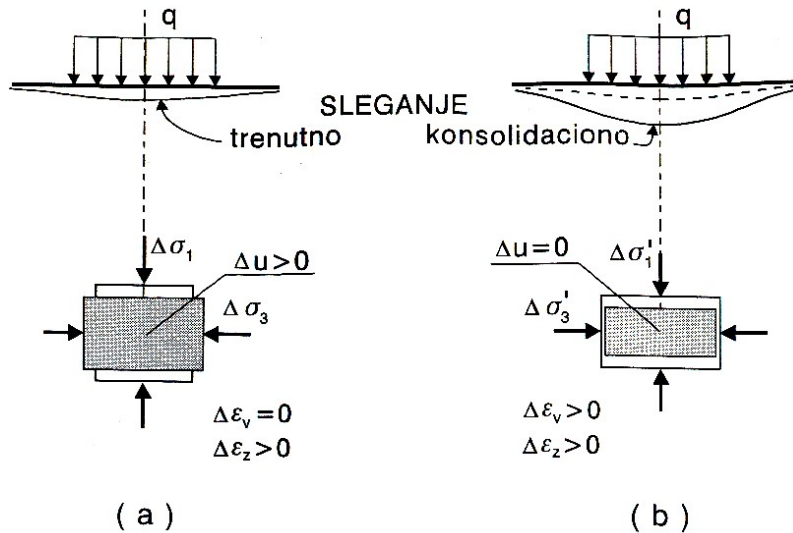
Осим модула стишљивости користи се и коефицијент запреминске стишљивости m_v , који се дефинише као:

$$m_v = \frac{\Delta \varepsilon_z}{\Delta \sigma_z}, \text{ тако да је } m_v = \frac{1}{M_v}$$

-Промјена запремине тла у времену - консолидација-

Процес постепеног смањивања запремине, опадања порног притиска и повећања ефективног напона у тлу назива се процес *консолидације*. Посматра се водом засићено тло које је изложено промјени напона. Величина одговарајуће промјене запремине је практично једнака количини истиснуте воде из пора. Брзина ове промјене зависи од водопропустности тла тј. од времена потребног за евакуацију воде из тла. Код крупнозрног тла процес консолидације је готово тренутан. Слабо водопрпусна тла као што су глине, траже више времена за евакуацију воде и показују кашњење између нанијетог напона и одговарајућег прираштаја деформација.

Напомена: Теорија једнодимензионалне консолидације је изложена на предавањима.



Слика 6 Напони и деформације испод центра кружне оптерећене површине

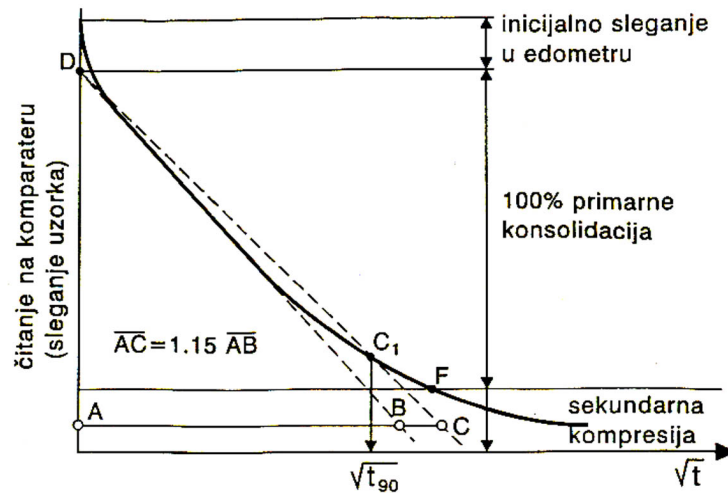
- Коефицијент консолидације -

Коефицијент консолидације $c_v = \frac{kM_v}{\gamma_w}$ одређује се на основу едометарског опита.

Посматра се развој слијегања у времену за сваку нанијету степену оптерећења. Вријеме се наноси у размјери квадратног коријена. Теоријска крива је практично права линија до 60% консолидације, док је након 90% консолидације теоријска линија паралелна са апсисом.

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Шишљивост тла. Временски ток консолидације*



Слика 7 Тајлорова метода за одређивање коефицијента консолидације

Коефицијент консолидације c_v се одређује конструкцијом која се назива Тајлорова метода на следећи начин (слика 7):

- повући хоризонталу на произвољном мјесту до пресека са ординатом (A)
- направи се пресјек правоугаоног дијела дијаграма са ординатом (тачка D- коригована нула) и са произвољном хоризонталом (тачка B)
- на произвољну хоризонталу се нанесе тачка C при чему је $\overline{AC} = 1.15 \overline{AB}$
- повуче се права линија DC а пресјек са теоријском кривом је тачка C_1
- тачка C_1 дефинише $\sqrt{t_{90}}$ - вријеме за које је обављено 90% консолидације

Коефицијент консолидације је дат изразом

$$c_v = \frac{T_v H^2}{t}$$

гдје је:

t - вријеме консолидације

T_v - временски фактор

H -дебљина слоја кроз који се врши филтрација

За $U=90\%$ односно t_{90} , $T_v=0.848$:

$$c_v = 0.848 \frac{H_{dr}^2}{t_{90}}$$

- Степен консолидације-

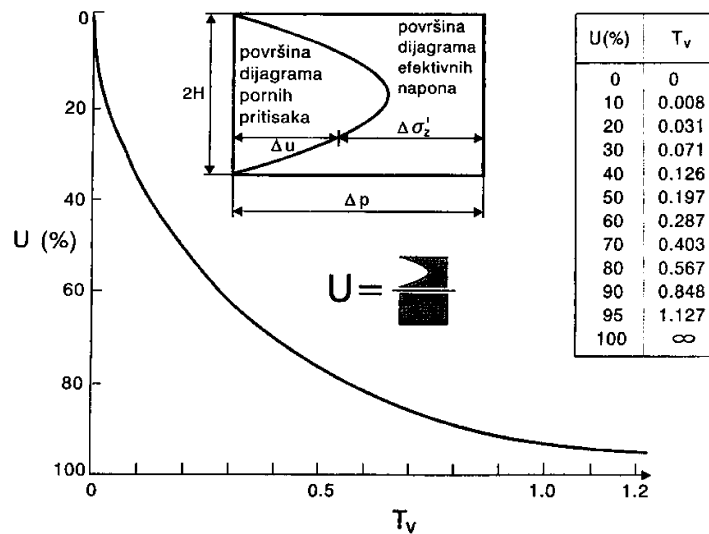
Степен консолидације представља однос између обављеног слијегања у неком времену t и укупног слијегања по обављеној консолидацији. Подаци везани за степен консолидације се изражавају кроз дијаграме или табеларно (слика 8) док се сам степен консолидације срачунава сложеним интегрисањем или уз помоћ приближних израза:

$$U < 60\% \quad T_v = \frac{\pi}{4} U^2$$

$$U > 60\% \quad T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U\%)$$

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - Стишљивост тла. Временски ток консолидације



Слика 8 Просјечни степен консолидације

Коначно слијегање се добија по изразу

$$s_{\infty} = \frac{\Delta\sigma}{M_v} H = \frac{q}{M_v} H, \quad M_v = \frac{c_v \gamma_w}{k}$$

Примјер 1 - Изградња подног складишта, фундираног на плочи чији је контактни притисак на тло $p_1 = 70 \text{ kN/m}^2$, трајала је 8 мјесеци. Колико се може дозволити корисно оптерећење ако је величина накнадног слегања након завршене изградње и наношења корисног оптерећења не смије бити већа од 4цм.

Параметри тла: $k = 3 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$, $M_v = 3.5 \text{ MPa}$. Дебљина стишљивог слоја који лежи на водонепропусној подлози је 2.0м.

- Степен преконсолидације-

За тло се каже да је нормално консолидовано (NC) ако од свог настанка до времена када га посматрамо није било изложено већем вертикалном напону од напона p_0' коме је сада изложено.

За тло се каже да је преконсолидовано (OC) ако је у својој прошлости било оптерећено вертикалним ефективним напоном (p_c' -напон преконсолидације) који је већи од величине текућег вертикалног напона p_0' . Степен преконсолидације (OCR) је однос између напона преконсолидације и текућег напона.

$$OCR = \frac{p_c'}{p_0'}$$

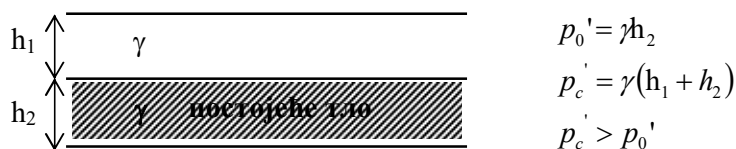
Ако је OCR=1 тло је нормално консолидовано

Ако је OCR>1, $p_c' > p_0'$, тло је преконсолидовано.

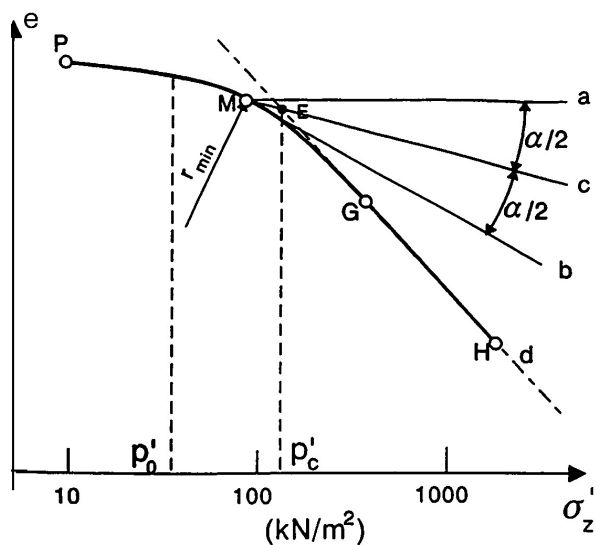
Примјер за преконсолидовано тло - ерозијом уклоњен надслој тла.

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*



Напон преконсолидације p_c' може да се одреди уз помоћ Касаграндеове конструкције која се изводи на дијаграму $e - \log \sigma_z'$ који је добијен из едометарског опита (крива РОН, слика 9).



Слика 9 Одређивање напона преконсолидације

Поступак конструкције се састоји из следећих корака:

- изабрати тачку М на мјесту највеће закривљености криве
- повући хоризонталну линију (а) у тачки М
- повући тангенту (б) на криву РОН у тачки М
- нацртати симетралу угла (с) између правих (а) и (б)
- продужити линеарни сегмент ОН до пресека са симетралом (с) - тачка Е
- тачка Е дефинише напон p_c' -максимални напон који је на тло дјеловао у прошлости

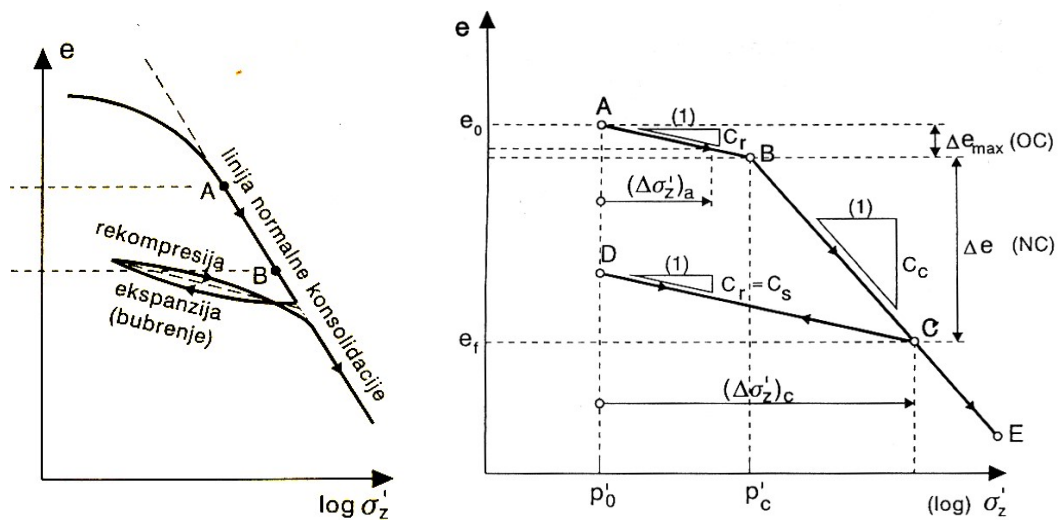
ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*

- Индекс стишљивости (C_c)- (индекси бубрења и рекомпресије)

Предност полулогаритамског дијаграма ($e - \log \sigma'_z$, слика 10) је што је за већину глиновитих материјала дио криве приближно права линија. Нагиб ове праве BC (слика 10) је дефинисан величином индекса стишљивости:

$$C_c = - \frac{\Delta e}{\log \Delta \sigma'_z}$$



Слика 10 Идеализовано понашање глине при једнодимензионалној деформацији

Индекс бубрења односно рекомпресије је нагиб праве линије DC односно линије AB (слика 10).

$$C_r = C_s = - \frac{\Delta e}{\log \left(\frac{p'_c}{p'_0} \right)}$$

ВЈЕЖБЕ ИЗ ПРЕДМЕТА МЕХАНИКА ТЛА И СТИЈЕНА

Вјежба број 6 - *Стишљивост тла. Временски ток консолидације*

ЕДОМЕТАР

