DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKY ZEMIN
JEDNOOSÁ STLAČITELNOST

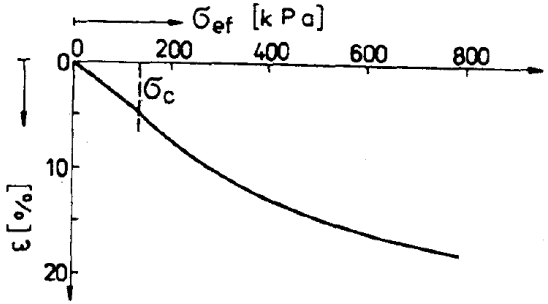
Geomechanika

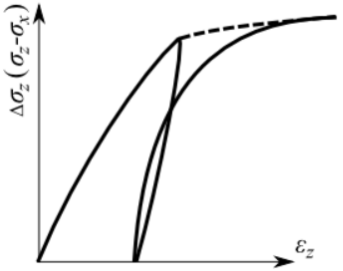
Katedra geotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Edometr

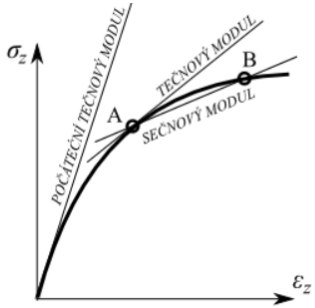
Deformačních charakteristiky zemin

- deformační charakteristiky pružného materiálu
  - modul pružnosti E (tečnový vs sečnový)
  - Poissonovo číslo ν (odkaz)
  - smykový modul G
- **zeminy se nechovají ideálně pružně**





Idealizovaná deformační křivka



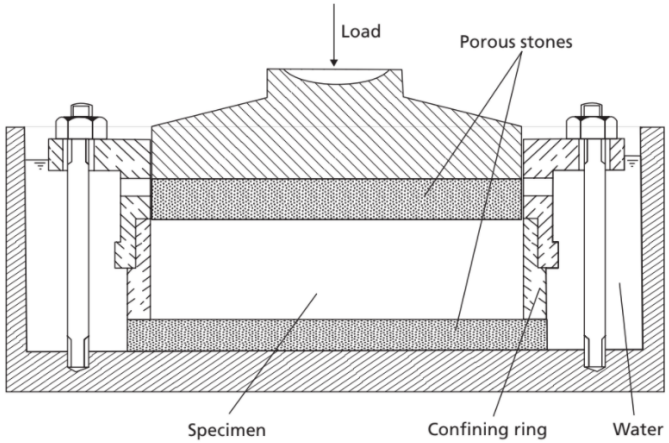
Typy modulů

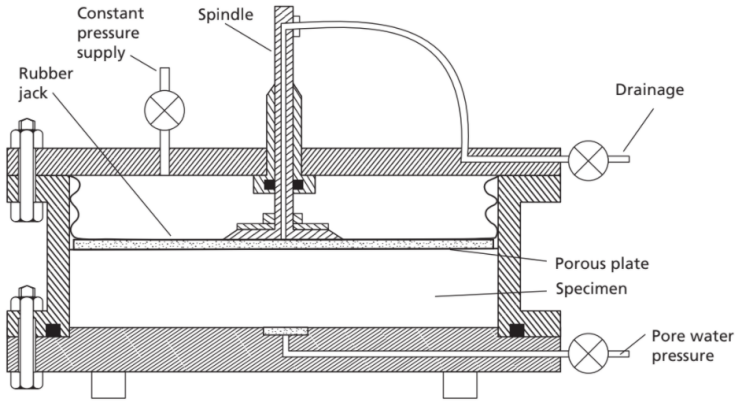
- složitější závislost mezi přetvořením a napětím
  - stlačování $\rightarrow$ posun a přeskupení zrn (částečně trvalé)
  - vliv historie a způsobu zatěžování/odtěžování
  - vliv případné vody v pórech
- v praktických aplikacích mechaniky zemin

  $\rightarrow$ **aproximace pružným chování v určitém intervalu**

Zkoušky stlačitelnosti → edometrický modul

- videa: odkaz 1, odkaz 2, odkaz 3
- tuhý prstenec zabraňující boční deformaci
- filtrační destičky shora a zespoda pro průchod vody
- zatěžování pístem → stlačování vzorku

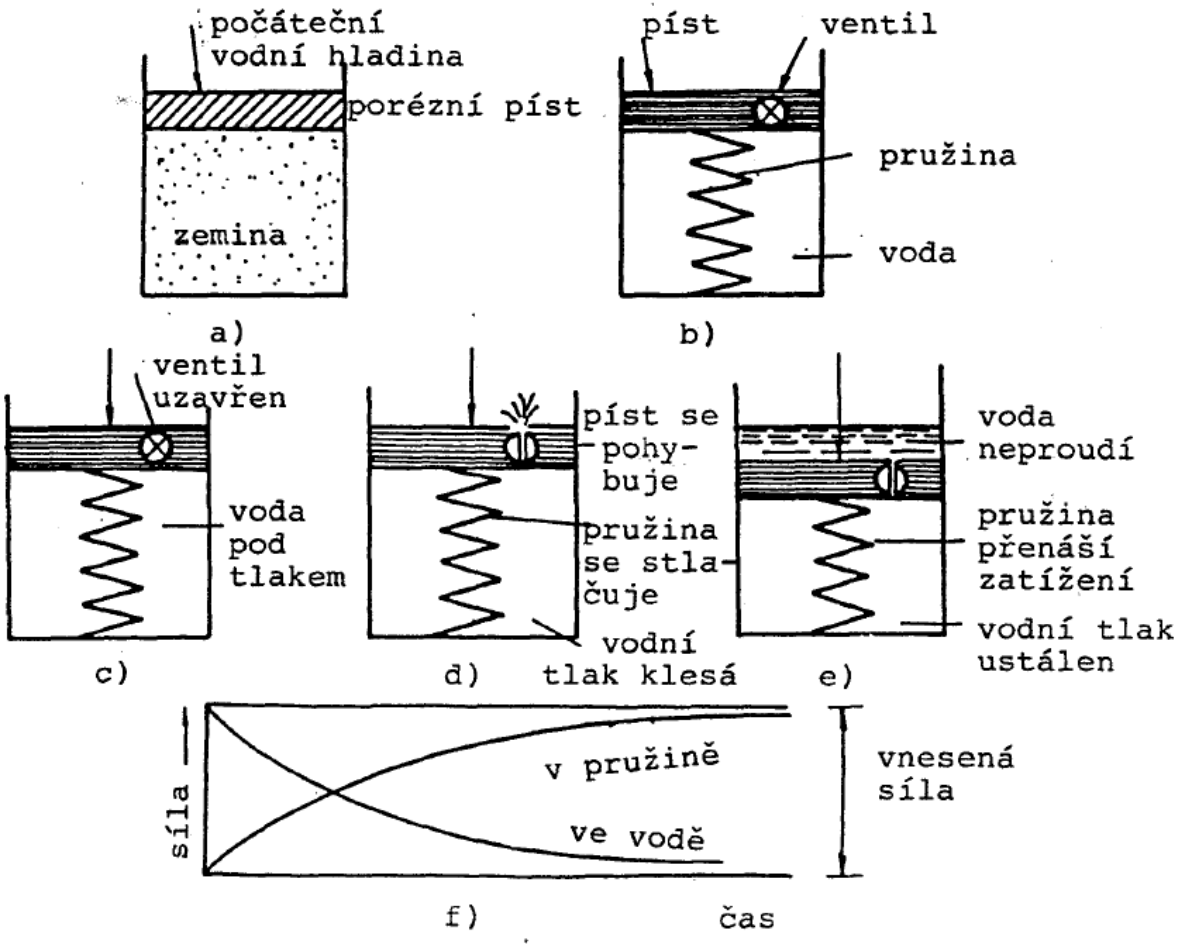


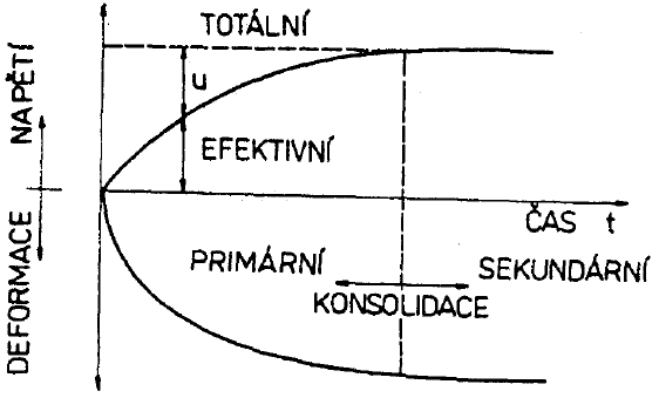


1. stupňovité zatěžování
   - dostatečně dlouhá doba pro vymizení pórových tlaků (pro běžný rozsah zatížení trvá hodiny pro písky a dny pro jíly)
2. plynulé zatěžování
   - jednostranná drenáž + měření pórových tlaků

Poznámka k primární konsolidaci

primární konsolidace – postupné vytlačování pórové vody

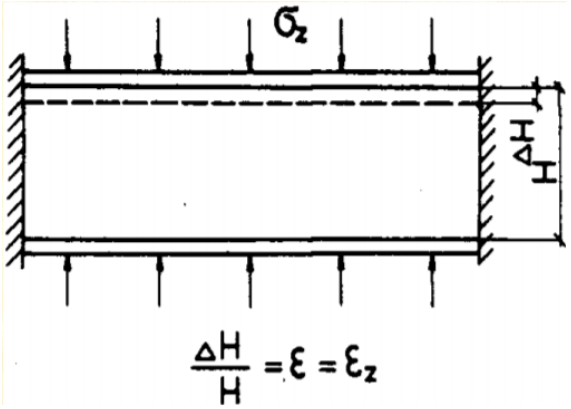




sekundární konsolidace – přetváření zrn

Edometrický modul

- schéma **jednoosého zatěžování** v edometru



- definice **edometrického modulu** (pouze za odvodněných podmínek)

$$E_{\text{oed}} = \frac{\Delta\sigma_{z,\text{ef}}}{\Delta\varepsilon_z}$$

- základní deformační charakteristika pro jednoosou napjatost
  - zatížení podloží (stávajícího terénu) násypem na velké ploše
  - ve středu širších násypů, širších základových desek
  - deformace podloží v důsledku snížení hladiny podzemní vody, které vyvolá přírůstek efektivních napětí

Vztah modulů

- **edometrický modul** E_{oed}
  - zamezeno příčným deformacím ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$)

$$E_{\text{oed}} = \frac{\sigma_{z,\text{ef}}}{\varepsilon_z} \quad \left(E_{\text{oed}} = \frac{\Delta\sigma_{z,\text{ef}}}{\Delta\varepsilon_z} \right)$$

- **modul pružnosti** E
  - zobecněný Hookův zákon s využitím $\sigma_{x,\text{ef}} = \sigma_{y,\text{ef}} = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_{z,\text{ef}}$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left(\sigma_{z,\text{ef}} - \nu\left(\sigma_{x,\text{ef}} + \sigma_{y,\text{ef}}\right)\right) = \frac{\sigma_{z,\text{ef}}}{E}\left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right)$$

$$E = \frac{\sigma_{z,\text{ef}}}{\varepsilon_z}\left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) = E_{\text{oed}}\beta$$

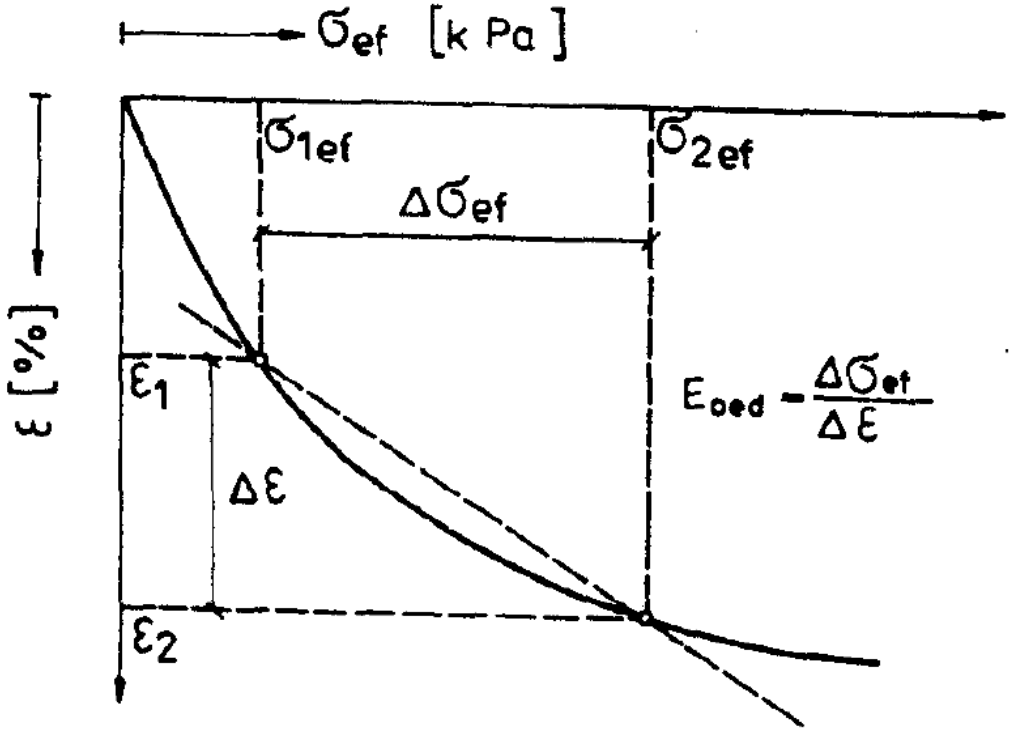
- **modul přetvárnosti** E_{def}
  - deformace vzorku i v příčném směru (zkoušky v trojosém přístroji)
  - lineární náhrada deformační křivky pro určitý úsek

$$E_{\text{def}} = E_{\text{oed}}\beta$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$$

Určení edometrického modulu

- vynesení závislosti konečné deformace vzorku na napětí

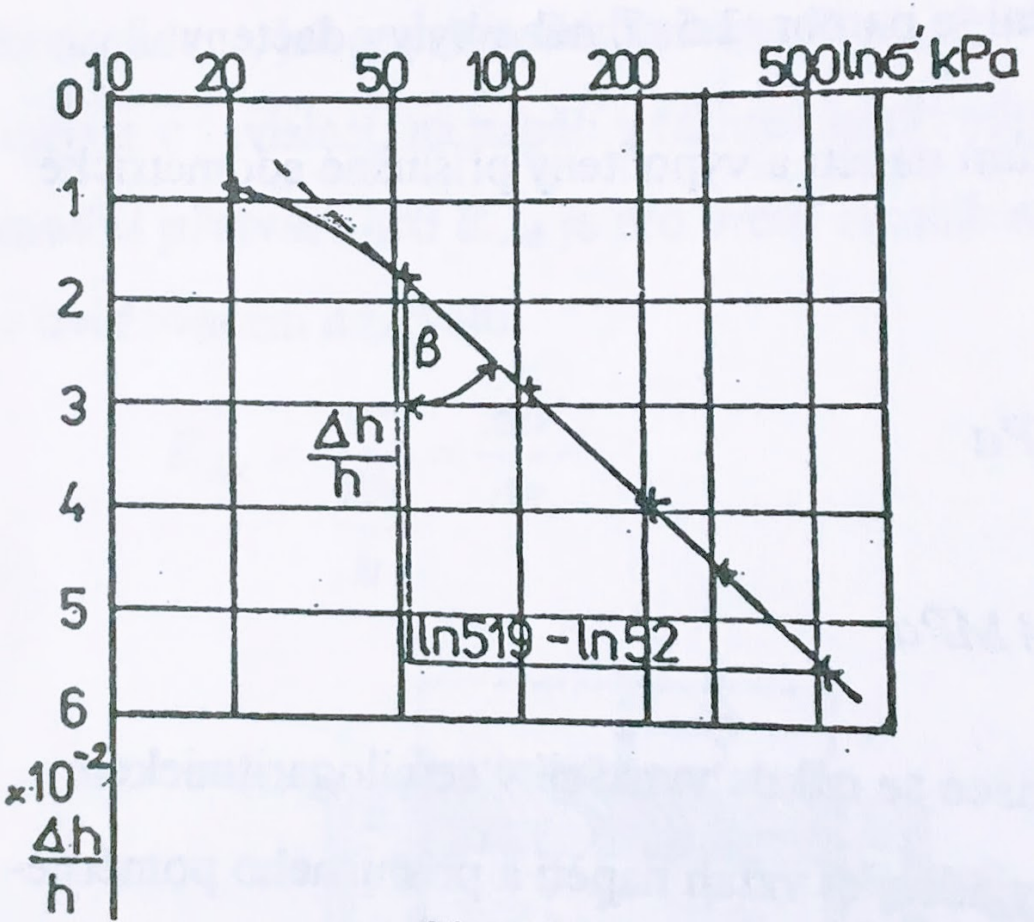


- směrnice přímky spojující vynesené body → edometrický modul
- převrácená hodnota → koeficient objemové stlačitelnosti

$$m_V = \frac{1}{E_{\text{oed}}}$$

Určení součinitele stlačitelnosti

- v semilogaritmickém měřítku → lineární závislost



$$C = \frac{\Delta \ln \sigma_{\mathrm{ef}}}{\Delta \varepsilon}$$

Orientační hodnoty

- orientační rozmezí edometrického modulu přetvárnosti E_{oed} pro základní typy zemin v rozsahu napětí vyskytujícím se nejběžněji při zakládání staveb

zeminy	E_{oed} [MPa]
zeminy jemnozrnné	1–30 MPa
zeminy písčité středně ulehlé až ulehlé	7–130 MPa
zeminy štěrkovité	60–600 MPa

- rozsahy součinitele stlačitelnosti C

zemina	C [–]
sprašová hlína	15–45
jíl podle konzistence	30–120
hlinité zeminy	60–150
středně ulehlé a ulehlé písky	150–200
písek se štěrkem	> 250

Zadání úkolu

Vyneste výsledky měření stlačitelnosti zeminy v edometru v normálním měřítku. Určete edometrické moduly přetvárnosti E_{oed}. Původní výška vzorku ve standardním edometru je 20 mm.

Svislé napětí σ_{ef} [kPa]	50	100	200	400
Celk. stlač. s [mm]				

Postup řešení

1. Z naměřených stlačení vypočítejte poměrné deformace ε (stlačení/původní výška).
2. Vyneste závislost napětí σ_{ef} na deformacích ε v normálním měřítku.
3. Vypočítejte edometrické moduly (směrnice, sečnové moduly) pro rozsahy napětí 50–100 kPa, 100–200 kPa a 200–400 kPa.

$$E_{\text{oed}} = \frac{\Delta\sigma_{\text{ef}}}{\Delta\varepsilon}, \text{ např. } E_{\text{oed},50\text{–}100} = \frac{100-50}{\varepsilon_{100}-\varepsilon_{50}} \text{ [kPa]}$$

4. DOBROVOLNÉ Vyneste závislost napětí σ_{ef} na deformacích ε v semilogaritmickém měřítku (např. spočítejte $\ln 50$, $\ln 100$, $\ln 200$ a $\ln 400$ a vyneste na vodorovnou osu).
5. DOBROVOLNÉ Body proložte přímkou (spojte krajní body nebo použijte lineární regresi) a vypočítejte součinitel stlačitelnosti (sklon přímky).

$$C = \frac{\Delta \ln \sigma_{\text{ef}}}{\Delta\varepsilon}, \text{ např. } C = \frac{\ln 400 - \ln 50}{\varepsilon_{400}-\varepsilon_{50}} = \frac{\ln \frac{400}{50}}{\varepsilon_{400}-\varepsilon_{50}} \text{ [–]}$$

Kontakt, zdroje obrázků a odkazy

Upozornění na případné chyby $\longrightarrow$ alena.zemanova@fsv.cvut.cz.

- Zdroje obrázků
  - Vaníček, I.: Geomechanika 10 - Mechanika zemin, Vydavatelství ČVUT, 2000, ISBN 80-01-01437-1
  - Lamboj L., Štěpánek Z.: Mechanika zemin a zakládání staveb, Vydavatelství ČVUT, 2005, ISBN 80-01-03094-6
  - Knappett, J. A., Craig, R. F.: Craig's soil mechanics – 8. edice, Spon Press, 2012.
  - https://www.finesoftware.eu
- Odkazy
  - https://www.finesoftware.eu/help/geo5/cs/edometricky-modul-01/
  - https://www.finesoftware.eu/help/geo5/cs/soucinitel-stlacitelnosti-01/
  - https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/modifikovany-elasticky-model-01/