



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zakládání staveb – Vlastnosti zemin při zatěžování

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

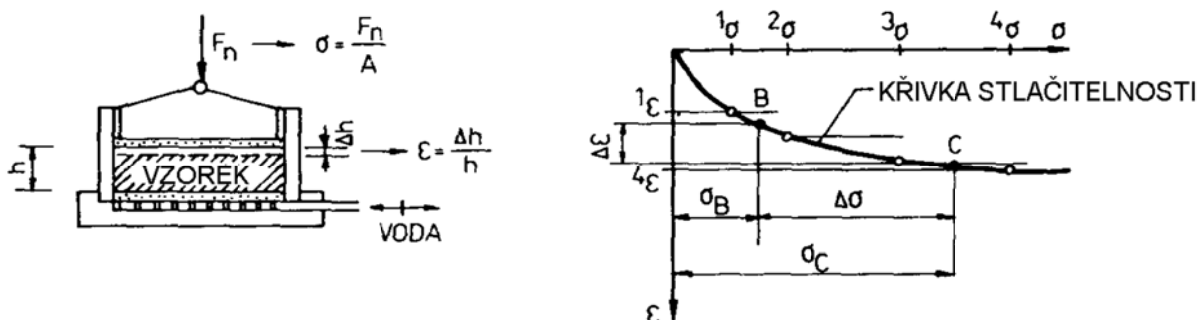
Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

VLASTNOSTI ZEMIN PŘI ZATĚŽOVÁNÍ

DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKY

a) laboratorní zkoušky

- OEDOMETR



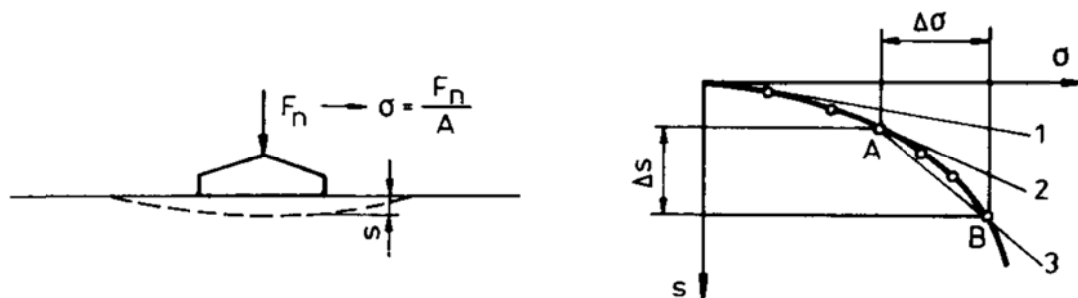
Obr.1. Schéma postupu a vyhodnocení oedometrické zkoušky stlačitelnosti

$$E_{OED} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

- TRIAXIÁL

a) polní zkoušky

- zatěžovací

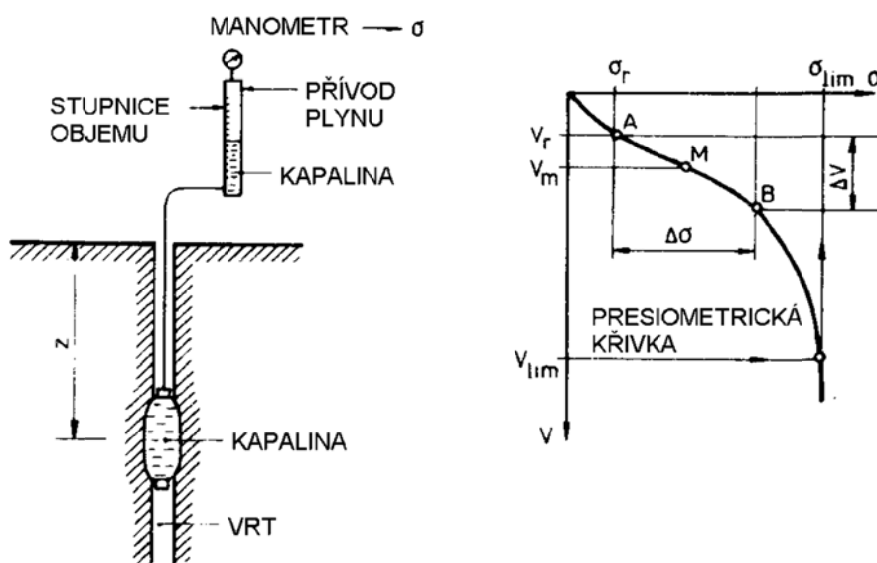


Obr.2. Schéma postupu a vyhodnocení polní zatěžovací zkoušky

$$E_{DEF} = \frac{\Delta\sigma \cdot d \cdot \alpha}{\Delta S} \cdot (1 - \nu^2)$$

moduly: - počáteční
 - dotykový
 - sečnicový

- presiometrické



Obr.3. Princip a vyhodnocení presiometrické zkoušky

důležité 4 body: A, B, C, M

$$E_p = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot (V_r + V_m) \frac{\Delta\sigma}{\Delta V}$$

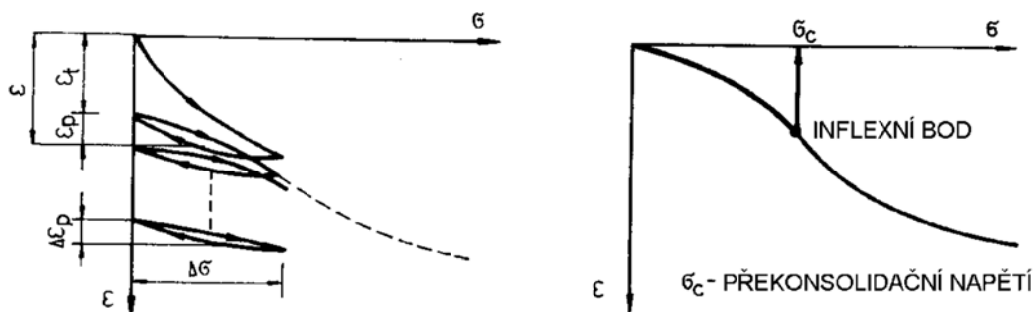
praxe: $E_p \cong E_{OED}$

přepočet $E_{DEF} = \beta \cdot E_{OED}$

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

VLIV OPAKOVANÉHO ZATÍŽENÍ

v oedometru - postupné zatěžování do $\Delta\sigma$ a odlehčení do $\sigma = 0$



Obr.4. Vliv opakovaného zatížení na deformaci zeminy v oedometru

zůstatek - pouze pružná část $\Delta\varepsilon_p$ odpovídající $\Delta\sigma$. Modul pružnosti zeminy:

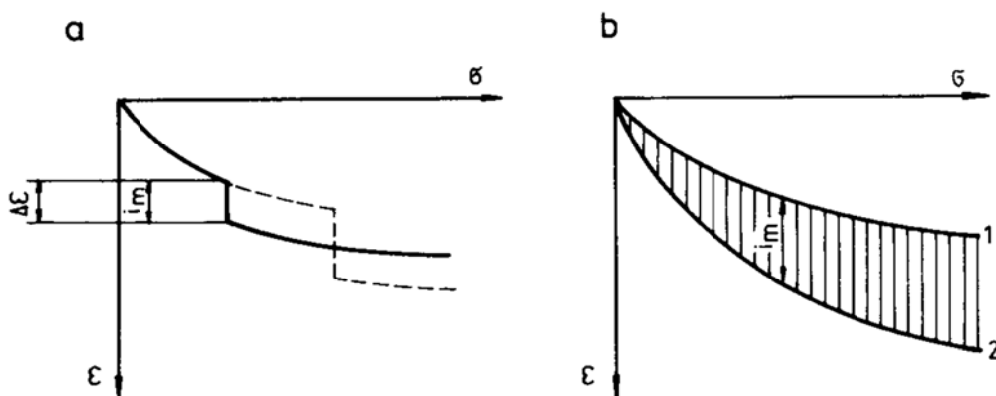
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_p}$$

význam – důležitý pro podloží různých konstrukcí (cyklicky vyprazdňované nádrže, komunikace)

modul smykového přetvoření zeminy $G = \frac{E}{2 \cdot (1 - \nu)}$

PROSEDÁVOST

Změna struktury zeminy, kterou nevyvolá změna napětí, ale změna vlhkosti, u nesoudrž. zemin dynamické namáhání, zmrzlé půdy zvýšení teploty, apod. Prosedavé zeminy jako základové půdy způsobují nerovnoměrné sedání a poruchy objektů.

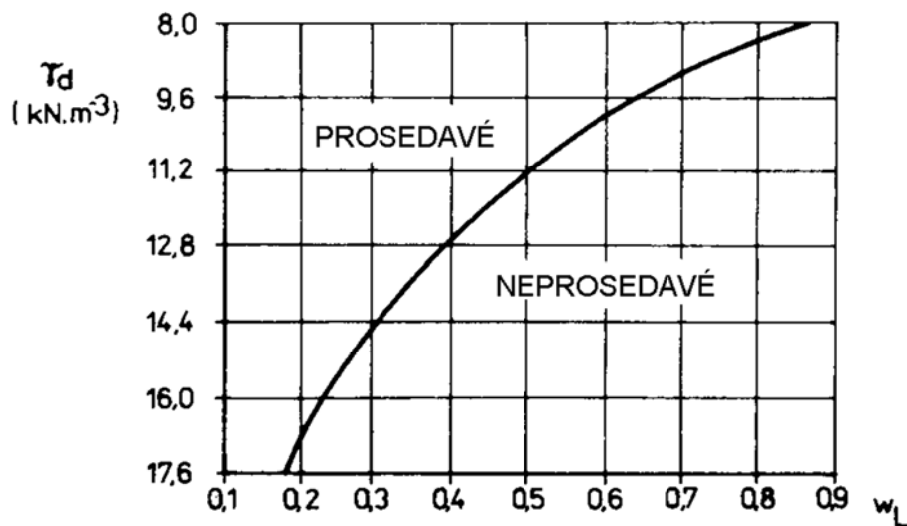


Obr.5. Křivky stlačitelnosti prosedavosti zeminy

a) metoda jedné křivky b) metoda dvou křivek

$\Delta \varepsilon = i_m$ - souč. poměrné prosedavosti ≥ 0.01

Obr.6. - kritérium HOLTZ-HILF (1966)

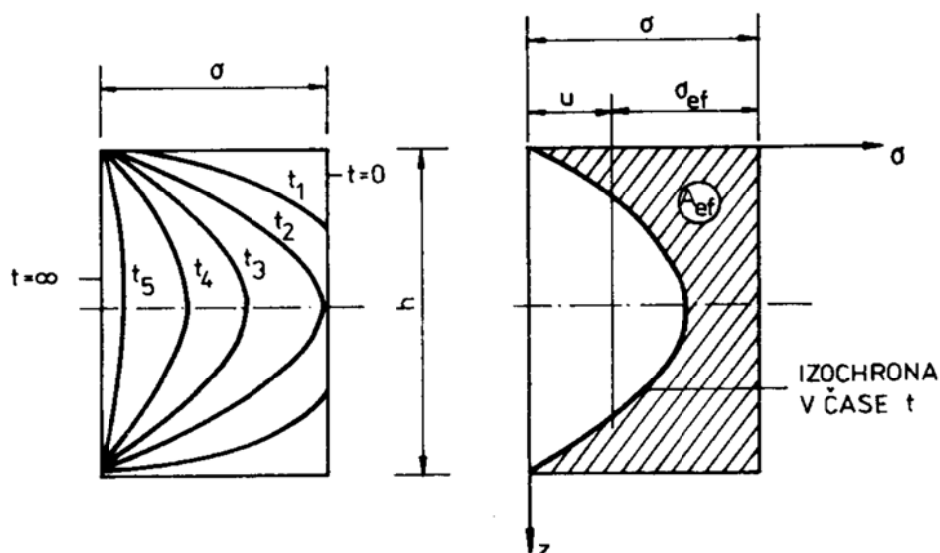


Obr.6. Rozlišení prosedavosti spraší pomocí objemové tíhy a meze tekutosti

KONSOLIDACE

Představa nasyceného vzorku v oedometru. a přetvoření způsobují efektivní napětí σ_{ef} .

počátek, průběh, konec

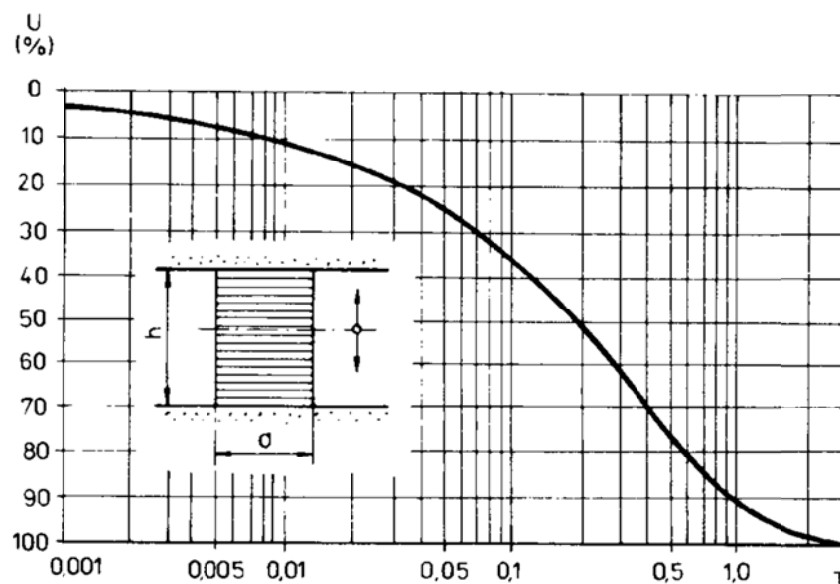


Obr.7. Proces konsolidace zeminy v oedometru znázorněný izochronami

$$\text{stlačení } \Delta h = \frac{\sigma \cdot h}{E_{OED}} = \frac{A}{E_{OED}} \quad \text{v čase } t \quad \Delta h_t = \frac{A_{ef}}{E_{eod}}$$

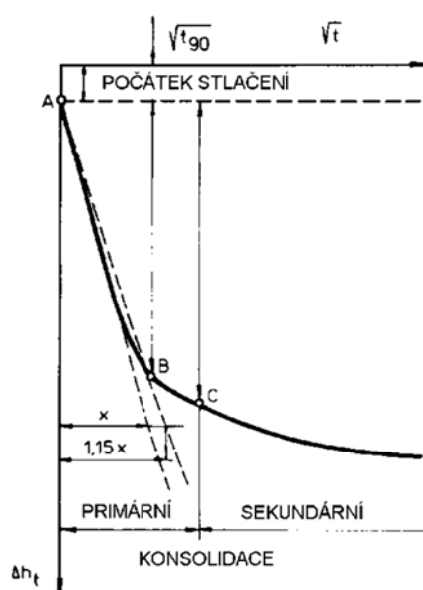
$$\text{stupeň konsolidace } U - \text{vyjadřuje stlačení v určitém čase } \frac{\Delta h_t}{\Delta h} = \frac{A_{ef}}{E_{eod}} = U$$

$$\text{časový faktor } T = \frac{c_v \cdot t}{\left(\frac{h}{2}\right)^2} \quad (\text{TERZAGHI 1923})$$



Obr.8. Stupeň konsolidace U a časový faktor T pro konstantní napětí σ ve vrstvě zeminy h při vytlačení vody k obou povrchům

TAYLORovo zobrazení



Obr.9. Primární a sekundární konsolidace při oedometrické zkoušce stlačitelnosti

pomocí bodu B určíme t_{90} a podle obr.8 tomu odpovídající T_{90}

$$c_v = \frac{T\left(\frac{h}{2}\right)^2}{t_{90}} = \frac{0.225h^2}{t_{90}}$$

Primární konsolidace – stlačování v důsledku vytlačování vody z pórů

Sekundární konsolidace – dlouhodobé plastické tečení

Reologické procesy – přetvoření závislé na čase

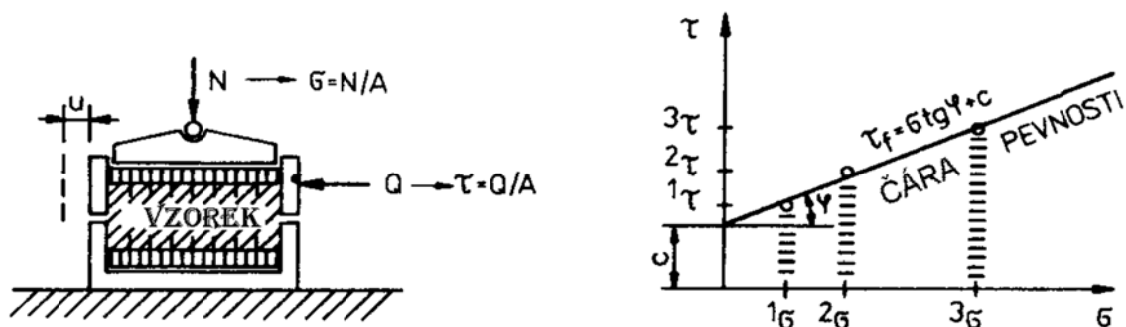
Součinitel filtrace $k = \frac{\gamma_w \cdot c_v}{E_{oed}}$

PEVNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY

Zeminy se nejčastěji poruší v důsledku překročení pevnosti ve smyku.

a) laboratorní zkoušky

- čelistové

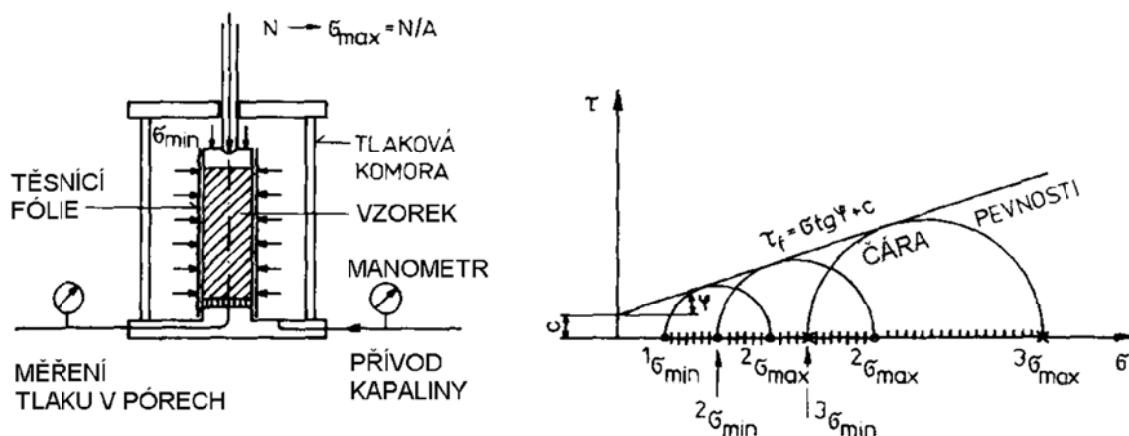


Obr.10. Schéma čelistového smykového přístroje, vyhodnocení zkoušky

Coulombova čára

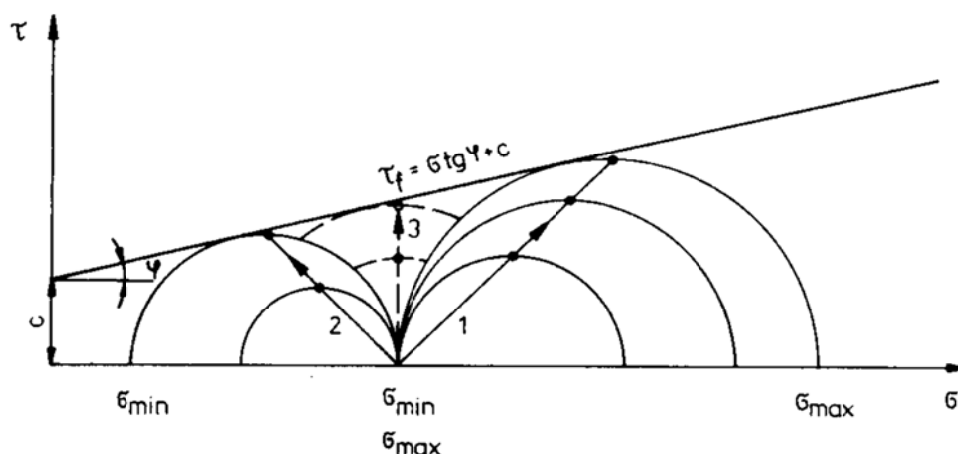
nedostatek

- triaxiální



Obr.11. Schéma triaxiálního přístroje, postup a vyhodnocení smykové zkoušky

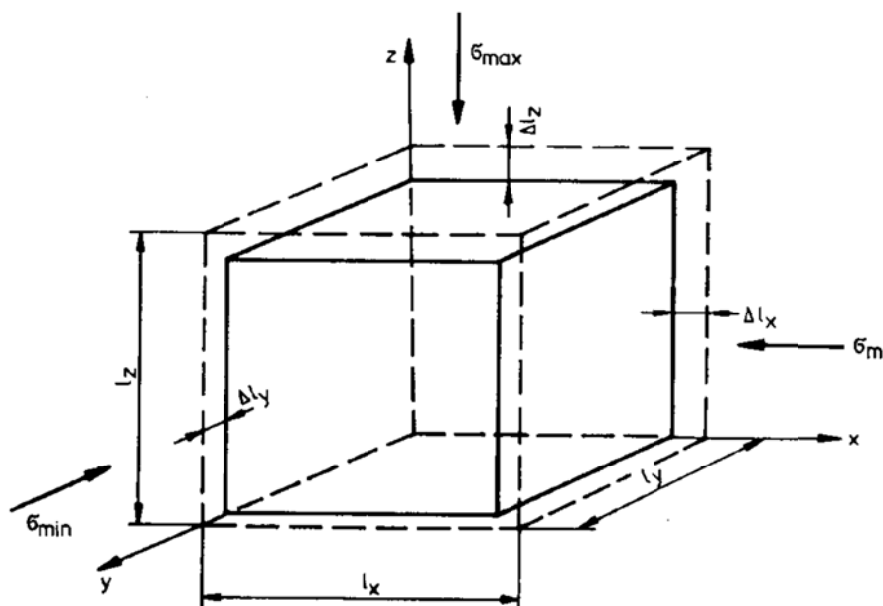
doplňek - dráhy napětí



Obr.12. Dráhy napětí (1, 2, 3) při triaxiální zkoušce

převody - $\sin \varphi = \operatorname{tg} \alpha$ $c = \frac{a}{\cos \varphi}$

- prostý tlak
- pravé triaxiály



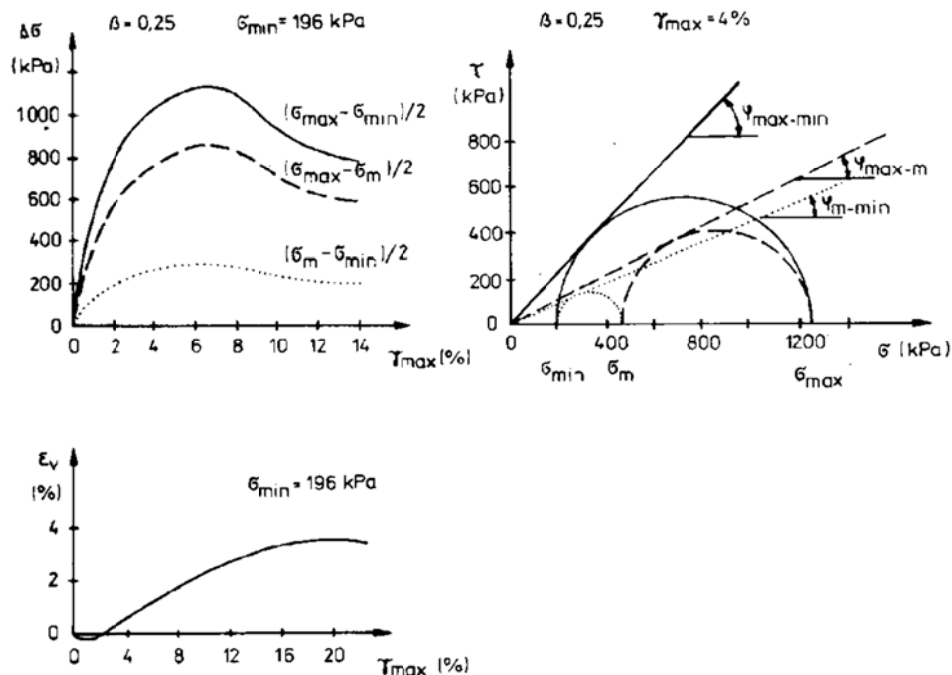
Obr.13. Napětí σ a přetvoření vzorku Δl při zkoušce v pravém triaxiálním přístroji

počítá se: 1) poměrné délkové přetvoření $\varepsilon_{max} = \frac{\Delta l_z}{l_z}$

2) objemové přetvoření $\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V}$

3) poměrné smykové přetvoření (maximální) $\gamma_{max} = \frac{\Delta l_z}{l_y}$

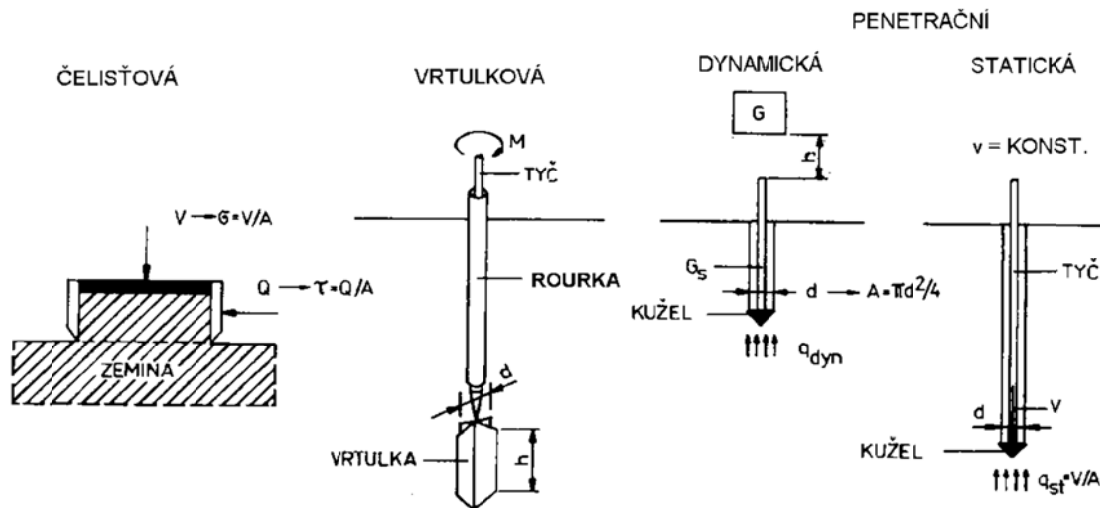
4) hodnota $\beta = \frac{\sigma_m - \sigma_{min}}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}$



Obr.14. Charakteristické výsledky smykových zkoušek nesoudržné zeminy v pravém triaxiálu
Jednotlivé úhly vnitřního tření $\varphi_{max-min}$ závisí od stavu napjatosti a platí pro odpovídající stav přetvoření, charakterizovaný jen určitou hodnotou smykového přetvoření γ_{max}

b) polní zkoušky

- čelistové



Obr.15. Principiální schémata polních zkoušek

- vrtulkové $\tau = c = \frac{M_{max}}{\frac{\pi d^2}{2}(h+d/3)}$

- penetrační

1) DYNAMICKÁ - spec. dynamický odpor koncovky $q_{dyn} = \frac{G^2 \cdot h}{h_1 \cdot (G + G_s) \cdot A}$

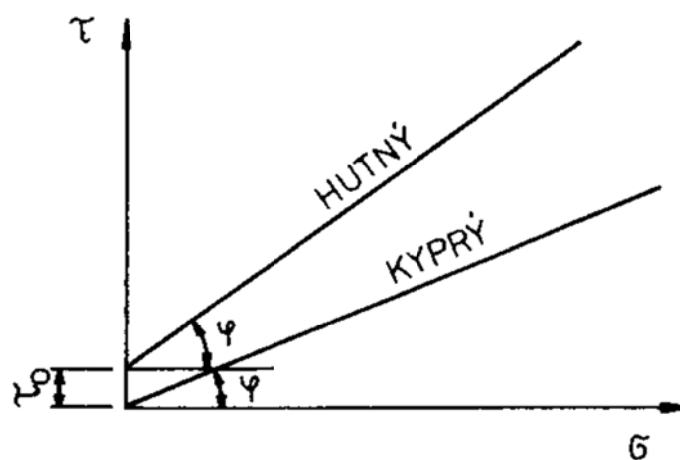
2) STATICKÁ - $q_{st} = \frac{V}{A}$

v optim. podmínkách - φ, c , výhody

SMYKOVÁ PEVNOST NESOUDRŽNÝCH ZEMIN

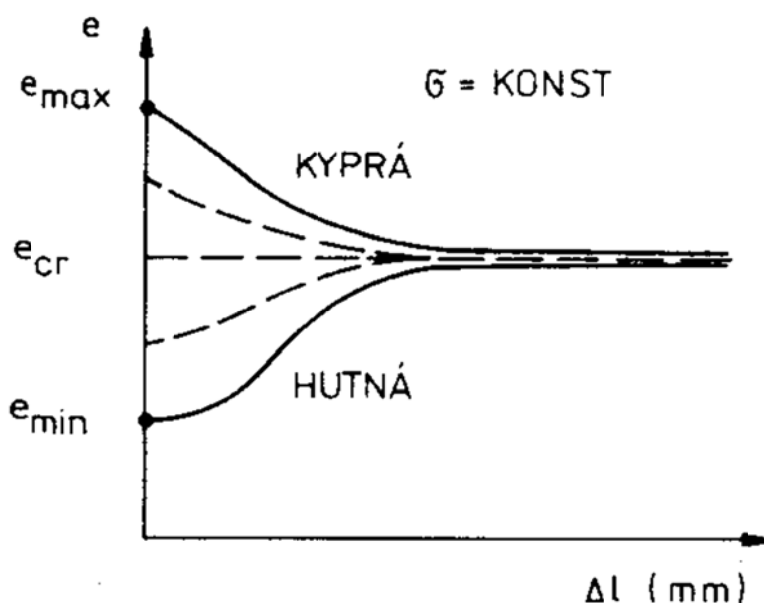
ovlivňuje hutnost

POČÁTEČNÍ PEVNOST



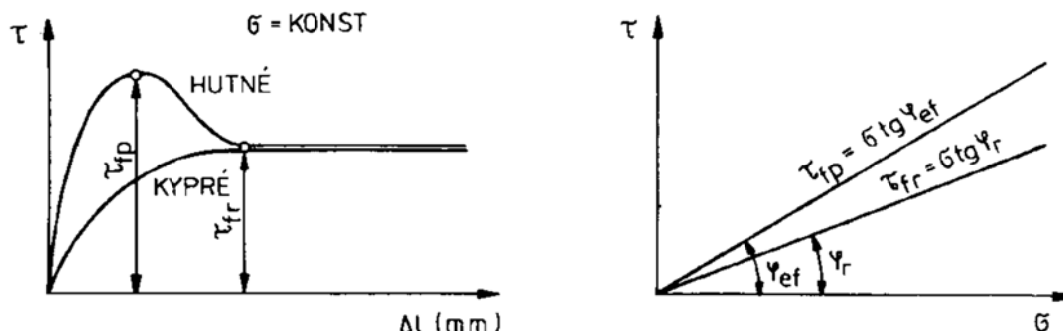
Obr.16. Čáry pevnosti kyprého a hutného písku

KRITICKÉ ČÍSLO PÓROVITOSTI



Obr.17. Kritické číslo pórovitosti při porušení nesoudržné zeminy smykem

VRCHOLOVÁ A REZIDUÁLNÍ PEVNOST



Obr.18. Vrcholová a reziduální pevnost nesoudržné zeminy

SMYKOVÁ PEVNOST SOUDRŽNÝCH ZEMIN

normálové napětí σ - úplné nasycení vodou

normálové napětí σ - částečné nasycení vodou: voda u_w

vzduch u_a

BISHOP $\sigma_{ef} = \sigma - \chi \cdot u_w - (1 - \chi) \cdot u_a$

smyk. pevnost pro nasycené a nenasycené

SKEMPTON $\Delta u = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$

A, B- parametry pro stanovení změny pórových tlaků:

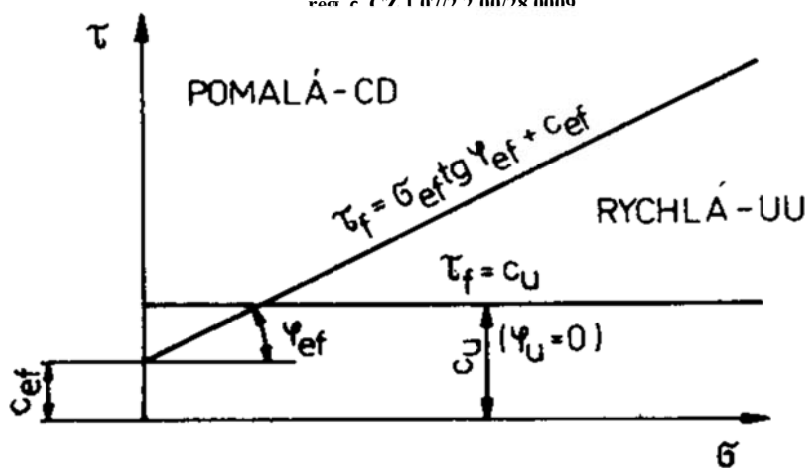
B závisí na celkovém napětí, A na přírůstku. B se týká pouze invariantu (závisí na stupni nasycení), A závisí na deviatorické části (stupeň překonsolidace).

Existuje přírůstek pórového tlaku od změny napjatosti, jež je popsán v základním tvaru dvěma bezrozměrnými parametry, tzv. Skemptonovými součiniteli nebo koeficienty. (laboratorně prokázána závislost těchto součinitelů především na stupni nasycení, tuhosti skeletu, překonsolidaci, poloze na dráze efektivních napětí)

Vliv rychlosti zkoušek

předpoklad - triaxiál, nasycená, soudržná

- UU parametry φ_u, c_u
- CD parametry φ_{ef}, c_{ef}
- CU parametry α_{ef}, a_{ef} , dráhy napětí



Obr.19. Vliv rychlosti zkoušek na parametry pevnosti soudržných zemin

Podmínky konsolidace	Podmínky smykání		
	neodvodněný		odvodněný
	s měřením pórového tlaku	bez měření pórového tlaku	
bez konsolidace	UU	-	-
konsolidace izotropní	CIU	CIUP (CIP)	CID
konsolidace anizotropní	CAU	CAUP (CAP)	CAD

Tab. 1. Označení typů zkoušek