SMYKOVÁ PEVNOST A KRABICOVÁ ZKOUŠKA

Geomechanika

Katedra geotechniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

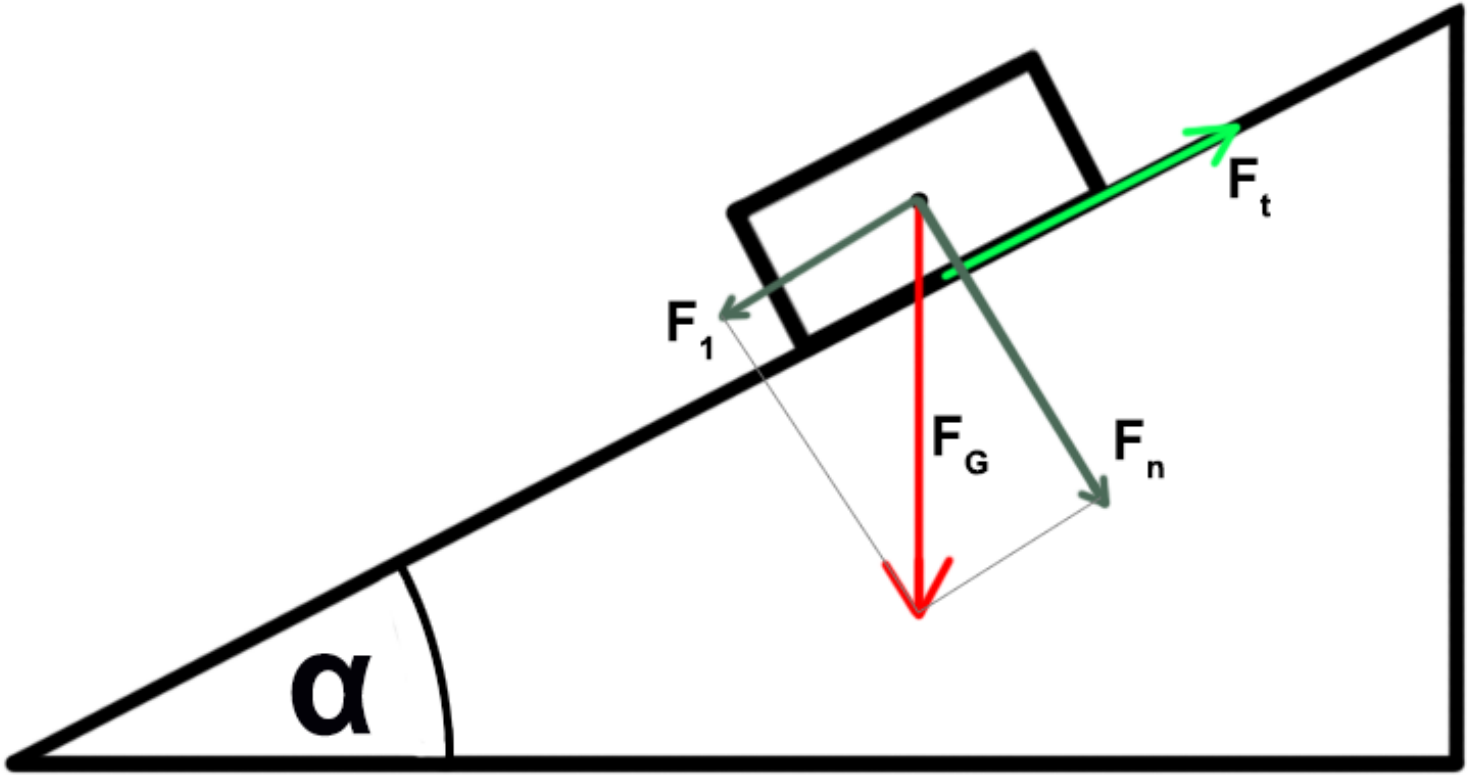
Motivace

Převážná část případů porušení zemního tělesa má smykový charakter
$\longrightarrow$ **smyková plocha**
(sesuv svahu, porušení podzákladí, smyková plocha za opěrnou stěnou)

Příčina: dosažení **smykové pevnosti zeminy**

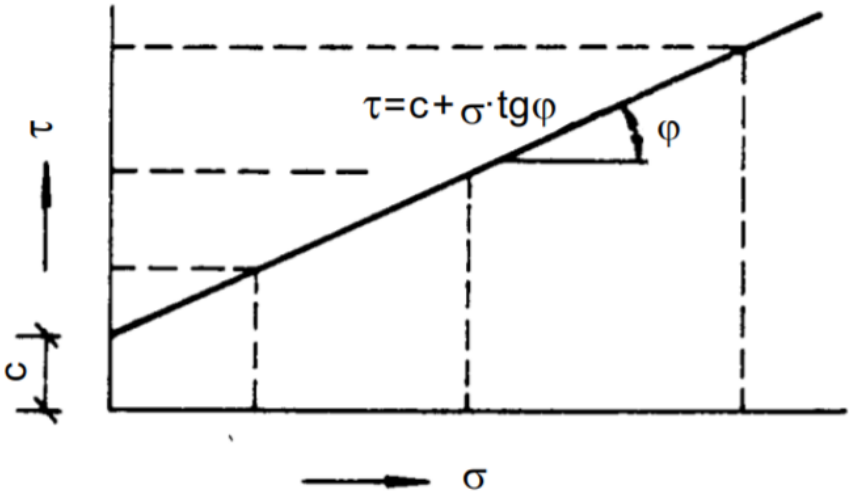
Sesuv na D8, zdroj: HN

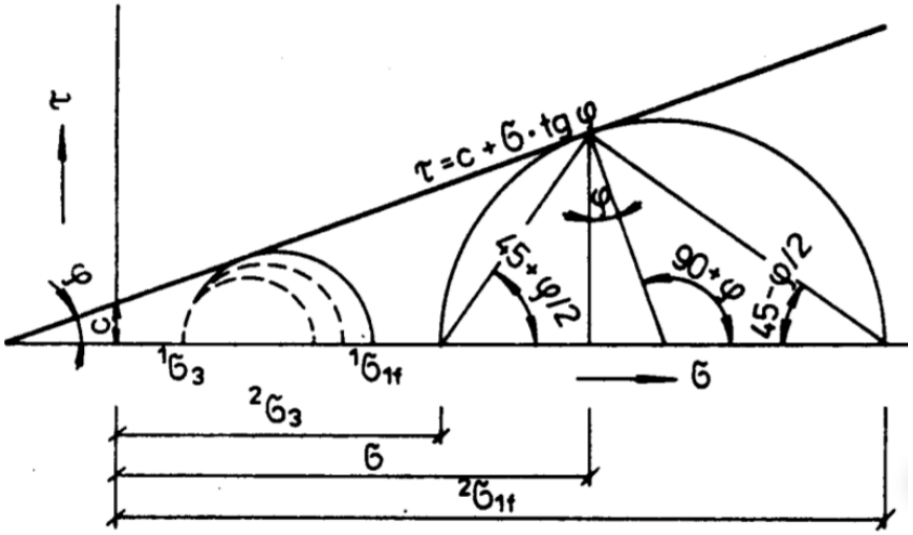
Analogie k pohybu na nakloněné rovině



zdroj: wikipedia – nakloněná rovina

Smyková pevnost





- **Coulombova rovnice smykové pevnosti**

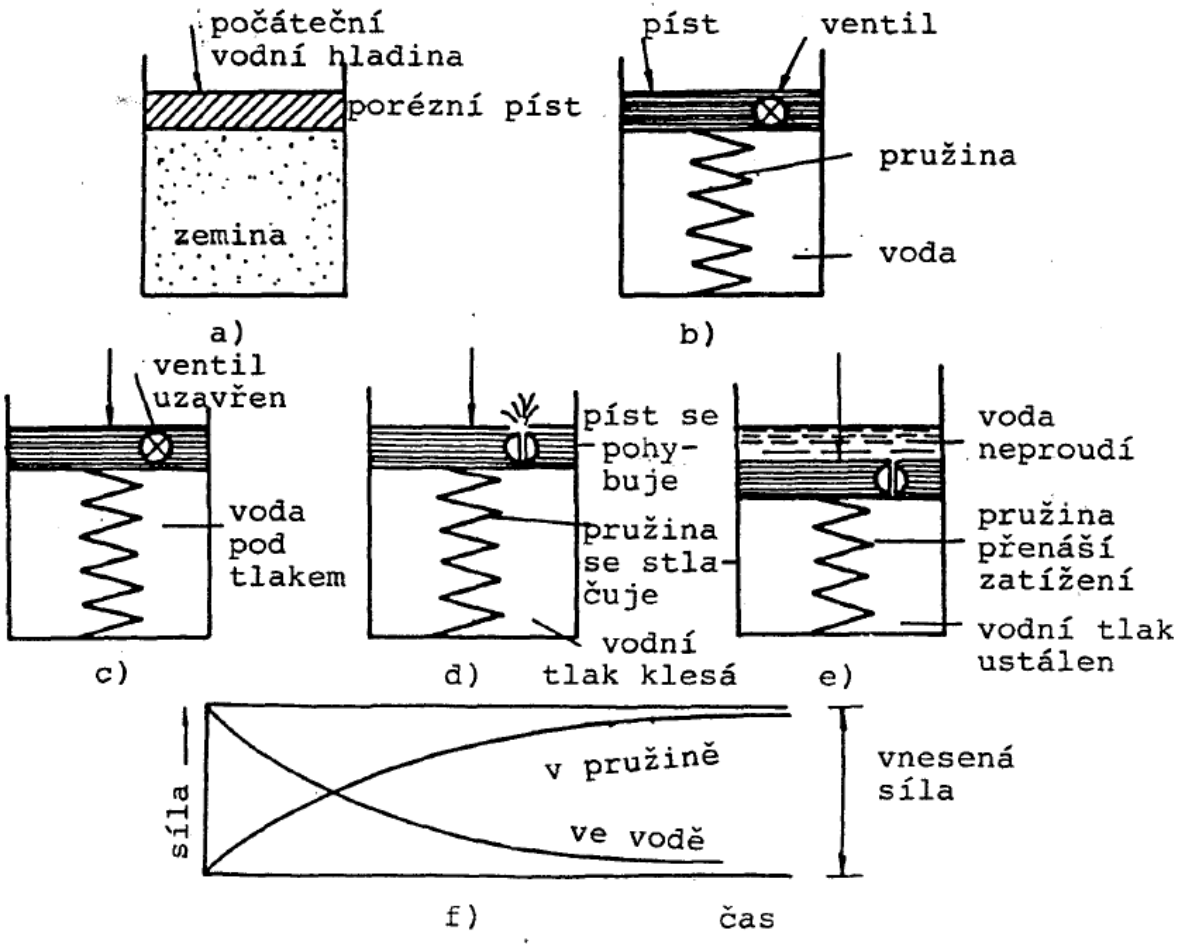
$$\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$$

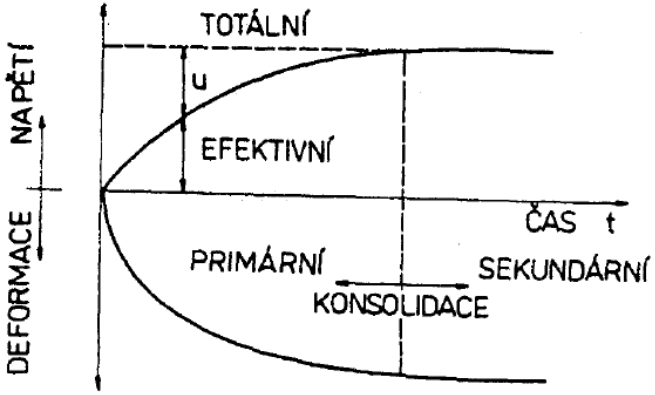
- smyková pevnost τ_f
- normálové napětí σ kolmé na smykovou plochu
- **úhel vnitřního tření zeminy** φ – míra odporu zeminy při tření
- **soudržnost (koheze) zeminy** c [kPa] – míra sil spojujících zrna

$\longrightarrow$ soudržné (jemnozrnné) vs sypké (hrubozrnné) zeminy

Konsolidace zemin – vývoj efektivních napětí

primární konsolidace – postupné vytlačování pórové vody





sekundární konsolidace – přetváření zrn

Typy smykových zkoušek

- **triaxiální smyková zkouška** (druhá část cvičení)

1. zkouška typu UU (Unconsolidated – Undrained) – rychlá zkouška
   nekonsolidovaná, neodvodněná zkouška $\longrightarrow$ totální parametry φ_u a c_u

$$\tau_\mathrm{f} = \sigma_\mathrm{u} \tan \varphi_\mathrm{u} + c_\mathrm{u}$$

2. zkouška typu CU (Consolidated – Undrained)
   konsolidovaná, neodvodněná zkouška $\longrightarrow$ totální parametry φ_cu a c_cu
   CUP – měřeny pórové tlaky $\longrightarrow$ efektivní parametry

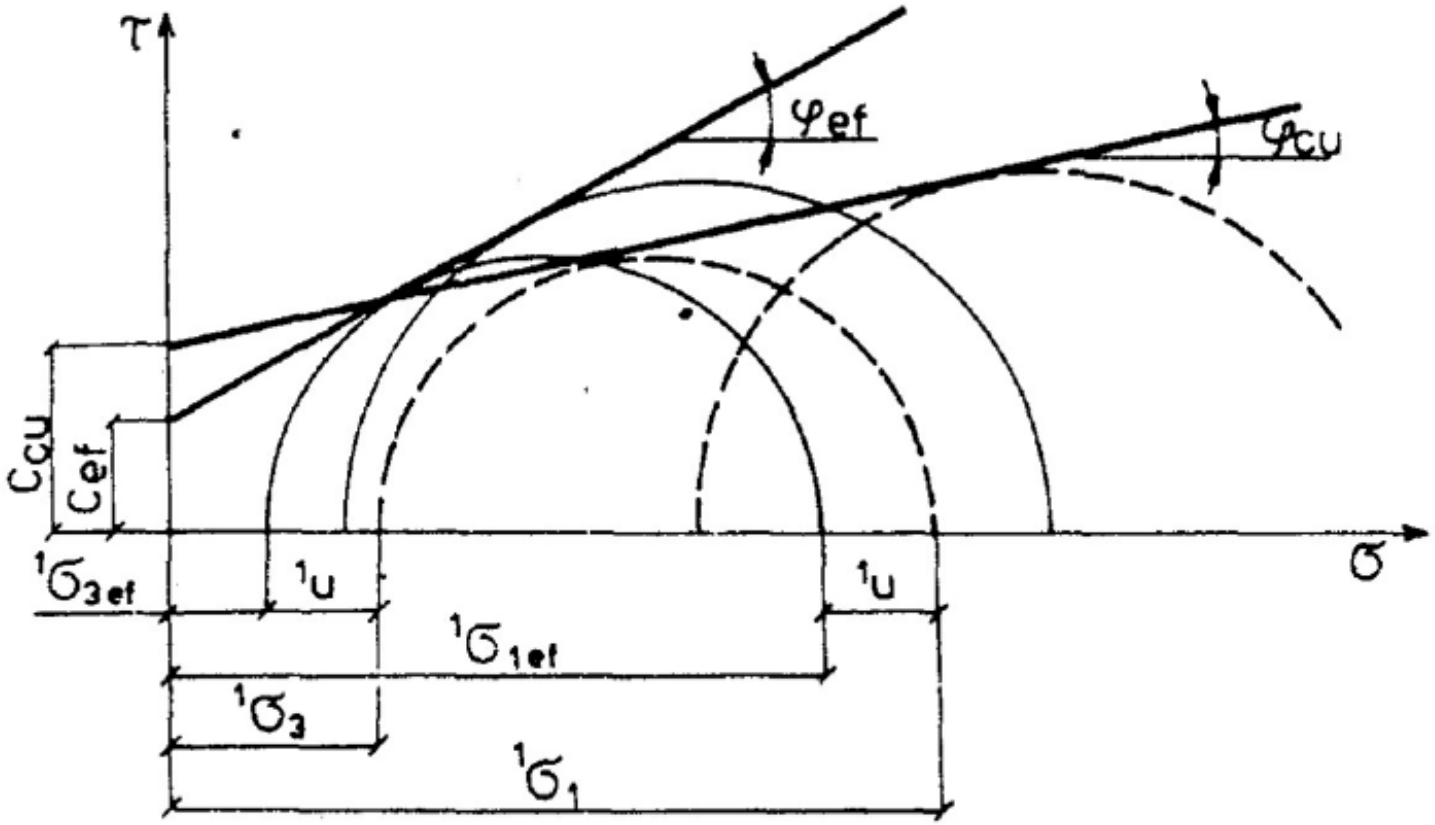
$$\tau_\mathrm{f} = (\sigma_\mathrm{u} - u) \tan \varphi_\mathrm{ef} + c_\mathrm{ef}$$

- **triaxiální** nebo **krabicová smyková zkouška**

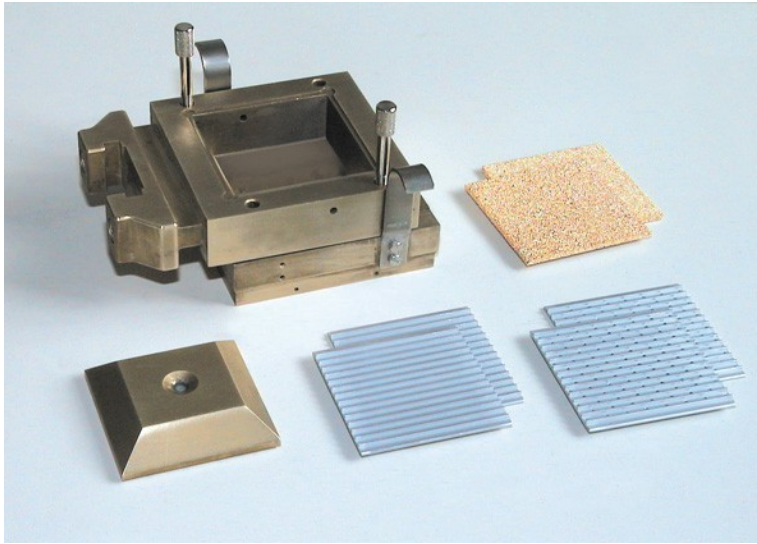
3. zkouška typu CD (Consolidated – Drained) – pomalá zkouška
   konsolidovaná, odvodněná zkouška $\longrightarrow$ efektivní parametry φ_ef a c_ef

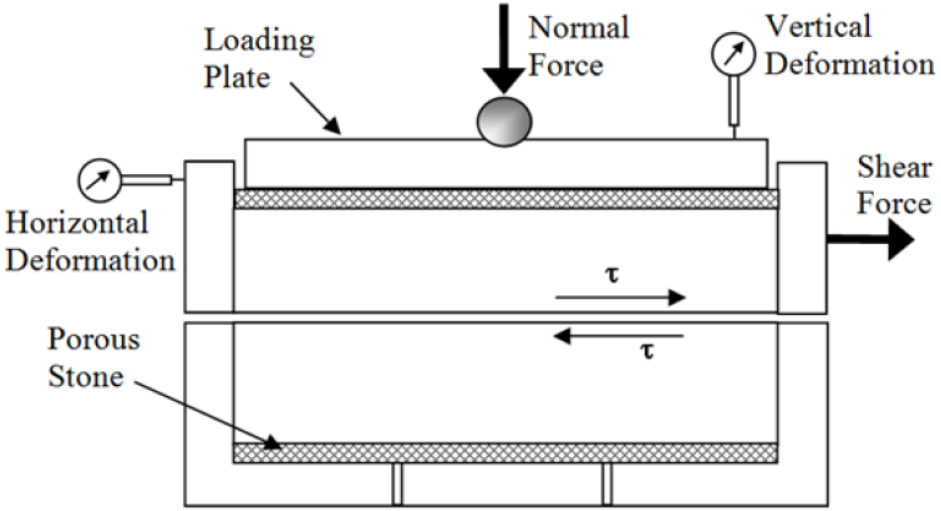
$$\tau_\mathrm{f} = \sigma_\mathrm{ef} \tan \varphi_\mathrm{ef} + c_\mathrm{ef}$$

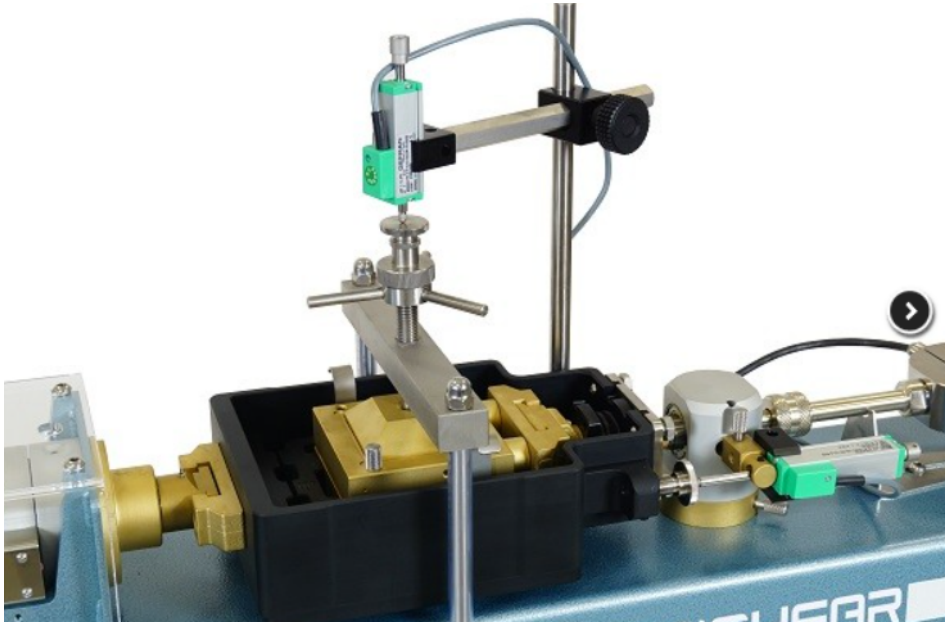
Parametry smykové pevnosti



Krabicová zkouška

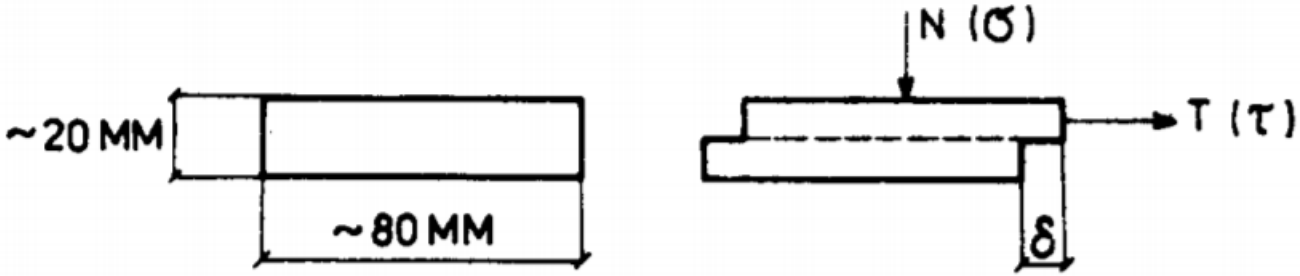






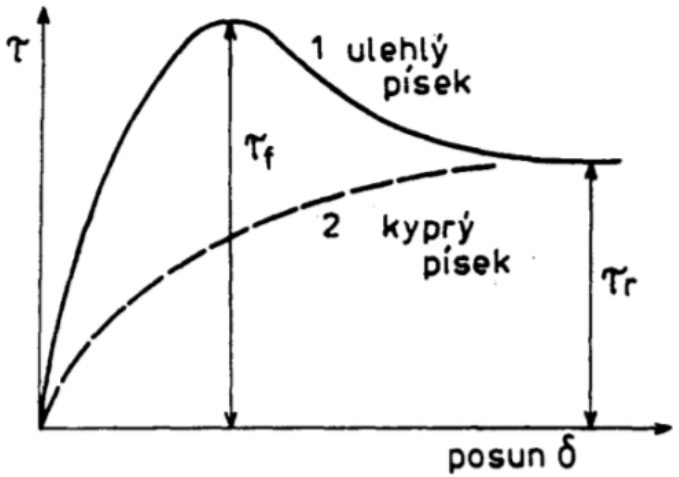
Krabicová zkouška

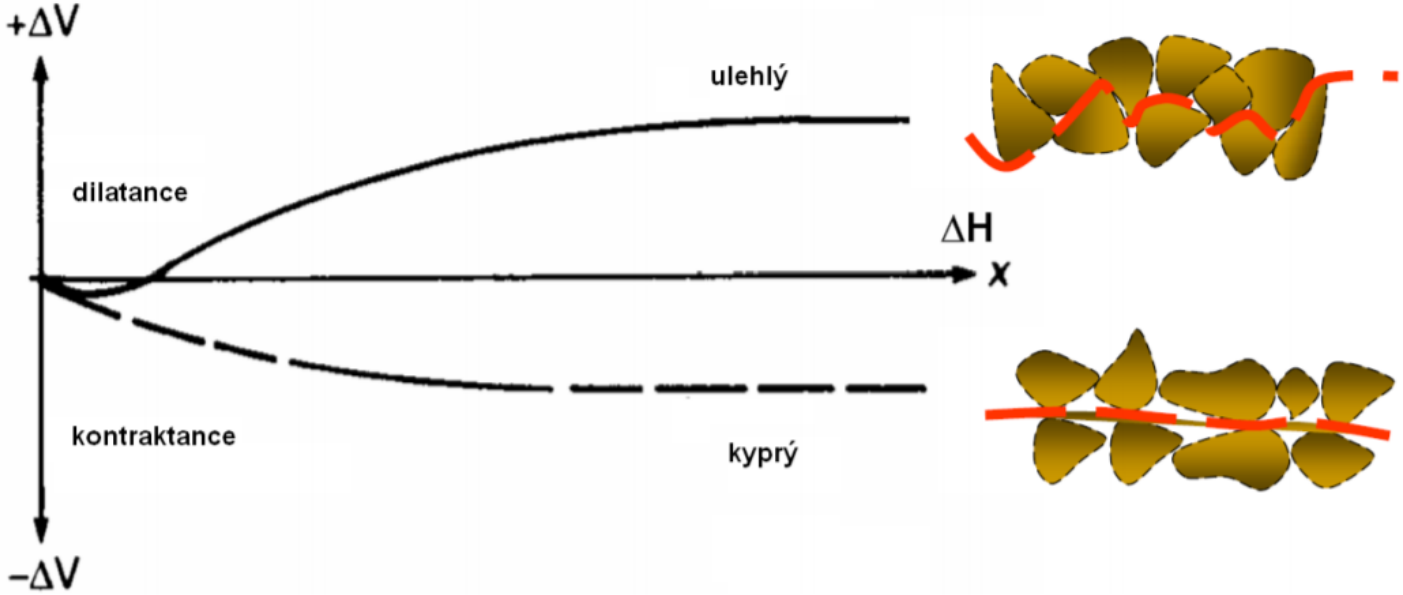
- konsolidovaná odvodněná (CD) zkouška
  - nad i pod propustné destičky
  - po stlačení vzorku čekáme na vymizení pórových tlaků – konsolidace
  - pak se teprve zatěžuje ve smyku
  - doba trvání 10–150 hod dle propustnosti
- smyková plocha – předurčena kontaktem krabic (čelistí)
- vzorek zatížen konsolidační sílou N, po čase namáhán smykovou silou T



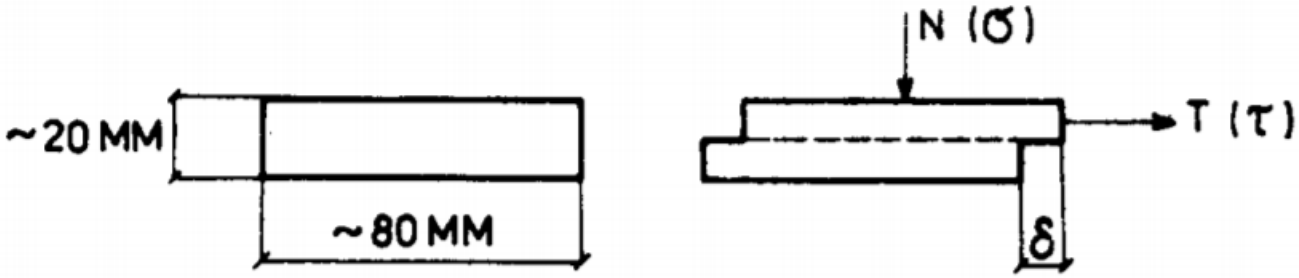
- registrace sil, vodorovného posunu, svislého posunu (stlačování či nadzvedávání)
- video zkouška (en), video teorie (en)

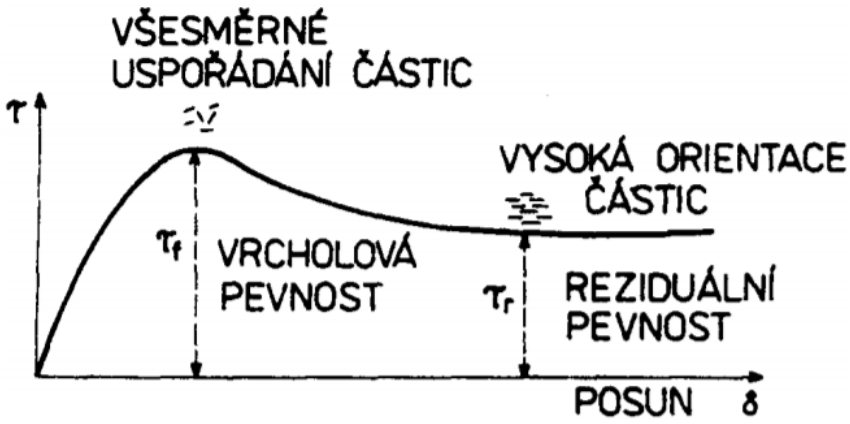
Dilatantní nebo kontraktantní zemina

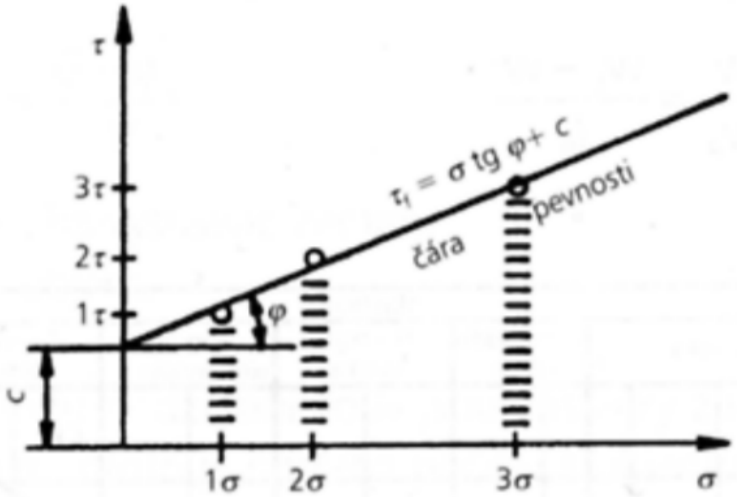




Vrcholová a reziduální pevnost







Orientační hodnoty

Třída	Symbol	ν	β	γ kN/m3	E_{def} MPa		φ_{ef} °		c_{ef} kPa	Činitelé ovlivňující stanovení charakteristik v rámci rozpětí třídy
					I_D =		I_D =			
					0,33-0,66	0,67-1,0	0,33-0,66	0,67-1,0		
S1	SW	0,28	0,78	20	30 až 60	50 až 100	34 až 39	37 až 42	0	I_D, w %g, tvar yrn,
S2	SP	0,28	0,78	18,5	15 až 35	30 až 50	32 až 35	34 až 37	0	

Třída	Symbol	Charakteristika		Konzistence					
				měkká	tuhá	pevná		tvrdá	
				-	-	$S_r > 0,8$	$S_r < 0,8$	$S_r > 0,8$	$S_r < 0,8$
F1	MG	ν, β, γ	kN/m³	ν = 0,35; β = 0,62; γ = 19,0				vyšetří se zkouškami	
		E_{def}	MPa	5 až 10	10 až 20	12 až 21	15 až 30		
		c_u	kPa	40	70	70	70 až 80		
		φ_u	°	0	0	10	12 až 15		
		c_{ef}	kPa	4 až 12		8 až 16	16 až 12	16 až 24	zkouška
		φ_{ef}	°	26 až 32					
		ν, β, γ	kN/m³	ν = 0,35; β = 0,62; γ = 19,5					
		E_{def}	MPa	4 až 8	7 až 15	10 až 12	18 až 25		

Orientační vlastnosti jemnozrnných zemin

Orientační vlastnosti písků

Orientační vlastnosti štěrků

Zadání úkolu

Stanovte efektivní parametry smykové pevnosti (φ_{ef}, c_{ef}) z konsolidované odvodněné zkoušky v krabicovém přístroji. Naměřené hodnoty vrcholové smykové pevnosti τ_{f} pro jednotlivá normálová napětí jsou:

Norm. napětí σ_{ef} [kPa]	50	100	200	300
Smyk. napětí τ_{f} [kPa]				

Porovnejte určené parametry s tabulkovými hodnotami pro různé zeminy.

Postup řešení

1. Vynesení zadaných bodů v normálním měřítku.
2. Odměřením smykových parametrů z grafu (dostačující pro obor A).
3. Ověření proložením bodů přímkou (metoda nejmenších čtverců):
   - známé souřadnice n bodů $[x_1, y_1]$, $[x_2, y_2]$ ... $[x_n, y_n]$
   - rovnice hledané přímky obecně $y = a + bx$
   - výpočet parametrů

$$a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

   - https://khanovaskola.cz/video/5/19/1072-jak-prolozit-daty-primku

Mohr-Coulombova přímka:

- σ_{ef} ... x-ové hodnoty
- τ_{f} ... y-ové hodnoty
- $a = c_{\mathrm{ef}}$ soudržnost [kPa]
- $b = \tan \varphi_{\mathrm{ef}}$, tedy úhel vnitřního tření $\varphi_{\mathrm{ef}} = \arctan b$ [°], [rad]

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.
- Odkazy
  - https://geotech.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/17/2019/01/Smykova_pevnost_zemin_09_fin.pdf