
Úvod do inženýrské geologie

Technické vlastnosti hornin a význam (podzemní) vody

<http://natur.cuni.cz/~bohac/>

Základní pojmy – vlastnosti hornin, napětí, přetvoření – význam pro IG

Popisné vlastnosti geomateriálů

Podstata klasifikace

Mechanické vlastnosti

Zkoušení vlastností – laboratorní a polní zkoušky

Partikulární látky > geomateriály > horniny + zeminy

Zrna vs Částice

Zrna velikosti nm až m

Zpevnění – cementace – koheze

Fáze pevná, kapalná, plynná

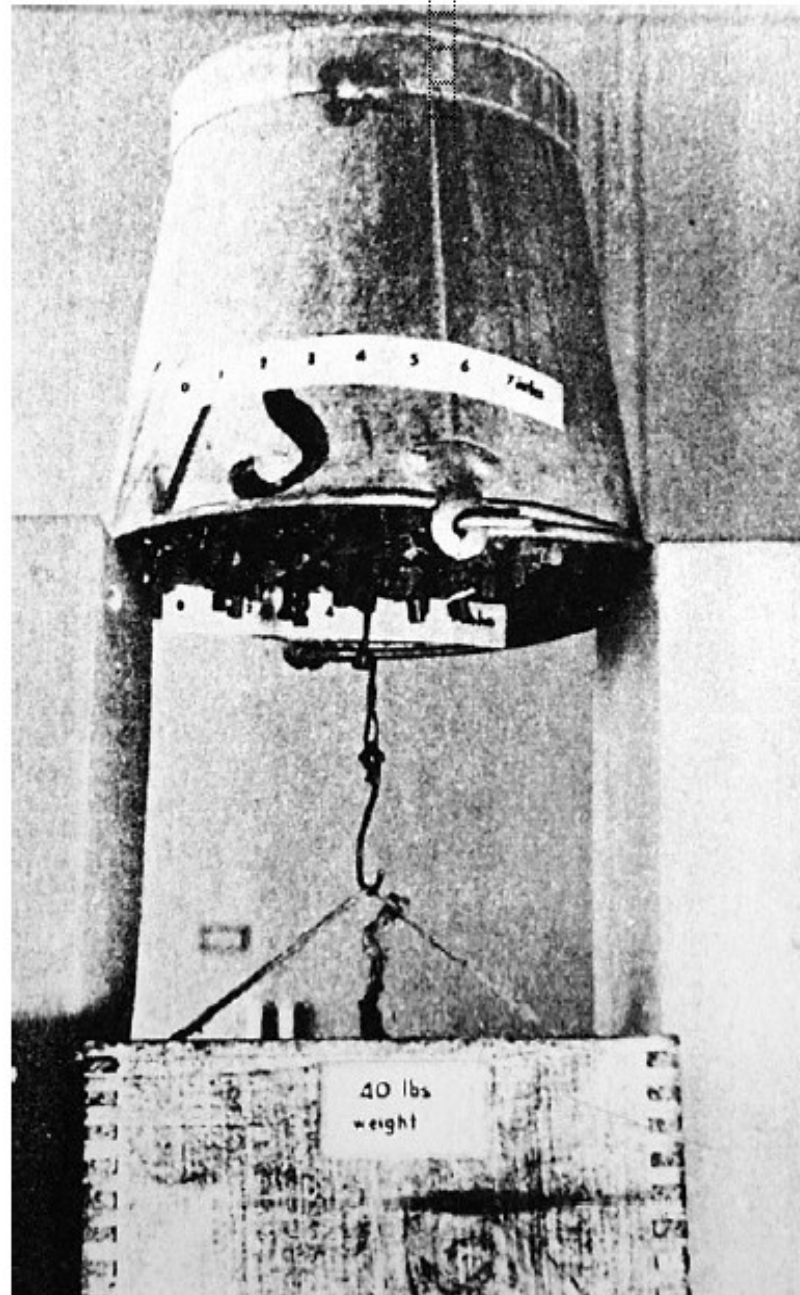


Zrna koloidní velikosti – pro praktické použití v IG lze zanedbat vliv primárních (kovalentní, iontová, kovová) a sekundárních vazeb (vodíková vazba, van der Waalsovy síly)

Kapilarita

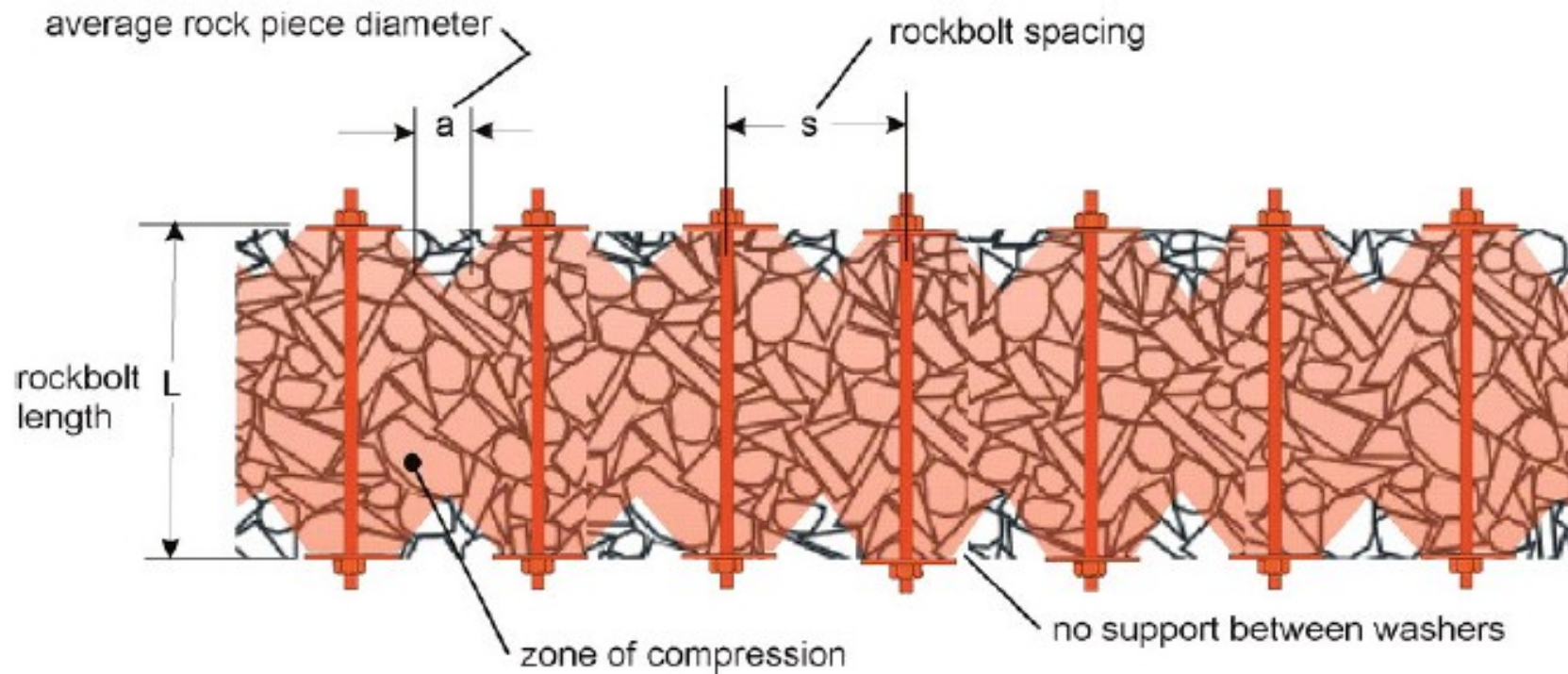
Efektivní napětí - napjatost v jednotlivých fázích

Proč fungují svorníky (rock bolts)?



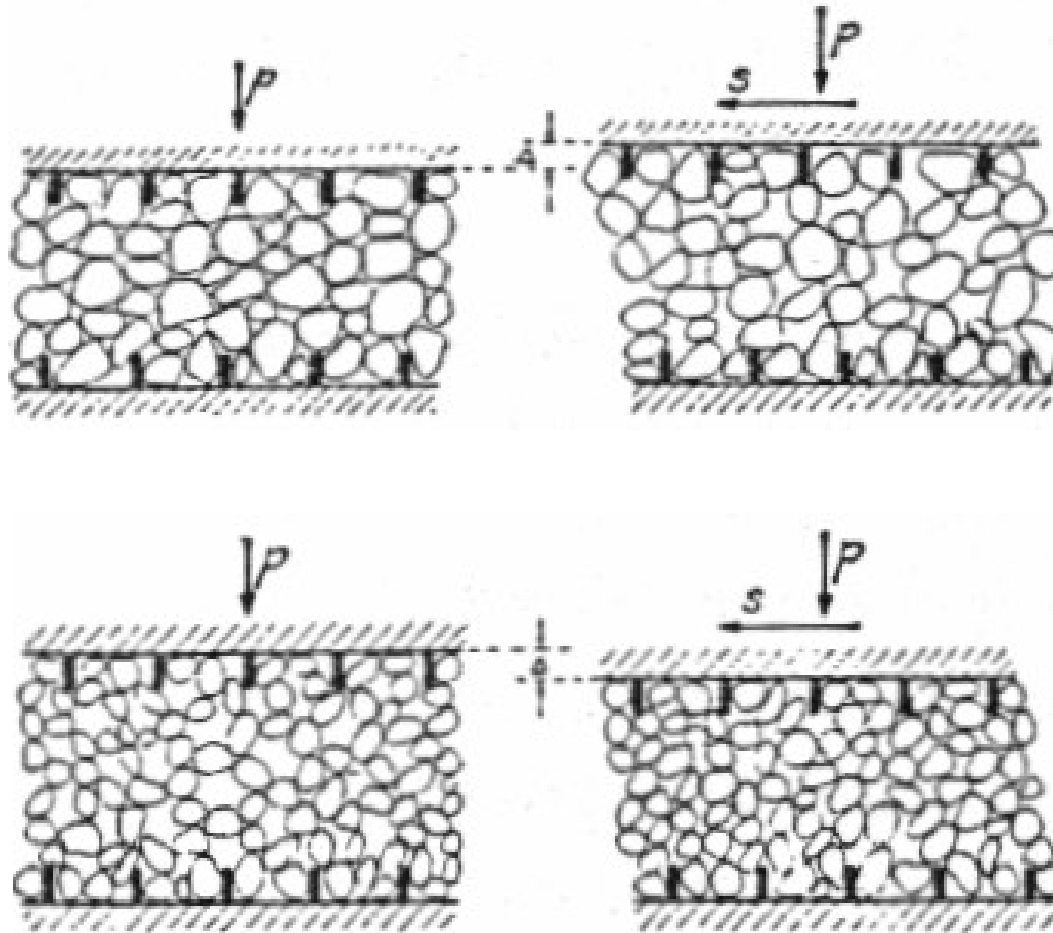
[2]

svorníky (rock bolts)



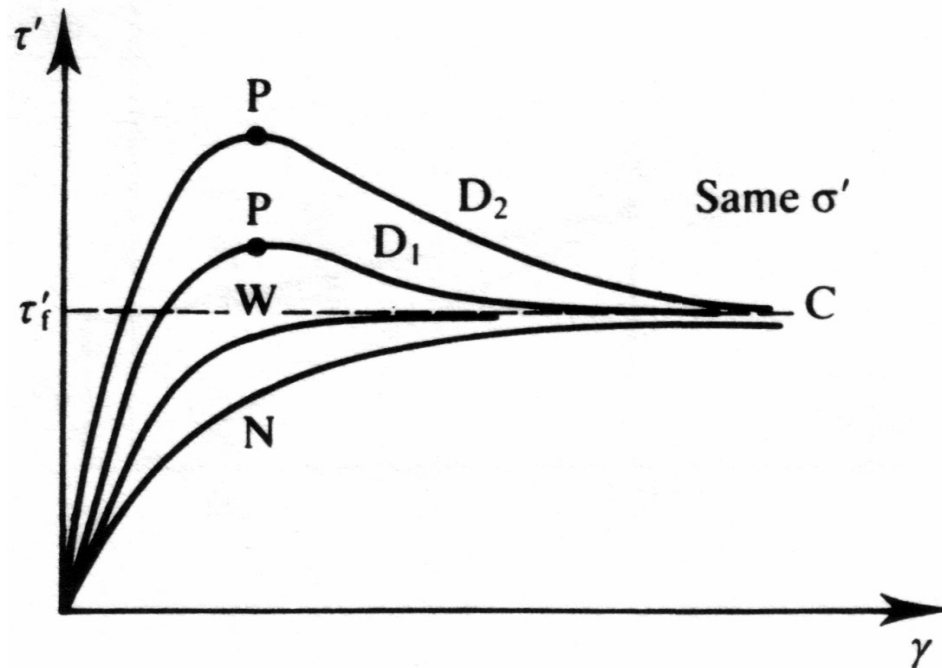
DILATANCE

energie navíc potřebná pro zvýšení objemu pro smyk:

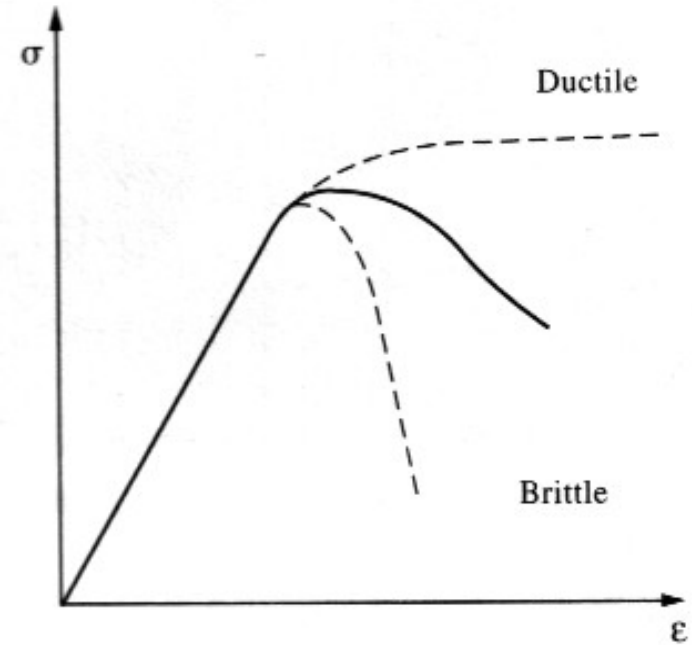
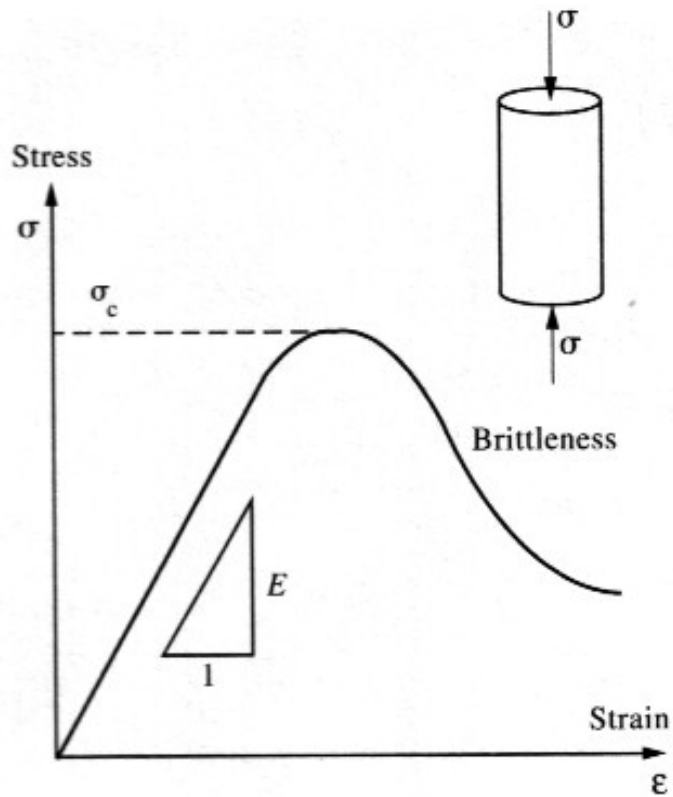


DILATANCE

energie navíc potřebná pro zvýšení objemu pro smyk:



Intaktní H/Z:



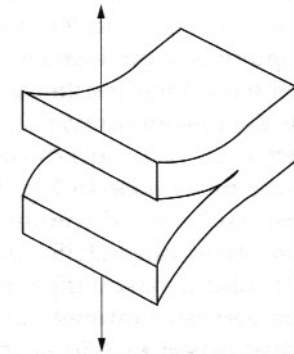
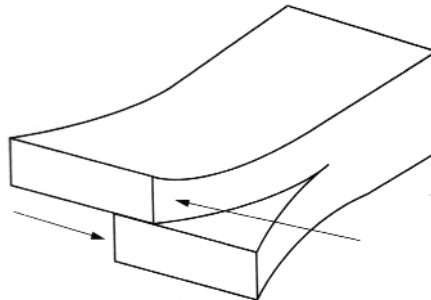
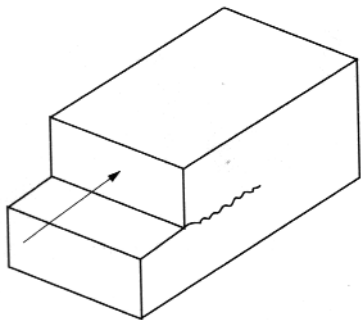
[3]

Diskontinuity, struktura H

IG/geomechanika/geotechnika – hornina = KONTINUUM → všechny plochy oslabení, smykové zóny a plochy, poruchy, vrstevní plochy atd – DISKONTINUITY

GEOMETRICKÉ uspořádání diskontinuit = STRUKTURA HORNINY

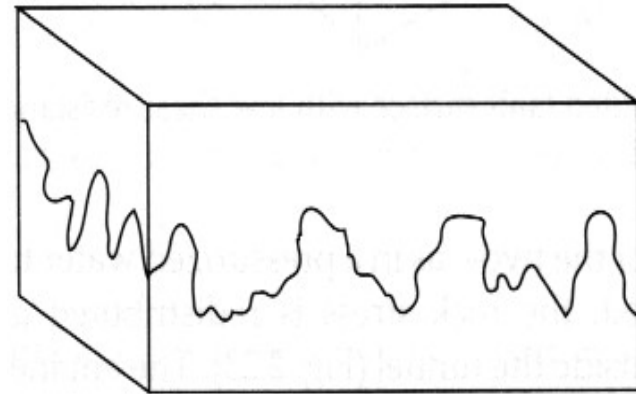
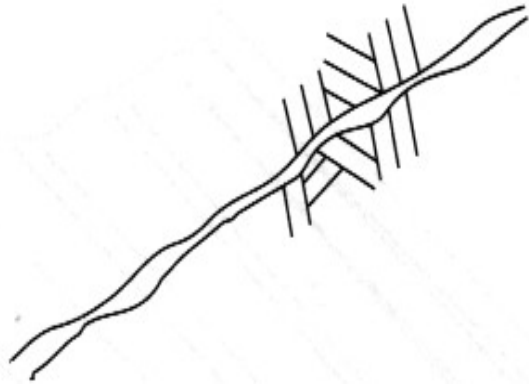
Vznik diskontinuit porušením horniny:



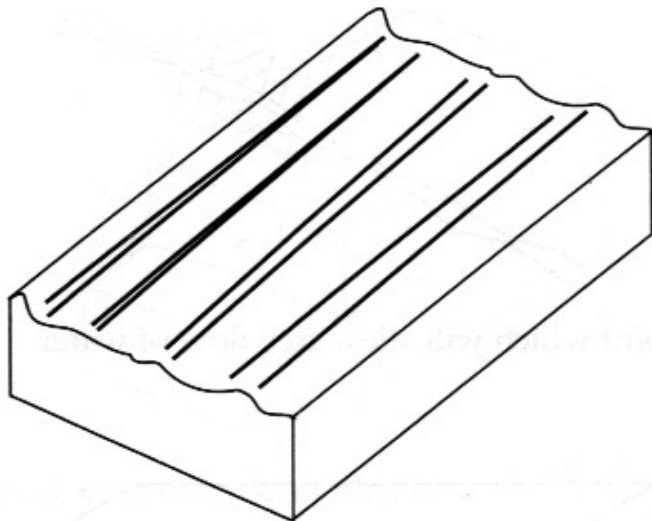
[3]

ZÁKLADNÍ ASPEKTY CHOVÁNÍ

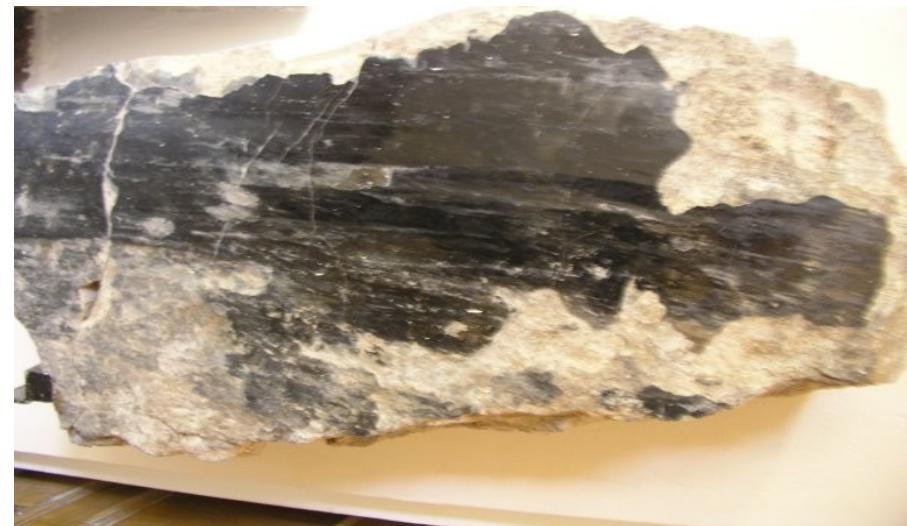
Diskontinuity, struktura H – pevnost, hydraulická vodivost ...



[3]



[3]



Jemnozrná žula → turmalín

Role času

Geologické procesy [10^6 let] vs inženýrské konstrukce [10^2 let]

Mechanika

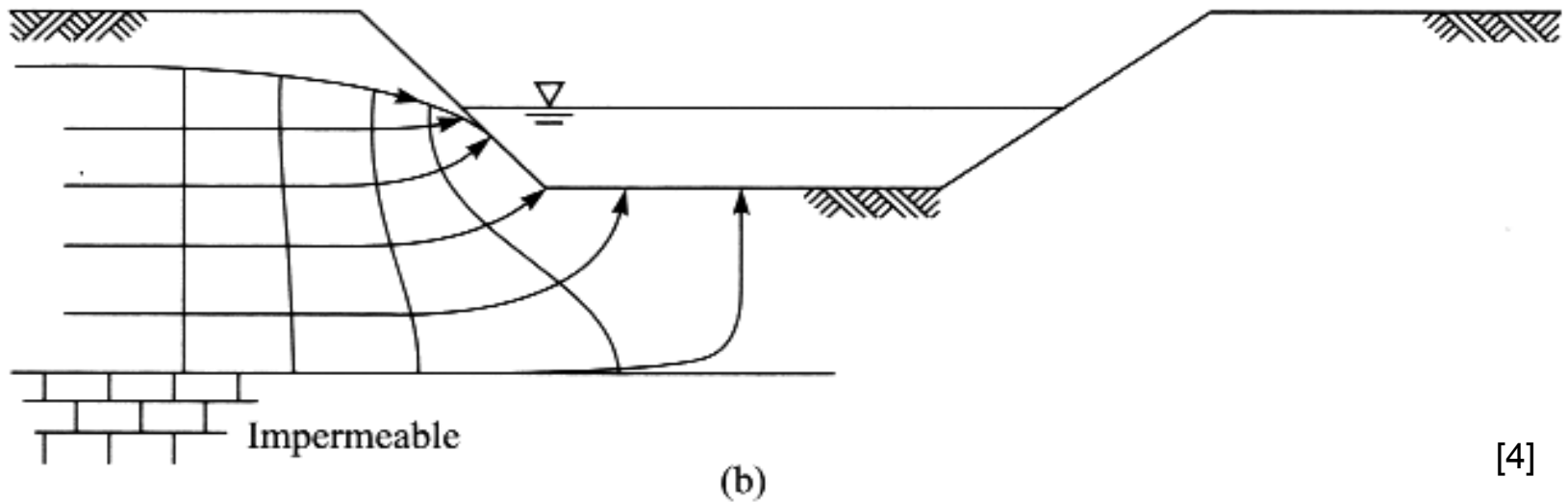
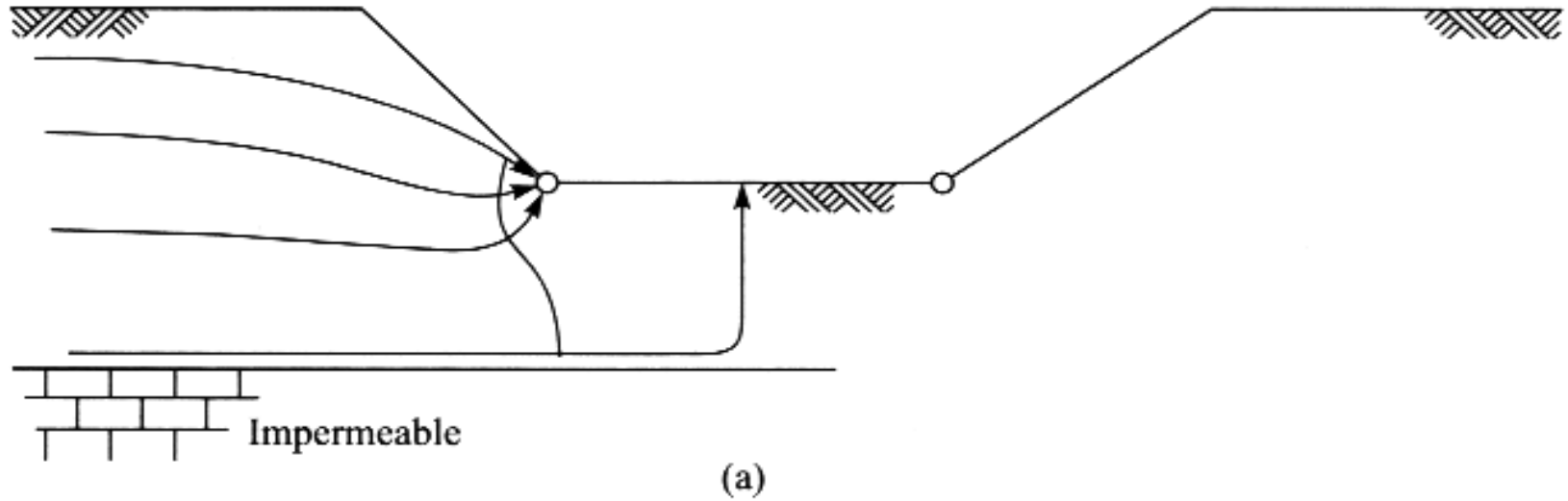
pružnost – neuvažuje čas - nelze modelovat geologické procesy; lze využít pro inženýrské aplikace

reologie

creep (ploužení) = deformace při konstantním napětí (efektivním)

relaxace = změna napětí při konstantním přetvoření

VLIV VODY – PÓROVÉ TLAKY



[4]

VLIV VODY – KAPILARITA



.... + SMRŠTITELNOST, BOBTNAVOST....

Role pórů, pórové „vody“

V zeminách má pórová tekutina prvořadý význam → tzv. „princip efektivních napětí“: napětí, které rozhoduje o mechanickém chování vodou nasycených partikulárních látek:

„všechny měřitelné projevy změny napětí, např. stlačení, změna tvaru a změna smykového odporu jsou způsobeny výhradně změnou efektivního napětí“

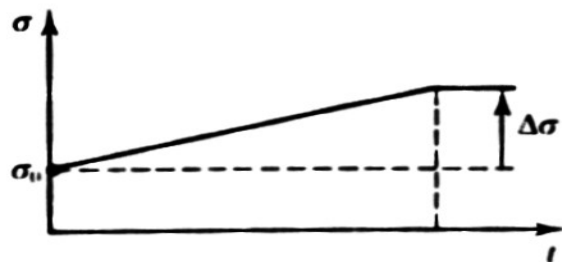
$$\sigma' = \sigma - u$$

(Skalní) horniny

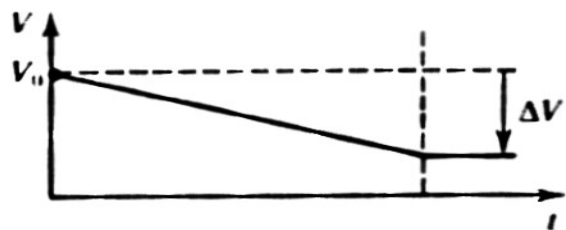
Princip efektivních napětí platí, ale nemá tak zásadní význam pro chování (intaktního) materiálu horniny vzhledem k cementaci „zrn“; uplatňuje se při popisu bloků - diskontinuit

ZÁKLADNÍ ASPEKTY CHOVÁNÍ

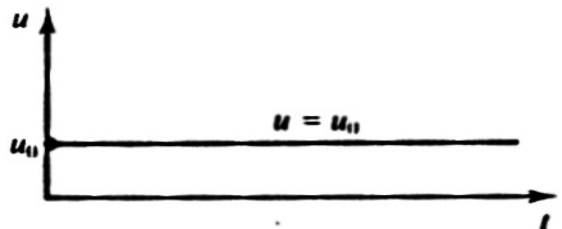
ODVODNĚNÉ ZATÍŽENÍ



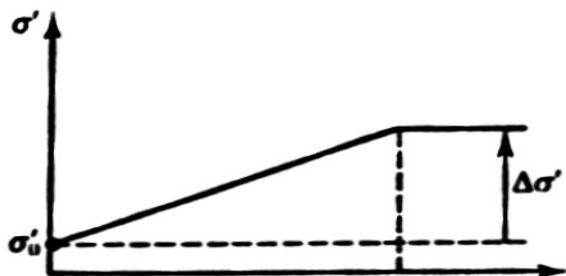
(a)



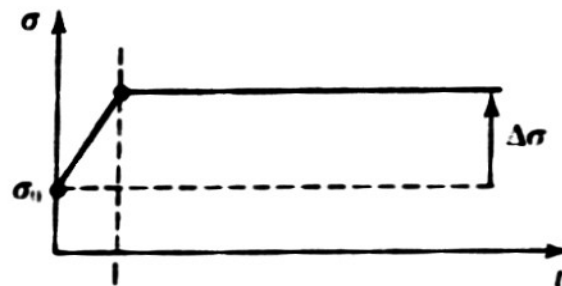
(b)



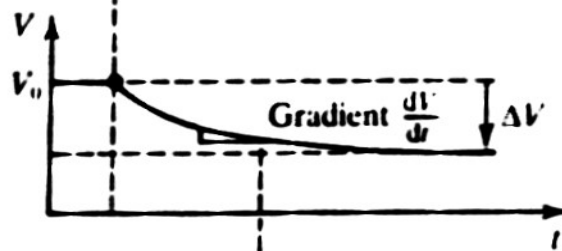
(c)



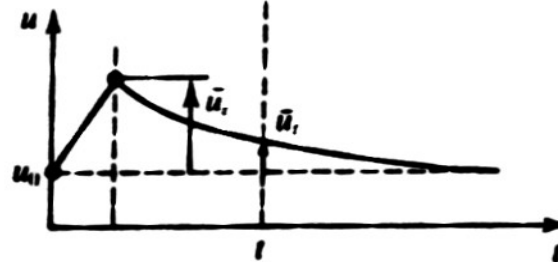
NEODVODNĚNÉ ZATÍŽENÍ + KONSOLIDACE



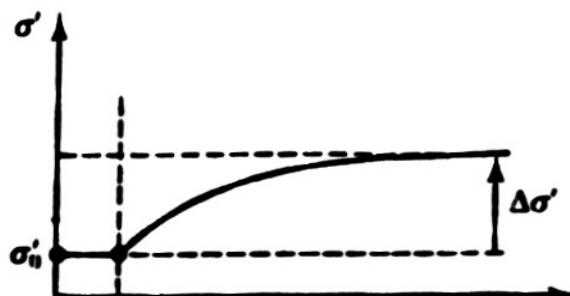
(a)



(b)



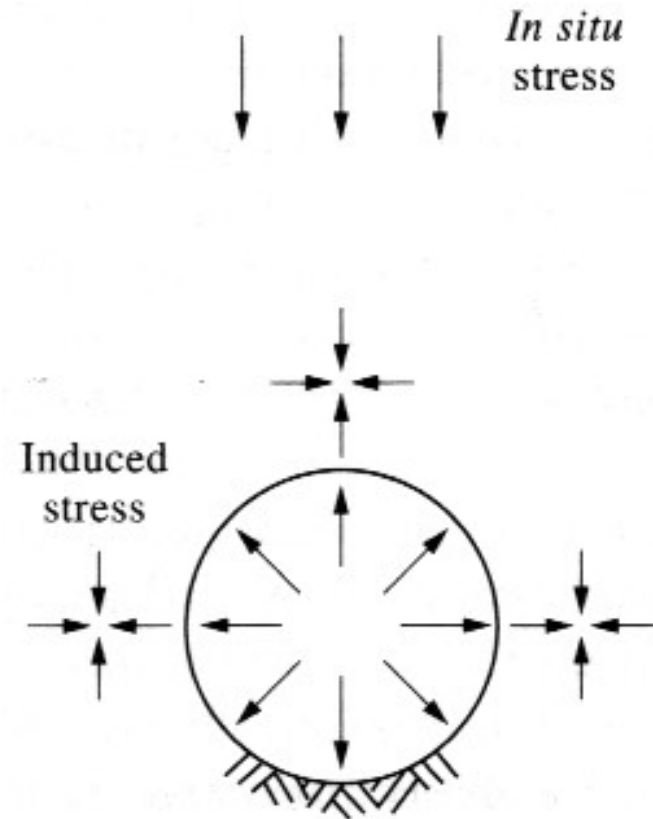
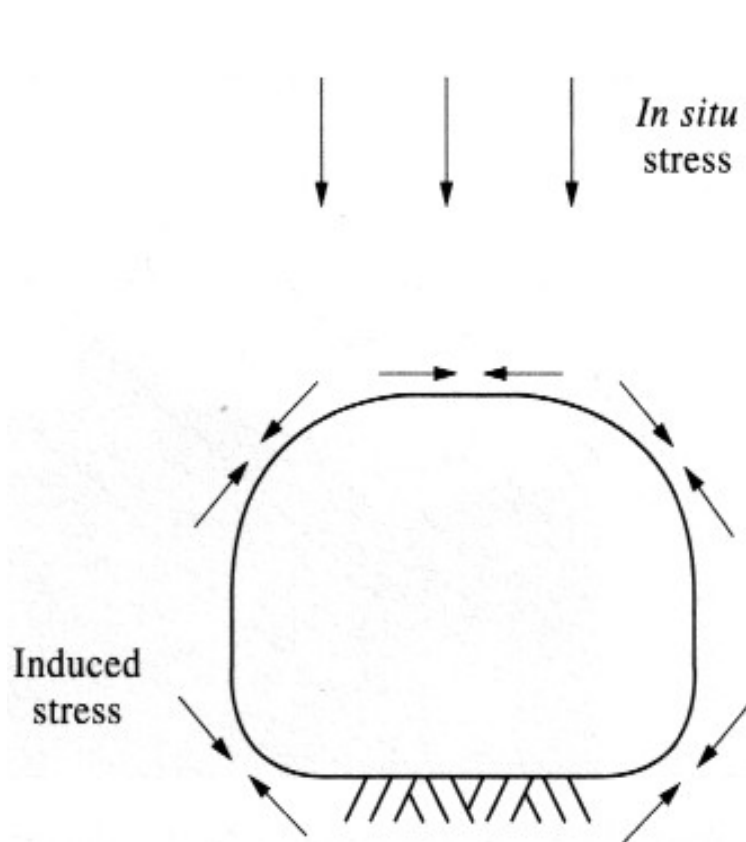
(c)



[4]

Napjatost in situ

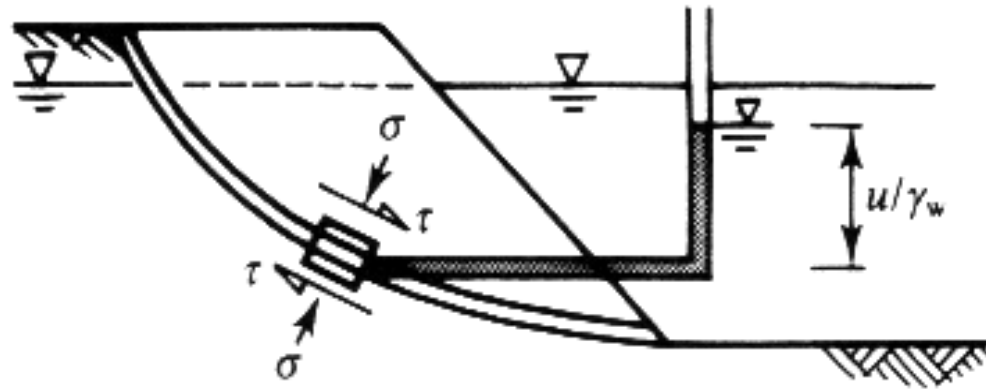
Změny napjatosti stavebním dílem



[3]

Napjatost in situ

Změny napjatosti stavebním dílem



[4]

Stavební dílo může vést ke SNÍŽENÍ původního normálového napětí, které ale přitom způsobí ZVÝŠENÍ napětí SMYKOVÉHO tj. ZATÍŽENÍ v horninovém prostředí.

Napjatost in situ

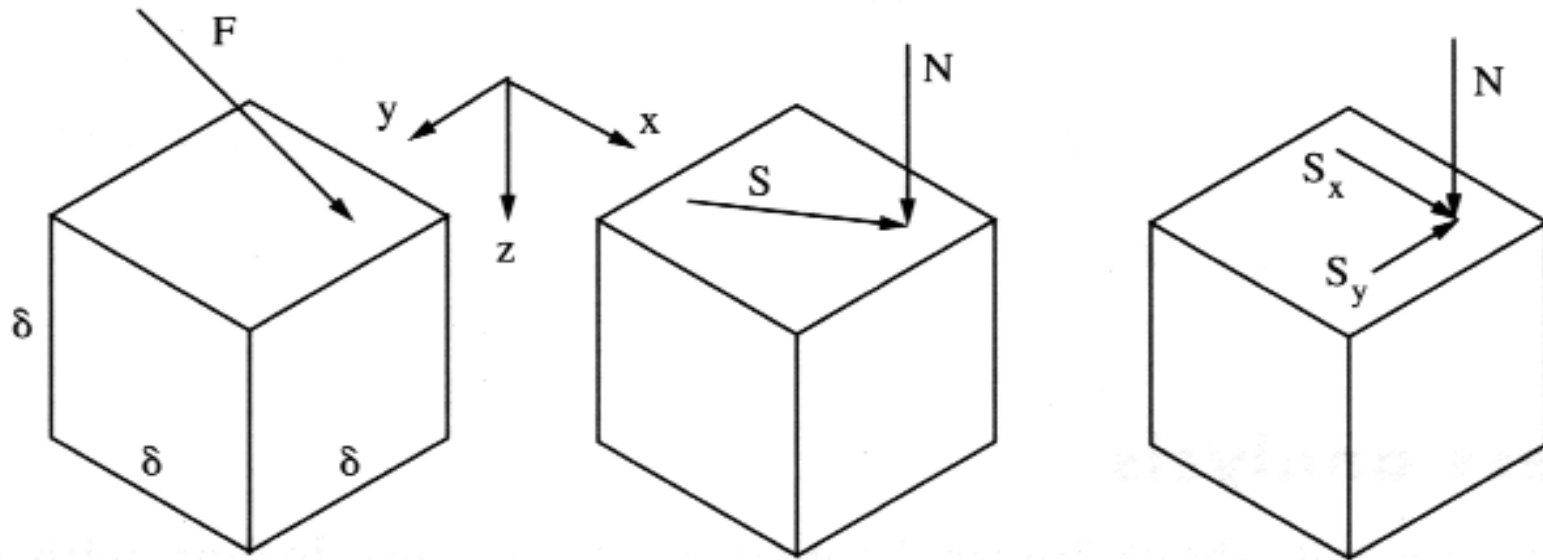
Původní napětí je důležitou počáteční podmínkou pro IG a GT analýzy

NAPĚTÍ

NAPĚTÍ je základním pojmem pro popis vlastností hornin a zemin a pro technické aplikace – geotechniku, inženýrskou geologii, mechaniku hornin a zemin

NAPĚTÍ = SÍLA / PLOCHA

$$\sigma = N / A; \tau = S / A$$



[3]

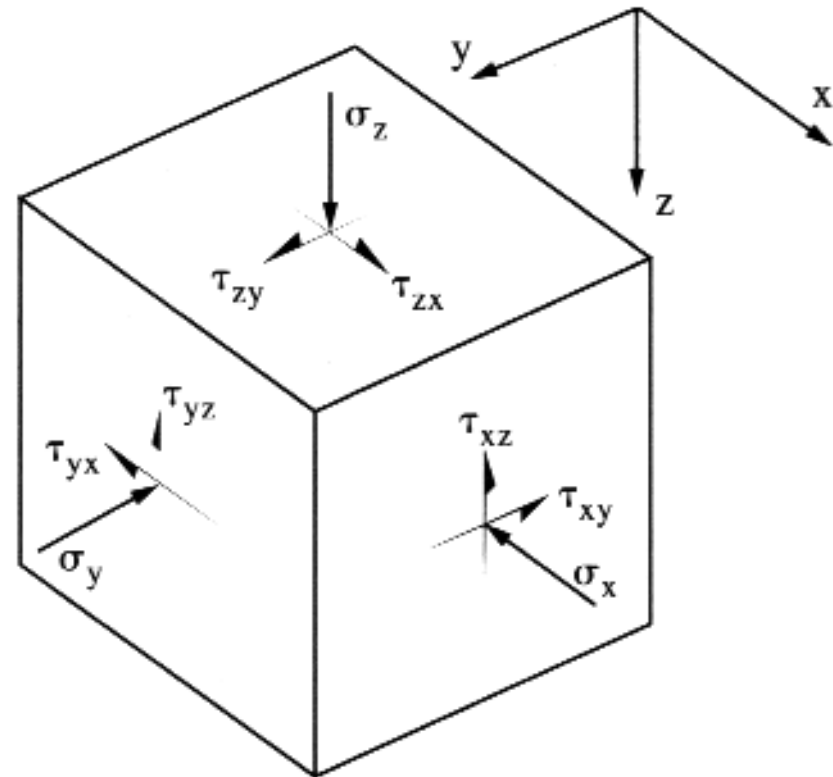
NAPĚTÍ

Rozložení síly, působící v daném bodě, do tří směrů KSS → lze definovat napětí na třech rovinách procházejících daným bodem

Normálová napětí $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$,

Smyková napětí $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{zy}, \tau_{xz}$, kde $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ atd

Znaménková konvence v IG:
tlaky a zmenšení rozměrů kladné



[3]

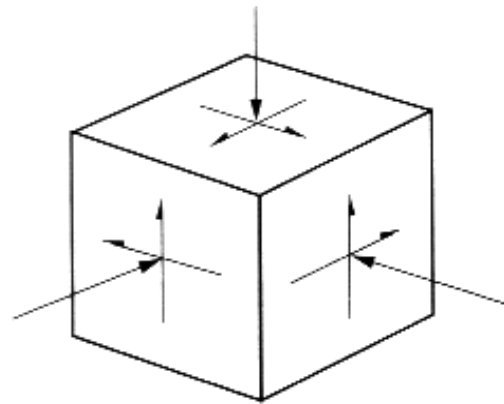
Napětí = tenzor: 9 složek, 6 nezávislých

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

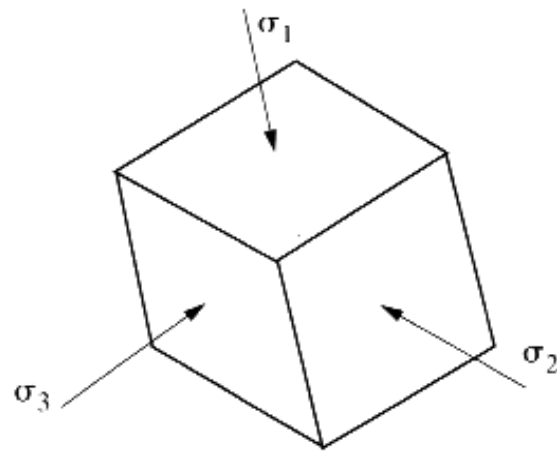
Tenzorová veličina – velikost (numerická hodnota), směr, orientace KSS

NAPĚTÍ

Rotace KSS - vždy lze najít takové tři navzájem kolmé plochy tj. natočení KSS, na nichž smyková napětí nulová a normálová napětí HLAVNÍ jsou extrémny $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$



$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

[3]

Na rovině stěny výkopu, tunelu... jsou nulová smyková napětí. Tj. stěna každého výkopu je hlavní rovinou.

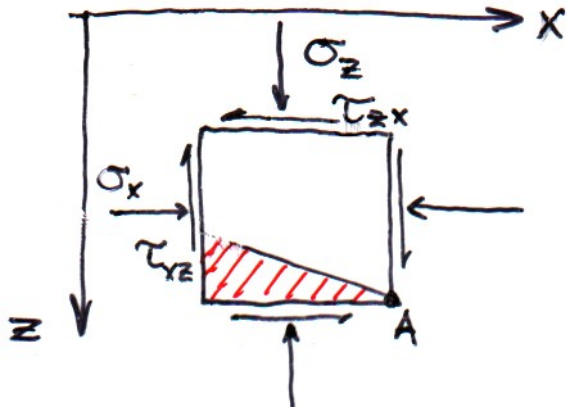
Pro tenzory platí (a tedy i pro σ_{ij}):

$\sum \sigma_{ii} = \text{konst.}$ při rotaci KSS (tzv. první invariant tenzoru (ze tří))

$p = 1/3(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) = \text{střední hlavní napětí} = \text{konst.}$ při rotaci KSS je invariantem, jenž používáme pro popis napjatosti

...mimo jiné to znamená, že normálová napětí nelze rotací KSS eliminovat

ANALÝZA NAPĚTÍ V 2D



V 2D tři podmínky rovnováhy:
1 momentová a 2 součtové

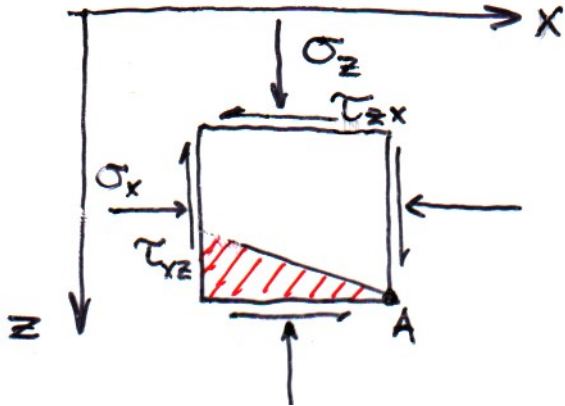
Úkol – analyzovat rovnováhu v bodě – myšlené těleso s infinitezimálními rozměry

1. Momentová podmínka k bodu A:

$$\tau_{zx} \times \text{plocha} \times \text{rameno} = \tau_{xz} \times \text{plocha} \times \text{rameno}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz}$$

Na dvou sousedních stěnách myšleného tělesa v 2D = na dvou navzájem kolmých ploškách ve vyšetřovaném bodě (v 2D), jsou tangenciální napětí stejně velká, opačného znaménka.



2. Dvě součtové podmínky (sil) ve dvou (libovolně) zvolených směrech:

$$\sigma_{\alpha} dx / \cos\alpha = \sigma_z dx \cos\alpha + \tau_{zx} dx \sin\alpha + \tau_{xz} dx \sin\alpha + \sigma_x dx \sin^2\alpha / \cos\alpha$$

$$\tau_{\alpha} dx / \cos\alpha = -\sigma_z dx \sin\alpha + \tau_{zx} dx \cos\alpha - \tau_{xz} dx \sin^2\alpha / \cos\alpha + \sigma_x dx \sin\alpha$$

.....

$$\sigma_{\alpha} = (\sigma_z + \sigma_x)/2 + (\sigma_z - \sigma_x)/2 \cos 2\alpha + \tau_{zx} \sin 2\alpha \quad (1)$$

$$\tau_{\alpha} = (\sigma_x - \sigma_z)/2 \sin 2\alpha + \tau_{zx} \cos 2\alpha \quad (2)$$

Hlavní normálové napětí = extrémní hodnota normálového napětí při $\alpha = \alpha_0$

$$(1): \quad \sigma_{\alpha} = (\sigma_z + \sigma_x)/2 + (\sigma_z - \sigma_x)/2 \cos 2\alpha + \tau_{zx} \sin 2\alpha \dots \text{extrémy} \dots \text{derivace} = 0 \dots$$

směr dvou navzájem kolmých rovin, tzv. hlavních rovin, na nichž působí extrémní normálová napětí:

$$\text{tg} 2\alpha_0 = \tau_{zx} / ((\sigma_z - \sigma_x)/2) \quad (3)$$

stejný výraz dostaneme z (2) pro $\tau_{\alpha} = 0$ (tj. platí, že na hlavních rovinách je smykové napětí nulové)

.....

velikost hlavních normálových napětí:

$$\sigma_{1,2} = (\sigma_z + \sigma_x)/2 \pm (((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{zx}^2)^{1/2} \quad (4)$$

Význam předchozí strany:

v každém bodě kontinua při dané napjatosti můžeme rotací os najít takové natočení ($\alpha = \alpha_0$), při němž na dvou vzájemně kolmých rovinách bude normálové napětí extrémní a smykové napětí nulové

ve 2D: minimum a maximum normálového napětí, tj. DVĚ hlavní normálová napětí; působí na hlavních rovinách

$$\text{konvence: } \sigma_1 > \sigma_2$$

ve 3D: 3 roviny, na nichž TŘI hlavní normálová napětí: minimum, mezilehlá hodnota a maximum

$$\text{konvence: } \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Podobně jako hlavní roviny, lze najít jiné natočení KSS (jiný úhel α), takové, že smyková napětí budou extrémní (na těchto rovinách ale nevymizí normálové napětí):

$$(2) \tau_{\alpha} = (\sigma_x - \sigma_z)/2 \sin 2\alpha + \tau_{zx} \cos 2\alpha$$

$$\dots \text{derivace}=0 \dots \rightarrow \text{tg} 2\alpha_{\tau_{\max}} = (\sigma_x - \sigma_z) / 2\tau_{zx} \quad (5)$$

$$\dots \text{dosazením do (2):} \quad \tau_{\max, \min} = \pm \left(\left((\sigma_x - \sigma_z)/2 \right)^2 + \tau_{zx}^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

Vztahy (3) až (6) jsou výsledky analýzy napětí v libovolném bodě v 2D:

spočítali jsme extrémy σ i τ

odklony odpovídajících rovin...

tj splnili jsme úkol...

Grafické vyjádření rovnic (1) až (6) pomocí kružnice:

$$\sigma_\alpha - (\sigma_z + \sigma_x)/2 = (\sigma_z - \sigma_x)/2 \cos 2\alpha + \tau_{zx} \sin 2\alpha \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = (\sigma_x - \sigma_z)/2 \sin 2\alpha + \tau_{zx} \cos 2\alpha \quad (2)$$

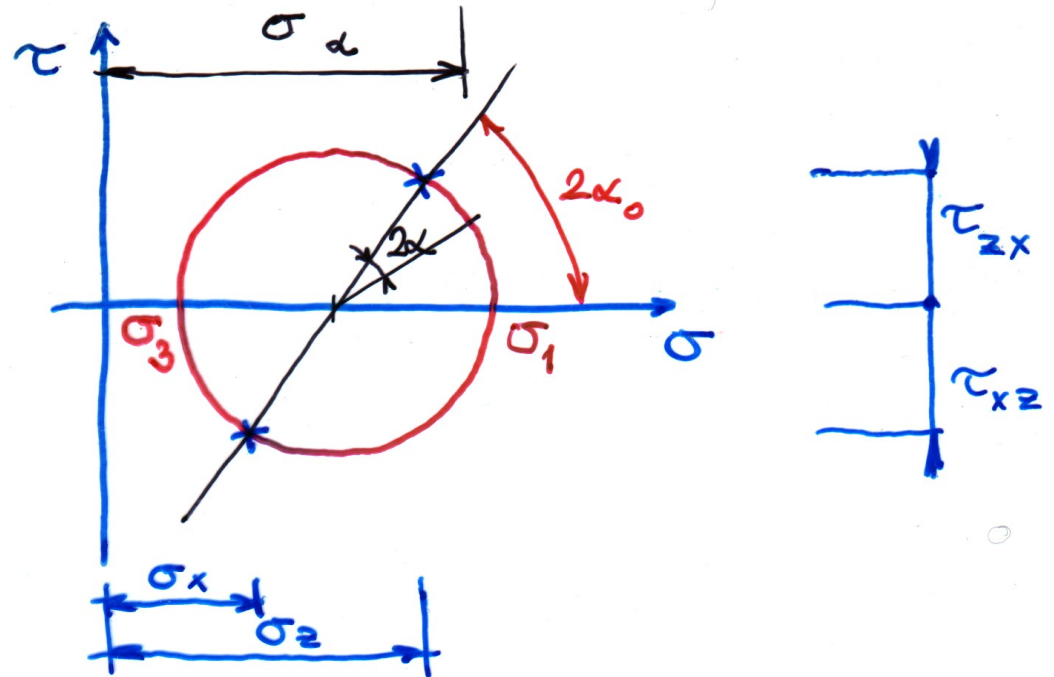
umocnění a sečtení rovnic (1) a (2):

$$(\sigma_\alpha - (\sigma_z + \sigma_x)/2)^2 + \tau_\alpha^2 = (\sigma_z - \sigma_x)^2/4 \cos^2 2\alpha + 2\tau_{zx}(\sigma_z - \sigma_x)/2 \cos 2\alpha \sin 2\alpha + \tau_{zx}^2 \sin^2 2\alpha + (\sigma_x - \sigma_z)^2/4 \sin^2 2\alpha + 2\tau_{zx}(\sigma_x - \sigma_z)/2 \sin 2\alpha \cos 2\alpha + \tau_{zx}^2 \cos^2 2\alpha$$

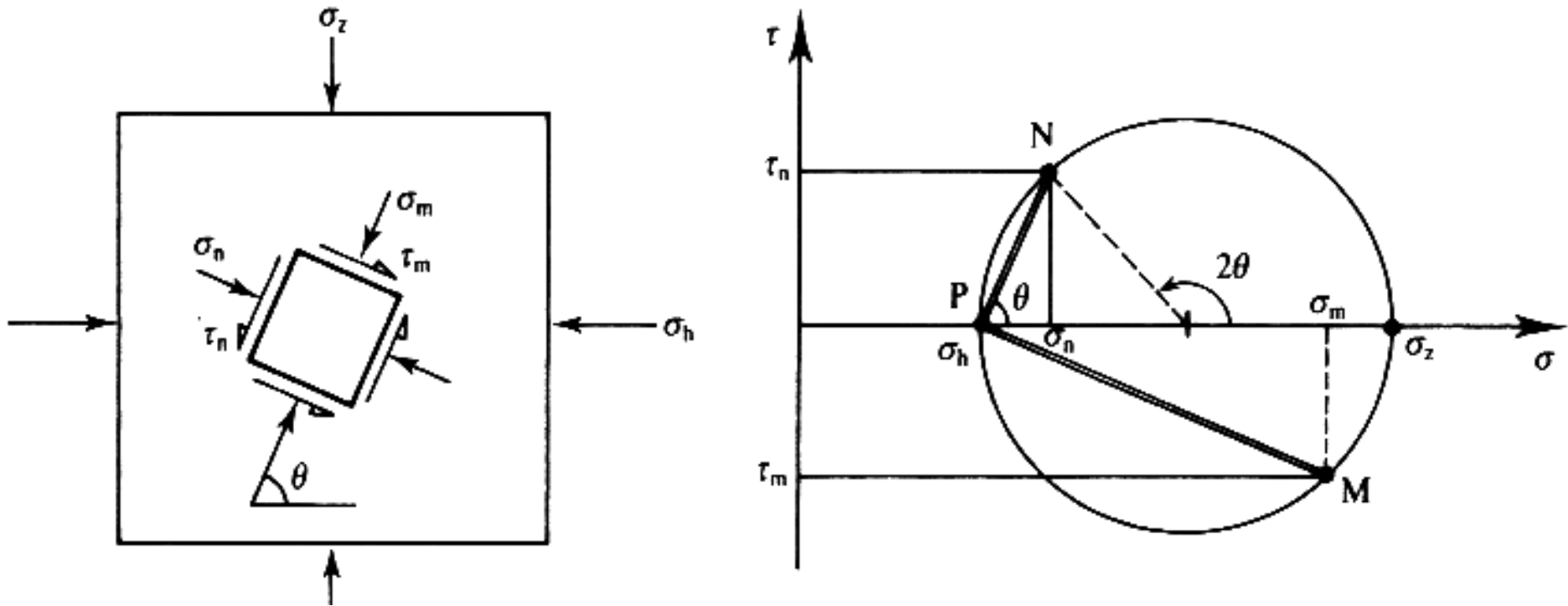
$$(\sigma_\alpha - (\sigma_z + \sigma_x)/2)^2 + \tau_\alpha^2 = ((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{zx}^2$$

resp. $(\sigma - m)^2 + \tau^2 = r^2$

tj. rovnice kružnice (proměnné σ_α ; τ_α ,
resp. σ ; τ)

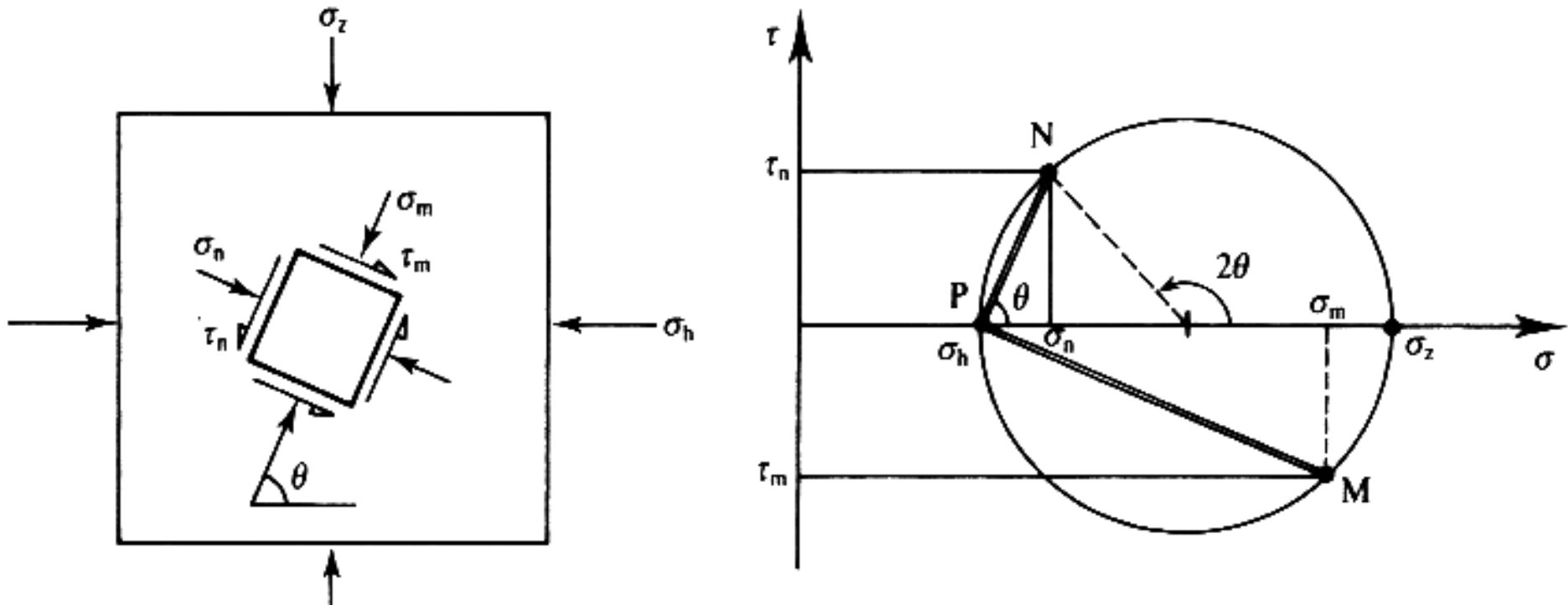


ANALÝZA NAPĚTÍ V 2D



Na element / vzorek zeminy působí hlavní normálová napětí $\sigma_h < \sigma_z$. Určete napětí na rovině odkloněné o úhel θ od roviny hlavního normálového napětí σ_z .

ANALÝZA NAPĚTÍ A PŘETVOŘENÍ V 2D



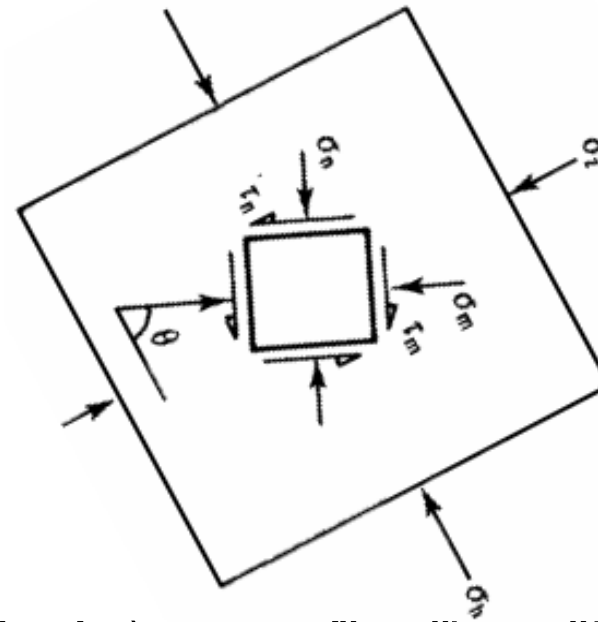
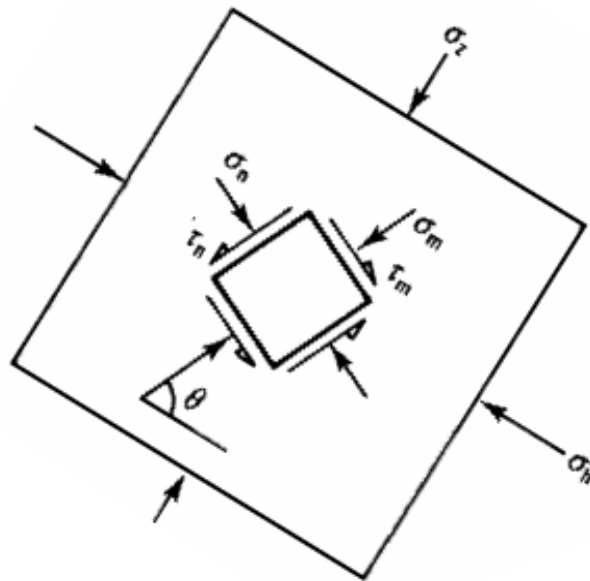
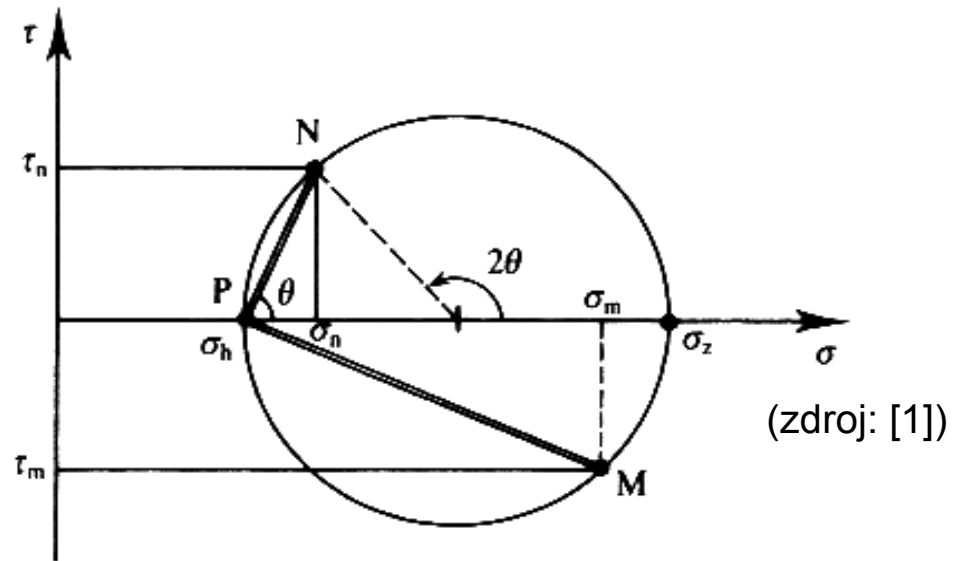
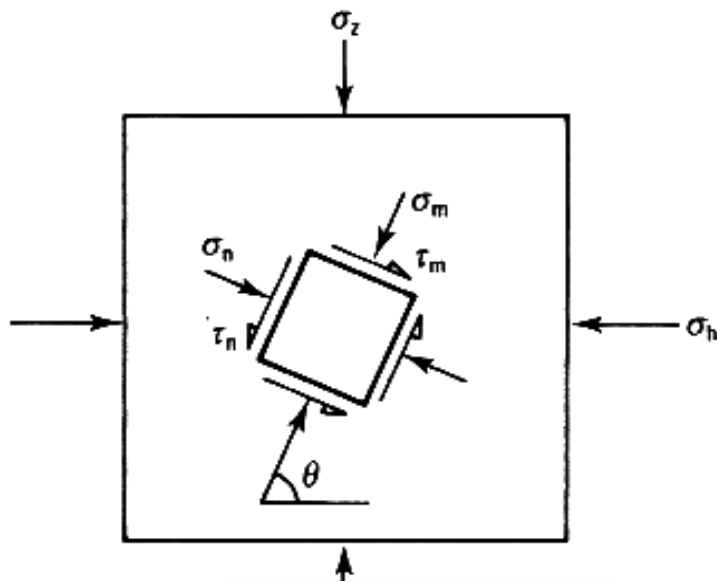
Z geometrie kružnice plyne existence tzv. pólu Mohrovy kružnice napětí:

Pól rovin napětí: bod na Mohrově kružnici; pro všechna natočení (rotace KSS) platí: rovnoběžka s rovinou, na níž působí zvolené/hledané napětí, vedená pólem, protne Mohrovu kružnici v odpovídajícím bodě napětí (v bodě, jenž určuje velikost napětí na zvolené rovině).

→ Postup pro určení napětí na libovolné rovině : 1. určím pól; 2. pólem rovnoběžku s rovinou, na níž hledám napětí – protne MK v hledaném bodě napětí.

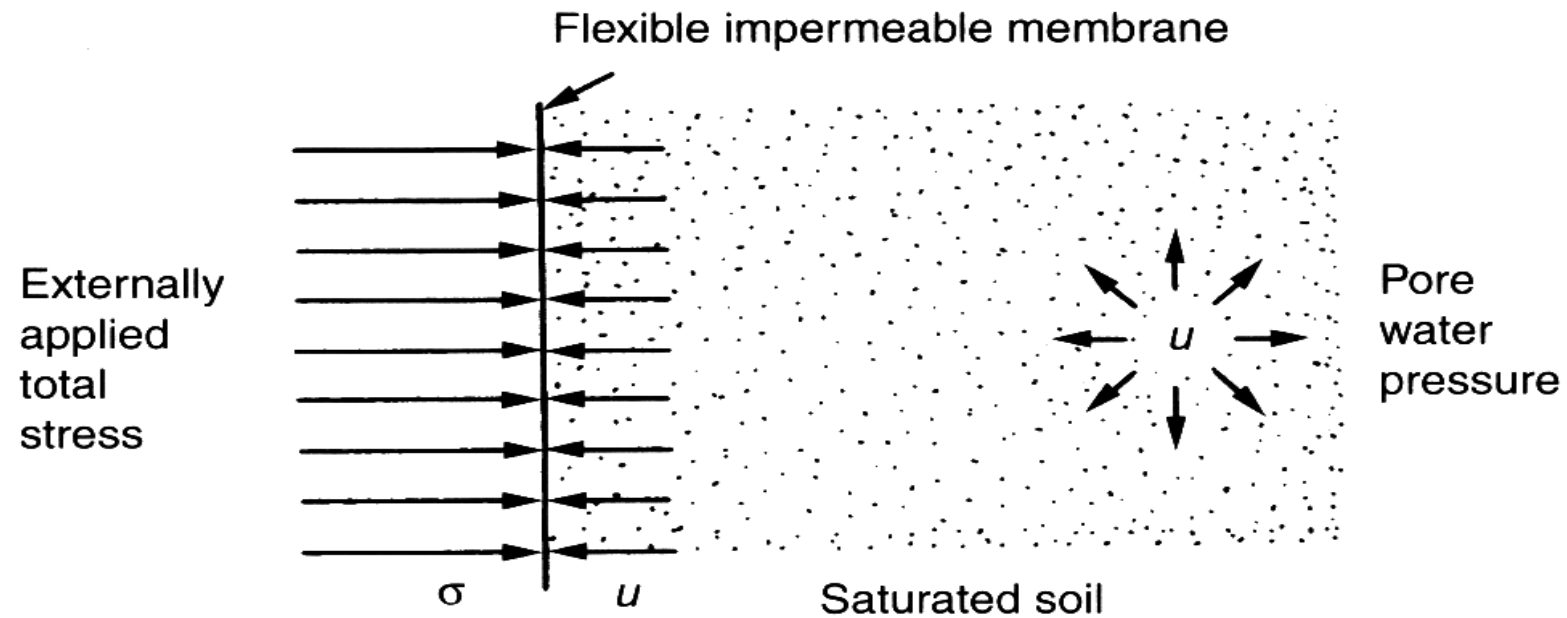
Pól směrů napětí: rovnoběžky se směrem normálových napětí; duální k pólu rovin-
oba póly leží na společném průměru (← Thaletova věta)

ANALÝZA NAPĚTÍ A PŘETVOŘENÍ V 2D



NB: uspořádáním obrázků (vzájemným natočením) na papíře při použití MK se poloha pólu mění; zobrazení úhlu odklonu roviny (=středový úhel...) nikoliv.

PRINCIP EFEKTIVNÍCH NAPĚTÍ



PRINCIP EFEKTIVNÍCH NAPĚTÍ

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

(nekorektní symbolický zápis, korektně tenzorově)

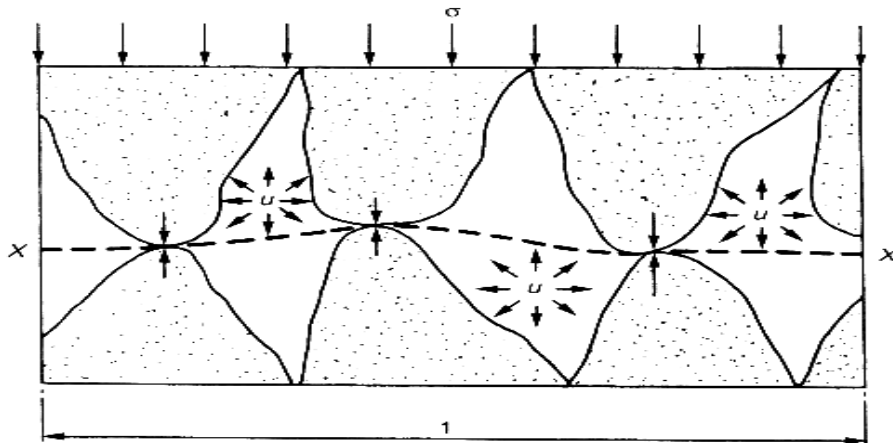
K. v Terzaghi, 1936:

„...napjatost v každém bodě libovolného řezu zeminou lze spočítat z totálního napětí $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, které v tomto bodě působí. Jestliže póry zeminy jsou vyplněny vodou pod tlakem u , totální normálové napětí se skládá ze dvou částí. Jedna, u , působí ve vodě a na pevnou fázi všesměrně a stejnou intenzitou. Nazývá se neutrální napětí (nebo pórový tlak). Rozdíl $\sigma_1' = \sigma_1 - u$, $\sigma_2' = \sigma_2 - u$ a $\sigma_3' = \sigma_3 - u$ reprezentuje přebytek napětí nad ('excess over') neutrální napětí u a spočívá výlučně v pevné fázi zeminy ('has its seat')...

...změna u způsobuje prakticky zanedbatelnou deformaci a nemá vliv na napjatost při porušení...porézní materiály jako písek, jíl a beton, reagují na změnu u jako by byly nestlačitelné...

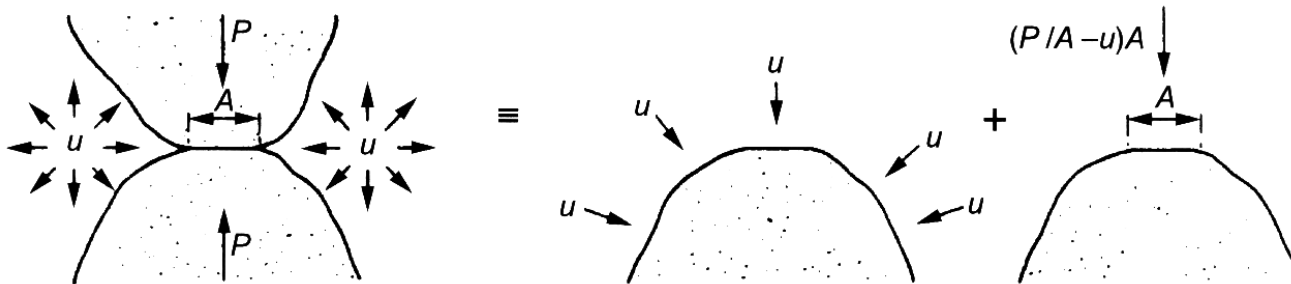
...**všechny měřitelné projevy změny napětí, např. stlačení, změna tvaru a změna smykového odporu jsou způsobeny výhradně změnou efektivního napětí $\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3'$.**

EFEKTIVNÍ NAPĚTÍ



P průměrná síla na kontaktu
 N počet kontaktů na řezu X-X
 $\sigma_i = NP$ je intergranulární síla na jednotkové ploše (intergranulární napětí)

[5]



Stlačitelnost skeletu (struktury složené ze zrn) je rozhodující pro deformaci zeminy (vlastní zrna jsou považována za nestlačitelná). Pouze přebytek napětí nad všesměrný tlak u způsobuje deformaci. Součet přes N kontaktů:

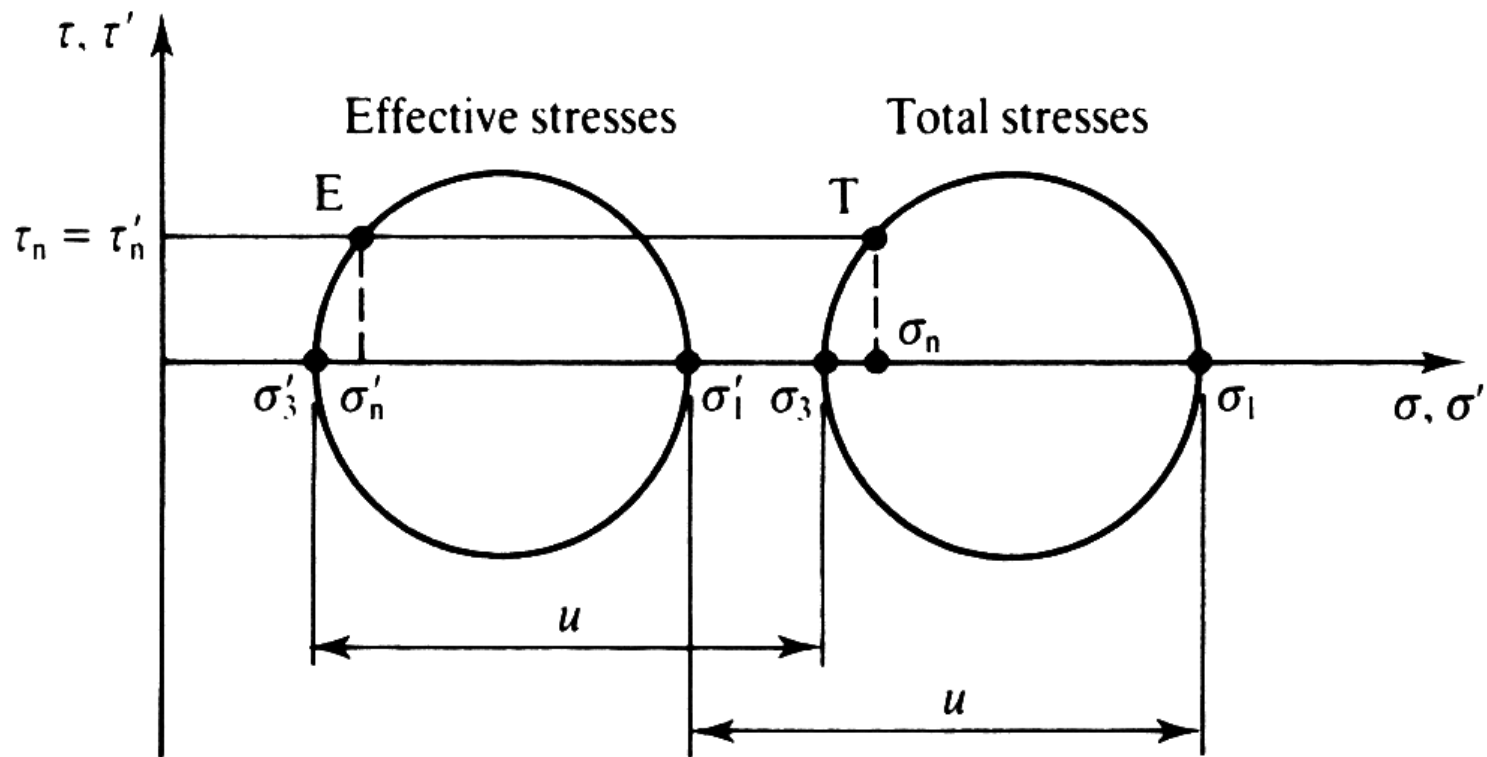
$$\sigma' = N ((P / A) - u) A = NP - u N A = \sigma_i - u N A$$

$$\sigma' \neq \sigma_i$$

Efektivní napětí NENÍ intergranulární napětí
 (Efektivní napětí je nižší než (průměrné) napětí mezi zrnny.)

NAPĚTÍ V PARTIKULÁRNÍ LÁTCE – EFEKTIVNÍ NAPĚTÍ

→ TOTÁLNÍ A EFEKTIVNÍ MK

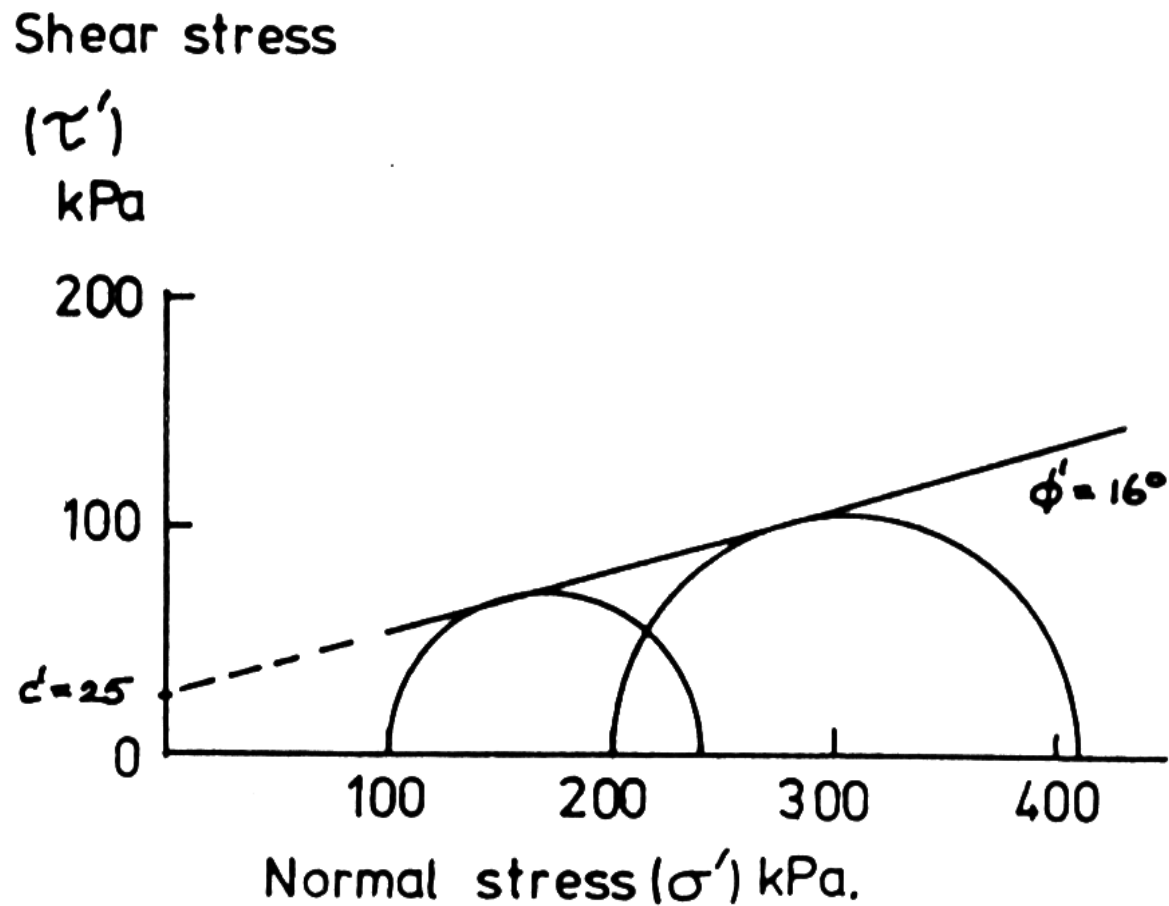


[1])

VYUŽITÍ POPISU NAPĚTÍ PŘI DEFINICI PEVNOSTI

Mohrova kružnice zobrazuje napjatost v daném bodě při rotaci souřadného systému; lze ji také využít pro definici pevnosti:

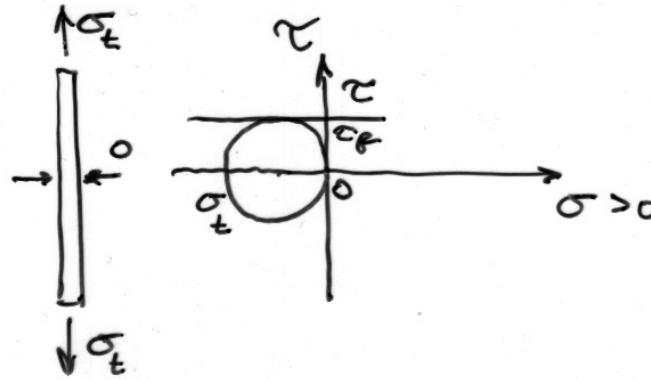
Mohrova kružnice při porušení → OBÁLKA PEVNOSTI



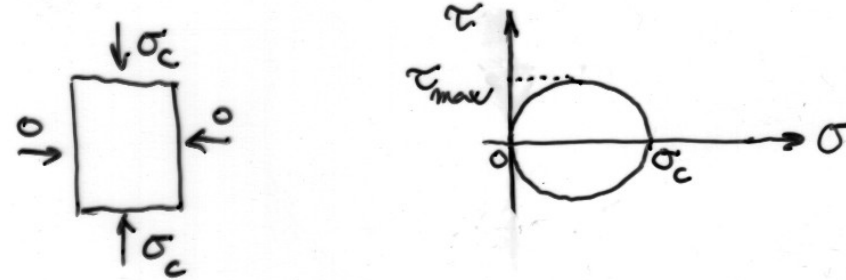
[4]

PEVNOST

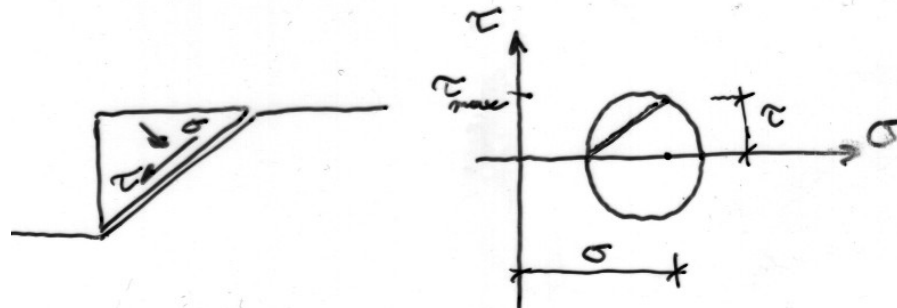
„v tahu“



„v tlaku“



„ve smyku“



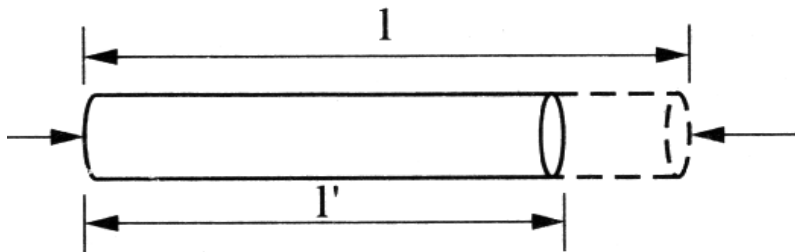
DEFORMACE, PŘETVOŘENÍ

Zatížení → deformace, jež je závislá na velikosti modelu/prototypu/konstrukce

Deformace se proto „normalizuje“ původním rozměrem, aby bylo možné porovnávat účinky zatížení na různě velkých konstrukcích – počítá se **PŘETVOŘENÍ**

Přetvoření = změna délky (rozměru) vzhledem k původní délce (rozměru)

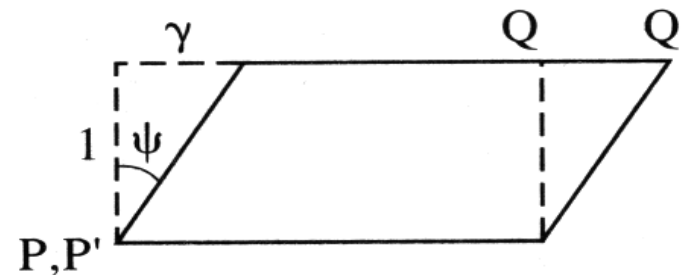
Přetvoření normálové (délkové)



$$\varepsilon = -(l' - l)/l$$

($\varepsilon > 0$)

smykové (úhlové)



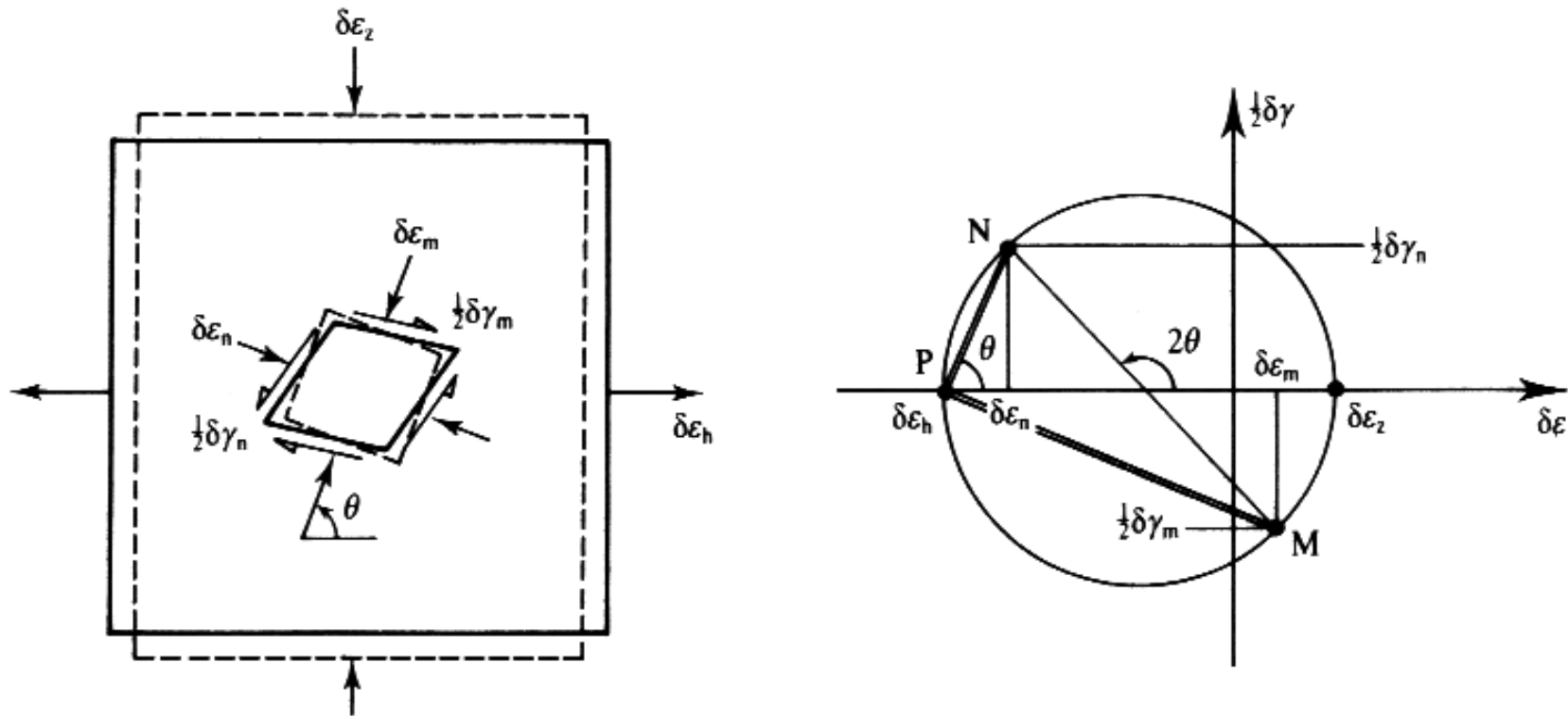
$$\gamma = \text{tg } \psi$$

($\gamma < 0 \leftarrow P'Q' > PQ$)

[3]

...Analýza přetvoření – opět lze rovnice zobrazit graficky

→ Mohrova kružnice přírůstků přetvoření



[4]

POPIS

Velikost zrn (křivka zrnitosti, ale v poli třením mezi prsty, ± pod vodou)

Tvar zrn

Minerální složení (názvy minerálů)

Barva

Pevnost v suchém stavu (jíl vs silt)

Dilatance

Plasticita (nízká vs vysoká)

Obsah uhličitánů

Obsah organických složek

STAV

v poli: konzistence (kašovitá až tvrdá)

na základě laboratoře: w , n , ρ , I_C ; I_D

Popis materiálu H:

Barva

Zrnitost

Základní hmota

Vliv zvětrání, alterace (odbarvená, rozmělněná, rozložená)

Obsah uhličitánů

Stabilita H materiálu ve vodě (stabilní, rel. stab., nestabilní)

Odhad pevnosti v prostém tlaku [MPa] na základě rýpání, loupání, škrábání, kladivem

Popis horninového masivu:

Struktura

Diskontinuity (směr a sklon – např 260/70)

Tloušťka vrstev, vzdálenost diskontinuit, velikost [mm] bloků H

Tvar bloků

Průběžnost diskontinuit (délka, [m])

Drsnost diskontinuit

Rozevření diskontinuit

Výplň

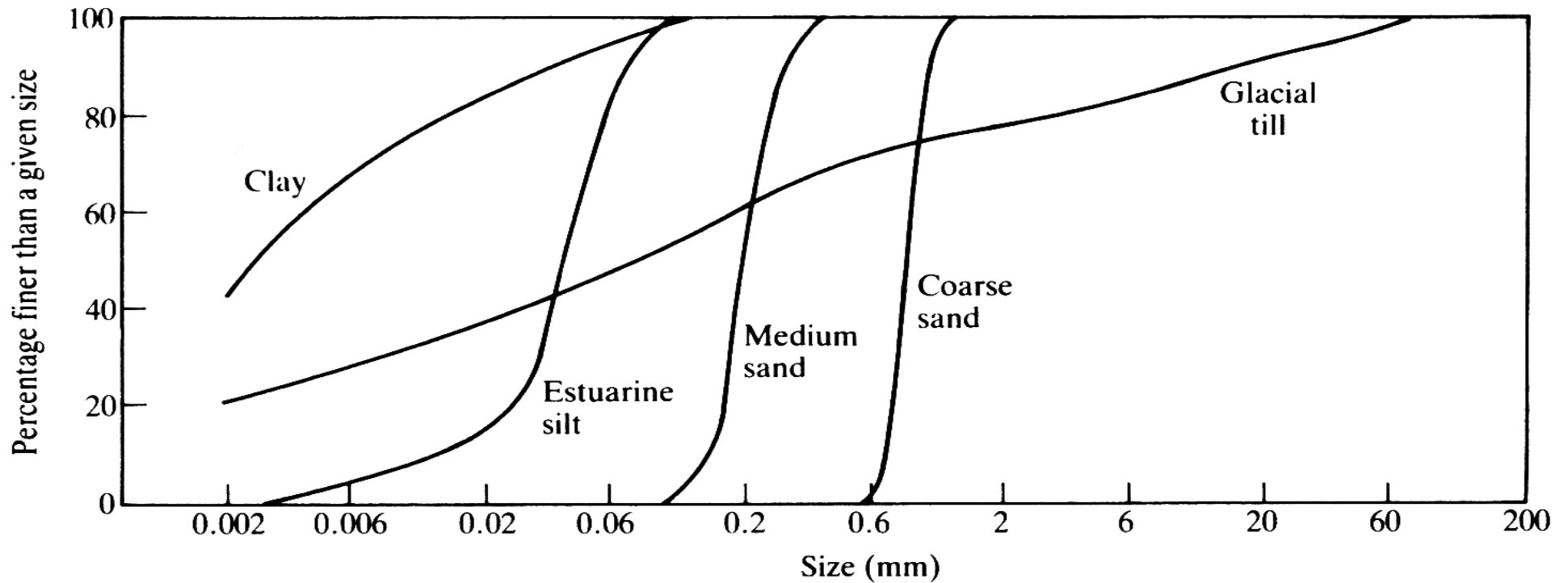
Průsak ($< 0,5 \text{ ls}^{-1}$; $0,5 \text{ až } 5 \text{ ls}^{-1}$; $> 5 \text{ ls}^{-1}$)

Stupeň zvětrání H masivu (0 = zdravá H; až 5 = zemina)

Propustnost – stanovení zkouškou

ZRNITOST

Stanovení velikosti zrn: prosévání a sedimentace – hustoměr → křivka zrnitosti

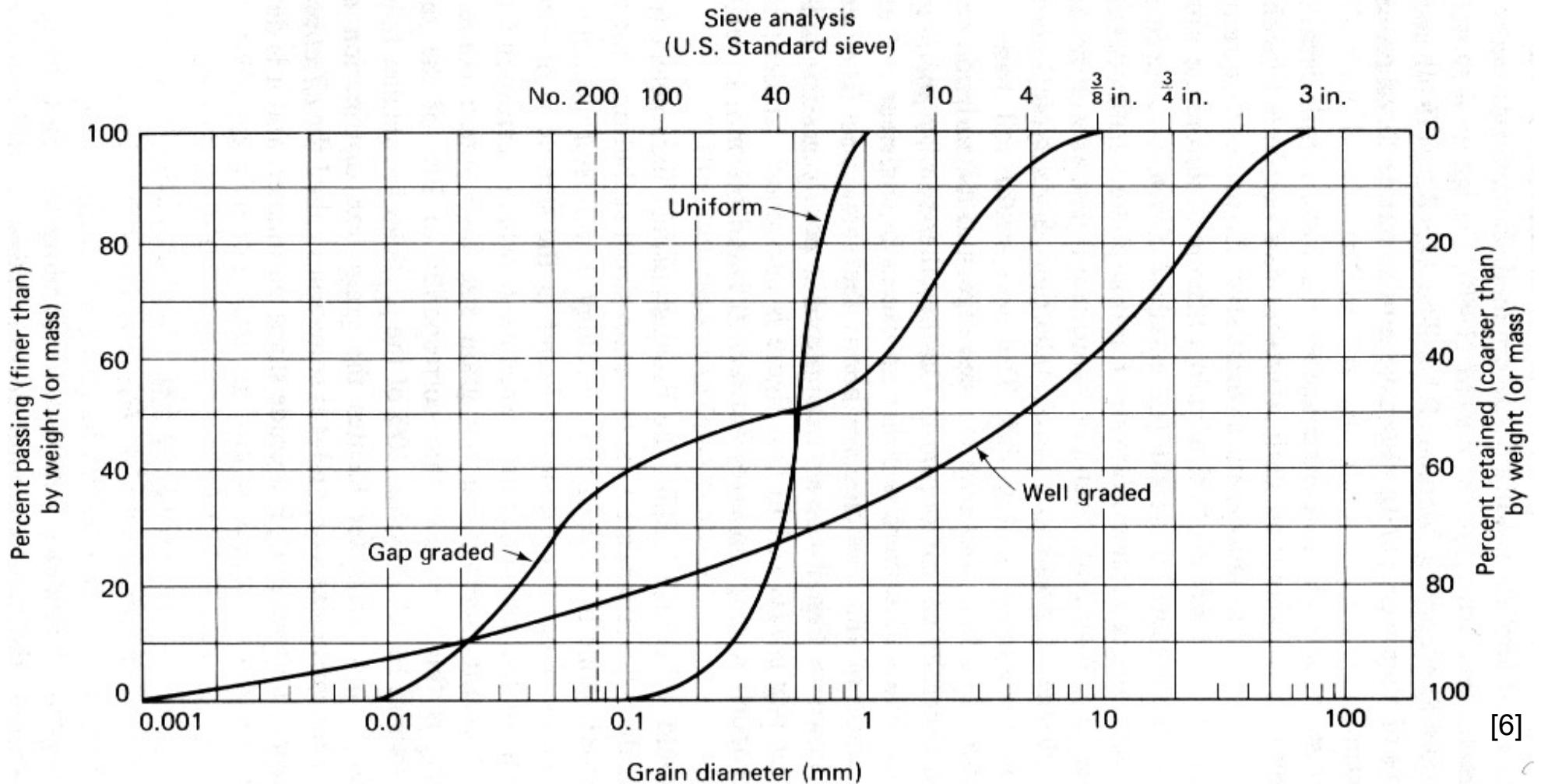


| | | | | | | | | | | |
|------|------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Clay | Fine | Medium | Coarse | Fine | Medium | Coarse | Fine | Medium | Coarse | Cobbles |
| | Silt | | | Sand | | | Gravel | | | |

[4]

ZRNITOST

Stanovení velikosti zrn: prosévání a sedimentace – hustoměr → křivka zrnitosti



POPIS ZEMIN

ZRNITOST – frakce

ČSN EN 14688-1

| Skupiny zemin | Frakce | Značka | Velikost zrn mm |
|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| velmi hrubozrnná zemina | velký balvan | LBo | od 630 |
| | balvan | Bo | od 200 do 630 včetně |
| | valoun KÁMEN! | Co | od 63 do 200 včetně |
| hrubozrnná zemina | štěrk | Gr | od 2,0 do 63 včetně |
| | hrubozrnný štěrk | CGr | od 20 do 63 včetně |
| | střednězrnný štěrk | MGr | od 6,3 do 20 včetně |
| | jemnozrnný štěrk | FGr | od 2,0 do 6,3 včetně |
| | písek | Sa | od 0,063 do 2,0 včetně |
| | hrubozrnný písek | CSa | od 0,63 do 2,0 včetně |
| | střednězrnný písek | MSa | od 0,2 do 0,63 včetně |
| jemnozrnný písek | FSa | od 0,063 do 0,2 včetně | |
| jemnozrnná zemina | prach | Si | od 0,002 do 0,063 včetně |
| | hrubozrnný prach | CSi | od 0,02 do 0,063 včetně |
| | střednězrnný prach | MSi | od 0,0063 do 0,02 včetně |
| | jemnozrnný prach | FSi | od 0,002 do 0,0063 včetně |
| | jíl | Cl | do 0,002 včetně |

NÁZEV ZEMINY - LZE POUZE NA ZÁKLADĚ ZRNITOSTI – podle velikosti zrn –
lépe i na základě PLASTICITY (viz dále)

„Smíšené“ zeminy = základní a druhotná/é frakce

druhotná frakce je s malým začátečním písmenem (na rozdíl od základní frakce)

saGr = písčité štěrky

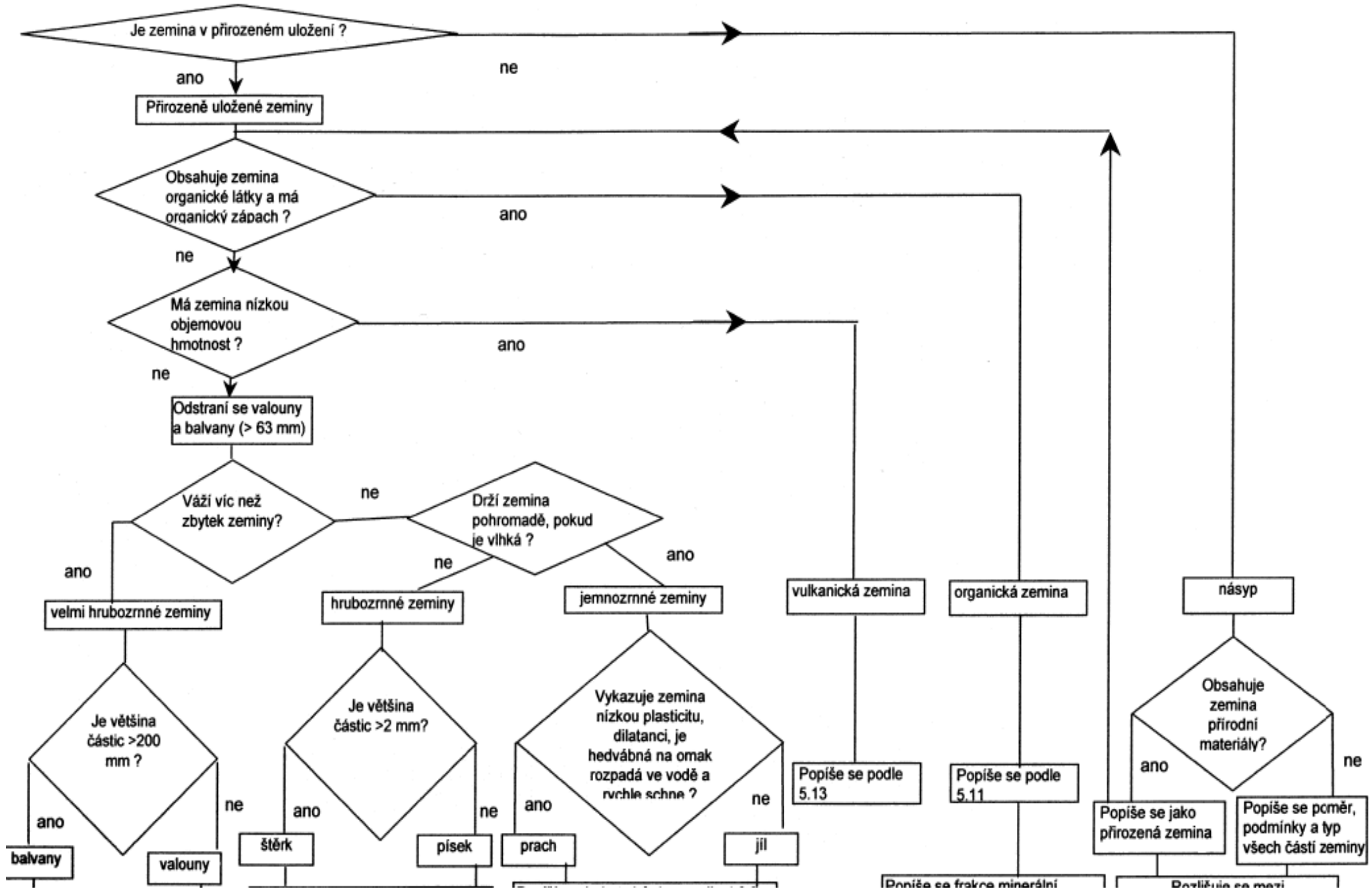
grCl = štěrkový jíl

vložky, proplástky:

grClsa = štěrkový jíl s vložkami písku

starší systémy pro názvy: C, M, S, G, Cb, B; SW, SP, ML, CH.....

POPIS ZEMINY V POLI (ČSN EN 14688-1)



HUSTOTA H/Z

Měrná (= specifická) hmotnost

(tzv. zdánlivá) hustota pevných částic horniny/zeminy

$$\rho_s = M_s / V_s = M_d / V_s$$

HUSTOTA H/Z

Hustota (objemová hmotnost) přirozeně vlhké horniny

$$\rho_n = M_t / V_t = (M_w + M_d) / V_t$$

Hustota (objemová hmotnost) nasycené horniny

$$\rho_{\text{sat}} = M_t / V_t = (M_w + M_d) / V_t$$

Hustota (objemová hmotnost) vysušené horniny

$$\rho_d = M_d / V_t$$

Sypná hmotnost – vliv mezerovitosti

Objemová TÍHA

$$\gamma = \rho g \quad (\dots\text{všechny verze} - \text{nasyčené, suchá, pod vodou...})$$

Stanovení hustot, tíh

stanovení (relevantní verze) hmotnosti je snadné

problémem stanovení (relevantní verze) objemu

možnosti:

vzorek pravidelného tvaru a změření rozměrů

vážení pod vodou (výpočet objemu z Archimédova zákona)

měření / vážení vzorkem vytlačené vody

Kromě hustoty částic vyjadřují hustoty (a objemové tíhy) STAV H/Z

PÓRY – STAV H/Z

PÓROVITOST $n = V_p / V_t$

ČÍSLO PÓROVITOSTI $e = V_p / V_s$

STUPEŇ NASYCENÍ $S = V_w / V_p$

Pro převody mezi veličinami, výpočty n , e ... z hustot - využití diagramu fází

$$e = n / (1 - n)$$

$$\rho_d = \rho_s / (1 + e) \rightarrow e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$$

$$\rho_d = \rho_s (1 - n) \rightarrow n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s$$

..... etc

VLHKOST – STAV H/Z

GRAVIMETRICKÁ $w = M_w / M_d = M_w / M_d$

OBJEMOVÁ $\theta = V_w / V_t (= S_n)$

Z diagramu fází lze snadno odvodit: $eS = w \rho_s / \rho_w$

a pro nasycenou zeminu lze stanovit e z vlhkosti: $e = w \rho_s / \rho_w$

KONZISTENČNÍ MEZE (tzv. Atterbergovy meze)

Vlhkost na mezi tekutosti w_L

Vlhkost na mezi plasticity w_P

Vlhkost na mezi smrštění w_S

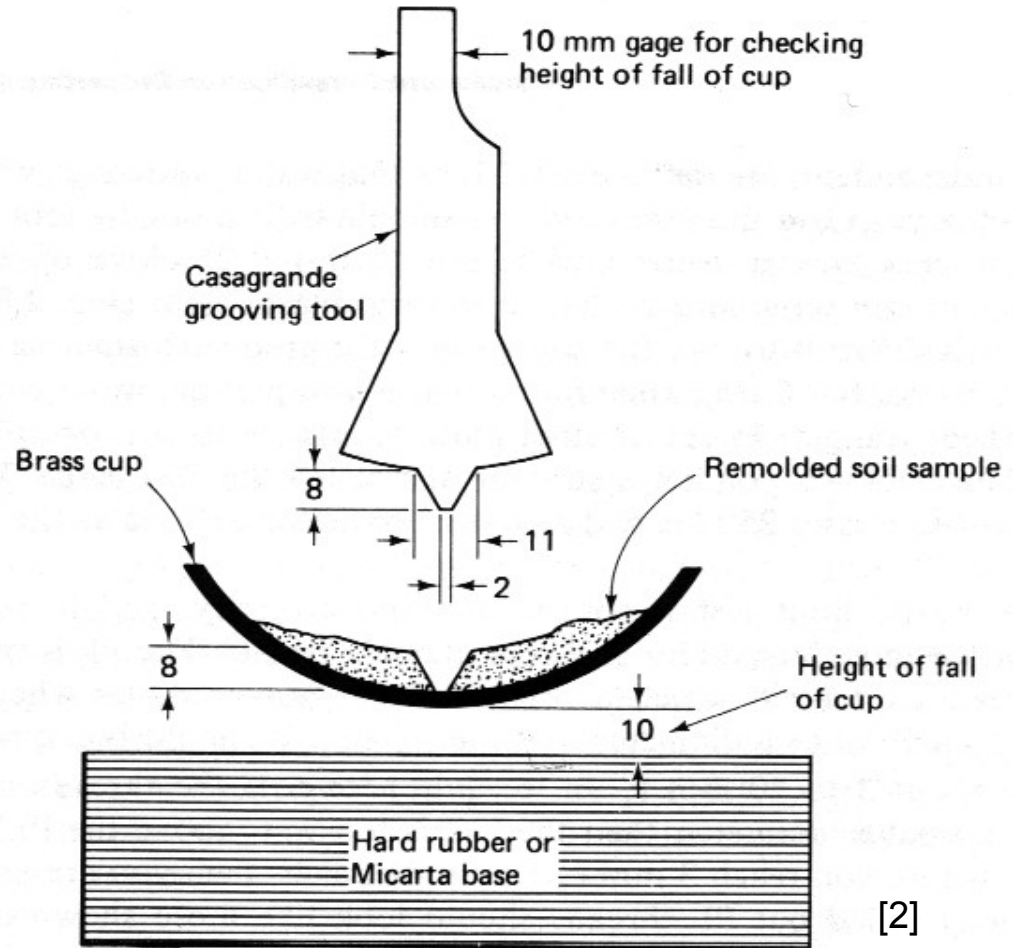
Stanovení na jemné frakci (odstraněna zrna větší než cca 0,5 mm)

Index plasticity $I_P = w_L - w_P$

KONZISTENČNÍ MEZE (Atterbergovy meze)

Vlhkost na mezi tekutosti w_L

Casagrandeho miska

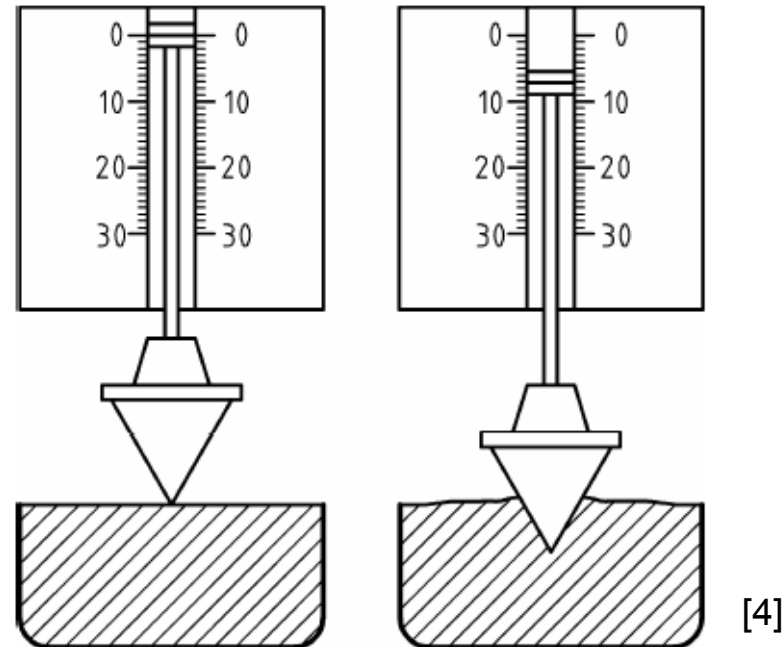


Hledá se vlhkost, při níž se dosáhne porušení „svahu“ (a která odpovídá w_L)

KONZISTENČNÍ MEZE (= Atterbergovy meze)

Vlhkost na mezi tekutosti w_L

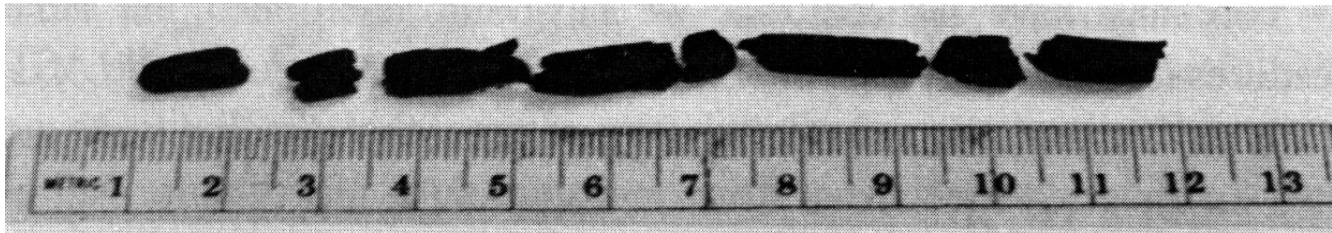
Kuželová zkouška



Hledá se vlhkost, při níž se dosáhne smluvní penetrace, která odpovídá w_L
(10mm u kužele 60°/60g (20mm u 30°/80g))

KONZISTENČNÍ MEZE (Atterbergovy meze)

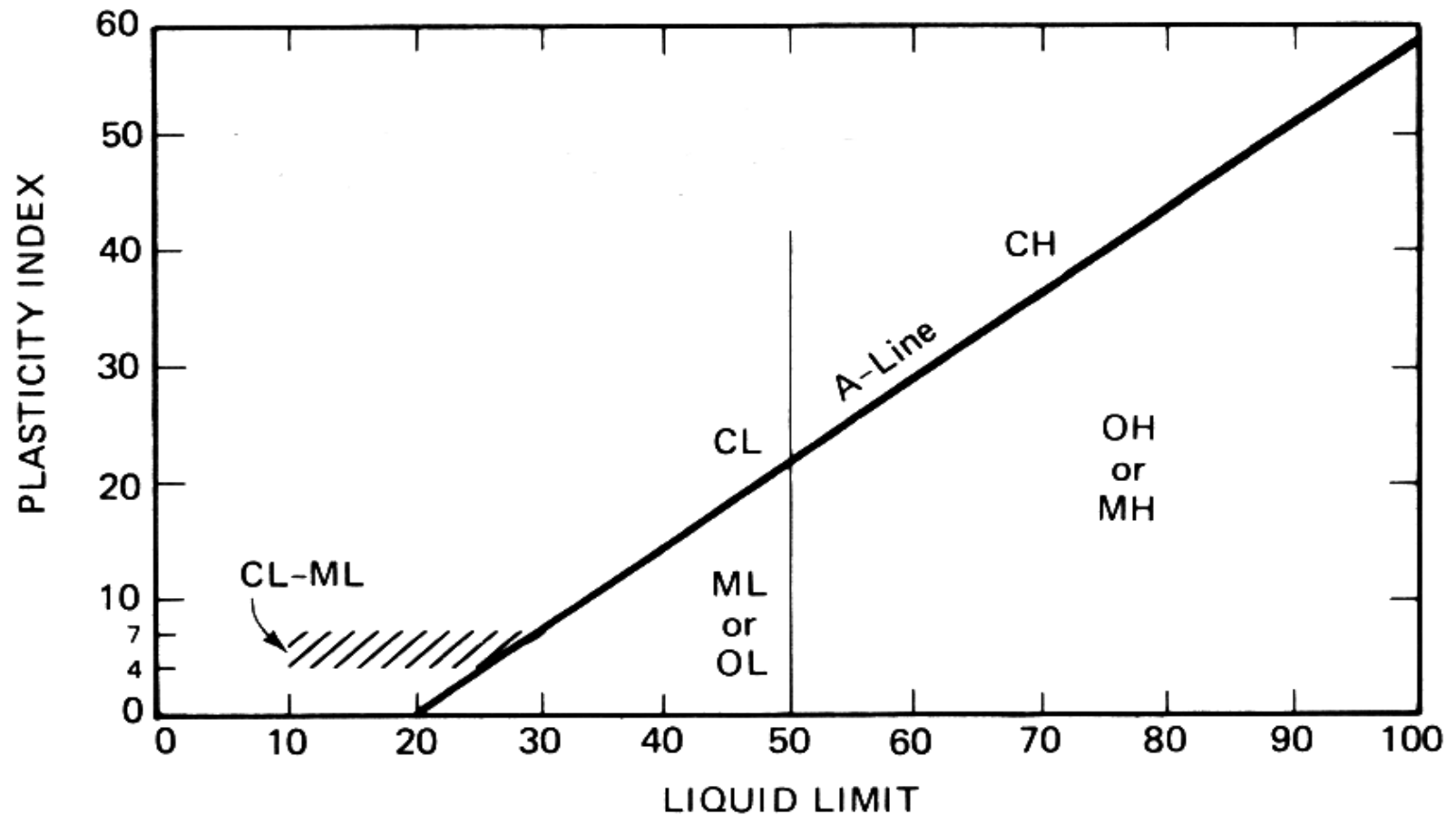
Vlhkost na mezi plasticity w_p



[2]

Hledá se vlhkost, při níž se zemina při přípravě válečku porušuje předepsaným způsobem (a která odpovídá w_p)

Casagrandeho plasticitní diagram ← rozlišení hlíny (siltu) a jílu



PLASTICITA (resp její 'stupeň') zeminy jen na základě w_L

KONZISTENCE (STAV) jemnozrnné zeminy

Stupeň konzistence $I_C = (w_L - w) / (w_L - w_P)$

Stupeň tekutosti $I_L = (w - w_P) / (w_L - w_P)$

Konzistence:

kašovitá $I_C < 0$

plastická $I_C = 0$ až 1 (měkká, tuhá)

pevná $I_C > 1$

Nově (EN ČSN)

velmi měkká $I_C < 0,25$

měkká $I_C = 0,25$ až 0,50

tuhá $I_C = 0,50$ až 0,75

pevná $I_C = 0,75$ až 1,0

velmi pevná $I_C > 1,0$

ULEHLOST (STAV) hrubozrnné zeminy

Relativní ulehlost (Index ulehlosti) $I_D = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$

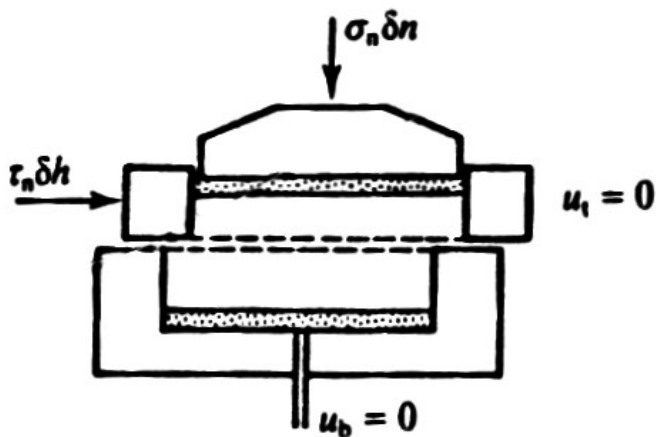
Ulehlost:

| | |
|----------------|------------------------|
| kyprá z. | $I_D = 0$ až $0,33$ |
| středně ulehlá | $I_D = 0,33$ až $0,67$ |
| ulehlá | $I_D = 0,67$ až 1 |

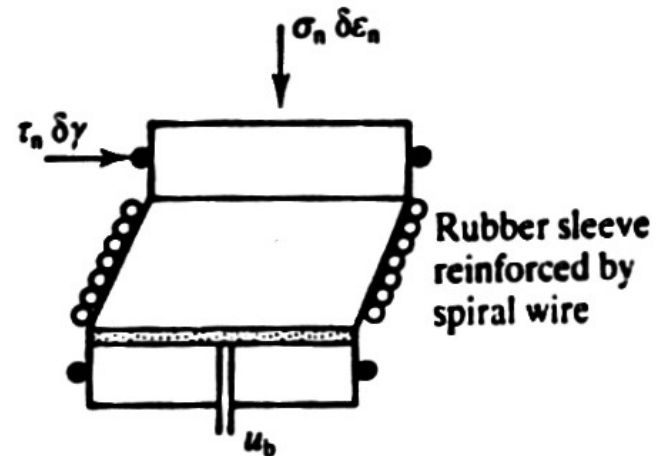
Nově (EN ČSN)

| | |
|----------------|------------------------|
| velmi kyprá | $I_D = 0$ až $0,15$ |
| kyprá | $I_D = 0,15$ až $0,35$ |
| středně ulehlá | $I_D = 0,35$ až $0,65$ |
| ulehlá | $I_D = 0,65$ až $0,85$ |
| velmi ulehlá | $I_D = 0,85$ až $1,0$ |

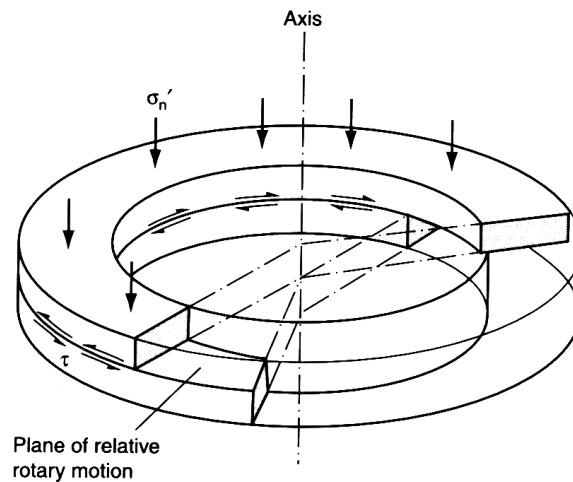
PEVNOST – SMYKOVÁ KRABICE (“direct shear box”)



(Translační) smyková krabice



Prostý smyk “Simple shear (box)”



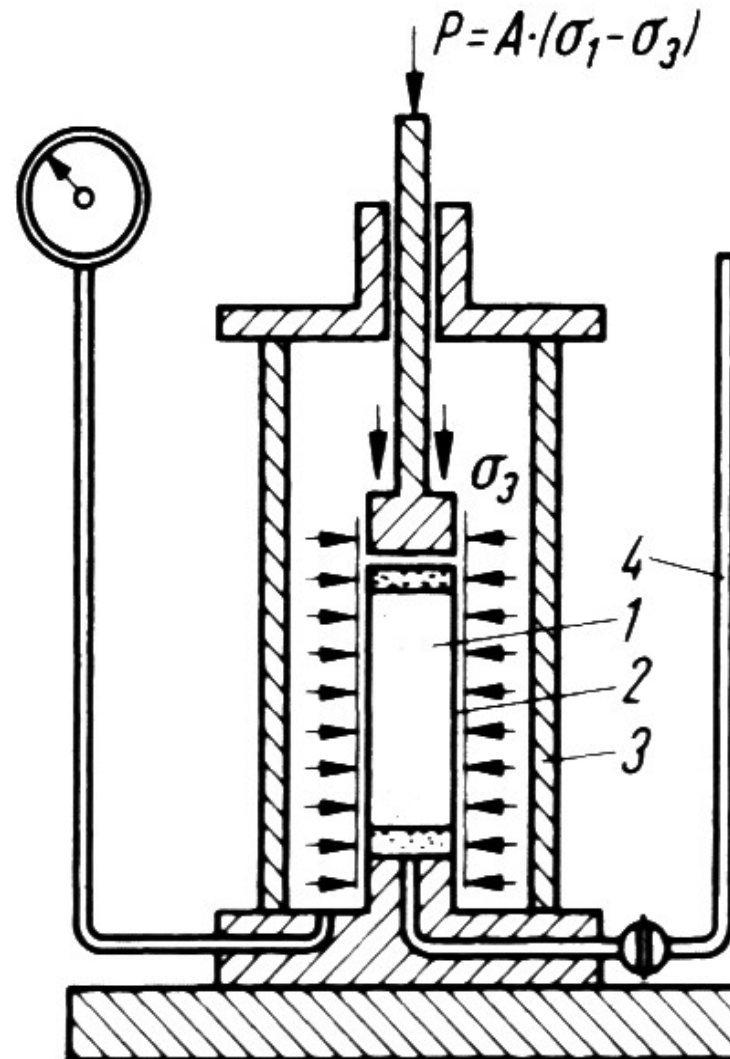
Rotační krabicový přístroj
“Ring shear (box)”
(reziduální pevnost)

[4]

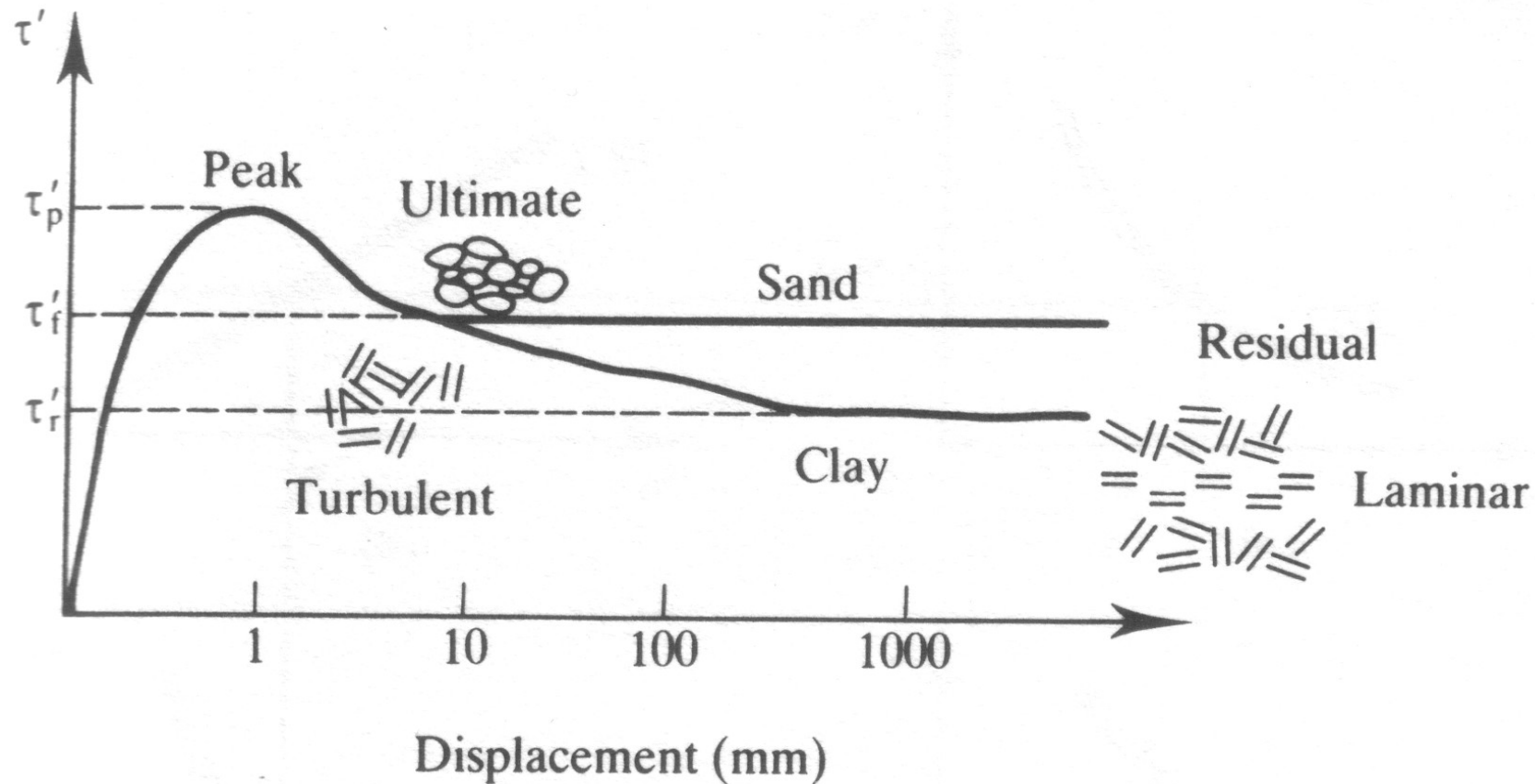
PEVNOST - “TLAKOVÉ” zkoušky tj neměří se přímo smyková síla

- triaxiál

- pravý triaxiál, biaxiál



PEVNOST



[4]

STLAČITELNOST

Změna efektivního napětí = zatížení:

izotropní $\Delta\sigma_1' = \Delta\sigma_2' = \Delta\sigma_3' = \Delta\sigma' = \Delta p'$; $q = \text{konst.}$

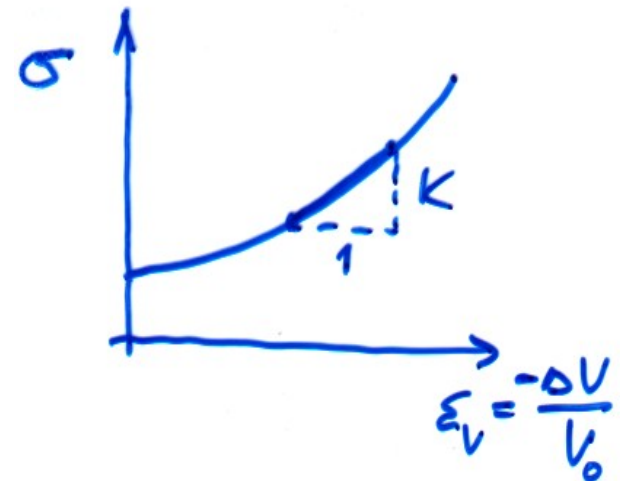
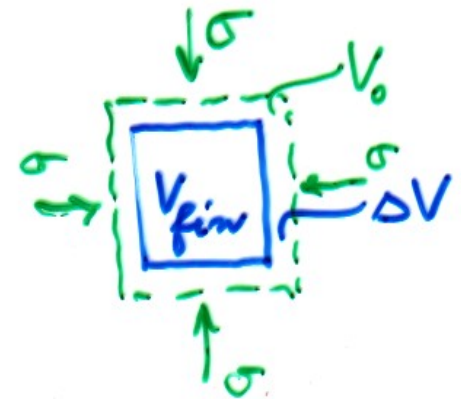
anizotropní $\Delta\sigma_1'$; $\Delta\sigma_2'$; $\Delta\sigma_3' \rightarrow \Delta p'$

$\Delta p' \neq 0 \rightarrow$ strukturní změny (změny uspořádání zrn/částic) = stlačení

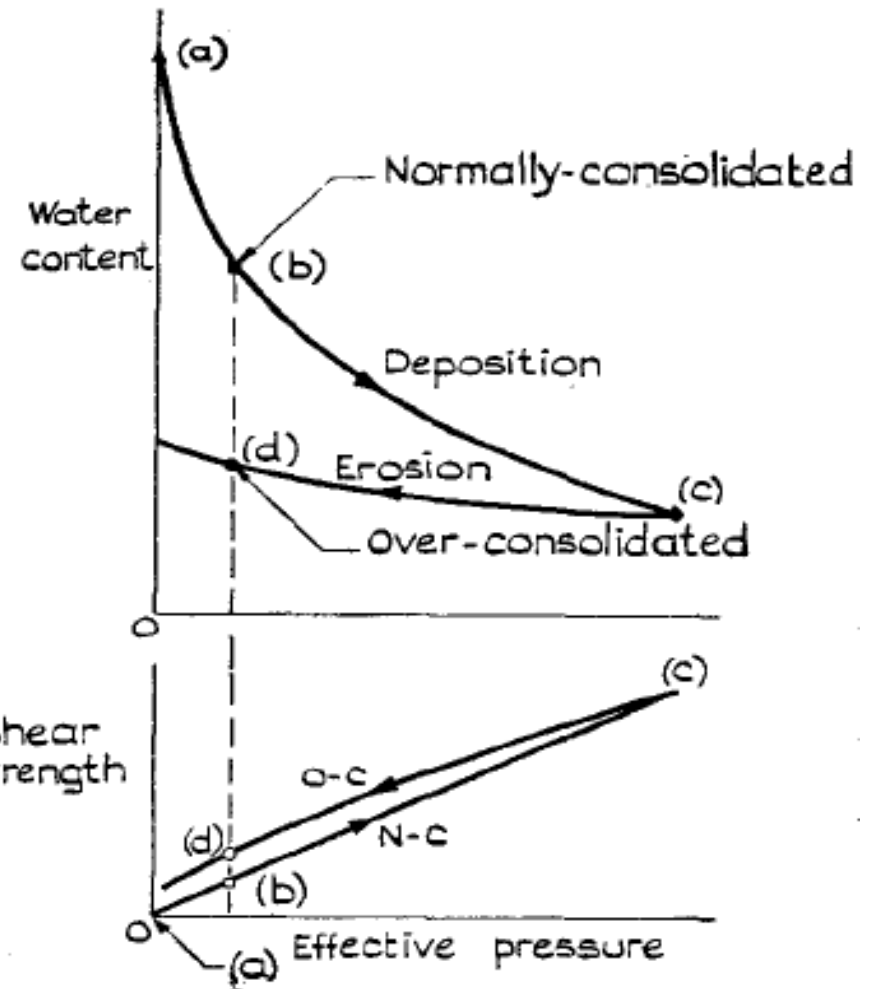
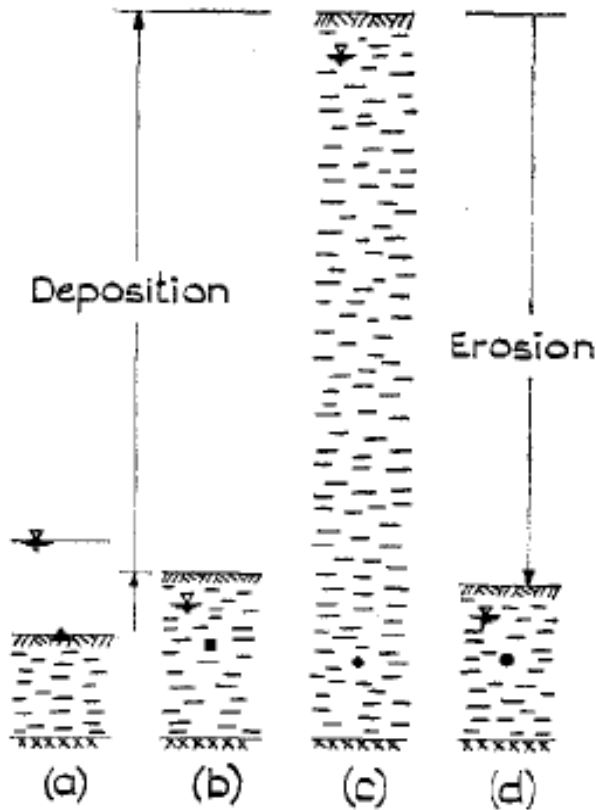
$\Delta p' > 0 \rightarrow$ kyprá z. \rightarrow ulehlá z. - změna pórovitosti

Pro izotropní zatížení (tj pro smykové napětí = konst.):

objemový modul $K = dp' / d\varepsilon_v \neq \text{konst.}$



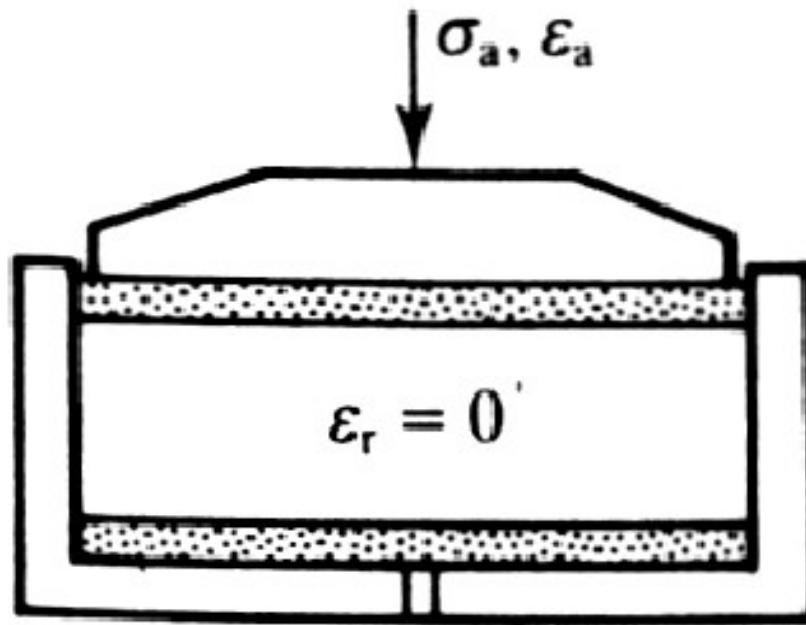
STLAČITELNOST - 1D



Skempton (1964)

STLAČITELNOST - TUHOST - MODULY

Oedometr



(Ize jistě i v triaxiálu)

“PROPUSTNOST” resp. hydraulická vodivost

$$k = K \gamma / \mu$$

K propustnost, μ dynamická viskozita

$$v = k i \text{ Darcy}$$

hrubozrnné zeminy a silt

propustoměr s konstantním gradientem

jemnozrnné zeminy (jíl) , $k < n \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$

propustoměr s pružnou stěnou / $3ax$

konstantní gradient

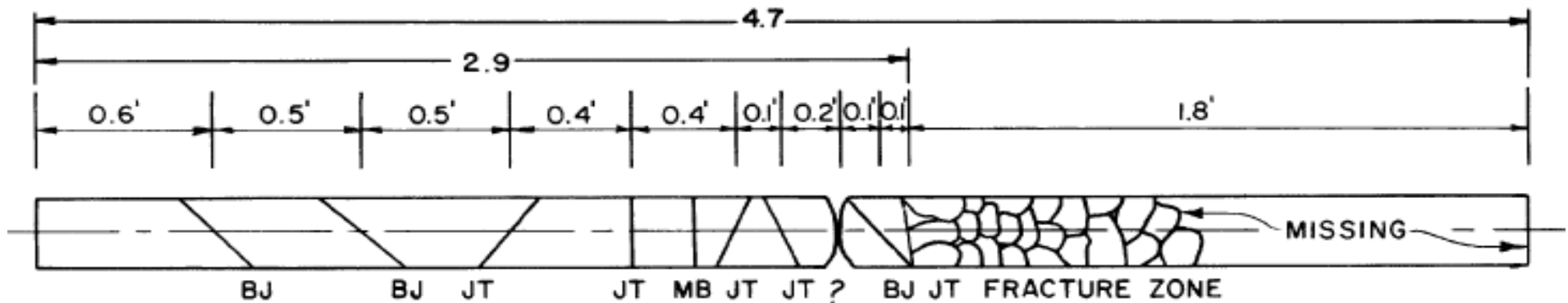
(\pm proměnný gradient)

POLNÍ ZKOUŠKY ... v jiné přednášce tohoto předmětu...

| | |
|--|-----------|
| Kuželová zkouška („Statická penetrační zkouška“) | CPT, CPTU |
| Presiometrická zkouška | PMT |
| Dilatometrická zkouška (Flexible dilatometer test) | FDT |
| Standardní penetrační zkouška | SPT |
| Dynamická penetrační zkouška | DP |
| Tíhová penetrační zkouška (Weight sounding test) | WST |
| Polní vrtulková zkouška | FVT |
| Zkouška plochým dilatometrem (Flat dilatometer test) | DMT |
| Zatěžovací zkouška deskou | PLT |

POJMENOVÁNÍ A KLASIFIKACE HORNIN

RQD = délka získaného jádra (suma kusů 100mm a větších) vztažená k ose vrtu
tj. RQD je index porušení horniny

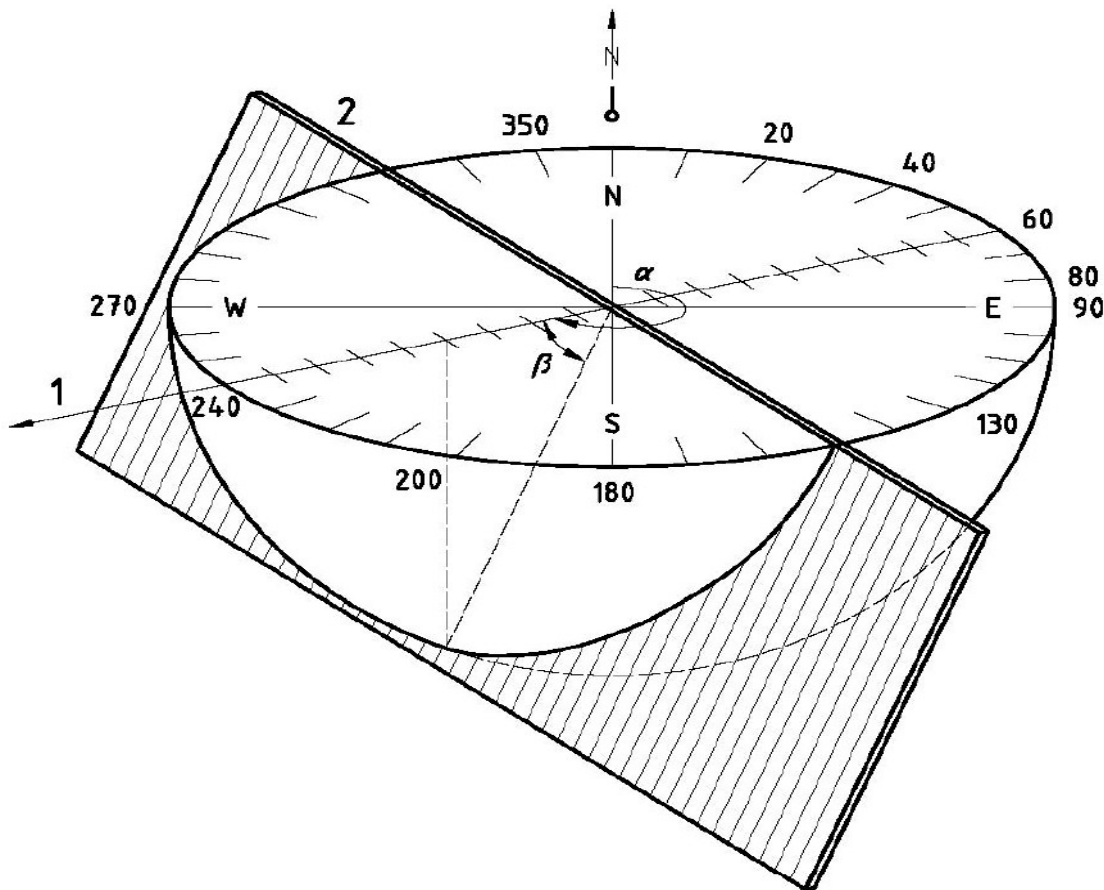


[2]

$$\text{RQD} = \frac{\text{Sum of length of pieces } \geq 0.33 \text{ ft (4in)}}{\text{(total length of core run)}} \times 100 = \frac{2.4}{4.7} \times 100 = 51\%$$

RQD se s dalšími znaky využívá pro klasifikaci masivu

Stanovení sklonu a směru sklonu diskontinuity



1 směr sklonu

2 směr vrstvy

α směr sklonu (azimut úklonu) = 240°

β sklon (úhel sklonu) = 50°

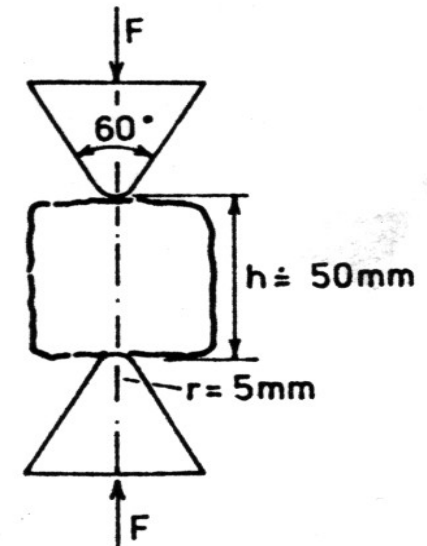
rovina diskontinuity 240/50

Materiál horniny – indexové zkoušky

Schmidtovo kladívko



Bodový tlak

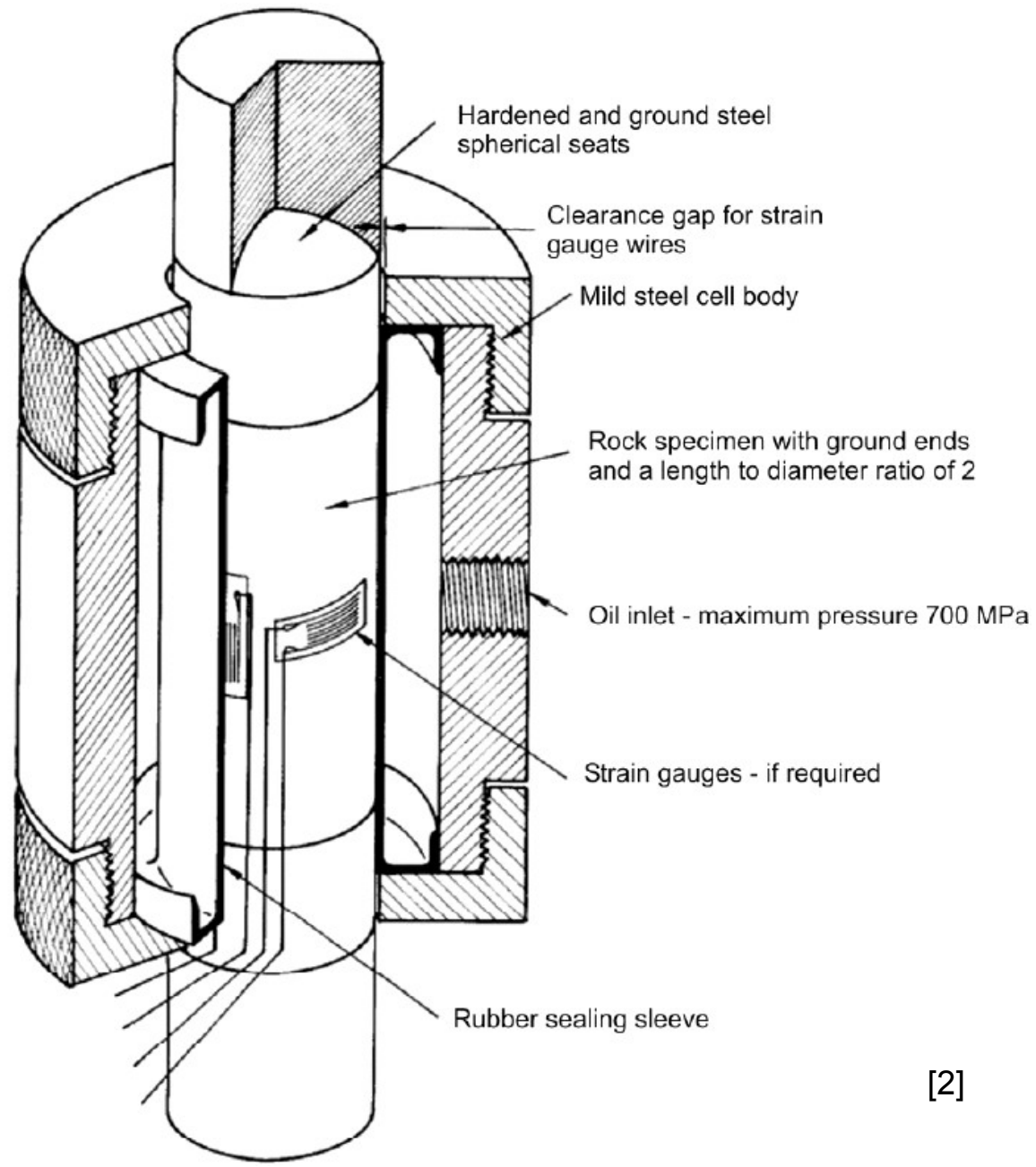


Obě zkoušky lze převést na zkoušku v prostém tlaku

[2]; [3]

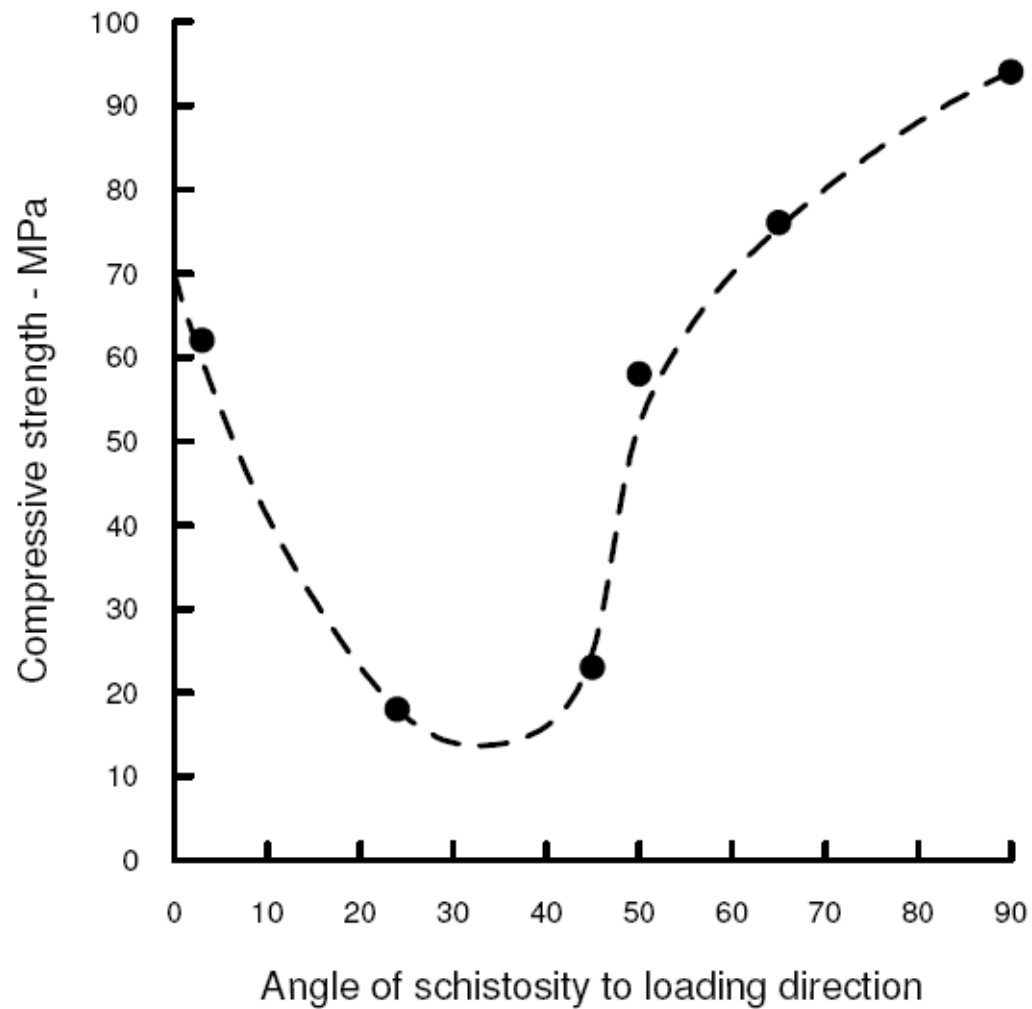
Materiál horniny – trojosý přístroj

...jednodušší varianta: zkouška v prostém tlaku



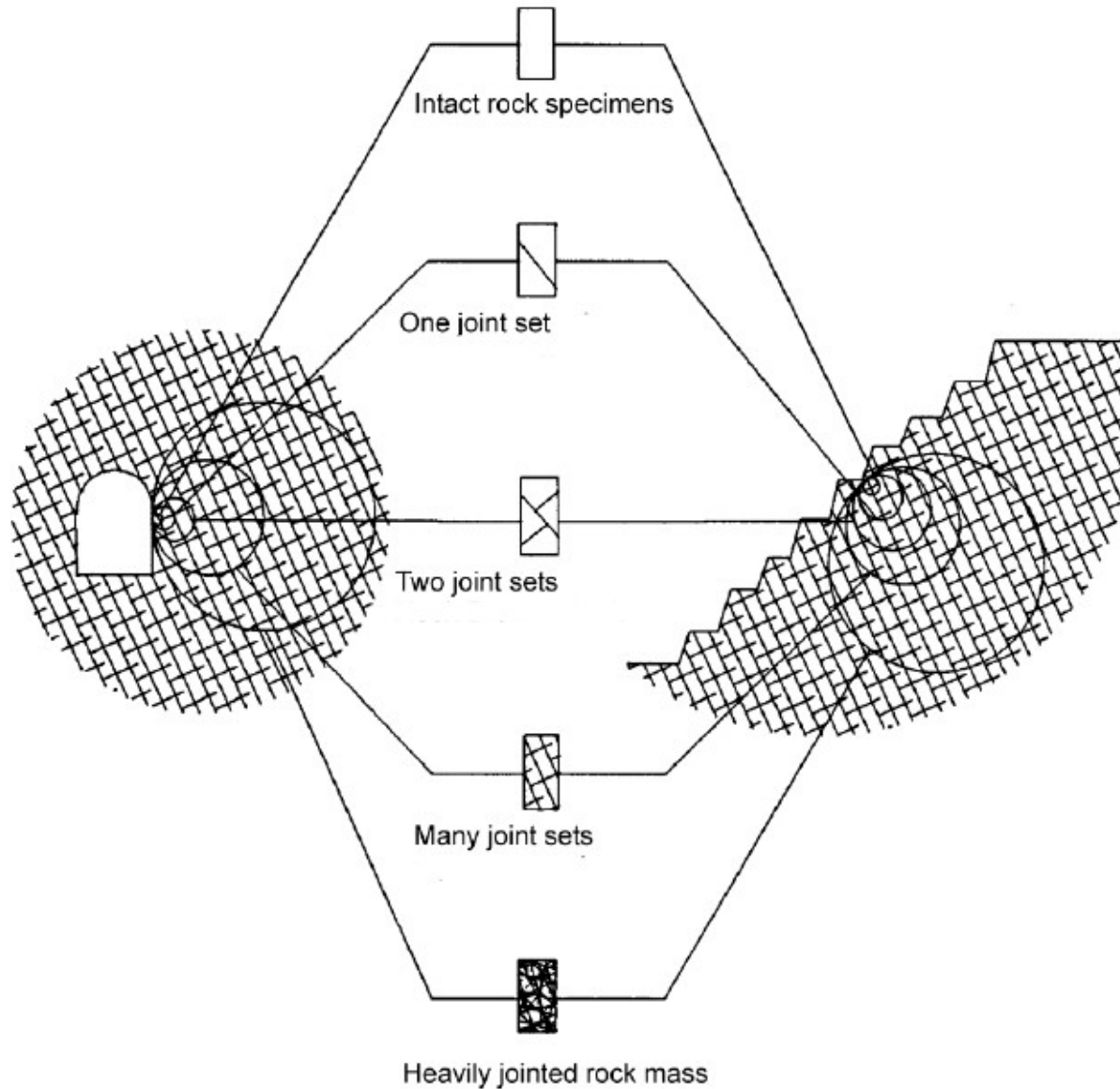
[2]

Materiál horniny – vliv sklonu vrstevnatosti na změřenou pevnost



[2]

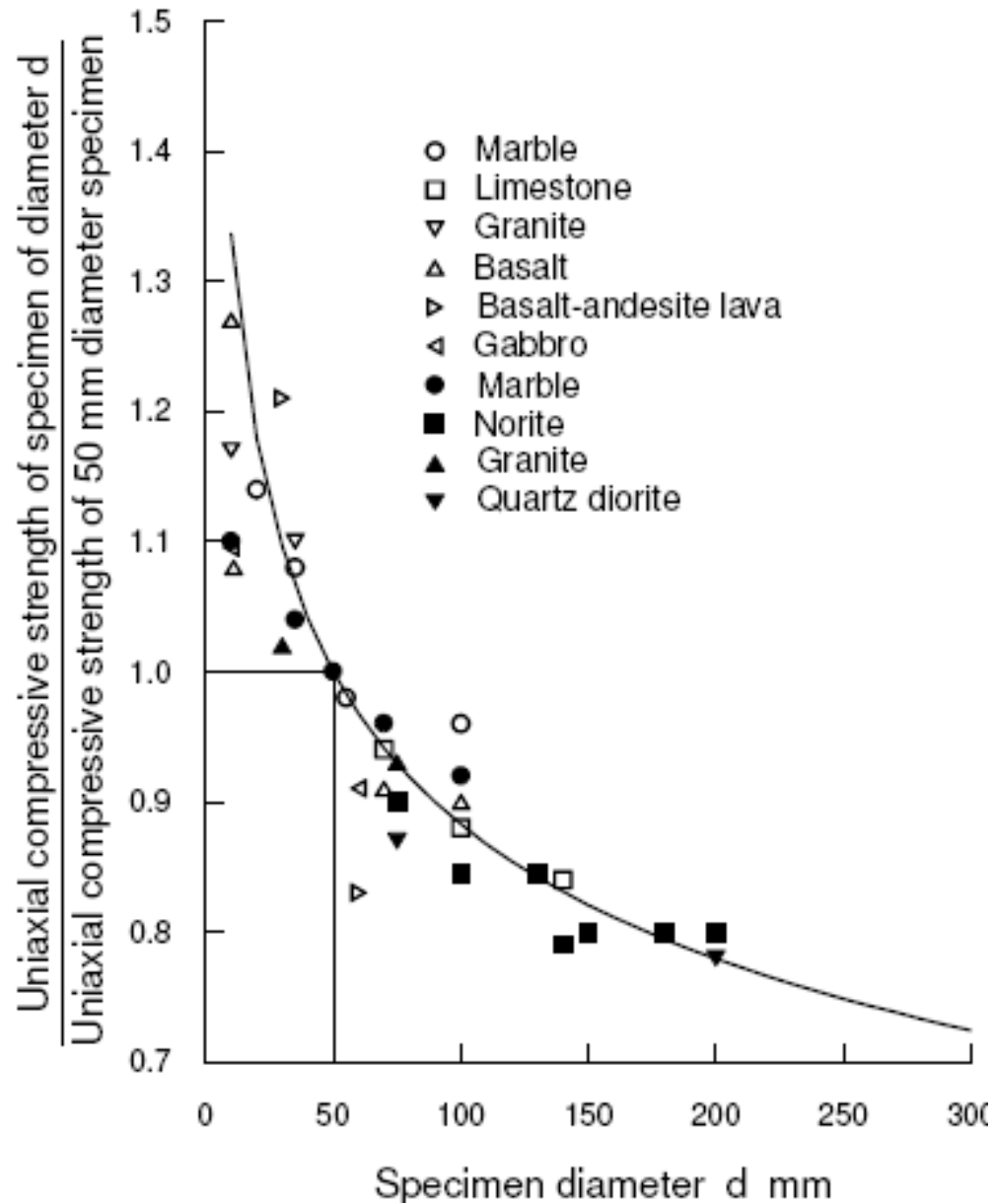
Materiál horniny – vliv měřítka (velikosti vzorku) na pevnost - vliv zastižených diskontinuit na pevnost



[2]

ZKOUŠKY HORNIN

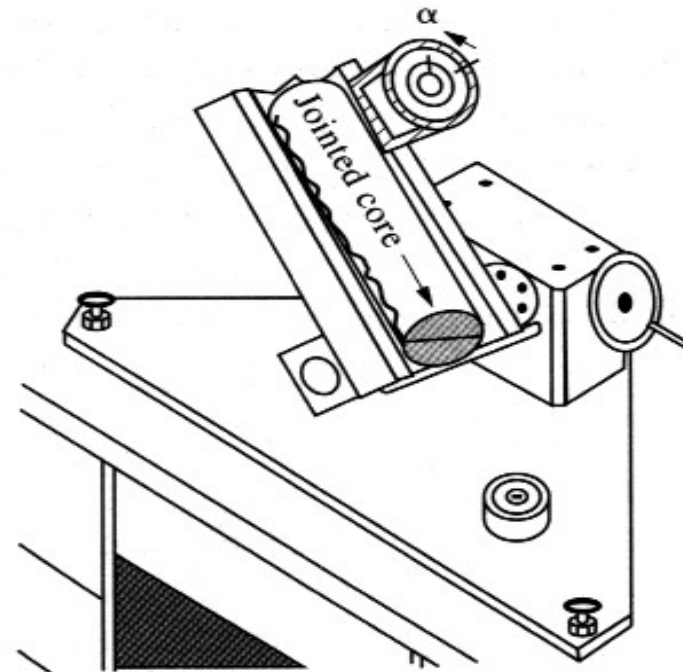
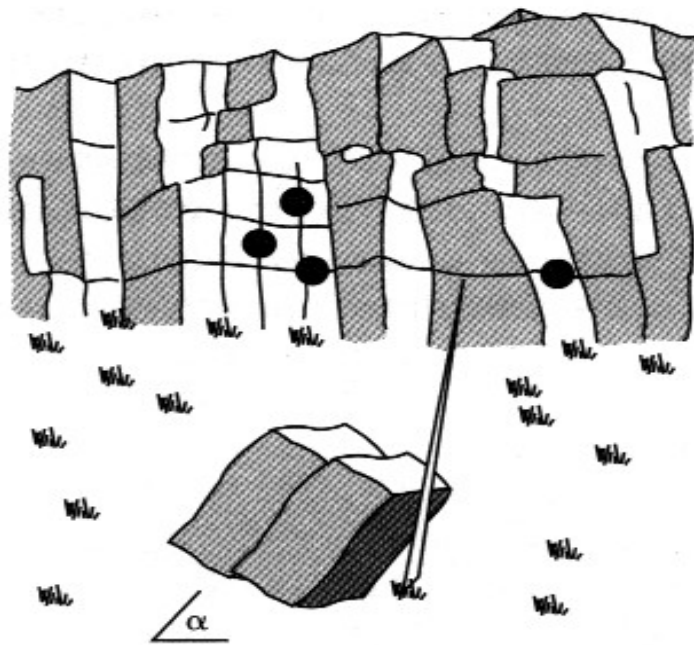
Materiál horniny – vliv velikosti vzorku na stanovenou pevnost



[2]

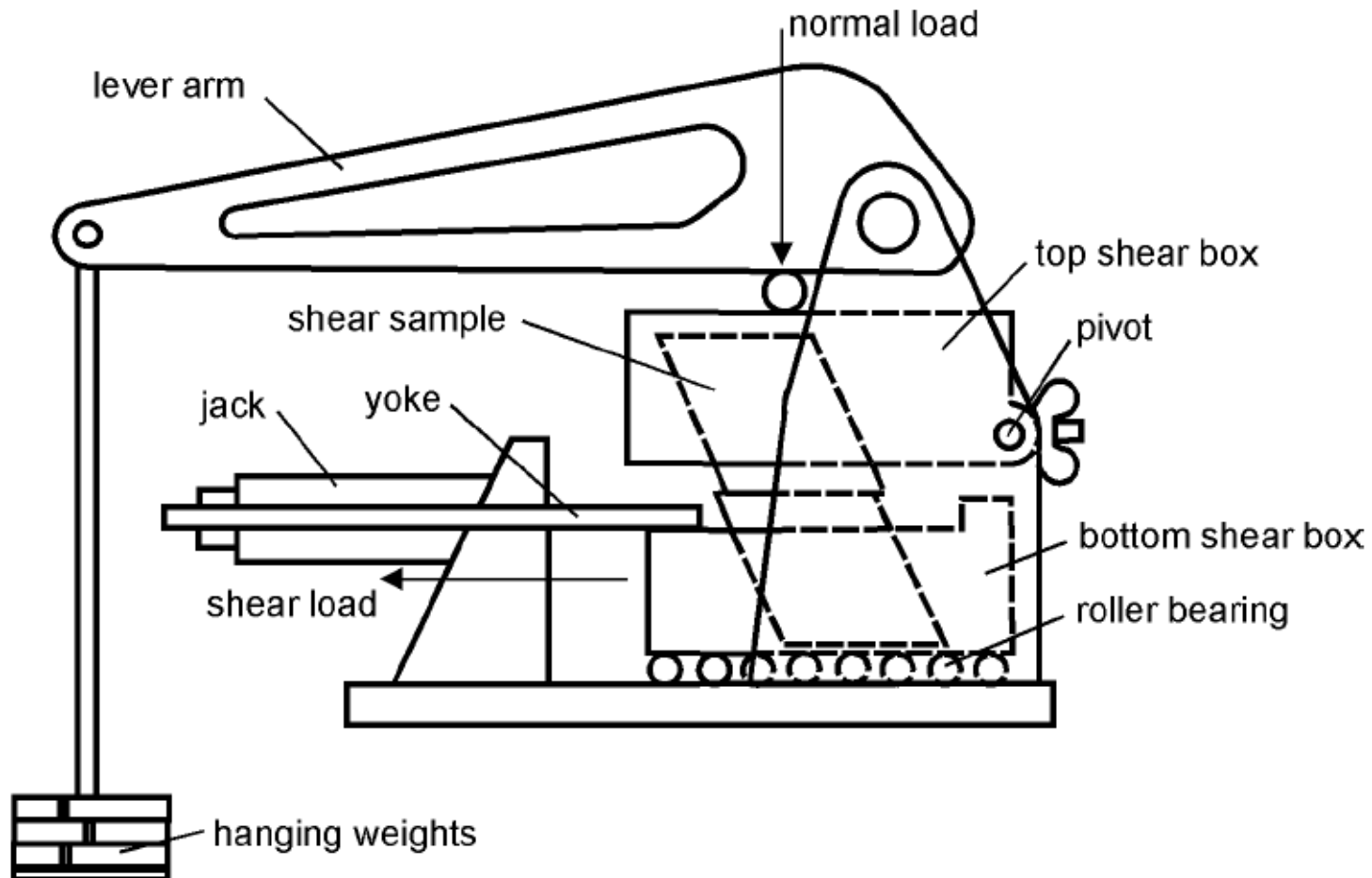
Diskontinuity

Úhel sklonu, pro nějž posun pod účinkem gravitace



Diskontinuity

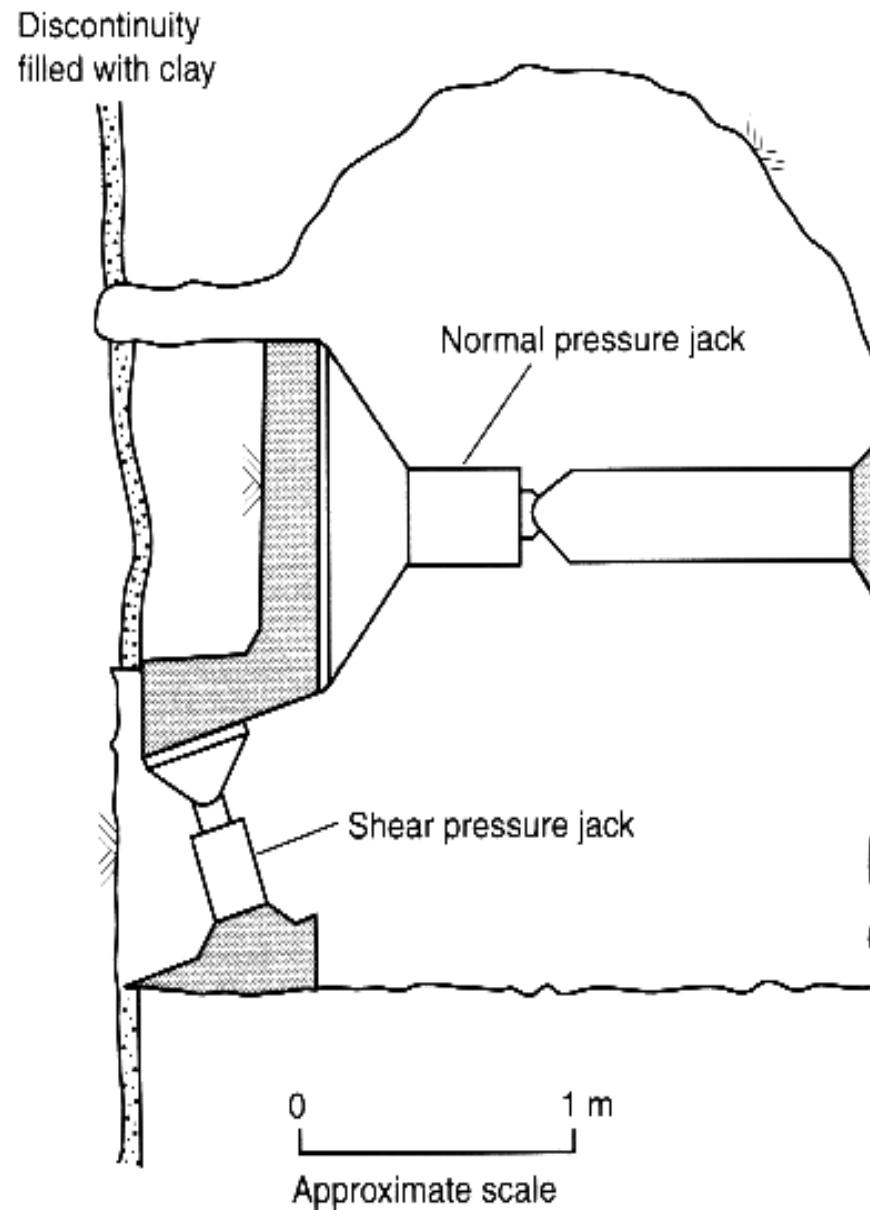
Krabicová smyková zkouška



[2]

Diskontinuity

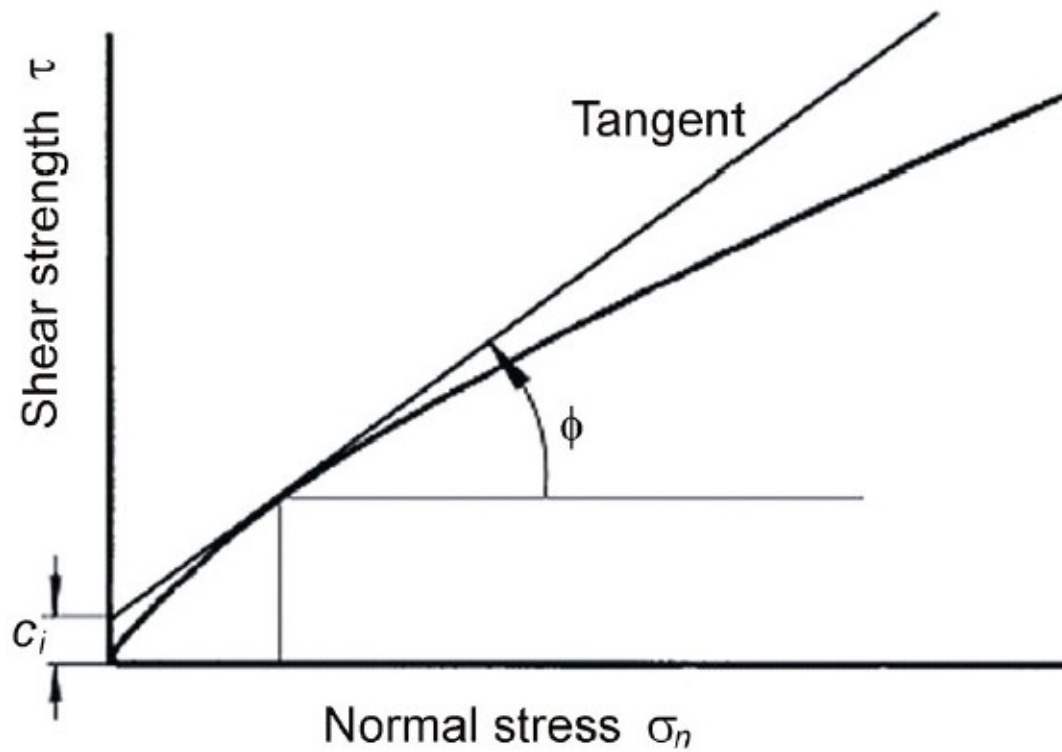
Polní smyková zkouška



[2]

Diskontinuity

Nelinearita pevnosti



[2]

Literatura použitá v prezentaci:

- [1] <http://www.usbr.gov/pmts/geology/geoman.html> (2008/02)
- [2] http://www.rockscience.com/education/hoek_corner (2013/03)
- [3] Hudson, J.A. and Harrison, J.P. (1997) Engineering rock mechanics. An introduction to the principles, Pergamon.
- [4] Atkinson, J.H. (2007) The mechanics of soils and foundations. 2nd ed. Taylor & Francis.
- [5] Simons N., Menzies, B. and Metthews, M. (2001) Soil and rock slope engineering. Telford, London.
- [6] Holtz, R.D. and Kovacs, E.D. (1981) An introduction to geotechnical engineering, Prentice-Hall, ISBN 0-13-484394-0

Základní literatura pro předmět MG451P51

Záruba, Q. a Mencl, V. (1976) Inženýrská geologie. Academia, Praha.

Pašek, J. a Matula, M. (1995) Inženýrská geologie. TP 76, ČMT, Praha.

Ondrášik R., Rybář J. (1991) Dynamická inžinierska geológia, SPN.

Záruba, Q. a Mencl, V. (1986) Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia, Praha.

Matula, M. a Pašek, J. (1986) Regionálna inžinierska geológia ČSSR. SNTL, Praha.