

VODA V ZEMINĚ

Obsah vody v zemině

Z inženýrského hlediska – voda při 105° C

vlhkost

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 [\%]$$

m_w – hmotnost vody
 m_d – hmotnost sušiny

stupeň nasycení

$$S_r = \frac{V_w}{V_p}$$

V_w – objem vody
 V_p – objem pórů

Druhy vod v zemin

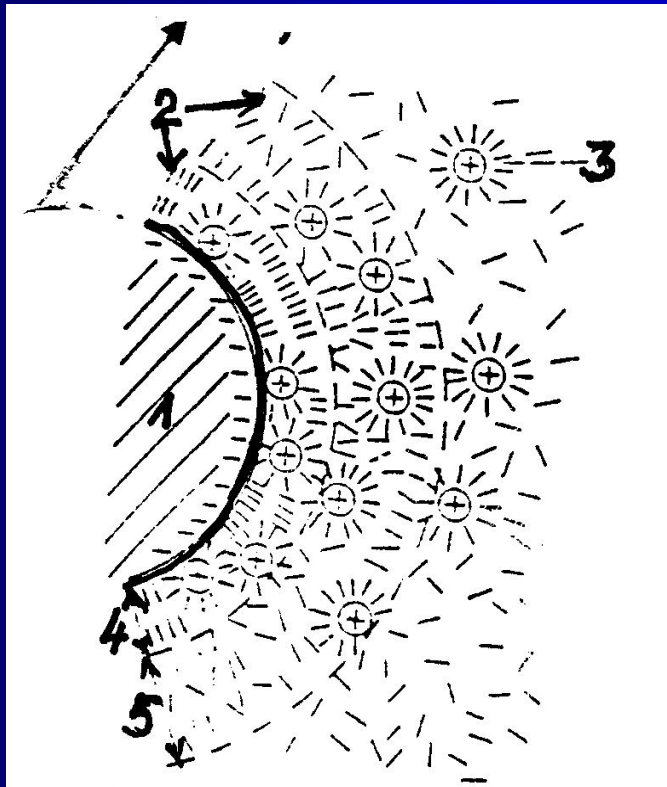


Volná voda vyplňuje póry zeminy, podléhá síle zemské přitažlivosti.

Kapilární voda vzlíná důsledkem povrchového napětí vody nad hladinu podzemní vody. Výška je nepřímo úměrná velikosti póru (písky – cm, jíly – m)

Vázaná voda

tvoří okolo pevných částí vodní obal, který je k povrchu zrn zeminy poután elektrochemickými a elektromolekulárními silami.



- 1 – povrch částice
- 2 – vodní molekuly
- 3 – hydratované kationy
- 4 – pevně vázaná voda
- 5 – slabě vázaná voda

lyosféra (difuzní obal)

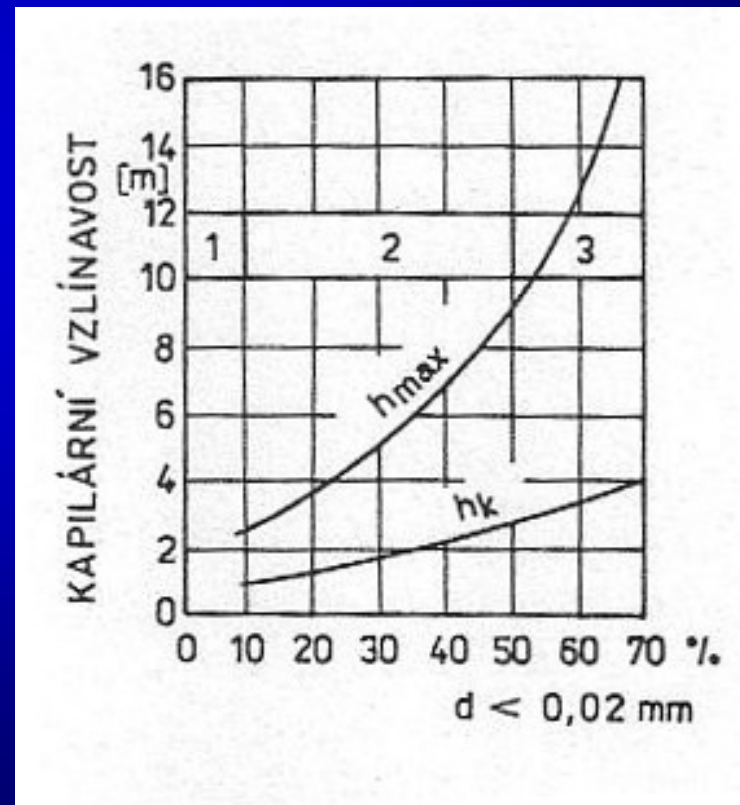
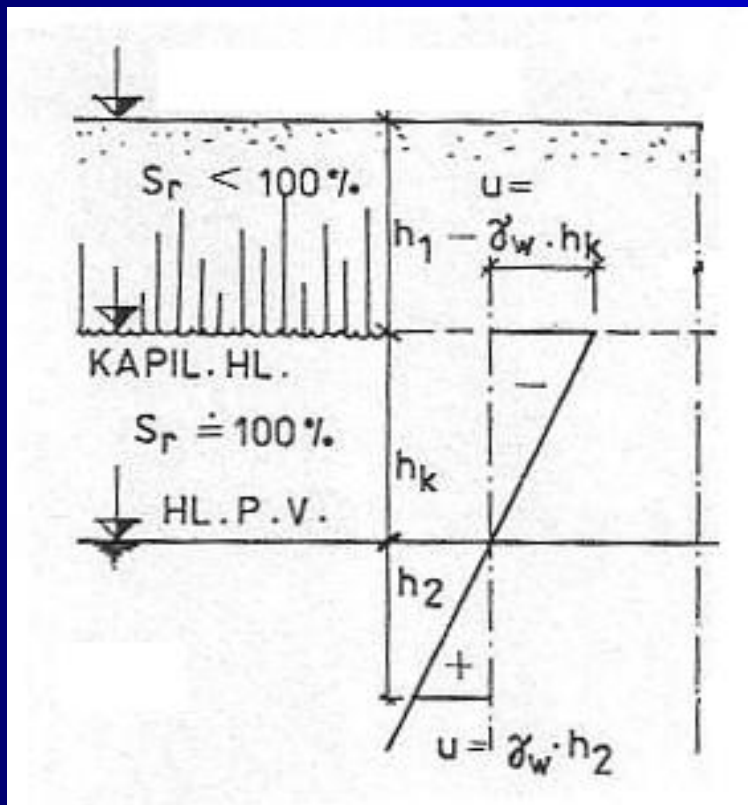
pevně vázaná voda – vnitřní vrstvy orientovaných vodních molekul difuzního obalu, které nepodléhají gravitaci (odstranit se dají pouze při vyšších teplotách)

slabě vázaná voda – vnější vrstvy jsou k pevným částicím méně pevně připoutané (dají se odstranit i mechanicky).

Vázaná voda ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti soudržných zemin (hlín a zejména jílu), **zapříčiňuje** jejich **soudržnost a propůjčuje** soudržným zeminám v určitém rozsahu vlhkosti **plastické vlastnosti.**

KAPILÁRNÍ VODA

Vzlíná důsledkem povrchového napětí vody. Nasycuje zeminu nad hladinou podzemní vody do tzv. **kapilární výšky h_k** .



Tak jako u nesoudržných zemin je důležitá ulehlost, tak u soudržných zemin jsou důležité **konzistenční meze**.

Konzistence

Schopnost zeminy vázat vodu vyjadřuje I_p . Důležité je znát konzistenční stav zeminy, abychom mohli usuzovat na pevnost, příp. stlačitelnost zeminy.

Z I_p poznáme, zda jde o zeminu:

jílovitou – nerozbředavou
jemně prachovitou: (silt) – rozbředavou

Mechanické vlastnosti soudržných zemin v rozhodující míře závisí na vlhkosti. **Fyzikální stav závislý na vlhkosti nazýváme konzistencí nebo konzistenčním stavem.** Proto vlhkost při určité konzistenci je pro danou zeminu charakteristická.

stav tvrdý	stav pevný	stav plastický		stav tekutý
		tuze	měkce	(kašovitý)

W_s

W_p

W_L

W_s

W_p

W_L

- mez smrštitelnosti

- mez plasticity

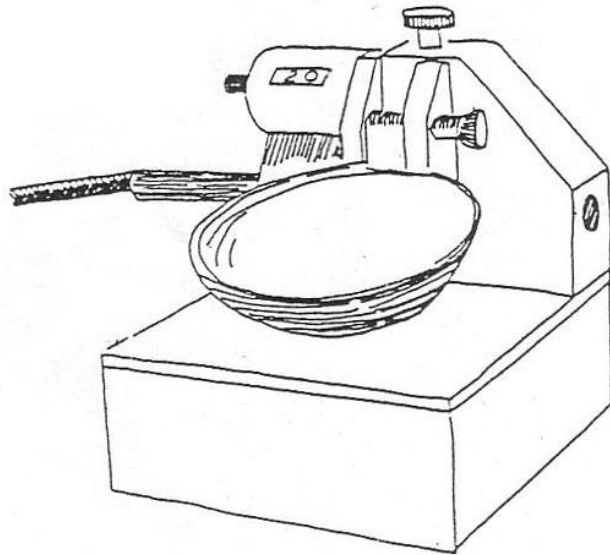
- mez tekutosti

Pro určitou zeminu nastává přechod z jednoho konzistenčního stavu do jiného vždy při stejných vlhkostech

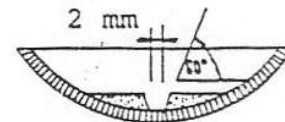
Podle Atterberga { w_P
 w_L Casagrandeho přístroj

V současnosti dle Eurocodu 7 – penetrační metoda

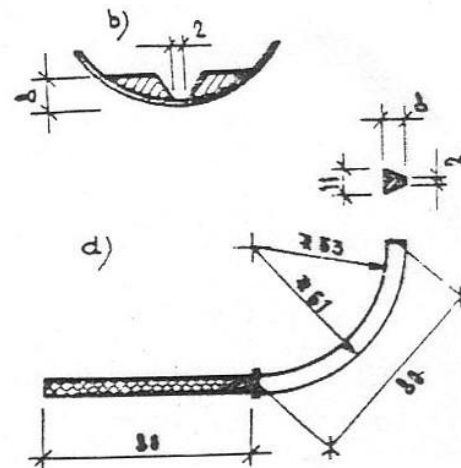
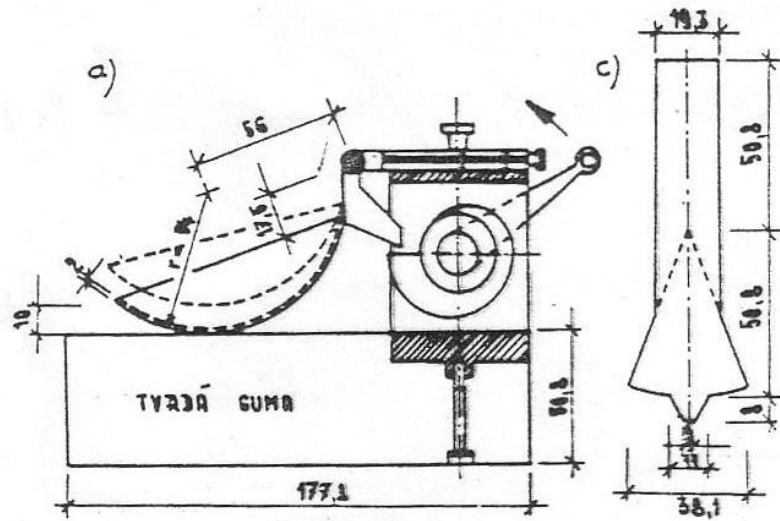
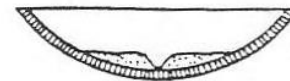
$$I_P = w_L - w_P \quad \text{Index plasticity}$$

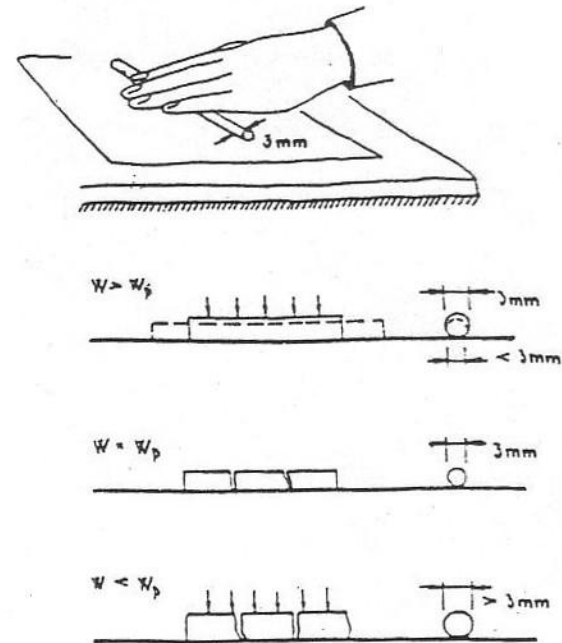
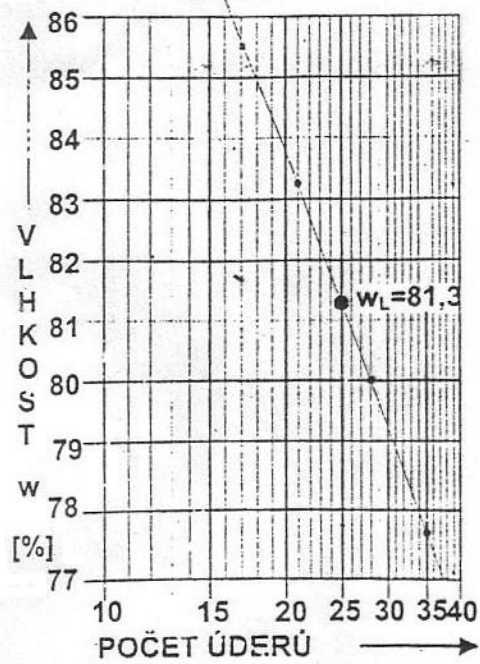


Před zkouškou



Po zkoušce





Index plasticity I_p

$$I_p = w_L - w_P$$

Atterberg

Kategorie zemin	Index plasticity I_p [%]	Plasticita
I. zeminy písčité	< 1	
II. písčité hlíny	1 – 10	nížká
III. písčité a prachové jíly	10 – 20	střední
IV. jíly	> 20	vysoká



SI66



SI65 + B057-02

Stupeň konzistence I_C - číselná

charakteristika konzistenčního stavu

$$I_C = \frac{w_L - w}{I_P}$$

w - původní vlhkost

Konzistence	Stupeň konzistence I_C
kašovitá	< 0,05
měkká	0,05 až 0,50
tuhá	0,5 až 1,0
pevná	> 1,0
tvrdá	-

PEVNOST ZEMIN

Mohrova kružnice je nejpoužívanějším prostředkem mechaniky zemin pro zobrazení napjatosti v bodě.

Rozdíl hlavních napětí $\sigma_1 - \sigma_3$ je označován jako **deviátor napětí** a největší smykové napětí, které může existovat pro daná hlavní napětí je rovno:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

jak je zřejmé z
Mohrovy kružnice

Coulombova teorie porušení

Obecně je pevnost ve smyku τ_f (tj. smykové napětí na mezi porušení) vyjádřena Coulombovým vztahem

$$\tau_f = \sigma_f \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

τ_f *tangenciální napětí na smykové ploše (vnitřní odpor zeminy)*

σ_f *normálové napětí působící kolmo na smykovou plochu porušení*

c *soudržnost (koheze) zeminy*

φ *úhel vnitřního tření*

Grafickým znázorněním rovnice je přímka.

Z Coulombova vztahu je patrné, že pevnost zeminy závisí na vlastnostech zeminy charakterizované tzv. **parametry pevnosti** (c, φ) a velikostí normálového napětí působícího na smykové ploše.

Mohr-Coulombova teorie porušení

- $\tau < \tau_f$ bezpečné stavy napjatosti (nevedou k porušení)
- $\tau = \tau_f$ nastává mezní rovnováha (**stav napjatosti na mezi porušení**)
- $\tau > \tau_f$ nemůže nastat
při $\tau = \tau_f$ se zemina poruší smykem

Coulombova rovnice

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (\text{soudržné zeminy})$$

$$\tau_f = c_u \quad (\text{nasycené jíly})$$

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{nesoudržné zeminy})$$

Princip efektivních napětí - Terzaghi

Pro nasycené zeminy ($S_r = 1$)

$$\sigma = \sigma_{ef} + u$$

σ_{ef} napětí přenášené zrny

u napětí neutrální (tlak vody v pórech zeminy)

Je-li pórová voda v klidu, je pórové napětí hydrostatickým tlakem, který působí v každém bodě všemi směry.

Princip efektivních napětí platí jen pro normálová napětí. Smyková napětí voda nepřenáší.

Totální parametry zahrnují tedy vliv neznámých, neutrálních napětí u

- **totální napětí**

$$\sigma_1 = \sigma_{1ef} + u$$

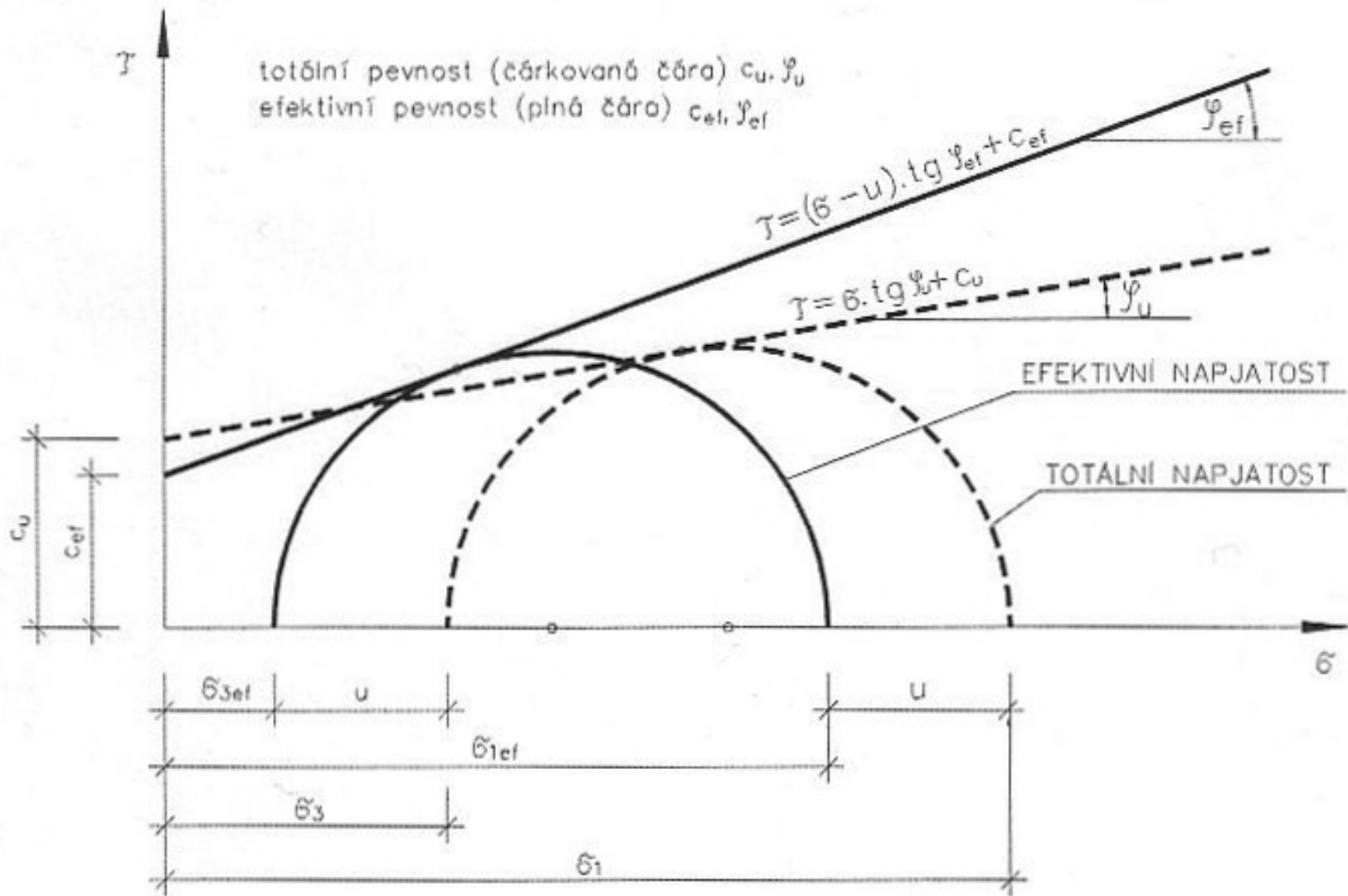
$$\sigma_3 = \sigma_{3ef} + u$$

- **efektivní napětí**

$$\sigma_{1ef} = \sigma_1 - u$$

$$\sigma_{3ef} = \sigma_3 - u$$

Mohrovy kružnice porušení vynesené v totálních neb efektivních napětích mají stejný průměr, ale jsou vzájemně posunuty o hodnotu neutrálního napětí u .



Totální parametry pevnosti c_u, ϕ_u jíly-zkoušky UU-nekonsolidované neodvodněné
 Efektivní parametry pevnosti c_{ef}, ϕ_{ef} písek-zkoušky CD-konsolidované odvodněné

Kolaps hloubeného tunelu v Singapuru

Dne 20. dubna 2004 došlo v Singapuru při budování tunelu k tragické nehodě. Jedná se o dosud nejhlubší tunel v Singapuru v mořských jílech hloubený v otevřeném výkopu s následným zasypáním. Při nehodě se deformovaly ocelové trámy rozpírající železobetonové podzemní stěny ve 110 metrů dlouhém a 30 metrů hlubokém úseku výkopu. Na místě zahynuli čtyři lidé. Zničena byla rovněž dálnice v blízkosti tunelu



Celkový pohled na zřícený strop

Projektanti si nesprávně vyložili britskou normu BS5950 a použili menší profily ocelových prvků, což podstatně snížilo statickou bezpečnost projektu.

Seznam projektantských chyb začíná již tím, že v počáteční fázi návrhu byla použita nevhodná analýza zemin. Ve výpočtovém modelu s využitím metody konečných prvků **byly zadány parametry odvodněné zeminy**, přičemž v lokalitě s vysoce plastickými mořskými jíly **měly být** při hlubokém zakládání rozhodně **použity parametry pro neodvodněné zeminy**.

V průběhu prací objevila dodavatelská firma ve starých aluviálních náplavech skrytou rýhu, zaplněnou tmavým měkkým organickým jílem. Pod mořským jílem se rovněž vyskytla čočka vyplněná měkkým aluviálním jílem uloženým v ústí někdejší řeky. Žádná z těchto skutečností nebyla zjištěna při inženýrskogeologickém průzkumu.

Dočasné pažení nebylo vyprojektováno s ohledem na tyto podmínky. Chyby v projektu vznikly v důsledku chybného inženýrského úsudku, nikoli z nedbalosti.

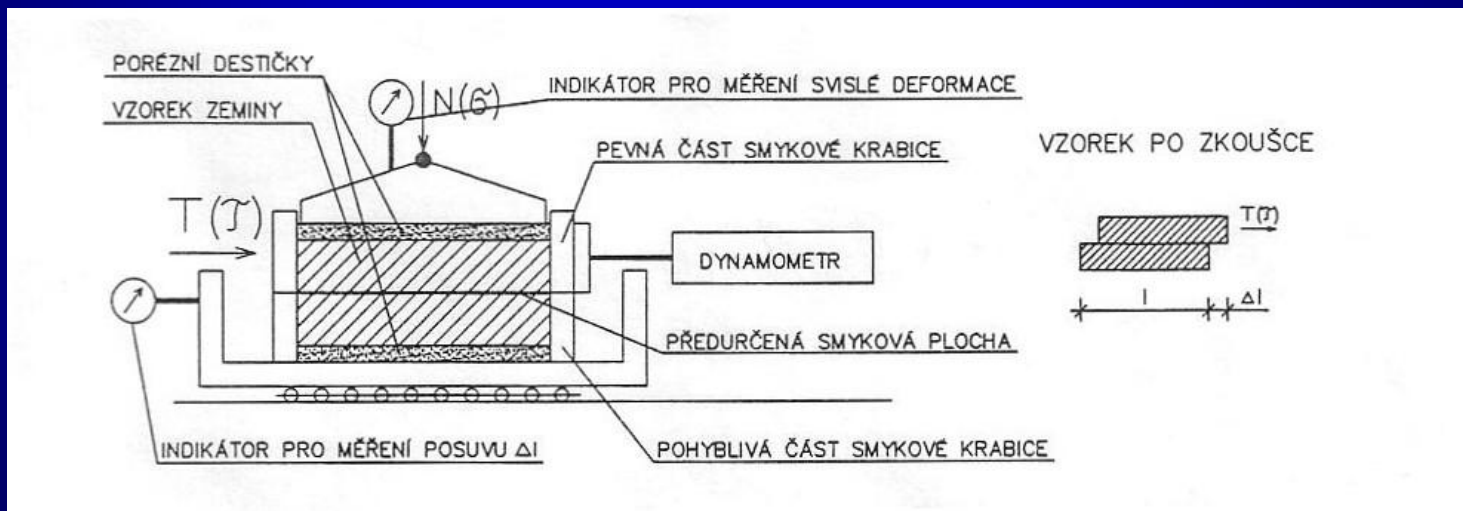
Smyková pevnost nesoudržných zemin

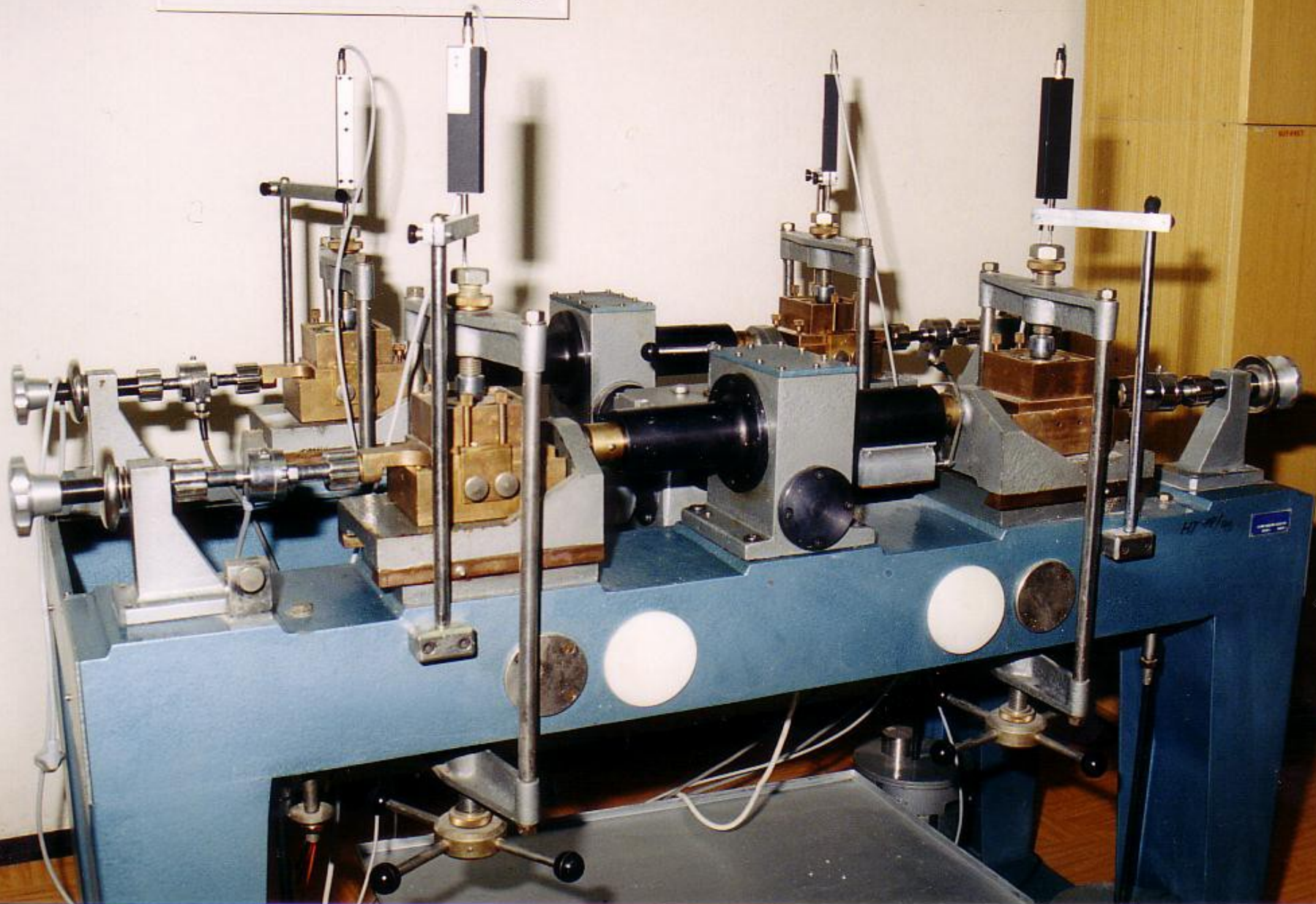
Fyzikální stav sypkých zemin závisí na jejich **hutnosti** – ulehlosti ID

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ef}$$

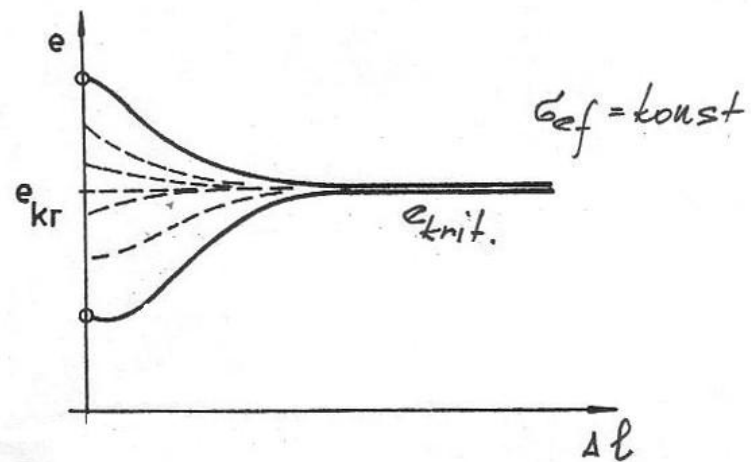
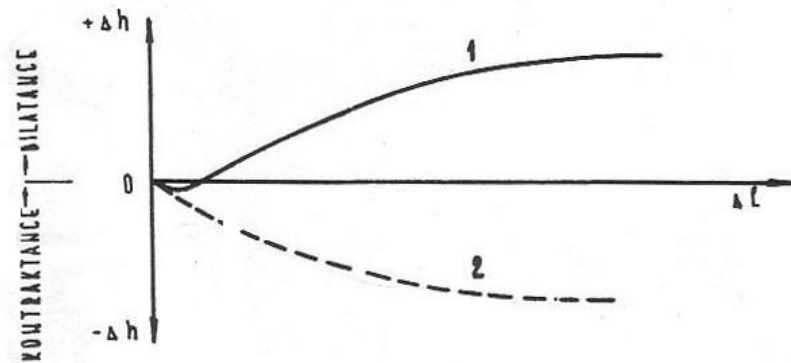
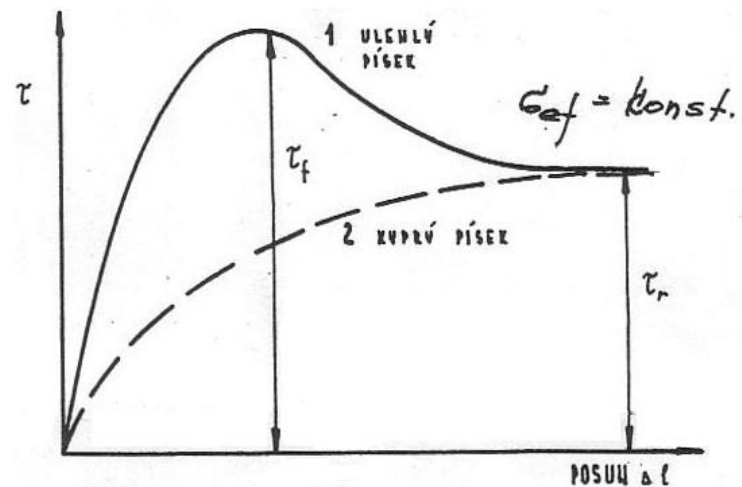
Smyková krabicová zkouška

odvodněná, konsolidovaná (typ CD). Efektivní parametry pevnosti c_{ef} , φ_{ef} . Je předurčena smyková plocha





Základní rozdíl mezi chováním kyprých a ulehlých písků



Dilatance – kontraktance

Při zkoušce též sledujeme svislou deformaci ulehlého písku. Po počátečním stlačení dochází ke zvětšení objemu při namáhání smykem – **jev dilatance** – hutné (ulehlé). Zmenšení objemu – **kontraktance** (nakypřené nesoudržné zeminy).

Kritická pórovitost (Casagrande)

Diagram ukazuje, že bez ohledu na počáteční hodnotu čísla pórovitosti probíhá porušení smykem při stejné pórovitosti. To znamená, že při tomto e již nevznikají žádné objemové změny.

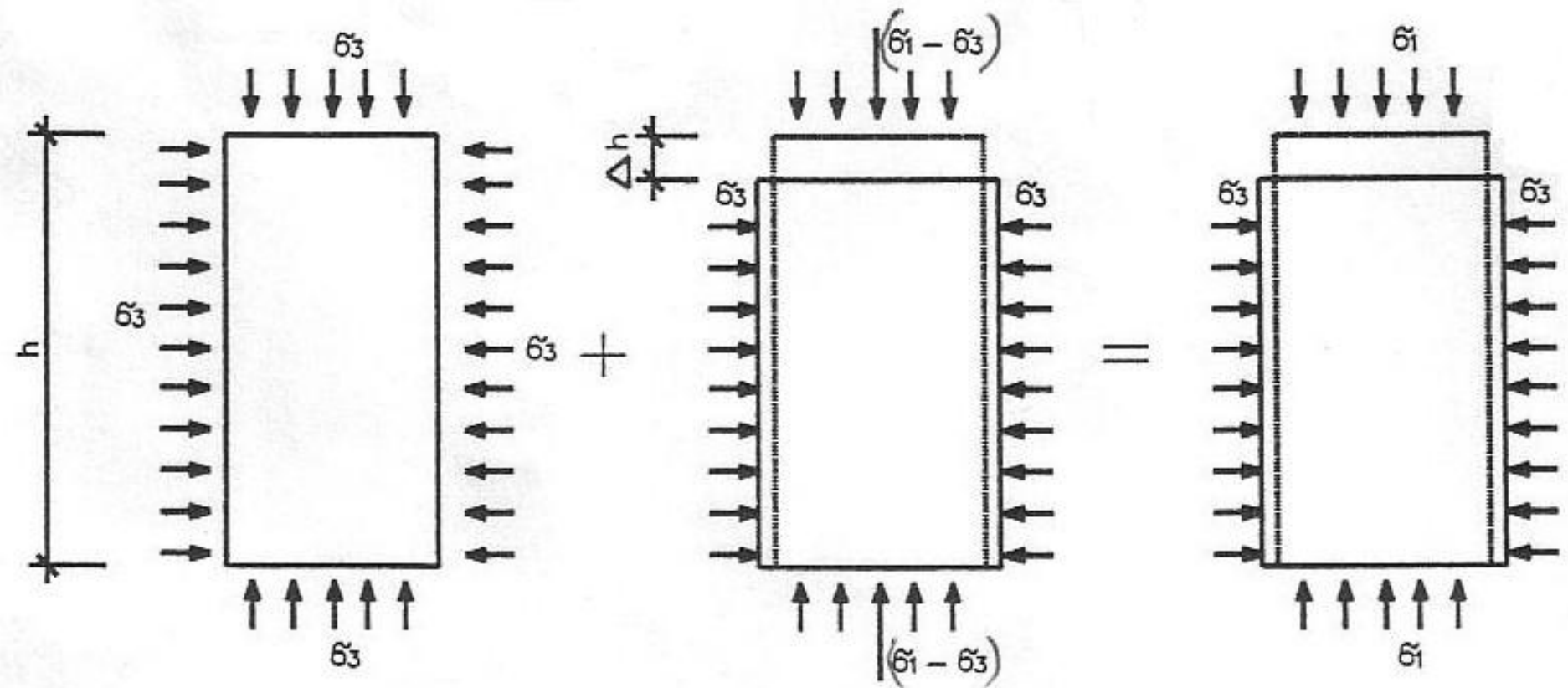
Smyková pevnost soudržných zemin

Triaxiální zkouška

Válcový zkušební vzorek zeminy namáhán v triaxiálním přístroji rostoucím osovým napětím tzv. deviatorem napětí ($\sigma_1 - \sigma_3$) za konstantního plášťového napětí $\sigma_3 = \sigma_2$ do porušení.

V pravém triaxiálu $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

V klasickém triaxiálním přístroji $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$.

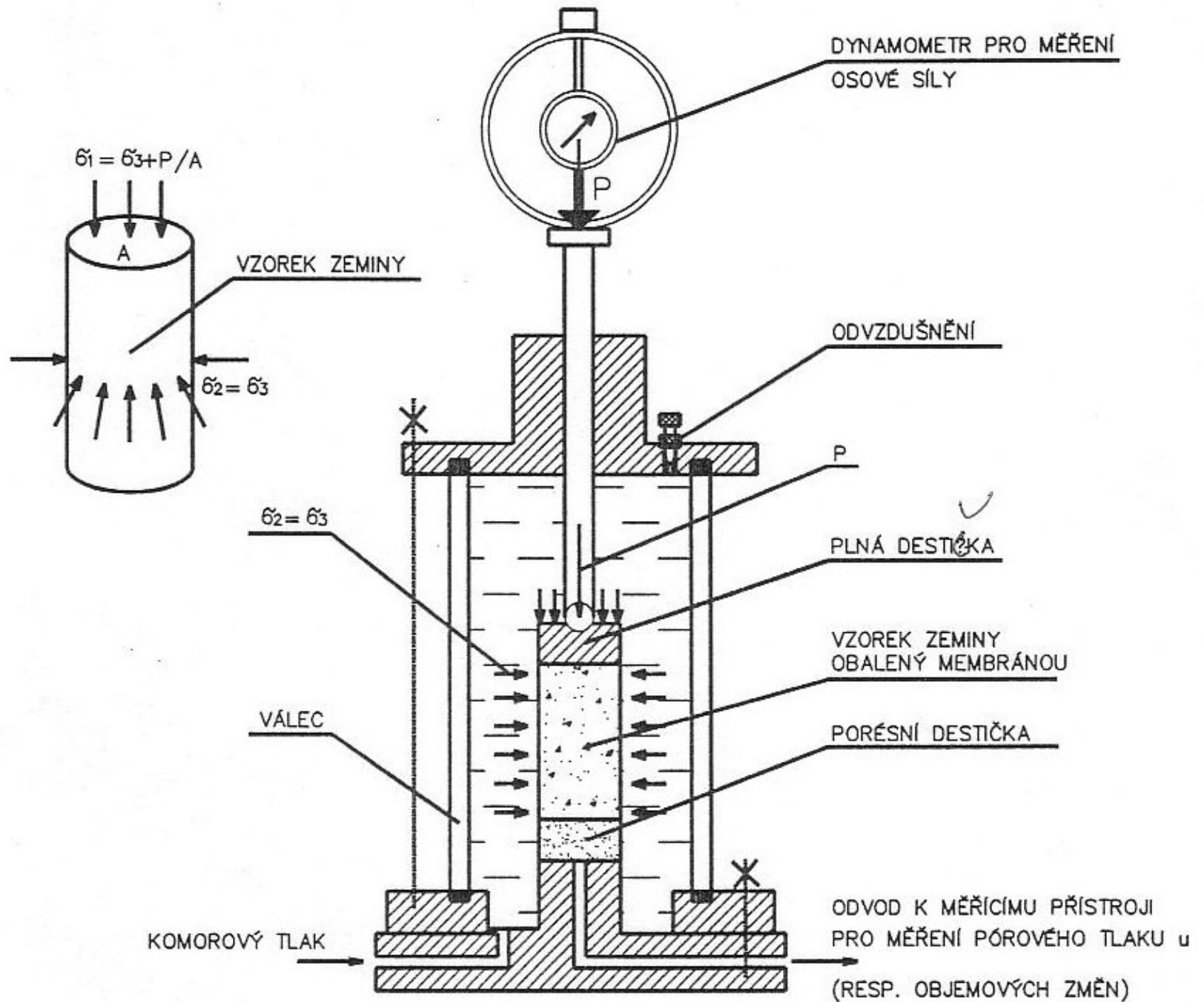


1. FÁZE – IZOTROPNÍ ZATÍŽENÍ
(PŘÍP. IZOTROPNÍ KONSOLIDACE)

2. FÁZE – ZATĚŽOVÁNÍ DEVIÁTOREM
NAPĚTÍ V ČASE t_i

Při registraci deviátoru napětí jako funkci svislého přetvoření obdržíme přetvárnou křivku a z ní určíme deviátor napětí při porušení $(\sigma_1 - \sigma_3)$

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = f_{(\epsilon_z)}$$



Zkouška typu UU

nepropustné destičky. Vzorek zatěžujeme takovou rychlostí, aby deformace narůstala rychlostí 0,2 – 2 % výšky vzorku.

pevné zeminy – rychlost narůstání svislé deformace menší

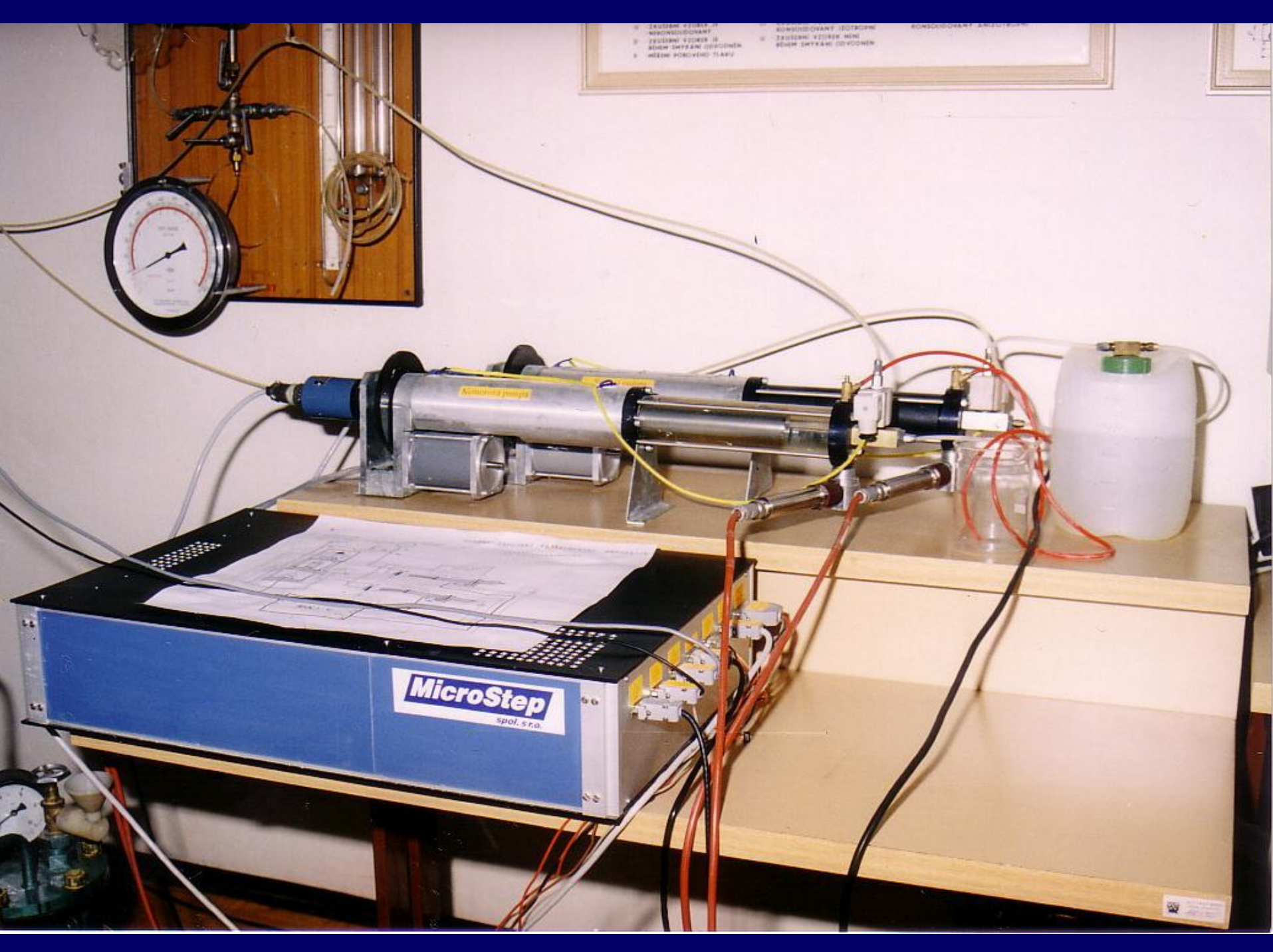
plastické zeminy – větší rychlost



STANDARDNÍ TYPY ZKOUŠEK

UU	ψ C
CUJ	ψ C
CAUP (CAPI)	ψ C
CD	ψ C
CAD	ψ C

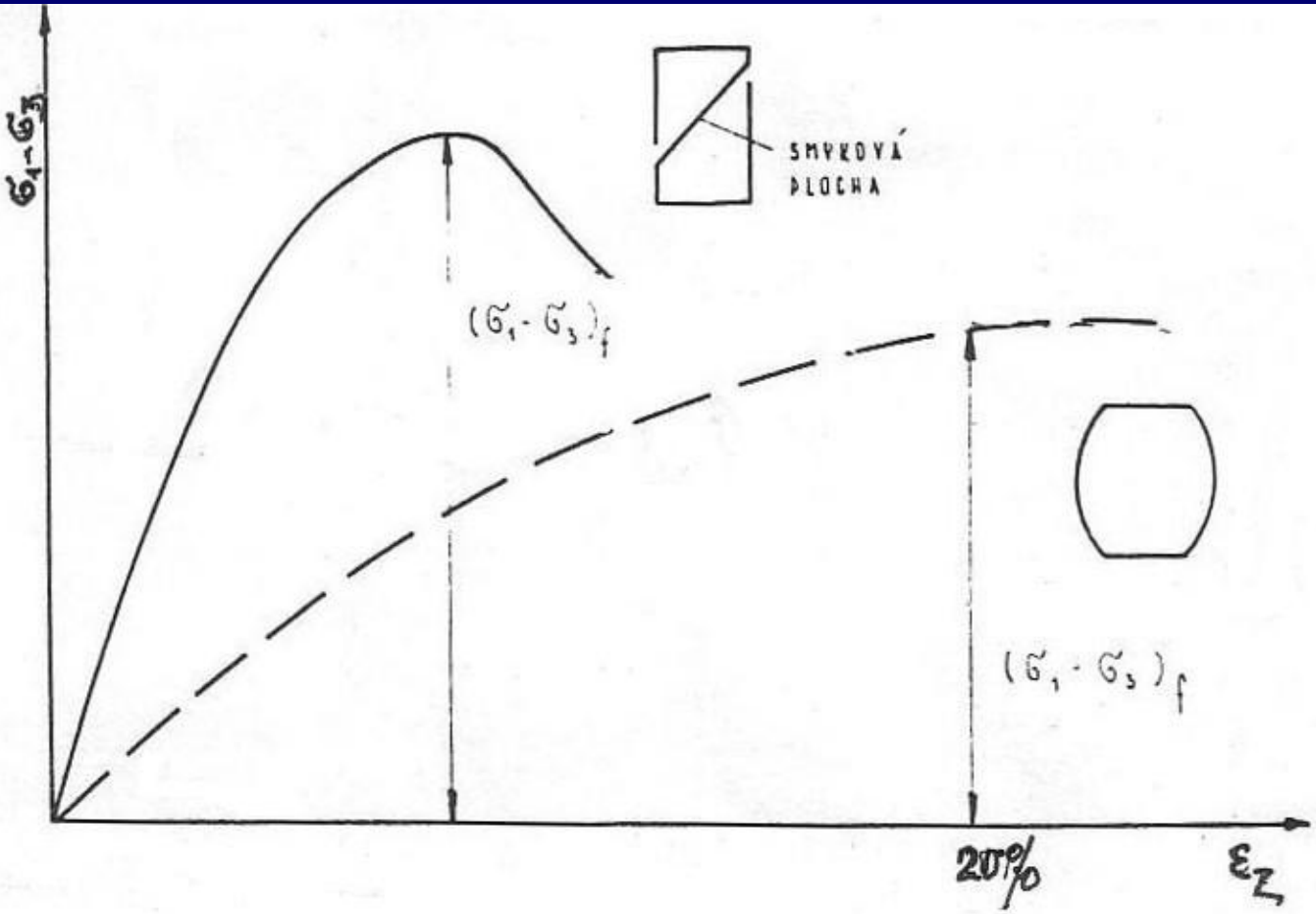
TRI
NEC



1. ZKUSNÝ STANOVISKO
2. ZKUSNÝ STANOVISKO
3. ZKUSNÝ STANOVISKO
4. ZKUSNÝ STANOVISKO
5. ZKUSNÝ STANOVISKO
6. ZKUSNÝ STANOVISKO
7. ZKUSNÝ STANOVISKO
8. ZKUSNÝ STANOVISKO
9. ZKUSNÝ STANOVISKO
10. ZKUSNÝ STANOVISKO

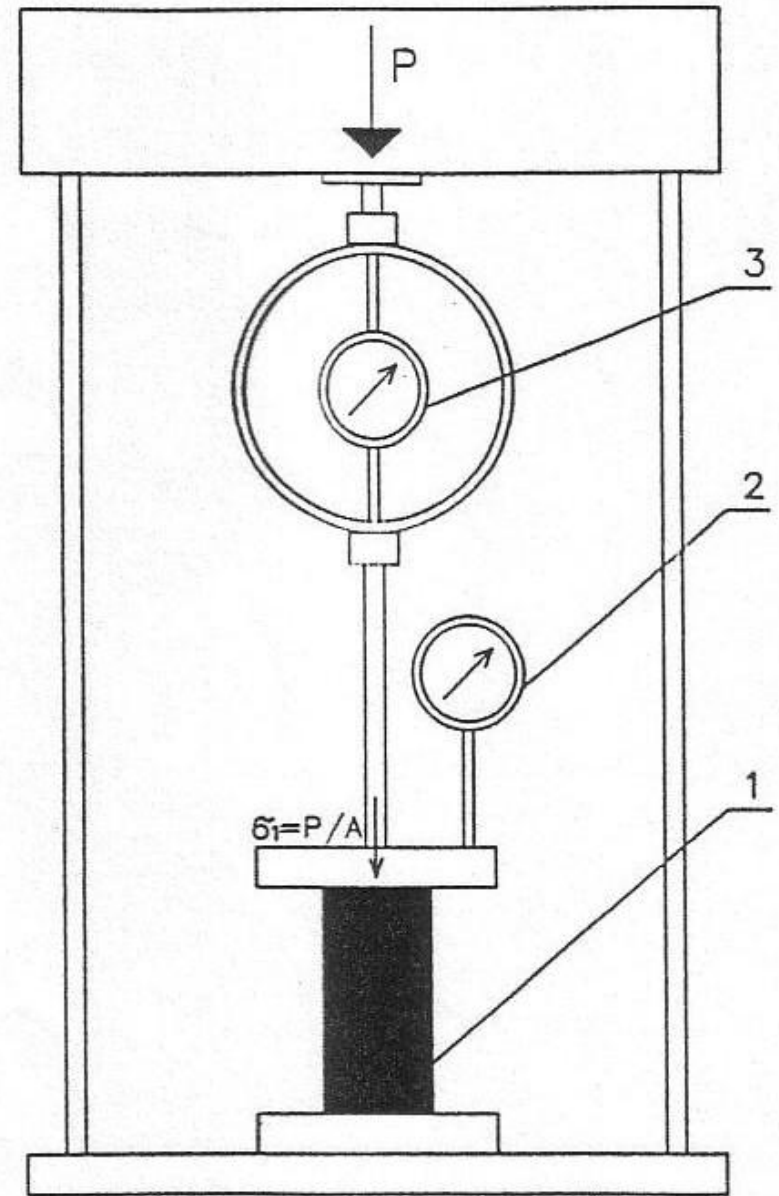
TECHNICKÝ NÁČRTEK
ČÍSLO: 123456789
MĚŘENÍ: 123456789

MicroStep
spol. s r.o.



Prostý tlakový přístroj

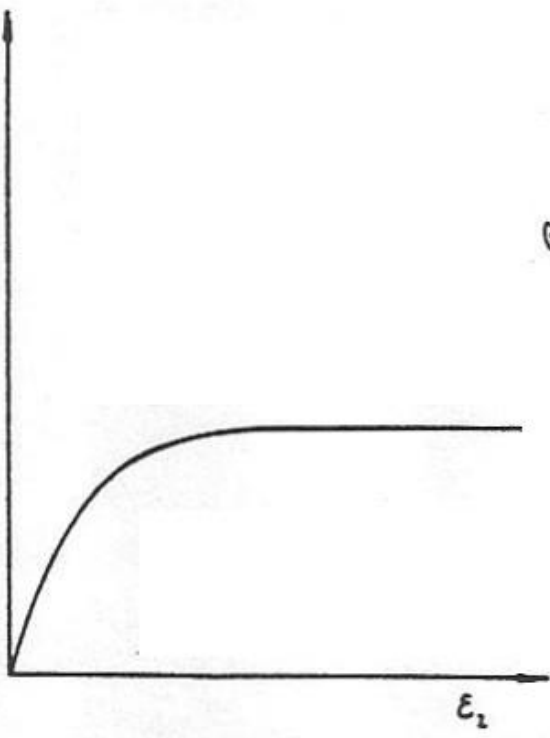
Pevnost v prostém tlaku je zatížení, přepočítané na plochu vzorku při jednoosém tlaku, při kterém nastane porušení. Komorový tlak $\sigma_3 = 0$. Zkouška je vhodná pro **vodou nasycené jílovité zeminy** a jíly.



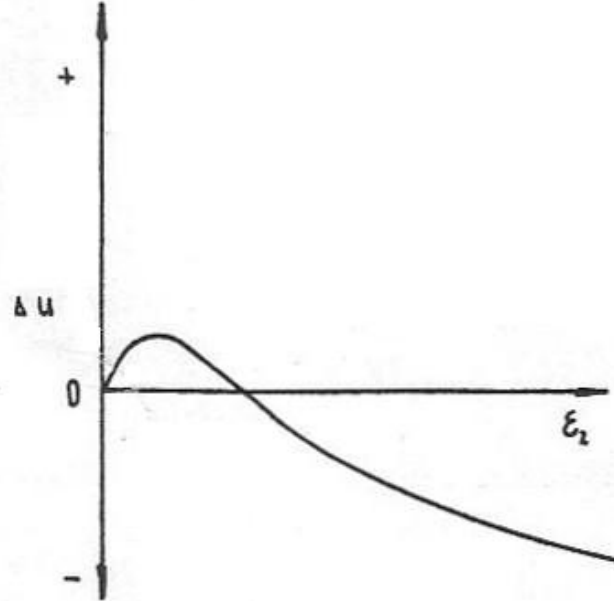
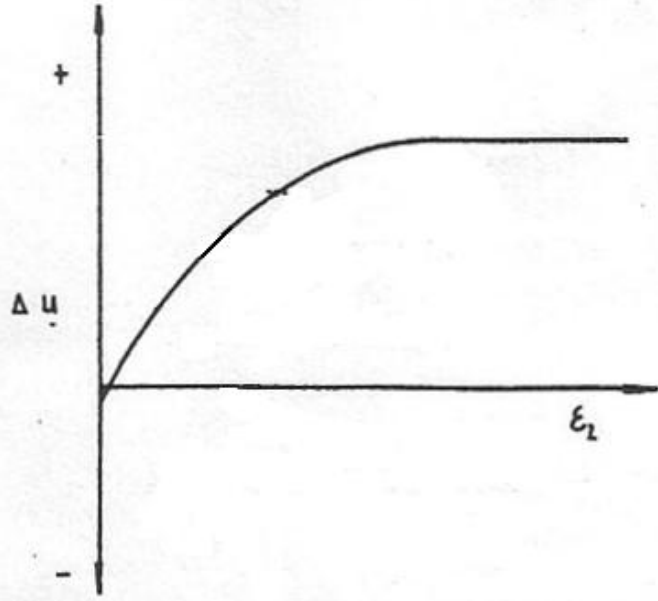
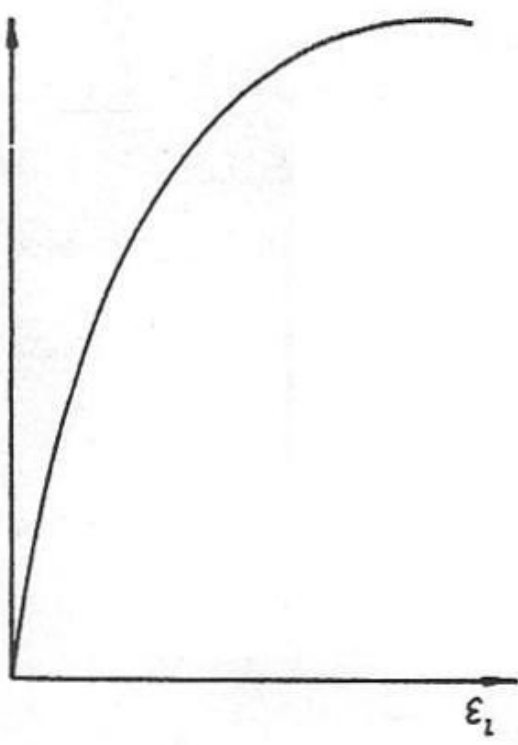
- 1– vzorek zeminy, 2– indikátor pro měření svislé deformace
- 3– dynamometr s indikátorem pro měření osové síly

normálně konsolidované

$\sigma_1 - \sigma_3$



$\sigma_1 - \sigma_3$



překonsolidované

U normálně konsolidovaných zemin vznikají **kladné pórové tlaky**

U zemin překonsolidovaných dochází k **dilatanci a vývinu podtlaku (negativní pórový tlak)**

Úhel vnitřního tření klesá s rostoucí plasticitou.

ZÁKLADNÍ TYPY STANDARDNÍCH ZKOUŠEK

Typ zkoušky mezinárodní označení	Název zkoušky (symbol)		Výsledné parametry smykové zkoušky	Zemina	Typ smykového přístroje
UU	nekonsolidovaná neodvodněná	U U	$\varphi_u c_u$	Soudržná	Triaxiální přístroj
CIUP	konsolidovaná izotropně neodvodněná s měřením pórového tlaku	C I U P	$\varphi_{cu} c_{cu}$ $\varphi_{ef} c_{ef}$	Soudržná	Triaxiální přístroj (zkoušky dlouhodobé 1-2 týdny), vhodný automatizovaný triaxiální) přístroj
CAUP	konsolidovaná anizotropně neodvodněná s měřením pórového tlaku	C A U P	$\varphi_{cu} c_{cu}$ $\varphi_{ef} c_{ef}$	Soudržná	Triaxiální přístroj (zkoušky dlouhodobé 1-2 týdny), vhodný automatizovaný triaxiální přístroj
CD	konsolidovaná odvodněná	C D	$\varphi_{ef} c_{ef}$	Nesoudržná	Smykový krabicový přístroj

Triaxiální přístroj

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$$

$$\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2 = \varepsilon_3$$

Nestandardní zkoušky

obě napětí σ_1 i σ_3 ($\sigma_3 \cong \sigma_2$) se během zkoušky mění

a) σ_1 konst.

σ_3 *klesá*

b) σ_1 *vzrůstá*

σ_3 *klesá*

c) σ_1 *vzrůstá*

σ_3 *vzrůstá*

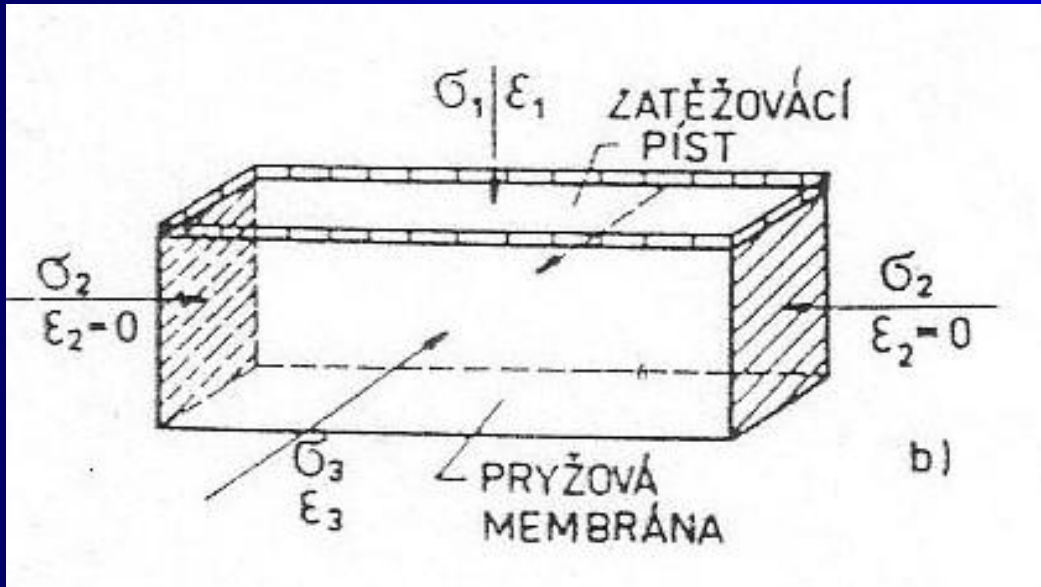
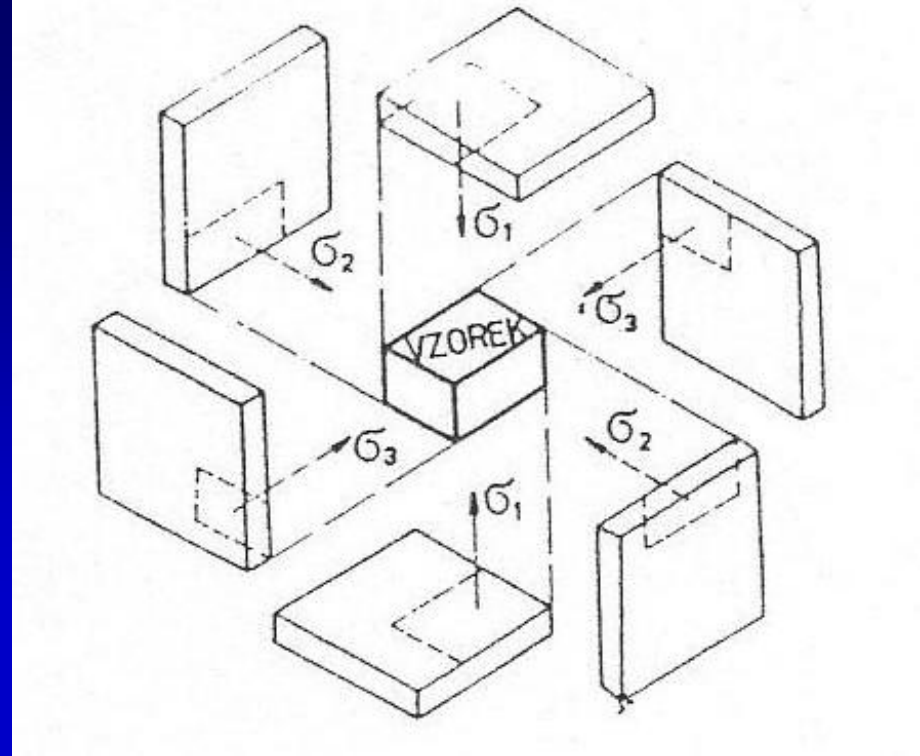
Standardní zkoušky

$$\sigma_3 = \sigma_2 = \textit{konst.}$$

Vzorky zatěžujeme deviatorem napětí do porušení (vytvoření smykové plochy)

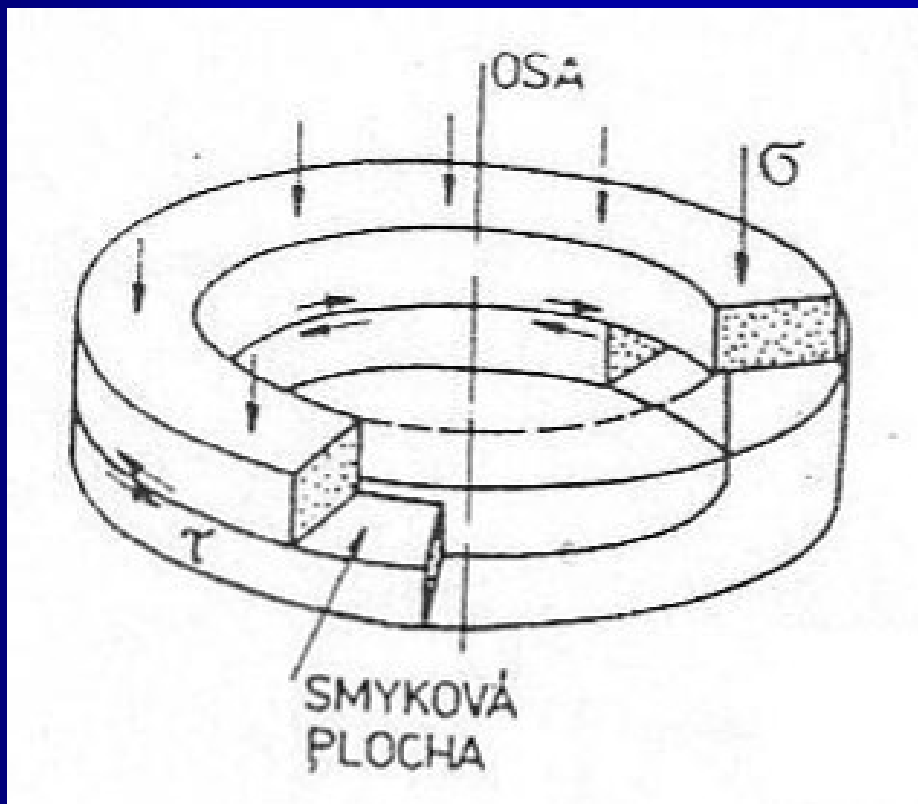
Pravý triaxiální přístroj

$$\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$$



Přístroj s rovinným přetvářením

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$
$$\epsilon_2 = 0$$



Kruhový smykový přístroj

