

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky



Bakalářská práce

KRITICKÁ PEVNOST TERCIÉRNÍHO JÍLU Z OKOLÍ TÁBORA

Martina Karpíšková

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Boháč, CSc.

Praha, 2006

Jan Boháč
Ing.
CSc.
MSc.
Ph.D.
Dr.
Dr. Sc.
Dr. rer. oec.
Dr. rer. oec. Sc.
Dr. rer. oec. Sc. CSc.
Dr. rer. oec. Sc. CSc. Ph.D.
Dr. rer. oec. Sc. CSc. Dr. rer. oec. Sc. CSc. Ph.D.

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, použila jsem pouze své laboratorní zkoušky a převzaté prameny jsem řádně citovala.

Poděkování

Tuto formou bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Janu Boháčovi CSc. za odborné vedení, konzultace a rady poskytované během vzniku této práce.. Za poskytnutí materiálu o zemině, na níž byly zkoušky provedeny, Ing. Petru Kučerovi. Za provedení RTG analýzy Mgr. Petru Drahotovi. V neposlední řadě bych ráda poděkovala studentům působícím v laboratoři zemin, kteří mi pomohli při seznámení s přístrojovým vybavením.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá kritickou pevností zeminy. V rámci bakalářské práce byly vykonány laboratorní zkoušky na rotačním smykovém přístroji a v triaxiálním přístroji. Je zde i popsána metodika měření v těchto přístrojích. Výsledky ukázaly velmi nízkou kritickou pevnost zeminy, která pochází z nejsevernějšího výběžku Třeboňské pánve.

OBSAH

1. ÚVOD	4
2. PEVNOST ZEMIN	5
2.1. ZOBRAZENÍ NAPJATOSTI V BODĚ	5
2.2. SMYKOVÁ PEVNOST	5
2.3. LABORATORNÍ URČOVÁNÍ SMYKOVÉ PEVNOSTI	7
2.4. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST ZEMINY	7
3. METODIKA	9
3.1. PŘÍPRAVA VZORKU	9
3.2. KRUHOVÝ SMYKOVÝ PŘÍSTROJ	9
3.2.1. POSTUP ZKOUŠKY	9
3.2.2. VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY	9
3.3 TRIAXIÁLNÍ PŘÍSTROJ	10
3.3.1. POSTUP ZKOUŠKY	10
3.3.2. VYHODNOCENÍ ZKUŠKY	12
4. MATERIÁL A PŘEDCHOZÍ VÝSLEDKY	15
5. VÝSLEDKY	18
5.1. KRUHOVÝ SMYKOVÝ PŘÍSTROJ	18
5.2. TRIAXIÁLNÍ PŘÍSTROJ	19
7. ZÁVĚR	22
8. POUŽITÁ LITERATURA	23
PŘÍLOHA Č. 1 - Kruhový smykový přístroj – pracovní diagramy	24
PŘÍLOHA Č. 2 - Grafy z triaxiálního přístroje	27
PŘÍLOHA Č. 3	30
PŘÍLOHA Č. 4 - Kalibrace pro měřič síly	31
PŘÍLOHA Č. 5 – Analýza materiálu	33

1. ÚVOD

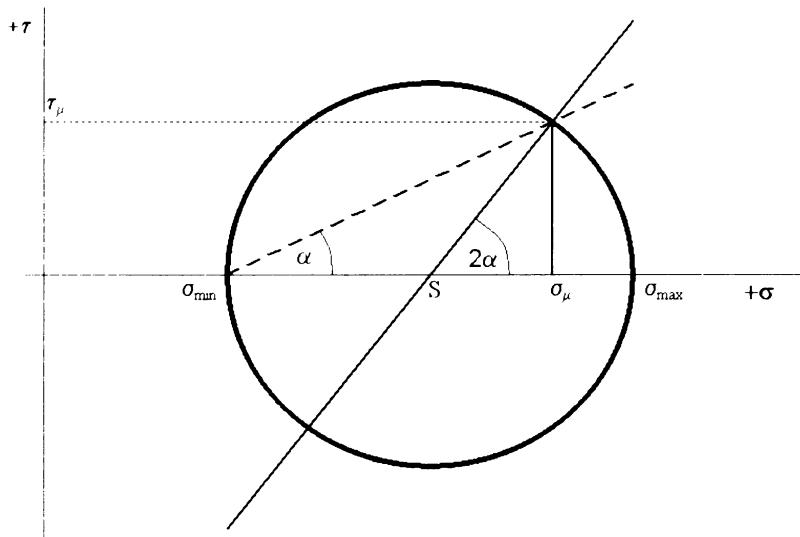
Cílem práce bylo ověření kritické pevnosti táborského jílu, protože předchozí zkoušky vykazovaly nižší úhel vnitřního tření než byl ze zkušenosti očekáván. Z důvodu velmi nízké pevnosti bylo dále ještě provedeno ověření v triaxiálním přístroji.

Tato práce nejdříve vysvětluje pojem pevnosti zeminy. V další kapitole popisují metodiku měření v krabicovém smykovém přístroji a triaxiálním přístroji, protože v těchto dvou přístrojích jsem měření prováděla. Další kapitola pak shrnuje znalosti o tomto materiálu a zkoušky, které byly na tomto materiálu dříve provedeny. Tyto zkoušky byly provedeny Stavební geotechnikou (SGG, 2005) a L. Bíbou (Bíba, 2005). V posledních třech kapitolách jsou popsány mé výsledky zkoušek, pak následuje diskuze a závěr.

2. PEVNOST ZEMIN

2.1. ZOBRAZENÍ NAPJATOSTI V BODĚ

Napjatost v bodě je nejnázornější zobrazit graficky. To je možné pomocí Mohrovy kružnice napětí (obr. 1). Mohrovu kružnici konstruujeme v souřadnicovém systému (σ , τ). Každý bod na této kružnici odpovídá napjatosti na rovině procházející tímto bodem a svírá i s rovinou většího hlavního napětí úhel α .

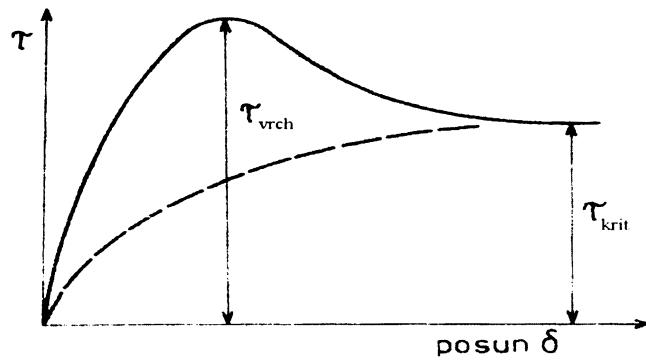


Obr. 1 Mohrova kružnice napětí

2.2. SMYKOVÁ PEVNOST

Pevnost materiálu je obecně definována jako maximální smykové napětí, které je materiál schopen unést (Atkinson, 1993). U zemin stanovujeme pevnost vrcholovou, kritickou a reziduální.

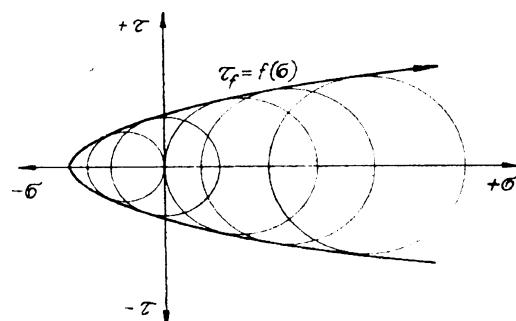
Vrcholovou pevnost lze pozorovat u ulehlých hrubozrnných zemin a u jemnozrnných překonsolidovaných zemin. U hrubozrnné zeminy je závislá např. na hustnosti. U jemnozrnných zemin pak např. na stupni překonsolidace.



Obr. 2 Vrcholová a kritická pevnost zeminy (opraveno podle Šimka et al., 1990)

Po dosažení této hodnoty začne smykové napětí klesat. Poté dosáhne *kritické pevnosti*. Pokud měříme normálně konsolidované jíly nebo kypré hrubozrnné zeminy, tak je této hodnoty dosaženo bez mezistavu vrcholové pevnosti, jak ukazuje obr. 2. Kritickou pevnost lze definovat jako stav, kdy při dalším přírůstku přetvoření zůstává smykové napětí a objem konstantní (Atkinson a Bransby, 1978).

U jemnozrnných zemin dochází k dalšímu poklesu smykového napětí, které se opět usádí na konstantní hodnotě. Tento stav se nazývá *reziduální pevnost* (Skeinpton, 1964 in Najser (2004)). Výše zmíněný pokles je možné vysvětlit orientací zrn paralelně se smykovou plochou. Velikost reziduální pevnosti je ovlivněna množstvím jílu v zemině. Dalšími faktory ovlivňujícími reziduální pevnost jsou mineralogické složení, chemické vlivy a rychlosť smyku. Např. kaolinit má vyšší smykovou reziduální pevnost než illit a ten zase než montmorillonit. Chemické vlivy jsou způsobeny především rozpuštěnými ionty v pórové vodě. Větší koncentrace solí zvyšuje hodnotu reziduální pevnosti, přičemž toto zvýšení se více projeví u jílového minerálu s vyšší hodnotou ionto-výmenné kapacity (Mitchell, 1993).



Obr. 3 Obálka porušení (Myslivec et al., 1970)

Všechny tyto tři pevnosti jsou závislé na normálovém napětí σ . Tuto závislost lze graficky zobrazit v souřadnicovém systému (σ, τ) jako obálku Mohrových kružnic při porušení (obr. 3). Závislost smykového napětí na normálovém napětí se dá approximovat lineární funkcí, kterou nazýváme Mohr-Coloumbova obálka pevnosti:

$$\tau' = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$$

kde c' (koheze) a ϕ' (úhel vnitřního tření) jsou parametry smykové pevnosti.

2.3. LABORATORNÍ URČOVÁNÍ SMYKOVÉ PEVNOSTI

Pro stanovení kritické pevnosti zemin je možné provádět měření v triaxiálním přístroji (kap. 3.3). Další možností je použít translační nebo rotační (kap. 3.2) smykovou krabici. Během *triaxialní zkoušky* je zemina namáhána prostorovou napjatostí. Na vzorek působí ne radiálním napětím σ_r a osovým napětím σ_a . Během této zkoušky se měří pórový tlak. Výhodou tohoto přístroje je, že orientace smykové plochy není předurčena jeho konstrukcí. V případě *smykových krabic* je smyková plocha předurčena jejich konstrukcí. Zároveň většinou nelze měřit pórové tlaky. U translačních smykových krabic je navíc možné jen omezené přetvoření, které je dané konstrukcí přístroje. Tuto nevýhodu odstraní použití rotační smykové krabice.

2.4. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST ZEMINY

Podle Mitchella (1993) závisí inženýrské vlastnosti zemin na několika faktorech. Tyto faktory lze rozdělit do dvou skupin: kompoziční faktory a vnější faktory. Mezi *kompoziční faktory* patří typ minerálu, poměr minerálu v zemině, typ adsorbovaných kationtů, tvar a velikost částic, složení pórové vody. *Vnější faktory* zahrnují množství vody v zemině, hustotu, teplotu, strukturu.

Větší podíl jílových minerálů v zemině obvykle znamená větší smršťování a obtížnou stlačitelnost, naopak nižší propustnost a úhel vnitřního tření. Jílové minerály silně přitažují vodu, a tak zemina, která je obsahuje, je mnohem plastičtější.

Rozsah hodnot inženýrskogeologické vlastnosti pro jílové minerály je ovlivněna velikostí částic, stupněm krystaličnosti, typem adsorbovaných kationtů, pH, přítomností organické

hmoty, typem a množstvím volných elektrolytů v pórové vodě. Důležitost těchto faktorů je pro různé minerály různá a roste v pořadí:

$$\text{kaolin} < \text{illit} < \text{smektit}$$

Hodnoty *Attebergových mezí* se pohybují v širokém rozmezí. Toto rozmezí pro vlhkost na mezi tekutosti je větší než pro vlhkost na mezi plasticity. Vliv adsorbovaných kationtů má větší vliv na vysoce plastické minerály než na málo plastické. S rostoucím nábojem katioňů klesá vlhkost na mezi tekutosti bobtnavých jílů, ale u nebobtnavých jílů roste (Mitchell, 1993). Hlavním faktorem, předurčujícím *velikost částic*, je složení minerálu. *Tvar částice* je u většiny jílových minerálů deskovitý.

Mezi objemové změny patří smršťování a bobtnání. Tyto vlastnosti se mění podobně jako vlastnosti plastické. *Propustnost* je ovlivňována velikostí zrna, číslem pórovitosti, strukturou nebo charakterem kapalné fáze. Normální rozsah součinitele propustnosti se pohybuje pro jílové minerály v rozmezí od $10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až do $10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Mitchell, 1993).

3. METODIKA

3.1. PŘÍPRAVA VZORKU

Zemina pro přípravu rekonstituovaných vzorků byla ve formě vrtného jádra. Nejdříve jsem zeminu nastrouhala a rozmíchala s pitnou vodou. Dále jsem ji propasírovala přes síto s velikostí ok 0,5 mm. Výsledkem byla homogenní pasta.

V případě zkoušky v rotační smykové krabici jsem pastu vhnětla přímo do mezikruží. Vzorek jsem navýšila asi o 2 mm.

Vzorek pro triaxiální zkoušku jsem umístila do formy a nechala ho konsolidovat při tlaku cca 55 kPa. Přibližné rozměry vytvořeného válce byly 38 mm a 76 mm. Válec jsem pak umístila do triaxiálního přístroje.

3.2. KRUHOVÝ SMYKOVÝ PŘÍSTROJ

3.2.1. POSTUP ZKOUŠKY

Během zkoušky v krabicovém smykovém přístroji je vzorek namáhán rostoucím smykovým napětím při stálém normálovém zatížení. Zkouška probíhá ve dvou fázích.

První fází je *konsolidace*. Vzorek se nejdříve zatíží normálovým napětím a nechá se konsolidovat. Předtím se zalije vodou. Další fáze může být započata až po skončení konsolidace. Je-li znám součinitel konsolidace, pak potřebná doba tohoto děje je (ČGÚ, 1987):

$$t = \frac{2 \cdot H^2}{c_v}$$

Pokud tento součinitel není znám, pak se jako konec konsolidace bere doba, kdy vzorek nevykazuje další deformaci. Poté následuje *smykání*, při němž se vzorek začneme přetvářet smykovou silou. Maximální rychlosť této deformace lze získat podobně jako maximální rychlosť deformace v triaxiálním přístroji (kap. 4.3.1).

3.2.2. VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Během zkoušky je třeba měřit sílu, kterou se působí na vzorek, a čas. Z času pak získáme velikost posunutí podle rovnice:

$$s = t \cdot v$$

kde t je čas a v je rychlosť smyku. Ze síly je pak možné získat snykové napětí podle Hvorsleva (1937):

$$\tau' = \frac{3 \cdot M}{2 \cdot \pi \cdot (R_2^3 - R_1^3)}$$

kde R_1 je vnitřní průměr, R_2 je vnější průměr mezikruží a M je moment síly. Moment síly spočteme podle (8):

$$M = \frac{(F_1 + F_2) \cdot L}{2}$$

kde L je rameno dvojice sil F_1 a F_2 , které byly v průběhu zkoušky měřeny.

3.3 TRIAXIÁLNÍ PŘÍSTROJ

3.3.1. POSTUP ZKOUŠKY

Zkoušky v triaxiálním přístroji můžeme rozdělit na zkoušky *deformační*, jejichž výsledkem je závislost mezi napjatostí a přetvořením zkušebního vzorku, a zkoušky *pevnostní*, kde výsledkem je snyková pevnost stanovená při porušení vzorku. Ke stanovení obálky je třeba mít alespoň tři vzorky. Tato zkouška probíhá v několika fázích.

První fází je *sycení*. U málo propustných zemin se nasycení docílí zvýšením pórového tlaku. Potřebný syticí tlak je závislý na stupni saturace a volí se např. podle tab. 1. Během zvyšování pórového tlaku se zvyšuje i tlak komorový, aby nedocházelo ke změně efektivního napětí a tím ke konsolidaci.

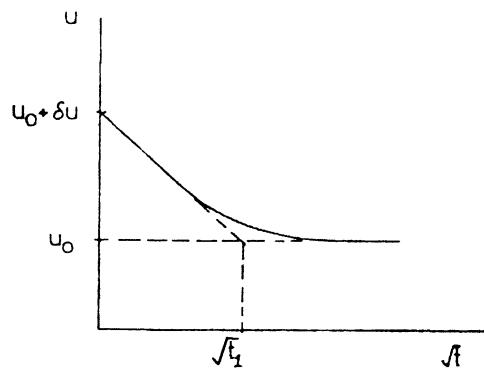
Počáteční stupeň nasycení	Syticí tlak (nejméně) [kPa]
0,95	100
0,90	200
0,85	300
0,80	400
0,75	500

Tab. 1 Konečná velikost syticího tlaku (ISMMGE, 1998)

Je-li vzorek saturovaný, je možné započít s *konsolidací* vzorku. Během konsolidace je možné zkušební vzorek zatížit buď vícestupňově nebo ho lze zatěžovat plynule. Během konsolidace musejí být měřeny objemové změny. Objemové změny vzorku je možné určit ze změny objemu vody ve vzorku. Konsolidaci je možné považovat za ukončenou, jestli z grafu (τ ; dV) patrné, že vzorek dosáhl času t_{100} . Pokud chci provádět zatěžování plynule, pak rychlosť zatěžování určím dle Atkinsona (1984) jako:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{u}{\mu \cdot t_1}$$

kde t_1 se určí dle grafu na obr. 4; a μ je pro radiální drenáž rovno 0,79 a u je relativní velikost přebytků pórových tlaků.



Obr. 4 Určení času t_1 (Atkinson, 1984)

Po skončení konsolidace započíná třetí a poslední část zkoušky – *smykání*. Namáhat vzorek je možné buď odvodněně nebo neodvodněně. Při neodvodněné zkoušce je třeba měřit pórové tlaky. Maximální rychlosť deformace je možné určit několika způsoby:

- 1) podle ISSMGE (1998) jako:

$$v = \frac{\varepsilon_f \cdot (H_i - \Delta H_c)}{F \cdot t_{50}}$$

kde t_{50} je čas, kdy je vzorek zkonsolidovaný na 50 %, ε_f je očekávaná deformace při porušení, F je faktor, který získáme z tab. 2, H_i je počáteční výška a ΔH_c je změna výšky během konsolidace.

drenážní podmínky během konsolidace	hodnoty F (pro $H_i/D_i = 2$)	
	nedrénovaný test	drénovaný test
drenáž na jednom konci	2,1	34
drenáž na obou koncích	8,4	34
obvodová drenáž a na jednom konci	7,2	56
obvodová drenáž a na obou koncích	9,2	64

Tab. 2 Faktor pro počítání rychlosti zatěžování (ISSMGE, 1998)

2) podle ČGÚ (1987) jako:

$$v = \frac{3 \cdot \Delta h_f \cdot c_v}{20 \cdot H^2}$$

kde Δh_f je odhadnutá deformace při porušení, c_v je součinitel konsolidace a H je drenážní dráha.

3.3.2. VYHODNOCENÍ ZKUŠKY

Během konsolidace dojde ke změně rozměrů vzorku, kterou musím před vyhodnocením uvažovat. Objemové přetvoření je dáno:

$$\varepsilon_V = \frac{dV}{V}$$

kde dV je změna objemu vzorku během konsolidace a V je jeho počáteční objem. Výškové přetvoření a přetvoření ve směru kolmém na výšku se zpravidla předpokládají stejná (při izotropní deformaci) a jsou rovna:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_V}{3}$$

Změnu výšky a poloměru pak vypočtu podle:

$$\epsilon = \frac{dh}{h} = \frac{dr}{r}$$

Během smyku se měří čas, pórové tlaky, tlak v komoře, velikost sednutí a síla, kterou vyvíjíme na vzorek. Protože máme změrenou jen sílu F , ale k dalšímu vyhodnocení potřebujeme znát napětí, které je ve vzorku, tak musíme spočítat průměrnou plochu vzorku pro dany okamžik. Napětí je dáno:

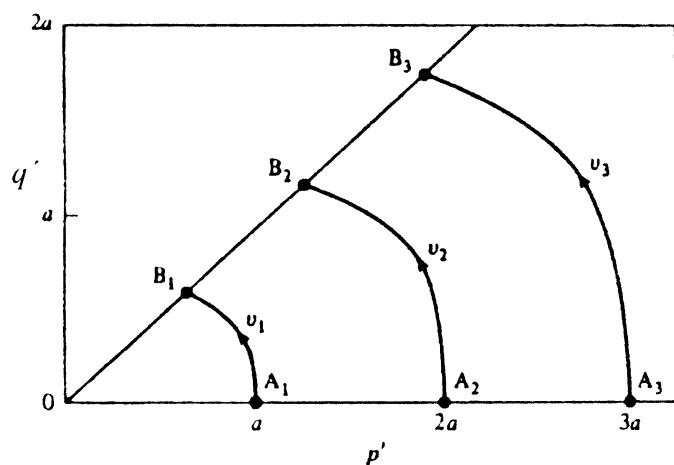
$$q' = (\sigma_a' - \sigma_r') = \frac{F}{A}$$

kde A je plocha, na kterou síla F působí, σ_a je osové napětí a σ_r je radiální napětí. Plochu určíme podle:

$$A = \frac{V_k}{h_k + \Delta h}$$

kde V_k je počáteční objem vzorku, h_k je počáteční výška vzorku a Δh je změna výšky během zkoušky. Vykreslím graf závislosti p na q (obr. 5), kde p je:

$$p' = \sigma_r + \frac{q'}{3}$$



Obr. 5 Graf závislosti p na q (Atkinson a Bransby, 1978)

A určím úhel vnitřního tření ϕ , který je dán podle Atkinsona a Bransbyho (1978):

$$\frac{q'}{p'} = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'}$$

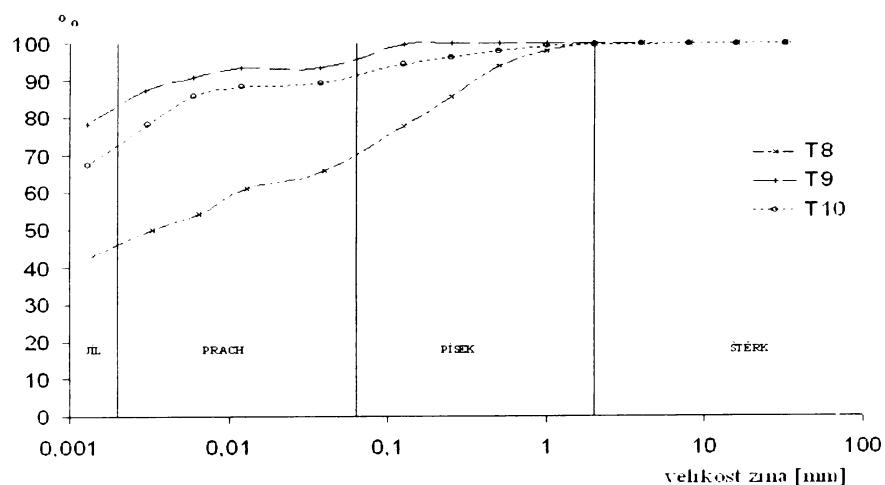
4. MATERIÁL A PŘEDCHOZÍ VÝSLEDKY

Podle SGG (2005) se lokalita, z níž byl vzorek odebrán, nachází v Českomoravské subprovincii, oblasti Středočeská pahorkatina, celku Táborská pahorkatina a podcelku Soběslavská pahorkatina. V nejsevernějším výběžku Třeboňské pánve byl prováděn doplňkový geotechnický průzkum (pro rozšiřování komunikace), v jehož průběhu bylo odebráno 14 vrtných jader. V této lokalitě se vyskytují především terciérní jíly o tuhé až pevné konzistenci a jílovité písksy. Kvartér je zde zastoupen deluviálními sedimenty, které dosahují maximálně 4,5 m, a navážkami.

Popis zeminy	ϕ_{krit} [°]	ϕ_{rez} [°]
šedohnědý písčitý jíl	8,3	8,5
šedý jíl	8,1	6,8
hnědošedý hlinitý jíl	10	10

Tab. 3 Měření na smykové ploše podle SGG (2005)

V tab. 3 jsou shrnutá měření pevnosti zeminy odebrané ze smykové plochy sesuvu, který se zde dříve vyvinul. Graf zrnitosti této zeminy je na obr. 5. Výše zmíněná měření byla provedena na stejně zemině, která byla použita pro tuto práci, odebrané sondami T8, T9, T10.



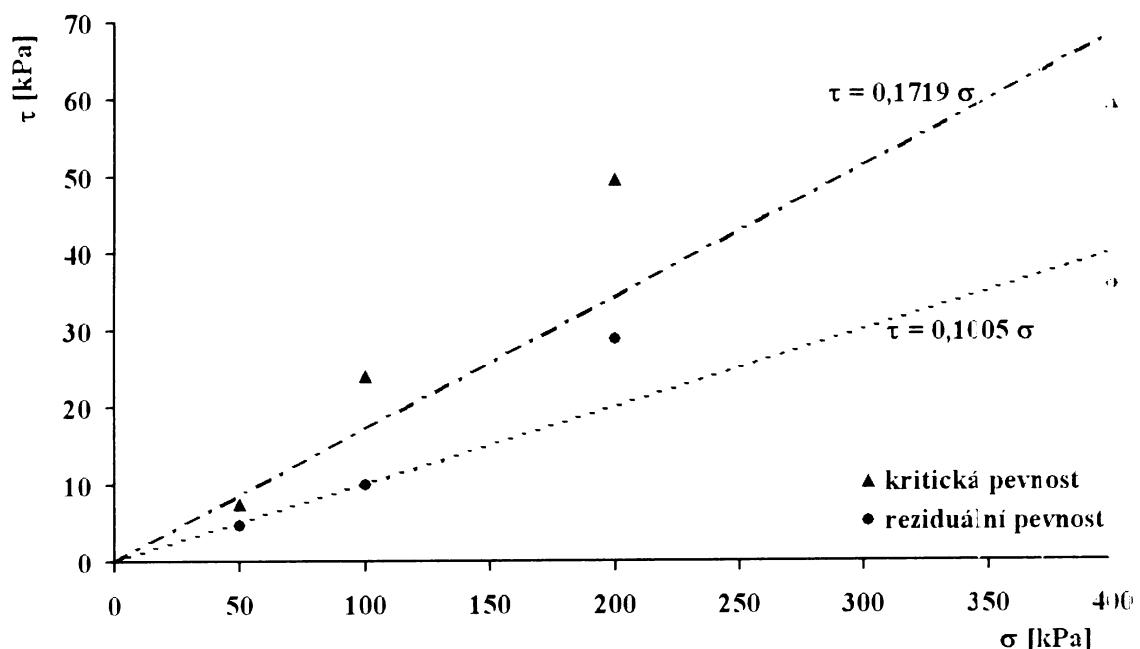
Obr. 5 Křivka zrnitosti pro zeminu odebranou ze smykové plochy podle dat ze zprávy SGG (2005)

Na stejném vzorku, jaký byl použit k měření v této práci, bylo provedeno měření Bíbou (2005). Tento vzorek pochází ze sondy T6. Jeho výsledky jsou shrnuty v tab. 4. Obr. 6 ukazuje výsledky v grafické podobě. Hodnoty pro kritickou pevnost jsou $\phi_{\text{krit}} = 6,9^\circ$. pro reziduální pevnost pak $\phi_{\text{rez}} = 5,8^\circ$.

σ [kPa]	τ_{krit} [kPa]	τ_{rez} [kPa]
50	7,5	4,6
100	24	10
200	49,7	28,8
400	58,4	41
400	60,7	30,8

Tab. 4 Výsledky převzaté od Bíby (2005)

Materiál ze smykové plochy ze sondy T6 byl podroben RTG analýze. Výsledky této analýzy jsou v příloze 3. Výsledné složení pro jílovou frakci, je uvedeno v tab. 5.



Obr. 6 Obálka pevnosti podle Bíby (2005)

Stejná zemina mimo smykovou plochu má úhel vnitřního tření přes 20° (osobní sdělení Kučera, 2006).

Minerál	podíl [%]
křemen	32,9
kaolinit	21,3
illit	27
Fe sepiolit	24,9

*Tab. 5 Minerální složení jílovité frakce
měřené zeminy*

5. VÝSLEDKY

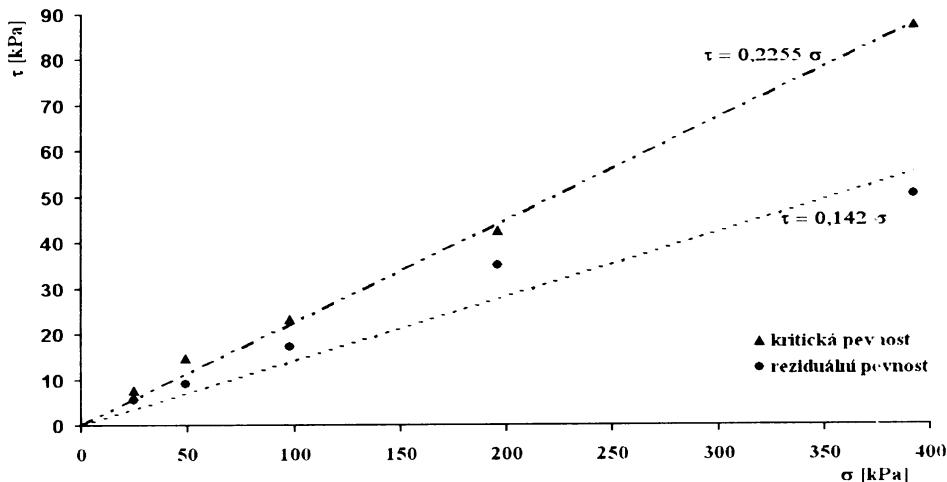
5.1. KRUHOVÝ SMYKOVÝ PŘÍSTROJ

V kruhovém smykovém přístroji bylo provedeno pět měření pro normálové zatížení 25, 50, 100, 200 a 400 kPa. Během prvních čtyř zkoušek byl vzorek před započetím zkoušky navýšen o cca 2 mm. Protože konečná výška při zatěžování 200 kPa byla již velmi nízká, byl poslední vzorek konsolidován dvouetapově. Nejdříve byl navýšen asi o 2 mm a předkonsolidován při zatížení 25 kPa. Následně byl doplněn materiélem a konsolidován na 400 kPa. Rychlosť smyku byla u všech zkoušek 0,0178 mm/min. Pracovní diagramy jednotlivých zkoušek jsou v příloze 1. Tato měření jsou shrnuta v tab. 6.

σ [kPa]	τ_{krit} [kPa]	τ_{rez} [kPa]	w
24	9	6	0,856
49	18	10	0,855
98	24	17,5	0,857
169	43	35,5	0,801
392	89	51	0,853

Tab. 6 Výsledky zkoušek z kruhového smykového přístroje

Pomocí lineární regrese byla těmito měřeními proložena přímka (obr. 7).

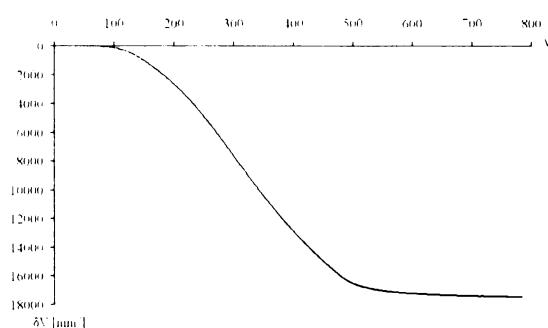


Obr. 7 Mohr – Coulombova obálka pro měření v kruhovém smykovém přístroji

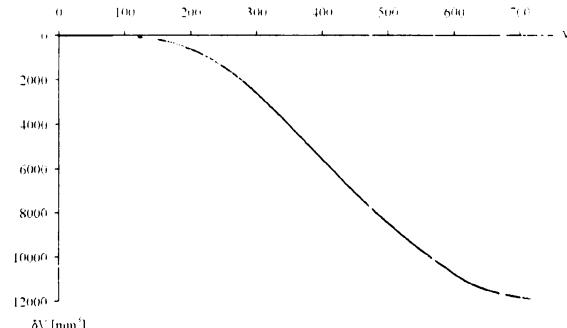
Úhel vnitřního tření pro kritickou pevnost vychází 13° . Pro reziduální pevnost je to $8,2^\circ$.

5.2. TRIAXIÁLNÍ PŘÍSTROJ

V triaxiálním přístroji byly provedeny tři zkoušky při počátečních efektivních tlacích 00, 200 a 275 kPa. Stlačení během první zkoušky bylo provedeno plynule při rychlosti $1 \text{ kPa} \cdot \text{s}^{-1}$ a pak podle grafu došlo k ověření, že vzorek je již skutečně zkonsolidován (obr. 8). Konsolidace během druhé zkoušky byla provedena dvouetapově. Nejdřív byl vzorek jednostupňově zatížen efektivním napětím 150 kPa (aby se dal zjistit součinitel konsolidace) a pak byl vzorek zatěžován plynule rychlostí $0,022 \text{ kPa/min}$ (obr. 10).

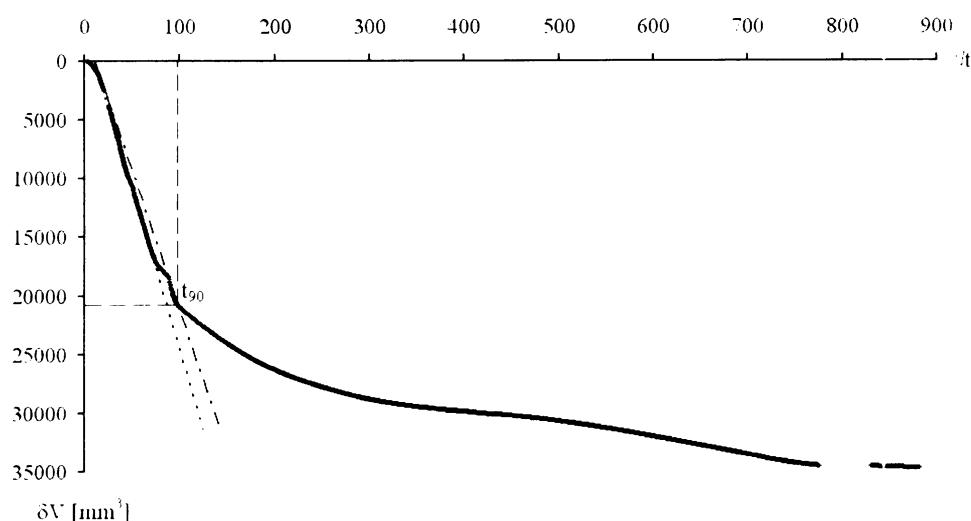


Obr. 8 Průběh sedání během první zkoušky – komorový tlak 200 kPa



Obr. 9 Průběh sedání během třetí zkoušky – komorový tlak 100 kPa

Součinitel konsolidace c_v je pro tuto zeminu $0,026 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Třetí vzorek byl zatěžován plynule rychlostí $0,015 \text{ kPa/min}$ (obr. 9)



Obr. 10 Průběh sedání během druhé zkoušky – komorový tlak 275 kPa . Je zde ukázáno, jak se hledal t_{90}

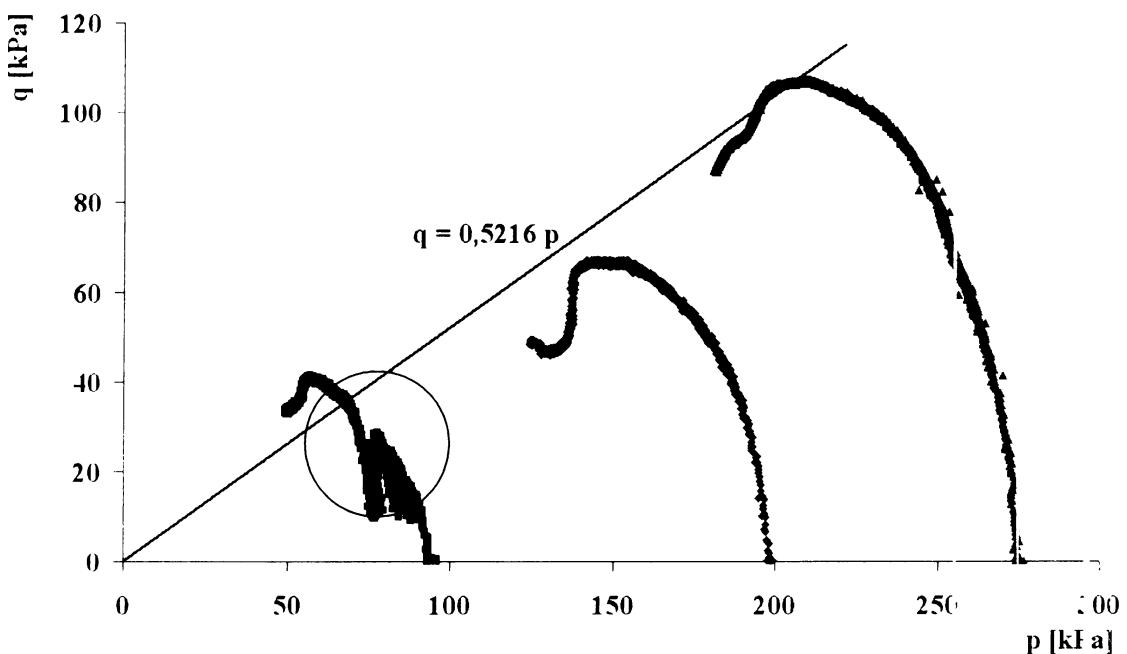
Během měření při počátečním efektivním tlaku 100 kPa nebyl vzorek na počátku s nylkáni vycentrován. Dosedání pístu na horní destičku vzorku způsobilo zdánlivé cyklické zatížení v zakroužkované oblasti na obr. 11.

U všech zkoušek bylo rychlosť deformace 0,0017 mm/min. Pracovní diagramy jednotlivých zkoušek jsou uvedeny v příloze 2, výsledky jsou pak shrnutý v tab. 7.

σ [kPa]	τ_{krit}	w [%]
55	40	70,5
196	105	51,6
139	65	52,2

Tab. 7 Výsledky změřené v triaxiálním přístroji

Pomocí lineární regrese byla těmito body proložena přímka (obr. 11)



Obr. 11 Mohr – Coulombova obálka pevnosti pro data změřená v triaxiálním přístroji

Úhel vnitřního tření pak vychází pro tuto zeminu $13,8^\circ$.

Po zkoušce bylo potřeba provést kalibraci snímače síly. Grafy této kalibrace jsou v příloze 3.

6. DISKUZE

Pro kritickou pevnost byl v kruhovém smykovém přístroji stanoven úhel vnitřního tření 13° . V triaxiálním přístroji to bylo $13,8^\circ$. Podle Najsera (2004) by měření v těchto dvou přístrojích měla dávat podobné výsledky. Toto očekávání bylo splněno.

Pokud upravíme měření SGG (2005) pro tuto zeminu, tak aby obálka pevnosti procházela počátkem, pak úhly vnitřního tření pro dvě měření ze třech jsou kolem 12° .

Tato hodnota je pro úhel vnitřního tření velmi nízká. Atkinson (1993) uvádí hodnoty pro Londýnský jíl 23° , kaolinitický jíl 25° a glaciální jíl 29° .

Podle Mitchella (1993) je kritická pevnost závislá na mnoha faktorech. Mezi jinými je to charakter vody obsažené v zemině, zrnitost nebo minerální složení zeminy. Protože během zkoušek byla použita pitná voda, stejně jako u mnoha jiných zkoušek, které dávaly výsledky v očekávaném intervalu, tak první faktor je možné vyloučit. Na obr. 5 je křivka zrnitosti pro tři vzorky této zeminy odebrané ze smykové plochy. Vzhledem k tomu, že tyto křivky nejsou stejné, ale úhly vnitřního tření byly pro všechny vzorky velmi nízké, tak i tento faktor je možné vyloučit.

V tab. 5 je ukázáno složení této zeminy. Křemen, kaolinit ani illit, také nemůžou způsobovat takto nízký úhel vnitřního tření. Mitchell (1993) ukazuje srovnání úhlů vnitřního tření pro tyto tři minerály – křemen z nich má tento parametr nejvyšší, illit nejnižší. A e i illit má hodnotu úhlu vnitřního tření vyšší než 20° . Jediný minerál, pro který se mi nepodařilo najít jeho úhel vnitřního tření je sepiolit. Tento minerál podle Singera a Galana (1984) využívá ve vodě nepravidelnou mřížku, jež v sobě váže vodu, zahušťuje a udržuje v suspenzii pevné látky. Má tixotropní vlastnosti.

Sepiolit není v zeminách v takovýchto koncentracích obvyklý. Domnívám se, že jeho relativně vysoké zastoupení ve zkoumané zemině je příčinou jejího nízkého úhlu vnitřního tření.

7. ZÁVĚR

Testovala jsem jílovitou zeminu pocházející z nejsevernějšího výběžku Třeboňské pánve. Pro měření v rotačním smykovém přístroji vychází úhel vnitřního tření 13° . V triaxiá ním přístroji je to $13,8^\circ$. Tyto výsledky ukazují, že překvapivě nízká hodnota úhlu vnitřního tření pro tento materiál, byla původně změřena správně.

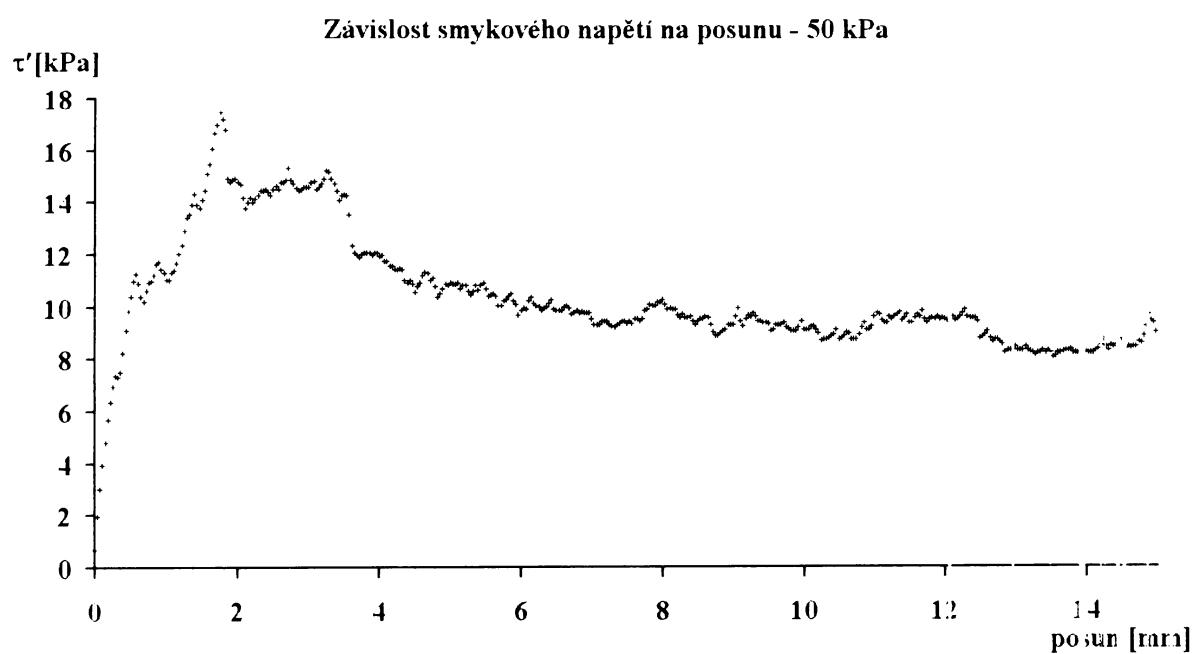
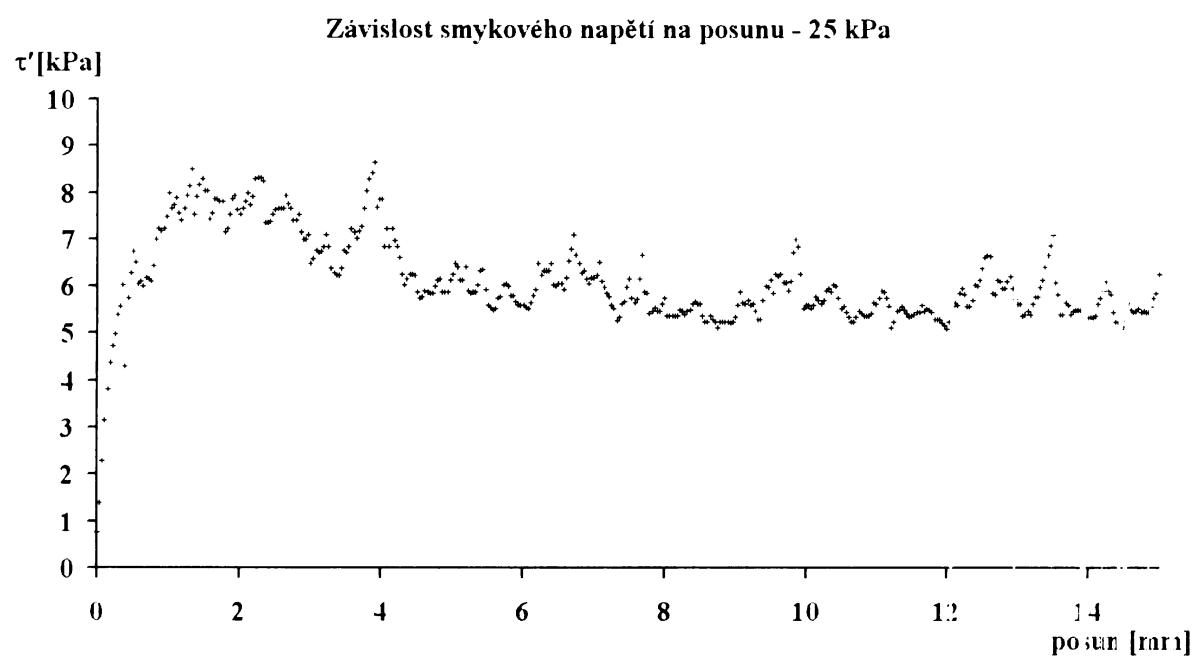
Nepodařilo se mi sice přesvědčivě zjistit, proč má tato zemina, tak neobvykle nízky úhel vnitřního tření, ale vše nasvědčuje tomu, že to způsobuje sepiolit, který tato zemina obsahuje téměř 25 %.

Další prací by měla být analýza minerálního složení i pro materiál mimo smykovou pláchu a zjistit, zda a jak se tyto zeminy liší. Dále by bylo možné vyzkoušet, jak se bude chovat zemina o různých koncentracích tohoto minerálu.

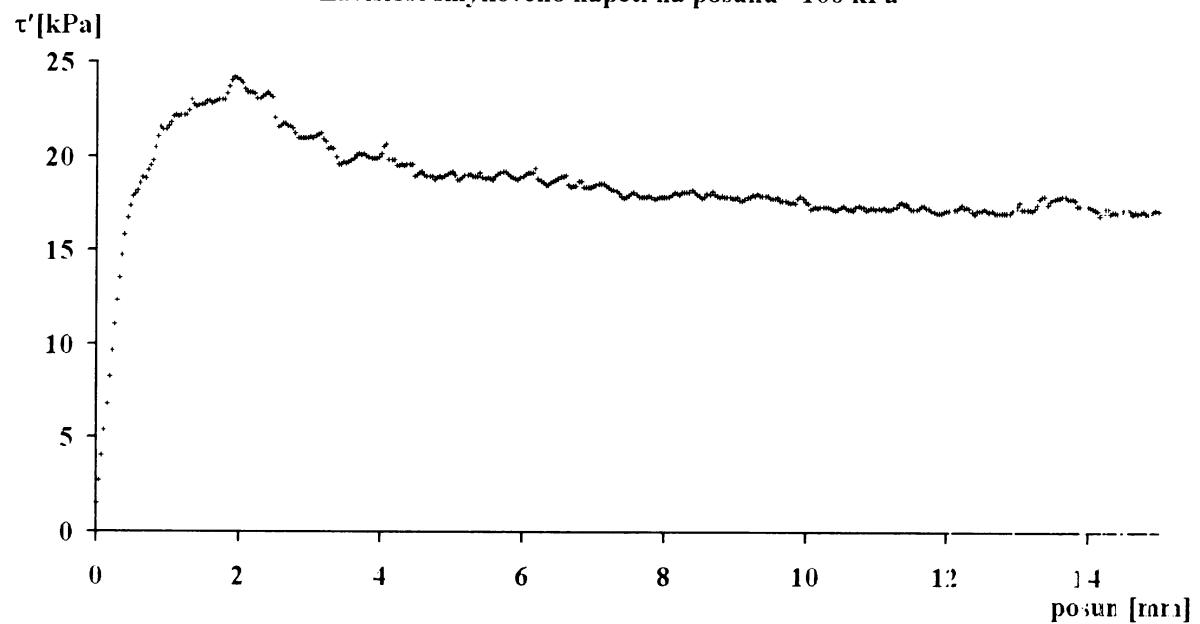
8. POUŽITÁ LITERATURA

- Atkinson, J. H., Bransby, P. L. (1978): The Mechanics of Soils. An Introduction to Critical State Soil Mechanics. McGraw-Hill Book Company, Berkshire.
- Atkinson (1984): Rates of loading in drained and undrained stress path and triaxial tests. Technical report, City University, GERC. Ref. No. GE/84/1.
- Atkinson, J. (1993): An introduction to the mechanics of soil and foundations through critical state soil mechanics. McGraw-Hill Book Company. Berkshire.
- Bíba, L. (2005): Stanovení kritické a reziduální pevnosti zemin. MS. PřF UK, Praha.
- ČGÚ (1987): Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin. Praha.
- Hvorslev, J. (1937): Über die festigkeitseigenschaften gestörter bindiger böden. Institute für bodenmechanik und felsmechanik, Karlsruhe.
- ISSMGE (1998): Recommendations of the ISSMGE For Geotechnical Laboratory Testing. Deutsches Institut für Normung e.V.
- Mitchell, J. K. (1993): Fundamentals of soil behavior, 2nd edition. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Myslivec, A., Eichler, J. a Jesenák, J. (1970): Mechanika zemin. SNTL, Praha.
- Najser, J. (2004): Použití rotačního smykového přístroje. Reziduální pevnost zemí i. MS. Diplomová práce, PřF UK, Praha.
- SGG (2005): Dálnice D3 0306 – část D – svah – ŘSD. MS. Zpráva. České Budějovice.
- Singer, A., Galan E. (1984): Palygorskite – Sepiolite Occurrences, Genesis and Uses. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Skempton, A. W. (1964): Long-term stability of clay slopes. Géotechnique 14, No. 2, 77-102.
- Šimek, J., Jesenák, J., Eichler, J., Vaníček, I. (1990): Mechanika zemin. SNTL, Praha.

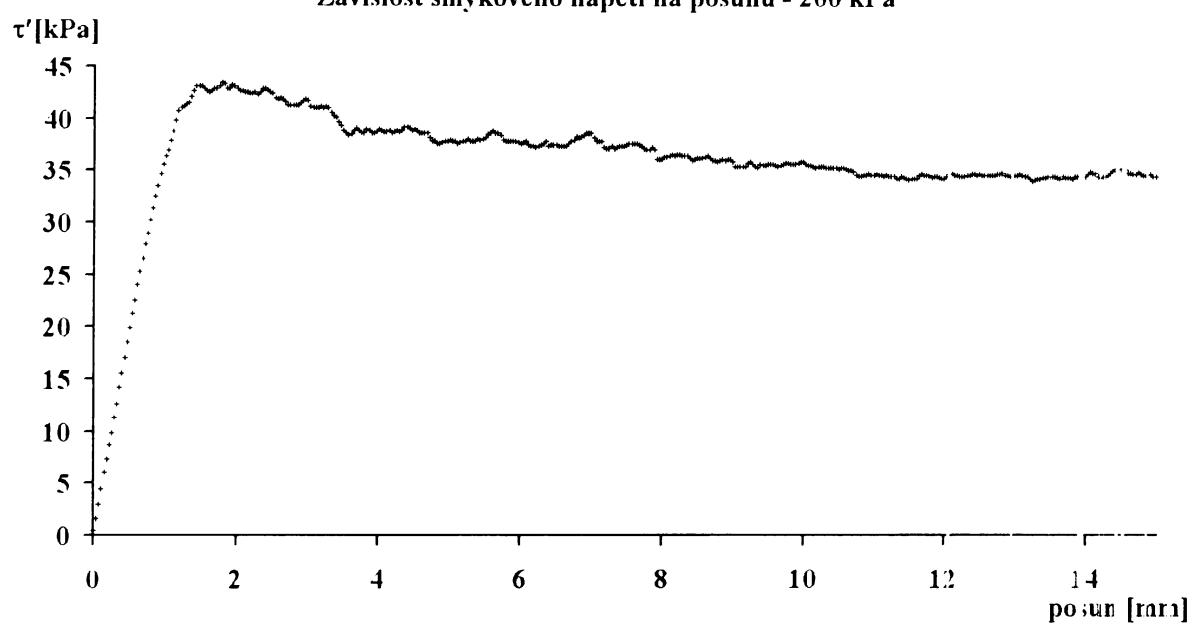
PŘÍLOHA Č. 1 - Kruhový smykový přístroj – pracovní diagramy



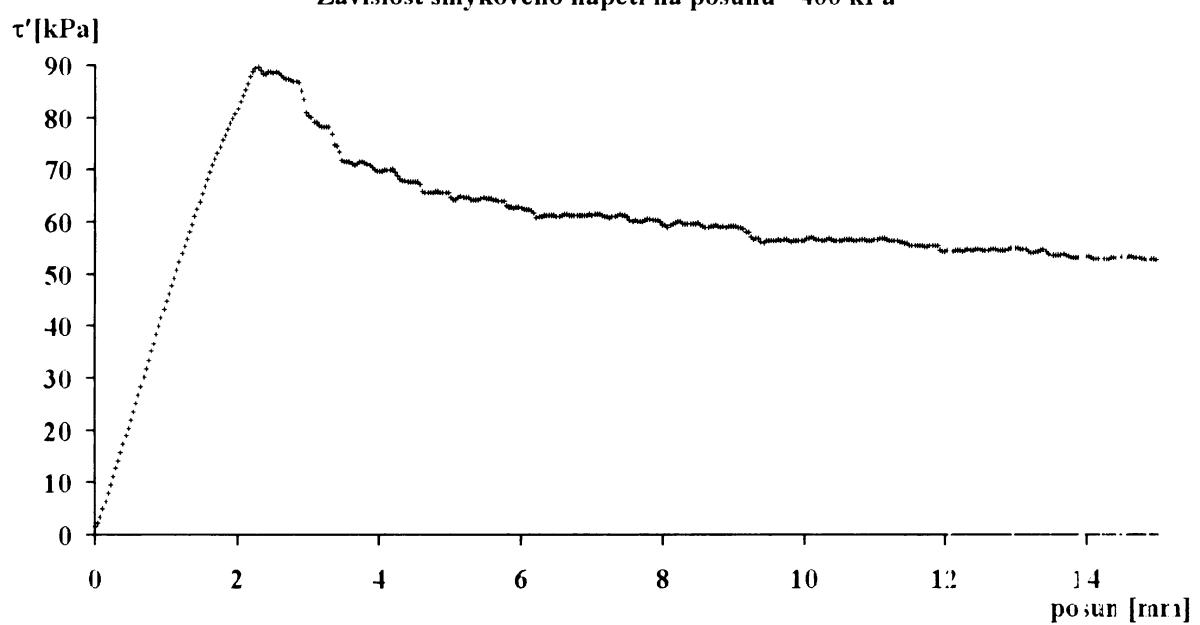
Závislost snykového napěti na posunu - 100 kPa



Závislost snykového napěti na posunu - 200 kPa

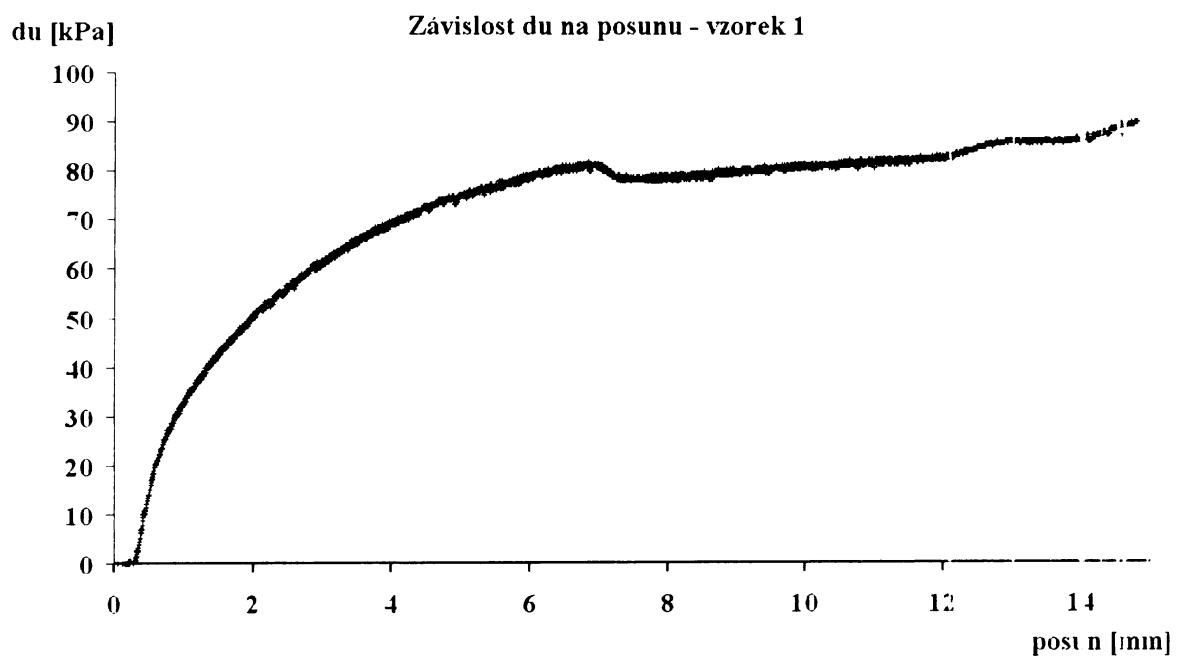
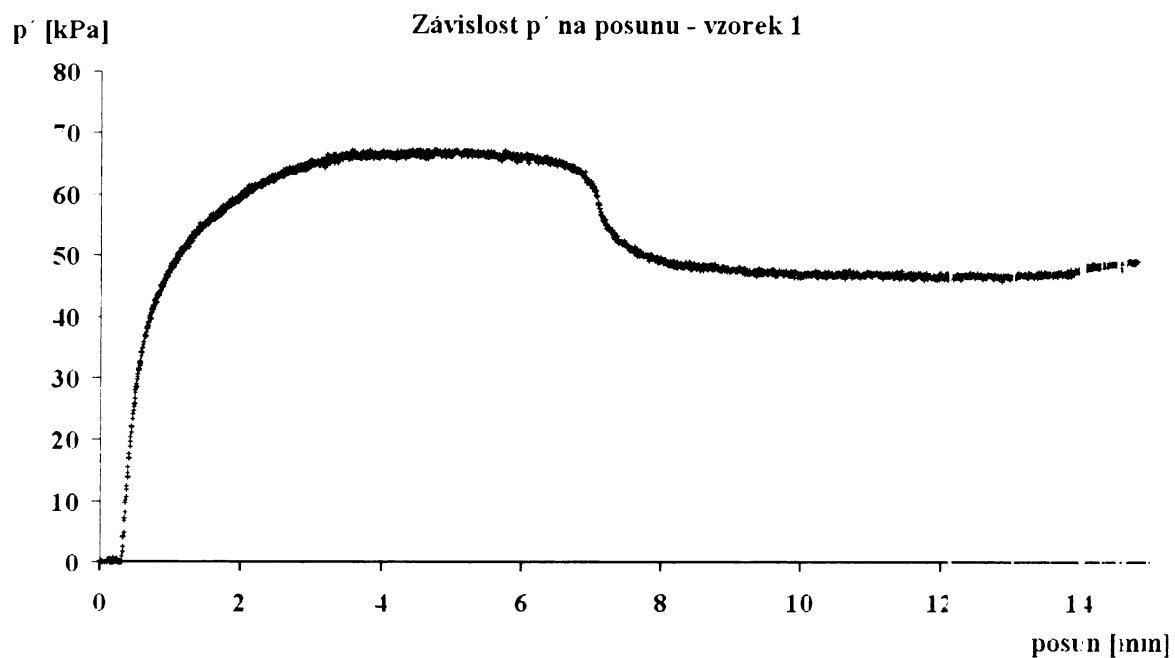


Závislost smykového napětí na posunu - 400 kPa

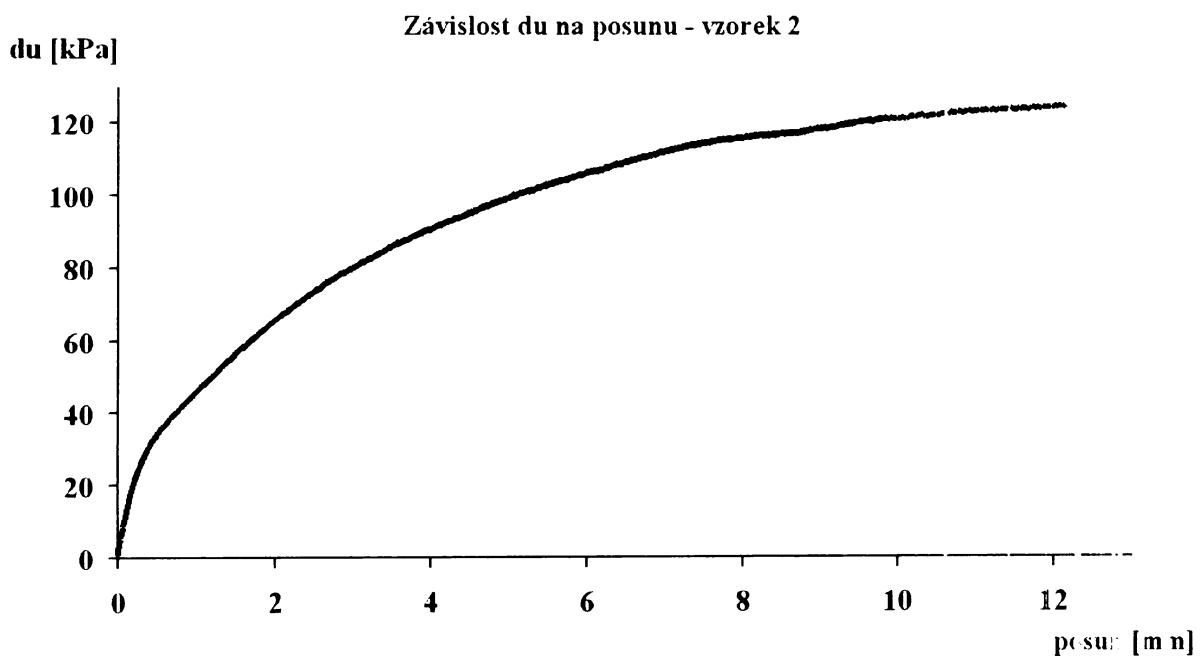
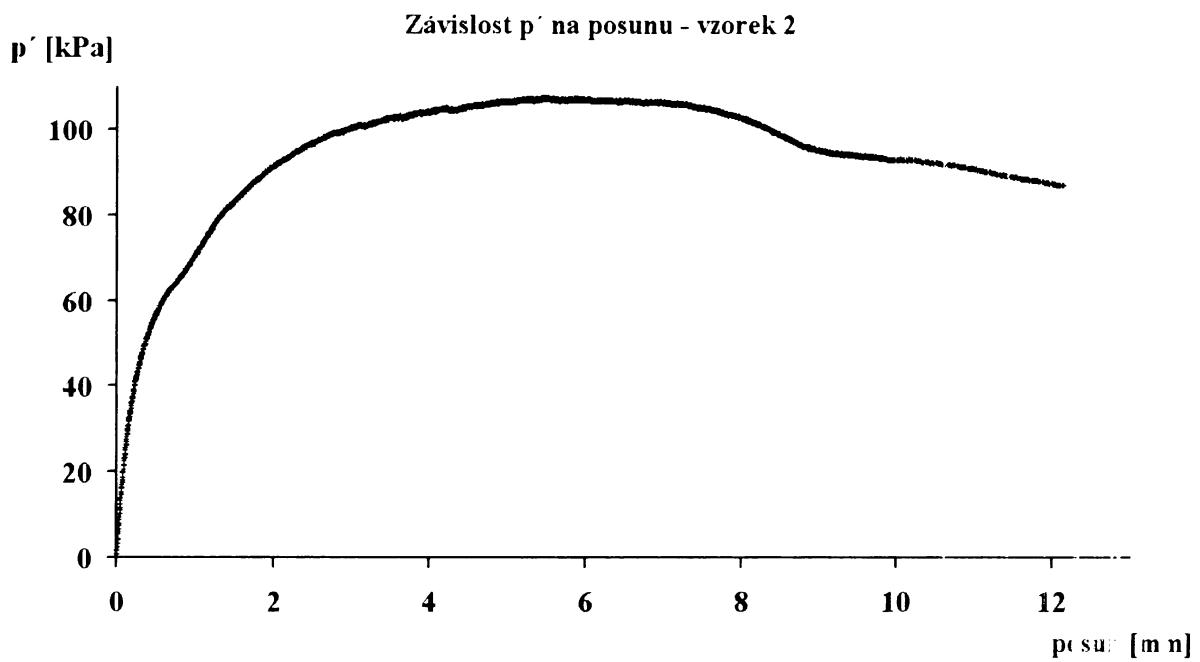


PŘÍLOHA Č. 2 - Grafy z triaxiálního přístroje

Počáteční efektivní napětí 200 kPa

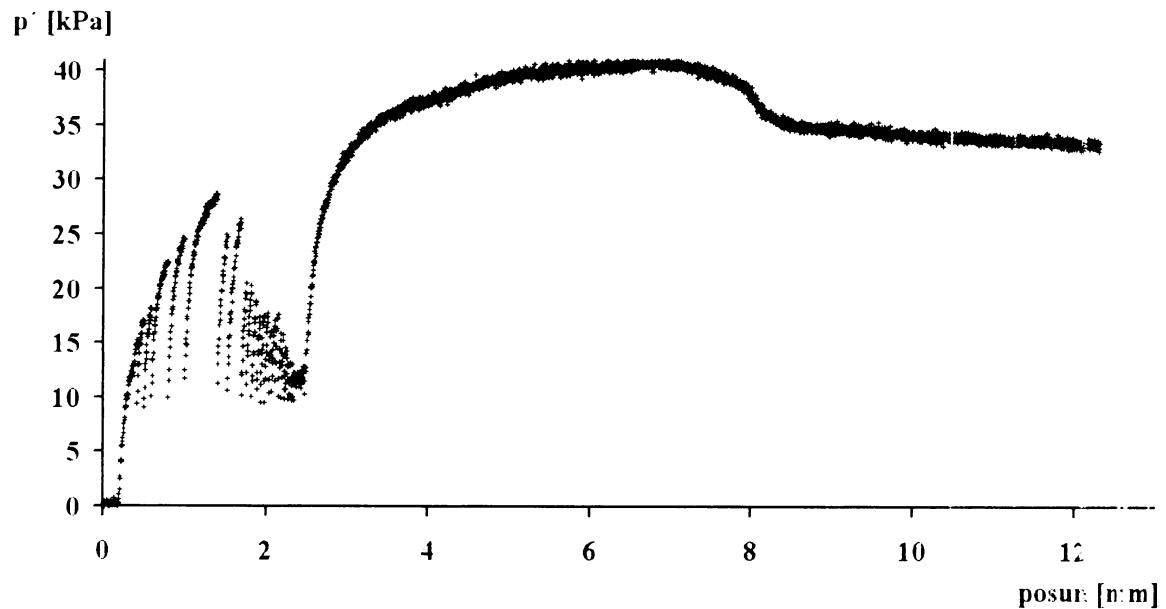


Počáteční efektivní napětí 275 kPa

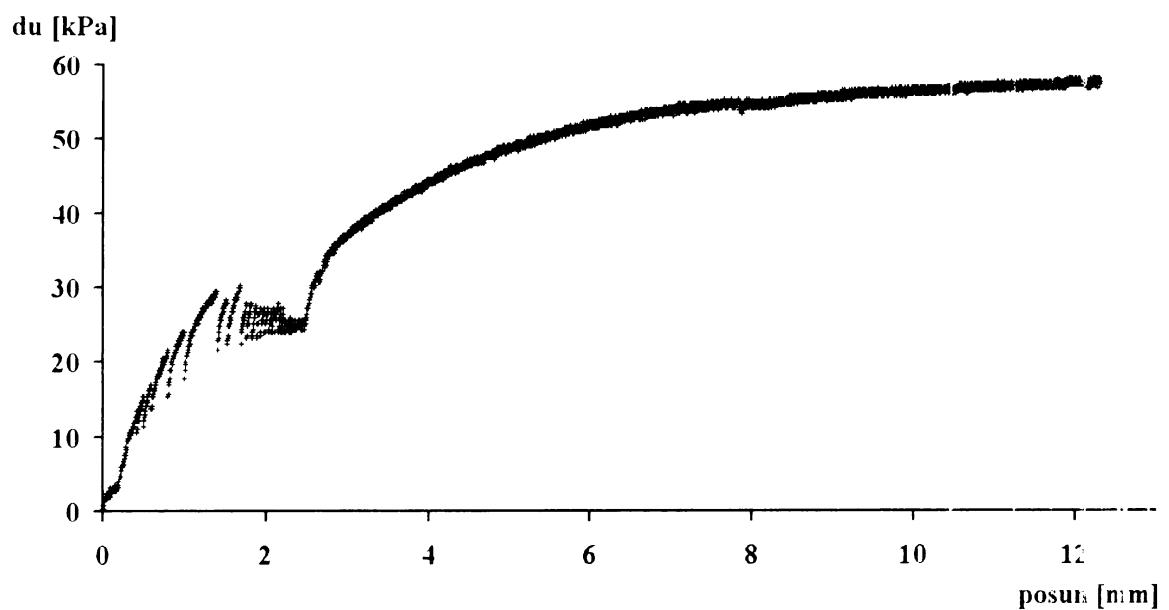


Počáteční efektivní napětí 100 kPa

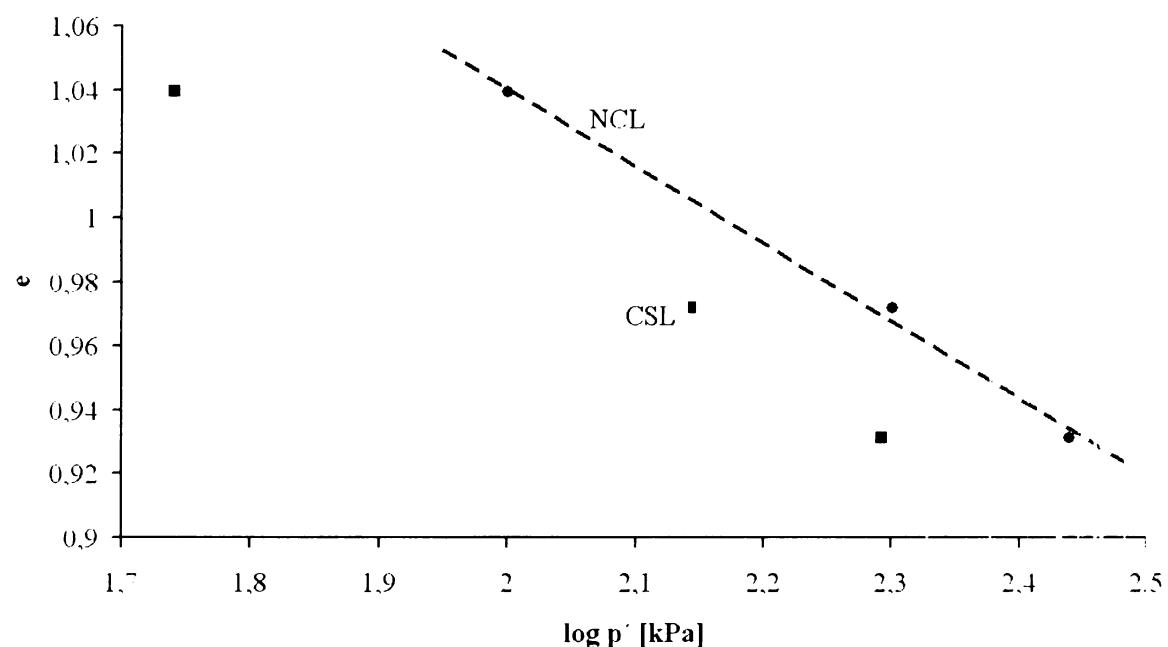
Závislost p' na posunu - vzorek 3



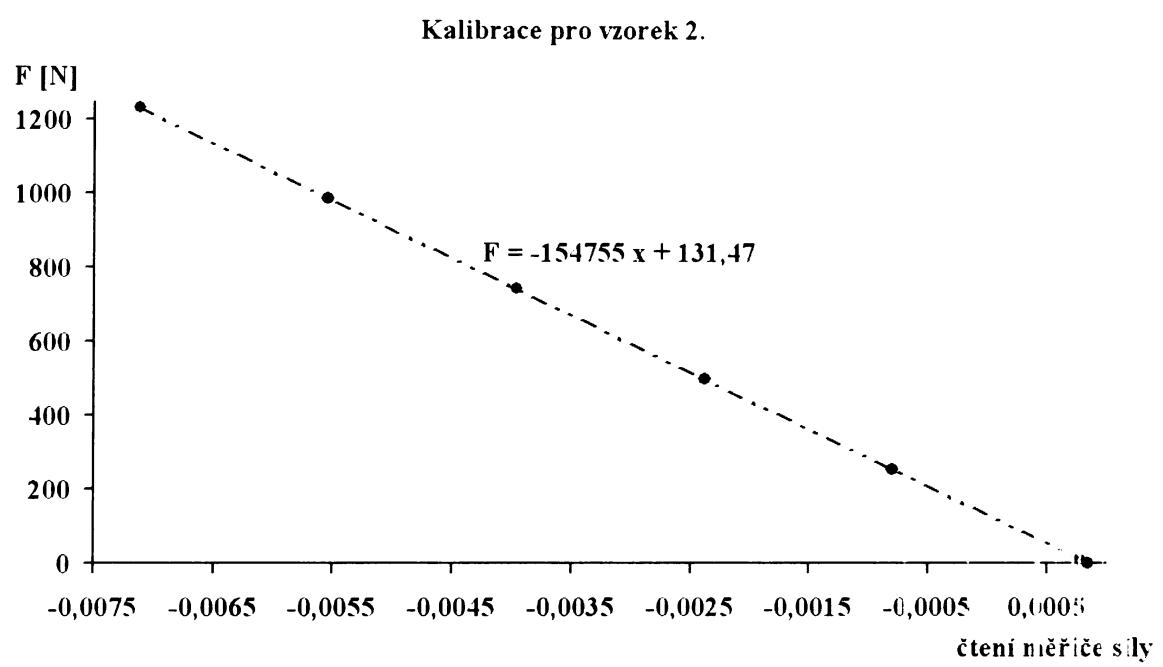
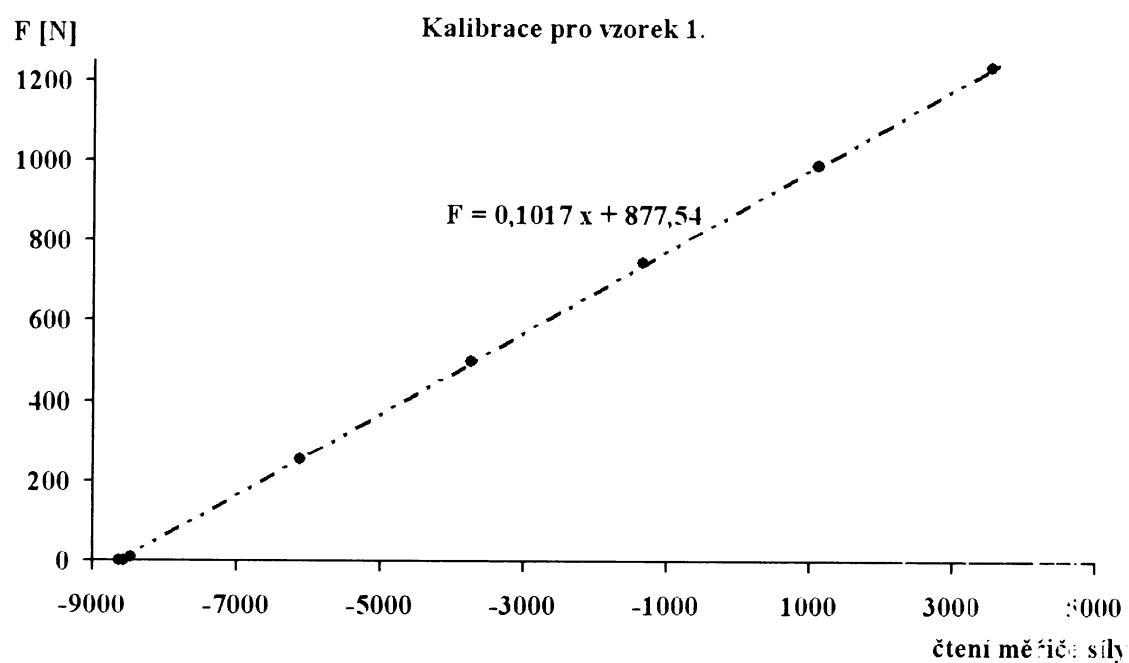
Závislost du na posunu - vzorek 3



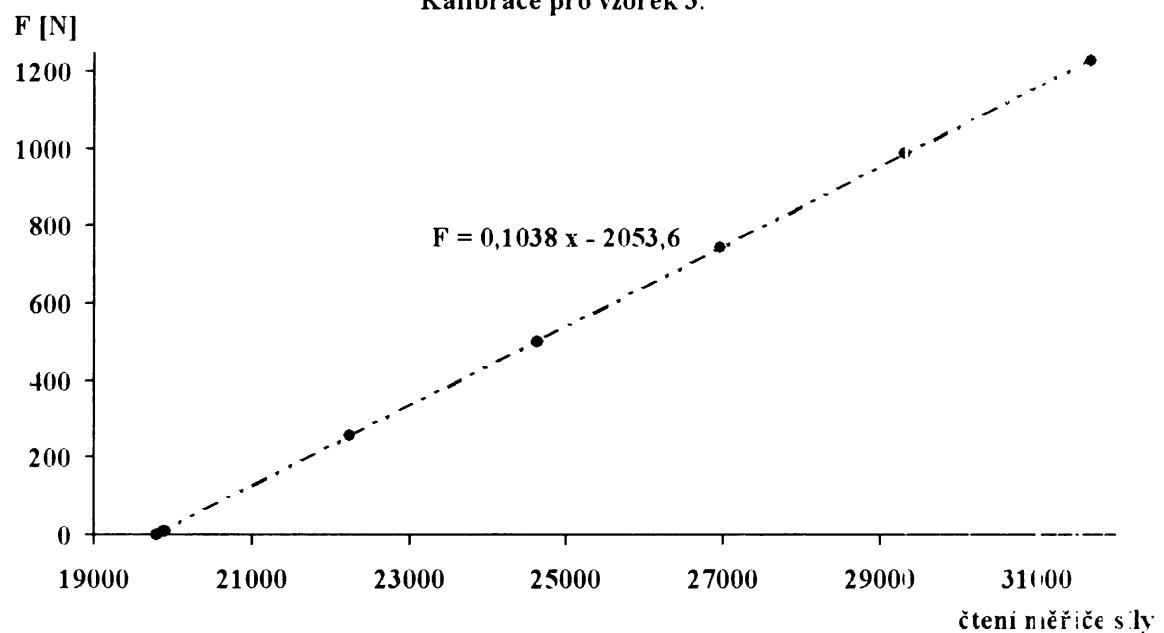
PŘÍLOHA Č. 3



PŘÍLOHA Č. 4 - Kalibrace pro měřič síly



Kalibrace pro vzorek 3.

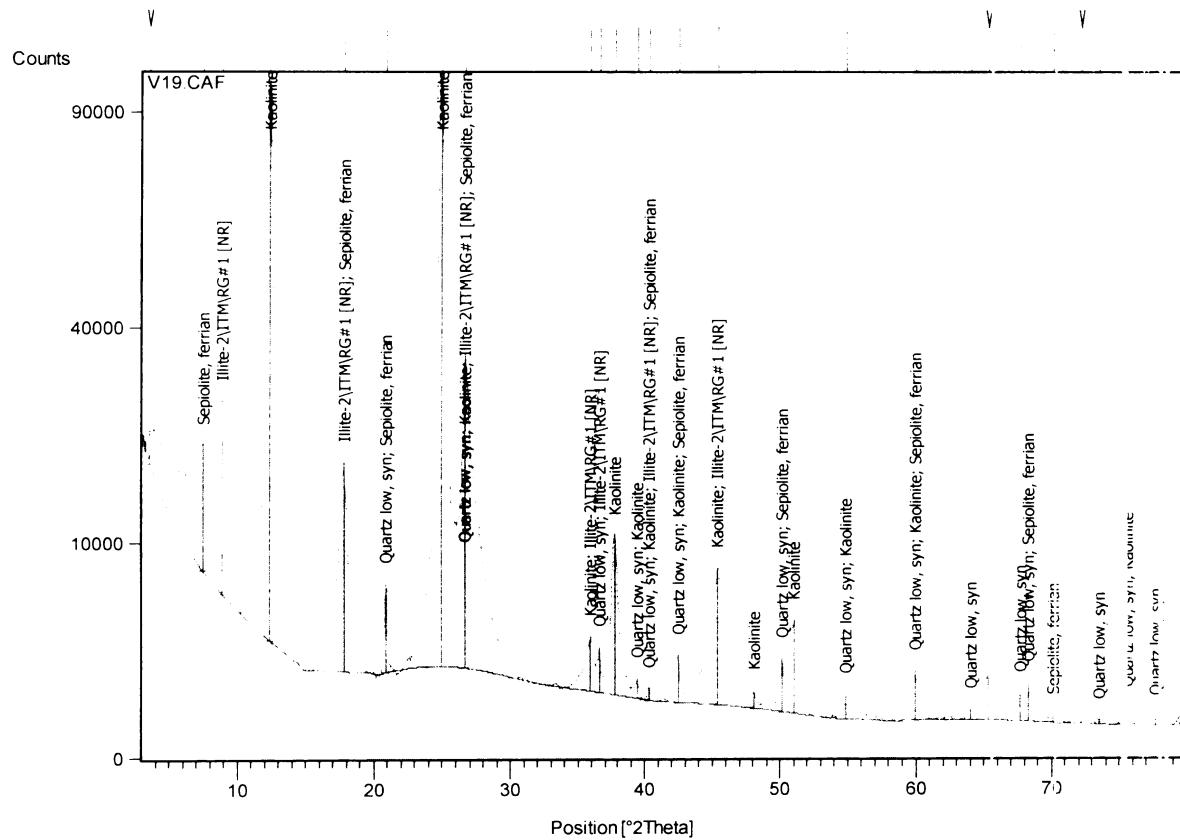


PŘÍLOHA Č. 5 – Analýza materiálu

Measurement Conditions:

Sample Identification	V19
Measurement Date / Time	9.8.2006 14:34:48
Operator	Petr Drahota
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	3,0190
End Position [°2Th.]	79,9690
Step Size [°2Th.]	0,0500
Scan Step Time [s]	200,0250
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2,12
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [°C]	25,00
Anode Material	Cu
Generator Settings	40 kV, 30 mA
Goniometer Radius [mm]	240,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

Peak List:



Analyze View:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
3.5961	4458,11	0,5904	24,57008	4,44
7,4629	13882,74	0,5904	11,84601	13,84
8,8901	22058,11	0,2952	9,94721	21,99
12,3583	95331,72	0,4428	7,16231	95,03
17,7979	17423,91	0,3444	4,98368	17,37
20,8787	5030,81	0,1476	4,25474	5,01
24,9356	100316,80	0,4428	3,57095	100,00
26,6703	33613,54	0,3936	3,34250	33,51
35,9371	2193,80	0,3936	2,49903	2,19
36,5639	1713,16	0,1968	2,45761	1,71
37,8009	9848,55	0,4428	2,37999	9,82
39,4783	646,03	0,1968	2,28264	0,64
40,3115	335,87	0,2460	2,23737	0,33
42,4637	1652,22	0,1968	2,12882	1,65
45,3972	7191,62	0,3936	1,99785	7,17
48,0626	468,71	0,1476	1,89310	0,47
50,1248	1686,13	0,1968	1,81994	1,68
51,0068	3670,61	0,3936	1,79052	3,66
54,8632	581,47	0,2460	1,67344	0,58
59,9126	1315,03	0,2952	1,54391	1,31
63,9997	195,38	0,1968	1,45483	0,19
65,3074	1118,73	0,4428	1,42882	1,12
67,6730	597,97	0,1476	1,38452	0,60
68,2808	932,07	0,2952	1,37367	0,93
70,0871	130,91	0,4920	1,34263	0,13
72,2020	113,11	0,6888	1,30842	0,11
73,4902	66,76	0,2952	1,28864	0,07
75,5981	312,54	0,1476	1,25786	0,31
77,6365	150,16	0,3600	1,22884	0,15

Pattern List:

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
03-065-0466	76	Quartz low, syn	0,000	0,329	Si O ₂
00-005-0143	26	Kaolinite	0,000	0,213	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
00-026-0911	39	Illite-2\ITM\RG#1 [NR]	0,000	0,270	(K , H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂
00-029-0863	38	Sepiolite, ferrian	0,000	0,249	(Mg , Fe) ₄ Si ₆ O ₁₅ (OH) ₂ H ₂ O