

Ing. Lenka Štrbářová, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a .s., Most
Ing. Jan Kurka, CSc. – AZ Consult, spol.s r.o.

Problematika stanovení pevnostních parametrů cyprisových jílovců

Die Problematik der Bestimmung von Festigkeitsparametern von Cypris- Tonsteinen

Der Beitrag macht bekannt mit den Teilergebnissen der Lösung der Grantaufgabe Nr. 105/03/0992 GA ČR „Direkte Komparation der Ergebnisse der geotechnischen Terrainmessung und Ergebnisse der Labormessung auf dem Dreiaxialgerät“ durch dessen Dreiaxialteil. Es sind weiter Ergebnisse und Bewertung der Bestimmung von Festigkeitsparametern von Cypris-Tonsteinen durch CIUP-Versuche angeführt: isotropisch konsolidierten Probenahmen, bei dem Gleiten, nicht entwässert mit Messung des Porenwasserdruckes.

Definition of Strength Parameters in Cypress Clay Stones

The report informs about the partial results of the grant task analysis No. 105/03/0992 GA ČR “Direct comparison of field geotechnical measurement and laboratory measurements results in a triaxial instrument respectively its „triaxial” parts. It contains the results and evaluation of strength parameters definition in cypress clay stones with the CIUP tests: isotropic-consolidated samples, unconsolidated in sliding measuring pore pressure.

Проблематика определения параметров крепости циприсных аргиллитов

Статья знакомит с частичными результатами решения грантового задания номер 105/03/0992 Грантовой Агентуры Чешской Республики Прямая компарация результатов геотехнических измерений в местности и результатов лабораторных измерений на трехосевом аппарате. Приводятся результаты и оценка определения параметров крепости циприсных аргиллитов на базе испытаний типа CIUP- изотропически сконсолидированные образцы, в ходе срезывания необезвоженные, с измерением пористого давления.

Problematika stanovení pevnostních parametrů cyprisových jílovců

Příspěvek seznamuje s dílčími výsledky řešení grantového úkolu č. 105/03/0992 GA ČR „Přímá komparace výsledků terénního geotechnického měření a výsledků laboratorních měření na triaxiálním přístroji“ a to jeho „triaxiální“ částí. Obsahuje výsledky a zhodnocení stanovení pevnostních parametrů cyprisových jílovců zkouškami typu CIUP: izotropně konsolidované vzorky, při smykání neodvodněné s měřením pórového tlaku.)

1. Úvod

Jedním z cílů grantového úkolu 105/03/0992 je řešení problematiky stanovení pevnostních parametrů cyprisových jílovců. K jejich zjišťování se v rámci úkolu používá sondování statickou penetrací a laboratorních triaxiálních zkoušek na vzorcích jader odebraných z vrtů. V konečné fázi řešení úkolu pak budou výsledky dle obou způsobů porovnány a bude hledán vzájemný korelační vztah. Článek se zabývá problematikou triaxiálních zkoušek.

2. Stručná petrografická charakteristika hornin zájmového horizontu

Zájmovým horizontem průzkumu je vrstva o mocnosti cca 20 - 40 m v bezprostředním nadloží sloje Antonín na lokalitě lom Jiří v Sokolovském revíru. Jde o součást cyprisového souvrství tvořeného cyprisovými jílovci.

Skrývkové horniny dolu Jiří, hodnocené v této práci, tvoří výhradně zelenošedé cyprisové jílovce, nazvané tak dle skořepnatce *Cypris angusta* Reuss. Jde převážně o zelenošedé až žlutohnědé prachovité illiticko – kaolinické jílovce s variabilním obsahem prachovité příměsí. Jsou tenké vrstevnaté, zpravidla silně slídnaté, s bituminózní příměsí. Místy obsahují zbytky obratlovců, ryb a planktonu. Celková mocnost cyprisového souvrství dosahuje až 180 m, hodnocený horizont tedy tvoří jeho nejstarší a nejkompaktnější část. V hodnocené vrstvě se vyskytují čočky velmi pevných karbonátů tvořené sideritem a ankeritem, které nejsou předmětem hodnocení.

Dle chemicko – petrografického hodnocení vzorků cyprisových jílovců kolísá obvykle obsah jílových minerálů v rozmezí 70 – 90 %, obsah klastického křemene v rozmezí 10 – 15 % a obsah karbonátů v rozmezí 0,2 – 10 %. Prachovité jílovce místy přecházejí v karbonatické jílovce s obsahem karbonátu až 20 – 30 %. Nejčastěji se vyskytujícím karbonátem je siderit.

Hodnocený horizont je tedy petrograficky značně monotónní. S hloubkou často stoupá podíl sideritu ve vzorcích, což je makroskopicky nerozlišitelné a neprojevuje se příliš významně ani na hodnotách pevnosti v prostém tlaku.

3. Materiál

Zkoumaný materiál byl odebrán ve formě celistvých kusů vrtných jader o průměru 134 mm několik desítek cm dlouhých. Hloubka odběru se pohybovala v rozmezí 7,5 m až 16,8 m. Nutno dodat, že hloubky nejsou původní. V místě vrtu se před 8 až 10 lety nacházel vrch a tak původní nadloží v místě vrtů bylo přibližně 82 m. Válečky pro měření v triaxiálním smykovém přístroji byly připraveny ořezáním z původního materiálu.

4. Indexové vlastnosti

Dle křivky zrnitosti a konzistenčních mezí se zkoušené jílovce řadí podle ČSN 73 1001 ke třídě F8 – jemnozrnné zeminy, jíl s velmi vysokou plasticitou, pevné až tvrdé konzistence. Přirozená vlhkost se pohybovala v rozmezí 22 až 28 %, pórovitost 38 až 44 %, stupeň nasycení před zkouškou 97 až 100 %. Průměrná vlhkost na mezi tekutosti w_L byla 78 %, číslo plasticity I_p 50 %, obsah jemných částic 99,5 %, obsah jílové složky v rozmezí 5 až 11 %.

5. Srovnávací triaxiální zkoušky

V textu jsou použity tyto symboly:

značka	veličina	jednotka	vzorec
σ_1	osové napětí	kPa	$P/A + \sigma_3$
σ_3	komorový tlak	kPa	-
$\sigma_1 - \sigma_3$	deviátor hlavních napětí	kPa	P/A
P	osová síla	kN	-
A	průřez vzorku	m ²	-
u	pórový tlak	kPa	-
φ	úhel vnitřního tření	°	-
φ_{ef}	efektivní úhel vnitřního tření	°	-

a. Souhrn výsledků

Ve dvou zkušebních laboratořích – VÚHU, a. s., Most a Stavební geologie, a. s., GEOTECHNIKA Praha - bylo v rámci srovnávacích zkoušek proměřeno zkouškami typu CIUP celkem 12 válečků o průměru 38,1 mm (výšce přibližně 76,2 mm). Použité komorové tlaky byly 200 kPa (210 kPa), 300 kPa a 500 kPa. Vzorky byly v průběhu konsolidace dosycovány tlakem 80 kPa. Rychlost deformace v ose z byla 0,0005 mm/min. V průběhu smykání byly odvodňovací kohouty uzavřeny a vlastní smyk probíhal za měření pórového tlaku.

Tab. 1 Přehledná tabulka odebraných vzorků

hloubka odběru (m)	použitý komorový tlak (kPa)
7,50 – 7,80	300
10,30 – 10,70	210, 210
12,00 – 12,40	500
12,40 – 12,80	200, 300, 500
16,00 – 16,40	200, 300
16,40 – 16,80	200, 300, 500

Přestože makroskopicky byly vzorky z přibližně srovnatelného jílovce, který je rovněž geneticky totožný, ukázalo se, že celou skupinu nelze vyhodnotit jako jeden celek. Příčiny jsou rozebírány v následujících odstavcích.

b. Rozbor jednotlivých vlivů

I. Příprava zkušebních vzorků

Válcové zkušební vzorky se připravovaly z vrtného jádra vyřezáváním. První vzorky ve VÚHU byly vyřezávány bez použití vyřezávacího stolku s otočnou podstavou a na výsledcích se to projevilo vyšší mírou porušení vlivem přípravy. Některé válečky bylo z tohoto důvodu dokonce nutné vyřadit z vyhodnocení. Po zavedení vyřezávacího přípravku se kvalita zkušebních vzorků významně zvýšila.

II. Charakteristika ploch porušení

Jílovce v sokolovské pánvi jsou charakteristické přítomností mnoha ploch oslabení, podle nichž se odlehčená zemina rozpadá na úlomky tvaru střepin o rozměrech jednotek cm až dm. Směry ploch oslabení nejsou pravidelné a jejich původ je jednak tektonický (kluzné plochy), kdy vzájemným posunem geologických celků vznikaly plochy s vyhlazeným povrchem a rýhami ve směru pohybu (obr. 1), další trhliny vznikají v důsledku odlehčení (viz další kapitola).

III. Překonsolidace

Vzorky procházely dlouhodobě významnými změnami napjatosti jakožto součást masivu nadložních vrstev, jejichž mocnost byla postupně snižována skrývkou. Přibližný časový průběh skrývání nadložních vrstev v místě uskutečněného vrtu je uveden v tab. 2. Celkově bylo odtěženo 82 m nadloží.

Tab. 2 Časový průběh skrývky

pořadové č.skrývky	mocnost (m)	uplynulá doba (roky-vztaženo k roku 2003)
1	20	8
2	15	6
3	10	5
4	15	3
5	15	3
6	7	1

V důsledku toho docházelo dlouhodobě k poklesu svislého geostatického napětí, avšak vodorovné napětí zůstává z velké části zachováno. To má podstatný vliv na výsledek. Časový faktor snižování mocnosti nadloží pak ovlivňuje rozvoj odlehčovacích trhlin. Dále po vyhloubení vrtů a odběru jádra vzorky procházely relativně krátkodobými změnami vlivem odlehčení vyjmutím z masivu, konsolidací a zatěžováním. Jednotlivé stavy se pokusíme kvantifikovat pomocí hodnot hlavních napětí a zobrazit formou dráhy efektivních napětí na obr. 2:

A. původní stav:

hloubka daná mocností skrytých vrstev (82 m za 8 let) a hloubkou odběru ve vrtu (7,5 až 16,8 m) činí 89,5 až 98,8 m – v průměru uvažujeme 94 m, hladinu podzemní vody uvažujeme v hloubce $h_w=5$ m pod původním terénem.

$$\sigma_{1or} = h \cdot \gamma_n - (h - h_w) \cdot \gamma_w$$

při $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$ a $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ je $\sigma_{1or} = 990 \text{ kPa}$

$$\sigma_{3or} = \sigma_{1or} \cdot K_0$$

při odhadu průměrného $\phi_{ef} = 25^\circ$ je $\sigma_{3or} = 572 \text{ kPa}$.

B. čerpání vody z uhelné sloje:

v důsledku čerpání došlo ke snížení hladiny až pod úroveň odběru vzorků, $h - h_w = 0$

$$\sigma_1 = h \cdot \gamma_n = 1880 \text{ kPa}$$

$$\sigma_3 = 1085 \text{ kPa}$$

C. těžba skrývky:

$h = 12 \text{ m}$ $\sigma_1 = 240 \text{ kPa}$

σ_3 zůstává teoreticky v plné výši z předcházejícího stupně = 1085 kPa. Pokud uvažujeme se zachováním velikosti vodorovného napětí, pak se v určitém okamžiku konstantní vodorovné hlavní napětí vyrovná klesajícímu napětí svislému (dotek dráhy napětí s vodorovnou osou mezi body B a C) a pak se vodorovné napětí stane větším z hlavních napětí (případ přestává mít osovou symetrii shodnou s předchozím stavem, což zde zanedbáme). Z porovnání bodu C s mezní obálkou, resp. spojnicí vrcholů kružnic je zřejmé, že při odlehčování (dráha napětí $K\delta \rightarrow -\infty$) došlo k překročení pevnosti ve vzorku. To se právě projeví ve formě vzniku systému odlehčovacích trhlin typických pro překonsolidované materiály.

D. odběr vzorku:

všechna totální hlavní napětí klesají na nulu, efektivní napjatost ve vzorku je vytvářena všesměrným negativním pórovým tlakem. Za předpokladu, že pórový podtlak by byl tak velký, aby oktaedrická napjatost zůstala zachována by bylo $\sigma_1 = \sigma_3 = 804 \text{ kPa}$. Tak vysoký podtlak pravděpodobně nevznikne, do vzorku částečně pronikne vzduch a pórový podtlak se sníží – odhadujeme jej na 300 kPa.

E. konsolidace v triaxiální komoře:

jako příklad bereme vzorek konsolidovaný izotropně komorovým tlakem 500 kPa při syticím tlaku 80 kPa, $\sigma_1 = \sigma_3 = 420 \text{ kPa}$.

F. smykání:

při porušení byly naměřené hodnoty $\sigma_1 = 976 \text{ kPa}$, $\sigma_3 = 389 \text{ kPa}$, bod F se dotýká spojnice vrcholů Mohrových kružnic pro parametry $\varphi_{ef} = 19^\circ$, $c_{ef} = 75 \text{ kPa}$.

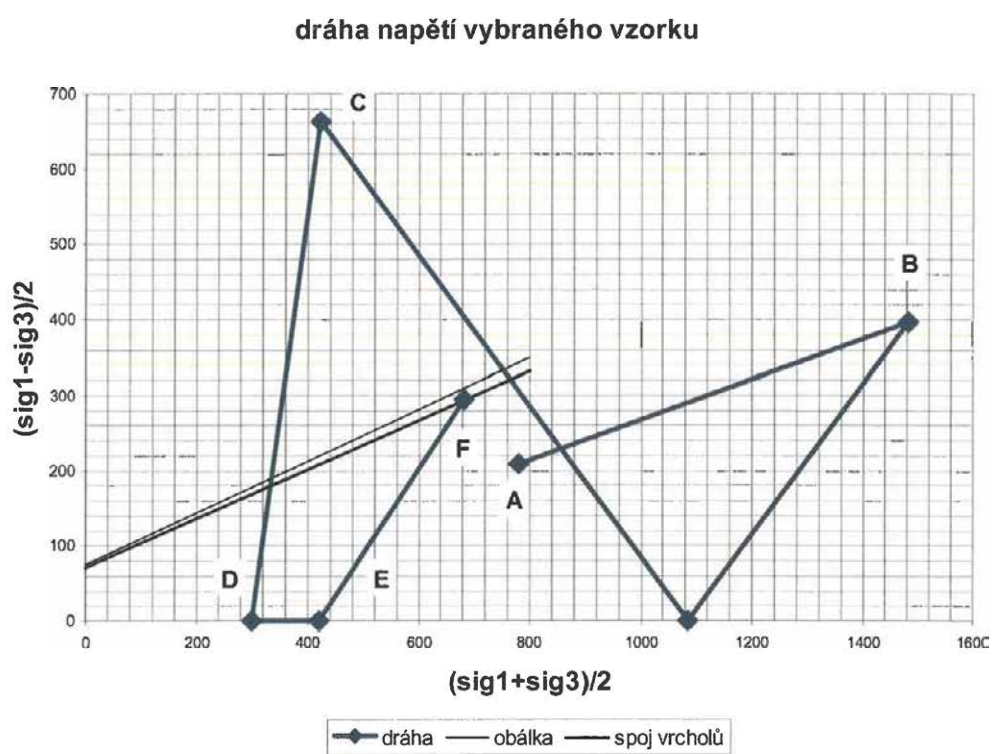
Je zřejmé, že vliv překonsolidace na chování vzorku a výsledné pevnostní parametry je velmi významný.

IV. Vývoj pórových tlaků

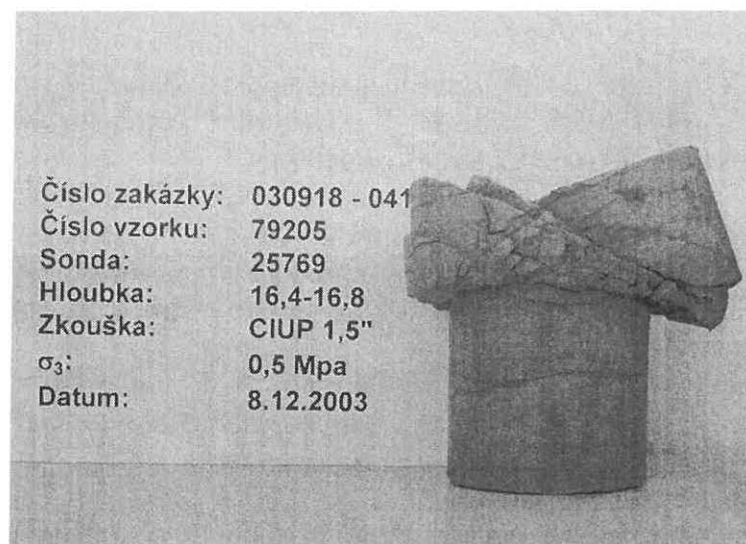
U pórových tlaků měřených v průběhu smykání se obvykle projevil nárůst po zahájení smykání (pozitivní tlaky), nejvyšší hodnoty pórového tlaku bylo obvykle dosaženo před deformací odpovídající maximálnímu deviátoru. Nebyla zjištěna přímá souvislost mezi velikostí a průběhem naměřeného pórového tlaku a velikostí komorového tlaku, byl však vypořádán vliv místa vzniku smykové plochy na měřené hodnoty. Například u válečku na obr. 3 došlo k porušení u podstavy (horní) na opačné straně oproti podstavě s měřidlem pórového tlaku (dolní). Přes rychlost smykání 0,0005 mm/min. se omezení oblasti rozvoje pórového tlaku vlivem smykání projevilo významně na výsledku. Velikost pórového tlaku byla nižší než se předpokládalo a i vývoj neodpovídal ostatním vzorkům.



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3

6. Zhodnocení výsledků

Ze zhodnocení jednotlivých vlivů vyplývá, že ve skupině výsledků lze vydělit 3 podskupiny, které se navzájem liší. První skupinu tvoří výsledky, které je nutné pro technické závady vyloučit z celkového hodnocení. Příčinou byl jednak výpadek proudu během zkoušky, nadměrné poruchy ve zkušebním vzorku vzniklé při odběru jádra a přípravě zkušebního válečku, resp. porucha snímače osově síly. Druhou podskupinu tvoří válečky, které obsahovaly jednu či několik přirozených ploch oslabení, které se ovšem projeví až v průběhu smykání.

Charakteristickým rysem této podskupiny je, že smyková plocha kopíruje některou z původně skrytých ploch porušení. Typickým příkladem je vzorek smykáný při komorovém tlaku 210 kPa se zřetelně lesklou plochou s rýhami od posunů zjevně nepocházejících z vlastní smykové zkoušky (obr. 1 v kapitole b.II).

Do třetí podskupiny zařazujeme zkušební vzorky, u kterých nebyla zastižena žádná významná apriorní oslabená plocha.

Pracovní diagram vykazuje v průběhu výrazný pevnostní vrchol při malé poměrné deformaci a chování má charakter poloskalní horniny. Příkladem tohoto chování je váleček na obr. 7.

Pokud se do vyhodnocení efektivních parametrů smykové pevnosti narušených zemin zahrne povrcholová (koncová) pevnost intaktního materiálu, lze tyto vzorky přiřadit do předcházející skupiny.

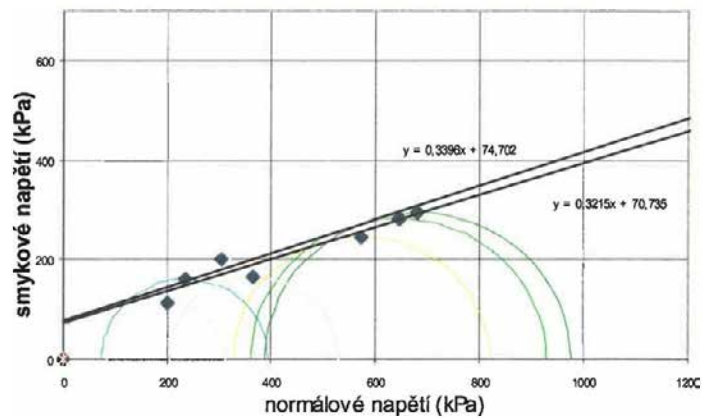
Shrnutí: Po vyloučení technicky pokazených vzorků máme skupinu bez poruch, výsledek z ní můžeme považovat za vrcholové parametry intaktního jílovce a skupinu s poruchami, výsledek z ní můžeme považovat za koncové parametry charakterizující reálné chování masivu prostoupeného četnými trhlinami a poruchami. Obdobně Boháč, Feda (1995).

7. Závěr

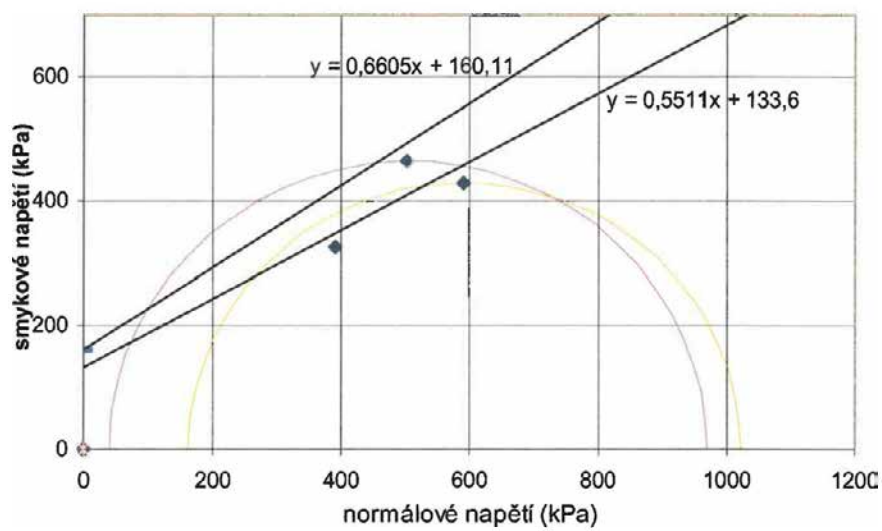
- a) Dle křivky zrnitosti a konzistenčních mezí se zkoušené cyprisové jílovce řadí podle ČSN 73 1001 ke třídě F8 - jemnozrné zeminy, nasycený jíl s velmi vysokou plasticitou pevné až tvrdé konzistence.
- b) Jílovce v sokolovské pánvi jsou charakteristické přítomností mnoha ploch oslabení původu tektonického popř. vzniklých v důsledku odlehčení nebo vlivem nedaleké hlubinné těžby. Procházely dlouhodobě významnými změnami napjatosti jakožto součást masivu nadložních vrstev, jejichž mocnost byla postupně snižována skrývkou.
- c) materiál se chová jako poloskalní hornina s efektivními parametry smykové pevnosti $\phi_{ef} = 33^\circ$ a $c_{ef} = 160$ kPa v oboru napětí 400 až 600 kPa. Pokud ve vzorku narazíme na plochu oslabení, pak jsou parametry nižší: $\phi_{ef} = 19^\circ$ a $c_{ef} = 75$ kPa v oboru platnosti 200 až 700 kPa.
- d) Dvoje parametry lze pro jeden materiál hodnotit jako vrcholové a koncové, což bylo ověřeno zahrnutím koncových parametrů triaxiálních zkoušek intaktního materiálu do vrcholových efektivních parametrů smykové pevnosti narušených zemin: $\phi_{ef} = 18^\circ$ a $c_{ef} = 85$ kPa v oboru platnosti 200 až 700 kPa
- e) Výsledky jsou také ovlivněny značnou překonsolidací ad. III.
Příspěvek vznikl jako dílčí výsledek řešení grantového projektu GA ČR, registrační číslo 105/03/0992. Řešení úkolu pokračuje podle plánu.

Literatura

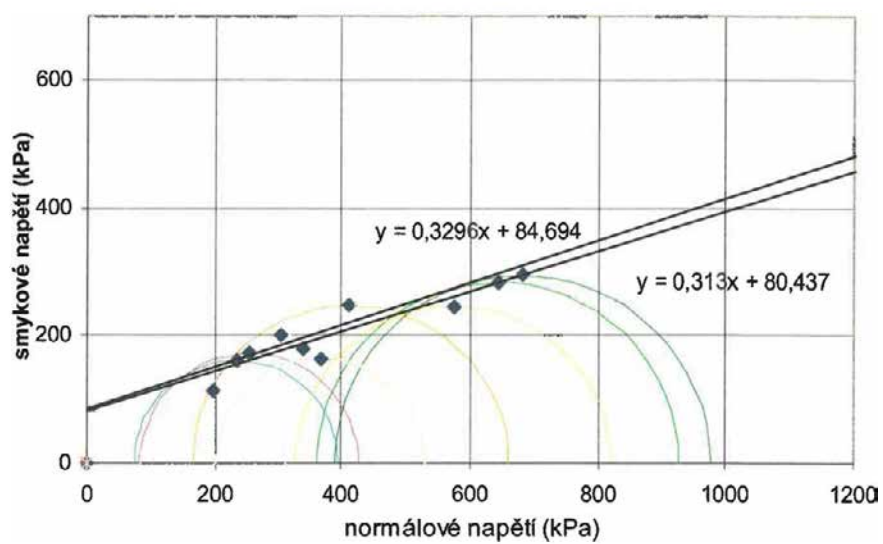
1. Boháč J., Feda J.: Chování rozpukaných třetihorních jíků, 23. ročník Zakládání staveb, Brno 1995, sborník
2. Kurka J.: Vliv dráhy napětí na vlastnosti zemin zkoušených v triaxiálním přístroji, závěrečná zpráva PÚTR 71 84 21, 1986



Obr. 4 Efektivní parametry smykové pevnosti narušených zemin
 $\phi_{ef} = 19^\circ$ a $c_{ef} = 75$ kPa v oboru platnosti 200 až 700 kPa.



Obr. 5: Efektivní parametry smykové pevnosti intaktního materiálu
 $\phi_{ef} = 33^\circ$ a $c_{ef} = 160$ kPa, obor platnosti 400 až 600 kPa



Obr. 6 Efektivní parametry smykové pevnosti narušených zemin doplněné o koncové parametry intaktního materiálu
 $\phi_{ef} = 18^\circ$ a $c_{ef} = 85$ kPa v oboru platnosti 200 až 700 kPa.



Obr. 7