

Ing. Lenka Vaidišová, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

Pevnostní parametry tufitických jílovců Sokolovské pánve

Přijato: 12.8..2005, recenzováno: 1.9.2005

Festigkeitsparameter der tuffitischen Tonsteinen des Beckens von Sokolov

Im Rahmen der Grantaufgabe 831.2 „Direkte Vergleichung der Ergebnisse der geotechnischen Terrainmessung und der Ergebnisse der Labormessungen auf dem Triaxialgerät“ werden einige stratigraphische Bodentyps des Beckens Sokolov untersucht – Zypristonsteine, Tuffitonsteine, und Kippen, die mit den tuffitischen Tonsteinen gebildet sind. Das erste Jahr der Lösung des Grantprojektes war auf die Forschung der Zypristonsteine gerichtet, im Jahr 2004 wurden Eigenschaften der Tuffitonsteine untersucht, dieses Jahr ist auf Kippen orientiert. Dieser Artikel präsentiert interessante Erkenntnisse, die nur auf Basis der Laborforschung der Tuffitonsteine gewonnen wurden. Es wurden triaxiale Gleitversuche mit isotropischer Konsolidierung, im Laufe der Gleitung nicht entwässert, mit der Messung des Porendrucks (CIUP-Typ) und Gleitversuche ohne Konsolidierung, im Laufe der Gleitung nicht entwässert, ohne Messung des Porendrucks (UU-Typ) und begleitende Indexprüfungen durchgeführt.

Strength Parameters of Tuffaceous Claystones of Sokolovská Basin

In the grant project 831.2 „Direct Comparison of Results from Terrain Geotechnical Measurement and Results of Laboratory Measurement on Triaxial Apparatus“ several stratigraphic types of soils from the Sokolovská Basin have been analysed - cypress claystones, tuffaceous claystones and dumps created by cypress claystones. The first year of the grant project solution was focused on the research of cypress claystones, in the year 2004 the properties of tuffaceous claystones were analysed, this year is focused on

dumps. The following article is focused on interesting findings acquired based on laboratory research of tuffaceous claystones. Triaxial shear tests with isotropic consolidation were carried out, not drained during shearing measuring pore pressure (CIUP type) and shear tests without consolidation, not drained during shearing without measuring pore pressure (UU type) and accompanying index tests.

Параметры прочности туфитических аргиллитов Соколовского бассейна

В рамках грантового проекта 831.2 „Непосредственная компарация результатов полевых геотехнических измерений и результатов лабораторных измерений на трехосном приборе“ изучается несколько стратиграфических типов грунтов Соколовского бассейна – циприсовые аргиллиты, туфитические аргиллиты и тела отвалов, образованные циприсовыми аргиллитами. В первом году решения проекта проводились прежде всего исследования циприсовых аргиллитов, в 2004 г. изучались свойства туфитических аргиллитов и в этом году работы ориентируются на отвалы. Статья приносит интересные сведения, полученные только на основе лабораторного исследования туфитических аргиллитов. Проводились трехосевые испытания на срез с изотропической консолидацией (при срезывании необезвоженные), с измерением пористого давления (типа CIUP) и испытания на срез без консолидации (при срезывании необезвоженные), без измерения пористого давления (типа UU) и сопровождающие индексации.

Pevnostní parametry tufitických jílovců Sokolovské pánve

V rámci grantového úkolu 831.2 „Přímá komparace výsledků terénního geotech-

nického měření a výsledků laboratorních měření na triaxiálním přístroji“ je zkoumáno několik stratigrafických typů zemin Sokolovské pánve - cyprisové jílovce, tufitické jílovce a výsypky tvořené cyprisovými jílovci. První rok řešení grantového projektu byl zaměřen na výzkum cyprisových jílovců, v roce 2004 byly zkoumány vlastnosti tufitických jílovců, letošní rok je zaměřen na výsypky.

Následující článek je zaměřen na zajímavé poznatky získané pouze na základě laboratorního výzkumu tufitických jílovců. Prováděly se triaxiální smykové zkoušky s izotropní konsolidací, během smykání neodvodněné, s měřením pórového tlaku (typu CIUP) a smykové zkoušky bez konsolidace, během smyku neodvodněné, bez měření pórového tlaku (typu UU) a doprovodné indexové zkoušky.

Stručná charakteristika zkoumaného materiálu

Zájmovým horizontem průzkumu je vrstva tufitických jílovců o mocnosti cca deseti metrů v bezprostředním podloží slojového pásma Antonín na lokalitě lom Jiří a vrstva cca 25 m u výchozu sloje lomu Družba na katastrálním území Nové Sedlo v Sokolovském revíru.

Podložní horniny, hodnocené v této práci, tvoří šedé, šedomodré, šedohnědé až červenohnědé, místy drobně bíle kropenaté illiticko – kaolinické jílovce s variabilním obsahem montmorillonitu, které ojediněle přecházejí v karbonatické jílovce. Nejčastěji se vyskytujícím karbonátem je siderit.

Zkoumaný materiál byl odebrán ve formě celistvých kusů vrtných jader o průměru 134 mm několik desítek cm dlouhých. Hloubka odběru se pohybovala v rozmezí 12,4 m až 24,1 m v případě podloží slojového pásma Antonín lomu Jiří a do 26 m podloží u výchozu sloje Družba. Válečky pro měření v triaxiálním smykovém přístroji byly připraveny ořezáním z původního materiálu.

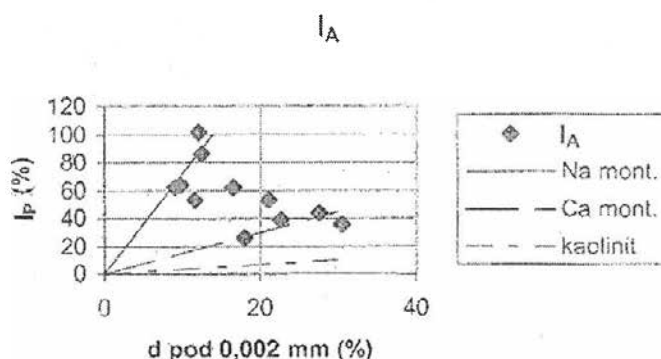
Indexové zkoušky

Z výsledků zkoušek zrnitosti, meze tekutosti, meze plasticity a z výpočtů indexu plasticity a indexu koloidní aktivity jílu I_A (Skempton, 1953 in Vaníček, 1996) definovaného jako poměr indexu plasticity I_p k procentuálnímu podílu zrn o průměru menším než 0,002 mm (jílová frakce) k indexu plasticity $I_A = I_p / (\text{podíl zrn pod } 0,002 \text{ mm})$ byly u několika vzorků stanoveny vysoké hodnoty I_A , což svědčí o přítomnosti nezanedbatelného množství Na – montmorillonitu ve zkoušených jílovcích. Tento jílový minerál má velký specifický povrch, mimořádnou schopnost vázat vodu a díky jeho obsahu je daná zemina vysoce plastická i při relativně malém obsahu jílové frakce a projevují se u ní velké objemové změny při smršťování a bobtnání jako důsledek změn vlhkosti.

Tab. 1 Indexové vlastnosti

Číslo vzorku	Sonda	Hloubka od	w	w _L	w _p	I _p	Podíl d<2μm	I _A	Převládající jílový minerál	Typ zk.
		m	%	%	%		%		montmorill.	
29613	SPDG2	6,0	38,7	77,2	33,3	43,9	27,6	1,59	Ca	UU
29614	SPDG2	8,0	33,0	86,7	33,4	53,3	21,1	2,52	Ca	UU
29615	SPDG2	10,0	31,9	89,5	25,9	63,6	9,8	6,49	Na	UU
29617	SPDG2	14,6	23,1	90,3	28,3	62,0	16,5	3,77	Ca + Na	CIUP
29618	SPDG2	16,2	34,4	89,0	35,7	53,3	11,6	4,59	Ca + Na	CIUP
29621	SPDG2	21,5	38,7	130,2	28,6	101,6	12,1	8,42	Na	CIUP
29623	SPDG2	24,0	40,4	100,7	38,7	62,0	9,1	6,95	Na	CIUP
30063	SP456	13,6	24,2	70,2	31,0	39,2	22,6	1,74	Ca	rekons.CIUP
30064	SP456	14,6	27,8	60,3	24,8	35,5	30,5	1,16	Ca	UU
30065	SP456	16,6	41,3	117,4	31,4	86,0	12,5	6,87	Na	UU
30066	SP456	17,6	13,6	40,9	15,1	25,8	18,0	1,43	Ca	UU

Výsledky zkoušek I_A jsou uvedeny graficky na obr. 1. Vysoký obsah aktivních jílových minerálů byl jednou z hlavních příčin obtíží vznikajících při laboratorním testování.



Obr. 1 Index koloidní aktivity zkoušených zemin

Triaxiální zkoušky CIUP – neporušené vzorky

Z vrtných jader odebraných z tufitických jílovců podloží u výchozu sloje Družba z hloubky 14,6 až 16,5 m a z hloubky 21,5 až 24,4 m bylo pro zkoušky v laboratoři připraveno celkem 13 válečků o průměru 38 mm a dvojnásobné výšce. Zkoušky proběhly z časových důvodů jednak v laboratoři VÚHU v Mostě a v AGE s.r.o. v Praze. Mezi výsledky obou laboratoří nejsou principiální rozdíly, proto nejsou dále děleny na místo zkoušení. Byly použity radiální tlaky od 200 do 500 kPa, sytící tlak 80 kPa.

Výsledky obou zkoušek (obráz. 2) jsou u vrcholové pevnosti na první pohled zcela odlišné, zejména, pokud je hodnotíme pouze z pohledu dosažených parametrů φ_{ef} a c_{ef} . Hledáme-li příčinu rozdílu, můžeme kromě vlivu různé hloubky odběru a tudíž možného rozdílu v druhu zeminy uvažovat i o vlivu obsahu jílových minerálů. Zatímco u první dvojice (29617-8) bylo zjištěno průměrné $I_A = 4,2$, je tento parametr u druhé dvojice (29621-3) 7,7! Dalším, zřejmě rozhodujícím vlivem je fakt, že u relativně pevných materiálů vede běžný rozsah zkušebních komorových tlaků k tomu, že vrcholy

Mohrových kružnic jsou blízko u sebe, tudíž základna pro určení sklonu obálky je krátká a přirozená variabilita vlastností se projeví větší měrou. Pokud bychom shrnuli všechny kružnice do jednoho grafu, pak bychom získali parametry $\varphi_{ef}=33^\circ$ a $c_{ef}=166$ kPa při korelaci $R^2=0,85$ a kdybychom navíc vyřadili z vyhodnocení vybočující váleček při $\sigma_3=200$ kPa (29617 – bez výraznějšího vrcholu při průběhu zkoušky patrně z důvodu makroskopicky nezřetelného narušení již před zahájením zkoušky), parametry se budou velmi blížit k výsledku z dvojice (29621-3) $\varphi_{ef}=24^\circ$ a $c_{ef}=284$ kPa při korelaci $R^2=0,78$. Je zřejmé, že za daných podmínek, kdy definiční obor v radiálních napětích je omezený a relativně nízký vůči pevnosti zeminy, hraje pro vyhodnocení parametrů smykové pevnosti každé zahrnuté zkušební tělísko významnou roli.

Povrcholová pevnost může být vyhodnocena jen z omezeného počtu válečků, u kterých dráha smykání byla dostatečně dlouhá. Parametry této pevnosti jsou $\varphi_{efk}=22^\circ$ a $c_{efk}=39$ kPa při dobré korelaci $R^2=0,95$.

Charakteristickým jevem sledovaným prakticky u všech zkoušek je strmý nárůst pórového tlaku při smykání, dosažení maximální hodnoty v blízkosti maxima deviátoru a následný pokles do blízkosti nulových hodnot. Vzhledem k tomu, že výchozí hodnotou byl sytící tlak 80 kPa, jsou koncové hodnoty vlastně relativním podtlakem vůči počátečnímu stavu. Výsledky triaxiálních CIUP zkoušek smykové pevnosti zemin – tufitických jílovců – naznačují, že se tufitické jílovce Sokolovské pánve blíží svými pevnostními vlastnostmi spíše poloskalním horninám, čemuž odpovídá i strmý nárůst deviátorů napětí při jednotlivých zkouškách.

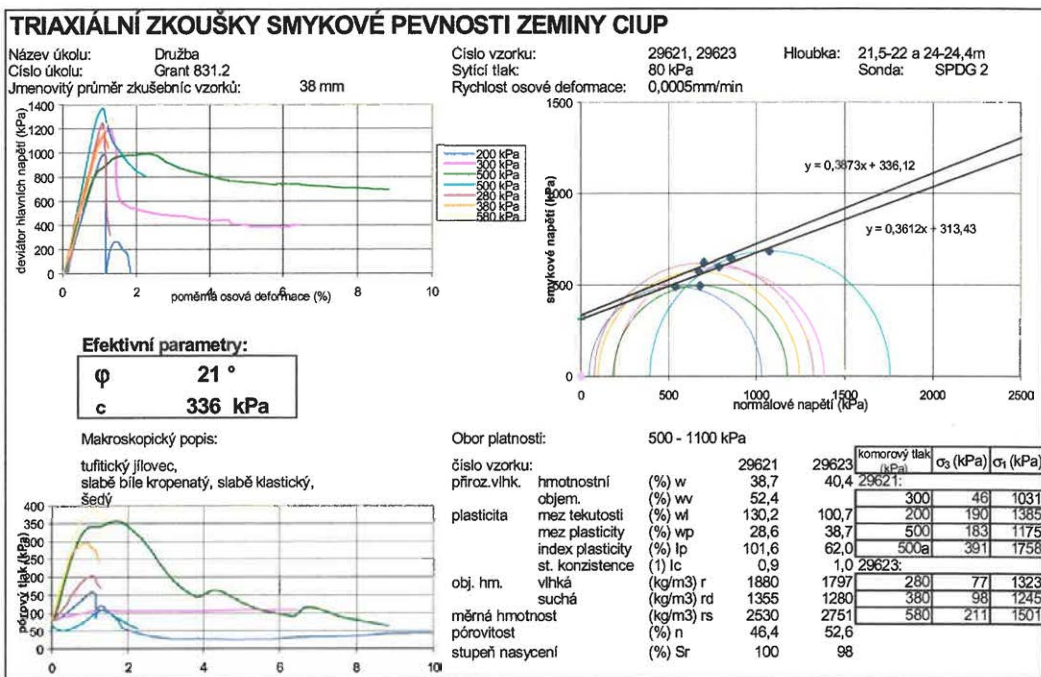
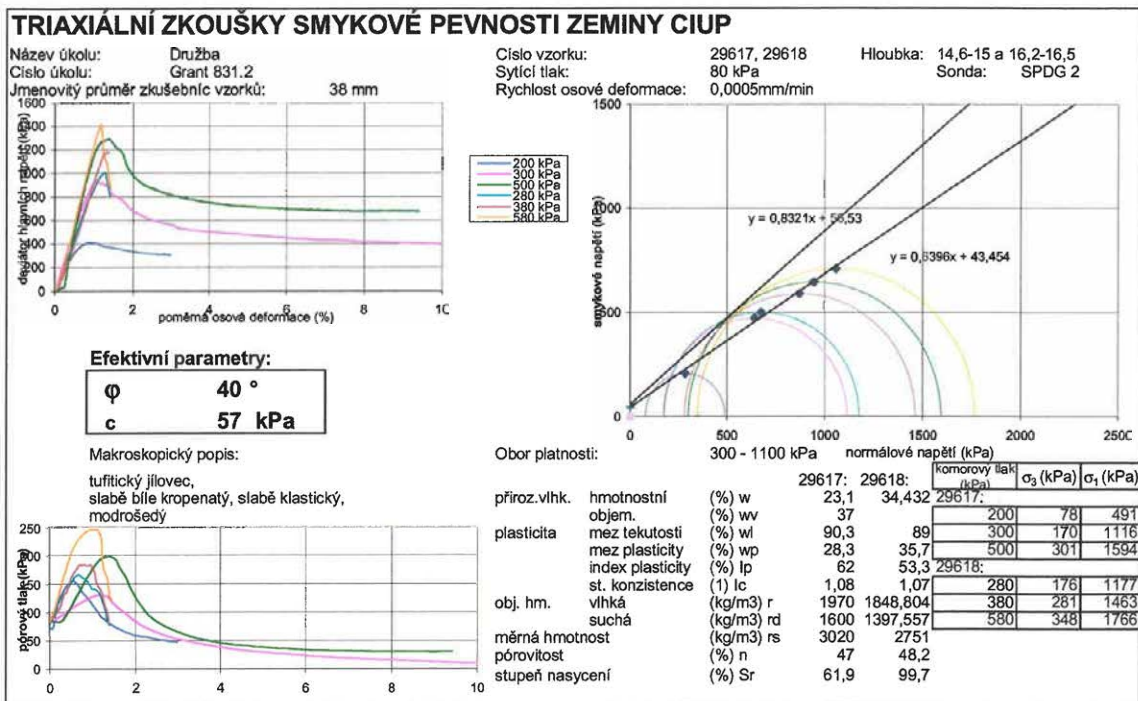
Triaxiální zkoušky CIUP – rekonstituované vzorky

Příprava rekonstituovaného materiálu

Vrtné jádro, odebrané z tufitického jílovce lomu Jiří z hloubky 13,6 až 14 m, bylo nastrouháno na hrubém struhadle a navlhčeno na vlhkost mezi mezí plasticity a mezí tekutosti. Vzniklé těsto bylo napěchováno do gumového rukávu umístěného v plastovém formovači s drenážními otvory, opatřeno na obou koncích formovače propustnými destičkami a umístěno do tlakové komory s odtokem z obou čel. Tlak v komoře byl nastaven na 200 kPa, obě odtokové hadičky byly spojeny, vyvedeny do byrety a byl zaznamenáván objem vytekající kapaliny. Z takto zjištěných hodnot změny objemu byl podle ČSN 72 1031 odvozen odmocninovou metodou součinitel konsolidace (obr. 3).

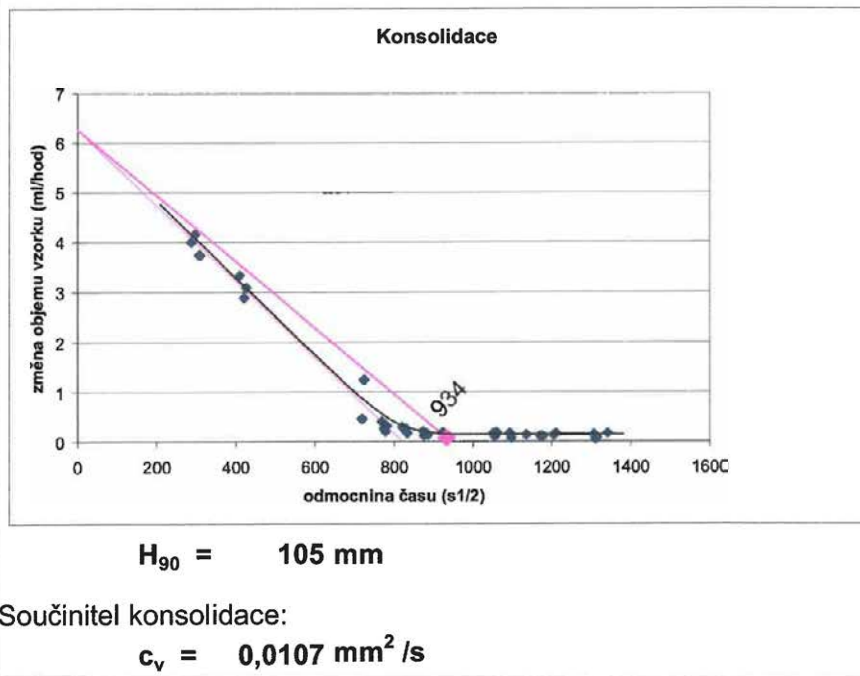
Výsledné $c_v \sim 0,01$ mm²/s je sice o něco vyšší než u cyprisových jíloů ($c_v \sim 0,003$ mm²/s), ale přesto je blízko hranice extrémně nízkých hodnot. Nízké c_v ukazuje samozřejmě i na extrémně nízkou propustnost. Zkoušky CIUP proto probíhaly při rychlosti smykání 0,0005 mm/min.

Po ukončení konsolidace byly z takto připraveného vzorku vyřezány 3 válečky o průměru 38 mm a výšce 76 mm pro triaxiální zkoušky CIUP a podrobeny testování obdobně jako původní „rostlé“ vzorky (obr. 4). Konsolidace probíhala při komorových tlacích 200, 300 a 500 kPa a sycení 80 kPa z obou čel. Po ukončené konsolidaci byly vzorky smykány při stejných komorových tlacích v neodvodněných podmínkách s měřením pórového tlaku. Výsledkem zkoušky jsou kritické parametry pevnosti. Zjištěné parametry $\varphi_{ef}=25^\circ$ a $c_{ef}=6$ kPa jsou dobře srovnatelné s jinými zkouškami



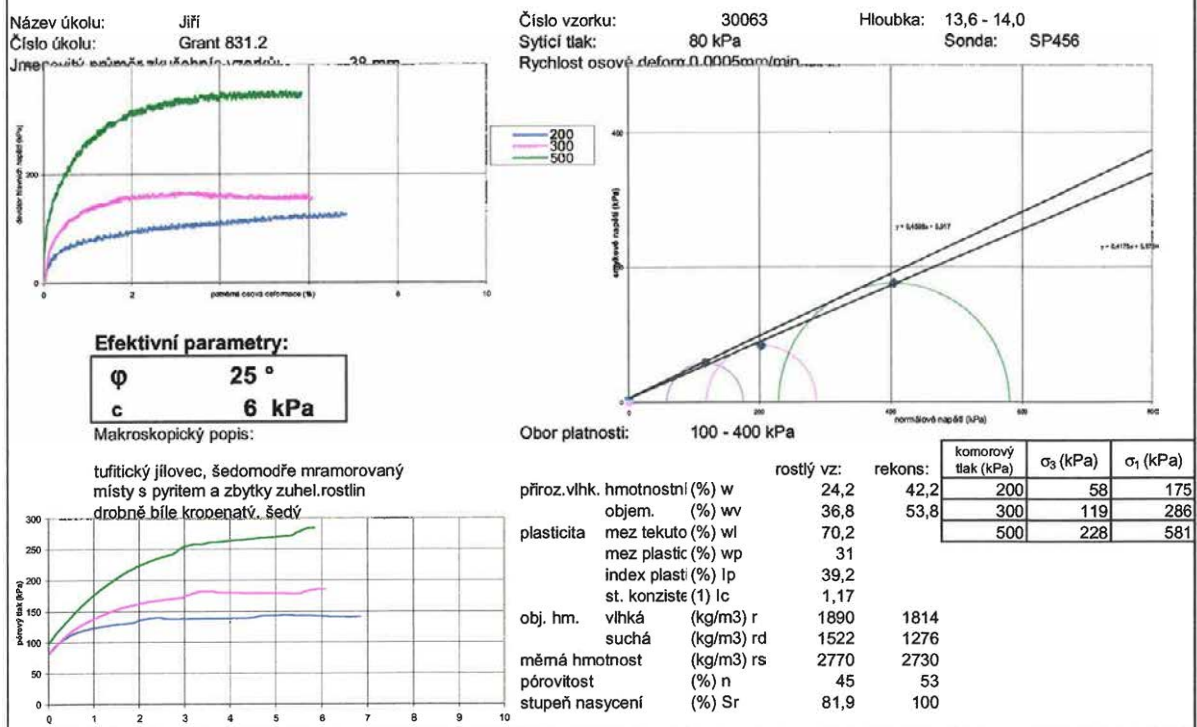
Obr. 2 Triaxiální zkoušky smykové pevnosti neporušených zemín

Odvození součinitele konsolidace Odmocninová metoda



Obr. 3 Odvození součinitele konsolidace

TRIAXIÁLNÍ ZKOUŠKY SMYKOVÉ PEVNOSTI ZEMINY CIUP



Obr. 4 Výsledek triaxiální zkoušky CIUP rekonstituovaného vz. 30063

provedenými na jílech, např. i s obdobnou zkouškou u cyprisových jílovců ($\phi_{ef} = 23^\circ$ a $c_{ef} = 8$ kPa) i s výsledkem koncové pevnosti neporušených vzorků (viz výše).

Triaxiální zkoušky UU

Z obou uskutečněných vrtů bylo podrobena celkem 6 vzorků vrtných jader triaxiálním zkouškám UU. Celkem bylo vyřezáno 24 válečků o průměru 38 mm a výšce 76 mm. Vzorky byly smykány rychlostí 0,76 mm/min v rozsahu komorových tlaků od 100 kPa do 500 kPa. Hodnoty totální soudržnosti se pohybovaly v širokém rozsahu od 250 kPa k hodnotám přes 1000 kPa. Vzhledem k tomu, že v blízkosti jádrových vrtů, z nichž se odebíraly vzorky zemin, proběhly i penetrační zkoušky (CPT), bylo cílem zkoušek typu UU mimo jiné přidat další hodnoty do souboru pro hledání korelačního vztahu mezi odporem na hrotu QST a totální soudržností c_u . Tento korelační vztah je popisován v literatuře (například Matys a kol., 1990 aj.) pro některé skupiny zemin v původním stavu i pro výsypky v severních Čechách (například Kurka, 2004 aj.). V daném případě je však omezujícím faktorem skutečnost, že zkoušené jílovce se pevností blíží poloskalním horninám a jen velmi omezeně lze uvažovat s podmínkou totálního úhlu ϕ_u blízkého nule. Možnosti interpretace výsledků omezuje také malý rozsah hodnot QST měřený v sondách (daný vlastnostmi zastižených zemin), čímž je definiční obor hledané funkce zúžen na úkor těsnosti výsledné korelace. Uvedené vztahy mezi odporem na hrotu QST a totální soudržností c_u budou předmětem závěrečné zprávy grantového úkolu 105/03/0992.

Zhodnocení a závěr

Tufitické jílovce tvoří podstatnou část podloží hnědouhelných slojí na Sokolovsku a jsou dlouhodobě předmětem zájmu geotechniků. Zkoušky prováděné v rámci GÚ 105/03/0992 mají za cíl obohatit znalosti o těchto materiálech ne zcela běžně užívanými postupy a interpretaci výsledků v souvislosti s jinými průzkumnými a zkušebními metodami (CPT apod.). Ukazuje se, že tufitické jílovce se ve zkoušeném hloubkovém a plošném intervalu v původním stavu blíží pevností poloskalním horninám, jejich propustnost je mimořádně nízká, tudíž veškeré konsolidační a dekonsolidační procesy probíhají dlouhodobě. Vlastnosti jsou významně ovlivněny přítomností aktivních jílových minerálů, zvláště Na – montmorillonitu.

V současné době probíhají triaxiální zkoušky typu UU na vzorcích odebraných z jádrových vrtů ve výsypce z cyprisových jílovců, výsledky budou korelovány se souběžně prováděnými měřeními pomocí CPT.

Práce byla uskutečněna za finanční podpory GA ČR, registrační číslo grantového projektu 105/03/0992.

Literatura

1. Kurka, J.: „Grantový úkol č. 831.2 (105/03/0992) – konzultace a řešerše“, Praha (2004)

2. Matys, M., Ťavoda, O., Cuninka, M.: „Poľné skúšky zemín“, Alfa, Bratislava (1990)
3. Skempton, A.W.: „The Coloidal Activity of Clays“, III ICSMFE, Zurich (1953)
4. Vaníček I.: „Mechanika zemin“, ČVUT, Praha (1996)