



AUTOMATIC CONTROL OF LABORATORY TESTS OF SOILS AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK ZEMIN

Herle I., Boháč J. a Feda J.

For reliable (stress path) laboratory testing of soils an automatic test control is necessary. Although the basic algorithms of the codes are similar, individual systems differ in the means of controlling pressure media, in required accuracy and capacity and in experimental procedures. Four automatic testing systems used in Grant No. 27114 are briefly described and evaluated.

S rozvojem výpočetní techniky a s rostoucími nároky na přesnost měření a detailní záznam průběhu zkoušek se v posledních letech budují automatizované laboratorní systémy pro zkoušení zemin. Vzhledem k charakteru zemin jsou obvykle tyto systémy náročné na automatické řízení zkoušek, neboť průběh zkoušek bývá definován různými dráhami napětí a přetvoření, kdy je třeba řídit nezávisle hlavní napětí včetně svislého tlaku pro soudržné zeminu a měřit objemová i osová přetvoření a pórové tlaky.

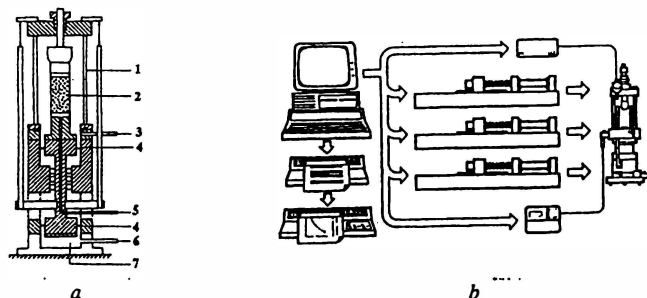
Přístroje a postupy, o nichž se referuje, jsou v ČR unikátní. Využívají se ve zkušebním programu grantu č. 27114 AVČR: triaxiál pro zkoušky zbraslavského písku a rekonstituované spraše, pravý trojosý přístroj pro zkoušky rekonstituované spraše, edometr a biaxiál pro zkoušky zbraslavského písku.

Triaxiální zkoušky

Pravděpodobně nejčastější laboratorní zkouškou v mechanice zemin je triaxiální zkouška, při které se zkouší válcový vzorek zemin (nejčastěji o průměru 38 mm) za osově symetrické napjatosti. Na obr. 1a je tzv. hydraulický triaxiální přístroj (Bishop a Wesley, 1975), ve kterém se požadovaná napětí vyvozuje hydraulicky (u klasického triaxiálního přístroje se užívá k svislému osovému zatěžování mechanický lis). V laboratorní mechanice zemin ÚTAM AVČR pracuje automatizovaný systém zobrazený na obr. 1b (Menzies, 1988). Hydraulický triaxiální přístroj (obr. 1a) je řízen třemi ovladači firmy GDS, které vedle zatěžování umožňují i měření objemu. Každý ovladač (*pressure/volume controller*), jehož jádrem je krokový motorek, má přesnost řízení tlaku 0.5 kPa v rozsahu 0 až 2000 kPa a měření objemu 1 mm³ v rozsahu do 200 cm³. Ovladač obsahuje také číslicový převodník, takže jeho signál může komunikovat přímo s počítačem, případně je možné řídit ovladač přímo z klávesnice umístěné na přístroji. Systém doplňuje samostatný snímač pórového tlaku, jehož rozlišitelnost je 0.2 kPa. Svislá osová přetvoření vzorku se určují ze změny objemu vody v dolní komoře hydraulického přístroje (obr. 1a), optimální je však přímý způsob měření snímačem deformace podle obr. 1b.

Software počítače (PC XT) komunikuje se systémem přes interface IEEE 488 (karta HP-IB). Umožňuje zadávat přímkové dráhy napětí s plynulým zatěžováním, při nichž rychlost svislého osového přetvoření je buď konstantní nebo je, např. pro soudržné zeminu, určena maximálním přípustným rozdílem pórového tlaku vody ve vzorku (pak je při jednostranné drenáži nutné měřit pórový tlak odděleně na dolní i horní podstavě vzorku). Testovací program dále zahrnuje měření propustnosti,

konsolidace a v neposlední řadě také stlačování za podmínky nulové radiální deformace (tzv. K_0 dráha napětí). Nejméně náročné z hlediska řízení jsou zkoušky s předepsanou změnou objemu kapaliny, neboť tato změna se dá vypočíst přímo z počtu otáček motorku. Příkladem může být tlaková zkouška s konstantním komorovým tlakem a konstantní rychlostí svislého osového přetvoření. Nejnáročnější jsou naopak aplikace, kdy změna tlaku je vázána na určitou podmínku. Např. při K_0 dráze napětí musí být při zvýšení komorového tlaku nárůst osového tlaku takový, aby se svislá osová deformace vzorku rovnala deformaci celkové (tj. nedojde k radiální deformaci). Změna napětí tak prochází iteračním procesem, při kterém mohou vzniknout odchylky od zadané dráhy.



Obr. 1. a - Hydraulický triaxiální přístroj (1 - plášť tlakové komory (plexisklo); 2 - zkoušební vzorek; 3 - přívod tlaku; 4 - těsnění; 5 - drenáž vzorku / syntetický tlak; 6 - přívod tlaku; 7 - dolní komora), b - automatizovaný triaxiální systém GDS.

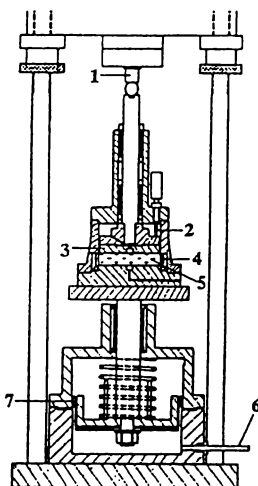
Edometrické zkoušky

Zkouška stlačitelnosti zemin v edometru se běžně používá pro určení deformačních vlastností zemin. Pro minimalizaci parazitního tření mezi vzorkem a pláštěm komory (prstencem) mívá válcový vzorek, na rozdíl od triaxiálního vzorku, průměr několikrát větší než výšku (častý je poměr 5:1). Předpokládá se, že při zatěžování se vzorek radiálně nepřetváří a radiální napětí se obvykle nezjišťuje. Jestliže se však radiální napětí měří, je možné vypočíst součinitel tlaku v klidu K_0 , definovaný jako poměr radiálního a svislého napětí při nulovém radiálním přetvoření. Součinitel K_0 patří k často užívaným parametrům zeminy jak v teoretických vztazích, tak i v praktických aplikacích. Jeho hodnota však nezůstává vždy konstantní v průběhu zatěžování, a je proto nutné sledovat průběh napětí po celou dobu zkoušky.

Na obr. 2 je zatěžovací systém edometru vyvinutého v Ústavu mechaniky zemin a hornin Univerzity v Karlsruhe (Bauer, 1992), který umožňuje měření horizontálních napětí. Na prstenci o průměru 100 mm a výšce 19 mm, který obepíná vzorek a jehož tuhost je konečná a známá, jsou umístěny tenzometrické snímače, které měří deformaci prstence a z jejichž měření se počítají horizontální napětí. Deformace prstence musí být samozřejmě dostatečně malé, aby zásadně neovlivnily chování zeminy. Vzorek je v edometru zatěžován plynule v rozsahu 0 až 500 kPa předem definovanou rychlostí. Zatížení je vyvoзовáno pneumaticky tlakem vzduchu na píst v dolní komoře a řízeno elektricky ovládaným ventilem. Velikost svislého zatížení snímá siloměr s přesností ± 3 N, vodorovné napětí se vypočte z údajů tenzometru na prstenci. Osově přetvoření měří optoelektronický snímač s přesností ± 0.5 μ m, takže lze provádět i krátkodobé creepové zkoušky (např. Herle, 1992). Signály ze snímačů putují po digitalizaci přes IEEE sběrnici do počítače HP-86, který zkoušky řídí a zajišťuje průběžný záznam dat. Řízení zkoušky není příliš náročné, protože bývá předepsán pouze průběh osového napětí za jednotku času.

Význam systému je v tom, že umožňuje měřit v edometru nejen deformační parametry zeminy, ale i průběh součinitele K_0 . Takto určené konstituční parametry postačují v některých výpočetních

modelech (např. hypoplastickém) k úplné definici konstant modelu (Bauer, 1992). Příprava vzorků a řízení zkoušky v edometru je při tom snazší, než např. v triaxialu.



Obr. 2. Zátěžovací systém edometru s měřením horizontálního napětí (1 - siloměr; 2 - snímač přetvoření; 3 - zátěžovací píst; 4 - prstenec s tenzometry; 5 - zkoušební vzorek; 6 - přívod stlačeného vzduchu; 7 - těsnění).

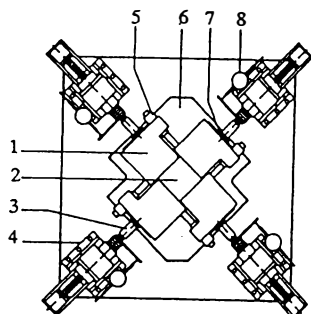
Biaxiální zkoušky

Biaxiální zkoušky nepatří vzhledem ke své relativní náročnosti ke standardním zkouškám. Vzorek bývá prismatického tvaru a deformuje se ze čtyř stran, dvě zbývající protilehlé strany se nedeformují a pouze se na nich registruje napětí. Na obr. 3 je pohled shora na biaxiální přístroj, který navrhl Kuntsche (1984) a modifikoval Topolnicki (1987). Dvě protilehlé svislé hladké stěny se pohybují stejnou rychlostí, vodorovné stěny jsou nepohyblivé. Napětí se měří na všech třech navzájem kolmých stěnách. Průběh zkoušky však není popsán dráhou napětí, nýbrž dráhou přetvoření.

Pohyb stěn zabezpečují motory, které přes převodové ústrojí pohánějí souměrně vždy dvě protilehlé stěny minimální rychlostí 0.03 mm/s. Velikost posunu stěn je registrována elektrickými snímači s maximální chybou 0.05 mm, napětí na deskách se určuje z měření siloměrů v rozsahu 0 až 5000 N s maximální chybou 7.5 N. U vzorků soudržných zemin lze měřit i pórový tlak pomocí měřící jehly instalované svisle ve středu vzorku (tj. v místě s nulovým posunem). Získaná měření procházejí přes A/D převodník do počítače HP-86B.

Řízení zkoušek se soustřeďuje na zpětnou vazbu mezi zadanými rychlostmi přetvoření a měřenými hodnotami napětí. Pro danou dráhu přetvoření jsou předepsány alespoň v jednom směru mezní hodnoty napětí. Po jejich dosažení zkouška probíhá podle následujícího zadaného úseku dráhy přetvoření. Protože motory pohánějící desky nejsou krokové, jejich činnost ovládají měřené hodnoty posunu. Tím dochází k časovému zpoždění, které při větších změnách směru dráhy přetvoření a nevhodně zadaných rychlostech přetvoření vede k nežádoucím odchylkám od zadané dráhy.

Biaxiální přístroj je vhodný především pro výzkum, ale umožňuje modelovat i řadu drah přetvoření, jenž se vyskytují in situ. Řízení zkoušek je náročné, a proto je lze uspokojivě provádět pouze automaticky, neboť jen tak je zajištěn spolehlivý průběh zkoušky a registrace měřených dat.

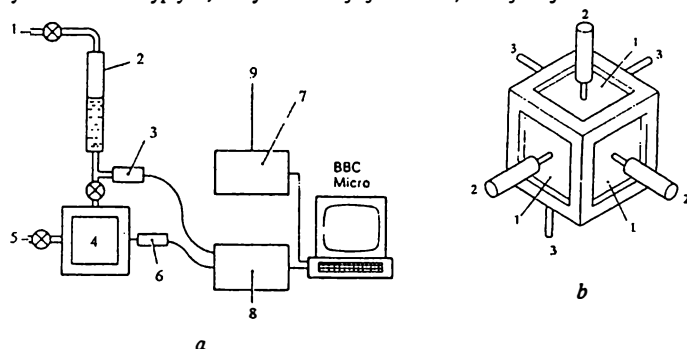


Obr. 3. Biaxiální přístroj (1 - pohyblivé desky; 2 - zkoušební vzorek; 3 - přenos zatížení a snímač síly; 4 - hnací převody; 5 - posuvné vedení desek; 6 - podkladová deska; 7 - plošné kluzné ložisko; 8 - snímač posunu).

Zkoušky v pravém trojosém přístroji

Takzvaný pravý trojosý přístroj umožňuje zatěžování i deformaci prismatického vzorku nezávisle ve třech směrech. Na obr. 4 je schéma trojosého přístroje užívaného v City University v Londýně (CU; popis např. in Abbis a Lewin, 1990). V přístroji se zkouší krychlové vzorky o hraně 60 mm, měří se osové deformace na všech šesti stěnách vzorku a změna objemu pórové kapaliny. Ve třech hlavních směrech je vzorek zatížen tlakem komorové kapaliny, která se na stěny vzorku přenáší prostřednictvím membrán. Toto

Deformace jsou měřeny pomocí LVDT, tlaky kapaliny běžnými snímači. Regulace zdroje tlaku (stlačený vzduch) se provádí krokovými motorky kontrolovanými regulačními ventily (elektromanostaty). Rozhraní stlačeného vzduchu a tlakové kapaliny je možné realizovat jednoduše tlakovou byretou. Signál je opět zpracován A/D převodníkem. Program v jazyku Basic umožňuje kombinace řízeného napětí a deformace, takže vzorek lze snadno obecně zatěžovat v prostoru hlavních napětí i přetvoření, včetně zkoušek cyklických. Ovládací systém je modifikací systému pro řízení konvenčních trojsovkových zkoušek (Atkinson et al., 1985), jež se v CU užívá pro různé přístroje včetně smyvkové krabice, edometrů a vysokotlakových triaxiálů (s kapacitou $\sigma_c = 70$ MPa). Se srovnáním se systémem GDS vyplývá, že systém CU je jednodušší, levnější a je řízen flexibilnějším softwarem.



Obr. 4. a - Řídicí systém pravého trojosého přístroje (1,5 - převod/měření tlaku; 2 - rozhraní voda-vzduch; 3 - snímač tlaku; 4 - trojosý přístroj; 6 - LVDT; 7,8 - D/A a A/D převodník; 9 - ovládání elektromanostatů), b - pravý trojosý přístroj (1 - membrána; 2 - LVDT; 3 - převod tlaku).

Abbis C. P. a Lewin P. I. (1990). A test of the generalized theory of visco-elasticity in London Clay. *Geotechnique* 40, 4: 641-646.

Atkinson J. H., Evans J. S. a Scott C. R. (1985). Developments in microcomputer controlled stress path testing equipment for measurement of soil parameters. *Ground Engineering* 18, 1: 15-33.

Bauer E. (1992). Zum mechanischen Verhalten granularer Stoffe unter vorwiegend ödometrischer Beanspruchung. Publikace č. 130, Universität Karlsruhe, 172 str.

Bishop A. W. a Wesley L. D. (1975). A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing. *Geotechnique* 25, 4: 657-670.

Herle I. (1992). Jednoosé a dvojosé zkoušky se sypkými látkami a jejich numerická simulace hypoplastickým modelem. Výzk. zpráva ÚTAM AVČR - grant č. 27114., 73 str.

Kuntsche K. (1984). Tests on clay. In: Constitutive relations for soils. A. A. Balkema, str. 71-84.

Menzies B. K. (1988). A computer controlled hydraulic triaxial testing system. In: Advanced triaxial testing of soil and rock, ASTM STP 977, str. 82-94.

Topolnicki M. (1987). Observed stress-strain behaviour of remoulded saturated clay and examination of two constitutive models. Publikace č. 107. Universität Karlsruhe, 194 str.

Ing. Ivo Herle, Ing. Jan Boháč a doc. Ing. Jaroslav Feda, DrSc.
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AVČR, Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2
Tel: 02-293936 Fax: 02-295903