

Ing. Petr Š t e m b e r a , VÚHU

Vývoj vysokotlakého smykače a jeho uplatnění v SHR

V celém světě i u nás se ke stanovení základních geomechanických parametrů zemin používají smykače a edometry. Smykače slouží ke stanovení pevnostních charakteristik zemin a jejich konstrukce byla v počátcích vývoje těchto zařízení výrazně ovlivněna zdrojem tlakové síly, která působí na zkoušený vzorek. Nejrozšířenějším zdrojem tlakové síly smykačů bylo závaží a pákový systém.

- výhody:
- jednoduchost
 - konstantní průběh zatěžování
 - malá poruchovost
- nevýhody:
- velká fyzická námaha při změně zatížení
 - malý rozsah zatěžování
 - možnost provádět zkoušky pouze malých průřezů

Nevýhody zařízení "závaží - páka" se různí výrobci snažili odstranit především použitím hydraulických systémů. Použití těchto systémů a rovněž celá konstrukce smykových přístrojů byla ovlivněna účelem prováděných zkoušek. Například pro zkoušky sypaných hrází přehrad a podobné případy vyvinul PÚDIS Praha speciální smykač, který umožňuje vyvinout napětí až 3,5 MPa a smyková plocha má průřez $70 \times 70 \text{ cm}^2$. Extrémní rozměry tohoto zařízení ovlivnily jeho konstrukci, neumožňující provádět náročnější typy zkoušek. V současné době se provádí výzkum a vývoj nového smykače v IGHP Žilina. Má umožnit zkoušky s napětím 4,5 MPa, krabice má mít průřez asi $10\,000 \text{ mm}^2$, řízení počítačem, ovšem předpokládaná cena zařízení přesáhne 1 mil. Kčs.

Rovněž v zahraničí se vývoj smykových přístrojů ubírá obdobným způsobem jako u nás. Nesporný předstih jim zajišťuje větší

dostupnost a kvalita snímací, vyhodnocovací techniky a především nesporně větší dostupnost a kvalita hydraulických prvků. To umožňuje vyvíjet zařízení pro provádění zkoušek in situ a pro provádění zvláštních zkoušek, kdy zařízení je konstruováno přímo pro konkrétní případ. Například při budování nové železniční tratě Hannover - Würzburg vyvinulo odborné pracoviště mechaniky zemin univerzity v Kasselu speciální smykač. Ten byl použit pro zkoušení velkorozměrových zkušebních těles z vrstevných pískovcových usazenin, které vykazují velké rozdíly smykové pevnosti v závislosti na orientaci vrstev. V obtížném terénu s množstvím náspů, svahů a zářezů ušetřily i malé rozdíly hodnot smykové pevnosti obrovské investiční náklady a dokázaly zabránit škodám se značnými následnými náklady.

Ve VÚHU byl od roku 1987 ve spolupráci s VŠB Ostrava, důlními podniky SHR a Domem techniky ČSVTS Ústí nad Labem prováděn vývoj vysokotlakého smykače. Technické parametry, stanovené na základě zkušeností s laboratorními přístroji malých rozměrů, používanými při nízkých normálových napětích, byly:

- rozměr smykaného vzorku: 160 x 160 x 160 mm
- průřez smykové plochy: 25 600 mm²
- rychlost posuvu smykové krabice: od 0,002 do 2,0 mm.min⁻¹
- napětí ve smykaném vzorku: stupňovitě od 0,2 do 6,0 MPa

Velmi důležitá je rychlost smykání. Jelikož v běžném krabico-vém smykovém přístroji s malou výškou vzorku nelze navodit plně neodvodněné podmínky, je přístroj předurčen pro zkoušku odvodněnou (typu CD). Rychlost smykání proto musí být tak pomalá, aby pórový tlak, vznikající změnou napjatosti, se stačil rozptýlit. To vyžaduje smykání za řízené a v širokém rozsahu měnitelné rychlosti deformace.

Autonomní konstrukce smykového přístroje

Provozní zkoušky vysokotlakého smykače vyrobeného v mechanických dílnách SHR byly zahájeny počátkem roku 1988. Celé zařízení se skládá ze dvou samostatných částí, vyvozujících horizontál-

ní posuv a vertikální přítlak. Celé zařízení je uloženo na tuhém svařovaném rámu z válcovaných plechů, přivařeném k nosné desce.

Hlavní části zařízení na obrázku č. 1 jsou:

1 - základový rám

části zařízení, vyvozující vertikální přítlak:

2 - rám přítlaku, 3 - přímočaré hydromotory, 4 - snímač síly,

5 - pěch, 6 - příčník s horní pevnou částí krabice

části zařízení, vyvozující horizontální posuv:

7 - rotační hydromotor, 8 - převodovka 1:10, 9-převodovka 1:1600,

10 - převodovka 1:3 měnící rotační pohyb na posuvný, 11 - kloubová hřídel, 12 - pohybový šroub posuvné části smykové krabice, 13 - snímač posuvové síly, 14 - konzola horizontálního posuvu, 15 - kryty saní posuvné části krabice.

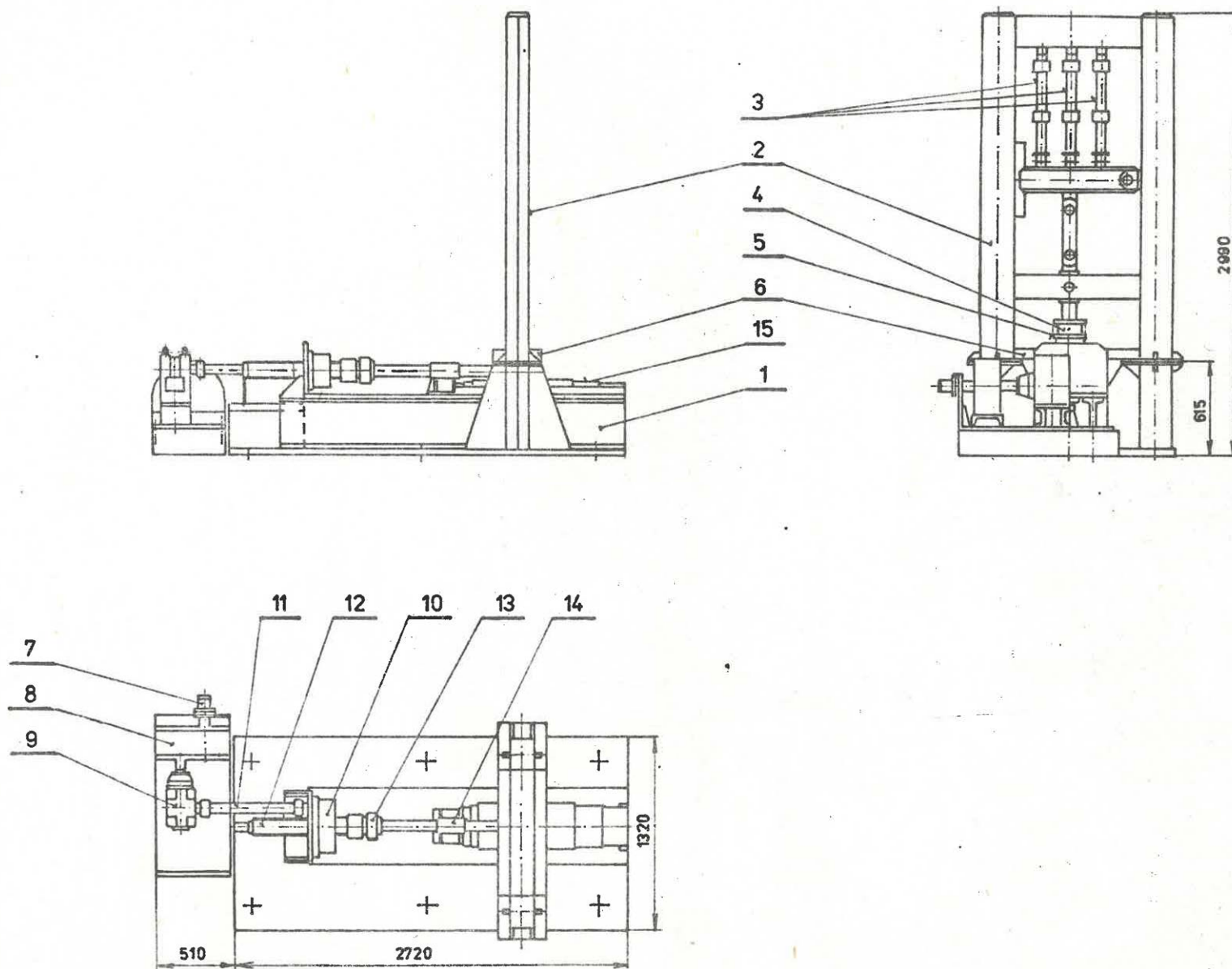
Průběh a vyhodnocení experimentů

Stanovují se základní fyzikální parametry vzorku, z nichž se prioritně určuje vlhkost v době příjmu do laboratoře. Dále se provádějí zkoušky plasticity, popřípadě zkoušky zrnitosti.

V průběhu zkoušky se měří a zaznamenává:

1. velikost normálového zatížení pěchu
2. velikost kontraktance případně dilatance vzorku
3. velikost smykové síly potřebné k usmyknutí vzorku
4. velikost posunutí smykové krabice.

Naměřené hodnoty se záznamem průběhu smykové zkoušky jsou uvedeny společně s výsledkem zkoušky jako celku ve zvláštním protokolu, dokumentujícím celou smykovou zkoušku s konstantním přírůstkem napětí. Do stejného protokolu jsou zaznamenávány všechny nezbytné popisné a fyzikálně-mechanické vlastnosti zkoušeného materiálu. Výsledky smykových zkoušek jsou zpracovávány v příslušném protokolu graficky. Z výsledků měření lze určit další vlastnosti: stlačitelnost, poměrné svislé deformace, objemovou hmotnost sypaniny, pórovitost, nakypření, mezerovitost a modul přetvárnosti. Výsledky



HLAVNÍ ČÁSTI VYSOKOTLAKÉHO SMYKAČE

experimentů smykové pevnosti je vhodné interpretovat grafem $\tau - \sigma$. Na počátku každého experimentu, ale i na konci smykové zkoušky, v blízkosti skluzné plochy, je nulová soudržnost. Vycházíme-li tedy z nulové reziduální soudržnosti sypaniny, je vhodné charakterizovat smykovou pevnost nelineární funkcí, procházející počátkem souřadného systému. Intergranulární úhel vnitřního tření sypaniny lze pak určit pro příslušné normálové napětí podle vzta-
hu:

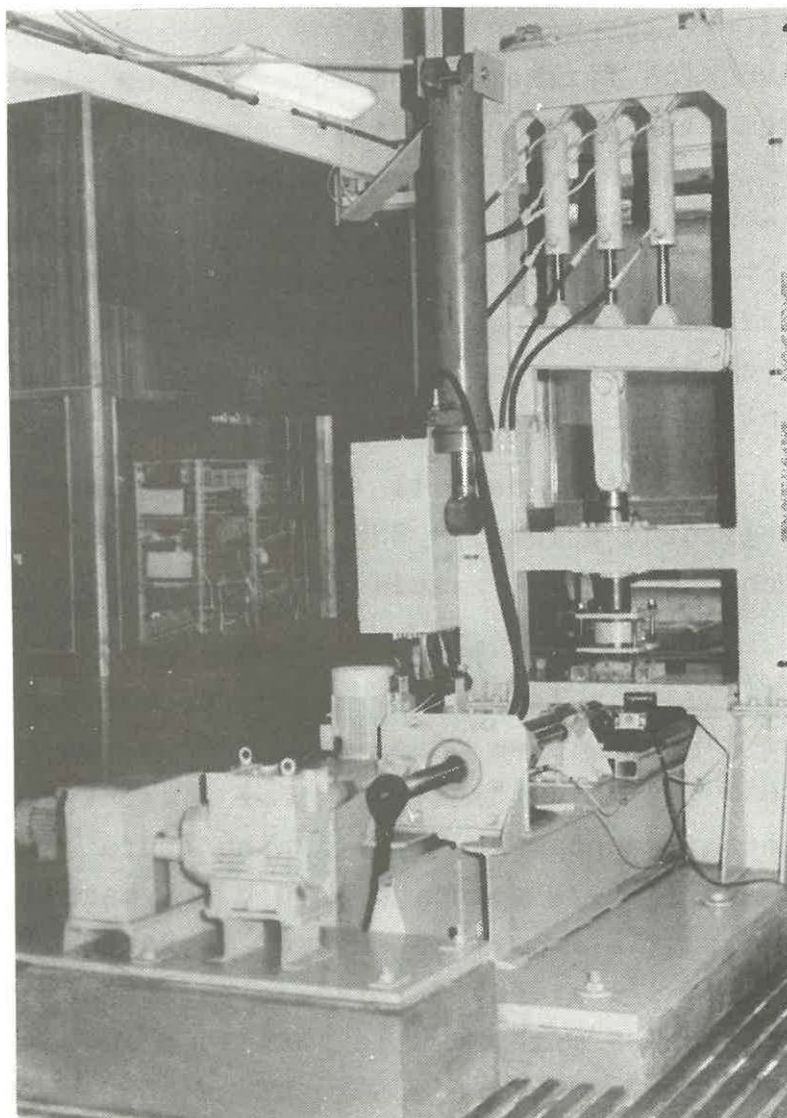
$$\Phi = \arctg (\tau / \sigma)$$

V druhé polovině roku 1989 jsme začali provádět první pokusy se zapojením výpočetní techniky do sběru a vyhodnocování dat. K tomuto účelu jsme použili mikropočítač SAPI 1 v sestavě ZPS 2, tj. v sestavě mikropočítač, klávesnice, černobílý televizor jako monitor a kazetový magnetofon. Na této sestavě jsme si ověřili první možnosti sběru dat pomocí počítače. V průběhu dalších zkoušek jsme SAPI 1 použili ještě k ovládání a regulaci smykače a ke kontrole jeho činnosti. Protože systém SAPI 1 nemá grafický výstup a vzhledem k tomu, že výroba tohoto systému byla v roce 1990 zastavena, rozhodli jsme se využít základní sestavu rozšířenou o desky styku s prostředím jako technologického počítače, který by byl spojen s nadřazeným počítačem PC, na němž by po předání na-
střádaných dat došlo k jejich zpracování a archivaci.

Na obrázku č. 2 je fotografie úplné sestavy modernizovaného smykače.

Dílčí výsledky z dosud provedených zkoušek

- průběh smykových zkoušek, vrcholové i reziduální pevnosti je zjevně ovlivňován kontraktancí,
- hroucení struktury je nejvíce patrné z grafu poměrné osové deformace, odpovídající působícímu zatěžovacímu napětí,
- s velikostí normálového napětí výrazně klesá intergranulární úhel vnitřního tření sypaniny,
- reziduální hodnoty úhlu vnitřního tření jsou řádově poloviční oproti vrcholovým,



Obr. 2 Úplná sestava modernizovaného vysokotlakého smykače

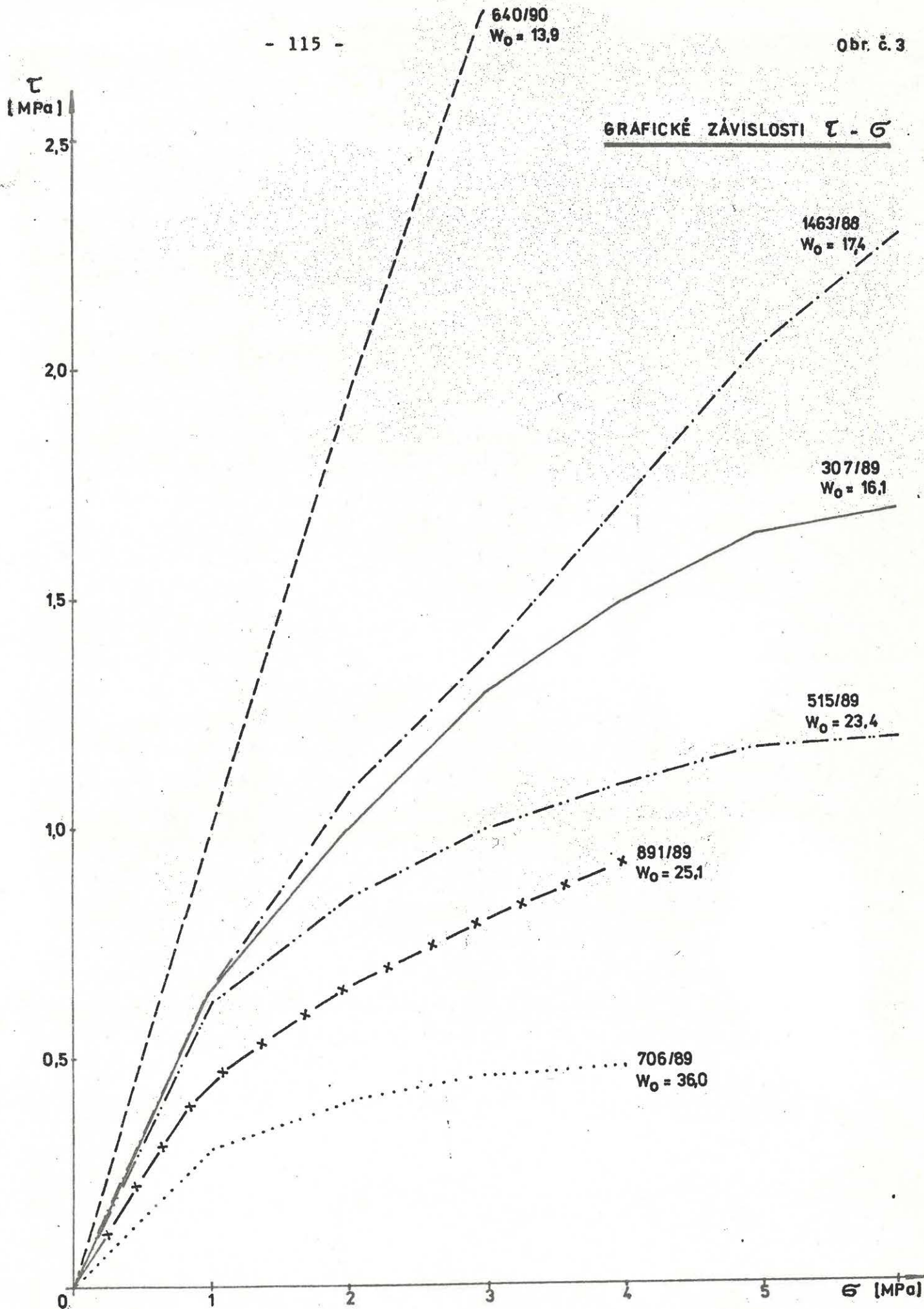
- pro zeminy, vykazující vlhkost nepřevyšující mez plasticity platí, že není podstatný rozdíl mezi dlouhodobou a krátkodobou pevností a časový pokles pevnosti je nutné přisoudit časovému poklesu soudržnosti.

Výsledky smykové pevnosti za vysokých normálových napětí dokumentují zvláštní vláčné chování sypaniny doprovázené podstatnými změnami původních fyzikálních a mechanických vlastností. Typickým projevem strukturní nestability sypaniny je redukce úhlu vnitřního tření. Lokální strukturní nestabilita se projevuje jak na průběhu smykových posunů, tak na objemových změnách zkoumaných vzorků. Pracovní diagramy smykové pevnosti sypaniny a jejich průběh je zásadně ovlivňován fyzikálními vlastnostmi vzorku, ale pravděpodobně též pórovími tlaky, zvláště u vzorků, podléhajících většímu objemovému přetváření.

Na obrázku č. 3 je graf závislosti τ - σ pro některé typické představitele jílovců z lokalit SHR. Tyto představitele lze z hlediska jejich vhodnosti k založení do výsypkových těles rozdělit:

1. Vzorky č. 640/90, 307/89 a 1463/88 ze spodních řezů VČSA a VMG svým pevnostním charakterem odpovídají představám o materiálech, vhodných k zakládání do vysokých až velmi vysokých výsypek bez vytvoření neúnosného, plastického jádra
2. Vzorky č. 515/89 a 891/89 ze spodních řezů DJŠ vykazují nízkou smykovou pevnost a lze z nich vytvořit výsypková tělesa výšky 100 až 150 m s částečným vznikem plastického jádra v bazální části tělesa. S přihlédnutím k určitým změnám v pevnosti sypaniny, ke kterým dochází v průběhu jejího zakládání do tělesa výsypky, je třeba navrhnout takový tvar svahu, který neumožní protlačení neúnosného jádra do patní svahové části
3. Vzorek č. 706/89 z 1. řezu DJŠ měl vlhkost vyšší než je mez plasticity a z výsledků smykových zkoušek vyplynulo, že se jedná o materiál nevhodný pro založení do vysokého výsypkového tělesa. Tomu odpovídá velmi nízká smyková pevnost jak vrcho-

GRAFICKÉ ZÁVISLOSTI $\tau - \sigma$



vá, tak reziduální. U jílovců s vysokým indexem plasticity je porušení struktury spojeno s vláčným přetvářením a vytvořením zóny s nepříliš rozdílnou vlhkostí od původní, ale poněkud měkčí konzistence. Zeminy tohoto typu nelze použít pro stavbu výsypkového tělesa výšky vyšší než 50 m. Prakticky lze těmito zeminami vytvarovat jen jednu nebo dvě nízké výsypkové etáže, kterými může být převrstvena vnitřní výsypka.

Závěr

V době dokončování tohoto článku byly skončeny úpravy pracoviště vysokotlakého smykače a edometrů. Nyní se v něm nacházejí čtyři edometry a jeden smykač. Další smykač, pro který jsou připravena přídatná zařízení, se vyrábí v Sokolovských strojírnách.

Nový smykač, jehož výkresovou dokumentaci jsme provedli v oddělení mechaniky zemin odboru GT vlastní kapacitou, doznal proti původnímu řadu podstatných změn. Nejdůležitější z nich je úplně nová konstrukce smykové krabice, umožňující přípravu vzorku a vyhodnocení smykové plochy mimo vlastní smykač. Touto změnou můžeme rovněž provádět smykové zkoušky neporušeného (rostlého) vzorku a především provádět konsolidaci vzorku mimo smykač na konsolidačních lavicích. Tím se podstatně zvýší kapacita zařízení. Zařízení rovněž umožňuje záměnu smykové krabice tak, že lze provádět zkoušky kruhového i čtvercového průřezu. Další změnou je náhrada tří přímočarých hydromotorů na přítlaku za jediný s větším průměrem. Změnou hnacího agregátu posuvu došlo k výraznému zmenšení celého zařízení, na kterém se podílejí i ostatní změny.

Po doplnění a rozšíření celého pracoviště tak, jak bylo uvedeno v předcházející části, bude připraveno stát se nosným pracovištěm úkolu RVT č. 2.0 "Výzkum fyzikálně-mechanických vlastností a technologie budování velmi vysokých výsypek".