

# E xperimentální A nalýza N apětí

## 2004

### DEVELOPMENT OF A STAND FOR STRESS ANALYSIS – STAGE 2

#### VÝVOJ EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO ANALÝZU NAPĚTÍ – 2 ETAPA

Petr Koudelka<sup>1</sup>, Antonín Bubák<sup>2</sup>

*In the course of some past years, the experimental research of lateral pressure of multi-phase materials has been proceeding by means of physical as well as advanced numerical models. Original stand, pressure sensors and other instruments were developed for physical experiments for the monitoring of both components of lateral pressure, i.e. normal and tangential (shear) ones. The front wall of the stand with the sensors is arbitrarily moved, the side glass walls make possible the visual monitoring of displacements and deformations within a tested soil mass. The research using this stand has brought some unexpected and obviously new results of some which can be considered as substantial.*

*The research has dealt both with active and passive pressure. It was achieved during the experiment E3/2 with passive pressure due to rotation about the top so high pressure that the nearest glass side table cracked. Despite of the cracks the experiment was successfully finished but the stand renovation has been necessary. In framework of the second development stage of the stand were designed and reconstructed the thicker glass side walls with regarding front wall and particularly developed and carried out a new concept of front wall engine motion driven by computer.*

**Keywords** *Lateral pressure of granular material, stand development, controlled motor movement of the front wall, programmable unit, incremental sensor of movement, bi-component pressure sensor.*

**Klíčová slova** *Boční tlak zrnitých materiálů, vývoj experimentálního zařízení, řízený motorický pohyb čelní stěny, programovatelná jednotka, inkrementální snímač pohybu, dvousložkový snímač tlaku.*

## 1 Úvod

Světový fyzikální výzkum v oblasti zrnitých vícefázových materiálů (geotechniky) se zaměřuje v naprosté většině na experimenty na centrifugách. Tato technologie má řadu výhod, jako např. relativně jednoduchá příprava vzorků (možnost použití soudržnějších materiálů), rychlost experimentů, vysoká úroveň a vybavení technologického zařízení, kterým je dáována přednost. Za nevýhody lze považovat mimořádné náklady na pořízení nejen vlastních centrifug, ale i nezbytných zvláštních objektů pro jejich provoz, a dále zejména teoretické problémy výsledků malých modelů ze zrnitých vícefázových materiálů získaných za podmínek zvýšené tíže a jejich podobnosti k efektivnímu stavu napjatosti. Základní výzkum zaměřený na teorii bočního

---

<sup>1</sup> Ing. Petr Koudelka, DrSc.: Ústav teoretické a aplikované mechaniky; Prosecká 76, 190 00 Praha 9, tel.: +420.286 882 121, e-mail: koudelk@itam.cas.cz

<sup>2</sup> Ing. Antonín Bubák: ČVUT-FSI; Výzkumné centrum výrobní technologie, Horská 3, 120 00 Praha 2, tel.: +420.221 990 919; e-mail: a.bubak@rcmt.cvut.cz

tlaku není znám a teoretickým problémům experimentů za podmínek zvýšené tíže rovněž není věnována pozornost.

Již několik let probíhá experimentální výzkum bočního tlaku zrnitých vícefázových materiálů, pro který byl zkonstruováno originální experimentální zařízení pro vzorky střední velikosti, tj. délky 1,5-3,0 m, šířky 1,0 m a výšky 1,2 m. Zařízení umožňuje měření obou složek napětí (normálová a smyková), libovolný druh pohybu čelní stěny (lidskou silou) a vizuální pozorování přetváření zrnitého tělesa skleněnými bočními stěnami. Výzkum na tomto zařízení přinesl některé neočekávané a patrně i nové poznatky, z nichž některé je možno považovat za podstatné.

Při výzkumu pasivního tlaku bylo dosaženo v roce 2002 vysokých hodnot tlaku, které porušily boční skleněné stěny. Bylo proto nutno je zesílit, což znamenalo rekonstrukci zařízení, při které současně byl překonstruován pohon pohybu na motorický, snímání pohybu a další součásti technologie výzkumu.

## 2 Původní stav - 1. etapa vývoje

Koncepce experimentálního zařízení je originální a zařízení je proto nutno vyvíjet. Koncepce je otevřená, vychází z omezených zdrojů výzkumu a přepokládá postupný vývoj zařízení v několika etapách, které jsou závislé jednak na výsledcích předcházejícího výzkumu, jednak na dostupných finančních prostředcích.



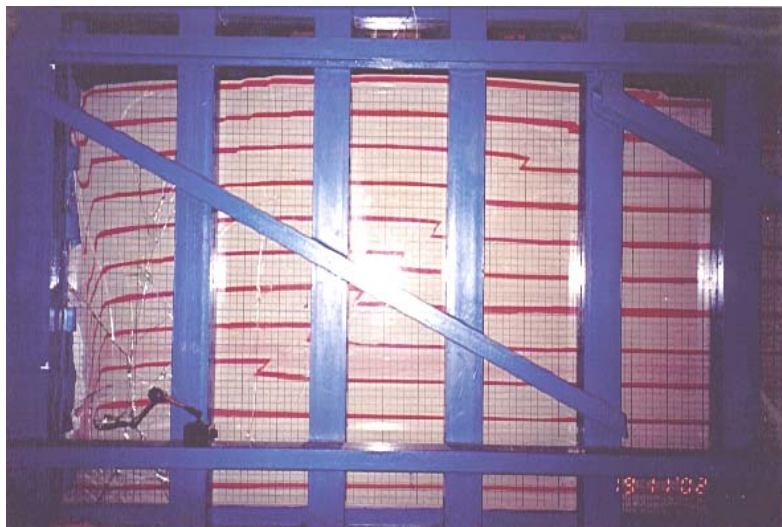
V 1. etapě bylo navrženo a zkonstruováno vlastní experimentální zařízení s libovolně pohyblivou čelní stěnou v rozsahu 300 mm ( $\pm 150$  mm směrem dovnitř i ven). Stěna

Obr. 1 Pohled na zařízení po 1. etapě vývoje při přípravě prvního experimentu E1 s aktivním bočním tlakem (délka vzorku 1,5 m). Vlevo v pohyblivé čelní stěně jsou již osazeny 4 dvousložkové snímače tlaku, horní zatím není umístěn.

umožňuje otáčení kolem paty nebo vrcholu i rovnoměrný pohyb, všechny tři druhy pohybů v obou směrech. Pohyby ve směru od zrnitého tělesa (ven) vyvolávají aktivní boční tlaky, pohyby ve směru do zrnitého tělesa vyvolávají pasivní boční tlaky. Pohyb čelní stěny byl realizován otáčením 4 velmi přesných šroubů (viz obr.1 vlevo) pomocí dlouhých montážních klíčů s přesností cca 0,025 mm.

Řízení pohybu čelní stěny bylo prováděno podle otáčkoměrů jednotlivých pohybových šroubů, měření skutečného vlastního pohybu čelní stěny bylo prováděno 4 klasickými mikrometry na lyžinách v rozích stěny. Přesnost čtení mikrometrů byla 0,01 mm, což v oblasti geotechniky je považováno za velmi přesné.

Ke sledování tlaku zrnitého tělesa v kontaktu s pohyblivou čelní stěnou byly použity dvousložkové snímače podle českého vynálezu autorů Šmíd-Novosad a stanice a zesilovače BMC, které se velmi osvědčily. Pro záznam a vyhodnocení byl použit program BMC „NextView“.



Obr. 2 Stav tělesa z ideálně sypkého písku a skleněné boční stěny při experimentu s pasivním tlakem při otáčení čelní stěny (vlevo) kolem vrcholu po dosažení posunu paty 140 mm ve směru do tělesa. Silné popraskání skleněné tabule u pohyblivé stěny je zřetelné a největší posun je měřen mikrometrem (vlevo dole).

doplňkovou částí výzkumu. V průběhu experimentů však přineslo řadu důležitých nových poznatků a bylo proto postupně vyvíjeno od prostého nepravidelného fotografování změn na červených vrstvičkách až po průběžné oboustranné sledování a dokumentování (na jedné straně červené vrstvičky, na druhé straně síť černých bodů 40/40 mm) i sledování přetváření horního volného povrchu zrnitého tělesa.

### 3 Nový stav – 2. etapa vývoje

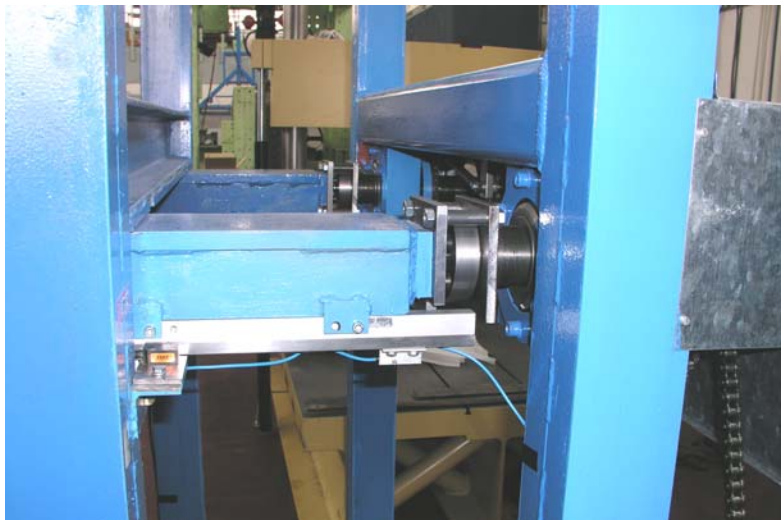
Tato etapa vývoje zařízení původně obsahovala pouze konstrukci motorického pohybu čelní stěny. Vzhledem k poruchám bočních skleněných tabulí na obou stranách zařízení a tedy nutnosti jejich zesílení bylo nutno vyrobit i novou užší čelní stěnu. Koncepce této etapy pak byla rozšířena o všechny nutné i možné úpravy pro optimalizaci zařízení. Tloušťka stěn byla zvýšena z 10 mm na 20 mm. Pro tuto tloušťku byla vyrobena nová čelní stěna, avšak



byla přestavována tak, aby při případném dalším zesílení stěn mohla být jednoduše upravena. Čelní stěna na bocích byla též opatřena speciálním těsněním, neboť používaný ideálně sypký písek v místech i velmi malých otvorů a mezer se chová jako kapalina.

Obr. 3 Celkový pohled na motorický pohon čelní stěny zařízení ovládaný počítačem. Motorek je vlevo, lineární inkrementální snímače polo-lyhy u lyžin nejsou patrné.

Pohyb stěny byl zcela překonstruován. Posuvný pohyb stěny je vyvozován synchronním otáčením čtyř šroubů umístěných v rozích desky. V případě otáčení pouze horní nebo dolní dvojice šroubů lze docílit naklápění desky podle dolní resp. horní příčné osy. Šrouby jsou poháněny jedním dvoufázovým krokovým motorem s vloženou šnekovou převodovkou o převodovém poměru 1:30. Kroučící moment je na šrouby rozveden válečkovým řetězem s převodovým poměrem 1:5. Celkový převodový poměr mezi posuvem desky a natočením motoru činí 0,35 mm/ot, což umožňuje při maximálním kroučícím momentu krokového motoru 3,25 Nm vyvodit tlačnou sílu až 40 kN.



Obr. 4 Detail horních šroubů pro posun čelní stěny s lyžinami a lineárním inkrementálním snímačem polohy.

Krokový motor je řízen programovatelnou jednotkou, kterou lze ovládat z externího PC jednoduchými příkazy řídicího softwaru. Takto lze docílit libovolného pohybu desky v rozsahu rychlostí 0-20 mm/min včetně pohybů cyklických. Řízení polohy

desky je odvozeno nepřímo od vnitřní polohové vazby krokového motoru. Pro odměřování polohy desky je zkušební stav vybaven čtyřmi lineárními inkrementálními snímači polohy s rozlišením 10 $\mu$ m umístěnými v blízkosti šroubů.

## 4 Závěr

Zkoušky nového motorického pohonu experimentálního zařízení byly úspěšné. Zkušební experiment zatím neproběhl, neboť vzhledem k vývoji výpočetní techniky je třeba inovovat též hardware a software.

Nový stupeň úrovně experimentálního zařízení by měl podstatně zvýšit přesnost provedení, zejména v čase, a rozsah experimentálních možností do oblasti dynamiky zrnitých těles.

GAČR a GAAV ČR poskytly finanční podporu pro související výzkumné projekty č. 103/2002/0956 a č. IAA2071302. Na rekonstrukci zařízení se podílely spolupracující firmy a v neposlední řadě i techničtí pracovníci ÚTAM. Autor jim děkuje za podporu a spolupráci.

## 5 Literatura

- [1] Koudelka P. – Valach J. (2002): Bi-component Press Sensors and their Use for Lateral Pressure Measurements of Granular Mass Models. Proc. IC ISSMGE/TC2 on Physical Modelling in Geotechnics, St. John's (NFLD, Canada), Vol.3,pp.107-111. Autor: *Název díla* – místo vydání, rok vydání, počet stran (pro knihu)
- [2] Koudelka, P. – Šmíd J. – Valach J. – Čihař J. (2001): Application of Bi-component Tensors and Experimental Analysis of Noncohesive Granular Model Masses. Proc.39th NC Experimental Stress Analysis, Tábor, ITAM ASc CzR Prague, pp.175-180.