

DYNAMIKA PASIVNÍHO BOČNÍHO TLAKU V GRANULÁRNÍM TĚLESE PŘI PŘERUŠOVANÉM POHYBU OPĚRNÉ KONSTRUKCE

DYNAMICS OF PASSIVE LATERAL PRESSURE IN GRANULAR MASS DURING DISCONTINUAL MOVEMENT OF RETAINING STRUCTURE

Petr KOUDELKA, Jaroslav VALACH¹

Abstrakt

Při monitorování bočního tlaku vzorku zrnitého tělesa dvousložkovými snímači lze získat (i v kratších časových úsecích) velké množství dat, která vykazují značnou časovou nestabilitu. Celkově tato časová nestabilita má výraznou dynamiku zejména při a bezprostředně po pohybu opěrné konstrukce. Dynamická tendence tlaku po pasivním pohybu opěrné konstrukce je obvykle sestupná (při pohybu vzestupná) a proto při přerušovaném pohybu opěrné konstrukce vzniká problém, která hodnota tlaku by měla být vzata jako reprezentativní.

Príspevek se zaměřuje na analýzu průběhu normálových složek pasivního tlaku experimentu E3/2 v mezidobích přerušovaného pohybu a na posouzení délky optimálního intervalu mezi jednotlivými pohyby opěrné konstrukce. Tato analýza v oblastech singulárních počátečních bodů doplňuje již provedenou analýzu dlouhodobé časové nestability tlaku a bude využita při dalších experimentech.

Klíčová slova: fyzikální model, sypké těleso, pasivní boční tlak, přerušovaný pohyb opěrné konstrukce, nestabilita tlaku v čase, rychlost pohybu konstrukce.

Abstract

During monitoring of lateral pressure of a granular mass sample by bi-component sensors it is possible to acquire (even in shorter time sections) large data sets exhibiting distinct time instability. Generally, the instability has distinctive dynamics especially during and immediately after the retaining structure movement. The dynamic pressure tendency after the passive structure movement is usually decreasing (during the movement increasing) and therefore during discontinual structure movement the problem originates which pressure value should be taken like representative one.

The paper aims at the analysis of the normal component histories of passive pressure of the experiment E3/2 in intervals of the discontinual movement and at the evaluation of the optimal interval length between the following retaining structure movements. The analysis in areas of the singular origin points completes the presented analysis of the long-term passive pressure instability and will be exploited in further experiments.

Keywords: physical model, non-cohesive mass, passive lateral pressure, discontinual retaining structure movement, time pressure instability, velocity of structure movement.

¹ Ing. Petr KOUDELKA, DrSc., Ing. Jaroslav VALACH, PhD., Ústav teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd ČR, Praha, koudelka@itam.cas.cz, valach@itam.cas.cz
Lektoroval: prof. Ing. Peter BIGOŠ, CSc., SJF TU v Košiciach, peter.bigos@tuke.sk

ÚVOD

Fyzikální experimentální výzkum s bočním (zemním) tlakem zrnitých vícefázových materiálů započal již v roce 1997, kdy byl vyvinut počáteční stupeň experimentálního zařízení, a v letech 1998 – 1999 byly provedeny experimenty s *aktivním* bočním tlakem E1 a E2, o nichž informují dřívější publikace [1. – 5.]. Tyto experimenty prokázaly platnost navrhované „teorie obecného bočního tlaku“ v jeho *aktivní* oblasti [6. – 8.].

V období 6. 9. 2001 až 3. 12. 2002 byl proveden dlouhodobý fyzikální experiment s *pasivním* tlakem na středně velkém ideálně sypkém zrnitém tělese s rozměry: šířka 1,0 m, výška 1,2 m, délka 3,0 m. Podrobnosti o vlastním experimentu a jeho výsledcích jsou obsaženy již v dřívějších příspěvcích [9. – 12.] zde uvádíme jen základní data. Experiment byl označen E3/2 a libovolně pohyblivá čelní stěna experimentálního zařízení s 5 tlakovými snímači (viz obr.1.) byla při něm vtlačována do homogenního mírně zhutněného zrnitého tělesa otáčením kolem svého vrcholu. Ideální sypkosti experimentálního tělesa bylo dosaženo volbou průmyslového křemitého písku zrnitosti 0,3 mm a jeho (téměř) dokonalým vysušením ($w = 0,3\%$).

Experimentální zařízení má velmi tuhou ocelovou konstrukci a čelní stěnu, která může vykonávat kterýkoliv ze základních tří typů 2D pohybu: otáčení kolem paty nebo vrcholu nebo posuvný pohyb (obr.2). Boční stěny jsou průhledné z lepeného skla a umožňují vizuální pozorování procesů přetváření zrnitého tělesa a vytváření kluzných ploch v něm. Dvousložkové snímače tlaku v čelní stěně měří samostatně a prakticky průběžně normálovou i tangenciální (smykovou) složku tlaku. Předložená analýza se zabývá právě normálovými složkami, které jsou pro konstrukce významnější.



Obr.1 Pohled na přední část experimentálního zařízení s pohyblivou čelní stěnou, ve které jsou osazeny dvousložkové snímače tlaku (s bílými přívodními kabely). Dobře viditelné jsou čtyři hlavní pohybové šrouby zcela vpředu



Obr.2 Pohled na pohyblivou čelní stěnu zevnitř, z prostoru zkoušeného zrnitého tělesa, a na rozmístění pěti dvousložkových snímačů tlaku ve stěně

EXPERIMENT E3/2

Experiment (obr. 3.) byl proveden ve třech fázích:

- počáteční pohybová fáze 6.9.-10.10. 2001 do pohybu paty stěny 17,10 mm a s kroky 0,02-0,10 mm,
- střední klidová fáze 10.10.2001-18.6.2002 experiment s dlouhodobou nestabilitou tlaku,
- konečná pohybová fáze 6.9.-10.10. 2001 do pohybu paty stěny 151,80 mm a s kroky 0,05-0,30 mm.

Při experimentu bylo prováděno jednak vizuální pozorování zejména smykových a kluzných ploch zrnitého tělesa pomocí fotografických záznamů i přímého měření, jednak měření obou složek bočního tlaku a posunu stěny. Záznam tlaků snímačů byl digitální a zápisem, záznam pohybu čelní stěny měřený 4 mechanickými mikrometry byl zápisem. Nestabilita obou složek bočního tlaku byla pozorována již při prvních experimentech E1 a E2 s aktivním bočním tlakem, byla však přičítána spíše šumu snímačů, neboť se jednalo o nízké hodnoty. Experiment se stabilitou bočního tlaku v klidu ve střední fázi E3/2 ukázal, že jde o skutečnou a významnou nestabilitu bočního tlaku v klidu.

Z výše uvedených důvodů logicky vyplynula potřeba analýzy průběhu složek pasivního tlaku experimentu E3/2 v mezidobích přerušovaného pohybu a na posouzení délky optimálního intervalu mezi jednotlivými pohyby opěrné konstrukce. Tato analýza v oblastech singulárních počátečních bodů doplňuje již provedenou analýzu dlouhodobé časové nestability tlaku a bude využita při dalších experimentech.



Obr.3 Celkový pohled experimentální zařízení a vzorek zrnitého tělesa v něm před zahájením experimentu E3/2

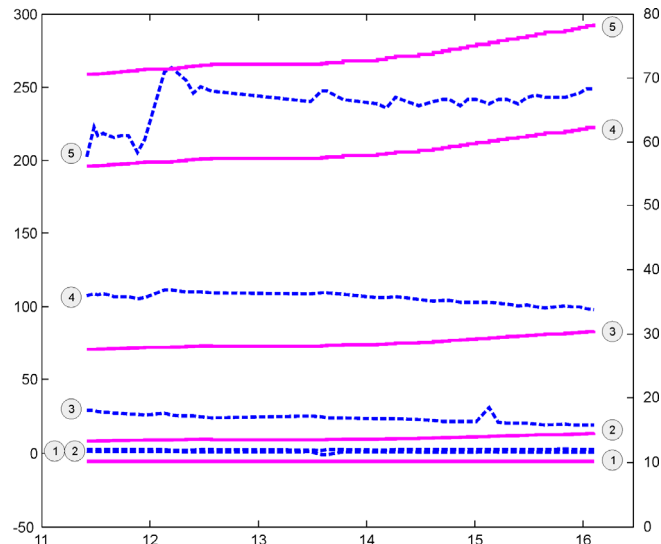
ANALÝZA A JEJÍ VÝSLEDKY

Z mimořádně velkého množství dat byla vybrána pro analýzu data z třetí (pohybové) fáze ad c), tedy ze stavu tělesa, kdy bylo podrobeno již velkým vynuceným přesunům a deformacím a tlakům blížícím se k tlakům maximálním. Výsledky časového průběhu tlaků pro vybraný časový úsek podle manuálně zaznamenaných dat ukazuje podrobně obr. 4. pro všech 5 tlakových snímačů.

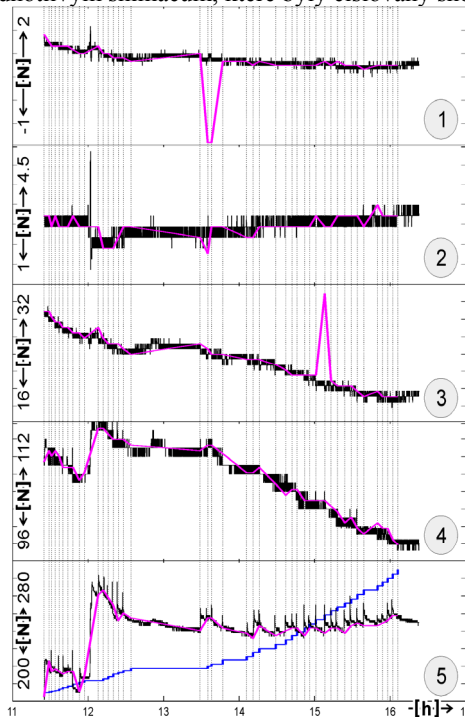
Výsledky časového průběhu tlaků pro časový úsek podle vybraného digitálního souboru dat ukazuje podrobně obr. 5. pro všech 5 tlakových snímačů (slabé černé čáry) a současně jsou uvedeny i průběhy manuálních záznamů (silné šedé čáry), které se většinou kryjí s digitálními záznamy a jejichž 2 zřetelné odchylky u snímačů č. 1 a 3 nejsou zatím vyjasněny, avšak pravděpodobně byly způsobeny chybami při zpracování manuálních záznamů.

V rámci analýzy bylo šetřeno též chování normálové složky bočního tlaku v (téměř) singulárních bodech náhlého (stupňovitého) posunu. snímače č. 5. (viz obr. 6) Velikost posunů v předmětné fázi činila 0,05 - 0,30 mm, neuvažujeme-li kratší či delší technologické přestávky. Z obr. 6. je patrné, že okamžitě během dílčího i malého posunu *vesměs* došlo k významnému (téměř) singulárnímu zvýšení hodnoty tlaku a pak ihned k jeho klesání až do dalšího posunu. Tento jev je ještě více zřejmý na detailní části grafu.

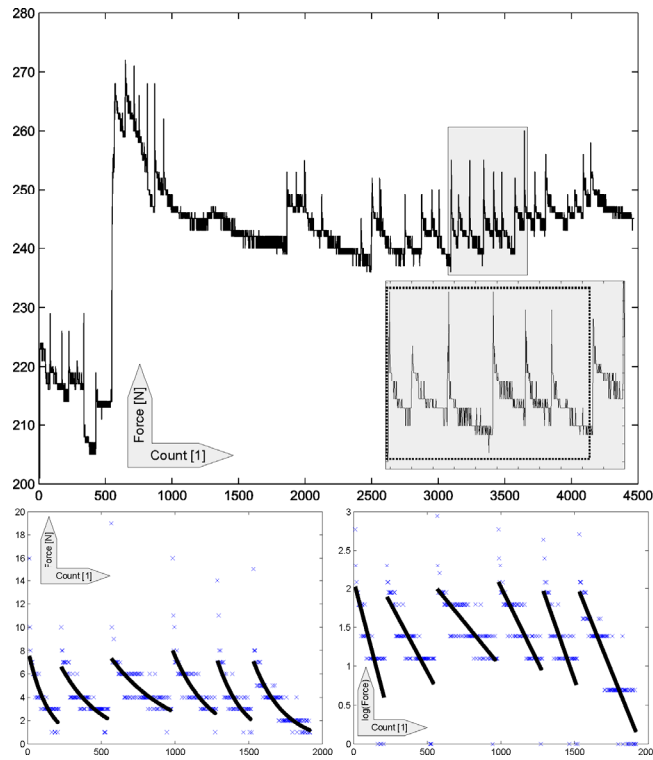
Charakter časové závislosti normálové složky bočního tlaku snímače č. 5 byl rovněž analyzován a výsledky analýzy jednotlivých sekvencí posunu jsou ukázány dolní části obr.5.



Obr.4 Časový průběh normálové složky bočního tlaku ve vybrané období od 11⁰⁰ do 17⁰⁰ hod. 7. 10. 2002. Na vodorovné ose je čas v hod., na svislé ose vlevo tlaková síla na snímač v N, na svislé ose vpravo je absolutní hodnota posunu příslušného snímače tlaku. Plné čáry vyznačují průběh pohybu snímače, čárkované čáry průběh manuálně zaznamenaných tlaků. Čísla označují příslušnost k jednotlivým snímačům, které byly číslovány shora.



Obr.5 Časový průběh tlaků pro vybraný časový úsek podle vybraného digitálního záznamu (slabé černé čáry) a podle manuálních záznamů (silné šedé čáry). Na vodorovné ose je čas v hod., na svislé ose vlevo tlaková síla v N v samostatných škálách pro každý snímač (čísla vpravo). Pohyb snímače č. 5 (dolní) viz nahoře se škálou na svislé ose vpravo



Obr.6 Zvětšená dílčí část průběhu normálové složky tlaku na snímač č. 5 ve vybraném časovém úseku (relativní čas v sec. vodorovné ose = 4s x číslo záznamu), u hlavního grafu je absolutní tlak v N na svislé ose vlevo. Dolní dva grafy ukazují výsledky regresní analýzy vlevo pro (vodorovnou) časovou osu v normálním měřítku, vpravo pro logaritmické měřítko, svislé osy jsou v relativních měřítcích

ZÁVĚRY

Provedená analýza detailů digitálních a psaných záznamů vybrané dílčí části experimentu E3/2 s pasivním bočním tlakem ukázala, že i v oblasti vysokých hodnot pohybu konstrukce a normálových složek tlaku a v krátkých časových intervalech boční tlak zrnitého tělesa není stabilní a choval se *vesměs* podobně nestabilně jako v dlouhém časovém úseku, jak bylo zjištěno dříve. O chování zrnitého tělesa v krátkých časových intervalech po náhlém posunu lze vyznačit následující závěry:

- Při náhlém pohybu opěrné konstrukce dochází k singulárnímu zvýšení bočního tlaku a sice prakticky okamžitě.
- Po náhlém pohybu opěrné konstrukce dochází k téměř okamžitému výraznému poklesu bočního tlaku a jeho dalšímu snižování.
- Charakter poklesové křivky normální složky tlaku může být blízký k logaritmické křivce, jako u jejího dlouhodobého vývoje, avšak šum v digitálních záznamech zatím nedovolil přesné určení.

Analýza též ukázala, že psané záznamy odstraňují odlehlé hodnoty tlaků v singulárních bodech a dobře vystihují chování zrnitého tělesa pro zvolený režim experimentu.

Tento příspěvek vznikl využitím výsledků a experimentálního zařízení z projektů GAČR č. 103/97/702 a 103/02/0956 a za podpory GAČR č. 103/2005/2130, GAAV č. A2071302 a výzkumného záměru AVOZ20710524 a autoři za tuto podporu děkují. Na experimentu E3/2 se podíleli též techničtí pracovníci ÚTAM AV ČR, za což jim rovněž patří dík.

LITERATURA

- [1] KOUDELKA, P.: *Nonlinear bicomponent lateral pressures and slip surfaces of granular mass*. Proc. IC GeoEng2000, Melbourne, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster/Basel, 2000, p. 72 (ps. 8).
- [2] KOUDELKA, P.: *Lateral pressures of granular mass – Experiment no. 2*. Proc. 38th NC Experimental Stress Analysis, Třešť CzR, June, TU Brno, 2000, pp. 157-164.
- [3] KOUDELKA, P.: *Numerical Analysis of a Physical Experiment with Retained Mass by GLPT*. Proc. RC Geotechnical Engineering in Soft Ground, Shanghai, Tongji University Press, 2001, pp. 563-568.
- [4] KOUDELKA, P., ŠMÍD J., VALACH J., ČIHAŘ J.: *Application of Bi-component Tensors and Experimental Analysis of Noncohesive Granular Model Masses*. Proc. 39th NC Experimental Stress Analysis, Tábor, ITAM ASc CzR Prague, 2001, pp. 175-180.
- [5] ŠMÍD J., XUAN P.V., THÝN J.: *Effect of Filling Method on the Packing Distribution of a Catalyst Bed*. Chem. Eng. Technol. , 1993, Vol. 16, p. 117.
- [6] KOUDELKA P.: *Philosophy of Earth Pressure Analysis by an Advanced Model*. Proc. IS EC7 Towards Implementation, London, 1996, pp. 21-31. ISE London. London.
- [7] KOUDELKA, P.: *Effects and Some Risks of Designs Based on Ultimate Limit State*. Engineering Mechanics, 1998, Vol. 5, No. 4, pp. 1-16.
- [8] KOUDELKA, P.: *Ultimate Limit State of Retaining Structures – Analysis of Limit Standard Structure Movements*. Proc. 6th Symp. Theoretical and Applied Mechanics, Struga-Macedonia, MAM/FCE Skopje, 1998, Vol. 2, pp. 289-296.
- [9] KOUDELKA P., VALACH J.: *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), 2002, Vol. 3, pp. 107-111.
- [10] KOUDELKA, P., KOUDELKA T.: *Briefly on the Extreme and Intermediate Lateral Pressures on Structures*. Proc. 12th DEC Geotechnical Engineering, Passau, DGGT, Gudehus et al., ISBN 3-7739-5973-7, 2002, pp. 343-346.
- [11] KOUDELKA, P., VALACH, J., KOUDELKA T.: *Passive Lateral Pressures Acting on the Structure – Experiment No. 3/2 – Rotation about the Top*. Proc. 41st RC Experimental Stress Analysis. Milovy (Czech Republic). Vlk M. et al., Technical University in Brno, 2003.
- [12] KOUDELKA, P., KOUDELKA T.: *Time Instability of Passive Lateral pressure of Non-cohesive Materials*. Proc. 12th ARC SMGE, Singapore, 2003, ed. Leung et al.