



**Experimentální Analýza Napětí 2001**

Experimental Stress Analysis 2001

**39<sup>th</sup> International Conference**

June 4 - 6 , 2001 Tábor, Czech Republic

**APPLICATION OF BI-COMPONENT TENSORS  
AND EXPERIMENTAL ANALYSIS  
OF NONCOHESIVE GRANULAR MODEL MASSES**

**POUŽITÍ DVOUSLOŽKOVÝCH SNÍMAČŮ TLAKU  
A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA  
U SYPKÝCH ZRNITÝCH MODELOVÝCH TĚLES**

P. Koudelka\* – J. Šmíd\* – J. Valach\* – J. Čihař\*

*Abstract: The paper concentrates on experimental technology and analysis of the two main problem of the lateral pressure of granular materials. Both the presented information about the pressure record and the analysis procedure are based on the Czech invention of the bi-component tensor. The paper contains also more detailed explanation of adjoining effects of milieu.*

**Key words:** Granular mass, lateral (soil) pressure, component of pressure, bi-component tensor, record, adjoining effect.

## 1. Úvod

V posledních 5 letech v ÚTAM probíhá výzkum bočního (zemního) tlaku na fyzikálních i pokročilých numerických modelech, který ukázal, že nesoulad konvenční teorie zemního tlaku se skutečností i numerickými modely není náhodný a že některé její přístupy mohou být velmi rizikové. Teoretická koncepce výzkumu byla zaměřena na chování zemního tělesa při různých typech pohybů opěrné konstrukce. Byly sledovány a analyzovány jak přetvárné procesy a procesy porušení, tak i obě složky kontaktního napětí na rubu konstrukce, tj. normálový tlak a svislé tření. Chování zemního tělesa se ukázalo podstatně složitější, než uvažují předpisy (Koudelka 2000a, b, c, Koudelka-Valach 2000).

- 
- \* Petr Koudelka, PhD., AEng., CEng. : Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of the CzR, Prosecká 76, Praha 9, 190 00 ; tel. +420.2.86882121 ; fax +420.2.86884634 E-Mail: koudelka@itam.cas.cz ,I-net: <http://www.itam.cas.cz/~koudelka> .

Jiří Šmíd, PhD., MEng. : Faculty of Mechanical Engineering, CzTU in Prague, Technická ,Praha 6, 16000, tel. +420.2.24352543, fax. 24353705, E-Mail: [smid@fsid.cvut.cz](mailto:smid@fsid.cvut.cz).

Jaroslav Valach, NFEEng. : Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of the CzR, Prosecká 76, Praha 9, 190 00 ; tel. +420.2.86882121; fax +420.2.86884634 E-Mail: valacha@itam.cas.cz ,I-net: <http://www.itam.cas.cz/~valach> .

Jiří Čihař : Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Sciences of the CzR, Prosecká 76, Praha 9, 190 00 ; tel. +420.2.86882121 ; fax +420.2.86884634 E-Mail: cihar@itam.cas.cz.

Základním pilířem fyzikálního modelového výzkumu bylo měření obou složek (normálové a tangenciální) bočního tlaku sypkého zrnitého tělesa na různě se pohybující opěrnou stěnu. Spolehlivou separaci obou složek tlakového napětí umožňují podle známých informací pouze snímače podle českého vynálezu autorů Šmíd-Novosad, které byly dosud použity pouze ojediněle pro technologické účely a geotechnického problému byly použity patrně poprvé. Příspěvek proto uvádí informace o snímačích a zkušenosti z jejich využití. Podrobněji je uveden výsledek analýzy vedlejšího vlivu, kterou snímače umožnily.

## 2. Dvousložkové snímače

Snímače tlaků, kterými zeminy nebo sypké materiály působí na opěrné stěny, využívají obvykle tenkou kovovou membránu, jejíž průhyb od působícího tlaku je měřen mechanicky nebo snímán tenzometricky (Dale and Robinson,1954; Williams and Ross,1968; Tschebotarioff,1973). Nedostatkem membránových snímačů je skutečnost, že měří pouze působící tlak zatímco mezi zeminou a opěrnou stěnou působí ještě významná složka tření, tzv. smykové nebo tangenciální napětí. Membrána je tedy kromě rovnoměrně působícího tlaku zeminy namáhána ještě třecími silami. Tyto síly průhyb membrány změní, takže dojde ke zkreslení výsledku měření tlaku. Jsou tedy membránové snímače tlaků zemin nevýhodné zejména proto, že měří pouze tlakovou složku napjatostního stavu zeminy a to ještě nepřesně, protože dochází k částečnému znehodnocení výsledků měření vlivem současně působících třecích sil.

Obr.1. Pohledy na typ snímačů, které byly použity při experimentech.

Je ovšem důležité poznamenat, že měření obou složek napjatosti v zemině je nutnou podmínkou pro určení velikosti a směru vektoru napětí v kontaktu zemina-opěrná stěna. Řešení dvousložkového snímače Šmíd-Novosad podle obr.1, které je předloženo v tomto příspěvku, nahrazuje tenkou membránu snímače tlaku tuhou deskou resp. diskem, který se pod vlivem tlaku zeminy chová jako píst. Za diskem (snímací deskou) je v tělese snímače umístěn prstencový siloměrný člen s tenzometrickými snímači. Snímací disk je při měření stlačen zeminou a prstencový siloměrný člen je radiálně deformován. Třecí síly v kontaktu snímací deska-zemina potom vnášejí do siloměrného členu ještě deformaci tangenciální.

Snímací deska je v tělese snímače pružně utěsněna tak, aby byl snímač prachotěsný a vodotěsný.

Na siloměrném členu jsou instalovány dva úplné tenzometrické můstky s polovodičovými tenzometry pro současné ale nezávislé měření obou působících složek napjatosti v kontaktu zemina-opěrná stěna. V umístění tenzometrů na měrném členu je zohledněn požadavek, aby jejich napěťové výstupní signály byly maximální. Toho je dosaženo pomocí výpočtu rozložení ohybových napětí v prstencovém siloměrném členu. Rovněž i obě můstková zapojení polovodičových tenzometrů se liší, aby bylo dosaženo dokonalé separace dvou silových účinků na jediném měrném členu snímače. Samozřejmě je také teplotní kompenzace tenzometrických můstkových obvodů.

Aby v místě měření zemního tlaku došlo jen k minimálnímu narušení pole napětí mezi zeminou a opěrnou stěnou, musí být měření prováděna při minimálních deformacích měrného členu snímače. I v tomto ohledu má popisovaný snímač tlaku zemin výhodu před snímači membránovými. Jak již bylo uvedeno, snímací deska se pod tlakem zeminy chová jako píst, zatímco průhyb membrány je nerovnoměrný. K největšímu narušení pole napětí v zemině tedy dochází uprostřed membrány. Použití polovodičových tenzometrů umožňuje přitom získat dostatečnou hodnotu výstupního napěťového signálu i při minimálních deformacích měrného členu v řádu tisícín milimetru.

Snímač tlaku je před měřením kalibrován. Děje se tak pomocí závaží, hydraulicky nebo je kalibrace snímače prováděna jeho zatěžováním přes tenkou vrstvu zeminy. Způsoby kalibrace snímačů tlaku zemin jsou předmětem dalšího výzkumu. Lze ale konstatovat, že výsledky jednotlivých metod kalibrace se příliš neliší pokud deformace snímače nepřesáhne optimální návrhové hodnoty, odpovídající max. tlakům, na které byl snímač navržen. Výstupní napěťový signál je při kalibraci snímačů lineárně závislý na působícím tlaku.

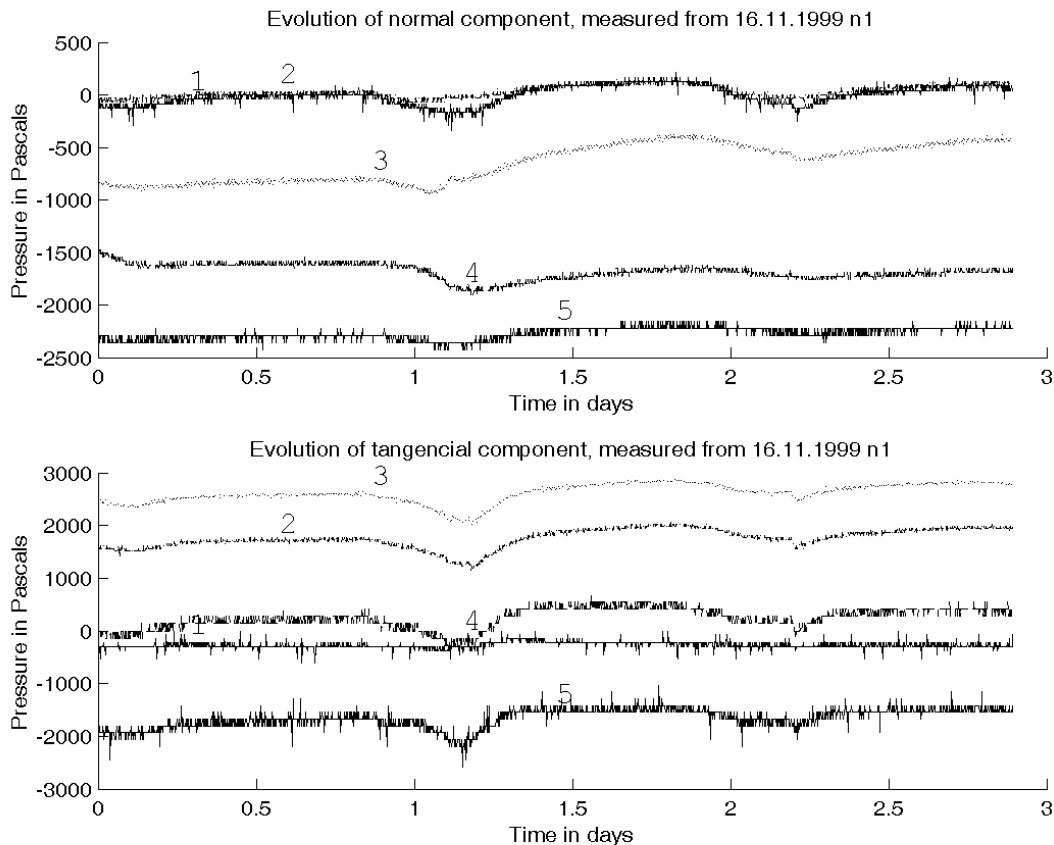
### **3. Měření a jeho výsledky**

Dvousložkové snímače umístěné s rovnoměrnými rozestupy v experimentálním zařízení byla označena čísly 1 (nejvýše umístěné čidlo) až 5 (nejníže). Signál byl zaznamenáván prostřednictvím měřicí ústředny BMC IM-1610 na počítači. Záznam probíhal jak v průběhu aktivního ovlivňování experimentu posouváním stěny, tak v době bez zásahů. Digitalizované údaje obsahující časovou značku a hodnoty sil z jednotlivých snímačů byly zapisovány do souboru v přibližně dvouminutovém intervalu (125s) vhodném pro dostatečně hustý záznam „pomalých dějů“, ke kterým dochází v námi zkoumaných zrnitých materiálech. Reprezentativní vzorek takového záznamu provedeného po ukončení posuvů svislé stěny znázorňuje obrázek obr.2.

### **4. Parazitní vlivy**

Za pozoruhodnou skutečnost je možno považovat časový průběh hodnot zaznamenaných jednotlivými snímači, který se jeví v přímé závislosti na denní době, jak je zřejmé z časové osy obrázku vyjádřené ve dnech. Tato závislost je podmíněna prvotním výběrem rozsahu dvousměrných snímačů, pro které skutečné měřené hodnoty nepředstavovaly více, než 10% rozsahu, klouzáním veličin analogové části systému, změnami teploty v experimentální hale ÚTAM a také proměnou aktuálních hodnot napětí v síti. Pro další experimenty již byla provedena výměna snímačů s přihlédnutím ke skutečně působícím

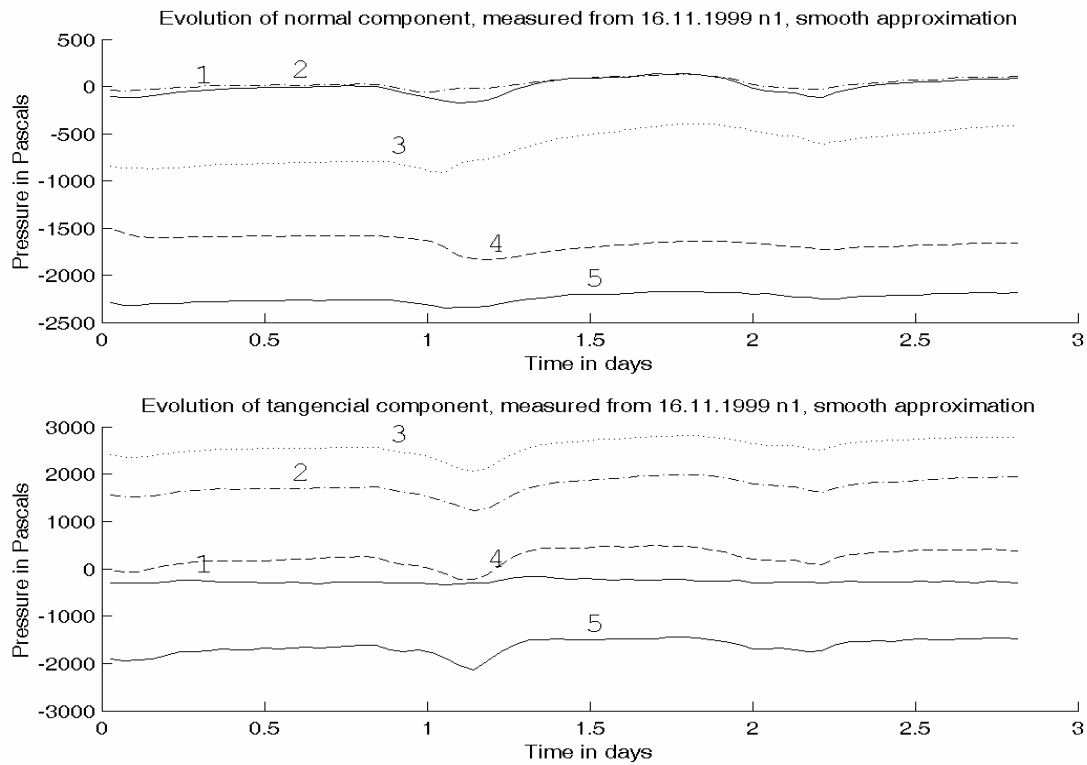
tlakům, ale jako výzva pro další experimenty zůstává nezbytnost nezávislého měření okolní teploty, pravděpodobně také vlhkosti a napětí v síti pro provedení korekcí potlačujících vlivy okolního prostředí.



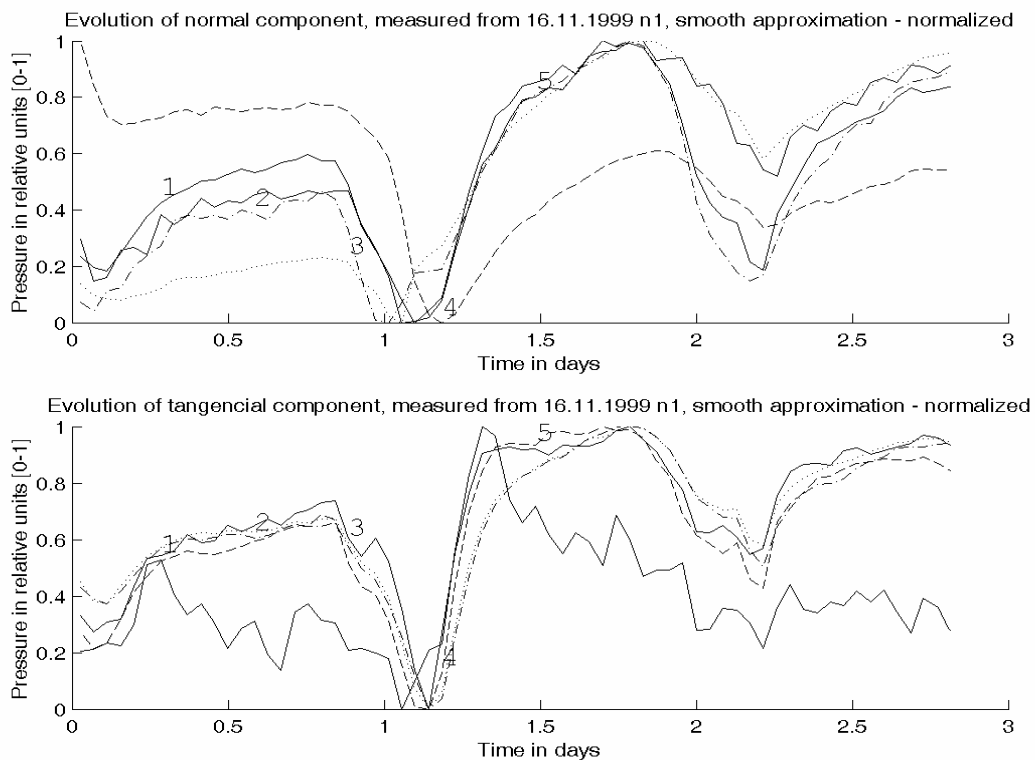
Obr.2. Záznam ze snímačů v době klidu. Číslice označují pořadová čísla snímačů.

Graf na obr.3 znázorňuje data z obrázku obr.2 po statistickém zpracování potlačujícím jednotlivé „vysokofrekvenční“ zdroje chyb při zvýraznění dlouhodobějších trendů diskutovaných v předchozím odstavci.

Měřené veličiny se s časem mění jen velmi pomalu a předpokládaná změna vyvolaná konsolidací materiálu je překryta superponovanými vlivy, jak demonstruje obr.4, který normalizuje časový záznam ze všech snímačů. Normalizací hodnot dojde ke zřetelnému zdůraznění vlivu prostředí simulovaným převodem všech měřených hodnot na společný rozsah.



Obr.3. Vyhlazený záznam dat z obrázku 2.



Obr.4. Normalizovaný tvar záznamu zdůrazňující vnější vlivy. Umožňuje porovnat záznamy jednotlivých snímačů (čísla 1-5) mezi sebou.  
 Legenda : 1 – plná, 2 – čerchovaná, 3 – tečkovaná, 4 – čárkovaná, 5 – plná.

## 5. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že použitý typ dvousložkových snímačů se osvědčil i při nepřetržitých střednědobých experimentech (7 a 5 měsíců) a v kombinaci se zesilovačem BMC, kdy bylo získáno a pro další analýzy zpracováno velké množství údajů.

Přestávky mezi jednotlivými fázemi experimentů umožnily sledování vývoje bočního tlaku v klidu v průběhu času. Z výsledků je zřejmé, že v průběhu dne působí parazitní vlivy, a snímače umožnily jejich kvantifikaci. Ukázalo se, že v krátkodobých intervalech velikost parazitních vlivů převyšuje hodnoty změn, které odpovídají konsolidaci zrnitého tělesa.

### Literatura:

- Dale A. C., Robinson R. N.: Agricultural Engineering 35, 570 (1954)
- Koudelka, P. (2000a). "Lateral pressures of granular mass – Experiment no.2". Proc. 38<sup>th</sup> NC Experimental Stress Analysis, Třešť CzR, June, TU Brno, pp.157-164.
- Koudelka, P. (2000b). "Nonlinear bicomponent lateral pressures and slip surfaces of granular mass". Proc. IC GeoEng2000, Melbourne, November, Balkema Publ. p.72 (ps.8).
- Koudelka P. (2000c). "Poznátky z výzkumu bočního tlaku zrnitých materiálů". Sb. 24. konf. Zakládání staveb Brno 2000, str.241-245, ČSSI-ČGS, KC Brno.
- Koudelka, P. – Valach, J. (2000). "Displacements and slip surfaces of granular mass behind a retaining wall – Experiment E2". Proc. NC Engineering mechanics 2000, Svratka CzR, May, ITAM Prague, Vol.1, pp.121-124.
- Williams E. J., Ross I. J.: Transaction of the ASAE 11, 868 (1968)
- Tschebotarioff G. P.: Foundations, Retaining and Earth Structures, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, New York (1973)