

# ŘÍZENÍ TOKU MATERIÁLU VE SKLADOVACÍCH SYSTÉMECH POMOCÍ VYVINUTÉHO 3DIMENZIONÁLNÍHO SNÍMAČE

## FLOW MATERIAL OPERATING USING DEVELOPED 3DIMENSIONAL DETECTOR IN STORAGE SYSTEMS

Aleš Slíva<sup>1</sup>

---

*Anotace: Při řešení otázky zajištění kontinuálního toku materiálu v logistických systémech se často zabýváme otázkou snímání kapacitního průtoku materiálu za účelem sofistikovanějšího řízení celého logistického řetězce a reagování na okamžitou změnu potřeby výskytu materiálu. Příspěvek popisuje vývoj a testování 3Dimenzionálního snímače schopného identifikovat velikost materiálového průtoku a to nezávisle ve 3 dimenzionálních směrech. Vyvinutý snímač je konstrukčně ochráněn průmyslovým vzorem a taktéž jsou chráněny různé tvary snímače pro bezproblémovou aplikaci do skladovacích systémů.*

*Klíčová slova: 3Dimenzionální snímač, skladovací systém, materiálový průtok*

*Summary: The issue on quantity of a material flow for assuring of continual material flow rate to sophisticated material management of a logistic chain in general and response on material occurrence need change has been often investigated in the logistic system proposal. The paper deals with development and testing of developed 3Dimensional detector capable of identification of material flowage size especially to three-dimensional directions. Moreover, the detector is patented for industrial design and shape detector applications have been patented also for trouble-free applications to storage systems.*

*Key words: 3Dimensional detector, storage system, material flow*

### 1. ÚVOD

Samotný proces skladování v klasických skladovacích systémech sypkých hmot nepřidává užitnou hodnotu skladovanému materiálu. Kromě tohoto v těchto skladovacích systémech je možný výskyt celé řady poruch, které zapříčiňují nekontinuitu toku materiálu až k místě jeho spotřeby. Obvykle problém se stupňuje z pohledu dlouhodobějšího skladování, protože ve skladovacím zařízení dochází k tvorbě nežádoucích jevů při toku skladované sypké hmoty.

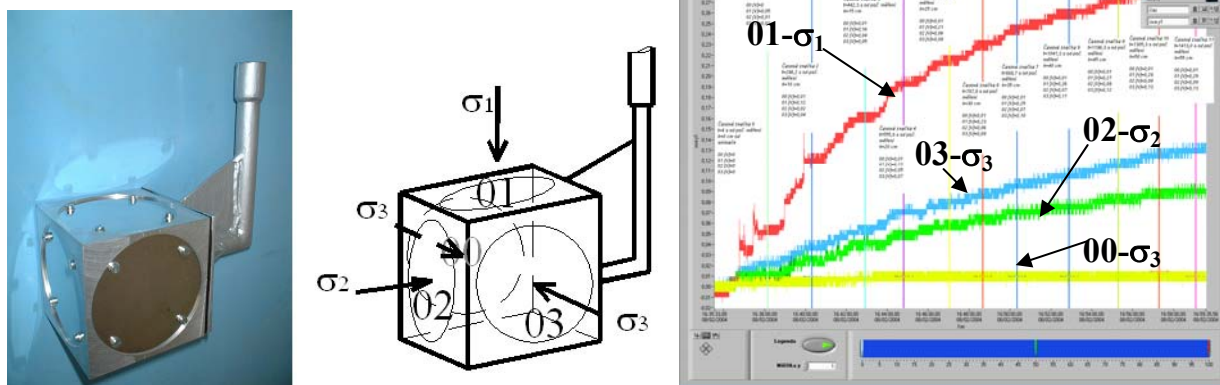
Sypké hmoty [1], včetně všech druhů prášků, patří mezi nejméně předvídatelné materiály ve vztahu k výše zmiňovaným poruchám, ke kterým se ještě přidávají faktory mechanicko-fyzikální povahy (částicová distribuce, tvar, pórovitost, apod.) a faktory mezičásticové povahy, u kterých všeobecně platí, že čím menší částice, tím je jejich vliv větší (elektrostatické síly, Van der Waalsovy síly, mechanismus růstu aglomerátů v sypké hmotě apod.). Zmíněné faktory mají zásadní vliv na funkčnost celého plynulého procesu skladování

---

<sup>1</sup> doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Tel. : +420 597325110, Fax: +420 596916490, E-mail: [ales.sliva@vsb.cz](mailto:ales.sliva@vsb.cz)

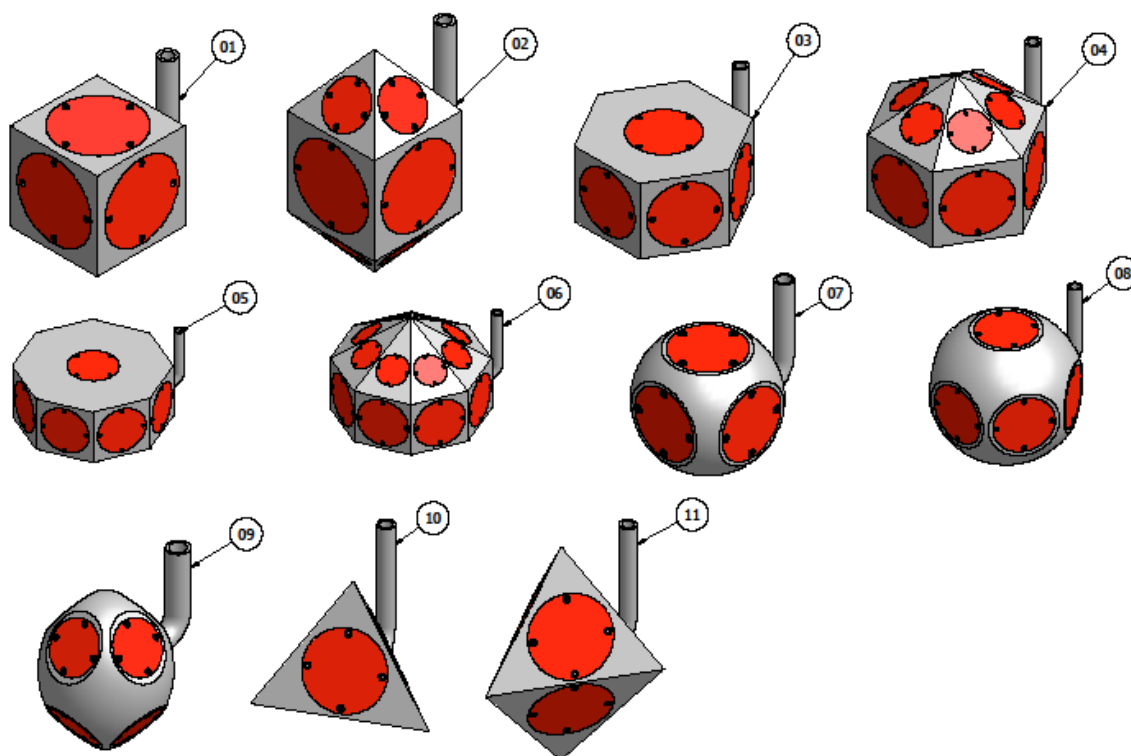
látky. Nabízené konstrukční řešení úpravy tvaru skladovacího zařízení např. sklonem stěn nebo geometrií jsou ekonomicky náročné. Další možnost řešení je instalování vibračních či fluidizačních zařízení uvolňující bloky materiálu. Tyto změny jsou však pulzní a často nepředvídatelné. Řešení, která předchází vznik poruch, jsou možná již v přípravě samotného materiálu např. povrchovou modifikací měnící tokové vlastnosti, granulací apod [2].

Tyto zmiňované poruchy [2], ani úpravy avšak neřeší podstatu a neodhalují příčiny celého problému. Řešením může být podrobné zkoumání příčiny těchto poruch na základě přesné identifikace napětí, která se vyskytují právě v místě poruchy pomocí 3Dimenzionálního snímače, který byl navržen a zkonstruován k tomuto účelu. Změna napětí (tlaku) resp. jeho přírůstek je indikátorem vzniku poruch. Dřívější konstrukce snímačů vycházely z předpokladu přenášení tlaků a pulsací do stěn zásobníku a z tohoto důvodu se umísťovaly přímo na stěny zásobníku (sila). Bohužel, často tato měření neodpovídala skutečnosti a neodrážela reálný stav vlivem špatného přenosu signálu od zdroje problematického materiálu. Zmiňovaný navržený 3Dimenzionální snímač (obr. 1 vlevo) včetně metodiky identifikace tlaků pomocí vhodného SW produktu (obr. 1 vpravo) řeší tyto problémy v celé jeho šíři a navíc dokáže zaregistrovat veškeré okamžité jevy vyskytující se uvnitř, přímo v kontaktním místě sypké hmoty.



Zdroj: vlevo foto- Aleš Slíva, vpravo-SW Conmes DAQ, Consynea.

Obr. 1 – Vlevo-Konstrukce 3Dimenzionálního snímače se schématem tlaků (napětí  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  a  $\sigma_3$ ) na jednotlivé tenzometry (00, 01, 02, 03). Vpravo– Reálné snímání napětí 3Dimenzionálního snímače pomocí 4 tenzometrů - časový průběh napětí tenzometrů (V).



Zdroj - Aleš Slíva

Obr. 2 – Návrh různých tvarů 3Dimenzionálního snímače s různými deformačními zónami.

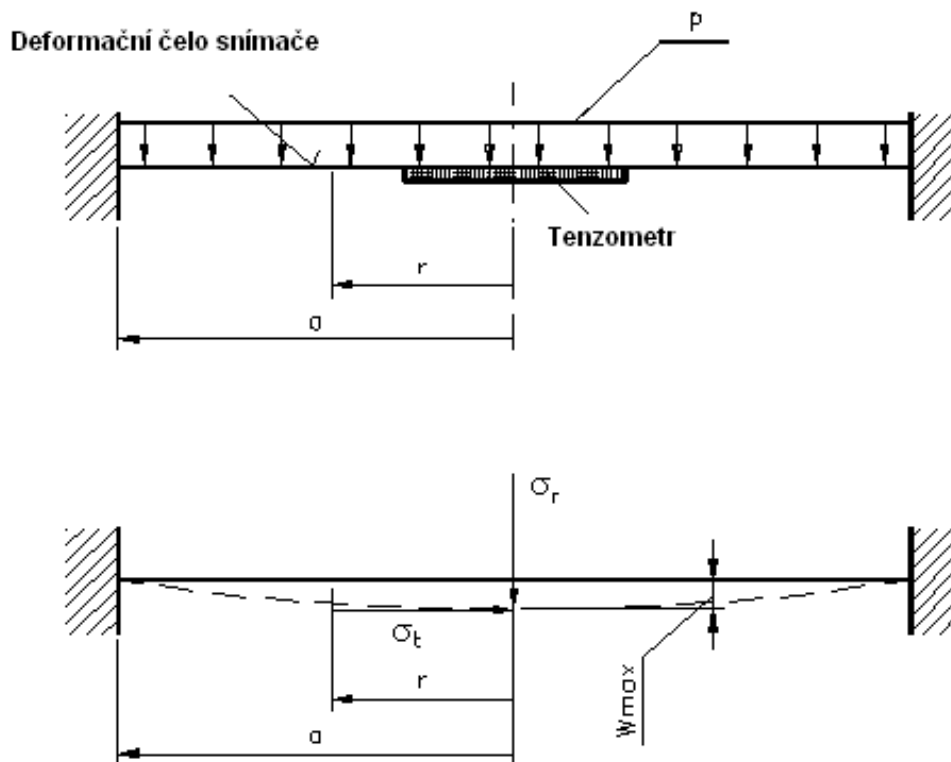
Konstrukce snímače (obr. 1) je odvozena od známé krychlové deformace elementu sypké hmoty ve skladovacím systému [2]. Na tomto základě byly navrženy různé možné tvary 3Dimenzionálního snímače včetně deformačních prvků odvozených na základě samotné konstrukce snímače (obr. 2). Všechny tvary jsou řádně autorsky ochráněny.

## 2. ŘÍZENÍ TOKU MATERIÁLU NA ZÁKLADĚ IDENTIFIKACE VÝŠKY MATERIÁLOVÉ VRSTVY

### 2.1 Deformace tenzometru čela 3Dimenzionálního snímače (obr. 1)

Pro přesnější identifikace tlaku na čelech snímače a zabezpečení odolnosti vůči znečištění byl tenzometr snímače umístěn na vnitřní stranu čela a byly snímány napětí při deformaci čela.

Uvedená napětí lze teoreticky definovat jako napětí *radiální-kolmé* k povrchu deformační čela a napětí *tangenciální-tečné* k místě deformace (obr. 3).



Zdroj - Aleš Slíva

Obr. 3 - Umístění tenzometru na čelo 3Dimenzionálního snímače

## 2.2 Výpočet kritických napětí na deformační čela snímače

Kritické radiální a tangenciální špičkové napětí je dáno (pro  $r=0$ , viz. obr. 3)

$$\sigma_t(0) = \sigma_r(0) = \frac{3}{8} \cdot \frac{p \cdot a^2}{h^2} \cdot [1 + \mu] \quad (1),$$

přičemž

$\mu$ -Poissonova konstanta materiálu deformačního čela [-],

$h$ -výška vrstvy materiálu [m],

$a$ -deformační průměr čela [m]

$p$ -tlak na stěnu snímače [Pa]

Radiální a tangenciální napětí v různých místech deformace čela

$$\sigma_r(a) = -\frac{3}{4} \cdot p \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^2 = \sigma_1$$

$$\sigma_t(a) = -\frac{3}{4} \cdot p \cdot \mu \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^2 = \sigma_2 \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

Redukované napětí podle metody HMH

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \leq \sigma_{dov} \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

a za předpokladu platnosti a použití vztahů (1) a (2) do vztahu (3) pak redukované napětí má hodnotu

$$\sigma_{red} = \frac{3}{4} \cdot p \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^2 \cdot \sqrt{1 + \mu^2 - \mu} \quad [\text{Pa}] \quad (4),$$

Maximální průhyb v místě deformace je dán:

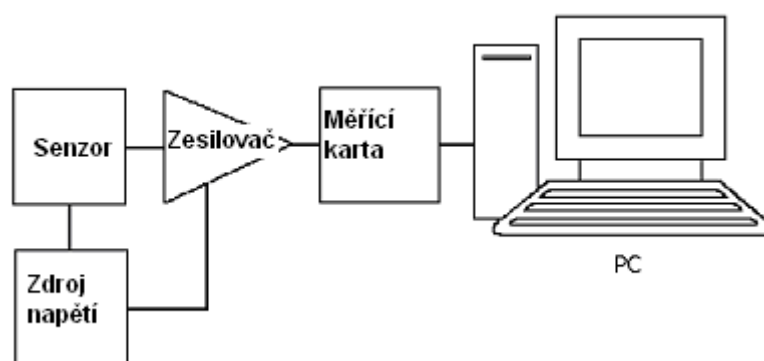
$$w_{max} = \frac{p \cdot a^4}{64 \cdot D} \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Uvedené vztahy (1-5) jsou platné za předpokladu pevného ukotvení deformačního čela na pevný základ kostky 3Dimenzionálního snímače. Ve skutečnosti byly deformační čela připevněny čtyřmi šrouby a pevnou přírubou z důvodu ochrání vnitřní elektroniky od vniknutí nečistot.

### 3. SNÍMÁNÍ NAPĚŤOVÉHO STAVU POMOCÍ 3DIMENZIONÁLNÍHO SNÍMAČE

#### 3.1 Konstrukce 3Dimenzionálního snímače

Napěťový stav sypké hmoty, tzn. velikost a charakter působícího napětí na element sypké hmoty ve skladovacím systému je možné zachytit a přesně identifikovat pomocí vyvinutého 3Dimenzionálního snímače. Velikost napětí (tlaku) na čelo deformačního detektoru je napětí sypké hmoty v daném místě. Při kalibraci těchto deformačních detektorů, tzn. vystavení různým napětím a sledování jejich deformace, lze sestavit kalibrační křivku a následně přesně přiřadit zachycené zesílené deformaci (V) jednotlivých čel velikost normálových napětí (obr. 4).



Zdroj - Aleš Slíva

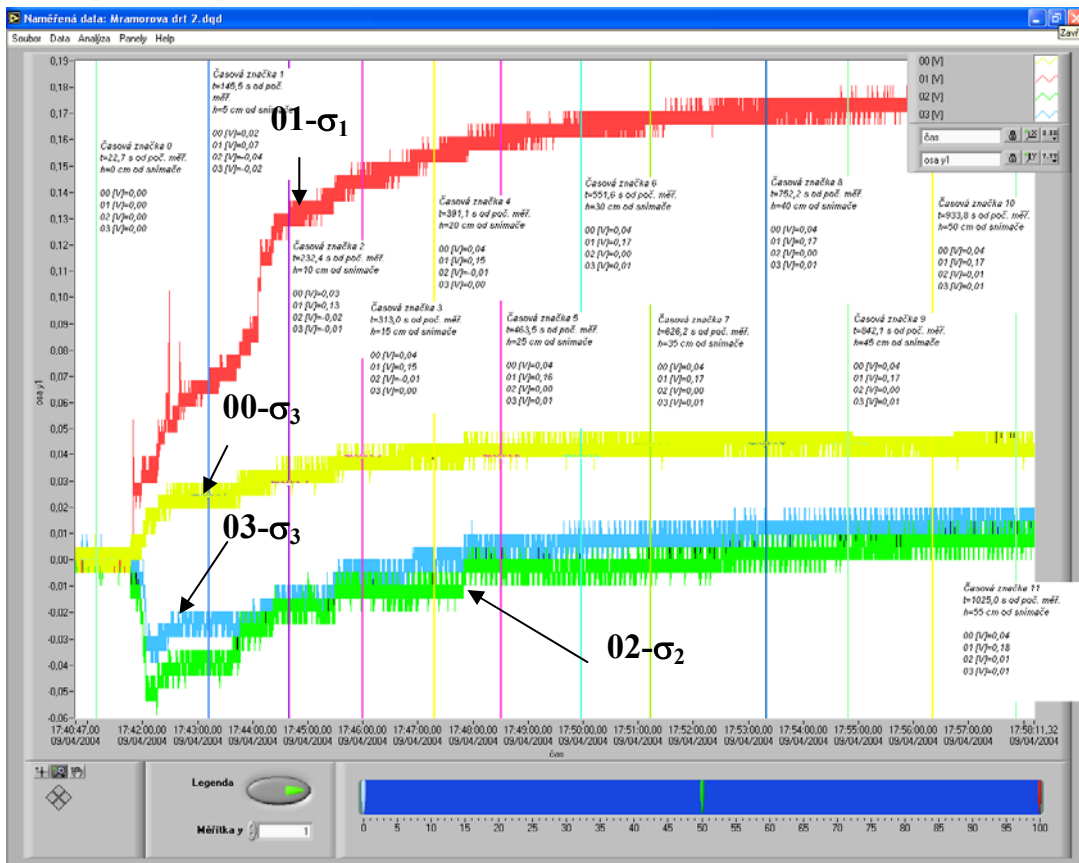
Obr. 4 - Aplikace sestavy 3Dimenzionálního snímače- zdroj napětí-senzor-měřicí karta a snímač pro měření tlaků ve skladovacím systému

#### 3.2 Měření množství skladované sypké hmoty in situ

Za účelem ověření správnosti teoretických úvah o napěťovém stavu sypké hmoty, porovnání dosavadní teorie a praxe, bylo realizováno zkoumání napěťového stavu mramorové drtě známé částicové distribuce a mechanických vlastností [2]. Nejprve byl snímač ponořen

do malého modelu síla a postupně zasypávání materiálem, přičemž byla zaznamenávána data o umístění hladiny materiálu vzhledem k poloze celého snímače.

Z uvedených výsledků zkoumání (obr. 5) je patrný exponenciální nárůst napětí vzhledem k poloze hladiny sytké hmoty a největší napětí vždy na tenzometru situovaném kolmo ve směru toku sytké hmoty. Tato měření odpovídají a podporují teorii Rankina [3] a částečně i teorii Janssena (1896) [4] o průběhu napětí. Z tohoto průběhu také vyplývá, že deformace čel snímače je také exponenciální a tudíž zákonitě deformace sytkého tělesa musí mít exponenciální průběh. Na obr. 5 je patrné, že existuje různá citlivost tenzometrů. Tato citlivost je ovšem detekována v kalibraci a tudíž následné hodnoty závislosti tenzometrického napětí (V) na poloze sytké hmoty jsou brány v úvahu.



Zdroj - Aleš Slíva, SW- Conmes DAQ, Consymea

Obr. 5 - Měření napětí mramorové drtě-deformace na stěnách 3Dimenzionálního snímače (rozmístění tenzometrů a napětí viz . obr. 1)

#### 4. ZÁVĚR

V příspěvku je reálně popsán vyvinutý 3Dimenzionální snímač napětí sytké hmoty realizovaný za účelem řízení toku materiálu ve skladovacích systémech. Toto vyvinuté zařízení je řádně autorizováno v podobě 2 průmyslových vzorů, které náležitě chrání design snímače (obr. 1) a příslušné odvozené tvary snímače (obr. 2).

Snímač je schopen měřit napěťový stav sytkého materiálu, identifikovat velikost množství skladované látky a obecně detekovat množství látky ve skladovacím systému v tím měřit aktuální stav sytké hmoty v zásobníku. Z výsledků měření vzorku mramorové drtě

vyplývá reálna možnosť detekcie pro různé typy skladovaných sypkých hmot, detekcie dynamických jevů, tj. např. pulsace sypké hmoty, poruch toku apod. Studium zmiňovaných poruch povede k zrovnomenění řízení toku sypké hmoty v dopravních, manipulačních a skladovacích systémech.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ZEGZULKA, J. *Mechanika sypkých hmot*. Ostrava: VŠB- TU Ostrava-Fakulta strojní, 2004. ISBN 80-248-0699-1.
- [2] SLÍVA, A. – ZEGZULKA, J. – POLÁK, J. New Method of a Silo Stress/Pressure Observation using the 3Dimensional Indicator. *In: iCEER 2004, VŠB-TU Ostrava*, rok 2004, ss. 769–771. ISSN 1562-3580.
- [3] RANKINE, W., J. *Manual of Civil Engineering*. 5<sup>th</sup> edition, Griffin, TE. R. Gerstein Library, London, 1867.
- [4] JANSSEN, H., A. *Versuche uber Getreidedruck in Silozellen*. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1895, pp. 1045-1049.

Recenzenti: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.  
VUT v Brně, FSI, Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Ing. Jan Famfulík, Ph.D.  
Vysoká škola báňská – Technická Univerzita Ostrava, FS, Institut dopravy