

Problematika návrhu horizontálních plochých uzávěrů při provzdušňování zásobníků sypkých hmot

Ing. Robert Brázda, Ph.D.

VŠB–TU Ostrava, Laboratoř sypkých hmot, Institut dopravy, Fakulta strojní, robert.brazda@vsb.cz

Přijato: 20. 5. 2010, recenzováno: 3. 9. a 6. 9. 2010

Abstrakt

Uzávěry zásobníků sypkých hmot jsou nezbytnými komponenty, které zajišťují uzavírání a otevírání ústí zásobníku. Kromě zásadní bezpečnostní funkce, kdy uzavěry zajišťují přerušování materiálového toku při různých situacích, např. při haváriích vzniklých na zásobníku sypkých hmot či v následném technologickém či dopravním procesu, mohou mít uzavěry zásobníku také funkci regulační. Příspěvek sleduje změnu vertikálního tlaku σ_{ivo} sypkých hmot do výpustného otvoru v průběhu různých procesů (provzdušňování, tlakový ráz a relaxace sypkých hmot) a z toho resultující vypočtený příkon pohonu plochého horizontálního uzávěru zásobníku.

Horizontal plate closures design for bulk solids aeration in silos

Bulk solids silo closures are essential components providing closing and opening of the silo mouth. Their basic safety function is to cut off the flow of material at different situations, such as silo breakdown, technological failure, or conveying failure. Moreover, they can also provide some control functions. The paper deals with changes of bulk solids vertical pressure σ_{ivo} at the silo mouth during different processes (aeration, pressure shock, and bulk solids relaxation) resulting in calculated input of silo horizontal plate closure drive.

Problematik des Entwurfes der horizontalen flachen Verschlüsse bei der Durchlüftung von Schüttgutsilos

Die Verschlüsse der Schüttgutsilos sind unerlässliche Komponenten, die das Verschließen und Öffnen der Silomündung sichern. Neben der grundsätzlichen Sicherheitsfunktion, wobei die Verschlüsse für die Unterbrechung des Materialflusses in verschiedenen Situationen, z.B. bei den auf dem Schüttgutsilo oder in Förderprozessen entstandenen Havarien verantwortlich sind, können die Siloverschlüsse Regulierungsfunktion erfüllen. Der Beitrag verfolgt die Änderung des vertikalen Druckes σ_{ivo} des Schüttguts in die Auslaßöffnung im Verlauf von verschiedenen Prozessen (Durchlüftung, Druckschlag und Entspannung des Schüttguts) und der daraus resultierende errechnete Anschlußwert des Antriebes des flachen horizontalen Siloverschlusses.

Klíčová slova: sypká hmota, zásobník, vertikální tlak, provzdušňování, horizontální uzávěr.

Keywords: bulk solid, silo, vertical pressure, aeration, horizontal plate closure.

1 Úvod

Pro bezproblémové vyprazdňování zásobníků sypkých hmot se používá celá řada systémů, které eliminují vznik tokových poruch (klenby, komínování, nálepy aj.). Mezi základní eliminační systémy se řadí systém pracující na principu provzdušňování problematických oblastí zásobníku sypkých hmot či aktivace těchto oblastí pomocí přesně řízených dávek upraveného tlakového vzduchu. S instalací výše uvedených eliminačních systémů vzniká otázka, jak toto přídatné zařízení může ovlivnit návrh nebo již existující plochý horizontální uzávěr výpustného otvoru.

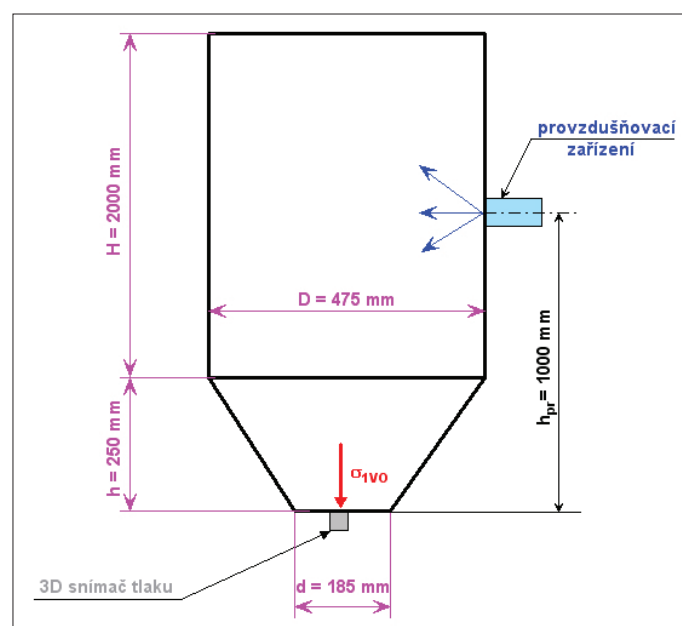
V Laboratoři sypkých hmot Fakulty strojní VŠB–TU Ostrava (LSH) bylo sestaveno experimentální zařízení s cílem ověřit vliv provzdušňovacího systému na vertikální tlak σ_{ivo} do výpustného otvoru, který je dominantní složkou pro návrh pohonu plochého uzávěru.

2 Popis experimentálního zařízení a měřeného sypkého materiálu

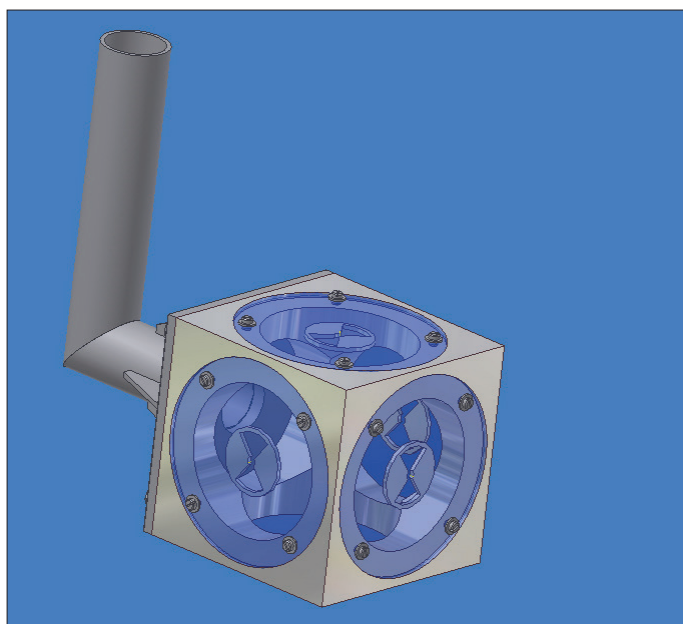
Experimentální zařízení (obrázek č. 1) je tvořeno zásobníkem válcového tvaru s kuželovou výsypkou (rozměry viz tabulka č. 1), provzdušňovacím zařízením umístěným ve vzdálenosti h_{pr} od výpustného otvoru a 3D snímačem tlaků. Provzdušňovací zařízení se skládá z pórovitého provzdušňovacího elementu

(materiál Siper[®]), přípojného vedení vzduchu, rychlospojek a jednopístového kompresoru Orlík JSK-75-14.

Pro měření vertikálního tlaku σ_{ivo} se do výpustného otvoru umístil 3D snímač (viz obrázek č. 2) [2]. 3D snímač je zařízení



Obr. 1: Experimentální zařízení [1, 6]



Obr. 2: 3D snímač [2]

určené k analýze tlakových stavů uvnitř sytké hmoty ve třech směrech, např. v zásobnících sytkých hmot. Pro analýzu vertikálního tlaku ve výpustném otvoru byla využita možnost měření tlakových veličin pouze ve svislém směru. Výše uvedený 3D snímač byl při měření zapojen přes svorkovnici na měřicí AD kartu DAQCard-6024E firmy National Instruments a vizualizace měření probíhala v prostředí upraveného programu LabVIEW.

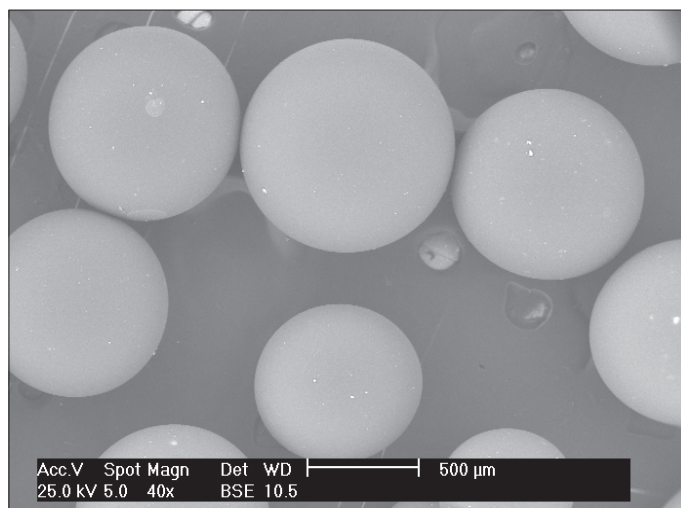
Ve spolupráci s Ing. Otou Pumprou z Katedry energetiky FS VŠB-TUO a Ing. Lukášem Dvořákem z Katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení FS VŠB-TUO byly změněny základní parametry jednopístového kompresoru Orlik1 JSK-75-14, a to průtok Q_2 a absolutní tlak p_2 . Měření bylo rozděleno do dvou fází. V první fázi byl kompresor s provzdušňovacím zařízením připojen na měřicí clonu Mattech v Laboratoři objemových kompresorů FS VŠB-TUO a byly analyzovány parametry průtoku Q_{IN} pro nezatížený stav. Nezatíženým stavem je stav, kdy za provzdušňovacím elementem v experimentálním zásobníku není umístěn sytký materiál. V druhé fázi byl snímán tlak p_2 při cíleném provzdušňování sytkého materiálu v experimentálním zásobníku. Snímání probíhalo pomocí

Tab. 1: Parametry zásobníku [1, 6]

Parametry experimentálního zásobníku	
Průměr válcové části D	475 [mm]
Výška válcové části H	2000 [mm]
Průměr výpustného otvoru d	185 [mm]
Výška kuželové části h	250 [mm]

Tab. 2: Výsledky měření kompresoru [1, 6]

1. fáze měření	
Normální absolutní tlak p_{IN}	101 325 [Pa]
Normální teplota T_1	273,15 [K]
Průtok Q_{IN}	13,9 [m ³ .h ⁻¹]
2. fáze měření	
Analyzovaný absolutní tlak p_2	498 600 [Pa]
Změřená teplota T_2	293,15 [K]



Obr. 3: 40násobné zvětšení iontoměniče [CNT9360, VŠB-TUO]

snímače Messbereich typ PR15 připojeného k záznamovému zařízení Multisystem M5000-Hydratechnik. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Aplikací stavové rovnice pro vzduch je možno zjistit průtok provzdušňovacím systémem při cíleném provzdušňování. Výpočtem dle vzorce (1) byl zjištěn průtok Q_2 přes provzdušňovací element při cíleném provzdušňování.

$$Q_2 = \frac{T_2 \cdot p_{IN}}{T_1 \cdot p_2} \cdot Q_{IN} \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{293,15}{273,15} \cdot \frac{101\,315}{498\,600} \cdot 13,9 = 3,035 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Modelovým materiálem pro experimentální měření byl zvolen iontoměnič (viz obrázek č. 3), což je hmota určená k úpravě technických a provozních vod elektráren či tepláren. Výsledky měření mechanicko-fyzikálních vlastností iontoměniče jsou shrnuty v tabulce č. 3.

Tab. 3: Výsledky analýzy iontoměniče [1, 6]

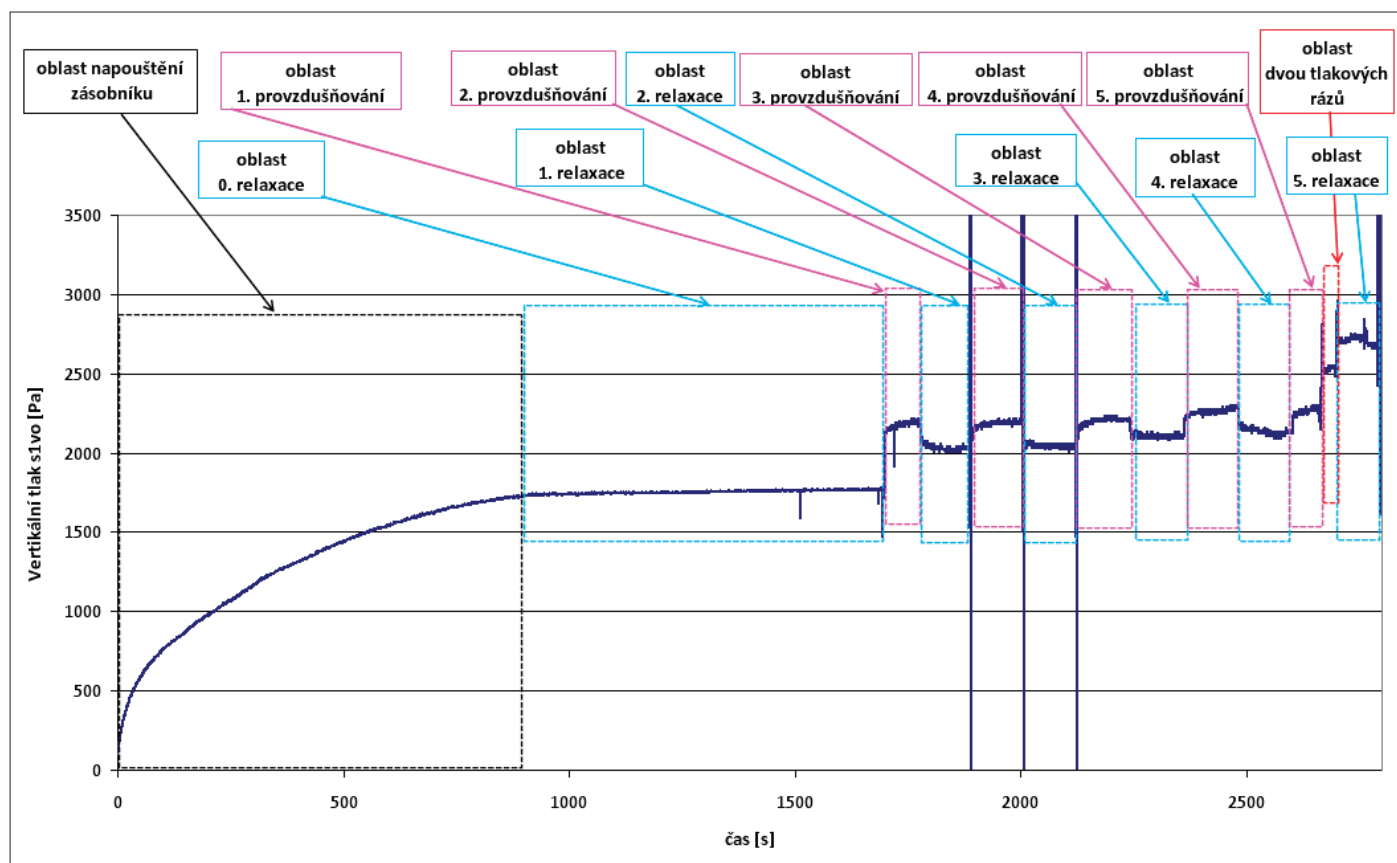
Měřený materiál - iotoměřič		
Součinitel vnitřního tření f_e	0,52	[-]
Součinitel vnějšího tření mezi iontoměřičem a plochou uzávěru f_i	0,30	[-]
Sytká hmotnost ρ_s	724	[kg.m ⁻³]

Iontoměničová hmota byla zvolena pro blízkost se hodnotu úhlu vnitřního tření φ_e k hodnotě 30°, což je dle standardu LSH ideální sytká hmota vhodná ke specifikaci fyzikálních zákonitostí. [5]

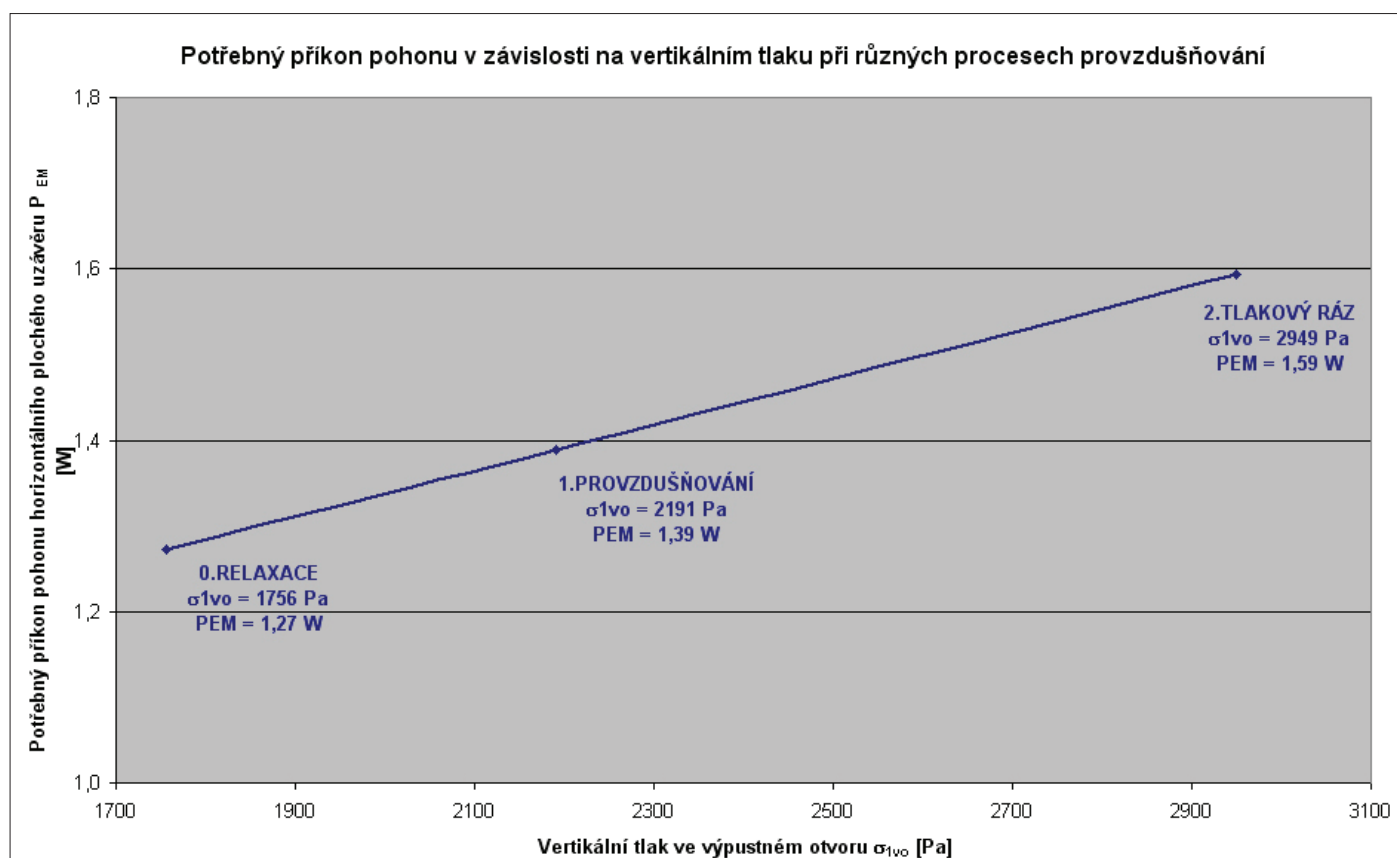
3 Postup měření a analýza naměřených hodnot

Měření vertikálních tlaků σ_{ivo} do výpustného otvoru experimentálního zásobníku se skládalo z následujících fází:

- 1) napouštění zásobníku
- 2) 0. relaxace – doba trvání 600 s
- 3) 1. provzdušňování – doba trvání 60 s
- 4) 1. relaxace – doba trvání 120 s
- 5) 2. provzdušňování – doba trvání 120 s



Graf 1: Vizualizace vertikálního tlaku ve výpustném otvoru [1, 6]

Graf 2: Přiklon pohonu P_{EM} versus vertikální tlak σ_{1vo} [1, 6]

- 6) 2. relaxace – doba trvání 120 s
- 7) 3. provzdušňování – doba trvání 120 s
- 8) 3. relaxace – doba trvání 120 s
- 9) 4. provzdušňování – doba trvání 120 s
- 10) 4. relaxace – doba trvání 120 s
- 11) 5. provzdušňování – doba trvání 60 s
- 12) 1. tlakový ráz – doba trvání 5 s
- 13) 5. relaxace – doba trvání 30 s
- 14) 2. tlakový ráz – doba trvání 5 s
- 15) 6. relaxace – doba trvání 30 s

Provzdušňováním je myšlen proces, kdy tlakový vzduch o tlaku p_2 a průtoku Q_2 proudí přes provzdušňovací element. Tlakový ráz vznikl při 5sekundovém uzavření přívodu vzduchu do provzdušňovacího elementu a jeho následném otevření při stálém provozu kompresoru. A relaxace je klidový proces při zastaveném přívodu tlakového vzduchu do provzdušňovacího elementu.

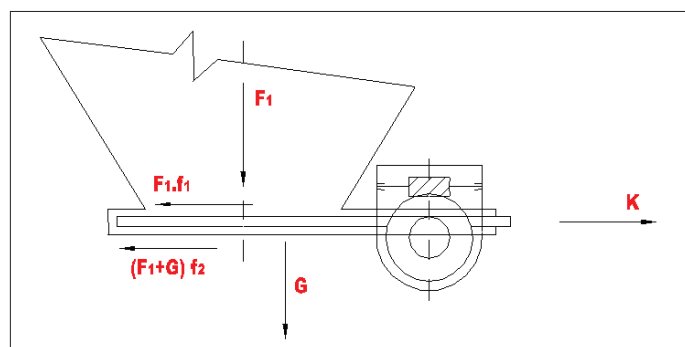
Tab. 4: Volené výpočtové parametry

Volené výpočtové parametry		
Součinitel tření mezi uzávěrem a opěrnými lištami (ocel-ocel) f_2	0,20	[-]
Tíha horizontálního plochého uzávěru G	200	[N]
Rychlost otevírání uzávěru v	0,02	[m.s ⁻¹]

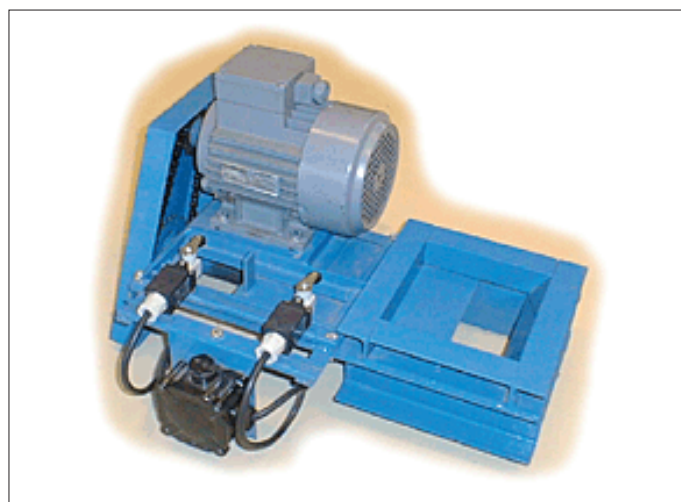
Doba 0. relaxace byla volena s ohledem na potřebu vyrovnaní teplot mezi 3D snímačem a iontoměničovou hmotou. Grafické zobrazení výsledku měření vertikálního tlaku σ_{Ivo} do výpustného otvoru je zobrazeno na grafu č. 1. Z tohoto grafu je možno jasně identifikovat jednotlivé fáze měření, které jsou pro lepší orientaci v barevných rámečcích s popisem dané fáze. Fáze napouštění je v černém rámečku, oblast tlakových rázů v červeném rámečku, relaxační oblast je ve světle modrých a provzdušňovací oblast ve fialových rámečcích. Pro simulaci výpočtu potřebného příkonu pohonu plochého horizontálního uzávěru byly použity střední hodnoty vertikálních tlaků do výpustného otvoru z fází uvedených v tabulce č. 5. Z naměřených hodnot je patrné, že při provzdušňování dochází

Tab. 5: Použité hodnoty vertikálního tlaku a vypočtený příkon elektromotoru [1, 6]

Fáze měření	σ_{Ivo} [Pa]	(%)	P_{EM} [W]	(%)
0. Relaxace	1 756	100	1,27	100
1. Provzdušňování	2 191	125	1,39	109
2. Tlakový ráz	2 949	168	1,59	125



Obr. 4a: Silový rozbor působících sil



Obr. 4b: Ilustrační foto uzávěru [1, 6]

ke zvyšování vertikálních tlaků σ_{Ivo} do výpustného otvoru experimentálního zásobníku.

4 Analýza vlivu provzdušňování na výsledný příkon pohonu horizontálního plochého uzávěru

Jedním z nejpoužívanějších typů uzávěrů zásobníků sypkých hmot je horizontální plochý uzávěr s opěrnými lištami. Na obrázku č. 4a je uvedeno zjednodušené schéma horizontálního plochého uzávěru s naznačenými působícími silami, jejichž vysvětlení je uvedeno níže.

Pro vyjádření odporu proti otevírání horizontálního plochého uzávěru K se použije výpočet dle [3, 4], kde do vzorce (2) se za hodnotu vertikálního tlaku do výpustného otvoru σ_{Ivo} postupně dosadí hodnoty z tabulky č. 5. Výpočet je ukázán pro situaci „2. tlakového rázu“.

Síla F_1 je Janssenova síla působící na uzávěr:

$$F_1 = \sigma_{Ivo} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2)$$

$$F_1 = 2949 \cdot \frac{\pi \cdot 0,185^2}{4} = 79,3 \text{ N}$$

Odpor proti otevírání uzávěru K [3, 4]:

$$K = F_1 + f_1 + (F_1 + G) \cdot f_2 \quad (3)$$

$$K = 79,3 \cdot 0,30 + (79,3 + 200) \cdot 0,20 = 79,6 \text{ N}$$

Potřebný příkon pohonu horizontálního uzávěru bez zahrnutí mechanické účinnosti P_{EM} :

$$P_{EM} = K \cdot v \quad (4)$$

$$P_{EM} = 79,6 \cdot 0,02 = 1,59 \text{ W}$$

Výsledek výpočtů je zobrazen v grafu č. 2, kde je vyjádřena změna příkonu pohonu P_{EM} horizontálního plochého uzávěru na velikosti vertikálního tlaku σ_{Ivo} do výpustného otvoru pro tři zvolené režimy chodu experimentálního zásobníku – relaxace, provzdušňování a tlakový ráz. Z grafu č. 2 je patrná nízká hodnota příkonu elektromotoru, neboť tento je silně spjat s malým průměrem výpustného otvoru experimentálního zásobníku.

5 Závěr

Zkoumanou oblastí je oblast sypkých hmot s úhlem vnitřního tření φ_e s hodnotou blízkou 30° . Bylo zjištěno, že při aktivaci pasivních zón v experimentálním zásobníku sypkých hmot pomocí provzdušňovacího zařízení dochází ke změně tlakových poměrů v sypkém materiálu. Tato změna ovlivňuje nejen samotnou konstrukci zásobníku, ale i následné technologie, například uváděný horizontální plochý uzávěr. Jedním z negativ této změny tlakových poměrů je zvýšení odporu proti otevírání uzávěrů zásobníků K vlivem vyššího vertikálního tlaku σ_{Ivo} do výpustného otvoru. Důsledkem toho může dojít k nefunkčnosti uzávěru nebo jeho destrukci či selhání jeho pohonu při cíleném provzdušňování sypké hmoty.

Sledujeme změnu odporu proti otevírání horizontálního plochého uzávěru K při provzdušňování sypkého materiálu vyjádřenou potřebným příkonem pohonu (viz graf č. 2). Pro danou velikost výpustného otvoru d experimentálního zásobníku sypkých hmot je velikost potřebného příkonu pohonu uzávěru v řádech wattů, přičemž při provzdušnění dochází k 9% navýšení potřebného příkonu pohonu a při tlakovém rázu až k 25% navýšení. (viz tabulka č. 5.) Tabulka č. 5 dále ukazuje i procentuální zvýšení měřeného vertikálního tlaku do výpustného otvoru o 68 % mezi fázemi „0. relaxace“ a „2. tlakový ráz“.

Z experimentálního měření vyplývá, že pro dané uspořádání experimentálního zásobníku je při procesu provzdušňování sypkých hmot nutno klást důraz na pevnostní výpočty samotných těles uzávěrů, neboť zvýšení vertikálního tlaku σ_{Ivo} je razantnější než zvýšení potřebného příkonu pohonu P_{EM} .

Z předloženého příspěvku je patrné, že při aplikaci provzdušňovacích systémů do nově navrhovaných, i do již stávajících zásobníků, je potřeba zjistit, jak toto provzdušňovací zařízení ovlivní konstrukci zásobníků či uzávěrů, a tuto skutečnost zohlednit při návrzích těchto konstrukčních celků. Další možnosti jsou provozní omezení, kdy se například omezí doba působení provzdušňovacích systémů nebo se předepíše jejich působení jen při otevřených uzávěrech zásobníků sypkých hmot.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantu Grantové agentury České republiky uvedeným pod číslem 101/09/P444 a grantu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky s číslem MSM 619 891 0016.

Literatura

- [1] BRÁZDA R.: *Problematika dopravy a skladování sypkých hmot s úhlem vnitřního tření pod 30°* , Vědecké spisy Fakulty strojní, Edice: Autoreferáty disertačních prací, sv. 99, FS VŠB-TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1555-8.
- [2] SLÍVA A.: *Sledování napětového stavu sypké hmoty pomocí 3D Dimenzionálního (tříosového) snímače*, VŠB-TU Ostrava, 2004, 109 s., ISBN 80-248-0629-0.

- [3] PEŠAT Z.: *Manipulace s materiálem v hutích I. část*, Ediční středisko VŠB v Ostravě, 1992, ISBN 80-7078-107-6.
- [4] POLÁK J., SLÍVA A.: *Dopravní a manipulační zařízení III.*, Učební texty VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2005, ISBN 80-248-0963-X.
- [5] ZEGZULKA J.: *Mechanika sypkých hmot*, VŠB-TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0699-1.
- [6] LSH®, Laboratoř sypkých hmot, VŠB-TU Ostrava.