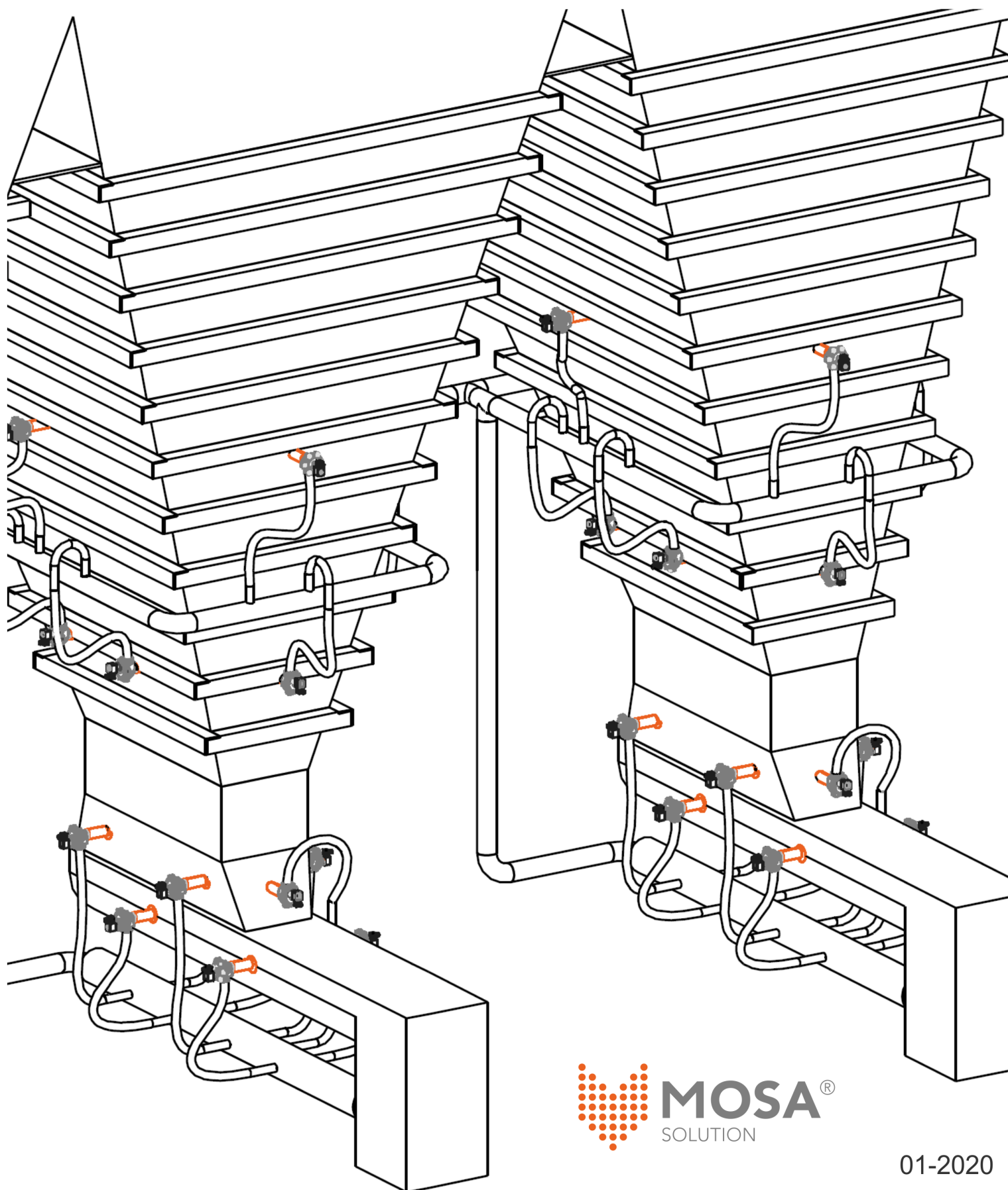


PŘÍRUČKA PRO ŘEŠENÍ TOKU SYPKÝCH HMOT





1	ÚVOD.....	3
2	PROBLEMATIKA SKLADOVÁNÍ SYPKÝCH HMOT.....	3
2.1	Předpisy a vyhlášky.....	3
2.2	Definice síla, bunkru – základní pojmy.....	4
2.3	Sypká hmota.....	5
2.4	Hmotový tok sypké hmoty.....	6
3	PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ V TECHNOLOGIÍCH.....	7
3.1	Jádrový tok sypké hmoty.....	7
3.2	Klenbování.....	7
3.3	Nalepování.....	9
3.4	Vznik tunelu.....	9
3.5	Segregace.....	10
4	TEORIE TOKU SYPKÝCH HMOT.....	11
4.1	Používané pojmy.....	11
4.2	Hmotový a jádrový tok sypké hmoty.....	13
5	JAK PŘIPRAVIT DOBRÝ PROJEKT.....	16
5.1	Důkladná analýza sypké hmoty.....	16
5.2	Znalost procesu celé dopravní a skladovací technologie.....	18
5.3	Informace o zásobním síle.....	19
5.4	Zatřídění prostředí.....	21
5.5	Akustická energie za určitých podmínek.....	22
5.6	Ocelové svodky s lokálním ohřevem.....	23
6	ZÁVĚR.....	23
7	ZDROJE.....	24

1 ÚVOD

Vážená paní, Vážený pane,

tato Příručka má za cíl představit Vám důležité informace, bez kterých nelze správně navrhnout technologii zásobního sila a garantovat zde tzv. hmotový tok. Problémům skladování sypkých hmot v zásobních silách můžeme předcházet, pokud budeme projektovat a navrhovat daná zařízení, a to s ohledem na tokové vlastnosti sypkých hmot, které skladujeme.

Předmětem této Příručky je popis některých důležitých veličin, které je nutno znát již na začátku přípravy projektu. Jsou to mechanicko-fyzikální vlastnosti sypkých hmot, jako např. hodnota úhlu vnitřního a vnějšího tření, hodnota normálového a smykového napětí, využití Mohrových kružnic, úhel sklonu stěn výsypky zásobních sil atd., které mají vliv na navrhovaný tvar zásobního sila, což úzce souvisí s garantovaným tokem sypké hmoty. Není zde podrobné vysvětlování teorie sypkých hmot, toto je možno nastudovat z příložených zdrojů.

Žel, stále se setkáváme se situacemi, kdy zásobní sila, výsypky, či svody jsou častým problémem v dopravních technologiích a uvnitř nám vznikají tzv. „mrtvé“ zóny netekoucích sypkých hmot, různé trychtýře, klenby, převisy, nálepy, atd.

Příručka Vás provede krok za krokem všemi etapami přípravy projektu. Jediným cílem, je připravit úspěšný projekt, kdy garantujeme tok sypké hmoty.

2 PROBLEMATIKA SKLADOVÁNÍ SYPKÝCH HMOT

2.1 Předpisy a vyhlášky

Norma ČSN ISO 8456 – Skladovací zařízení sypkých hmot, Bezpečnostní předpisy. [1]

Tato norma obsahuje bezpečnostní předpisy pro konstruování, výrobu, montáž, provoz a údržbu skladovacích zařízení sypkých hmot. Navazuje na základní a zvláštní bezpečnostní předpisy stanovené ČSN ISO 1819 a ČSN ISO 7149.

„Norma obsahuje ISO 8456:1985. Tato norma je podle § 3 zákona č. 142/1991 Sb., o československých technických normách závazná v rozsahu působnosti ČÚBP, SÚBP a SBÚ na základě jejich požadavku.

Čl. 2 specifikuje předmět normy, který uvádí, že bezpečnostní předpisy, uvedené v této normě musí být dodržovány bez ohledu na účel použití zařízení. Bezpečnostní předpisy vymezují odpovědnost dodavatele vůči uživateli zařízení pro plynulou dopravu s výjimkou konstrukce, na které je toto zařízení umístěno, pokud není vestavěna do skladovacího zařízení.

Konstrukce a provoz skladovacího zařízení sypkých hmot, jako jsou násypky, sila, zásobníky, bunkry a uzávěry zásobníků musí vyhovovat:

- a) *právním předpisům a specifickým požadavkům podle jeho použití týkajících se bezpečnosti všeobecně;*
- b) *všeobecným bezpečnostním předpisům uvedeným v ČSN ISO 1819 (26 0005);*
- c) *zvláštním bezpečnostním předpisům uvedeným v ČSN ISO 7149 (26 0006);*
- d) *předpisům pro výrobu tlakových nebo podtlakových nádob nepřicházejících do styku s plamenem;*
- e) *zvláštním předpisům, uvedeným v části 5 normy.*

Tato část obsahuje požadavky na konstruování otevřených i uzavřených násypek, sil, zásobníků a bunkrů, dále na pneumaticky plněné zásobníky a na uzávěry zásobníků. Dále obsahuje požadavky na montáž a uvedení do provozu opět zvlášť pro otevřené i uzavřené násypky, sila, zásobníky a bunkry, dále na pneumaticky plněné zásobníky a na uzávěry zásobníků. Konečně obsahuje všeobecné požadavky na používání a provoz. Podobně jako v ČSN ISO 1819 (26 0005) je zajímavé sledovat díky i zaměření podobných jednotlivých ustanovení v obecně nezávazné normě ISO jsou pozoruhodné. ČSN ISO 8456 (26 6202) byla vydána v srpnu 1993.“ [2]

Norma ČSN 735570 – Zatížení zásobníků, Doplnující pokyny pro siláže a senáže. Tato norma obsahuje doplňující ustanovení pro zásady navrhování a zatížení svislých zásobníků siláží a senáží, které jsou mimo rozsah platnosti ČSN EN 1991-4. [3]

Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. Příloha č. 5 – čl. 11 – „Přijetí bezpečnostní opatření k zabránění vytváření kleneb, trychtýřů, převisů skladovaných hmot nebo jejich ulpívání na stěnách skladovacího zařízení, k zabránění nahrnování skladované sypané hmoty v okolí plnicích otvorů skladovacích zařízení umístěných pod úroveň terénu nebo podlahy nad výšku 1,5 m od úrovně okolního terénu nebo podlahy.“ [4]

Pro účely této vyhlášky se rozumí:

- a) „Skladovacím zařízením sypaných hmot (dále jen „skladovací zařízení“) je stabilní zařízení nebo prostorová konstrukce umožňující skladování sypané hmoty, jehož objem přesahuje 3 m³, a ve kterém lze skladovat sypané hmoty o výšce přesahující 1 500 mm.
- b) Skladováním sypaných hmot – plnění, uložení a vyprazdňování skladovacího zařízení.
- c) Sypanou hmotou materiál složený z jednotlivých částic se soudržností vzniklou třením, jehož sypaný úhel vyjádřený ve stupních, který svírá vodorovná rovina a povrchová přímka sypaného kužele, nepřesáhne 60 stupňů.“ [5]

ČSN 26 0003 – Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Všeobecná ustanovení a zkoušení. [6]

ČSN ISO 1819 (260005) – Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Bezpečnostní předpisy. Všeobecná ustanovení. [7]

ČSN ISO 7149 (260006) – Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Bezpečnostní předpisy. Zvláštní ustanovení. [8]

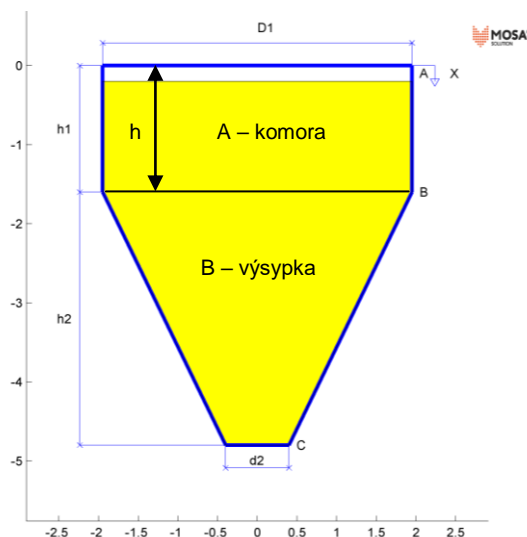
ČSN ISO 2148 (260009) – Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Terminologie. [9]

2.2 Definice sila, bunkru – základní pojmy

Zásobníky tvoří součást skupiny skladovacích zařízení sypaných hmot, která patří mezi zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Dále se zde řadí i zařízení pro nakládku a vykládku.

Definice zásobníku:

„Zásobník je všeobecně chápán jako prostorová konstrukce, sloužící k uskladňování zrnitých, prachových, popř. též z části soudržných vláknitých materiálů – sypaných hmot. Schéma zásobníku a jeho částí, viz Obrázek 1. Zásobník se skládá z komory ozn. „A“ o výšce „h“ a z výsypky „B“. Nad komorou může být ještě manipulační prostor. Půdorysný tvar komory bývá kruhový, pravoúhlý, popř. mnohoúhelníkový. Zásobníky jsou ukládány na základové konstrukce buď přímo, nebo prostřednictvím podpěr mohou být i součástí technologických celků. Základní jednotku zásobníku tvoří buňka, která se většinou sestává z jedné komory a jedné výsypky, přičemž buňky mohou stát samostatně, nebo bývají sdružovány ve sdruženém zásobníku. Zásobníky se člení na bunkry a sila.



Obrázek 1 – Schéma zásobníku a základní pojmy

Za **bunkr** se považuje konstrukce zásobníku, u kterého je:

$$h \leq 1,5 \cdot \sqrt{S}$$

h – je výška komory zásobníku

S – je plocha vnitřního průměru buňky

Za **silo** se považuje konstrukce zásobníku, u kterého je:

$$h > 1,5 \cdot \sqrt{S}$$

h – je výška komory zásobníku

S – je plocha vnitřního průměru buňky

Z předcházejícího vztahu pro silo s kruhovou buňkou o průměru „ d “ vychází $h > 1,33 \cdot d$, kde „ d “ představuje délku vnitřní strany čtvercové buňky, nebo délku delší vnitřní strany obdélníkové buňky“. [10].

2.3 Syká hmota

Sypkou hmotu třídíme dle rozměrů zrn, a to dle Tabulky 1.

Sypká hmota	Rozměr zrna [mm] od – do
Velice jemná	0,07 – 0,40
Jemná	0,50 – 3,50
Jemně zrnitá	3,60 – 13,00
Středně zrnitá	14,00 – 75,00
Hrubě zrnitá	nad 75

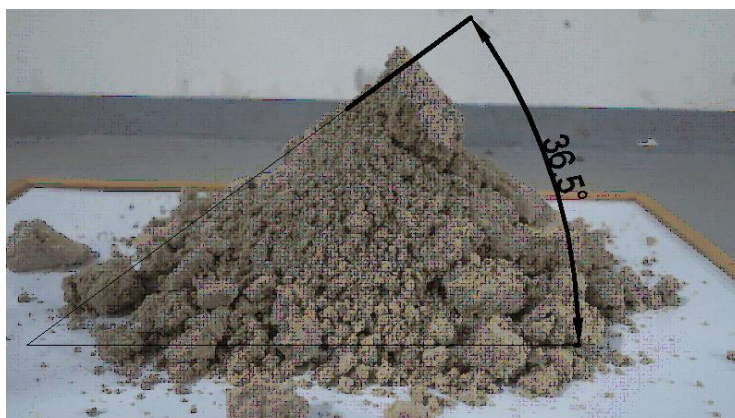
Tabulka 1 – Třídění sypkých hmot podle velikosti zrn [10]

Podle sypnosti vyjádřené sypným úhlem se syké hmoty třídí dle Tabulky 2.

Sypká hmota	Rozsah sypných úhlů [°]
Velmi volně sypká	max. 6 °
Volně sypká	max. 15 °
Normálně sypká	max. 30 °
Málo sypká až vazká	nad 30 °

Tabulka 2 – Třídění sypkých hmot podle sypnosti [10]

Sypným úhlem je charakterizována sypnost sypkých hmot. Je to úhel, který svírá vodorovná rovina a povrchová příčka sypného kužele.



Obrázek 2 – Sypný úhel syké hmoty

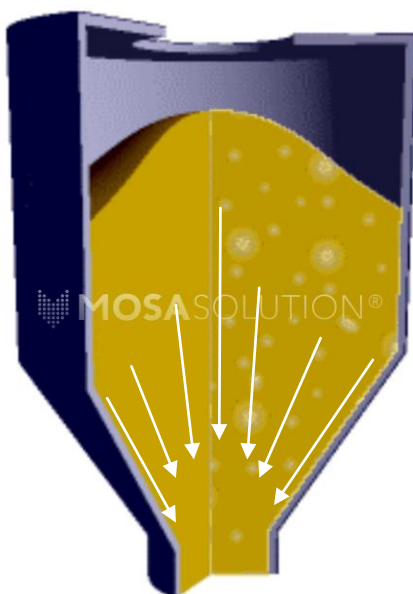
Sypké hmoty v praxi



Obrázek 3 – Vzorky sypkých hmot z praxe

2.4 Hmotový tok sypké hmoty

Hmotový tok je charakterizován tím, že vrstvy sypké hmoty odtékají v pořadí nasypávání, viz Obrázek 4. Při otevření výsypného otvoru se veškerá sypká hmota uvede do pohybu a začne klouzat po stěnách. Tyto zásobní sila se vyznačují poměrně strmými a hladkými stěnami výsypné části, kdy sklon stěn výsypné části od vertikální stěny Θ , je v rozmezí 15° až 25°. Sypká hmota nám teče v celém svém objemu.



Obrázek 4 – Hmotový tok sypké hmoty

Zajistit tzv. hmotový tok sypké hmoty v zásobním síle musí jak dodavatel projektu, tak i provozovatel, a to i z důvodu plnění Nařízení vlády č. 378/2001, kdy je nutno přijmout veškerá bezpečnostní opatření k zabránění tvorby kleneb, převisů atd.

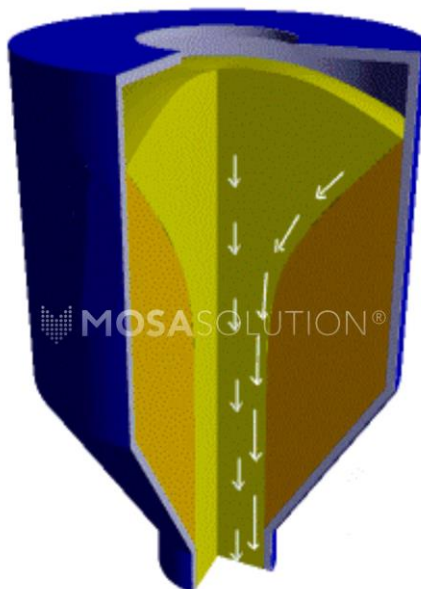
3 PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ V TECHNOLOGIÍCH

3.1 Jádrový tok sypké hmoty

Pokud je výsypná stěna zásobního sila příliš rovná (malé zkosení), popřípadě pokud je kontaktní vnitřní stěna drsnější, vznikne nám zde jádrový tok.

Jádrový tok sypké hmoty je charakterizován tím, že první nasypaná vrstva sypké hmoty odtéká ze zásobního sila jako poslední a tok probíhá především v oblasti nad výpustným otvorem, viz Obrázek 5. Na vertikální stěně, a také v oblasti přechodové zóny zásobního sila, nám vzniká oblast slehlé sypké hmoty tzv. „mrtvá“ zóna, popřípadě nám může již v oblasti nad výsypným otvorem vzniknout klenba. V případě jádrového toku je první v pohybu sypká hmota, která je umístěna v oblasti nad výpustným otvorem. Sypká hmota přiléhající na stěny zásobního sila zůstává v klidu a nazýváme ji „mrtvou“ nebo „nepohybující se“ zónou. Sypká hmota přiléhající na stěny zásobního sila se uvede do pohybu teprve, až se k ní přiblíží hladina. Částice sypké hmoty sklouznou po povrchu do středu zásobního sila a pak se tekoucím jádrem dostanou do výsypného otvoru.

Často se stává, že tuto tzv. „mrtvou“ zónu uvolníme až po úplném vyprázdnění zásobního sila. „Mrtvá“ zóna může dosáhnout i hladiny plnění. Zásobní sila s tímto jádrovým tokem mají značné nevýhody. Může zde docházet k velké segregaci při vysypávání. Nevyprazdňuje-li se celé zásobní silo během provozu, stává se, že některé přiléhající vrstvy materiálu v „mrtvé“ zóně se mohou spéci, případně znehodnotit. U těchto zásobních sil lze výpočtem stanovit velikost výpustného otvoru, aby nedocházelo ke vzniku tzv. středního tunelu a vzniku statické, či dynamické klenby. V praxi se většinou stává, že jsou velikosti výpustných otvorů u zásobních sil s jádrovým tokem poddimenzovány. Toto je právě příčinou následného efektu tj. vzniku kleneb.



Obrázek 5 – Jádrový tok sypké hmoty

3.2 Klenbování

Klenba je dalším typickým problémem, který nám vzniká při manipulaci se soudržnou (kohezivní) sypkou hmotou. Ve většině případů se nám vytvoří klenba v oblasti výsypného otvoru zásobního sila. Klenba má tu vlastnost, že vlastní váhu sypké hmoty přenáší do stěn zásobního sila a žádnou sílu nepřenáší do spodních vrstev. Pokud je klenba pevná a ustálená nad výpustným otvorem, potom je zastaveno vysypávání sypké hmoty. Tuto situaci můžeme pozorovat na Obrázku 6. V případě skladování velice kohezivní sypké hmoty, je oblast klenby pevnější. Je to způsobeno adhezivní silou mezi částicemi. Vzniku klenby můžeme předcházet dostatečně velkým výpustným otvorem.



Obrázek 6 – Vznik klenby nad výpustným otvorem

Na Obrázcích 7 a 8 jsou uvedeny konkrétní příklady vzniku klenby v technologiích. Jsou to velice klenbující syké hmoty jako je například produkt odsíření (energósádovec) s vlhkostí až 13 % a hnědé uhlí či lignit.



Obrázek 7 – Vznik klenby u štěrbinového zásobníku

Na Obrázku 7, je vidět netekoucí hnědé uhlí v technologii zauhlování. Jedná se zde o železobetonový zásobník štěrbinového typu, na jehož vnitřních stěnách je namontován plech proti abrazi. V oblasti zúžení nad štěrbinou nám vzniká klenba hnědého uhlí.



Obrázek 8 – Vznik klenby ve výsypné části zásobního síla

Obrázek 8 znázorňuje vzniklou klenbu energosádrovce v betonovém zásobním síle. Povrch vnitřních betonových stěn je opatřen speciálním nátěrem a uvnitř zásobního síla je namontována ocelová vestavby.

I přes toto technické řešení nám zde vzniká klenba ve výši cca 1 000 mm nad vyhrabovacím dopravním systémem.

Vznikající klenbování sypké hmoty v zásobním síle nám samozřejmě působí problémy s jeho tokem, nicméně hrozí zde i možnost havárie síla, a to při případném zhroucení klenby, kdy nám zde vzniknou velké rázy.

3.3 Nalepování

Pokud nám sypká hmota přiléhající na stěny zásobního síla zůstává v klidu, vznikne zde „mrtvá“ zóna. Sypká hmota přiléhající na stěny zásobního síla se uvede do pohybu teprve, až se k ní přiblíží hladina. Tento typický jádrový tok se může vyvinout až v tok tzv. středního tunelu. Danou situaci můžeme pozorovat na Obrázku 5. S prodlužující se dobou skladování, kdy je sypká hmota v klidu může vzrůstat její soudržnost a následně vznikne klenba. Může docházet i k nalepování sypké hmoty na dopravních podavačích, viz Obrázek 9.



Obrázek 9 – Nalepování podavače kaolínem

Na Obrázku 9 je vidět postupné nalepování vnitřní stěny rotačního podavače.

3.4 Vznik tunelu

Pokud se vyskytne v zásobním síle tzv. střední tunel, je nalepená sypká hmota na vnitřních stěnách uvolněna až poté, co je zásobní sílo kompletně vyprázdněno. Sypká hmota, která byla nasypána později, je v případě jádrového toku vysypávána jako první – dříve. V tomto případě, je otázka doby skladování velice důležitá, a to při skladování například krmiva nebo produktů, které mění své mechanicko-fyzikální vlastnosti v závislosti na čase.



Obrázek 10 – Vznik tunelu v ocelovém zásobníku

Tragédie v technologii, kdy je totálně zalepený ocelový zásobník a obsluha musí mechanicky uvolňovat postupně ulpělou syvkou hmotu a eliminovat vzniklý tunel. Jedná se zde o směs písku s kaolínem o vlhkosti max. 22 % H₂O.

3.5 Segregace

Zásobní sila s jádrovým tokem mají značné nevýhody. Může zde docházet k velké segregaci při jeho plnění a samozřejmě i při vysypávání. Nevyprazdňuje-li se celé zásobní silo během provozu, stává se, že některé přiléhající vrstvy materiálu v „mrtvé“ zóně se mohou spéci, případně znehodnotit.



Obrázek 11 – Schéma vzniku segregace

I přes nevýhody, které zde byly popsány, se tyto zásobní sila v průmyslu nejvíce vyskytují. Při plnění zásobního sila se nahromadí a usazuje syvká hmota na stěnách. Pokud není syvká hmota homogenní, a máme zde různé směsi, je zde možnost vzniku segregace. V případě středového plnění jak vidíme na obrázku, se větší částice shlukují a uzavírají na obvodových stěnách zásobního sila. Zatímco menší částice se shlukují ve středu. V případě jádrového toku syvké hmoty, drobnější částice, které se nacházejí ve středu, opouštějí zásobní silo jako první. Hrubší částice jsou vysypávány jako poslední. Tento efekt je nepříjemný hlavně v případě, kdy je důležitá homogenita dané směsi, jako například při expedování. Pokud toto zásobní silo slouží jako mezizásobník, dochází např. u balícího stroje a plnění pytlů k nehomogenitě plnicího obsahu. V případě hmotového toku dochází samozřejmě také k částečné segregaci materiálu při plnění zásobního sila, avšak při následném vyprazdňování dochází k promíchávání „mixování“ jednotlivých vrstev. Jednotlivé vrstvy se plynule snižují k výpustnému otvoru zásobního sila.

4 TEORIE TOKU SYPKÝCH HMOT

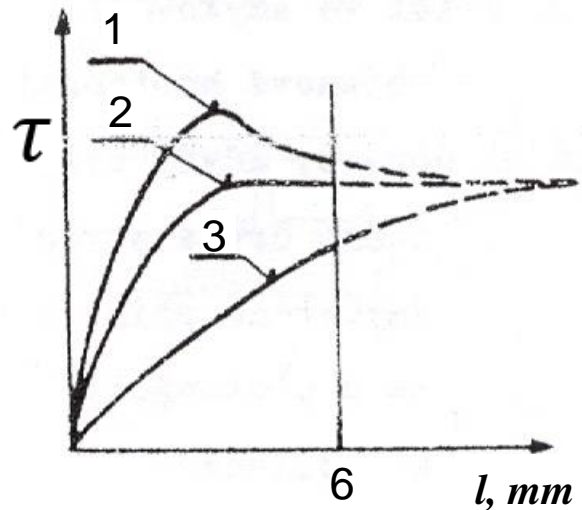
4.1 Používané pojmy

Úhel vnitřního tření (smyková pevnost) [11]

- „reprezentuje velikost tření, mezi vlastními částicemi sypké hmoty. Představuje vlastně souhrn hodnot mezních smykových napětí pro různá normálová napětí a pro různé objemové hmotnosti sypké hmoty“.

Úhel vnitřního tření φ_i sypké hmoty na začátku toku jako funkce hlavního napětí σ_1 (nebo jako funkce odpovídající měrné hmotnosti ζ_b). (Efektivní úhel vnitřního tření φ_e sypké hmoty při stacionárním toku jako funkce hlavního napětí σ_1).

Úhel vnitřního tření se měří na Jenikeho smykovém stojí. Smyková zkouška se realizuje s kriticky konsolidovaným vzorkem. Kriticky konsolidovaný vzorek je takový, u něhož při smykové zkoušce smykové napětí nejprve vzroste a pak je konstantní.

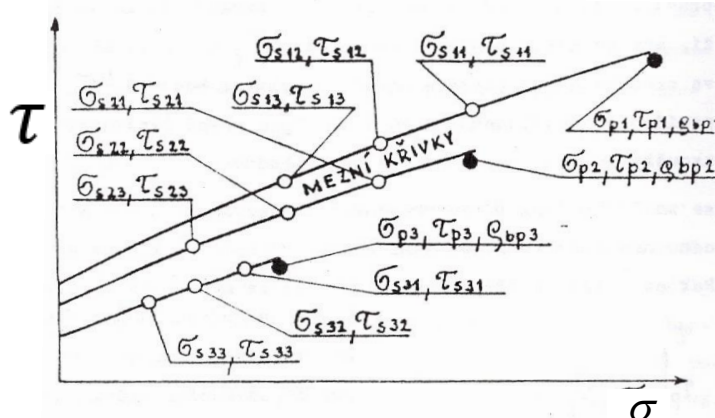


Obrázek 12 – Průběh smykového napětí v závislosti na posuvu smykového kroužku [11]

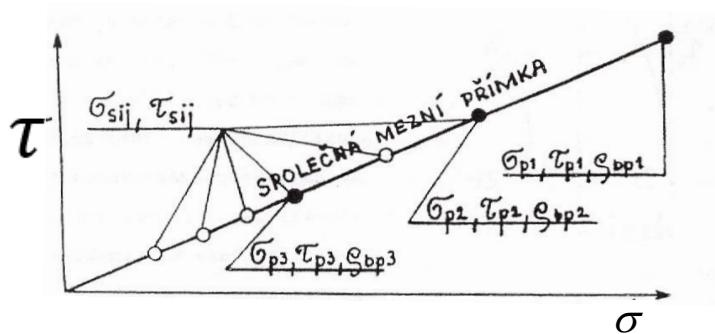
Jestliže bude vzorek příliš ztuhněn (překonsolidován), pak po mobilizaci smykového napětí dosáhne maxima a začne klesat (křivka 1). Pokud by byl vzorek málo ztuhněn (podkonsolidován) smykové napětí v průběhu smykového testu stále stoupá, jak je znázorněno křivkou 3.

Vzorek ale lze ztuhnět tak, že má průběh dle křivky 2, tj. po mobilizaci smykového napětí je toto v průběhu celého dalšího smyku konstantní. Při tomto průběhu se říká, že vzorek byl kriticky (konsolidován).

Normálové a smykové napětí se během testu provede pro tři hodnoty a následně můžeme určit pevnostní diagram. To nám umožní stanovit, zda se jedná o sypkou hmotu soudržnou, nebo nesoudržnou. Příklad pevnostního diagramu je na Obrázku 13.



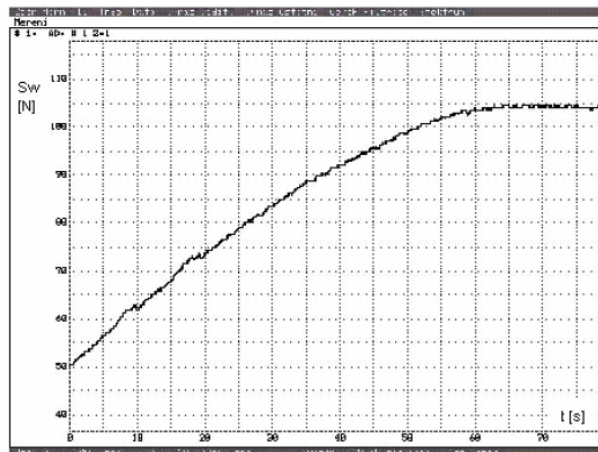
Obrázek 13 – Pevnostní diagram pro soudržné sypké hmoty [11]



Obrázek 14 – Pevnostní diagram pro nesoudržné sypké hmoty [11]

Čím je sypká hmota soudržnější, tím jsou mezní křivky dál od sebe a naopak, čím je soudržnost menší, tím se mezní křivky k sobě přibližují, až pro nesoudržnou sypkou hmotu všechny mezní křivky splynou v tzv. společnou mezní přímku, viz Obrázek 14. [11]

Příklad časové závislosti smykové síly při měření úhlu vnitřního tření je uveden na Obrázku 15.



Obrázek 15 – Závislost smykové síly na čase – úhel vnitřního tření [12]

Úhel vnějšího tření (stěnové vnější tření) [11]

- vyjadřuje velikost tření (mezní smykové napětí) mezi částicemi sypké hmoty při pohybu po nějakém povrchu tj. vnitřní stěna skladovacího zařízení (zásobního sila).

(Úhel vnějšího tření φ_x jako funkce tlakového napětí σ_x mezi sypkou hmotou a stěnou)

Rovněž měření úhlu vnějšího tření se provádí na Jenikeho smykovém stroji. Obecně, čím je povrch hladší, tím je stěnové tření nižší.

Tlaková pevnost sypké hmoty

- hlavní napětí při jednoosém stavu napjatosti.

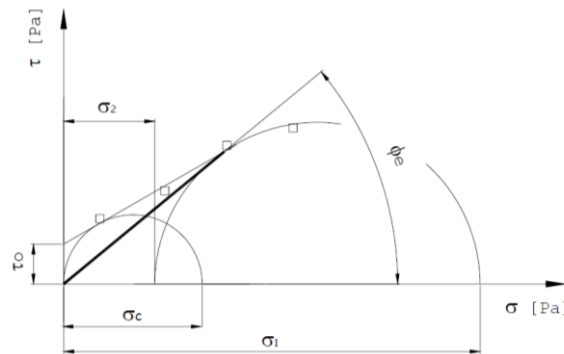
(Tlaková pevnost σ_c sypké hmoty jako funkce velikosti hlavního napětí σ_1 v sypké hmotě), ζ_b jako funkce velikosti hlavního napětí σ_1 v sypké hmotě.

Sypná hmotnost sypké hmoty

- ζ_b jako funkce velikosti hlavního napětí σ_1 v sypké hmotě. Je to hmotnost objemové jednotky volně sypané suroviny nebo zrněné hmoty. [13]

Poznámka:

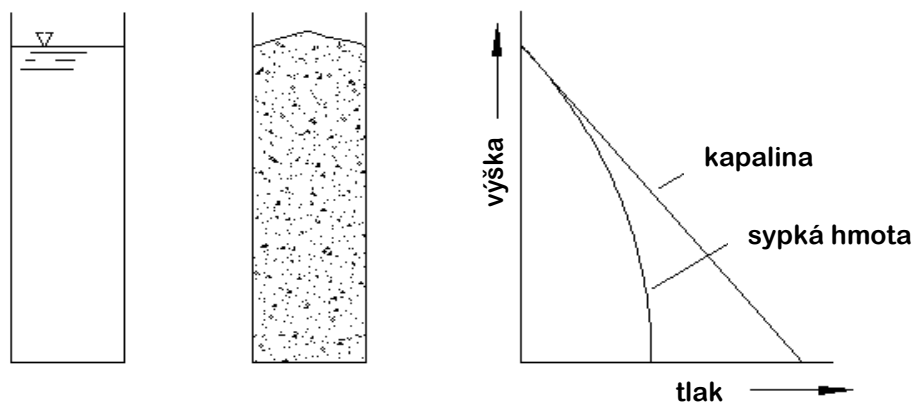
Pro vyjádření rozložení normálových a smykových napětí v sypkých hmotách, tj. souřadnicích $\sigma - \tau$ v grafické podobě je používána Mohrova kružnice stavu napjatosti, pomocí které se stanovuje σ_1 .



Obrázek 16 – Konstrukce Mohrových kružnic a efektivní tokové čáry [12]

4.2 Hmotový a jádrový tok sypané hmoty

Na Obrázku 17 je obecně znázorněn průběh tlaku na stěnu nádoby pro kapalinu a sypanou hmotu. Tlak v nádobě naplněné kapalinou roste lineárně s hloubkou (výškou zásobního síla). Pokud ovšem máme v nádobě sypanou hmotu, napětí se nám lineárně nezvyšuje s hloubkou, protože hmotnost sypané hmoty je částečně nesena stěnami zásobního síla, a to kvůli stříhovým napětím (tření na stěně zásobního síla).

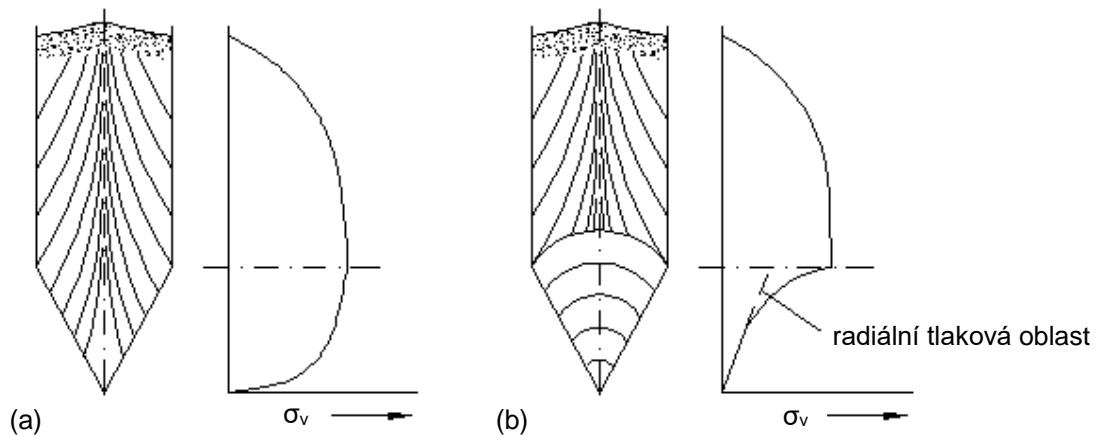


Obrázek 17 – Princip působení tlaků v kapalině a v sypané hmotě [11]

Tlaky působící v zásobním síle jsou rozdílné, a to dle výšky jednotlivých sekcí. Při plnění dochází k aktivnímu stavu napětí (aktivní tlakový stav, Obrázek 18a). Na rozložení vertikálního tlaku vidíme, že je menší ve vrchní části zásobního síla a potom je opět menší, čím více se blížíme imaginárnímu vrcholu výsypky.

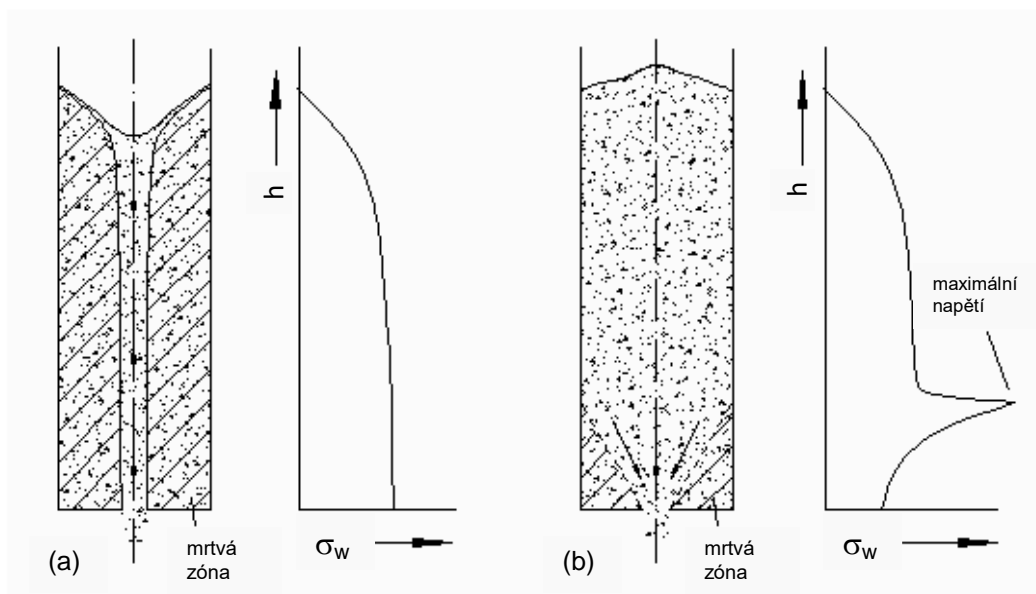
Jakmile je nějaká sypaná hmota vysypávána v prvních okamžicích po naplnění, vzniká v zásobním síle, či výsypce pasivní stav napětí (také pasivní tlak). Pokud je sypaná hmota již nějakou dobu v zásobním síle, tak při otevření výsypného otvoru proběhne zesponu nahoru tzv. přetlaková vlna. Při proudění (vysypávání) sypané hmoty směrem dolů ze zásobního síla, je tato sypaná hmota stlačována v horizontálním směru a potom nám stěny zásobního síla nesou větší část váhy ze sypané hmoty. Vertikální tlak v dolní části zásobního síla je samozřejmě menší, než po plnění. V procesu vyprazdňování je vertikální tlak v dolní části zásobního síla téměř úměrný průměru výsypu v jednotlivých výškách. Tato lineární křivka tlaku se nazývá radiální tlaková oblast [15]. V principu, ve vertikální sekci zásobního síla zůstávají tlaky při vyprazdňování nezměněny.

Jak již bylo naznačeno, jsou tlakové poměry v zásobních sílech při vysypávání sypané hmoty velmi složité a z toho vyplývá, že i tokové poměry jsou neobyčejně komplikované. Existuje mnoho mechanismů toku, podívejme se na dva základní mechanismy toku sypané hmoty. V praxi pozorujeme dva rozdílné modely toku sypané hmoty při vyprazdňování zásobního síla. **Je to hmotový a jádrový tok.**



Obrázek 18 a, b – Průběh tlaků (svislého napětí) při plnění (a) a při vyprazdňování (b) – hmotový tok [14]

V případě hmotového toku se maximální tlak vyskytne na přechodu z vertikální sekce do výsypky, je to oblast tzv. „přechodové“ zóny zásobního sila. Toto se musí vzít v úvahu při konstruování zásobních sil.

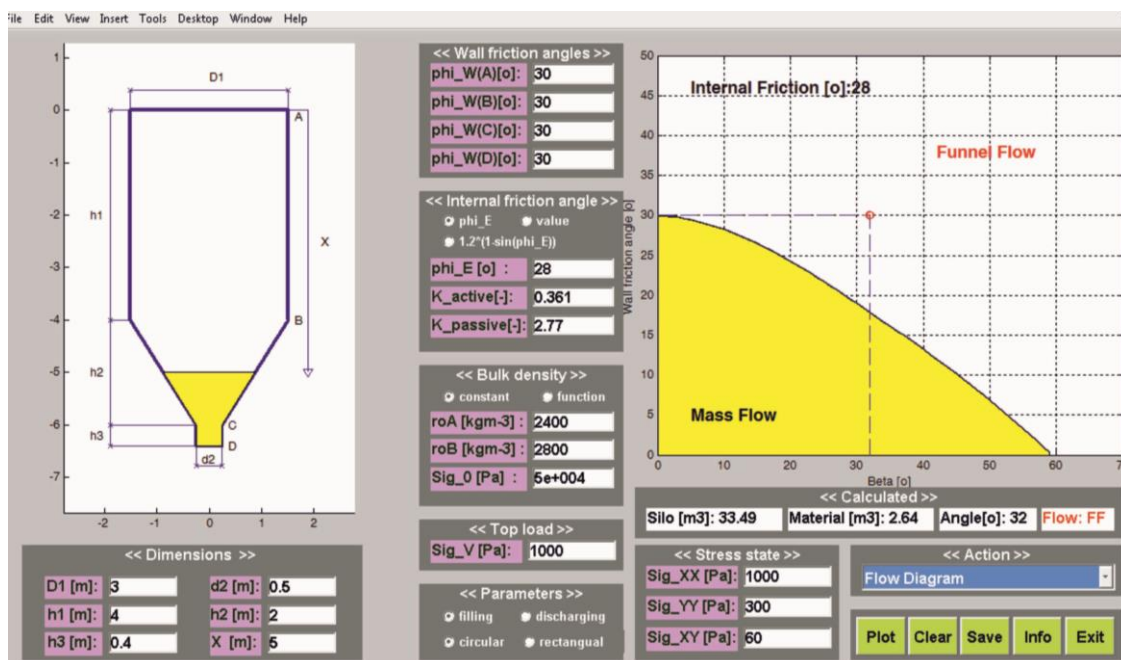


Obrázek 19 a, b – Průběh tlaků (svislého napětí) při plnění (a) a při vyprazdňování (b) – hmotový tok [14]

Když nám dochází při vypouštění zásobního sila k jádrovému toku, a je zde tzv. „mrtvá“ zóna sypkého materiálu, tak vzniká citlivá oblast (kritická) se zvýšeným tlakem na stěnu zásobního sila, viz Obrázek 18b.

Výpočet vzniku těchto maximálních napětí je v zásadě možný, např. pomocí metody Enstad. Existují i jiné přístupy, např. od Walters a Jenike. Nová šetření používají metodu konečných prvků (FEM), pro výpočet dočasných průběhů napětí. [14]

V rámci projektu výzkumu a vývoje č. V-05 společnosti MOSA Solution s.r.o. a ČVUT v Praze byl vytvořen plně funkční software, který optimalizuje tvary zásobních sil, a to z hlediska tokových vlastností dané sypké hmoty.



Obrázek 20 – Základní obrazovka SW programu „Flow Material“ [15]

Tokové chování sypné hmoty je určeno několika dobře definovatelnými parametry. Základním parametrem je sypná hmotnost sypké hmoty ρ_b , efektivní úhel vnitřního tření ϕ_e (míra pro vnitřní tření sypkých hmot ve stacionárním toku), tlaková pevnost sypké hmoty σ_c a úhel vnějšího tření (tření stěny) ϕ_x . Pro výpočet hmotového toku je důležitým parametrem hodnota úhlu vnějšího tření ϕ_x , parametr pevnosti sypké hmoty σ_c je velice důležitým, pokud se týče klenby. Úhel vnějšího tření ϕ_x je definován jako tření mezi povrchem stěny a korespondující sypkou hmotou. Neohraničená mez napětí σ_c je tlakové napětí sypké hmoty. Všechny tyto veličiny jsou závislé na velikosti oblasti netekoucího materiálu, což představuje konsolidační napětí σ_1 .

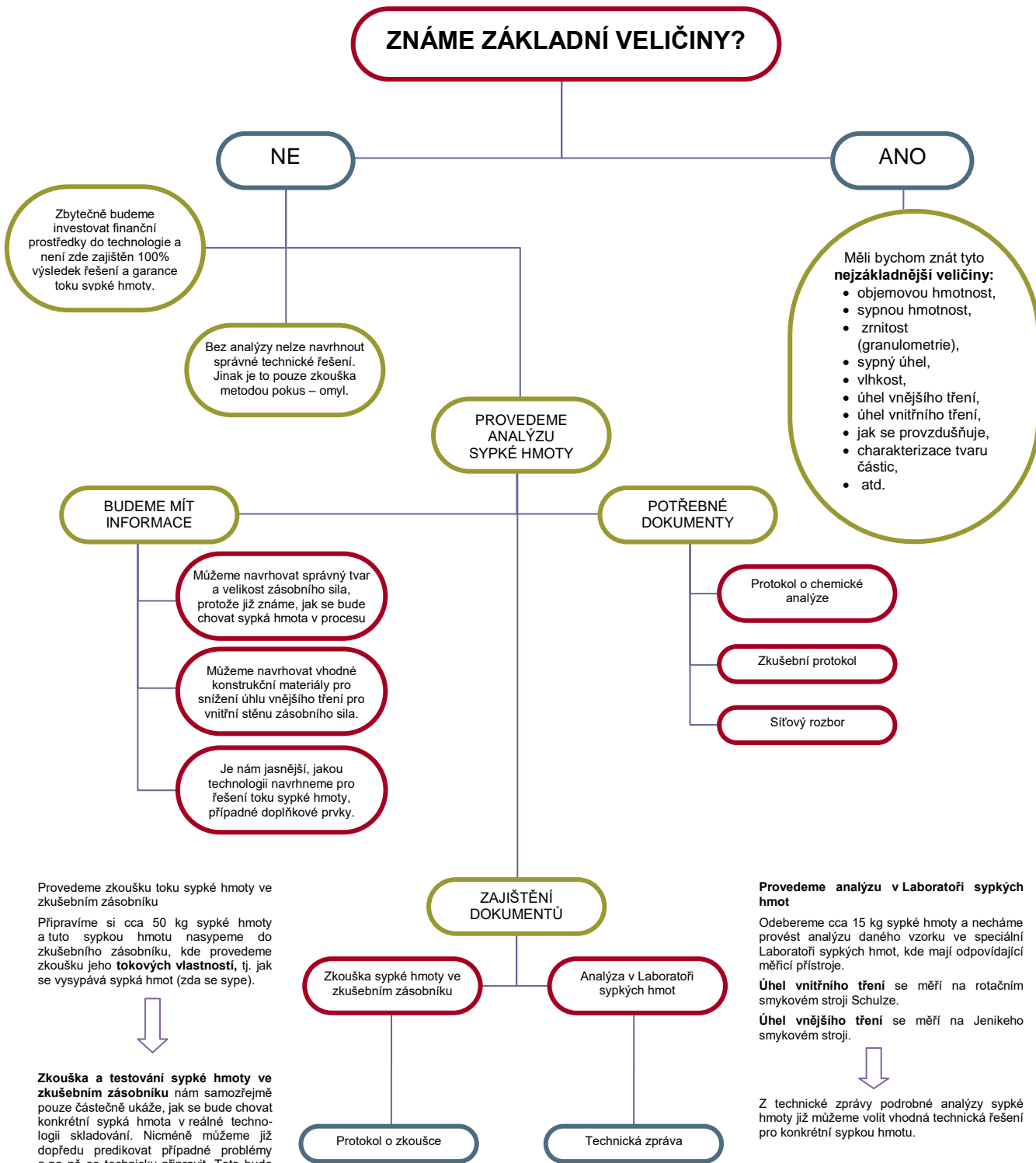
Zmíněné parametry jsou měřeny a stanoveny ze smykových zkoušek, jako například přímočarý smykový stroj dle Jenikena nebo rotační smykový stroj. Optimální navržení hmotového toku vyžaduje vhodný sklon stěn výsypek zásobních sil a optimální velikost výpustného otvoru. Tímto zabráníme vzniku klenby. Specifikované tokové vlastnosti stanovíme výpočtem a měřením s využitím Jenikenovy teorie [14]. Tato metoda se ukázala jako platná v mnoha případech za dobu více než 35 let.

Na obrázku 20 je vidět, že při zvolených rozměrech zásobního sila a specifikovaných parametrech sypké hmoty nám vznikne v zásobním silu jádrový tok (vznik tunelu).

5 JAK PŘIPRAVIT DOBRÝ PROJEKT

5.1 Důkladná analýza sypké hmoty

Abychom vyřešili problém toku sypké hmoty v zásobním síle, musíme získat dostatečné informace.





Obrázek 21 – Fotky vzorků sybké hmoty z reálných technologií

5.2 Znalost procesu celé dopravní a skladovací technologie

OBECNĚ:

Musíme znát informace o celé dopravní technologii, tj. jak je sypká hmota dopravována.

ZNÁME KOMPLETNÍ DOPRAVNÍ TECHNOLOGIÍ?

1

Doporučujeme prohlédnout si celou dopravní technologii sypké hmoty.

Zajímají nás svodky, přesypy, skladovací zásobníky, sila, dopravní systémy, uzavírací prvky, atd.

2

Potřebujeme popis technologie tj. **Technickou zprávu.**

3

V procesu zajištění a garance toku sypké hmoty ze zásobního sila musíme znát navazující dopravní technologii. To je svodky, systém dopravníku. Musíme zkontrolovat, že dopravní technologie byla správně naprojektována a že skutečně dopravuje sypkou hmotu ze zásobního sila.



Bez těchto technických informací nelze navrhnout správně řešení!





Obrázek 22 – Fotky reálně se vyskytujících problémů v technologiích

5.3 Informace o zásobním síle

NA CO BYCHOM JEŠTĚ NEMĚLI ZAPOMENOUT?

Musíme znát tvar zásobního síla

- velikost výpustného otvoru
- sklon výsypky, násypky
- drsnost povrchu vnitřní stěny
- teplotu sybké hmoty
- dobu skladování
- prvky
- atd.

Shlédneme obouchaná místa, deformovaná místa, obsluha nám řekne o problémech a předá dosavadní zkušenosti.

Měli bychom mít k dispozici **statické posouzení** zásobního síla, ...

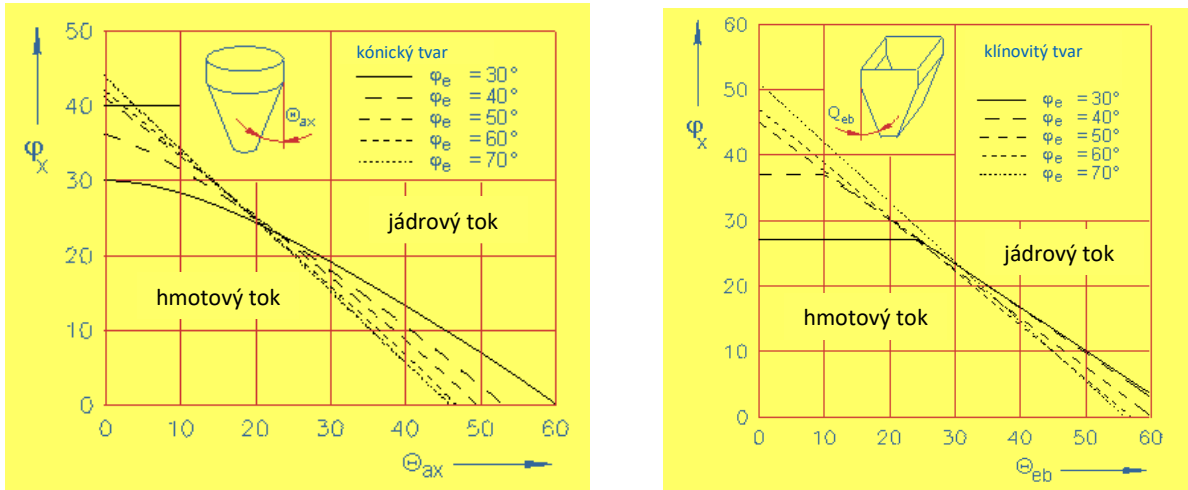
Potřebujeme znát největší **zatížení na vertikální stěnu**, které je v přechodové oblasti zásobního síla.

Pokud by zde vznikala klenba, a ta by se náhle uvolnila, mohlo by to vést k deformaci zásobního síla a popřípadě by mohlo dojít i k utržení výsypné části.

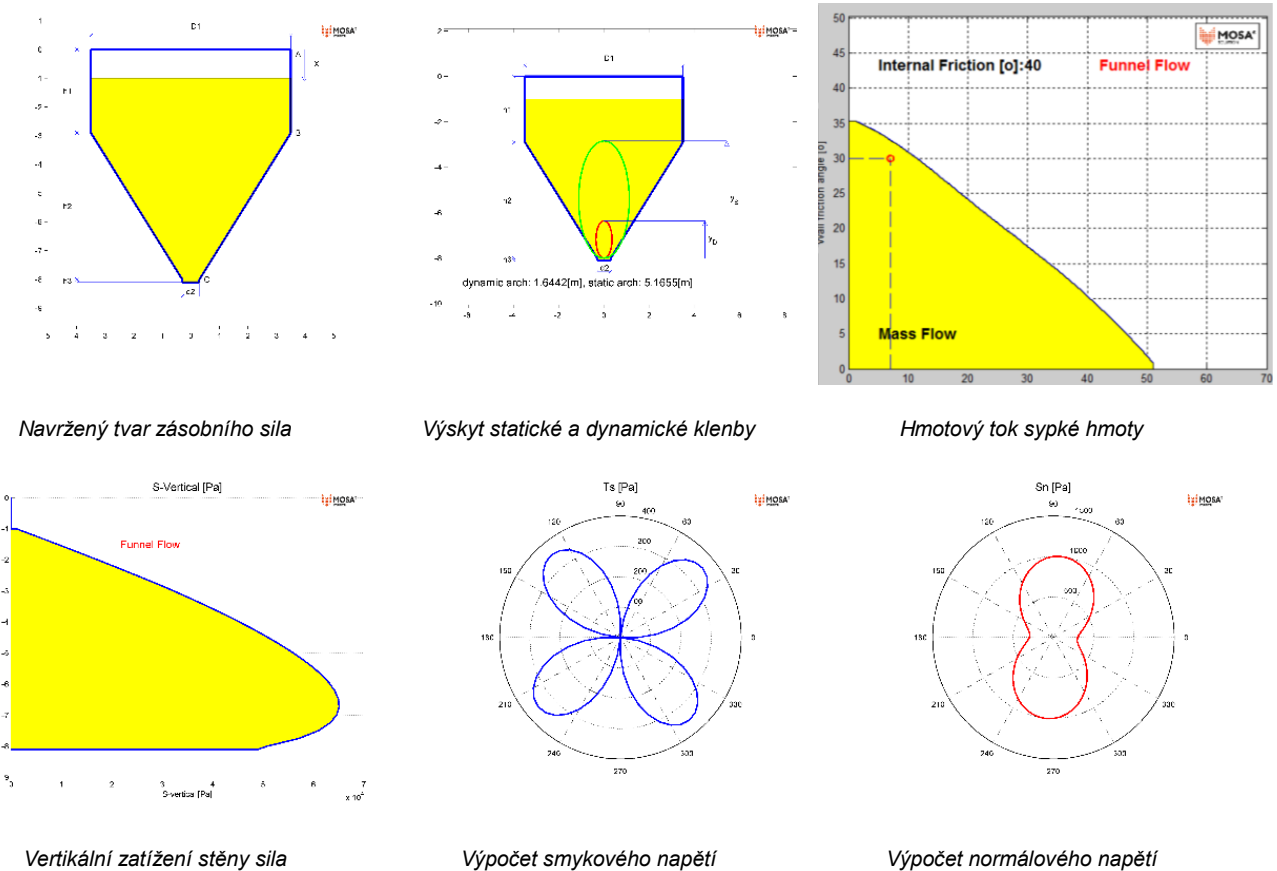
DOPORUČENÍ:

Nechat **provést statické posouzení síla**. Je nutno počítat s vlivem dalších zatěžovacích účinků od navrhovaných technologií, tj. doplňkové prvky jako například vibrátory, vzduchové kanóny, pulzní trysky, různé vestavby atd.

Pro stanovení hmotového, či jádrového toku sypané hmoty lze využít poznatků pana Jenikena. Základní diagramy jsou uvedeny v DIN 1055-1:1940-06.



Obrázek 23 – Jenikeho diagramy pro stanovení sklonu výsypky (a) – kónický tvar, (b) – klínovitý tvar [14]



Obrázek 24 – Ilustrační obrázky z programu „Flow Material“ – výpočet [15]

5.4 Zatřídění prostředí

ZNÁME PROSTŘEDÍ, KDE PRACUJEME?

Musíme mít k dispozici **Protokol o určení vnějších vlivů**, a to vypracovaný odbornou komisí dle ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 a ČSN 33 2000-4-41 ed. 2.

To obnáší zhodnocení požárně technických a výbušných parametrů látek vstupujících do výrobního procesu, zařazení jednotlivých prostor technologie do příslušné kategorie vlivů definovaných ČSN, přiřazení vnějších vlivů prostředí prostorům členěným z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem a prostor s nebezpečím výbuchu.

Toto nesmíme opomenout, jelikož se zde vystavujeme **riziku možného zahoření** a popřípadě může dojít i **k výbuchu** technologie.

Nemůžeme například aplikovat energii tlakového vzduchu do sypkého materiálu, který tvoří se vzduchem výbušnou směs.

DOPORUČENÍ:

Musíme oslovit odbornou firmou, která nám **vypracuje dokumentaci o ochraně před výbuchem** ve smyslu nařízení vlády č. 406/2004 Sb.

Případné ložisko zahoření v zásobním síle můžeme eliminovat například **aplikací inertního plynu** do jeho vnitřního prostoru.



Obrázek 25 – Fotky vyskytujících se problémů v praxi

5.5 Akustická energie za určitých podmínek

MŮŽE BÝT POUŽITA AKUSTICKÁ ENERGIE A VLASTNÍ FREKVENCE?

1

Pokud využijeme akustickou energii, musíme být velice opatrní na to, abychom nevytvořili na zařízení, či technologii rezonanci. Proto je nutno vždy specifikovat vlastní kmity jejich strukturálních částí.

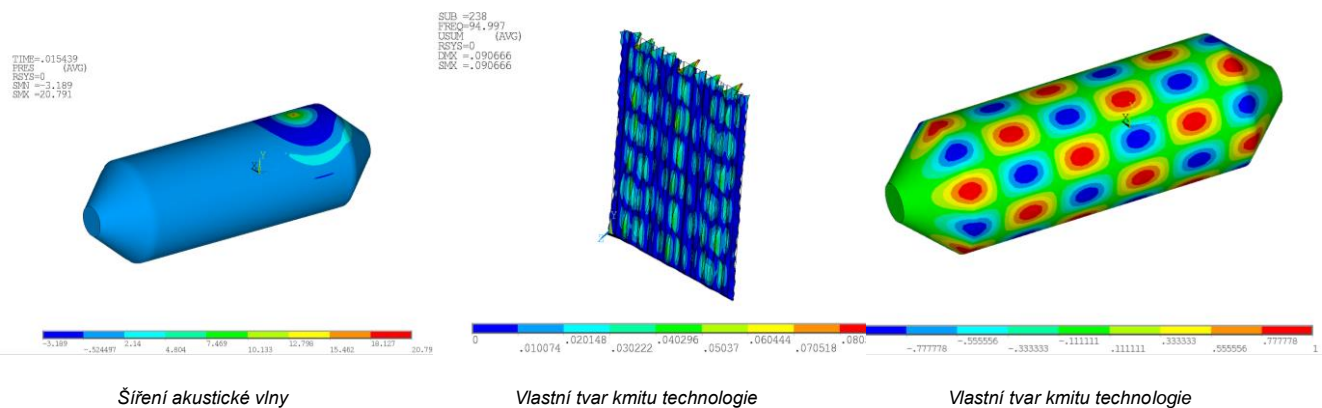
Shlédneme obouchaná místa, deformovaná místa, obsluha nám řekne o problémech a předá dosavadní zkušenosti.

2

DOPORUČENÍ: Nechat si zaměřit technologii – tj. provést **frekvenční analýzu**.



**Bez těchto technických informací
může dojít k vybuzení destruktivního stavu technologie!**



Obrázek 26 – Ilustrační obrázky z průběhu analýzy a výpočtů [16]

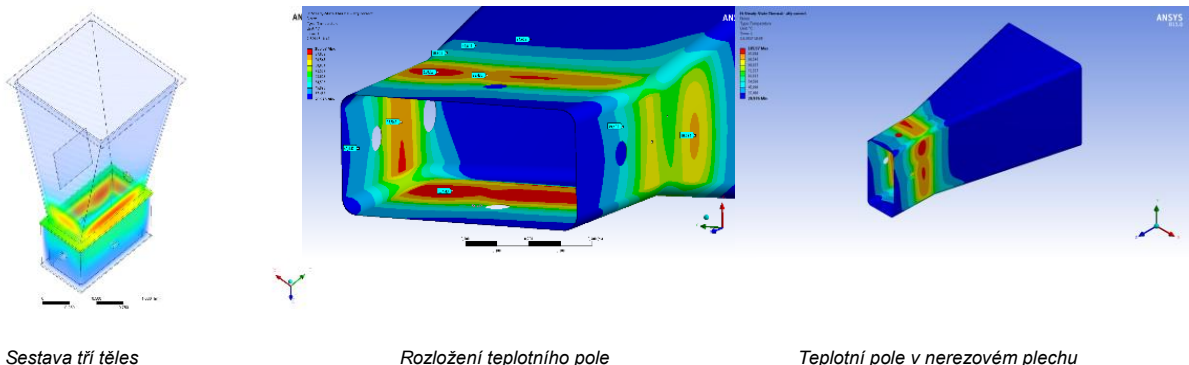
5.6 Ocelové svodky s lokálním ohřevem

JE VHODNÝ LOKÁLNÍ OHŘEV?

DOPORUČENÍ:

Provést numerickou analýzu rozložení teplotních polí ve stěnách svodek technologií.

Jedná se o koeficient přestupu tepla, měrnou tepelnou kapacitu materiálu, tepelnou vodivost materiálu. Využijeme principu tepelného narušení vnitřních vazeb mezi částicemi sypké hmoty.



Obrázek 27 – Ilustrační obrázky z průběhu analýzy a výpočtů [17]

6 ZÁVĚR

Bezpečný a spolehlivý tok sypké hmoty záleží na správném postupu návrhu zásobníku sil. K tomu je zapotřebí provést měření vlastností sypké hmoty (stručně popsáno v dílčích člancích) a využít již zavedených výpočtových metod.

Nevhodný návrh zásobního sila nám může způsobit značné ztráty ve výrobě. Oproti tomu náklady na měření, testy a správný návrh geometrie zásobního sila jsou ve srovnání s již vyskytujícími se problémy ve výrobě skutečně minimální.

7 ZDROJE

- [1] ČSN ISO 8456. *Skladovací zařízení sypkých hmot. Bezpečnostní předpisy*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [2] NORMSERVIS s.r.o. *Technické normy a publikace z celého světa ...* [online]. [cit. 12.03.2020]. Dostupné z: <https://eshop.normservis.cz/norma/csniso-8456-1.8.1993.html>.
- [3] ČSN 735570. *Zatížení zásobníků – Doplnující pokyny pro siláže a senáže*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [4] Příloha č. 5 k nařízení vlády č. 378/2001 Sb., kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí.
- [5] Vyhláška MPSV č. 12/1995 Sb. o zajištění bezpečnosti práce a provozu u skladovacích zařízení sypkých hmot
- [6] ČSN 260003. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Všeobecná ustanovení a zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [7] ČSN ISO 1819 (260005). *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Bezpečnostní předpisy. Všeobecná ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [8] ČSN ISO 7149 (260006). *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Bezpečnostní předpisy. Zvláštní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [9] ČSN ISO 2148 (260009). *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [10] DUŠÁTKO, Antonín. *Bezpečný podnik – Bezpečnost skladovacích zařízení sypkých hmot a bezpečnost jejich provozu*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2004.
- [11] NOVOSAD, Jan. *Mechanika sypkých hmot*. Praha: Institut pro výchovu vedoucích pracovníků ministerstva průmyslu ČSR, 1983.
- [12] ZEGZULKA, Jiří. *Vzdělávací projekt. Problematika dopravy, skladování a měření mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007
- [13] ČSN 727018. *Stanovení sypné hmotnosti keramických surovin a hmot*. Praha: Český normalizační institut, 1970.
- [14] DR.-Ing. Dietmar Schulze. *Powder testers & software* [online]. [cit. 12.03.2020]. Dostupné z: <https://www.dietmar-schulze.de/storage.html>
- [15] VAMPOLA, Tomáš a MOŠA, Jan. *Projekt V-05 – programový nástroj SW – Flow Material*, MOŠA-ČVUT, 2016.
- [16] VAMPOLA, Tomáš. *Zpráva č. 2052/12/2012 – Posouzení využití generátoru akustické energie pro čištění elektrických odlučovačů*, ČVUT, 2012.
- [17] BYRTUS, Martin. *Zpráva č. 17095-A0D-001 – Analýza teplotních polí ve stěnách svodky paliva*. IVITAS, a.s. 2017.

Příručku zpracovala společnost:

MOSA Solution s.r.o.
Zámecká 297
411 12 Čížkovice
IČ 28736541
DIČ CZ28736541