



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ZÁSOBNÍK PRO MLETOU KAMENNOU SŮL

SILO FOR MILLED MINERAL SALT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN VEŠKRNA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Veškrna

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zásobník pro mletou kamennou sůl

v anglickém jazyce:

Silo for milled mineral salt

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte hluboký zásobník pro mletou kamennou sůl dle zadaných parametrů:

skladovaný objem mleté kamenné soli	85 m ³ ,
měrný objem mleté kamenné soli	1200 kg.m ⁻³ ,
součinitel vnitřního tření k. soli	0,35.

Cíle diplomové práce:

Proveďte rozbor volby typu a konstrukce zásobníku, dle možností pevnostní výpočet částí zásobníku, popis možností vzniku klenby a popis aktivních a pasivních stavů napjatosti materiálu v zásobníku.

Popište specifičnost zadaného materiálu s ohledem na konstrukci zásobníku.

Nakreslete sestavný výkres zásobníku a důležité detailní výkresy.

Seznam odborné literatury:

1. Shigley J.E., Mischke Ch.R., Budynas R.G.: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
2. Bigoš P., Kulka J., Kopas M., Mantič M.: Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. TU v Košiciach. 2012. ISBN 978-80-553-1187-6
3. Malášek J.: Stroje pro výrobu stavebních materiálů a stavebních dílců. VUT FSI, 2005.
4. Medek J.: Mechanické pochody. VUT FS, 1998. ISBN 80-214-1284-x.
5. Zegzulka J.: Vliv mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot na konstrukci dopravních, úpravnických a skladovacích zařízení. TU Ostrava, 1999.

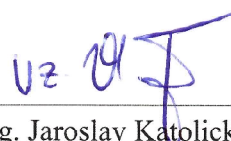
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 20.11.2014



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zásobníku pro mletou kamennou sůl. Jsou zde popsány druhy zásobníků, dále je proveden rozbor konstrukce a volby typu zásobníku, pevnostní výpočet a návrh rozměrů. Dále jsou zde popsány aktivní a pasivní stavy napjatosti materiálu v zásobníku. Práce se zabývá vznikem vzpěrné klenby při vyprazdňování a popisem prvků napomáhajících toku materiálu. Je zde také popsána specifická vlastnost materiálu s ohledem na konstrukci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zásobník, mletá kamenná sůl.

ABSTRACT

This diploma thesis describes the design of silo for milled mineral salt and. There are described the types of silos and there is also analysis of type choice and silo construction, dimension design and silo strength calculation. Further there are described active and passive stress state of the material in the silo. The thesis deals the possibility of emptying the vaults and there is description of active and passive elements, that conducive to flow of material. It also describes the specificity of the material considering the structure of silo.

KEYWORDS

Silo, milled mineral salt.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VEŠKRNA, M. Zásobník pro mletou kamennou sůl. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2015

.....

Martin Veškna

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za odbornou pomoc vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. a všem profesorům, se kterými jsem se v průběhu tvorby díla a při samotném studiu na VUT FSI v Brně setkal. Dále bych rád poděkoval svému blízkému okolí za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Úvod	10
1 Možnosti skladování sypkých materiálů	11
2 Rozdělení zásobníků	13
2.1 Rozdělení zásobníků podle poměru výšky a šířky	13
2.2 Rozdělení zásobníků dle průřezu komory	14
2.2.1 Pravoúhlý průřez komory	14
2.2.2 Kruhový průřez komory	15
2.2.3 Kombinované zásobníky	16
2.3 Rozdělení zásobníků materiálového toku	17
2.3.1 Zásobníky s jádrovým tokem	17
2.3.2 Zásobníky s objemovým tokem	17
2.3.3 Zásobníky s kombinovaným tokem	18
3 Plnění zásobníku	19
3.1 Způsoby plnění	19
3.2 Vznikající problémy při plnění	19
3.2.1 Volný pád částice s určité výšky	19
3.2.2 Pohyb jednotlivých částí po povrchu kužele	19
4 Pneumatický způsob plnění zásobníku	22
4.1 Pneumatická podtlaková doprava	24
4.2 Pneumatická přetlaková doprava	24
4.3 Pneumatická kombinovaná doprava	25
4.4 Výhody pneumatické dopravy	25
4.5 Nevýhody pneumatické dopravy	25
5 Vyprazdňování zásobníku	26
5.1 Velikost výpustného otvoru	26
5.2 Rychlost výtoku materiálu	27
6 Tok materiálu v zásobnících	29
6.1 Pomocná zařízení pomáhající toku materiálu	30
6.1.1 Aktivní prvky	30
6.2 Pasivní prvky	32
7 Tlakové poměry při vyprazdňování zásobníku	33
8 Vzpěrná klenba	35
9 sůl	38
9.1 Kamenná sůl	38
9.2 Mořská sůl	40

9.3	Vakuovaná sůl.....	41
9.4	Himalájská sůl.....	41
9.5	Bambusová korejská sůl	41
9.6	Černá sůl	41
10	Výpočet zásobníku	42
10.1	Výpočet hlavních rozměrů	42
10.1.1	Výpočet úhlu vnitřního tření.....	42
10.1.2	Výpočet úhlu sklonu kuželové výsypky.....	43
10.1.3	Výpočet výšky hlavní komory zásobníku	43
10.1.4	Výpočet výšky výsypky zásobníku	44
10.2	Objem zásobníku.....	45
10.2.1	Výpočet objemu hlavní komory	45
10.2.2	Výpočet objemu výsypky	45
10.2.3	Výpočet celkového objemu zásobníku.....	45
10.3	Hydraulický poloměr.....	45
10.4	Výtoková rychlost	46
10.5	Tlakové poměry v hlubokém zásobníku	46
10.5.1	Výpočet vertikálního tlaku	49
10.5.2	Výpočet horizontálního tlaku	50
10.5.3	Výpočet tlaků na kuželové výsypce	50
10.6	Výpočet sil zatěžujících zásobník	51
10.7	Tloušťka stěny zásobníku - návrh	52
11	Příslušenství zásobníku	55
11.1	Odlehčovací ústrojí	55
11.2	Šoupátkové klapky	56
11.3	Motýlové klapky	57
11.4	Kulový uzávěr VSS.....	58
11.5	Rotační snímač hladiny ILTA0	59
	Závěr.....	60
	Seznam použitých zkratk a symbolů	62
	Seznam příloh.....	64

ÚVOD

Skladování a přeprava materiálu je nedílná součást v každém výrobním procesu. Při skladování se avšak pouze zvyšují výrobní náklady a nedochází zde ke zvýšení hodnoty výrobku. Technologické sklady jsou jedinou výjimkou, protože zde při skladování dochází také k technologickým procesům, které zapříčiňují změnu vlastností materiálu. Tento proces je však při skladování sypkých materiálů zpravidla nežádoucí.

Lze skladovat materiály všech skupenství. Velká skladovací množství jsou důvodem náročnosti skladování sypkých materiálů. Pro skladování těchto materiálů se používají zásobníky sypkých hmot.

1 MOŽNOSTI SKLADOVÁNÍ SYPKÝCH MATERIÁLŮ

Skladování sypkých hmot lze vzhledem k charakteru partikulárních látek provádět dvěma způsoby:

1. Skladování v jednotkových obalech

- sudy
- pytle
- krabice
- bedny

Tento způsob skladování lze využít pro skladování sypkých hmot tam, kde se potřeba využít snadné a časté manipulace s materiálem. U tohoto způsobu skladování je potřeba zavést automatické dávkování a vyřešit následný problém manipulace s obaly, aby byl více ekonomický. Jestliže je sypký materiál určen do spotřební sítě (zejména potravinářský průmysl), je tento způsob skladování prakticky jediný možný. Zde jsou obaly opatřeny pro lepší evidenci čárkovým kódem EAN (European Article Numbering), který přesně definuje prodáváný předmět.

2. Skladování volně ložené (extenzivní) nebo v zásobnících (intenzivní)

Tento způsob se využívá, pokud je pohyb materiálu poměrně malý. Skladovaný materiál může být uložen:

SKLÁDKA

Je to prostor, který je geometricky omezený základnou a tvar skládky je určen způsobem odběru materiálu a ostatními plochami, které mohou být ohraničené nebo volné. Tvar skládky, pokud není upraven jinak, je u zcela volných ploch omezen synným úhlem materiálu. Povrch skládky může být volný nebo krytý, pokud to vyžaduje druh skladovaného materiálu. Tento skladovací způsob vyžaduje velkou skladovací plochu, jelikož výška skladovaného materiálu nemůže být příliš vysoká.

POLOBUNKR

Způsob skladování, který je kombinací skládky a zásobníku. Je určen pro skladování velkých objemů materiálu. Stěny polobunkru jsou většinou omezeny je na spodní část, kde je také umístěno vynášecí zařízení. Materiál je zde nasypán volně.

ZÁSObNÍK

Využívá se pro intenzivní hromadné skladování sypkých hmot. Zásobník je podle ČSN 73 5570 prostorová konstrukce sloužící pro dlouhodobé skladování prachových, zrnitých a i částečně vláknitých materiálů. Každé použití zásobníků musí být ekonomicky zváženo, protože je to investičně náročné zařízení. Neměl by se zde skladovat materiál, který lze skladovat na volných skládkách. Jedna z největších výhod zásobníku je možnost zajištění dokonalé ochrany skladovaného materiálu vůči nepříznivým vlivům počasí a také možnost vytvoření vhodné interní atmosféry uvnitř zásobníku.

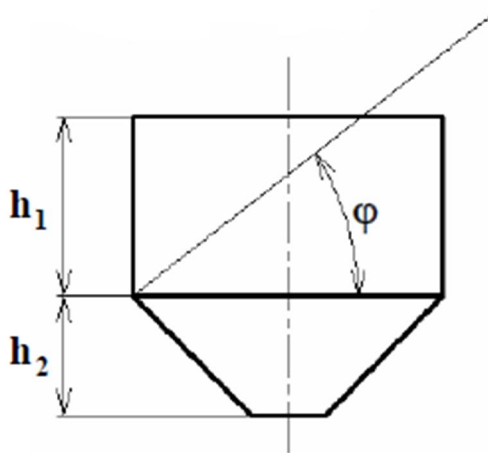
2 ROZDĚLENÍ ZÁSOBNÍKŮ

2.1 ROZDĚLENÍ ZÁSOBNÍKŮ PODLE POMĚRU VÝŠKY A ŠÍŘKY

- Bunkry (nehluboké zásobníky)
- Sila (hluboké zásobníky)

BUNKR

Je skladovací zařízení, pro které platí, že přímka vedená z průsečíku hlavní komory a výsypky pod úhlem vnitřního tření φ neprotíná boční stěnu.



Obr. 2.1 Bunkr [1]

Platí že:

$$h_1 \leq 1,5 \cdot \sqrt{A} \quad (2.1)$$

kde:

h_1 ... výška hlavní komory [m]

A ... příčný průřez hlavní komory [m^2]

Pro kruhové průřezy komory platí:

$$h_1 \leq 1,33 \cdot \sqrt{D} \quad (2.2)$$

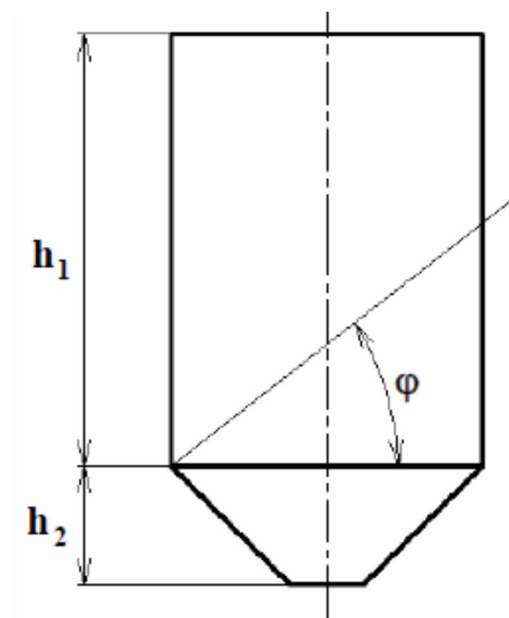
kde:

h_1 ... výška hlavní komory [m]

D ... vnitřní průměr hlavní komory [m]

SILO

Je skladovací zařízení, pro které platí, že přímka vedená z průsečíku hlavní komory a výsypky pod úhlem vnitřního tření φ protíná boční stěnu.



Obr. 2.2 Silo [1]

Platí že:

$$h \geq 1,5 \cdot \sqrt{A} \quad (2.3)$$

kde:

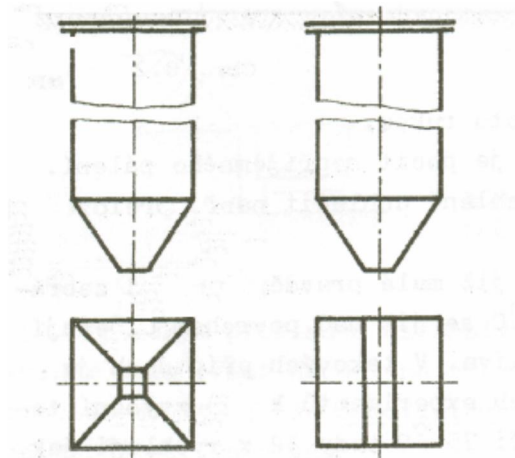
h ... výška hlavní komory [m]

A ... příčný průřez hlavní komory [m²]

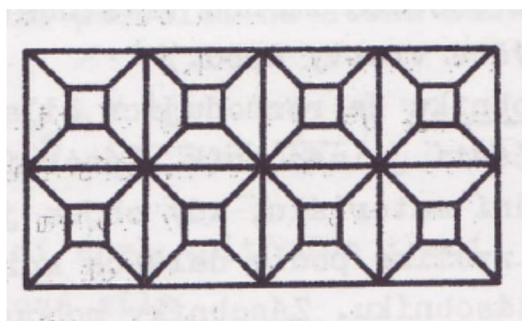
2.2 ROZDĚLENÍ ZÁSOBNÍKŮ DLE PRŮŘEZU KOMORY

2.2.1 PRAVOÚHLÝ PRŮŘEZ KOMORY

Tento typ zásobníků se používá pro menší skladovací kapacity, protože díky tvaru zásobníku není vhodný z hlediska namáhání stěn. U tohoto typu zásobníků může být problémem vyřešení výsypky. Ta může být po celé délce jedné hrany – štěrbinová výpusť, nebo může mít výsypka tvar komolého jehlanu, proto má průřez výpustného otvoru tvar čtverce nebo obdélníku. V tomto případě je zde vyšší pravděpodobnost vzniku tzv. mrtvých koutů, ze kterých se materiál vyprazdňuje velice obtížně. Výhodou těchto zásobníků je vytváření skupin zásobníků a tudíž lepší využití zastavěného prostoru.



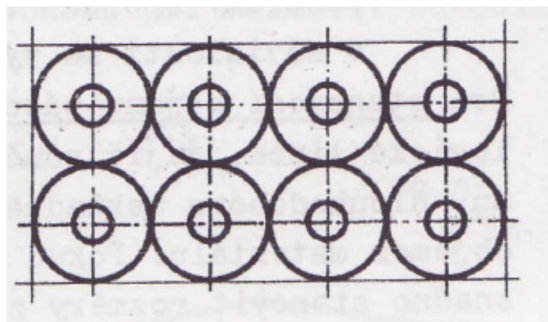
Obr. 2.3 Zásobník s čtvercovým průřezem [1]



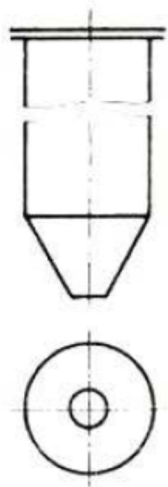
Obr. 2.4 Příklad využití zastavěného prostoru pravoúhlých zásobníků [2]

2.2.2 KRUHOVÝ PRŮŘEZ KOMORY

Tento typ zásobníků mají velikou výhodu z hlediska výroby, ale také z hlediska namáhání pláště. Menší využití zastavěného prostoru než u pravoúhlých zásobníků je určitou nevýhodou. Zásobníky s kruhovým průřezem mají většinou výsypku ve tvaru kužele, díky které by mělo být zaručeno plynulé vyprázdnění celého zásobníku.



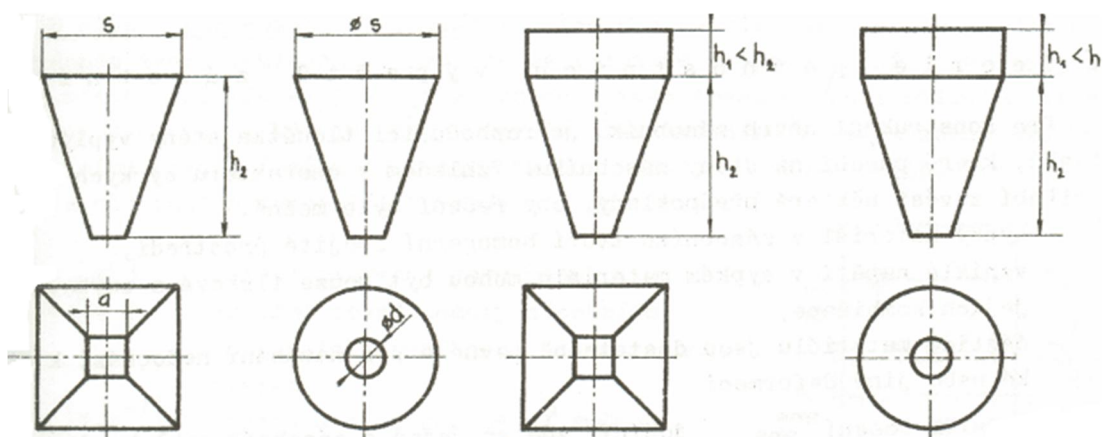
Obr. 2.5 Příklad využití zastavěného prostoru kruhových zásobníků [2]



Obr. 2.6 Zásobník s kruhovým průřezem [1]

2.2.3 KOMBINOVANÉ ZÁSObNÍKY

Tento typ zásobníků se vyznačuje tím, že prakticky nemá komoru a jeho tvar je tvořen pouze výsypkou (kužel nebo jehlan). Toto vede k lepšímu vyprazdňování zásobníku. Využití tohoto typu zásobníků je potom při skladování málo sypkého a soudržného materiálu. Poměr užitého objemu vůči zastavěné ploše je menší, takže použití těchto zásobníků musí být technologicky a ekonomicky zdůvodněné.

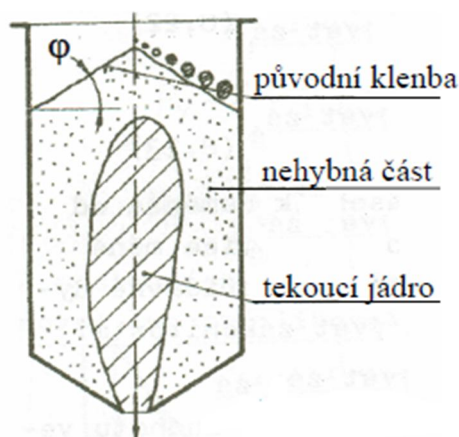


Obr. 2.7 Příklady kombinovaných zásobníků [1]

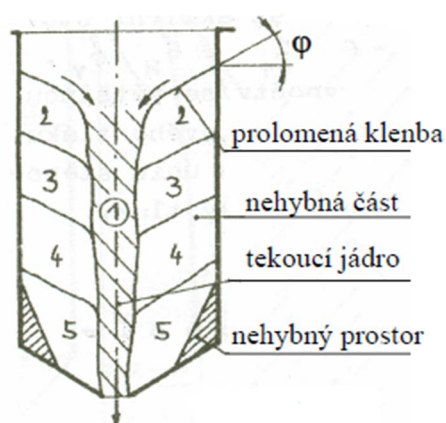
2.3 ROZDĚLENÍ ZÁSOBNÍKŮ MATERIÁLOVÉHO TOKU

2.3.1 ZÁSOBNÍKY S JÁDROVÝM TOKEM

Jádrový tok vznikne u zásobníků s nesprávně navrženou výsypkou, nebo s malým výsypným otvorem. K toku materiálu dochází pouze v tzv. jádru, materiál vně jádra se uvede do pohybu až po prolomení klenby na povrchu materiálu. Při dalším plnění se nejprve vyplní jádro zásobníku, v podstatné části zásobníku nedojde vůbec k pohybu (výměně) materiálu. Jádrový tok vzniká u zásobníků s plochým dnem, nebo při velkém úhlu rozevření výsypky. [1]



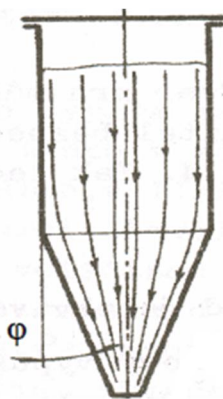
Obr. 2.8 Jádrový tok [1]



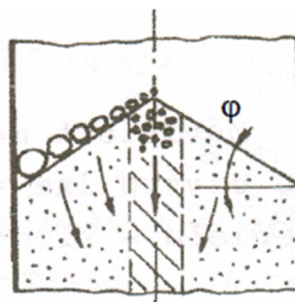
Obr. 2.9 Jádrový tok po prolomení klenby [1]

2.3.2 ZÁSOBNÍKY S OBJEMOVÝM TOKEM

Sklon stěny výsypky a velikost výpustného otvoru jsou správně navrženy. Při otevření výpustného otvoru veškerý materiál volně vytéká. Primární pohyb = translace zrn je v blízkosti svislé osy zásobníku rychlejší v důsledku sekundárního pohybu = rotace zrn. Pokud vlivem segregačních účinků dojde k roztržení částic, při výtoku se částice opět promísí. [1]



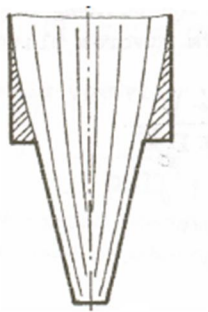
Obr. 2.10 Objemový tok [1]



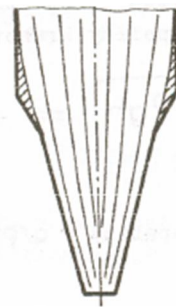
Obr. 2.11 Násypný kužel [1]

2.3.3 ZÁSOBNÍKY S KOMBINOVÁNÝM TOKEM

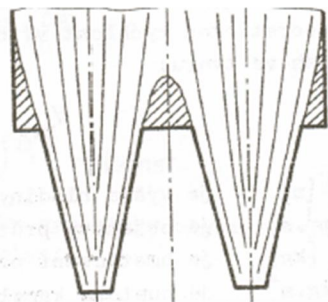
Nevýhodou zásobníků s jádrovým tokem je potřeba velkého výpustného otvoru a obtížná regulovatelnost vyprazdňování. Nevýhodou zásobníků s hmotovým tokem je velká výška výsypky, aby nedošlo ke vzniku klenby. [1]



Obr. 2.12 Přechod s rovným dnem [1]



Obr. 2.13 Kuželový přechod [1]



Obr. 2.14 Více výpustí vedle sebe [1]

3 PLNĚNÍ ZÁSObNÍKU

3.1 ZPŮSOBY PLNĚNÍ

Mechanicky – zásobník lze plnit pomocí šnekového nebo pásového dopravníku otvorem s poklopem, který se nachází na střeše zásobníku.

Pneumaticky – zásobník je plněn pomocí plnicího potrubí, které je připevněno na vnější straně pláště zásobníku. Konec plnicího potrubí s přípojovacím hrdlem je asi 1,5m nad zemí a jeho vyústění je pod střechou zásobníku.

3.2 VZNIKAJÍCÍ PROBLÉMY PŘI PLNĚNÍ

Na další provoz zásobníků má způsob jejich plnění velký vliv. V případě, že je směs polydisperzní, se při plnění projeví segregace částic. Mechanismus samotřídění lze objasnit i při prostém sypání sypkého materiálu na hromadu. Pokud materiál padá s určité výšky na vodorovnou plochu, vytvoří se kužel, jehož velikost a tvar jsou dány množstvím a vlastnostmi materiálu. Působením vnějších sil může dojít k deformaci kužele. Pokud však nepůsobí vnější síly, měl by být kužel symetrický. Při volném sypaném materiálu vznikají dvě fáze pohybu částic:

- volný pád částice s určité výšky
- pohyb jednotlivých částí po povrchu kužele

3.2.1 VOLNÝ PÁD ČÁSTICE S URČITÉ VÝŠKY

O rychlosti volného pádu rozhoduje velikost částice, její tvar a hustota a případný odpor prostředí. Ustálená rychlost pohybu je pak definována rovnováhou sil hmotnostních vztahových a odporových. O kinetické energii při dopadu na povrch kužele materiálu rozhoduje výsledná konečná rychlost.

3.2.2 POHYB JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PO POVRCHU KUŽELE

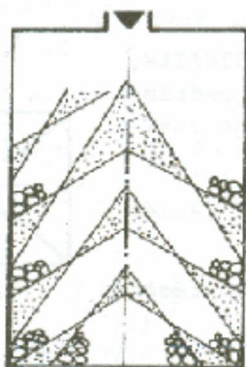
Při pohybu částice po povrchu kužele jsou částice brzděny. Malé částice nestačí překonávat odpory a zůstávají blízko u vrcholu kužele, protože mají malou kinetickou energii. Tyto částice navíc zapadají při svém pohybu do mezer mezi většími částicemi a brání jim v dalším pohybu a nebo je mohou při svém pohybu unášet. Velké částice se snadněji pohybují po povrchu kužele, protože mají velkou kinetickou energii. Většinou se proto nachází u paty kužele. Takto dochází k rozdělení částic podle tvaru, velikosti a případně podle hustoty částic. Částice s velkou hustotou a s optimálním tvarem (kulový) se budou nacházet u paty kužele.

Částice malé, prachové s nevhodným tvarem (lupínky, disky) a s drsným povrchem se budou nacházet kolem vrcholu kužele. Stření část bude obsazena částicemi smíšenými.

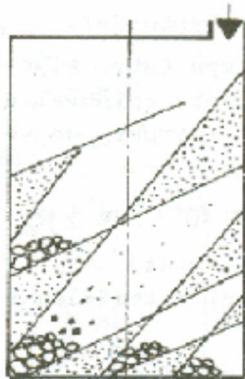
Sypný kužel se neutváří plynule, ale většinou přerušovaně. Kužel materiálu kolem středu (vrcholu) se vytvoří nejdříve. Dále se do sebe postupně zaklíní drobné a ploché částice a vrcholový kužel se bude postupně zmenšovat a sypný úhel bude v tuto chvíli maximální.

Pokud je na podložku neomezenou obvodovými stěnami volně nasypáván materiál a jeho množství se během času nemění, jednotlivé fáze se neustále prodlužují vzhledem k tomu, že se základna kužele rozšiřuje. Jednotlivé fáze se opakují pravidelně, jestliže je plocha omezena stěnami (zásobník). Složení materiálu v zásobníku má potom určité zákonitosti v závislosti na způsobu jeho plnění.

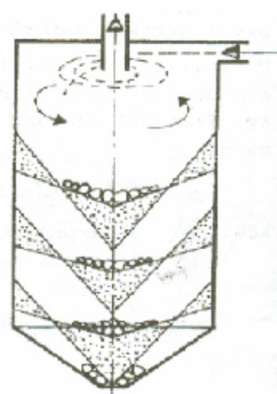
Příklady plnění zásobníku:



Obr. 3.1 Plnění středem [1]



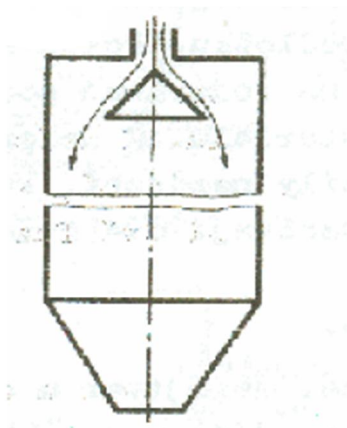
Obr. 3.2 Plnění na straně [1]



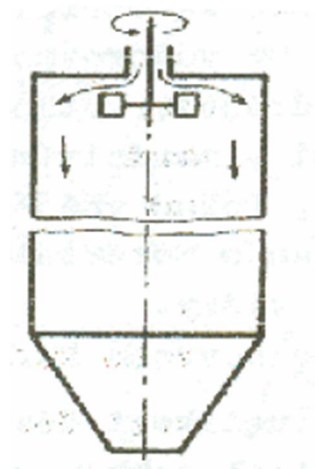
Obr. 3.3 Plnění pneumatické [1]

Jestliže bude mít zásobník jádrový tok a otvor pro vyprazdňování bude umístěn uprostřed dna zásobníku, potom bude podle způsobu plnění vytékat materiál postupně podle velikosti částic. Jestliže bude zásobník naplněn středem, bude nejprve vytékat malé množství velkých částic a poté všechny jemné částice. Jestliže bude výtok materiálu řešen více výpustnými otvory, složení materiálu bude rovnoměrnější. Při vyprazdňování bude docházet k promísení – hmotový tok a proto je nutné zvážit jak způsob plnění, tak vyprazdňování. Aby se v maximální možné míře zabránilo samotřídění materiálu, je možné konstrukčně upravit plnění zásobníku.

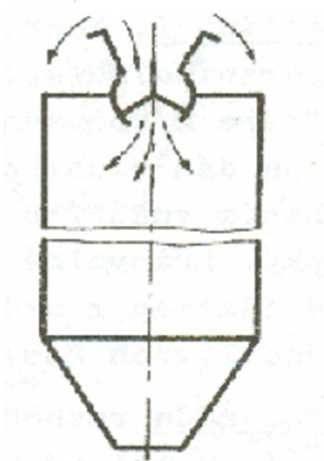
Příklady konstrukčních úprav plnění:



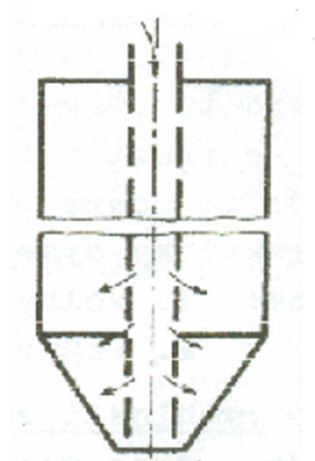
Obr. 3.4 Pevný rozhazovací kužel [1]



Obr. 3.5 Otočné rozhazovací zařízení [1]



Obr. 3.6 Kyvné zařízení [1]



Obr. 3.7 trubka s výpadovými otvory [1]

4 PNEUMATICKÝ ZPŮSOB PLNĚNÍ ZÁSOBNÍKU

Pneumatická doprava se využívá k dopravě pevných částic účinků proudícího plynu, převážně vzduchu. Účinky rozdělujeme na přímé a nepřímé. [2]

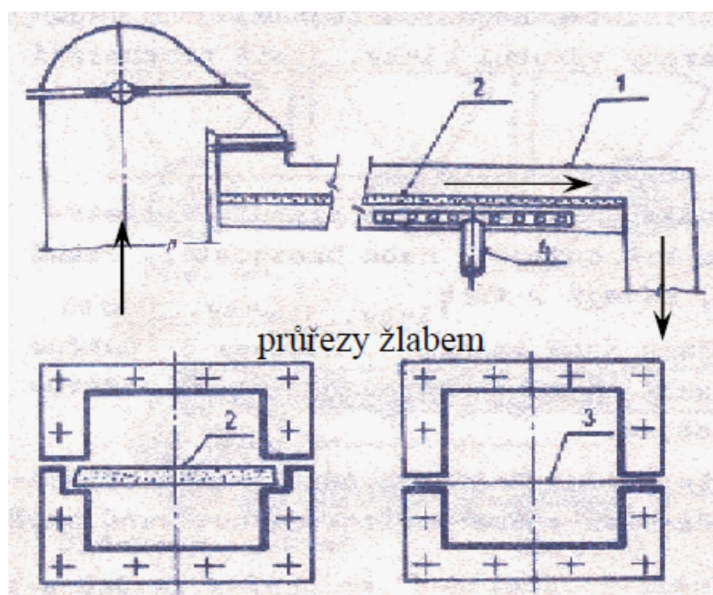
PŘÍMÉ ÚČINKY PROUDÍCÍHO VZDUCHU

Využívají se v pneumatické dopravě v uzavřených kanálech (potrubí). Tlakové, tečné a vztlakové síly, které působí přímo na povrch částice dopravovaného materiálu, způsobují, že částice je unášena ve vznosu proudem vzduchu.

NEPŘÍMÉ ÚČINKY

Materiál je během celé dopravní cesty provzdušňován. Zvýší se tím jeho mezerovitost a vytváří se fluidní vrstva, která má podobné vlastnosti jako kapalina. Jestliže je dopravní žlab skloněn o určitý úhel, materiál teče vlivem gravitační složce zrychlení jako kapalina ve směru sklonu žlabu.

Příklady užití nepřímých účinků:



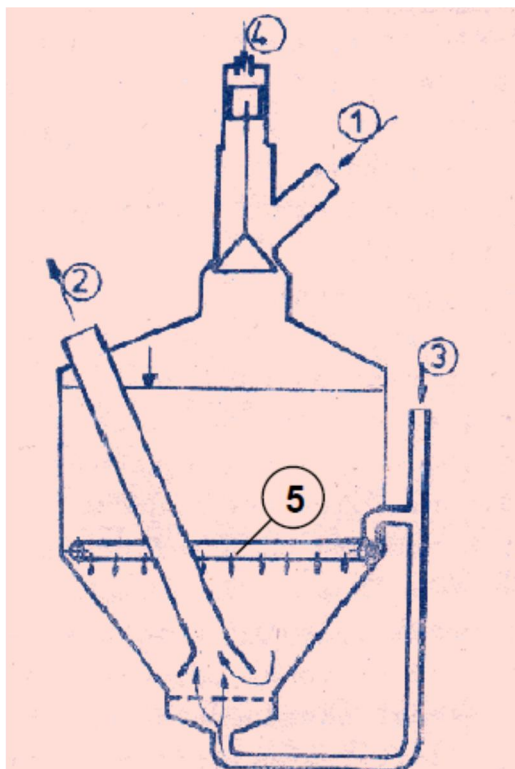
Obr. 4.1 pneumatický žlabový dopravník [1]

1 kryt žlabu

2 pórovitá deska

3 umělá tkanina

4 přívod tlakového vzduchu



Obr. 4.2 komorový podavač [1]

1 vstup cementu

2 výstup cementu se vzduchem

3 přívod vzduchu k čerání a dopravě

4 pneumatický válec

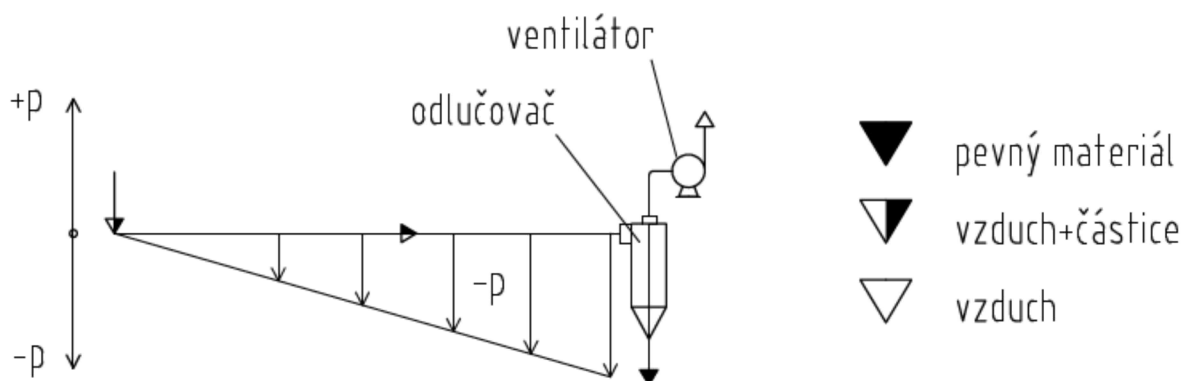
5 provzdušňovací prstenec

Pro pneumatickou dopravu přímými účinky platí, že jsou pro ni vhodné sypké materiály s malou objemovou hmotností. Provádí-li se v uzavřeném potrubí, lze je realizovat v libovolném směru. Těžké, mokré a lepidivé materiály se dopravují špatně. Pro dopravu je třeba vytvořit dostatečný tlakový spád. Pneumatickou dopravu dělíme dle vytvoření tlakového spádu na:

- pneumatická doprava podtlaková – sací, podtlaková
- pneumatická doprava přetlaková – tlačná, přetlaková
- kombinovaný způsob

4.1 PNEUMATICKÁ PODTLAKOVÁ DOPRAVA

Při tomto způsobu vstupuje materiál do potrubí při normálním barometrickém tlaku. Možnosti vytvořeného podtlaku, který může tvořit pouze rozdíl mezi barometrickým tlakem a zdrojem podtlaku, omezují hnací sílu. Využívá se zejména na místech, kde potřebujeme dopravit materiál z více míst. Podle kapacity se jedná vždy o menší jednotky.



Obr. 4.3 pneumatická podtlaková doprava

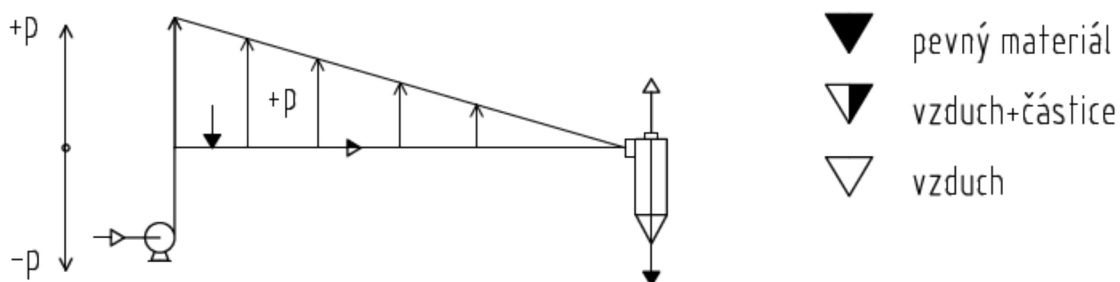
4.2 PNEUMATICKÁ PŘETLAKOVÁ DOPRAVA

U tohoto způsobu může být vytvořený tlakový spád podstatně vyšší než u podtlakové dopravy, protože je vytvořen vhodným zařízením (ventilátor, kompresor, dmychadlo). Lze uskutečnit velké dopravní vzdálenosti a vysoké dopravní kapacity. Aby nedošlo k úniku tlakového vzduchu z potrubí, musí být správně řešen vstup pevných částic.

Dělí se na:

- nízkotlaká (přetlak do 0,02 MPa): zdroj ventilátor
- středotlaká (přetlak 0,02 – 0,1 MPa): zdroj dmychadlo
- vysokotlaká (přetlak větší než 0,1 MPa): zdroj kompresor

Jedná se o orientační rozdělení a nelze brát jako jednoznačné. Hranice se mohou překrývat. Pokud chceme dopravovat z jednoho zdroje do více koncových míst, je přetlaková doprava výhodná.



Obr. 4.4 pneumatická přetlaková doprava

4.3 PNEUMATICKÁ KOMBINOVANÁ DOPRAVA

Tento způsob využívá výhod podtlakové dopravy (snadný vstup materiálu) a přetlakové dopravy (velká dopravní kapacita). Dopravovaný materiál prochází zdrojem tlaku (ventilátor), což je někdy nepřipustné z důvodu bezpečnosti a jiných důvodů.

4.4 VÝHODY PNEUMATICKÉ DOPRAVY

- 1) Dobrá možnost přizpůsobit potrubní trasu profilu terénu.
- 2) Svislou i vodorovnou dopravu lze realizovat pomocí jednoho zařízení
- 3) Zařízení je kompaktní
- 4) V potrubí se nachází minimum pohyblivých částí (dobrá provozní spolehlivost)
- 5) Hygienická doprava, pokud je potrubí dokonale těsné, odpadají problémy s prašností, jedovaté plyny a jiné nebezpečné látky neunikají z potrubí.
- 6) Látky lze během dopravy chladit, okysličovat, sušit, mohou probíhat chemické reakce
- 7) Ekonomická doprava a náklady na pořízení nejsou vysoké

4.5 NEVÝHODY PNEUMATICKÉ DOPRAVY

- 1) Malá možnost změny dopravovaného média (jednouúčelová zařízení)
- 2) Ve srovnání s jinými druhy dopravy vyšší měrná spotřeba energie
- 3) Nebezpečí porušení částic materiálu při větších dopravních rychlostech (zvláště v obloucích)

5 VYPRAZDŇOVÁNÍ ZÁSOBNÍKU

5.1 VELIKOST VÝPUSTNÉHO OTVORU

Velikost výpustné plochy musí být v určitém doporučeném poměru k velikosti průměrného zrna, aby byl výtok materiálu z výpustného otvoru plynulý (zvláště u hrubozrnných materiálů). Z praxe bylo vyzorováno, že minimální plocha čtvercového otvoru musí být:

$$S = 25 \cdot d^2 \quad [\text{m}^2] \quad (5.1)$$

Zrna mohou mít však značně rozdílný a nepravidelný tvar, proto byl zaveden součinitel bezpečnosti, který závisí na tvaru zrn. Potom platí:

$$S = 25 \cdot k \cdot d^2 \quad [\text{m}^2] \quad (5.2)$$

Pro kruhový otvor potom platí:

$$S = 0,85 \cdot 25 \cdot k \cdot d^2 \quad [\text{m}^2] \quad (5.3)$$

Kde:

k ... součinitel bezpečnosti	$k = 1,4$
d ... ekvivalentní průměr zrna	[m]

Závislost mezi velikostí plochy výpustného otvoru a velikostí ekvivalentního průměru zrna lze vyjádřit vztahem, kde se vyskytuje klidový (statický) přirozený sypný úhel materiálu:

$$a = k_e \cdot (d + 80) \cdot \text{tg} \varphi_k \quad [\text{m}] \quad (5.4)$$

kde:

a ... rozměr strany čtvercového výpustného otvoru	[mm]
d ... ekvivalentní průměr zrna	[mm]
φ_k ... klidový (statický) přirozený sypný úhel materiálu	
k_e ... empirický součinitel	$k_e = 2,4$

Tento vztah lze použít pro materiál se součinitelem vnitřního tření $\varphi = 30^\circ - 50^\circ$ a s velikostí zrna o 300 mm.

5.2 RYCHLOST VÝTOKU MATERIÁLU

Pro správné navržení dopravního zařízení pro odvod materiálu ze zásobníku musíme znát rychlost výtoku materiálu resp. dobu výtoku materiálu. Pohyb zrn se značně liší od pohybu kapaliny. Pro kapaliny platí, že jejich teoretické rychlost výtoku se spočítá dle Toricelliho vztahu:

$$v_{výř} = \sqrt{2gh} = \frac{4V'}{\pi D_o^2} \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (5.5)$$

kde:

h ... výška hladiny [m]

V' ... objemový průtok kapaliny $= \frac{Q'}{\rho}$ [m³s⁻¹]

Q ... hmotnostní průtok [kg]

ρ ... hustota kapaliny [kg/m³]

D_o ... průměr kruhového otvoru [m]

Z rovnice výše lze odvodit bezrozměrné kritérium:

$$\frac{Q}{\rho' \cdot D_o^2 \cdot \sqrt{2gh}} = konst. \quad (5.6)$$

Z odvozených vztahů, že rychlost výtoku kapaliny otvorem závisí na hydrostatickém tlaku, kterého charakterizuje výška hladiny a je proměnný s časem.

Při vyprazdňování zásobníků se sypkým materiálem nastane odlišná situace. Hnací silou bude opět gravitační síla. Z průběhu vertikálního tlaku v zásobníku víme, že od určité výšky se jeho hodnota bude měnit jen minimálně, v limitním případě pro velké hloubky se blíží konstantní hodnotě. To ovlivní i rychlost ve výtokovém otvoru. Významná veličina je zde také velikost částic. Přesné matematické řešení je kvůli nahodilému uspořádání obtížné, tudíž je výhodné využít rozměrovou analýzu k získání kvalitativního řešení, které je možno doplnit experimenty. Hledáme vztah mezi proměnnými dle rovnice:

$$f(D_o, d, \rho', g, Q') \quad (5.7)$$

kde:

D_o ... průměr kruhového otvoru [m]

d ... ekvivalentní průměr zrna	[m]
ρ' ... objemová hmotnost materiálu	[kg/m ³]
g ... gravitační zrychlení	[m/s ²]
Q' ... hmotnostní tok materiálu	[kg/s]

Pro stanovení výtokové rychlosti lze také použít empirických vztahů:

$$v_{výt} = \sqrt{\frac{g \cdot R_H}{f}} \quad [\text{m/s}] \quad (5.8)$$

kde:

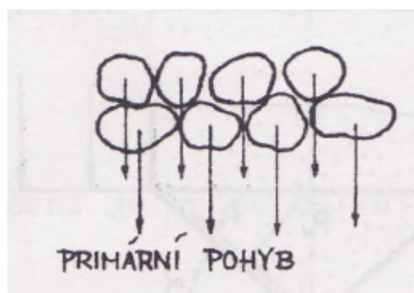
R_H ... hydraulický poloměr	[m]
f ... součinitel vnitřního tření materiálu	[-]
g ... gravitační zrychlení	[m/s ²]

6 TOK MATERIÁLU V ZÁSOBNÍCÍCH

V prostoru zásobníku nebo v jeho výpusti mohou množiny částic konat současný pohyb:

PRIMÁRNÍ SOUČASNÝ POHYB

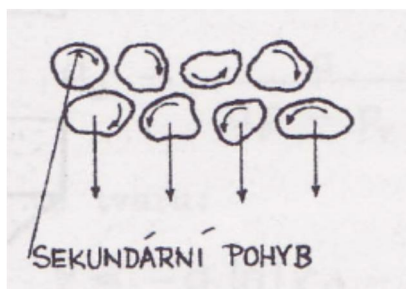
Vlivem gravitace jednotlivá zrna postupují směrem k výpustnému otvoru a jednotlivá zrna nemají vlastní autonomii pohybu. Dochází ke zkyplení materiálu, což má za následek zvětšení mezerovitosti a také lepší tekutosti materiálu.



Obr. 6.1 Primární pohyb materiálu [2]

SEKUNDÁRNÍ SOUČASNÝ POHYB

Když konají částice primární pohyb, mají také navíc i vlastní autonomii pohybu (otáčejí se, překlápí atd.) a zároveň zrna, která jsou vedle sebe, konají jiné sekundární pohyby, ale vzájemně se ovlivňují. Tímto dochází ke zhutňování materiálu ve vodorovném směru. Sekundární pohyb tedy může vést ke zvětšení i ke zmenšení mezerovitosti.



Obr. 6.2 Sekundární pohyb materiálu [2]

Primární pohyb konají především zrna sypkého, kusovitého materiálu. Sekundární pohyb materiálu navíc umožňuje plynulý tok materiálu, zejména v oblasti výsypky. Zde totiž dochází k velkému snížení průtoku. Vlivem vlhkosti, lepivosti povrchu apod. mohou částice ztratit schopnost sekundárního pohybu. Důsledkem se může tok materiálu v zásobníku zastavit a vznikne vzpěrná klenba.

6.1 POMOCNÁ ZAŘÍZENÍ POMÁHAJÍCÍ TOKU MATERIÁLU

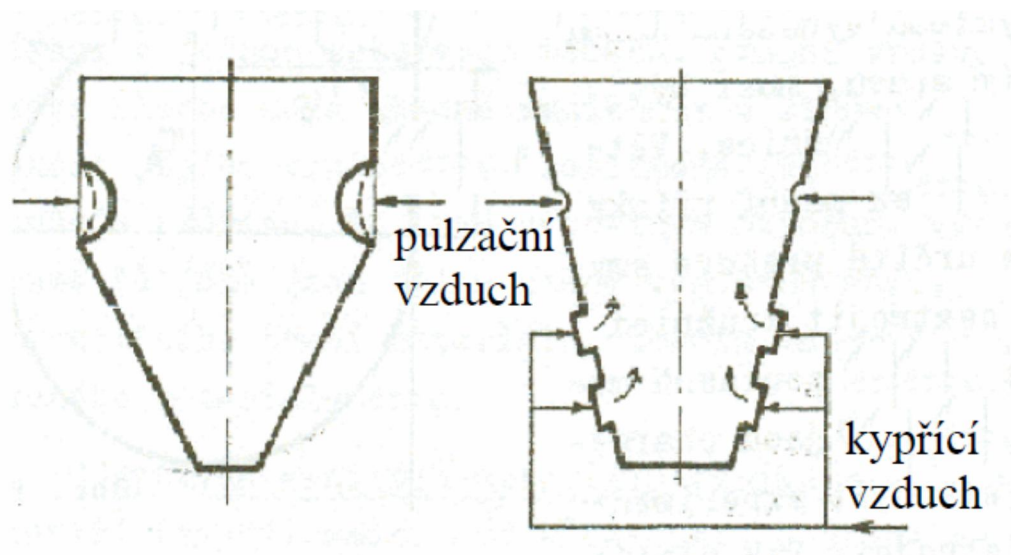
U špatně navržených zásobníků lze dodatečně instalovat pomocná zařízení, díky kterým má být zajištěn plynulý tok materiálu v zásobníku. Tato zařízení se rozdělují na aktivní a pasivní prvky.

6.1.1 AKTIVNÍ PRVKY

Prvky, které přinášejí do zásobníku energii zvenčí, nazýváme aktivní prvky. Tímto přivedením energie do zásobníku je zvýšeno využití potenciální energie k přeměně na kinetickou energii potřebnou pro tok materiálu. Energie je přiváděna do míst v zásobníku, kde je materiálový tok problematický.

PNEUMATICKÉ PRVKY

U pneumatické dopravy může přiváděný vzduch zfluidizovat celou vrstvu materiálu. Charakter materiálu je tím podstatně změněn, protože fluidní vrstva má vlastnosti kapaliny, čímž se tedy může podstatně zvýšit tlak a může dojít k porušení pláště zásobníku. Proto je velmi vhodné použití pneumatických polštářů k rušení kleneb, protože přiváděný vzduch nezpůsobuje fluidizaci materiálu.

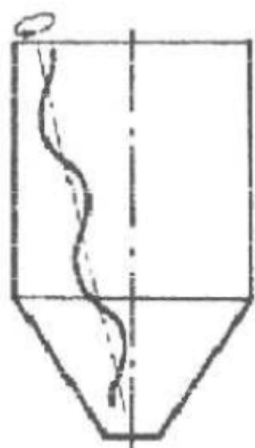


Obr. 6.3 Příklady pneumatických prvků [1]

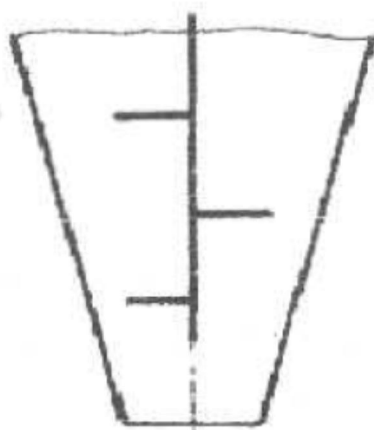
MECHANICKÉ PRVKY

Mezi mechanické prvky patří:

- a) Šnekový nůž: velmi účinné zařízení. Šnek, který prochází šikmo celým zásobníkem je vhodný pro materiály náchylné ke zkypřování.
- b) Otočná vestavba: nevhodný pro materiály náchylné na zkypřování, při použití vestavby nesmí být zásobník plněn na plnou kapacitu, protože zkypřený materiál zvětšuje svůj objem



Obr. 6.4 Šnekový nůž [1]

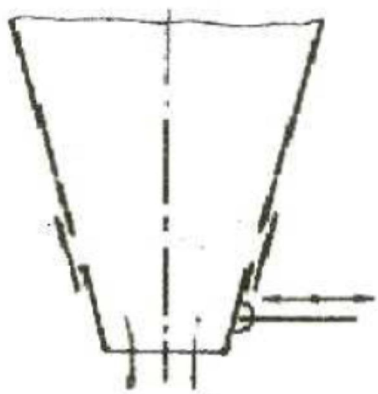


Obr. 6.5 otočná vestavba [1]

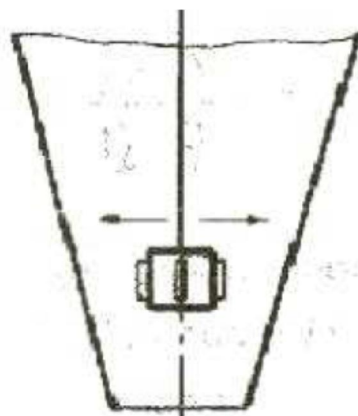
VIBRAČNÍ PRVKY

Vibrační zařízení nejsou vhodné vzhledem ke zvýšení hlučnosti při provozu a také z hlediska namáhání zařízení. Mezi vibrační prvky patří:

- a) vibrační výsypka
- b) závěsný vibrátor



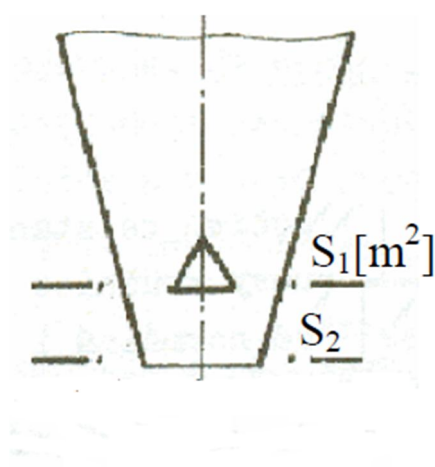
Obr. 6.6 Vibrační výsypka [1]



Obr. 6.7 Závěsný vibrátor [1]

6.2 PASIVNÍ PRVKY

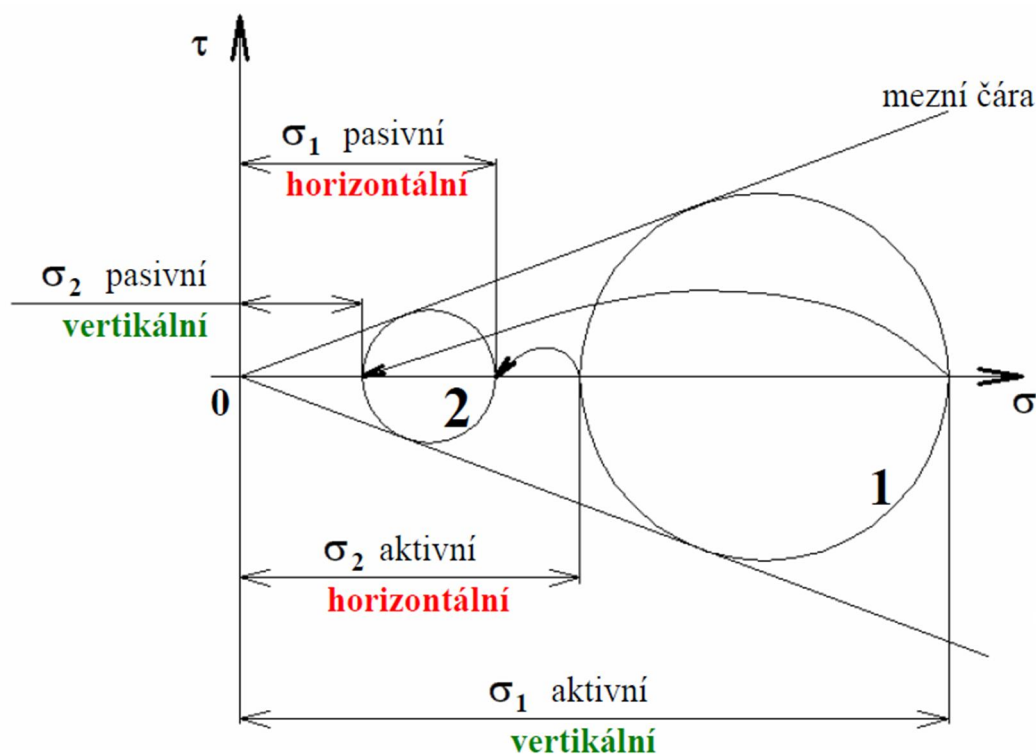
Prvky ovlivňující potenciální energii za účelem plynulosti a bezpečnosti toku materiálu. Tok materiálu je usměrňován a pohlcován díky jejich tvaru. Geometrie a umístění těchto prvků v zásobníku značně ovlivňuje jejich působení. Bezpečného hmotového toku můžeme dosáhnout i v zásobnících, které mají sklon výsypky nižší než je potřebný sklon pro hmotový tok. Tyto prvky umožňují u rekonstrukce zásobníku zvětšit sklon výsypky. Pasivní prvky také zachytávají část vertikálních tlaků a tím mění rozložení tlaků v zásobníku. Dojde totiž ke zvýšení horizontálních tlaků.



Obr. 6.8 Rozrážecí kužel [1]

7 TLAKOVÉ POMĚRY PŘI VYPRAZDŇOVÁNÍ ZÁSOBNÍKU

Hlubinné zásobníky byly dříve navrhovány dle Janssenových rovnic pro statické tlaky. Některé zásobníky havarovaly a následná měření ukázaly, že tlaky na stěny se při vyprazdňování výrazně zvyšují (na dvoj až trojnásobek). Byla dokázána i jejich pulzace a vznikají velmi silné tlakové rázy. Při otevření výsypného otvoru zásobníku se původní aktivní stav napjatosti (Mohrova kružnice 1) změní na pasivní stav napjatosti (Mohrova kružnice 2).



Obr. 7.1 přechod z aktivního na pasivní stav napjatosti [1]

Jestliže mění se Mohrova kružnice ze stavu 1 do stavu 2 při otevření výpustného otvoru neprotne při této změně mezní čáru, vznikne klenba. Aktivní stav při plnění, nebo při naplněném zásobníku i pasivní stav při vyprazdňování zásobníku vytvářejí vždy určitou oblast okolo osy zásobníku.

Pokud je zásobník po určitou dobu naplněn, zrna partikulární látky „sesednou“, zaklíní se, vytvoří se určitá vlhkost a mezní čáry (přímkové, nebo křivkové obalové čáry všech mezních Mohrových kružnic) se vzdalují od osy σ , přestávají procházet počátkem 0.

Na hranicích, v přechodových oblastech mezi aktivními a pasivními stavy napjatosti působí velmi malé napětí σ_2 pasivní na stejné - vertikální nositelce s velmi velkým napětím σ_1 aktivním.

Zmenšováním /zvětšováním oblasti aktivního stavu napjatosti vznikne přetlaková /podtlaková napěťová vlna ve směru horizontálním, tedy ve směru σ_2 aktivní a σ_1 pasivní, tato horizontální tlaková vlna namáhá stěny zásobníků.

Při vyprazdňování zásobníku vzniká přetlaková vlna a může zvětšit ($2 \div 3,5$) σ_2 aktivní horizontální napětí. Tím se nebezpečně zvýší namáhání stěn zásobníků oproti vypočteným hodnotám.

Při plnění zásobníku vzniká podtlaková vlna a může zmenšit ($0,5 \div 0,7$) σ_1 pasivní horizontální napětí. [1]

Pro aktivní stav napjatosti platí součinitel bočního napětí:

$$k_0 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad [-] \quad (7.1)$$

Pro pasivní stav napjatosti platí součinitel bočního napětí:

$$k_0 = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad [-] \quad (7.2)$$

8 VZPĚRNÁ KLENBA

Vznik vzpěrné klenby je jeden z nepříznivých vlivů, který se projevuje u hlubinných zásobníků. Jejich odstranění bývá obtížné a nebezpečné a mohou být tvarově velmi složité. Může docházet k jejich samovolnému uvolnění a tím následnému zahlcení zařízení pod zásobníkem. Vznik vzpěrné klenby je jeden z důvodů přerušení vytékání materiálu při vyprazdňování.

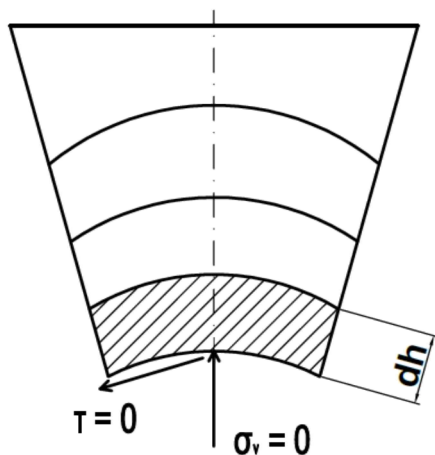
Klenby mohou vznikat při skladování kusových materiálů i sypkých materiálů. V případě kusových materiálů je předpoklad, že dochází k vzájemnému opírání jednotlivých kusů mezi sebou v jednom nebo více bodech a krajní hrany se opírají o stěny zásobníku. Největší pravděpodobnost vzniku vzpěrné klenby je v oblasti nad výpustným otvorem, vzniknout však může i v libovolné jiné části zásobníku. Vznik vzpěrné klenby ovlivňuje mnoho parametrů. Jsou to například délka stěny výsypky a její sklon, úhel vnitřního tření materiálu, tření materiálu o stěnu zásobníku, pevnost skladovaného materiálu a tlak působící shora.

U sypkých materiálů vznikne klenba, jestliže původně nesoudržný materiál vlivem vlhkosti, chemické reakce nebo zrání materiálu změní svoje vlastnosti a stane se z něj materiál soudržný. Zvětšení vlhkosti materiálu v závislosti na čase je nejčastější případ. Při určité vlhkosti materiálu se na částicích vytvoří tenká vrstva kapaliny a ta váže částice mezi sebou tahem povrchového napětí. Tím vzniká nepravá soudržnost.

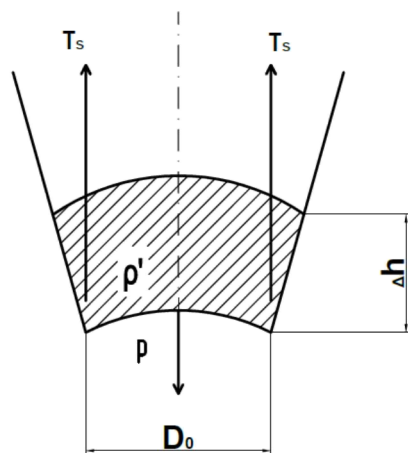
Při vyprazdňování materiálu začne v nejbližší navazující vrstvě klesat hlavní napětí $\sigma_1 = \sigma_v$ a ve chvíli, kdy se vyrovnají hlavní napětí $\sigma_1 = \sigma_2$, přechází aktivní stav napjatosti na pasivní stav, při kterém se výrazně zvýší horizontální napětí. Tento jev může vést k novému uspořádání, zaklínění částic nebo dokonce k plastickým deformacím částic.

Podmínkou vzniku klenby: $\sigma_1 = \sigma_v = 0$

Hmotnost sypkého materiálu, který tvoří klenbu, se přenesse na stěny výsypky a do spodních vrstev pod klenbu není přenášena žádná síla. Jestliže pro řešení zavedeme tento předpoklad, lze klenbu o určité výšce virtuálně rozdělit do tří vrstev a každá přenáší vlastní hmotnost dle předpokladu pouze do stěn výsypky. Na spodní vrstvu potom nepůsobí žádná vertikální síla z horní klenby. [2]



Obr. 8.1 Princip klenby



Obr. 8.2 Smyková napětí v klenbě

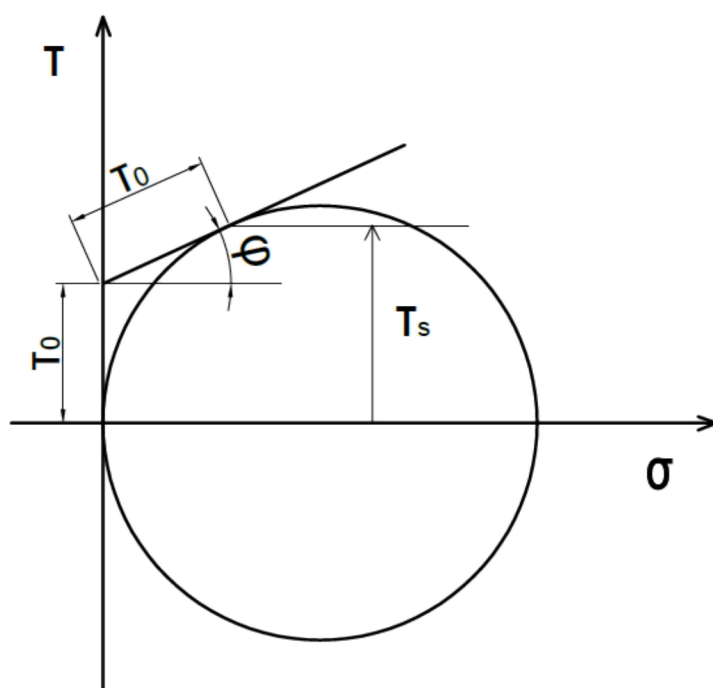
Dle obr. 7.2 lze sestavit silovou rovnováhu:

$$\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot \Delta h \cdot \rho' \cdot g = \pi \cdot D_0 \cdot \Delta h \cdot \tau_s \quad (8.1)$$

Z rovnice (8.1) odvodíme:

$$D_0 = \frac{4 \cdot \tau_s}{\rho' \cdot g} \quad (8.2)$$

Stanovení hodnoty smykového napětí způsobuje problém. Pro řešení lze použít Mohrovu kružnici stavů napjatosti. Normálová a smyková napětí jsou nulová v celé spodní části klenby. Dále musí jeden bod Mohrovy kružnice ležet na počátku souřadného systém. Mezní přímka tohoto systému musí být tečnou Mohrovy kružnice, jestliže je materiál v mezním stavu. Jedná-li se o soudržný materiál, přímka neprochází počátkem souřadné soustavy.



Obr. 8.3 Mohrova kružnice pro stanovení smykového napětí

Problém tedy spočívá v tom, jak sestrojít kružnici, aby mezní přímka byla její tečnou a zároveň kružnice procházela počátkem souřadné soustavy.

Platí:

$$\tau_s = \tau_0 + \tau_0 \sin \varphi = \tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi) \quad (8.3)$$

Pro průměr výpustného otvoru, při kterém nevzniká klenba platí:

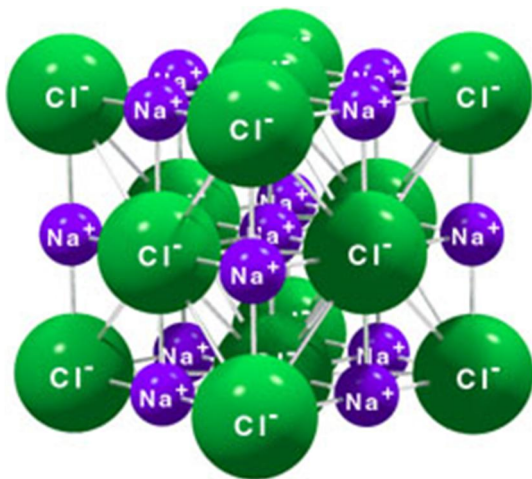
$$D_0 \geq \frac{4 \cdot \tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi)}{\rho' \cdot g} \quad (8.4)$$

Hodnoty τ_0 a φ je nutno stanovit experimentálně (pomocí smykového přístroje).

Vztah (8.4) platí v případě, že materiál v klenbě je v mezním stavu. Existují tedy i smykové plochy, kde by došlo k prokluzu materiálu. Na těchto plochách působí smykové napětí s větší hodnotou, která je velmi blízká maximu dané Mohrovou kružnicí. Můžeme tedy nahradit hodnotu smykového napětí hodnotou hlavního normálového napětí a nedopustíme se příliš velké chyby.

9 SŮL

Chlorid sodný je chemická sloučenina sodíku a chlóru. Vyskytuje se v přírodě jako minerál halit, nebo je součástí vody solných jezer a moří. Je vyráběn v mnoha rozdílných podobách a formách, podle způsobu získávání a následného využití. Mohou to být samostatné krystaly větší či menší velikosti, velmi jemné krystalky, jemný prášek, nebo sůl slisovaná do pevných tablet či bloků. [8]



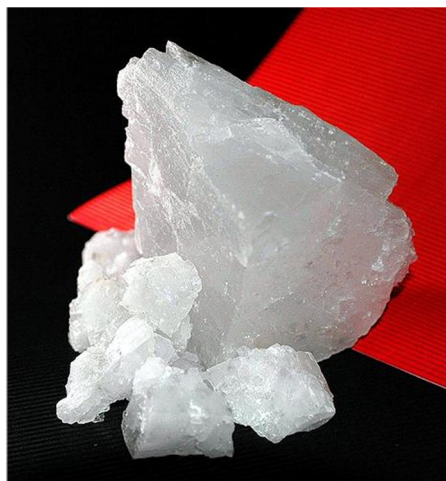
Obr. 9.1 Chlorid sodný [9]

Dle způsobu, jakým se sůl získává, se dělí:

9.1 KAMENNÁ SŮL

Je to nejčastější minerál solných ložisek. Byla prvním nezbytným nerostem pro člověka již v pravěku. Přesné chemické složení kamenné soli stanovil však teprve v roce 1810 anglický chemik a fyzik H. Davy. [8]

Sůl kamenná je chlorid sodný NaCl s obsahem téměř 40 % sodíku a 60 % chlóru, často s příměsí chloridů vápenatého a hořečnatého. Vyskytuje se nejčastěji zrnitá nebo vláknitá, v dutinách však nacházíme také krásné krychle dosahující i značných rozměrů s dokonalou štěpností podle krychlových ploch a se silným skelným leskem. [8]



Obr. 9.2 Kamenná sůl [8]

Kamenná sůl je čirá, bezbarvá (v čisté formě), nebo je zbarvena šedě jílem, červeně krevelem, hnědě živičnými látkami, modře kovovým sodíkem (změnami v krystalové mřížce). Vyznačuje se dokonalou rozpustností ve vodě. Sůl je možno rozeznat od jiných minerálů podle čistě slané chuti. Plamen barví žlutě (sodíkem), tvrdost je 2. Krystaluje v krychlové soustavě. [8]

Kamennou sůl musíme skladovat ve velice dobře utěsněných zásobnících vzhledem k její vysoké nasákavosti. [8]

Příznačný je tvar většiny solných ložisek. Ložiska tvoří tzv. dómy nebo pně, prorážející okolními vrstvami někdy i nad zemský povrch. Tento zvláštní tvar solných ložisek se vysvětluje extrémní plasticitou solí, která umožnila vytlačení původně vodorovně uložených solných vrstev působením rozličných vlivů, ponejvíce horotvorných, do nadloží, přičemž se tyto vrstvy deformovaly většinou beze zlomů do útvarů, vysokých několik set až přes tisíc metrů. [8]



Obr. 9.3 Solné ložisko [8]

V pevném stavu je sůl získávána převážně hornickým způsobem. Vzácněji se těží kamenná sůl povrchově v lomech. V dolech se obvykle používá komorového porubu. K odkrytí ložiska se vyhloubí šachta, z ní se razí chodby a sůl se pak postupně těží z tzv. komor (20 m široké, 20 m vysoké a víc než 100 m dlouhé prostory). Vytěžená sůl má krystaly různé velikosti, od prachových částic až po velká zrna. Sůl se poté dále upravuje prostřednictvím mletí, prosévání a čištění. [8]

9.2 MOŘSKÁ SŮL

Nejstarším způsobem získávání soli je odpařováním mořské vody. Mořskou vodou se naplní mělké nádrže a za působení slunečního záření a proudění vzduchu se voda vypařuje. Barva soli je po odpaření vody mírně našedlá, pokud projde procesem rafinace (technologický postup, kterým se čistí vstupní surovina) je sůl čistě bílá. [10]

Mořská sůl přirozeně obsahuje jod, jehož množství se odvíjí od konkrétního místa naleziště. Přirozený obsah soli (uvádí se 0,5 až 5 mg jodu/kg) ale není považován za dostatečný, proto se zpravidla i mořská sůl obohacuje jodem. Podle zákona musí mít sůl označená jako „sůl s jodem“ koncentraci 27 mg jodu/kg soli. [10]

Největšími nalezišti soli jsou moře. Průměrný obsah solí (myšleno všechny látky, rozpuštěné v mořské vodě) je 3,5 % (35 g na 1000 g vody). [8]



Obr. 9.4 Mořská sůl [8]

9.3 VAKUOVANÁ SŮL

Vakuovaná sůl vzniká ze solného roztoku zvaného solanka. Do podzemního ložiska soli je vháněna voda, která rozpustí sůl na solanku, po odpaření vody a krystalizaci vznikne velmi čistá jedlá sůl. Její výhodou je, že tak snadno nenavlhne jako mletá kamenná sůl. Nevýhodou zase, že se pomaleji rozpouští a je proto snazší s ní pokrm přesolit. [10]

9.4 HIMALÁJSKÁ SŮL

Je získávána z panenské přírody himalájských hor. Má typickou oranžové až růžové zbarvení, které je způsobeno oxidem železitým. [10]

9.5 BAMBUSOVÁ KOREJSKÁ SŮL

Tato sůl se peče v dutině bambusu ucpané žlutým jílem. Z bambusu a jílu sůl absorbuje různé minerály. Jíl zároveň absorbuje nečistoty soli. [10]

9.6 ČERNÁ SŮL

V Indii je tato nerafinovaná vulkanická sůl nazývaná *kala namak* nebo *sanchal*. Má velmi silnou příchut' síry. Na indických trzích se prodává v kusech nebo i mletá. [10]

10 VÝPOČET ZÁSOBNÍKU

ZADANÉ HODNOTY

Skladovaný materiál: mletá kamenná sůl

Skladovaný objem v zásobníku: $V = 85\text{m}^3$

Měrný objem mleté kamenné soli: $\rho = 1200\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Součinitel vnitřního tření mleté kamenné soli: $f = 0,35$

10.1 VÝPOČET HLAVNÍCH ROZMĚRŮ

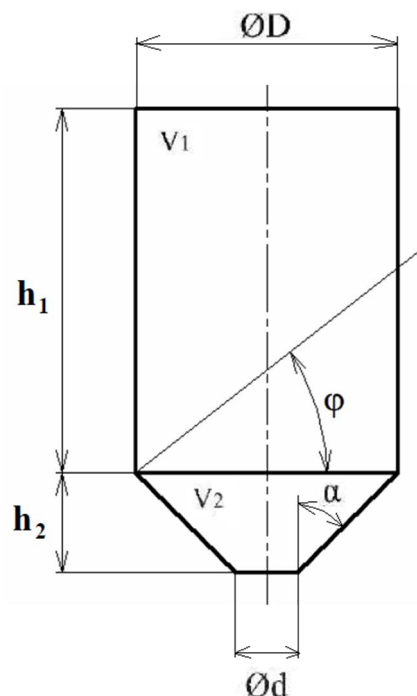
$$\text{ØD} = 3,5\text{m}$$

$$\text{Ød} = 0,2\text{m}$$

$$h_2 = 3,24\text{m}$$

$$h_1 = 8\text{m}$$

$$\alpha = 27^\circ$$



Obr. 10.1 Hlavní rozměry zásobníku

10.1.1 VÝPOČET ÚHLU VNITŘNÍHO TŘENÍ

$$f = \tan \varphi \quad (10.1)$$

$$\varphi = \arctg f = \arctg 0,35 = 19,29^\circ$$

$$\varphi = 19,29^\circ$$

kde:

f ... součinitel vnitřního tření mleté kamenné soli – dle zadání [-]

10.1.2 VÝPOČET ÚHLU SKLONU KUŽELOVÉ VÝSYPKY

Správné navržení úhlu sklonu má velký vliv na správné fungování zásobníku.

Doporučený úhel sklonu stěny je:

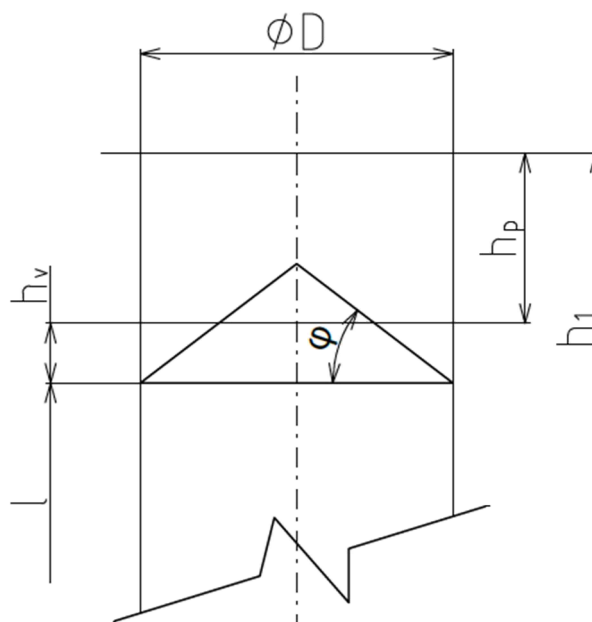
$$\alpha = \varphi + (5 \div 10)^\circ = 19,29^\circ + (5 \div 10)^\circ = 24,29^\circ \div 29,29^\circ \quad (10.2)$$

Volím: $\alpha = 27^\circ$

10.1.3 VÝPOČET VÝŠKY HLAVNÍ KOMORY ZÁSOBNÍKU

VÝŠKA SYPNÉHO KUŽELE

Jestliže je do zásobníku materiál nasypán volně, vytvoří se sypný kužel, který zvýší hladinu náplně. Objem kužele lze nahradit objemem válce o výšce h_v .



Obr. 10.2 Sypný kužel

$$h_v = \frac{1}{3} \cdot \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{3} \cdot \frac{3,5}{2} \cdot \operatorname{tg} 19,29^\circ = 0,204m$$
$$h_v = 0,204m \quad (10.3)$$

kde:

D ... průměr komory zásobníku – navrhuji [m]

TEORETICKÁ VÝŠKA HLAVNÍ KOMORY

Teoretická výška hlavní komory je výška, při které bude dodržen zadaný skladovaný objem v zásobníku a není zde zohledněn sypný kužel.

$$l = 7,69\text{m}$$

KONSTRUKČNÍ REZERVA

$$h_r = 0,106\text{m}$$

VÝŠKA HLAVNÍ KOMORY

$$h_1 = h_v + l + h_r = 0,204 + 7,69 + 0,106 = 8\text{m} \quad (10.4)$$

$$h_1 = 8\text{m}$$

kde:

h_v ... výška sypného kužele [m]

l ... teoretická výška hlavní komory [m]

h_r ... konstrukční rezerva [m]

10.1.4 VÝPOČET VÝŠKY VÝSYPKY ZÁSOBNÍKU

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{h_2} \Rightarrow h_2 = \frac{D-d}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{3,5-0,2}{\operatorname{tg} 27} = 3,24\text{m} \quad (10.5)$$

$$h_2 = 3,24\text{m}$$

kde:

D ... průměr komory zásobníku [m]

d ... průměr výpustného otvoru [m]

α ... úhel sklonu výsypky [m]

10.2 OBJEM ZÁSOBNÍKU

10.2.1 VÝPOČET OBJEMU HLAVNÍ KOMORY

$$V_1 = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h_1 = \pi \cdot \frac{3,5^2}{4} \cdot 8 = 76,97m^3 \quad (10.6)$$

$$V_1 = 76,97m^3$$

kde:

h_1 ... výška hlavní komory [m]

10.2.2 VÝPOČET OBJEMU VÝSYPKY

$$V_2 = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot h_2 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot 3,24 \cdot (3,5^2 + 3,5 \cdot 0,2 + 0,2^2) = 11,01m^3 \quad (10.7)$$

$$V_2 = 11,01m^3$$

kde:

h_2 ... výška kuželové výsypky [m]

10.2.3 VÝPOČET CELKOVÉHO OBJEMU ZÁSOBNÍKU

$$V_0 = V_1 + V_2 = 76,97 + 11,01 = 87,98m^3 \quad (10.8)$$

$$V_0 = 87,98m^3$$

kde:

V_1 ... objem hlavní komory zásobníků [m³]

V_2 ... objem výsypky

10.3 HYDRAULICKÝ POLOMĚR

PŘÍČNÝ PRŮŘEZ HLAVNÍ KOMORY

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3,5^2}{4} = 9,62m^2 \quad (10.9)$$

$$A = 9,62m^2$$

VNITŘNÍ OBVOD HLAVNÍ KOMORY

$$O = \pi \cdot D = \pi \cdot 3,5 = 11\text{m} \quad (10.10)$$

$$O = 11\text{m}$$

HYDRAULICKÝ POLOMĚR

$$R_H = \frac{A}{O} = \frac{9,62}{11} = 0,875\text{m}$$
$$R_H = 0,875\text{m} \quad (10.11)$$

kde:

O ... vnitřní obvod hlavní komory [m]

A ... příčný průřez hlavní komory [m²]

10.4 VÝTOKOVÁ RYCHLOST

$$v_{\text{výř}} = \sqrt{\frac{g \cdot R_H}{f}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,875}{0,35}} = 4,95\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (10.12)$$

$$v_{\text{výř}} = 4,95\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

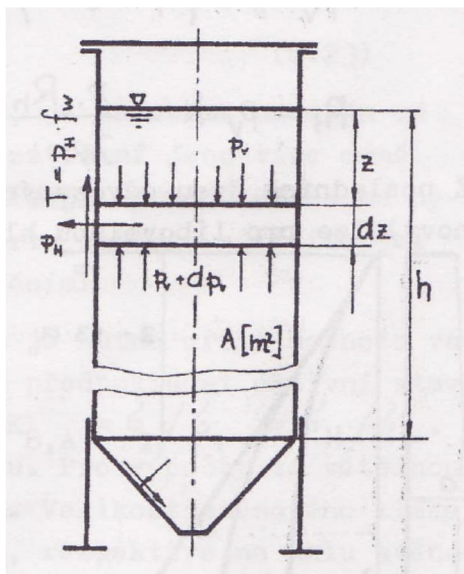
kde:

R_H ... hydraulický poloměr [m]

f ... součinitel vnitřního tření materiálu [-]

g ... gravitační zrychlení [m/s²]

10.5 TLAKOVÉ POMĚRY V HLUBOKÉM ZÁSOBNÍKU



Obr. 10.3 Tlakové poměry v hlubokém zásobníku [2]

kde:

A ... příčný průřez hlavní komory

O ... vnitřní obvod hlavní komory

f_w ... součinitel tření mezi materiálem a stěnou zásobníku

ρ ... sypná objemová hmotnost

γ ... objemová tíha náplně

g ... gravitační zrychlení

p_v ... vertikální tlak

p_h ... horizontální tlak

z ... vzdálenost od horního okraje

T ... třecí síla

Na element sypkého materiálu v hloubce budou působit tlakové, tíhové a třecí síly.

Pro další řešení zavedeme předpoklady:

- tlak v průřezu je rovnoměrně rozložen
- objemová tíha je v celém objemu konstantní
- součinitel bočního napětí (aktivního tlaku) je v celém objemu konstantní
- na stěně zásobníku je právě mezní stav napjatosti

Pro rovnováhu sil platí:

$$p_v \cdot A + A \cdot d_z \cdot \rho \cdot g = (p_v + dp_v) \cdot A + O \cdot d_z \cdot p_h \cdot f_w \quad (10.13)$$

Pro výše zavedené předpoklady platí:

$$p_h = k \cdot p_v = k \cdot z \cdot \rho \cdot g \quad (10.14)$$

Po dosazení a úpravě:

$$p_v + d_z \cdot \rho \cdot g = (p_v + dp_v) + k \cdot p_v \frac{O}{A} \cdot d_z \cdot f_w \quad (10.15)$$

Výraz $\frac{A}{O}$ nahradíme hydraulickým poloměrem R_H :

$$\frac{A}{f_w \cdot O \cdot k} = \frac{R_H}{f_w \cdot k} = a \quad (10.16)$$

Tvar diferenciální rovnice udávající závislost mezi vertikálním tlakem p_v a hloubkou z je:

$$p_v + \gamma \cdot d_z = p_v + dp_v + d_z \cdot \frac{p_v}{a} \quad (10.17)$$

Po separaci proměnných dostaneme:

$$d_z = \frac{a}{a \cdot \gamma - p_v} dp_v \quad (10.18)$$

Řešení rovnice bude ve tvaru:

$$z = -a \cdot \ln(\gamma \cdot a - p_v) + c \quad (10.19)$$

Stanovíme okrajové podmínky $z = 0$, $p_v = 0$ pro partikulární řešení:

$$z = -a \cdot \ln(\gamma \cdot a - p_v) + \ln \gamma \cdot a \quad (10.20)$$

Další úpravou dostaneme vztah pro vertikální tlak:

$$p_v = \gamma \cdot a \cdot (1 - e^{-\frac{z}{a}}) \quad (10.21)$$

VERTIKÁLNÍ TLAK

$$p_v = \gamma \cdot a \cdot (1 - e^{-\frac{z}{a}}) = \frac{\gamma \cdot R_H}{f_w \cdot k} \cdot (1 - e^{-\frac{-z \cdot f_w \cdot k}{R_H}}) \quad (10.22)$$

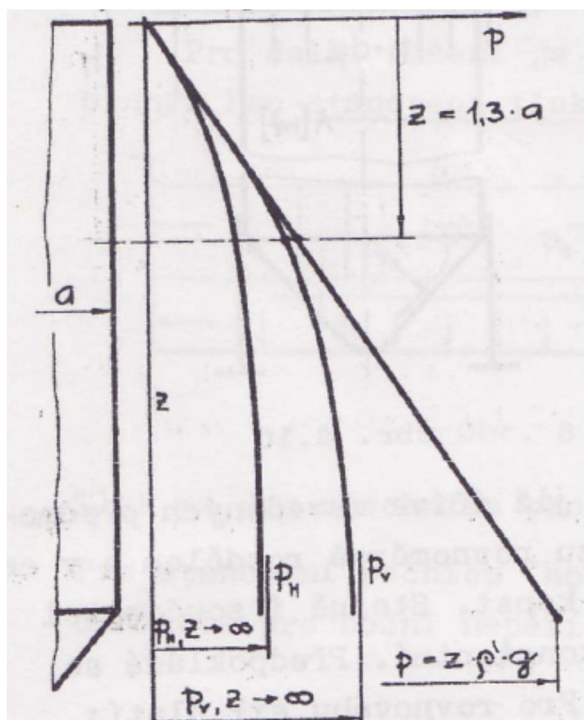
HORIZONTÁLNÍ TLAK

$$p_h = p_v \cdot k = \frac{\gamma \cdot R_H}{f_w} \cdot (1 - e^{-\frac{-z \cdot f_w \cdot k}{R_H}}) \quad (10.23)$$

Z odvozených rovnic pro tlaky lze pro libovolnou hloubku stanovit hodnoty tlaků. Snad lze stanovit, že pro $z \rightarrow \infty$ dosáhnou obě hodnoty tlaků svých limitních hodnot, pro které platí:

$$p_{v\infty} = \frac{\gamma \cdot R_H}{f_w \cdot k} = konst. \quad (10.24)$$

$$p_{h\infty} = \frac{\gamma \cdot R_H}{f_w} = konst. \quad (10.25)$$



Obr. 10.4 Průběh tlaků [2]

Hluboké zásobníky se navrhují pro limitní hodnoty tlaků.

SOUČINITEL AKTIVNÍHO TLAKU

$$k_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1 - \sin 19,29}{1 + \sin 19,29} = 0,503 \quad (10.26)$$

$$k_0 = 0,503$$

OBJEMOVÁ TÍHA NÁPLNĚ

$$\gamma = \rho \cdot g = 1200 \cdot 9,81 = 11772 \text{ Nm}^3 \quad (10.27)$$

$$\gamma = 11772 \text{ Nm}^3$$

kde:

g ... gravitační zrychlení $[\text{m/s}^2]$

ρ ... objemová hmotnost $[\text{kg/m}^3]$

10.5.1 VÝPOČET VERTIKÁLNÍHO TLAKU

$$p_v = \frac{\gamma \cdot R_H}{f_w \cdot k} \cdot \left(1 - e^{\frac{-z \cdot f_w \cdot k}{R_H}}\right) = \frac{11772 \cdot 0,875}{0,35 \cdot 0,503} \cdot \left(1 - e^{\frac{-8 \cdot 0,35 \cdot 0,503}{0,875}}\right) = 51081,69 \text{ Pa} \quad (10.28)$$

$$p_v = 51,1 \text{ kPa}$$

kde:

$z = h_1$... výška hlavní komory	[m]
R_H ... hydraulický poloměr	[m]
$f_w = f$... součinitel tření materiálu	[-]
ρ ... objemová hmotnost	[kg/m ³]
γ ... objemová tíha náplně	[Nm ³]
k ... součinitel aktivního tlaku	[-]

10.5.2 VÝPOČET HORIZONTÁLNÍHO TLAKU

$$\begin{aligned}p_h &= p_v \cdot k = 51081,69 \cdot 0,503 = 25694,09 \text{ Pa} \\p_h &= 25,7 \text{ kPa}\end{aligned}\tag{10.29}$$

kde:

p_v ... vertikální tlak	[Pa]
k ... součinitel aktivního tlaku	[-]

10.5.3 VÝPOČET TLAKŮ NA KUŽELOVÉ VÝSYPC

NORMÁLOVÝ TLAK

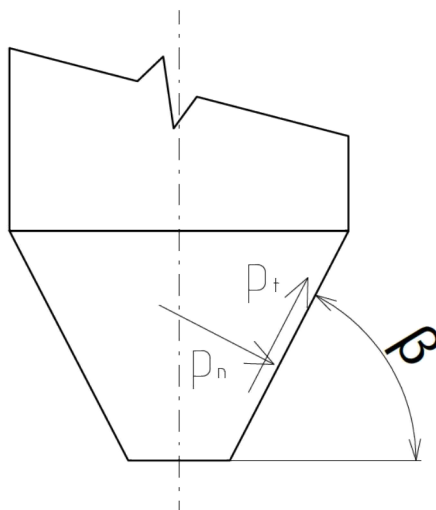
$$\begin{aligned}p_N &= \frac{p_h - p_v}{2} + \frac{p_v - p_h}{2} \cdot \cos 2\beta = \\&= \frac{25694,09 - 51081,69}{2} + \frac{51081,69 - 25694,09}{2} \cdot \cos 2 \cdot 63 = 30025,06 \text{ Pa} \\p_N &= 30 \text{ kPa}\end{aligned}\tag{10.30}$$

TEČNÝ TLAK

$$\begin{aligned}p_T &= \frac{p_h + p_v}{2} \cdot \sin 2\beta = \frac{25694,09 + 51081,69}{2} \cdot \sin 2 \cdot 63 = 31056,46 \text{ Pa} \\p_T &= 31,1 \text{ kPa}\end{aligned}\tag{10.31}$$

kde:

β ... úhel sklonu výsypky od horizontální roviny	[°]
p_v ... vertikální tlak	[Pa]
p_h ... horizontální tlak	[Pa]



Obr. 10.5 Působení tlaků ve výsypce

10.6 VÝPOČET SIL ZATĚŽUJÍCÍCH ZÁSOBNÍK

SÍLA OD HMOTNOSTI PLÁŠTĚ ZÁSOBNÍKU

$$F_{PL} = \pi \cdot (R_{PL}^2 - R^2) \cdot z \cdot \rho_{OC} \cdot g = \pi \cdot (1,755^2 - 1,75^2) \cdot 8 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 33918,49 N$$

$$F_{PL} = 33,9 kN$$
(10.32)

kde:

$z = h_1$... výška hlavní komory	[m]
R_{PL} ... vnější poloměr pláště komory	[m]
R ... poloměr komory	[m]
ρ_{OC} ... objemová hmotnost oceli	[kg/m ³]

SÍLA OD HMOTNOSTI NÁPLNĚ ZÁSOBNÍKU

$$F_{NAP} = \rho \cdot V \cdot g = 1200 \cdot 85 \cdot 9,81 = 1000620 N$$

$$F_{NAP} = 1000,6 kN$$
(10.33)

kde:

V ... objem skladovaného materiálu	[m ³]
ρ ... objemová hmotnost	[kg/m ³]

SÍLA OD PŮSOBENÍ VERTIKÁLNÍHO TLAKU

$$F_{PV} = p_v \cdot \pi \cdot R^2 = 51081,69 \cdot \pi \cdot 1,75^2 = 491463,45 N$$

$$F_{PV} = 491,5 kN$$
(10.34)

kde:

p_v ... vertikální tlak [Pa]

R ... poloměr komory [m]

VÝSLEDNÁ ZATĚŽUJÍCÍ SÍLA

$$F_z = F_{PL} + F_{NAP} + F_{PV} = 33918,49 + 1000620 + 491463,45 = 1526001,94 N$$

$$F_z = 1526 kN \quad (10.35)$$

kde:

F_{PL} ... síla od hmotnosti pláště zásobníku [N]

F_{NAP} ... síla od hmotnosti náplně zásobníku [N]

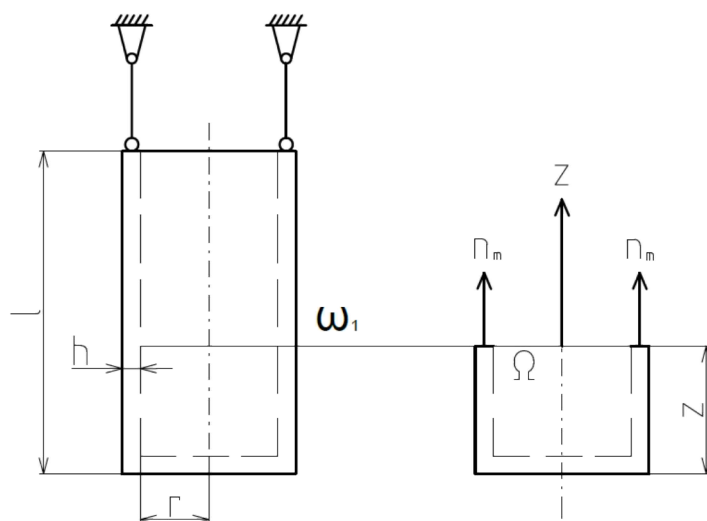
F_{PV} ... síla od působení vertikálního tlaku [N]

10.7 TLOUŠŤKA STĚNY ZÁSOBNÍKU - NÁVRH

Pro návrh tloušťky stěny považujeme zásobník za válcovou nádobu s uzavřeným dnem a v horní části je zavěšena na 8 místech (viz obr. 10.6). Výška „ l “ a poloměr „ R “ je mnohonásobně větší než tloušťka „ h “, tudíž lze zásobník považovat za tenkostěnnou válcovou skořepinu. Zatížení je rotačně symetrické, protože je zásobník zatížen vlastní tíhou a tíhou náplně.

Pro návrh tloušťky stěny vycházíme z Laplaceovy rovnice:

$$\frac{p_h(z)}{h} = \frac{\sigma_m(z)}{r_m(z)} + \frac{\sigma_t(z)}{r_t(z)} \quad (10.36)$$



Obr. 10.6 skořepina

Pro válcovou skořepinu platí $r_m = \infty$, v Laplaceově rovnici tudíž platí $\frac{\sigma_m}{r_m} = 0$ tuto rovnici lze přímo použít pro určení obvodového napětí. Meridiánové a obvodové napětí určité v obecném řezu ω_1 , kterým získáme prvek Ω .

OBVODOVÉ NAPĚTÍ

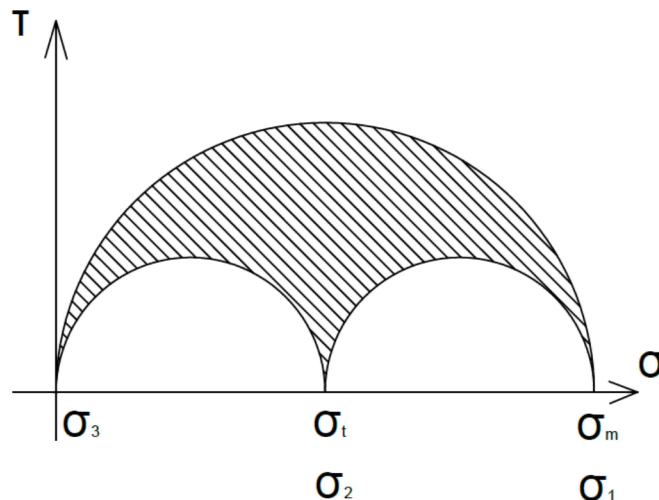
$$\sigma_t = p_h \cdot \frac{r_t}{h} \quad (10.37)$$

MERIDIÁNOVÉ NAPĚTÍ

Stanovíme podmínku rovnováhy sil prvku Ω .

$$\begin{aligned} \sum F_z &= 0 \\ 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta_m - F_z &= 0 \Rightarrow 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_m \cdot h - F_z \\ \sigma_m &= \frac{F_z}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h} \end{aligned} \quad (10.38)$$

Tíhou pláště, náplně a působícím tlakem na stěny zásobníku vzniká síla F_z . Tato síla působí ve směru pláště skořepiny a pláště náplně (osa z). Rovinná napjatost vzniká v dostatečné vzdálenosti ode dna a horního okraje.



Obr. 5.7 rovinná napjatost

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_m - \sigma_t \quad (10.39)$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_D \quad (10.40)$$

$$\sigma_D = \frac{\sigma_k}{k_k} \quad (10.41)$$

Dosazením rovnic (10.37) a (10.38) do rovnice (10.39) dostaneme vztah:

$$\sigma_{red} = \frac{F_z}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h} - p_h \cdot \frac{r_t}{h} \quad (10.42)$$

Upravením dostaneme:

$$\sigma_{red} = \frac{F_z - 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot p_h}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h} \quad (10.43)$$

Dosazením rovnic (10.41) a (10.42) do rovnice (1.40) dostaneme vztah:

$$\frac{\sigma_k}{k_k} = \frac{F_z - 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot p_h}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h} \quad (11.44)$$

Z této rovnice lze vyjádřit tloušťka stěny zásobníku

VÝPOČET TLOUŠŤKY STĚNY ZÁSOBNÍKŮ

$$\begin{aligned} h &\geq \frac{(F_z - 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot p_h) \cdot k_k}{\sigma_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot R} = \\ &= \frac{(1526001,94 - 2 \cdot \pi \cdot 1,75^2 \cdot 25694,09) \cdot 2}{345 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,75} = 5,44 \cdot 10^{-4} m \end{aligned} \quad (10.45)$$

$$h = 0,544 mm$$

kde:

F_z ... zatěžující síla	[N]
R ... poloměr komory	[m]
p_h ... horizontální tlak	[Pa]
σ_k ... dovolené napětí navrženého materiálu 11 373	[GPa]

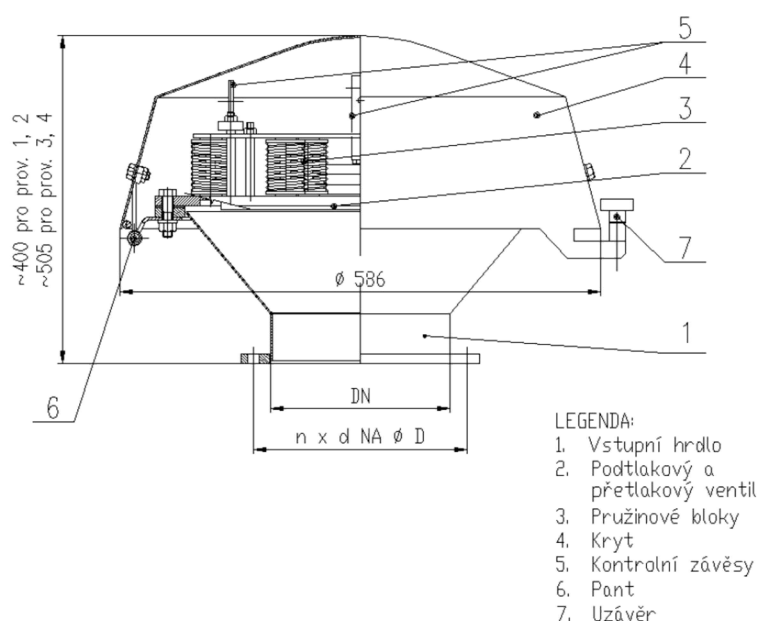
Tloušťku stěny zásobníku volím 5 mm z důvodu velkého zvýšení bezpečnosti při vzniku dynamických rázů během vyprazdňování. Větší tloušťka je také výhodnější kvůli abrazivnímu opotřebení stěn vlivem pohybu materiálu.

11 PŘÍSLUŠENSTVÍ ZÁSObNÍKU

Pro správnou funkci zásobníku je nezbytné jej vybavit vhodně zvoleným příslušenstvím.

11.1 ODLEHČOVACÍ ÚSTROJÍ

Odlehčovací ústrojí chrání koncový prvek zařízení pneumatické dopravy (konstrukce zásobníku) před nadměrným přetlakem nebo podtlakem vzduchu při pneumatickém plnění vyprazdňování jemným nebo práškovým materiálem. Propojuje jištěný prostor s okolním ovzduším při dosažení otevíracího přetlaku nebo podtlaku v zásobníku. Ventil je plně otevřen při dosažení jistícího tlakového spádu.



Obr. 11.1 odlehčovací ústrojí PU 310 [11]

ODLEHČOVACÍ ÚSTROJÍ VCP

Bezpečnostní tlakový ventil VCP je určen pro instalaci na střechy zásobníků, kde zajišťuje zachování požadovaného podtlaku či přetlaku v těchto nádobách. Konstrukce ventilu zamezuje poškození stěny sila nebo filtru při plnění nebo vyprazdňování zásobníku tím, že otevírá otvor, kterým se tlak vyrovná. [12]

V pojistném ventilu jsou 3 přetlakové pružiny a 1 podtlaková pružina. Tyto pružiny udržují víka v uzavřených polohách. Jakmile tlak překročí nastavenou hodnotu na pojistném ventilu, dojde k přetlačení pružin a otevření přetlakového víka a k úniku vzduchu do

atmosféry. Pokud se materiál odebírá ze sila, dojde k otevření podtlakového víka a přisávání vzduchu z vnějšího prostředí. [12]



Obr. 11.2 odlehčovací ústrojí VCP [12]

11.2 ŠOUPÁTKOVÉ KLAPKY

ŠOUPÁTKOVÉ KLAPKY VG

Šoupátkové klapky model VG jsou nedílnou součástí pro vyprazdňovací proces zásobníků obsahujících sypké materiály. Klapky mají velmi robustní konstrukci, která je předurčuje pro použití ve velmi těžkých aplikacích pro hrubozrnné materiály a granule. Pro klapku je volitelný ruční, pneumatický či elektromechanický pohon. [12]



Obr. 11.3 šoupátková klapka VG [12]

ŠOUPÁTKOVÉ KLAPKY VLC/VLQ/VLS

Klapky VL jsou určeny pro uzavírání toku sypkého materiálu. Jejich konstrukce ze strojní nebo nerezové oceli a čtvercovým či kruhovým otvorem umožňuje jejich instalaci k různým typům hrdel. Rám je částečně vyložený speciálním polymerovým kompozitem SINT, který zvyšuje odolnost proti abrazi oproti klasickým klapkám. [12]



Obr. 11.4 šoupátková klapka VL [12]

11.3 MOTÝLOVÉ KLAPKY

MOTÝLOVÉ KLAPKY VFP

VFP motýlové klapky se skládají ze dvou tlakově litých přírub z hliníkové slitiny, otočného disku vyrobeného z materiálu Sinter, technického polymeru, z nerezové oceli nebo z litiny, po obvodu je vloženo těsnění. VFP klapka může být použita pro jakýkoliv druh prášku nebo granulí, který je uložený v zásobnících.



Obr. 11.5 motýlová klapka VFP [13]

MOTÝLOVÉ KLAPKY POD SILA VFF

Motýlové klapky pro uzavírání toku materiálu z výsypného otvoru zásobníku se vyznačují robustní konstrukcí, jednoduchou a rychlou montáží a univerzálností pro montáž na různá hrdla sil. [12]

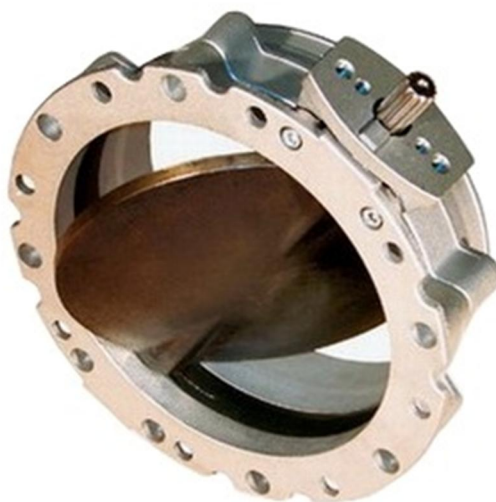


Obr. 11.6 motýlová klapka VFF [12]

DALŠÍ MOTÝLOVÉ KLAPKY



Obr. 11.7 dvouprůrubová klapka V2FS [12]



Obr. 11.8 motýlová klapka VIFS [12]

11.4 KULOVÝ UZÁVĚR VSS

Kulový uzávěr VSS je určen pro uzavírání toku sypkých materiálů ze zásobníků. Konstrukce těchto uzávěrů zabezpečuje volný tok materiálu při otevření ventilu a snadné otevření i při vysokém sloupci materiálu nad ventilem. K ventilu lze modulárně připojit ruční, elektromechanické či pneumatické ovládání. [12]



Obr. 11.9 kulový uzávěr VSS [12]

11.5 ROTAČNÍ SNÍMAČ HLADINY ILTA0

Rotační snímač hladiny ILTA0 byl navržený pro elektrickou signalizaci maximální nebo minimální hladiny v zásobníku pomocí rotace lopatky. Rotační snímač hladiny ILT se neotáčí, jakmile klesne hladina materiálu v zásobníku pod lopatku, začne se lopatka otáčet a tím sepne kontakt a aktivuje další komponenty systému. [12]

Snímače ILT se používají:

- pro snímání maximální a minimální hladiny zásobníku
- montáž snímače se provádí na stěnu sila nebo na strop
- pro snímač lze dokoupit prodloužení 500 mm a 1000 mm
- další příslušenství, kontrolka a dvojité lopatky pro velmi sypké materiály
- snímače hladiny se běžně používají pro sypnou hmotnost od 0,5 t/m³ do 2 t/m³



Obr. 11.10 rotační snímač hladiny ILTA0 [12]

ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem hlubokého zásobníku pro mletou kamennou sůl. Práce obsahuje popis aktivních a pasivních stavů napjatosti materiálu v zásobníku. Provedl jsem popis rozdělení zásobníků dle typů jejich konstrukce a dle typu materiálového toku v zásobnících. Provedl jsem návrh a výpočet hlavních rozměrů zásobníků a také pevnostní výpočet. Navržený zásobník je hluboký s válcovou kuželovou výsypkou, který bude plněn plnicím potrubím pneumaticky. Na zásobníku je namontováno pojistné ústrojí PU 310 proti tlakovým výkyvům. Dále jsem provedl popis možnosti vzniku vzpěrné klenby a popis prvků, které ji potlačují. Sestavný výkres a důležité detailní výkresy jsou nedílnou součástí práce.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MALÁŠEK, J.: Stroje pro výrobu stavebních materiálů a stavebních dílců. VUT FSI, 2005
- [2] MEDEK, J.: Mechanické pochody, PC-DIR Real s.r.o., Brno, 1998
- [3] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. 2. vyd. Úvaly, ALBRA, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [4] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F.: Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Druhé vydání. Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1
- [5] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., DVOŘÁČEK, J., PROKEŠ, F.: Základy konstruování, Druhé vydání. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.
- [6] NOVOSAD, J.: Mechanika sypkých hmot, VŠCHT Praha, 1983
- [7] ZEGZULKA J.: Vliv mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot na konstrukci dopravních, úpravnických a skladovacích zařízení. TU Ostrava, 1999.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [8] SOLNÉ MLÝNY [online], [25. 04. 2015], Dostupné z: <http://www.solnemlyny.cz/>
- [9] MOORECHEMISTRY [online], [25. 04 .2015], Dostupné z: <http://moorechemistry.weebly.com/>
- [10] MÉNĚ SOLIT [online],[25. 04. 2015], Dostupné z: <http://mene-solit.propagandista.cz/>
- [11] RAYMAN [online], [30. 04 .2015], Dostupné z: <http://www.rayman.cz/download/rk120638.pdf>
- [12] GAPA-SERVIS [online], [01. 05. 2015], Dostupné z: <http://www.gapa-servis.cz/>
- [13] HAS [online], [01. 05. 2012], Dostupné z: <http://www.has.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[m]	příčný průřez hlavní komory
a	[mm]	rozměr strany čtvercového výpustného otvoru
D	[m]	vnitřní průměr hlavní komory
D ₀	[m]	průměr kruhového otvoru
d	[m]	vnitřní průměr výpustného otvoru
D ₀	[m]	průměr kruhového otvoru
F _{NĀP}	[N]	síla od hmotnosti náplně zásobníku
F _{PL}	[N]	síla od hmotnosti pláště zásobníku
F _{PV}	[N]	síla od působení vertikálního tlaku
F _z	[N]	výsledná zatěžující síla
f	[-]	součinitel vnitřního tření skladovaného materiálu
f _w	[-]	Součinitel tření mezi materiálem a stěnou zásobníku
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
h	[m]	výška hladiny
h ₁	[m]	výška hlavní komory
h ₂	[m]	výška kuželové výsypky
h _r	[m]	konstrukční rezerva
h _v	[m]	výška sypného kužele
k	[-]	součinitel bezpečnosti
k ₀	[-]	součinitel aktivního tlaku
k _e	[-]	empirický součinitel
l	[m]	teoretická výška hlavní komory
O	[m]	vnitřní obvod hlavní komory
p _h	[Pa]	horizontální tlak
p _N	[Pa]	normálový tlak
p _T	[Pa]	tečný tlak
p _v	[Pa]	vertikální tlak
Q	[kg]	hmotnostní průtok
Q'	[kg/s]	hmotnostní tok materiálu
R	[m]	Poloměr komory
R _H	[m]	hydraulický poloměr
R _{PL}	[m]	vnější poloměr pláště komory

T	[N]	tečná síla
V	[m ³]	objem skladovaného materiálu
V'	[m ³ /s]	objemový průtok kapaliny
V_0	[m ³]	celkový objem zásobníku
V_1	[m ³]	objem hlavní komory
V_2	[m ³]	objem kuželové výsypky
$v_{výt}$	[m/s]	výtoková rychlost
z	[m]	vzdálenost elementu od horního okraje
α	[°]	úhel sklonu kuželové výsypky
β	[°]	úhel sklonu výsypky od horizontální roviny
γ	[N/m ³]	objemová tíha náplně
ρ	[kg/m ³]	objemová hmotnost
ρ_{OC}	[kg/m ³]	objemová hmotnost oceli
σ_1	[MPa]	hlavní napětí
σ_2	[MPa]	hlavní napětí
σ_k	[GPa]	dovolené napětí materiálu
σ_m	[MPa]	meridiánové napětí
σ_{red}	[MPa]	redukované napětí
σ_t	[MPa]	obvodové napětí
τ_s	[MPa]	smykové napětí
φ	[°]	úhel vnitřního tření materiálu
φ_k	[°]	klidový (statický) přirozený sypný úhel materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Zásobník na mletou k. sůl	A0-DP-00
Plášť zásobníku	A4-DP-01
Výsypka	A4-DP-02
Výpust	A4-DP-03
Noha	A4-DP-04
Plnicí soustava	A4-DP-05
Žebřík	A4-DP-06
Sloupek zábradlí	A4-DP-07
Úchyt zavěšení	A4-DP-08
Víko zásobníku	A4-DP-09
Čep	A4-DP-010
U-profil	A4-DP-011
Horní příruba	A4-DP-012
Mezikruží	A4-DP-013
Kruhový pás	A4-DP-014
Příruba plnicího potrubí	A4-DP-015
KUSOVNÍK	K-A4-DP-99
	K-A4-DP-98
	K-A4-DP-97