

Logistika v sypkých hmotách I – výběr klíčových otázek

Vlastnostmi sypké hmoty a výběr principu dopravního zařízení

Přijato: 7.4.2006, recenzováno: 25.5.2006

Logistik im Schüttgut I – Auswahl der Kernfragen

Eigenschaften von Schüttgut und Auswahl des Prinzips der Transportanlage

Ein der Bewertungskriterien des Innovationsniveaus von Verkehr ist der Energieaufwand des Stromes, des Transportes oder die Transportkosten, wie auch sich wo der Aufwand des Transportes auf den Transportstrecken ausdrückt. Mit diesem Problem soll sich die Logistik befassen. In den technischen Wissenschaften wird das Wort Logistik ziemlich oft in verschiedenen Bedeutungen interpretiert und in Form von verschiedenen Definitionen, oder der Definitionen von Kriterien der Optimierungsfunktionen. In diesem Beitrag wird das Optimierungskriterium des optimalen Verkehrs aus der Sicht der Sicherstellung der eigenen Transportsfunktion als Ausgangskriterium der mechanisch-physikalischen Eigenschaften bestimmt, oder umgekehrt, die Wahl des optimalen Transporteurs aus der Sicht der mechanisch-physikalischen Eigenschaften des geförderten Schüttgutes. In der Logistik des Schüttgutes ist dieses Ausgangskriterium in Beziehung zu den Eigenschaften des Fördergutes und der Konstruktion der Transportstrecke verankert. Das Optimierungskriterium ist als Auswahl des optimalen Transporteurs für das konkrete Schüttgut bestimmt, oder als Einstellung der mechanisch physikalischen in Form des Winkels der inneren Reibung ausgedrückten Eigenschaften, um optimale Funktion der Transports- oder Technologieanlage zu erreichen. Eine Ergänzung ist Einstellung der mechanisch physikalischen Parameter des Schüttgutes so, um der optimale Energieverbrauch bei dem Transport des Schüttgutes zu erreichen.

Natural ground logistics I – selection of key questions

Natural ground properties and selection of transportation equipment principle

One of the evaluation criteria for evaluation of innovative level of transportation energy demand of flow, or displacement, or also transportation costs, whatever is the way in which the transportation demandingness on transportation routes is expressed. Such problems should be dealt with by logistics. In technical science the word logistics is interpreted quite frequently in different ways of meaning and in the form of diverse definitions or definitions of criteria of optimization functions. In this report there is set an optimisation criterion of optimal transportation from the point of view of securing of the transportation function proper as an initial criterion of mechanical and physical properties, or vice versa, selection of optimal conveyor from the point of view of mechanical and physical properties of the transported material. Within the natural ground logistics framework such initial criterion is anchored in relation to the transported material properties and construction of the transportation route. The optimisation criterion is set in the form of selection of an optimal conveyor for a concrete natural ground, or setting of mechanical and physical properties expressed in the form of the angle of internal friction so that optimal function of transportation or technological equipment is obtained. Setting of mechanical and physical parameters of the natural ground, so that optimal energy consumption during natural ground transportation is obtained, is a supplement.

Логистика в сыпучих телах 1 – Выбор ключевых вопросов

Свойства сыпучего тела и выбор принципа транспортного оборудования

Одним из критериев оценки уровня инноваций транспорта является энергоёмкость тока или перемещения, или также транспортных расходов – как и где выражается трудоёмкость перевозки на транспортных маршрутах. Этой проблемой должна заниматься логистика. В технических науках довольно часто интерпретируется слово логистика в различных значениях и форме различных определений, или же определений критериев оптимизационных функций. В статье становится критерий оптимального транспорта с точки зрения обеспечения собственной функции транспорта как исходного критерия механико-физических свойств, или наоборот, выбор оптимального транспортера с точки зрения механико-физических свойств транспортируемой сыпучей массы. В логистике сыпучих тел этот исходный критерий заключается в отношении к свойствам транспортируемого материала и конструкции транспортного маршрута. Оптимизационный критерий устанавливается в форме выбора оптимального транспортера для конкретной сыпучей массы, или установления механико-физических свойств, выраженных в форме угла внутреннего трения так, чтобы получилась оптимальная функция транспортного, или технологического оборудования. Дополнением является установление механико-физических параметров сыпучего тела так, чтобы

получить оптимальное потребление энергии при транспортировании сыпучей массы.

Logistika v sypkých hmotách I – výběr klíčových otázek

Vlastnostmi sypké hmoty a výběr principu dopravního zařízení

Jedním z kritérií hodnocení inovační úrovně dopravy je energetická náročnost toku, nebo přesunu, nebo také nákladů na dopravu, jak se kde vyjadřuje náročnost přepravy na dopravních trasách. Tímto problémem by se měla zabývat logistika. V technických vědách je poměrně časté interpretovat slovo logistika v různých významech a v podobě různých definic, nebo definic kritérií optimalizačních funkcí. V tomto příspěvku je stanoveno optimalizační kritérium optimální dopravy z hlediska zabezpečování vlastní funkce dopravy jako výchozího kritéria mechanicko fyzikálních vlastností, nebo obráceně volba optimálního dopravníku z hlediska mechanicko-fyzikálních vlastností dopravované sypké hmoty. V logistice sypkých hmot je toto výchozí kritérium zakotveno ve vztahu k vlastnostem dopravovaného materiálu a konstrukce dopravní trasy. Optimalizační kritérium je stanoveno v podobě volby optimálního dopravníku pro konkrétní sypkou hmotu, nebo nastavení mechanicko fyzikálních vlastností vyjádřených v podobě úhlu vnitřního tření tak, aby došlo k optimální funkci dopravního, nebo technologického zařízení. Doplnkem je nastavení mechanicko fyzikálních parametrů sypké hmoty tak, aby došlo k optimální spotřebě energie při dopravě sypké hmoty.

1. Úvod

Firemní přístup k řešení tohoto problému se dá charakterizovat z hlediska stavby firmy, výrobního programu a strategických cílů. Podle těchto kritérií se dají dělit firmy do tří typů:

1.1 Firma zabývající se monotónní výrobou jednoho typu dopravníku

Tato firma v zájmu prodeje svých výrobků zpravidla jde na vyšší míru rizika a nasazuje svůj produkt i do oblastí dopravy sypkých hmot, kde se už ani nehodí s tím, že vzniklé problémy budou řešeny dodatečně další pokračující zakázkou. Tak se pak postupným

upravováním a dovybavováním původní dodávky zařízení postupně zprovozňuje až na únosnou hranici nákladů v relaci s požadovanou funkcí zařízení.

1.2 Firma vyrábějící sortiment výrobků zaměřených na určitý typ technologií, nebo sypkých hmot - dopravníky, technologická zařízení, obslužná zařízení

Tyto úzce specializované firmy řeší zpravidla opakované typické úlohy určitého průmyslového odvětví. Úzce se specializují na typ dopravovaného materiálu (uhlí, mouka, cukr) a typ technologie (doprava, míchání, zdrobňování). Postupně nabývá firma značné „know-how“ potřebné k řešení praktických průmyslových potřeb, aniž by byla nutně známa podstata jevů a podstata probíhajících zákonitostí. Tato dobová výhoda rozkrytím a popisem zákonitostí odpadá, stává se přístupná každému a tím ztrácí svou hodnotu. Dobově vznikají nové aktuální příležitosti zpracování jiných druhů sypkých hmot, například biomasa, jinak vytvořené směsi komponent, zpracování nanočástic atd.

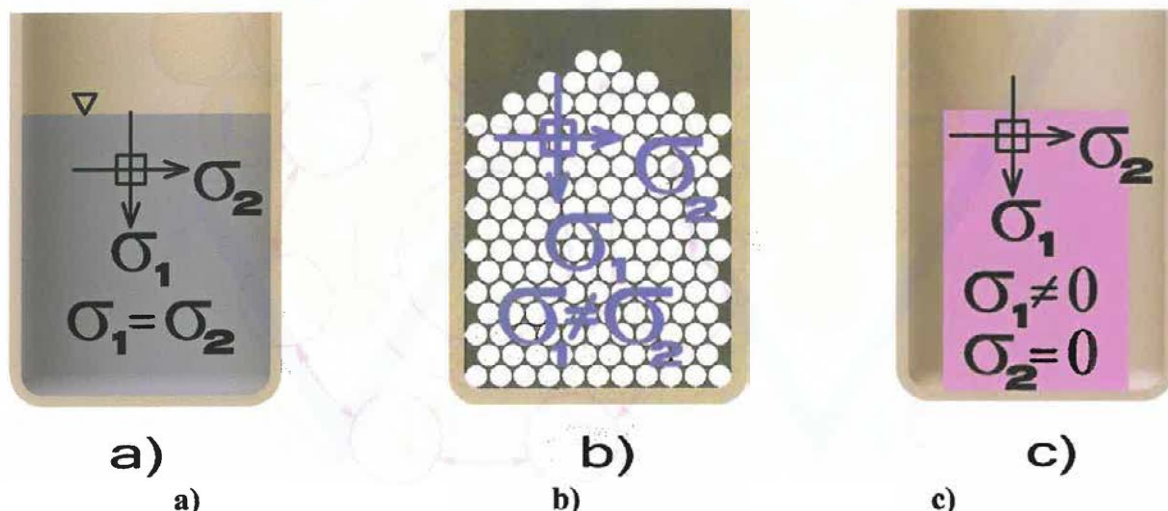
1.3 Firma zaměřená na dodávky investičních celků

Firmy zaměřené na dodávky investičních celků nejsou zpravidla omezeny na svou vlastní výrobu omezeného sortimentu dopravníků, případně vlastní výrobní technologie a ani na určitý typ technologií. Mají možnost „šít“ řešení optimálně na potřebu zákazníka, pokud jsou známy zákonitosti dějů. Pro významné projekty jsou prováděna měření vlastností sypkých hmot, modelování procesů a dopravy, případně simulování možných havarijních situací, včetně výbuchu.

2. Logistika v sypkých hmotách z hlediska sypké hmoty a dílčích parametrů

V technické praxi je obvyklé hledat optimalizaci toků sypkých hmot v konstrukcích, pohonu, tvaru dopravní cesty, délky dopravy, aplikovaných materiálech zařízení, rychlostech, dynamice dopravy. Méně obvyklé, nadějnější, ale relativně mnohem náročnější z hlediska deficitu informací je optimalizovat zařízení a jeho funkci z hlediska mechanicko-fyzikálních vlastností sypké hmoty. Komplexní vyjádření je poměrně náročné, ale většina veličin se dá s vědomou mírou omezení zahrnout do obecnější veličiny, kterou je úhel vnitřního tření. Sledujeme-li stav hmoty v intervalu možných úhlů vnitřního tření $\varphi \in (0^\circ, 90^\circ)$ prochází tato hmota od kapalného skupenství, přes oblast sypkých hmot do oblastí skupenství pevného. Na tuto skutečnost reagují i principy dopravy, skladování a procesů pracujících v té které specifické oblasti úhlů vnitřního tření. Posuzuje-li se volba principu dopravy sypkých hmot z hlediska úhlu vnitřního tření, vzniká velmi silné kritérium optimalizace konstrukce dopravní trasy, skladovacích a manipulačních principů a v důsledku i ekonomičnosti záměru.

Zásadní rozdíl mezi skupenstvími je patrný z obr. 1 [6]. První nádoba je naplněna tekutinou a tlaky jsou v ní v určité hloubce stejné a nezávislé na směru. Platí, že svislý tlak $\sigma_{1\downarrow}$ je roven vodorovnému tlaku $\sigma_{2\rightarrow}$, $\sigma_{1\downarrow} = \sigma_{2\rightarrow}$. V nádobě naplněné sypkou hmotou je $\sigma_{1\downarrow} \neq \sigma_{2\rightarrow}$, pro aktivní stav napjatosti platí $\sigma_{1\downarrow} \geq \sigma_{2\rightarrow}$, pro pasivní stav napjatosti $\sigma_{1\downarrow} < \sigma_{2\rightarrow}$. Tlaky na stěnu v nádobě zaplněné pevnou hmotou jsou $\sigma_{1\downarrow} > 0$ a $\sigma_{2\rightarrow}$ je vždy nulový, pokud se těleso nedotýká stěny.

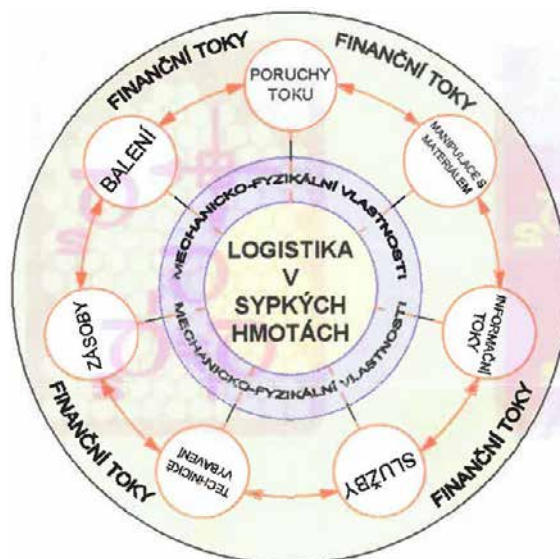


Obr.1 Výchozí formy skupenství fluid (tekutina), syhká hmota, pevná hmota

Strategie, doprava, náklady, technologie jsou vázány na formu existence hmoty, chceme-li to vyjádřit jinak, tedy skupenství hmoty. O to více je logistika syhkých hmot, vycházející ze studia materiálových toků, závislá na okamžité formě existence hmoty obecně a v tomto případě syhké hmoty. Pokud je dopravovaná hmota v tekuté nebo pevné podobě, má stabilizované nebo alespoň determinizované a tedy i se známou pravděpodobností stabilní a předpověditelně probíhající procesy. Míra rizika z hlediska možných změn vlastností je nízká. Jinak je tomu u syhkých hmot, kde je míra rizika z tohoto hlediska velmi velká. Jejich vlastnosti se zpravidla mění s polohou na dopravní trase, např. po pádu do zásobníku, po průchodu výsypkou, po technologické operaci, například průchodem drtičem, třídícím, v poslední řadě mohou být závislé na čase, tlaku, vlhkosti atd.

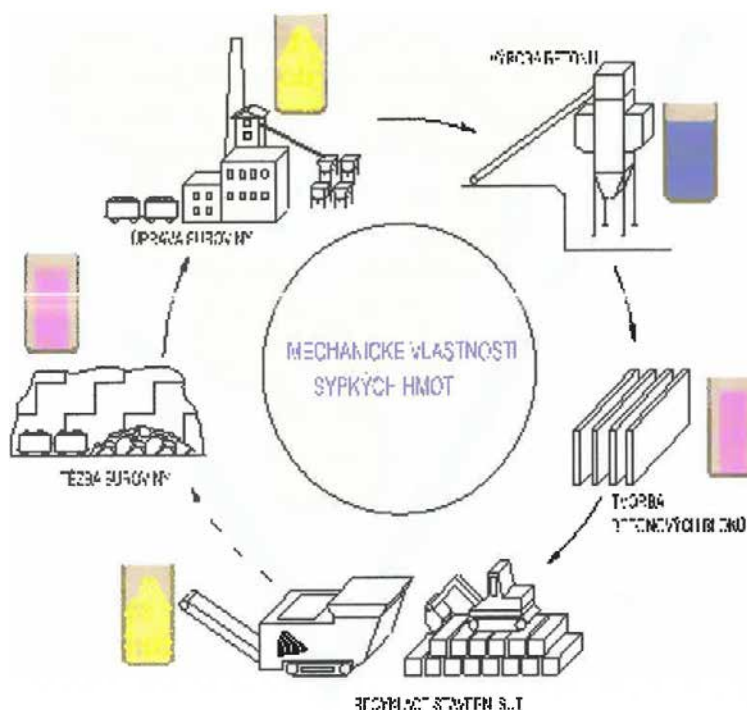
V podstatě se dá obecně říci, že mechanicko fyzikální vlastnosti syhké hmoty se zpravidla po dopravní trase mění, nejsou konstantní a zařízení je potřeba konstruovat většinou na možný rozsah změn. V tomto článku je za hodnotu charakterizující velikost vnitřních ztrátových prací v syhké hmotě volen úhel vnitřního tření a v závislosti na jeho změnách je doporučen i optimální princip aplikované dopravy, skladování v zásobníku i skládkování na hromadě. I když se na první pohled tyto souvislosti jeví jako zřejmé, převažující část provozních potíží a nehod je způsobena především neharmonickým vztahem vlastností syhké hmoty a technického zařízení, případně dopravy.

Klíč k řešení problémů je pak ve vlivu mechanicko-fyzikálních vlastností materiálů na volbu, vhodnost a funkčnost dopravních tras, náklady na odstraňování poruch, diskontinuity a havárií na dopravních trasách, finančních toků, výrobních nákladů atd. Nezanedbatelné jsou i náklady na informační toky a instalace snímačů zaručujících vysokou míru kvality informací. Volbou vhodné technologie pro konkrétní syhkou hmotu jsou vytvářeny i předpoklady pro ekonomicky výhodný a efektivní provoz celého řetězce vazeb.



Obr. 2 Schéma výchozích vazeb v logistice sypkých hmot

Mechanicko-fyzikální vlastnosti sypké hmoty jsou určující pro stavbu zařízení a podmiňující pro informační a finanční toky. Stabilita a kontinuita hmotových toků je v podstatě závislá na okamžité formě hmoty, její nečekané nebo nechtěné změny vlastností jsou většinou příčinou destrukce hmotových toků, informačních, finančních toků a kausálně i příčinou nárůstů nákladů a vzniku ztrát.



Obr.3 Příklad hmotového toku sypkých hmot a změn skupenství na příkladu toku stavebních hmot

Na příkladu materiálového toku ve stavebním průmyslu je zřejmé, že materiál při procesu toku přes technologická zařízení a po dopravních trasách stále mění své skupenství. Od pevného skupenství, v kterém probíhá těžba, přes balvanitou a sypkou hmotu, provzdušněnou sypkou hmotu, přes tekutinu (tekutý beton), přes opětovně pevnou hmotu betonových bloků, která se v procesu recyklace betonových panelů znovu přetváří na balvanitou sypkou hmotu jejím podrcením do podoby sypké hmoty, znovu nabytí tekuté formy a opětné přetvoření do užitého tvaru v podobě pevné hmoty. V tomto cyklu mění hmota na příkladu stavebnictví své skupenství z pevného na sypké, kapalné a znovu na pevné a sypké.

Tok po dopravní trase je možno brát z tohoto úhlu pohledu jako neustále se měnící skupenství hmoty na dopravních trasách s četnými oblastmi výskytu hmot v sypké podobě.

3. **Všeobecná optimalizace volby zařízení**

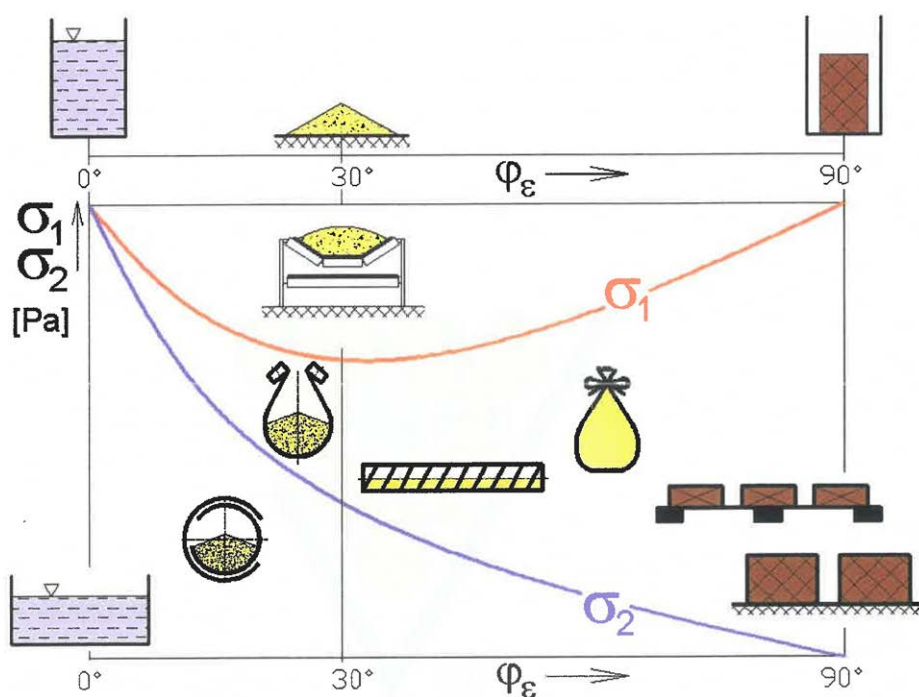
Uplatněním logistiky v sypkých hmotách dochází k aplikaci silného komplexního nástroje řešení vznikajících situací. V logistice sypkých hmot je pro všeobecnou optimalizaci funkce nutná správná volba harmonického vztahu mezi mechanickými a jinými vlastnostmi sypké hmoty a vlastnostmi dopravních, procesních a skladovacích zařízení. Jedná se o relaci mezi tvarem, aplikovanými materiály, principem zařízení (dopravník pásový, hřeblový, trubkořetězový atd.) a mechanicko-fyzikálními vlastnostmi sypkého materiálu.

Tímto postupem dochází k minimalizaci nákladů na stavbu (investice), provozních nákladů a v neposlední řadě nákladů vyplývajících z krytí výpadků výroby v důsledku kvalitativních a kvantitativních poruch toku sypké hmoty (klenbování, komínování, segregace, atd.)

Harmonizaci je možno hledat z hlediska zařízení v optimalizaci velikostních relací zařízení, optimalizaci třecích úhlů u konstrukčních materiálů, optimalizaci odolnosti proti abrazivitě, rychlosti probíhajících procesů (míchání, třídění, dělení, doprava, atd.). Velmi významná jsou i ekologická hlediska a hlediska bezpečnosti práce.

3.1 ***Volba typu a principu dopravníků sypkých hmot jako funkce úhlu vnitřního tření $f(\varphi)$***

Volba principu dopravníku a strategie přepravy zásadně ovlivňuje její funkčnost a ekonomičnost. Z hlediska úhlu vnitřního tření je vhodné volit i typ dopravníku, který je přiřazen konkrétní sypké hmotě obr.4. Předpokladem ovšem je známá hodnota úhlu vnitřního tření a jeho relativní stabilita v určité oblasti.

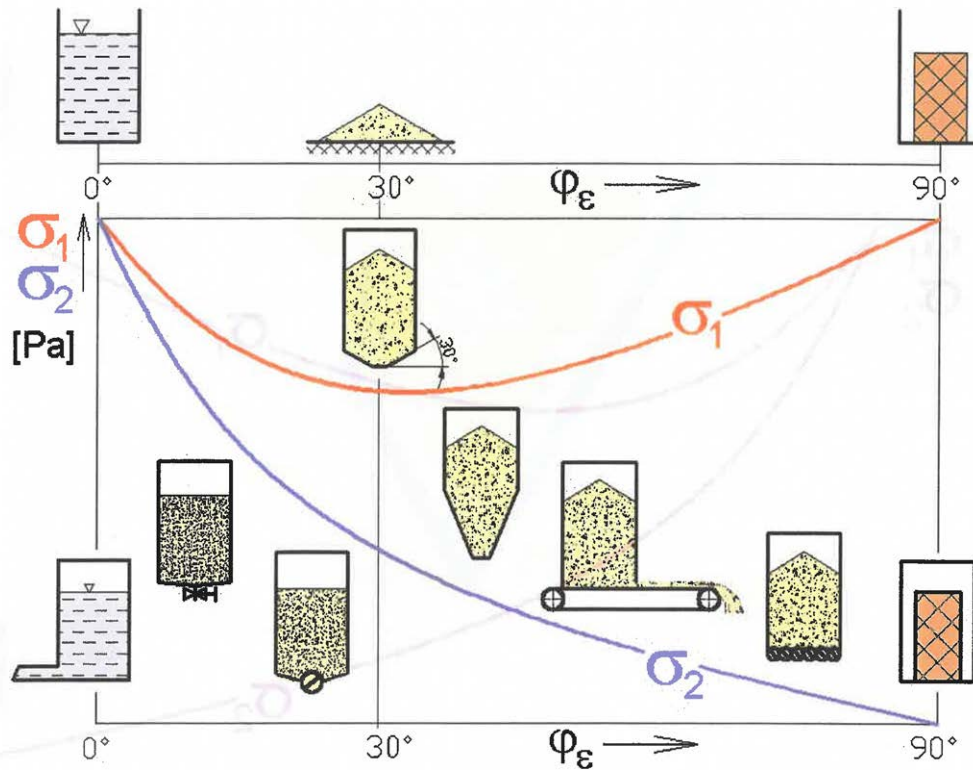


Obr.4 Optimalizace přiřazení principu dopravy sypké hmoty z hlediska úhlu vnitřního tření a průběhů vertikálních $\sigma_1 \downarrow$ a horizontálních $\sigma_2 \rightarrow$ tlaků jako funkce úhlu vnitřního tření $\varphi \in (0^\circ, 90^\circ)$

Opakovaně se však v technické praxi setkáváme s volbou pásového nebo šnekového dopravníku pro sypký materiál, u kterého kolísá úhel vnitřního tření důsledkem procesních operací mezi 0° až 30° . Tato relace může být přirovnána k použití pásového dopravníku k dopravě vody a současně říčního písku, což je situace značně rozdílná.

3.2 Volba typu a optimalizace funkce uzavřeného zásobníku v závislosti na stavu sypké hmoty $f(\varphi)$

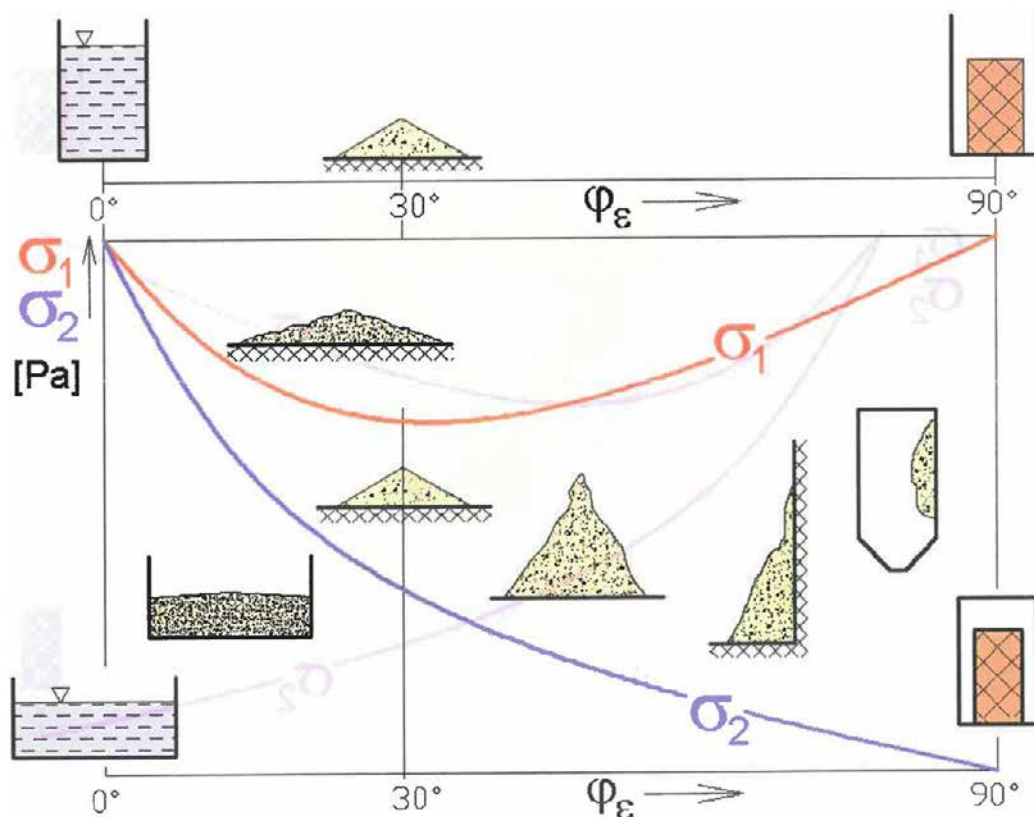
Konkrétní sypké hmotě je z hlediska úhlu vnitřního tření poměrně jednoznačně přiřazen tvar zásobníků, ve kterém je schopna téci hmotovým mechanismem toku. Podmínka požadovaného hmotového toku (obr. 5) je dnes provozovateli standardně považována za nutnou pro plynulý chod procesů a dopravy. Splnění podmínky vzniku hmotového toku sypké hmoty ze zásobníku je závislé na tvaru zásobníku, sklonu stěn, materiálu stěn zásobníků a především úhlu vnitřního tření skladované hmoty. Pro menší úhly vnitřního tření je možné aplikovat menší úhly sklonu zásobníku a naopak. Pro vyšší hodnoty úhlu vnitřního tření je naopak vhodné aplikovat zásobník s celkovým aktivním dnem a svislými stěnami, nebo dokonce se stěnami se záporným úhlem jejich sklonu.



Obr.5 Optimalizace konstrukční stavby zásobníků sypkých hmot pro průběh tlaků $\sigma_1 \downarrow$, $\sigma_2 \rightarrow$ jako funkce úhlu vnitřního tření $\varphi \in (0^\circ, 90^\circ)$

3.3 Volba typu otevřené skládky v závislosti na stavu sypké hmoty $f(\varphi)$

U otevřených skládek je kapacita systému a nákladnost vybudování skládky dominantně závislá na úhlu vnitřního tření a průběhu tlaků $\sigma_1 \downarrow$, $\sigma_2 \rightarrow$. U otevřených skládek dochází navíc ke změnám úhlu vnitřního tření důsledkem povětrnostních vlivů, případně důsledkem segregace při nasypávání na skládku. Tyto vlivy se dají eliminovat dočasným zpevněním (zhuťněním) skládky a jejím dodatečným rozvolněním skládkovým strojem. Na obr. 6 je znázorněna relace mezi úhlem sklonu svahu skládky a úhlem vnitřního tření sypké hmoty.



Obr. 6 Tvar hromady pro skladování sypkých hmot v závislosti na úhlu vnitřního tření φ a průběhu tlaků $\sigma_1 \downarrow$, $\sigma_2 \rightarrow$, jako funkce úhlu vnitřního tření $\varphi \in (0^\circ, 90^\circ)$

4. Vlivy na změny úhlu vnitřního tření

Stav a vlastnosti sypkých hmot podléhají celé řadě vlivů. Mezi nejvýznamnější vlivy působící na úhel vnitřního tření je možno uvést mechanismy toku částic, geometrické tvary částic, mechanické, chemické, elektrostatické a jiné vazby mezi částicemi vzájemně, nebo mezi částicemi a tělesem zásobníku, nebo obecného zařízení. Se zmenšující se velikostí částic v mikro- a nanooblasti nabývají dominantní role vazby mezi částicemi.

Z hlediska provozovatele je možno vlivy dělit :

- Provozní podmínky – aplikované provozní stroje, drtiče, třídiče, konstrukce dopravních tras, regulační a řídicí prvky
- Změny vlastností sypkých hmot – stupeň zdrobnění, oddělování velikostních frakcí a tvarů částic, zhutňování hmoty na dopravní trase, pádem, časem, vznik vazeb, provzdušňování, případně kolísání vlhkosti
- Vnější podmínky – klimatické změny v ročních obdobích, teplota, vlhkost, situování zásobníku
- Změny receptur procesů a změny technologií – jiné granulometrické složení, záměny principů zdrobňování, změny intensity dopravních toků

5. Závěr

Logistika v sypkých hmotách řeší v oblasti provozů sypkých hmot vyváženě a komplexně ekonomičnost v relaci k funkční stabilitě procesů sypkých hmot (výroba, skladování a doprava sypkých hmot) ze dvou úhlů pohledů na řešený úkol :

- První cestou vedoucí k dosažení funkční stability dopravních cest a ekonomičnosti dopravní trasy je navrhnout taková opatření, aby úhel vnitřního tření (ve smyslu vícerozměrné funkce vyjadřující ztrátové práce) byl konstantní po celé dopravní trase. Takto pojaté řešení je poměrně technicky a informačně náročné, proto dostačuje znalost úhlu vnitřního tření v konkrétních, někdy kritických místech dopravní trasy, případně jeho kolísání. Tato úloha vede nařízení úhlu vnitřního tření a jeho stabilizaci do relativně malého intervalu.
- Druhou cestou řešení funkční stability a ekonomičnosti dopravní trasy je navržení dopravní trasy tak, aby geometrické tvary a rozměry (napouštěcí a vypouštěcí otvory, pádové výšky, typy dopravníků, úhly změn směru dopravy, atd.) vždy respektovaly okamžitý úhel vnitřního tření příslušející konkrétním místům dopravní trasy a respektovaly principy kontinuity toku. Tato úloha vede na optimalizaci geometrických tvarů dopravní trasy, optimalizaci volby konstrukčních materiálů a rychlosti pohybu sypké hmoty. Tento postup řešení dopravních tras je obvyklejší než postup podle první cesty.

V praxi se většinou vyskytuje postup navržení dopravní trasy na předpokládané fiktivní vlastnosti sypké hmoty a celkový projekt je pak ožívován postupným přibližováním se očekávanému optimálnímu funkčnímu stavu dodatečnými úpravami dopravní trasy. Tento postup vyplývá z určité nepřístupnosti informací a neznalosti konkrétních mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých materiálů ve vztahu k dopravní trase, ale i snahy projektantů realizovat dopravní trasu v nejméně nákladném provedení. Pak se často stává že je potřeba dopravní trasu dodatečně upravovat a postupným dovybavováním většinou nákladnými komponenty ožívovat.

Je pozoruhodné, že při návrhu dopravníku a technologických tras sypkých hmot se jen zřídka vychází ze skutečných mechanicko-fyzikálních parametrů sypké hmoty, jako výchozích parametrů. Tato skutečnost je ještě více zdůrazněna při dopravě nehomogenních surovin (například směsi dřeva a fosilního paliva) z hlediska chemického a granulometrického složení. Řešení většinou vychází z fiktivních hodnot o dopravovaných hmotách a z analogie, u které navíc nejsou plně známá kritéria podobností.

Práce byla vykonána v rámci řešení grantu MSM 272 300 008 - Inovace strojů a zařízení směrem ke zvyšování výkonnosti, úspornosti, úspor energie a ochrany životního prostředí.

Literatura

1. Zegzulka Jiří: Pulsation beim Fließen von Schüttgütern. Schüttgut, r. 4, 1995, č. 1, s. 619-621.
2. Zegzulka, Jiří: An Ideal Bulk Material. Bulk Solids Handling. Trans Tech Publications. 2002, vol.22/No 3. p. 214-221, ISSN 0173-9980
3. Zegzulka, Jiří, Hradil, Roman: Ideal Bulk Material. Ideální sypká hmota. Doprava a Logistika, Transport and Logistics, mezinárodní časopis, toto číslo vydal: BERG Košice, vydavatel: Faculty of Mechanical Engineering, Belgrad, p.11-17, 2002, ISSN 1451-107X

4. Zegzulka, Jiří: Pressure Peaks in Bulk Material Flow – The Angle of Energy Slope. Trans Tech Publications. 2002, vol.22/No 6. ISSN 0173-9980
5. Zegzulka, Jiří: Vliv mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot na konstrukci dopravních a úpravnických zařízení, Habilitační práce, VŠB-TU Ostrava, 1999
6. Zegzulka, Jiří: Granular States of Material Aggregation – A Comparison of Ideal Bulk Material with Ideal Fluid and Ideal Solid Matter. Bulk Solids Handling, vol 23/2003, číslo 3, 162-167, ISSN 0173-9980