

## OPERÁCIE, APARÁTY A TECHNOLOGICKÉ LINKY NA SPRACOVANIE PARTIKULÁRNYCH LÁTOK

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej časti textu, partikulárne látky tvoria širokú a významnú skupinu materiálov, ktoré sa objavujú takmer v každej oblasti priemyslu. Ich aplikácia je takmer vždy spojená s problémami, ktoré je ťažko dopredu odhadnúť. Vyplyva to z komplikovanej štruktúry týchto látok a veľkého množstva faktorov, ktoré na ne vplyvajú počas manipulácie s nimi.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

Výpočet jednotlivých operácií, návrh zariadení a celých technológií je veľmi komplikovaný. Pokiaľ pre látky v tuhom skupenstve platí mechanika tuhého telesa, pre kvapaliny a plyny zákonitosti hydromechaniky, pre skupinu látok nazývaných partikulárne nie sú dostupné ucelené teoretické poznatky, ktoré by umožnili na základe tabelovaných vlastností týchto látok a určitých štandardných postupov vypočítať priamo zariadenie alebo navrhnúť technológiu. Existuje veľké množstvo čiastkových teoretických poznatkov a postupov, ktoré sa opierajú o výsledky experimentov a ich praktické využitie nie je možné bez pokusov spravených na laboratórnych zariadeniach.

Stručne zhrnuté, pre návrh zariadení, jednotkových operácií a celých technológií pre spracovanie práškových materiálov je nevyhnutné mať k dispozícii kvalitne vybavené laboratórium. Na základe dostupných teoretických poznatkov a výsledkov experimentov v laboratóriu je potom možné navrhovať zariadenia.

V ďalšej časti textu bude uvedený stručný prehľad najvýznamnejších zariadení a operácií využívaných v technológiách.

## DRVENIE

### DEFINÍCIA:

Drvenie je operácia pri ktorej sa veľké kusy materiálu, rádov niekoľko centimetrov alebo desiatok centimetrov delia na rádovo menšie kusy, s rozmermi niekoľko desiatok milimetrov. Drvením sa môžu deliť horniny, staré pneumatiky, veľké kusy plastov a pod.

### PRINCÍP PROCESU:

Drviaci efekt sa dosiahne dynamickým alebo strihovým účinkom funkčných častí, napr. čelustí mlyna.

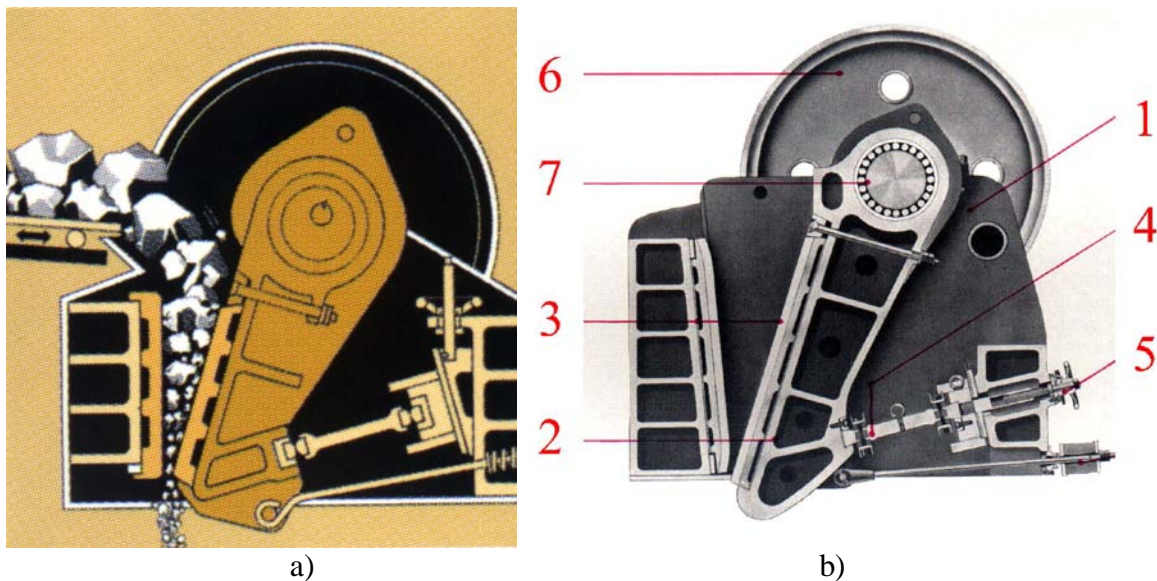
### PRINCÍP VÝPOČTU:

Pri návrhu drvičov je potrebné určiť veľkosť sily potrebnej na rozdrvenie konkrétneho materiálu. Ďalej sa sleduje tvar a rozmery častí, ktoré vzniknú z rozdrveného materiálu. Okrem toho je potrebné zmerať výkon zariadenie a množstvo energie, ktoré je potrebné priviesť zariadeniu napr. elektromotorom. Všetky tieto údaje sa takmer výlučne získavajú na základe výsledkov laboratórnych pokusov.

### APARÁTY:

#### *Čelustový drvič*

Čelustový drvič (obr. Xxx b) pozostáva z rámu (1) na ktorom je sú dve čeluste. Ľavá čelusť (2) je pevná a pravá (3) je výkyvná. Táto čelusť je poháňaná motorom prostredníctvom hriadeľa (7) so zotrvačnikom (6). Zotrvačník zabezpečuje plynulý chod pohyblivej čeluste pri drvení materiálu. Medzera medzi čelustami sa nastavuje skrutkou (5) a mechanizmom (4). Čeluste sú obložené doskami z tvrdého materiálu (napr. kalená oceľ). Po opotrebení je možné ich vymeniť.



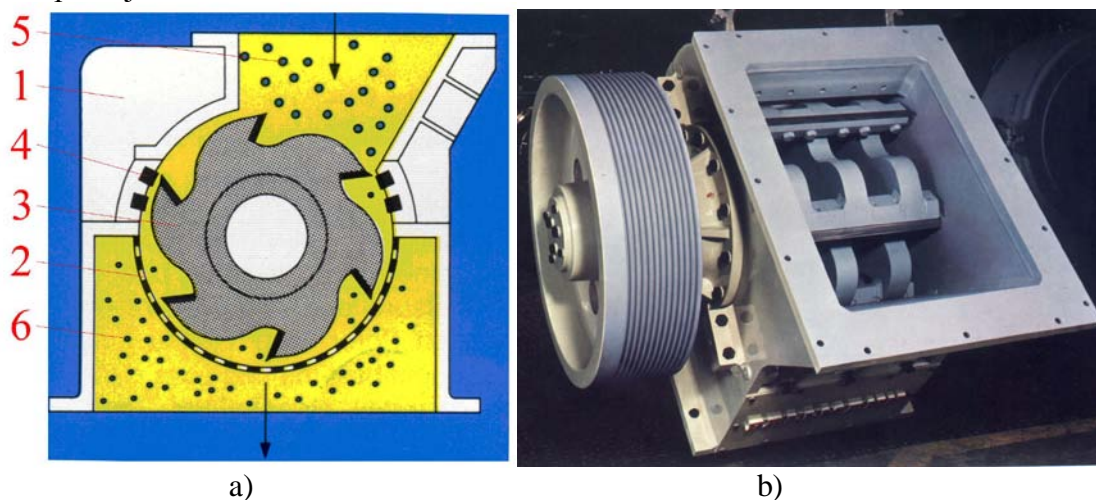
Obr. 36 Čelustový drvič. a) princíp činnosti, b) konštrukčné riešenie. 1. rám, 2. pohyblivá čelusť, 3. dosky, 4. mechanizmus nastavenie čeluste, 5. skrutka pre nastavenie čeluste, 6. zotrvačnik, 7. ložisko s pohonným hriadeľom.

Obr. 36 a) ukazuje princíp činnosti drviča. Materiál padá do zužujúcej sa medzere medzi čelusťami, pričom výkyvná čelusť drví materiál. Veľkosť produktu závisí od nastavenej medzery v spodnej časti drviča.

### Nožový drvič

Nožový drvič pozostáva z rámu (5) v ktorom je uložený rotor s nožmi (4). V spodnej časti sa nachádza dierovaný plech (2), ktorý uzatvára drviacu komoru. V stene komory sú satorové nože (4). Materiál ktorý padá do drviča (5) sa dostáva medzi nože rotora (3) a satorové nože (4), kde prichádza k jeho prestrihnutiu. Dierovaný plech (2) má za úlohu zadržať materiál v drviči do vtedy, kým jeho veľkosť nie je menšia ako priemer otvorov v plechu. Častice, ktoré sú menšie ako tieto otvory, vypadávajú z drviča.

Rotor je poháňaný motorom prostredníctvom klinových remeňov a remenice (obr. 37.b), ktorá zároveň plní aj funkciu zotrvačníka.



Obr. 37 Nožový drvič. A) princíp činnosti, b) pohľad na zariadenie. 1. rám, 2. dierovaný plech, 3. rotor s nožmi, 4. satorové nože, 5. materiál na vstupe, 6. materiál na výstupe.

**PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE***Čeľust'ový drvič*

Používa hlavne pre drvenie krehkých materiálov, kedy sa výrazne uplatňuje mechanizmu krehkého lomu, spôsobený dynamickým nárazom čeľustí.

*Nožový drvič*

Tento typ drviaceho zariadenia sa používa na húževnaté a pružné materiály, kde dynamický účinok nemá vplyv rozdrvenie materiálu. Využíva mechanizmus strihu a preto je vhodný napr. na drvenie plastov alebo pneumatík v technológiách recyklácie.

**MLETIE****DEFINÍCIA:**

Je operácia pri ktorej vplyvom dynamického účinku funkčného elementu strojného zariadenie pri styku so spracovávaným materiálom nastáva delenie tohto materiálu na častice s podstatne menšími rozmermi. Produkt má veľkosť obyčajne v desatinách až tisícinách milimetra.

**PRINCÍP PROCESU:**

Mlecí efekt sa dosiahne dynamickým účinkom funkčných častí, napr. čeľustí mlyna, pri styku s materiálom. Prvoradým predpokladom pre použitie týchto mlynov je splnenie požiadavky, aby mletý materiál bol krehký a málo pružný.

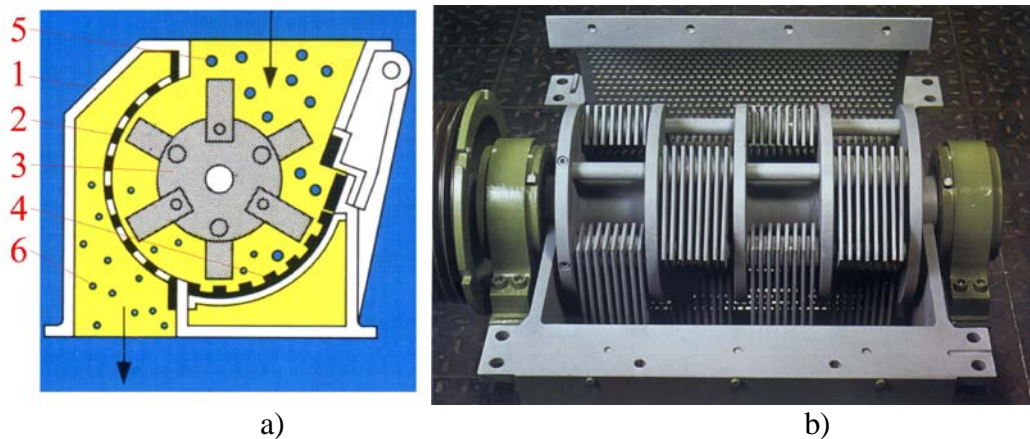
**PRINCÍP VÝPOČTU:**

Pri návrhu mlynov je potrebné určiť veľkosť energie potrebnej na dosiahnutie produktu požadovaných rozmerov, tvaru a distribúcie veľkosti častíc. Táto energia sa zväčša experimentálne meria na laboratórnom zariadení a predstavuje elektrický príkon potrebný na pohon funkčnej časti mlyna, napr. rotora s kladivkami (obr. 38), pri určitých otáčkach.. Okrem toho je potrebné určiť, opäť experimentálne, čas potrebný na zomletie požadovaného množstva materiálu na veľkosť častíc s požadovaným frakčným zložením. Všetky tieto údaje sa získavajú na základe výsledkov laboratórnych pokusov.

**APARÁTY:***Kladivkový mlyn*

Teleso kladivkového mlyna (1) má v zadnej časti satorovú mlecíu stenu (4) a v prednej časti dierovaný plech (2). V ich tesnej blízkosti sa pohybuje rotor (3) s kladivkami v tvare pásov, ktoré sú otočne uložené na čapoch. Vplyvom vysokých otáčok rotora, sú kladivká odstredivou silou ťahané smerom k povrchu satorovej mlecíj steny. Materiál (5), ktorý sa dostane k povrchu tejto steny, je vplyvom úderu kladivka rozbitý. Častice, ktoré sú menšie ako otvory v plechy prepadávajú von vo forme produktu (6), väčšie častice sú pod údermi kladiviek až kým ich rozmery nie sú také, aby mohli vypadnúť z mlyna.

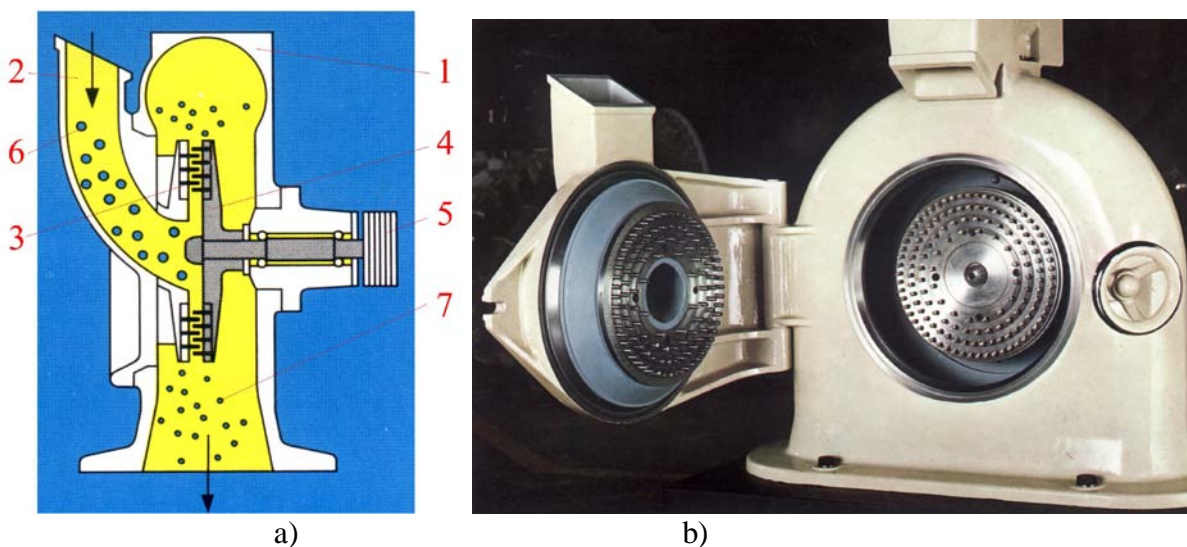
Kladivká sú uložené na čapoch z toho dôvodu, aby v prípade nárazu kladivka na tvrdú časticu nemohlo prísť k jeho poškodeniu, ale kladivko odskočí.



Obr. 38 Kladivkový mlyn. A) princíp činnosti, b) konštrukčné riešenie. 1. rám, 2. dierovaný plech, 3. rotor s kladivkami, 4. satorová mlecia stena, 5. materiál na vstupe, 6. materiál na výstupe.

*Kolíkový mlyn*

Základ mlyna tvorí teleso (1), ktorého predná časť sa dá otvoriť a na nej je upevnený sator s kolíkmi (3). V zadnej časti telesa sa na hriadeli s remenicou (5) nachádza rotor (4). Materiál sa do mlyna sype cez násypné hrdlo (2). Konštrukcia mlyna je riešená tak, že po zavretí prednej časti so satorom, kolíky satora (3), sa dostanú medzi kolíky rotora (4). Materiál padá medzi tieto kolíky a náhodnými údermi o kolíky rotora a satora príde k jeho mletiu. Vzhľadom na vysoké otáčky rotora práškový materiál nemôže voľne prepadnúť pomedzi kolíky. To môže nastať, až keď je zomletý na určitú veľkosť, ktorá odpovedá nastaveným procesovým parametrom mlyna (veľkosť a počet kolíkov, otáčky rotora). Výsledkom je veľmi jemný práškový produkt.



Obr. 39 Kolíkový mlyn. A) princíp činnosti, b) konštrukčné riešenie. 1. teleso mlyna, 2. vstupné hrdlo, 3. sator s kolíkmi, 4. rotor s kolíkmi, 5. remenica na hriadeli pre pohon rotora, 6. materiál na vstupe, 7. materiál na výstupe.

*Gul'ový mlyn*

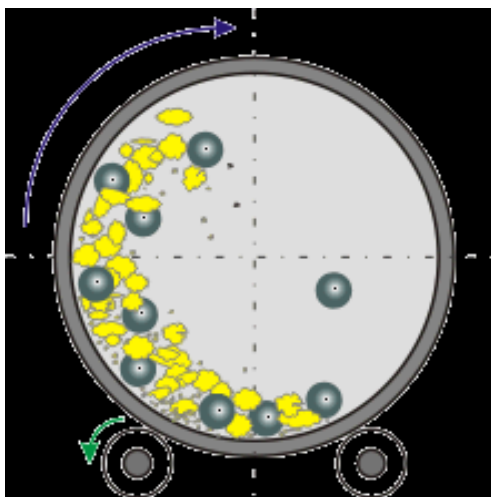
Je zariadenie ktorého najdôležitejšiu časť tvorí komora valcového tvaru, ktorá má z vnútornej strany stenu vyloženú oteruvzdornými doskami (napr. z kalenej ocele alebo špeciálnej keramiky). Vo vnútri komory sú nasýpané guľky, tiež z materiálu odolávajúcemu oteru. Komora sa spolu s guľkami otáča, pričom guľky sú vynášané od určitej výšky, odkiaľ padajú voľným pádom. Drvený materiál sa nachádza medzi týmito guľkami. Je vynášaný spolu s nimi a tiež zároveň aj padá dolu. Vzájomné nárazy guľiek spôsobujú mletie materiálu, nachádzajúceho sa medzi nimi..



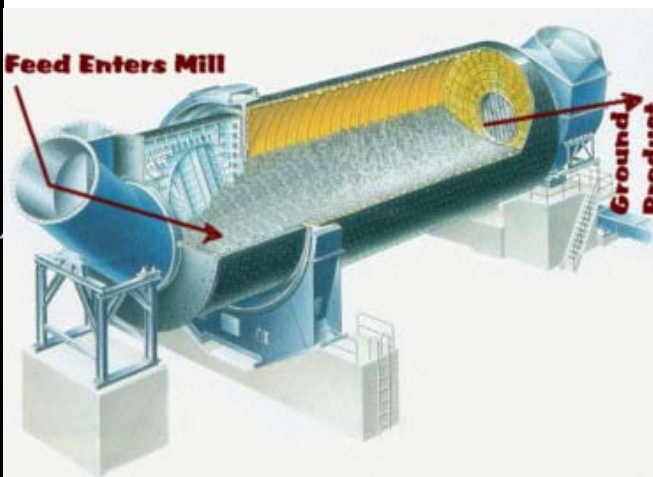
a)



b)



c)



d)

Obr. 40 Gul'ový mlyn. a) pohľad na valcovú komoru mlyna s výstelkami z oteruvzdorných materiálov, b) detailný pohľad do komory s guľkami a rozdrveným materiálom, c) princíp činnosti mlyna, d) priestorový rez mlynom.

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Tieto mlyny sa používajú na dosiahnutie rôznej jemnosti mletia. Najhrubšie melie kladivkový mlyn (obr. 38), jemnejšie mletie sa dosahuje v kolíkovom mlyne (obr. 39) a najjemnejšie mletie je v guľovom mlyne (obr. 40).

Zariadenia sa využívajú na výrobu veľmi jemných práškov, mletie cementu, prípravu pigmentov do farbív a pod.

## SKLADOVANIE

### DEFINÍCIA:

Skladovanie je operácia ktorá je nevyhnutnou súčasťou akejkoľvek technológie zaoberajúcej sa spracovaním práškových materiálov. Predstavuje dlhodobé alebo krátkodobé uskladnenie práškov s zásobníkoch. Účelom je vytvorenie operačných zásob pre technológie, to znamená zásob, ktoré sú priebežne odoberané do výrobného procesu. Skladovanie ale tiež predstavuje operáciu, ktorá sa môže uskutočniť v prenosných zariadeniach a vtedy slúži ako súčasť prepravy týchto materiálov napr. na automobiloch, vlakoch a pod. desiatok kubických metrov.

### PRINCÍP PROCESU:

Je to na prvý pohľad jednoduchá operácia. Cez plniaci otvor zásobníka sa dopraví do zásobníka práškový materiál. To sa môže uskutočniť napr. ručne z vriec. Toto je však veľmi nevýhodný spôsob, lebo je spojený z veľkou prašnosťou, hlavne pri vysýpaní jemných materiálov. Prevládajúca väčšina technológií je riešená tak, že doprava materiálu do zásobníka sa uskutočňuje prostredníctvom dopravníkov, ktoré sú hermeticky uzavreté. Podobné riešenie je aj na spodnej časti zásobníka, kde je výsypný otvor.

Samotné skladovanie je však spojené s problémami, ktoré vyplývajú z charakteru partikulárnych látok. Najväznejší problém je klenbovanie týchto materiálov nad výsypnými otvormi zásobníkov. Prejavuje sa tak, že po otvorení výsypného otvoru na dne zásobníka, ostane materiál nad otvorom a nevysype sa von. Spôsoby ako tomu zabrániť sú nasledujúce:

- Navrhnuť správny tvar zásobníka a veľkosť výsypného otvoru. Toto však nie je jednoduché vzhľadom na komplikované a veľmi často nepredvídateľné zmeny vlastností práškových látok, hlavne počas dlhodobého skladovania. Vplyv okolia, ako sú vibrácie, zvýšená atmosférická vlhkosť počas daždivých dní apod. menia tokové vlastnosti práškových materiálov a spôsobujú nepredvídateľné problémy.
- Navrhnuť zásobník s vibračnými zariadeniami, alebo konštrukčnými prvkami, ktoré pomôžu rozrušiť klenby. Sú to rôzne gumové membrány ovládané pneumaticky alebo kuželové jadrá, ktoré sa zapichnú do materiálu nad výsypným otvorom a rozrušia klenbu.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

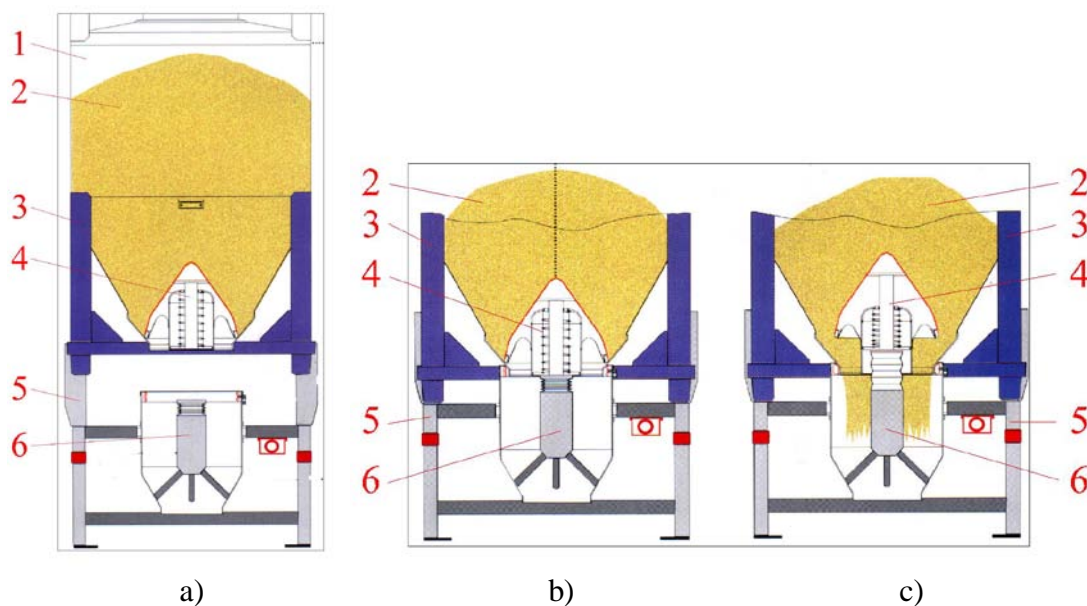
Opäť nie je možné spoľahlivo navrhnuť tvar a rozmery zásobníka bez laboratórnych pokusov. Tieto sa zameriavajú na meranie vybraných vlastností práškov ako je sypný uhol, vnútorný uhol trenia, vonkajší uhol trenia, charakter kohezivity a pod. Na základe týchto údajov a dostupných teórií je možné navrhnuť tvar a rozmery zásobníka a vypočítať veľkosť výsypného otvoru. Napriek tomuto výpočtu sa výrobcovia poisťujú inštalovaním pomocných konštrukčných prvkov, ako sú vibračné zariadenia, rôzne kladivá udierajúce na stenu zásobníka a pod., aby zabránili klenbovaniu.

### APARÁTY:

Tieto môžu byť neprenosné (obr.41), alebo prenosné (obr. 42). Ich objemy sa pohybujú od niekoľko litrov až po niekoľko desiatok kubických metrov.



Obr. 41 Pohľad na zostavu zásobníkov. V spodnej časti sú kužeľové dna a pod nimi dopravníky pre vyprázdňovanie.



Obr. 42. Prenosný zásobník s pohyblivým kužeľovým uzatváracím otvorom. a) v polohe počas nasadzovania na podstavec, b) po nasadení na podstavec c) v polohe s otvoreným výsypaným otvorom počas vyprázdňovania. 1. teleso nádoby, 2. partikulárne látka, 3. rám nádoby, 4. uzatvárací kužeľ, 5. podstavec, 6. pneumatické ovládanie otvárania kužeľa.

Prenosný zásobník s pohyblivým kužeľom má výsypaný otvor uzavretý kužeľovým uzáverom. Počas manipulácie so zásobníkom kužeľ (4) uzatvára výsypaný otvor a to vplyvom vlastnej tiaže a tiaže materiálu na ňom. Ak sa má materiál vysypať zo zásobníka, musí sa tento položiť na špeciálny podstavec (6), v ktorom je umiestnený pneumatický zdvihák (6). Tento dvihne

kužeľ, pričom ho zapichne do uskladneného materiálu a rozruší tak klenbu nad otvorom. Materiál sa potom vysype okolo kužeľa von zo zásobníka.

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Zásobníky, podobné ako sú na (obr. 41) sa používajú napr. na uskladnenie múky, pšenice, cementu, a pod.

## UZATVÁRACIE PRVKY

### DEFINÍCIA:

Tieto prvky slúžia na uzavretie výsypných otvorov zásobníkov. Okrem uzatváraciej funkcie, ktorú majú hlavne klapky (obr. 43a), môžu slúžiť aj ako dávkovacie zariadenia (obr. 43b), čo sú napríklad turnikety.

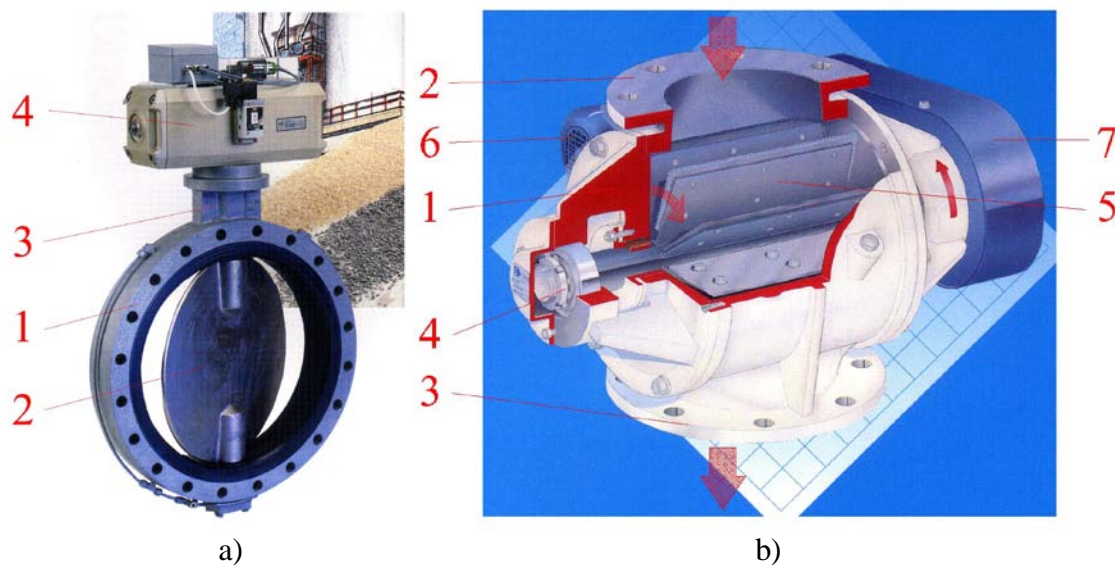
### PRINCÍP VÝPOČTU:

Experimentálne je potrebné zmerať veľkosť krútiaceho momentu potrebného na zatvorenie klapky alebo pohon rotora turniketu. Tu si treba uvedomiť, že tieto prvky sú v stave zavretom po statickým tlakom materiálu, ktorý sa nachádza nad nimi. Po otvorení sa okrem toho k tomu pridáva aj dynamický účinok tečúcej partikulárnej látky. Preto sily, ktoré sú potrebné na otvorenie alebo zavretie klapiek, resp. pohon turniketov bývajú značné.

### APARÁTY:

#### *Klapkový uzatvárací mechanizmus*

Funkcia klapky je jednoduchá. Teleso tvorí príruha s otvormi (1), ktorými sa klapka pripevní na prírubu vysýpacieho otvoru zásobníka. Vo vnútri telesa sa nachádza samotná klapka (2), ktoré je otočne (3) uložená v telese. Na vonkajšej strane je mechanizmus (4), väčšinou ovládaný pneumatickým, ktorý otáča klapku.



Obr. 43. Uzavracie prvky. a) klapkový uzatvárací mechanizmus, 1. príruha, 2. klapka, 3. otočné uloženie klapky, 4. pohon klapky. b) turniket. 1. teleso, 2. príruha vstupného hrdla, 3. príruha výstupného hrdla, 4. ložisko, 5. rotor s lopatkami, 6. elektromotor, 7. prevod medzi elektromotorom a rotorom.

#### *Turniket*

Základ zariadenie tvorí teleso (1), v ktorom je otočne uložený rotor s lopatkami (5), ktoré vytvárajú pohyblivé komory. Turniket sa pripevní na zásobník prírubou (2). Do komory, ktorá



sa nachádza pod otvorom zásobníka sa vplyvom gravitácie nasype materiál. Pohon rotora turniketu (6), (7) ho pomaly otáča, takže komora s materiálom sa pomaly presúva smerom k výsypanému otvoru turniketu a na jej miesto prichádza prázdna komora, ktorá sa naplní novým materiálom. Takýmto spôsobom je možné definovane vyprázdňovať zásobník. Ak sa rotor vypne, vtedy slúži turniket ako uzatvárací prvok.

### PRIEMYSLÉNÉ APLIKÁCIE

Klapky, turnikety a iné uzatváracie prvky (napr. ventily) sú nevyhnutnou súčasťou všetkých zásobníkov, dopravných ciest a vo všeobecnosti technológií na spracovanie práškovým materiálom.

## DÁVKOVANIE

### DEFINÍCIA:

Dávkovanie je jednou z najdôležitejších operácií v priemyselných technológiách. Jej hlavnou úlohou je zabezpečiť rovnomerné dopravovanie jednotlivých zložiek práškových materiálov do technologického uzla, napr. miešača, a to v požadovanom pomere, tak aby po zmiešaní vznikla homogénna zmes požadovaného zloženia.

### PRINCÍP PROCESU:

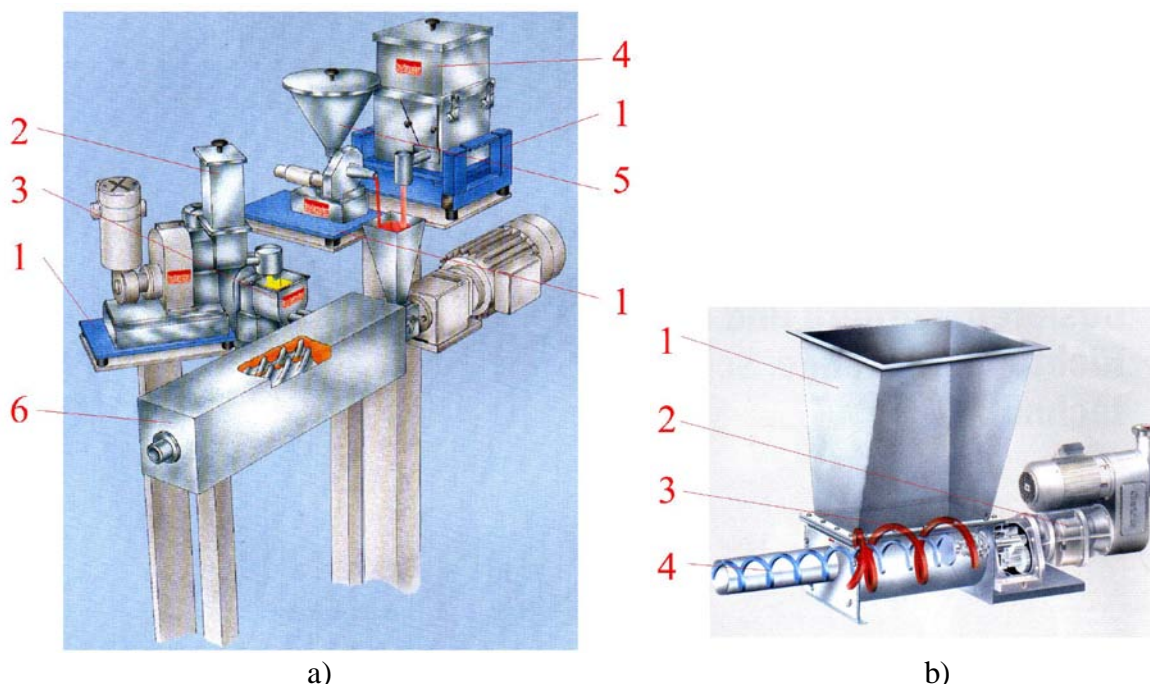
Existuje viacero spôsobov ako toto zabezpečiť. Jedným z nich, v súčasnosti často využívaných, je používanie malých závitokových dávkovačov (obr. 44b) umiestnených na váhach (obr. 44a). Otáčky podávacích prvkov, závitoviek alebo špirál, sa nastaví v takom pomere, aby sa z nich také množstvo materiálu, ktoré po zmiešaní v homogenizátore dájú zmes požadovaného zloženia. Dávkovače sú umiestnené na váhach, ktoré merajú úbytky hmotnosti v zásobníkoch a prostredníctvom regulačných okruhov sa otáčky špirál zvyšujú alebo znižujú.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

Vzhľadom na rozdielne tokové vlastnosti práškov je potrebné experimentálne zmerať, ako závisí dávkované množstvo práškového materiálu od otáčok špirál a na toto spraviť kalibráciu váh a regulačných okruhov.

### APARÁTY:

Základom dávkovacích uzlov sú presné dávkovače (obr. 44b). Moderné konštrukcie uprednostňujú dávkovače s krátkymi dopravnými špirálami (4), stočenými drôtov obdĺžnikového prierezu. Okolo podávacej špirály môže byť súsovo umiestnená pomocná špirála (3), ktorá pomáha vyhrabávať materiál zo zásobníka (1). Špirály sú poháňané elektromotorom s prevodovkou (2).



Obr. 44. Zostava dávkovačov a dávkovač. a) dávkovanie troch látok 1. váha, 2. zásobník prvej látky, 3. dávkovač prvej látky, 4. zásobník a dávkovač druhej látky, 5. zásobník a dávkovač tretej látky, 6. miešač, b) špirálový dávkovač 1. teleso so zásobníkom, 2. pohon, 3. vyhrabávací špirál, 4. dopravná špirála.

Takáto dávkovače sa potom zoraďujú do skupín. (obr.44a). Jednotlivé dávkovače (2), (3), (4) a (5) sú umiestnené na váhach (1), ktoré prostredníctvom regulačných okruhov kontrolujú úbytky hmotností v jednotlivých zásobníkoch a zvyšujú alebo znižujú otáčky špirál. Dávkované materiály padajú do násypky miešača (6) v požadovanom pomere. Výsledkom je homogénna viaczložková zmes, ktorá odchádza na ďalšie spracovanie.

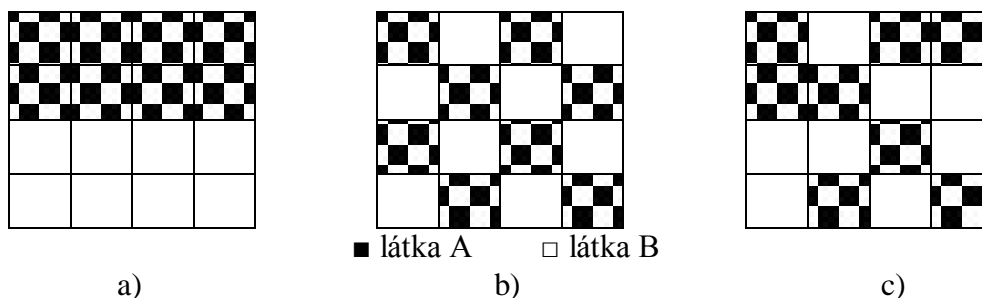
**PRIEMYSLÉNÉ APLIKÁCIE**

Aplikácia takýchto dávkovačov sa objavuje takmer vo všetkých technológiách na spracovanie práškových materiálov. Veľmi prísne sú požiadavky na presnosť dávkovania jednotlivých zložiek hlavne vo farmaceutickom priemysle.

**MIEŠANIE**

**DEFINÍCIA:**

Nech sú dve látky vo forme pevných častíc, označené ako A a B. Pred miešaním sú obe látky jednoznačne rozlíšené a do vlastného miešacieho zariadenia nasýpané postupne, tak aby sa nepremiešali (obr. 45a).



*Obr. 45 Znáznornenie stavu miešania partikulárnej látky. a) stav pred miešaním, b) ideálny stav, kedy v ľubovoľnom objeme sú rovnaké koncentrácie látok A, B, c) skutočný stav, ktorý nastane po určitej dobe miešania.*

Vplyvom silového účinku, napr. lopatiek miešadla, sa jednotlivé častice premiestnia v sledovanom objeme. Môžu nastať dva prípady. V ideálnom prípade (obr. 45b) sú častice látok A a B rovnomerne rozdelené v celom objeme. Tento prípad je viac menej nereálny. V skutočnosti býva výsledkom miešania látka, v ktorej sú po určitej dobe miešania častice rozložené tak ako je to znázornené na (obr. 45c).

### PRINCÍP PROCESU:

Na stupeň premiešania (homogenitu zmesi) pevných častíc majú vplyv predovšetkým tieto veličiny:

1. veľkosť častíc a ich distribúcia,
2. špecifická hmotnosť častíc,
3. tvar častíc,
4. vlastnosti povrchu častíc,
5. ostatné vplyvy.

Veľkosť častíc a ich distribúcia ovplyvňujú značným spôsobom stupeň premiešania. Hrubé a jemné častice v zmesi majú sklon k vzájomnému oddeľovaniu sa. Hrubé častice sa vplyvom gravitačných síl pohybujú rýchlejšie, majú väčšiu zotrvačnosť. Pri miešaní sa snažíme vyhnúť veľkej distribúcii častíc.

Pri miešaní partikulárnych látok pôsobia súčasne aj segregáčne účinky medzi jednotlivými časticami, tj. Častice sa miesto premiešania a dosiahnutia určitého stupňa homogenity (obr. 45c) postupne rozdeľujú a zoskupujú k sebe podľa veľkosti. Zjednodušene možno povedať, že sústava sa vracia zo stavu na (obr. 45c) späť do stavu (obr. 45a), ktorý však pochopiteľne nikdy nedosiahne. Segregačné účinky sú tým väčšie, čím je väčšia polydisperzia zmesi, alebo čím je väčší rozdiel hustôt materiálu. Väčší vplyv má veľkosť častíc. Zamiešať sypké hmoty nie je väčšinou taký problém, ako zabrániť segregácii častíc. Napr. dokonalá funkcia miešacieho zariadenia môže byť celkom znehodnotená následnými segregáčnymi účinkami, ktoré vzniknú pri doprave, skladovaní a podobne. Preto je nevyhnuté súčasne s mechanizmom miešania študovať i mechanizmus segregácie. Všeobecne možno povedať, že na dobré premiešanie častíc dvoch partikulárnych látok priaznivo vplýva približne rovnaká veľkosť zmiešavaných častíc. Veľké rozdiely vo veľkosti zmiešavaných častíc budú spôsobovať ich segregáciu už počas miešania a po ukončení miešania spôsobujú segregáciu už aj pri malých otrasoch, alebo vibráciách.

Tvar častíc vplýva na veľkosť odporu častíc proti pohybu. Častice predĺženého tvaru, alebo šupinkové majú podstatne väčší odpor proti pohybu, než častice guľového tvaru. Pri teoretickom skúmaní miešania sa väčšinou predpokladá, že častice majú ideálny guľový tvar. V niektorých prípadoch sú preto výsledky ťažko akceptovateľné.

Povrch častíc môže byť suchý, vlhký, drsný, hladký, rovný, členitý, lepkavý a pod. Častice môžu mať sklon prilnúť k iným povrchom a vytvárať aglomeráty, ktorých veľkosť je daná rovnováhou väzbových a vnútorných síl pôsobiacich pri miešaní.

Pri miešaní pôsobí ešte rad ostatných vplyvov. Predovšetkým ide o možnosť vzniku statického náboja, ktorý sa vyskytuje predovšetkým pri časticách z plastických látok. V niektorých prípadoch môže byť pôsobenie statického náboja také účinné, že miešanie nie je vôbec možné. Na potlačenie vplyvu statického náboja je dôležité vybrať vhodné konštrukčné materiály (v kombinácii s miešanou zmesou), vlhčiť miešanú zmes, prípadne pridať častice s veľkým špecifickým povrchom.

PRINCÍP VÝPOČTU:

Pri návrhu miešačov treba sa sledujú dve dôležité parametre:

- príkon potrebný na pohon miešacích elementov
- doba homogenizácie, ktorá je potrebná na dosiahnutie optimálneho zhomogenizovania

Ako je pri návrhu zariadení pre technológie spracovania práškových materiálov bežné, ani pri tejto operácii nie je možné sa vyhnúť testovaniu konkrétnych materiálov na určitých typoch zariadení a na základe výsledkov potom navrhnúť prevádzkové zariadenie. Vyjadriť niektoré z uvedených vplyvov formou výpočtu nie je prakticky možné. V niektorých prípadoch existujú približné metódy, ktoré dávajú kvalitatívny názor. Pri štúdiu vzťahu pre miešanie je potrebné zaviesť celý rad zjednodušujúcich predpokladov, ktoré však väčšinou pre reálne zariadenia nie sú splnené. I napriek tomu zjednodušeniu je štúdium miešania partikulárnych látok veľmi ťažké a doterajšie výsledky nie sú uspokojivé. Dávajú nám však aspoň možnosť kvalitatívneho posúdenia.

APARÁTY:

Zariadenie pre miešanie, alebo homogenizáciu, práškových látok je možné rozdeliť napr. nasledujúcim spôsobom:

## 1. Podľa spôsobu práce

- diskontinuálne (vsádzkové) (obr. 46)

Sú to zariadenie do ktorých sa nasypú zmiešavané látky, miešač sa uzavrie, spustí sa proces miešania. Po určitej dobe, kedy je materiál zhomogenizovaný na požadovaný stupeň, sa zariadenie vypne a materiál sa z neho vysype.

- kontinuálny (obr. 47)

Je zariadenie ktoré má na jednej strane násypné otvory cez ktoré sa do vnútra miešača sype materiál. Miešacie elementy majú tvar ktorý umožňuje premiešavanie jednotlivých zložiek ale zároveň posúvajú materiál v smere osi miešača k výsypnému otvoru.

## 2. Podľa stavu v akom je materiál na výstupe z miešača

- miešanie suchých materiálov

Do miešača vstupujú zložky suchého materiálu a po zmiešaní vystupuje suchá zmes.

- miešanie jeden zložky práškového materiálu s kvapalinou

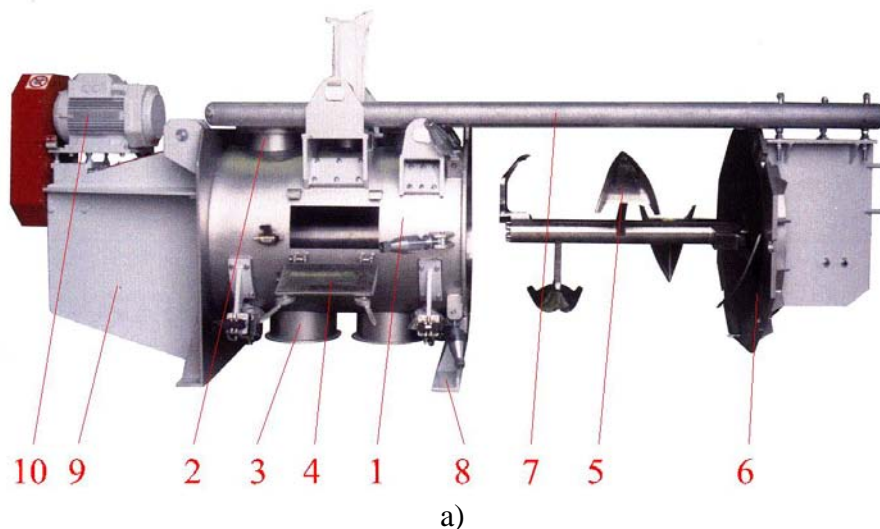
V tomto prípade do miešača vstupuje suchý materiál jedným hrdlom a zároveň sa druhým hrdlom vstrekuje kvapalina. Na výstupe sa získa vlhký materiál s určitým obsahom kvapalnej fázy.

- miešanie viac zložiek práškového materiálu s kvapalinou

V tomto prípade sa najprv zhomogenizujú jednotlivé zložky suchého práškového alebo zrnitého materiálu. Po dosiahnutí požadovaného stupňa homogenity sa pridá kvapalina a celá sústava sa zhomogenizuje.

*Diskontinuálny miešač*

Je zariadenie ktoré slúži na vsádzkovú homogenizáciu. Základ tvorí valcová komora (1), upevnená na pätkách (8), na ktorých je zároveň pripevnený aj rám (6) s pohonom (10). Komora sa dá z prednej strany otvoriť a vytiahnuť z nej hriadeľ s miešacími elementami (5). V takomto otvorenom stave je možné komoru kvalitne vyčistiť, čo je veľmi dôležité hlavne v potravinárskom a farmaceutickom priemysle. K uľahčeniu manipulácie slúži rameno (7). Komora miešača sa plní cez otvor (2) a zhomogenizovaný materiál sa vyberá otvormi (3). Pre vizuálnu kontrolu vnútorného priestoru má komora na boku otvor (4).

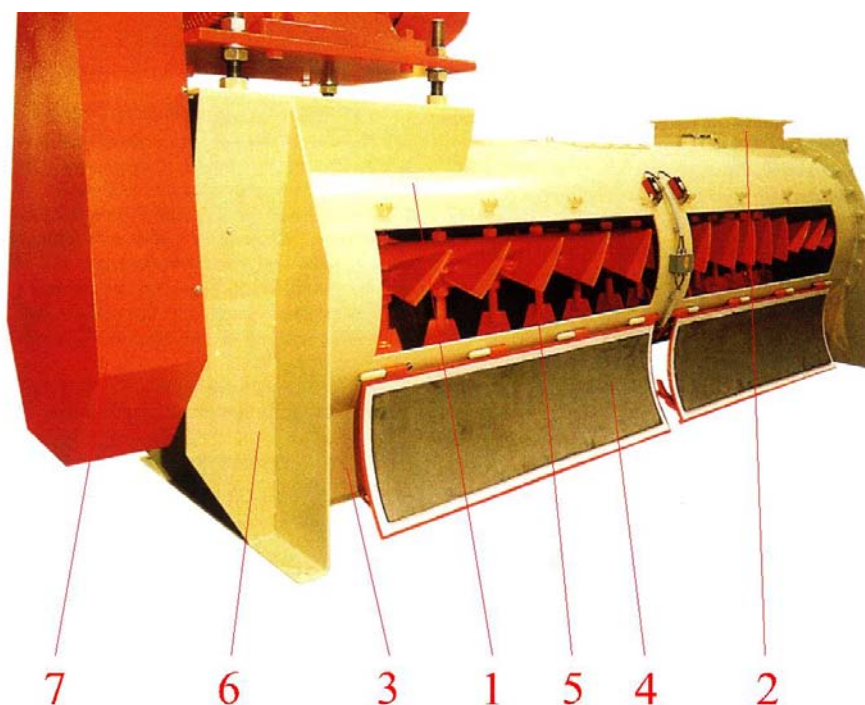


Obr. 46 Diskontinuálny miešač. a) pohľad na otvorený diskontinuálny miešač, 1. komora, 2. násypný otvor, 3. výsypné otvory, 4. kontrolný otvor, 5. hriadel' s miešacími elementami pluhového tvaru, 6. veko, 7. rameno, 8. pätky, 9. rám, 10. pohon, b) pohľad ho komory miešača, 1. komora, 2. miešacie elementy pluhového tvaru, 3. deaglomeračná vrtuľka.

V prípade homogenizácie vlhkých materiálov nastáva, vplyvom valivého pohybu materiálu vo valcovej komore homogenizátora, jav ktorý sa nazýva granulácia. To znamená že sa vo vnútri miešača vytvárajú granule guľového tvaru, ktoré v sebe obsahujú väčšie množstvo kvapaliny. Tento jav je však väčšinou nežiaduci, lebo sa výrazne znižuje kvalita homogenizácie. Preto majú miešače určené pre homogenizáciu vlhkých látok v komore deaglomeračnú vrtuľku (obr. 46b). Je sústava nožov otáčajúcich sa vysokou rýchlosťou, ktoré rozbíjajú vznikajúce granule. Tým sa zlepšuje kvalita homogenizácie.

### *Kontinuálny miešač*

Je zariadenie podobnej konštrukcie ako miešač diskontinuálny. Rozdiel je hlavne v tvare lopatiek (5), ktoré sú usporiadané tak, aby premiešavali materiál a zároveň ho aj posúvali v smere osi miešača. Materiál vstupuje do komory otvorom (1), lopatky ho postupne posúvajú smerom k výsypnému otvoru (3). Z neho vypadáva zhomogenizovaný, suchý alebo mokrý, práškový materiál. Zariadenie je uložené na ráme s pätkami (6), pričom je poháňané motorom s prevodovkou (7).



Obr. 47 Kontinuálny miešač. 1. komora, 2. vstupné hrdlo, 3. výstupné hrdlo, 4. dvere, 5. miešacie elementy, 6. rám s pätkami, 7. pohon.

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Homogenizácia a miešanie je takmer nevyhnutnou súčasťou technológií na spracovanie práškových materiálov. Používa sa tam, kde treba zhomogenizovať viac zložiek zrnitého materiálu, napr. pri výrobe hnojív. Je nevyhnutnou súčasťou farmaceutických liniek, kde kvalitná homogenizácia veľmi jemných zložiek liečiv je absolútne nevyhnutná. Využíva sa pri príprave pást pre extrúziu, napr. pri výrobe keramických nosičov katalyzátorov do automobilov. Široké uplatnenie je v potravinárstve, papierenskom priemysle. Využíva sa aj v iných špecializovaných odvetviach, ako je napr. jadrová energetika, kde sa využíva homogenizácia v technológiách pre zneškodňovanie rádioaktívneho odpadu.

### **DOPRAVA**

#### DEFINÍCIA:

Je to operácia ktorá slúži na premiestňovanie zrnitého materiálu na požadované miesto, pričom musia byť splnené určité podmienky, ktoré vyplývajú hlavne z charakteru dopravovaného materiálu. Keďže sa jedná o práškové materiály, je manipulácia s nimi spojená s prašnosťou. Preto jedna z prvoradých podmienok je zabezpečiť taký princíp dopravy a konštrukčné riešenie, aby sa zabránilo úletu materiálu mimo dopravných ciest. Okrem toho treba zohľadniť ďalšie faktory, ako je napr. klenbovanie, nalepovanie materiálu na steny dopravníkov a pod. No a samozrejme musí byť splnená podmienka potrebného dopravného výkonu, tj. dopravná cesta musí zabezpečiť prepravu potrebného množstva materiálu za požadovaný čas.

#### PRINCÍP PROCESU:

Princíp procesu je obyčajne jednoduchý. Zväčša sa využívajú mechanické dopravníky, ktorých spoločným znakom je, že pozostávajú z telesa, ktoré vytvára uzavretú komoru. V jej vnútri sa potom nachádza samotný dopravný element, čo môže byť závitovka, pružná špirála, gumový pás, reťaz s korýtkami alebo iný podobný konštrukčný prvok. Dpravovaný materiál sa potom prostredníctvom násypky dostane do priestoru kde sa nachádza dopravný element.

Tento ho dopraví na požadované miesto, kde sa vysype cez výsypný otvor zariadenia. Dopravníky môžu byť horizontálne alebo vertikálne alebo šikmé.

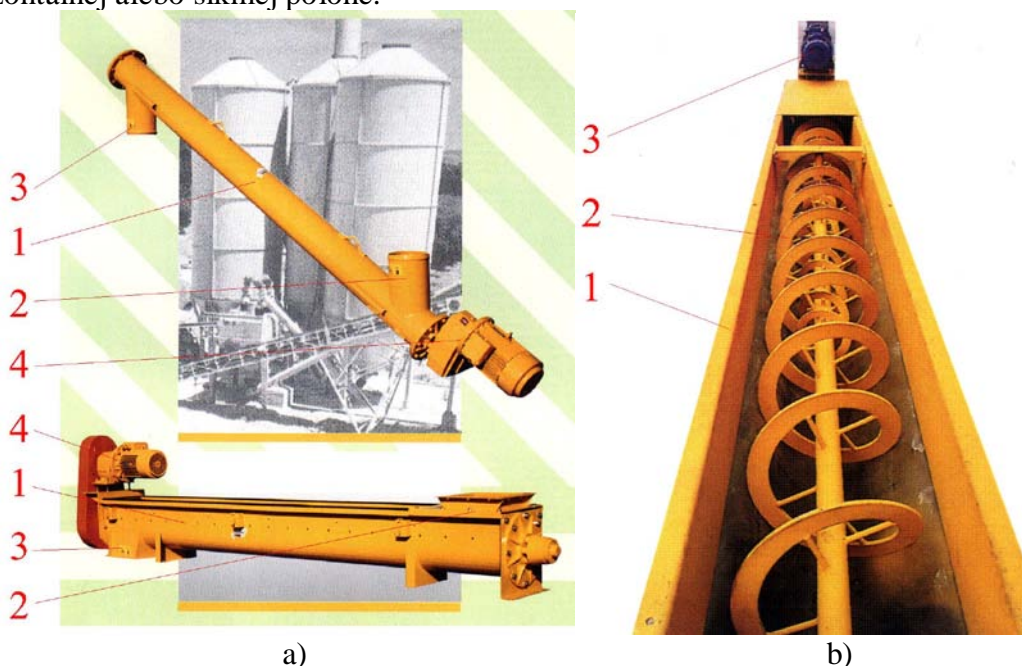
PRINCÍP VÝPOČTU:

Pri návrhu dopravníkov sa treba zamerať hlavne na výpočet rozmerov dopravníka, určenie dopravnej rýchlosti (pri pásových a korýtkových dopravníkoch) alebo otáčok závitovky (pri závitkových a špirálových dopravníkoch) a na určenie príkonu potrebného na pohon dopravníka. Okrem toho treba uvažovať s možnosťou objavenia sa rôznych nepriemerných javov, ako je hlavne zalepovanie dopravníkov pri doprave vlhkých materiálov, vytváranie klenby v ich násypkách, a pod. Obyčajne je nevyhnutné riešiť dopravník tak, aby bol prachotesný.

APARÁTY:

*Závitkový dopravník*

Jedným z najbežnejšie používaných dopravníkov je závitkový dopravník. Môže pracovať v horizontálnej alebo šikmej polohe.

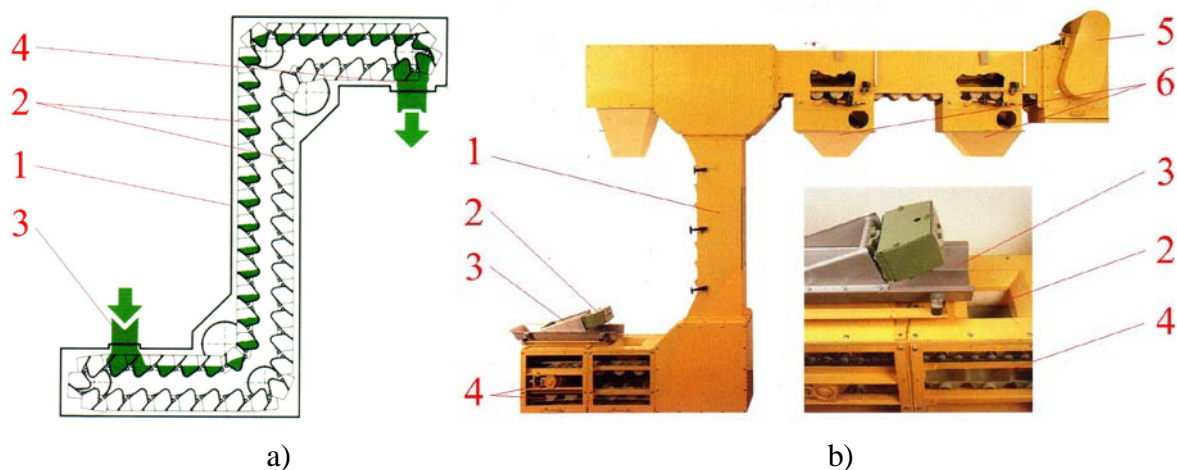


Obr. 48 Závitkový dopravník. a) pohľad na dopravníky 1. žľab, 2. násypný otvor, 3. výsypný otvor, 4. pohon závitovky, b) pohľad do dopravníka 1. žľab, 2. závitovka, 3. pohon.

Základ dopravníka tvorí teleso v tvare rúry alebo žľabu (1). Vo vnútri sa nachádza závitovka (2, obr.48b), ktorá je poháňaná elektromotorom s prevodovkou (4, obr. 48a) a (3, obr. 48b). Závitovka dopravníka býva zaplnená maximálne do 45% svojho prierezu, čo je približne po hriadeľ. V prípade preplnenia dopravníka nastávajú havarijné stavy, ako napr. upchatie dopravníka a zastavenie závitovky.

*Korčekový dopravník*

Schematický zobrazenie tohto zariadenia je na (obr. 49a). Zariadenie pozostáva z rámu, ktorý spolu s krytmi tvorí teleso dopravníka (1). V jeho vnútri sa nachádza mechanizmus kolies, na ktorých je umiestnená reťaz s korýtkami (2). Dopravovaný materiál sa nasype do korýtok cez násypný otvor (3), korýtka ho dopraví na požadované miesto a tu sa vysype cez otvor (4).

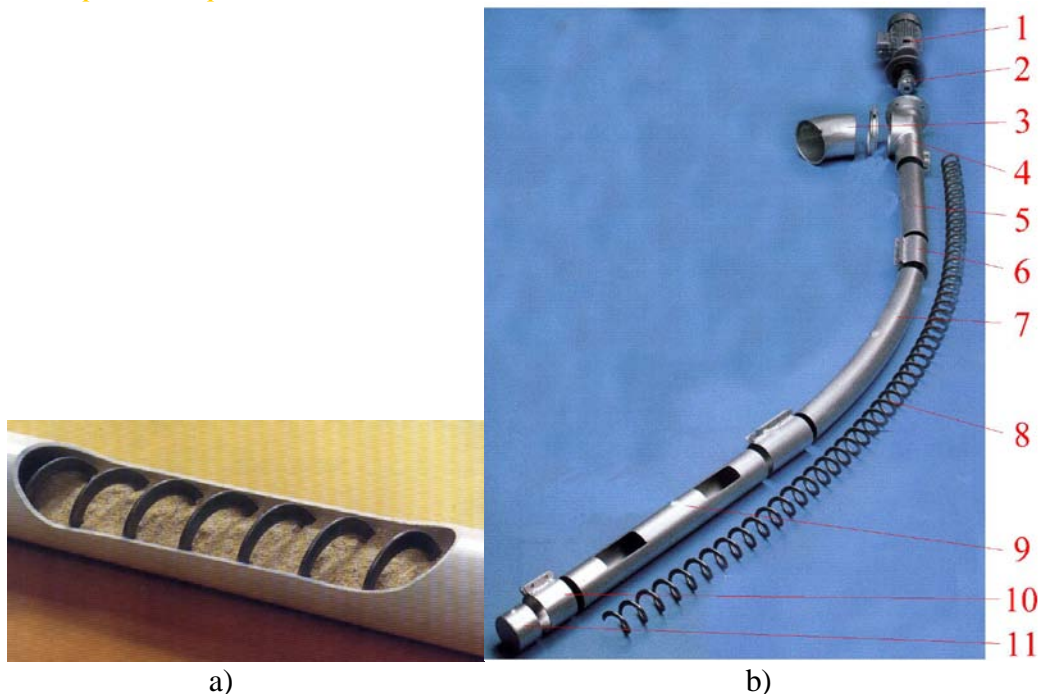


Obr. 49 Korčekový dopravník. a) schematické zobrazenie, 1. teleso dopravníka, 2. reťaz s korýtkami, 3. násypný otvor, 4. výsypný otvor, b) pohľad na dopravník, 1. teleso dopravníka, 2. násypný otvor, 3. vibračný podávač, 4. reťaz s korýtkami a mechanizmom hnacích kolies, 5. pohon reťaze elektromotorom, 6. výsypné otvory.

Pohľad na takéto zariadenie je na (obr. 49b). Zariadenie pozostáva z telesa (1), ktoré ma v dolnej časti násypný otvor (2). Aby sa materiál rovnomerne sypal do korýtok na to slúži vibračný dávkovač (3). Sústava korýtok na reťazi (4) potom dopraví materiál na požadované miesto, sa vysype cez otvory (6).

Tento typ dopravníka sa používa prevažne na vertikálnu dopravu nelepivých práškových materiálov.

*Dopravník s pružnou špirálou*



Obr. 50 Dopravník s pružnou špirálou. a) rez puzdrom s pohľadom do vnútra so špirálou a materiálom, b) pohľad jednotlivé časti dopravníka. 1. motor, 2. špeciálna spojka pre upevnenie špirály, 3. násypné hrdlo, 4. násypka, 5. rovná časť puzdra špirály, 6. spojka medzi jednotlivými časťami puzdra, 7. oblúk, 8. pružná špirála, 9. časť puzdra s výsypnými otvormi, 10. spojka na konci puzdra, 11. veko puzdra.



Dopravník s pružnou špirálou je moderným zariadením, ktoré práve v posledných rokoch má široké použitie. Základom je pružná špirála stočená z drôtu obdĺžnikového prierezu (8). Vďaka svojej pružnosti môže špirála byť použitá v puzdrach, ktoré majú oblúky až do 90°. Samotne puzdro je zostavené z priamych členov (5) a oblúkov (7). Tieto sú navzájom spojené spojkami (6). Na začiatku je násypka (3) na ktorú je pripevnený motor (1) so špeciálnou spojkou (2) na ktorú sa upevní špirála (8). Posledný člen dopravníka má výsypané otvory (9) a tiež je na ňom upevnené veko (11).

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Dopravníky predstavujú jedno z najrozšírenejších zariadení v technológiách spracovania zrnitých materiálov. Takmer žiadna z nich sa nezaobíde bez dopravy či už surovín, alebo hotového produktu.

## **TRIEDENIE**

### DEFINÍCIA:

Triedenie je proces rozdeľovania častíc, pričom sa zoskupujú do skupín podľa veľkosti.

### PRINCÍP PROCESU:

Častice sa oddeľujú prostredníctvom deliacej prepážky, sita alebo dierovaného plechu, ktorý vykonáva minimálne vibračný pohyb, často však aj pohyby zložitejšie a to v smere horizontálnom aj vertikálnom. Častice, ktorých rozmer je menší ako rozmer veľkosť otvorov v prepážke prepadávajú cez tieto otvory, väčšie častice ostávajú na prepážke. Častice ktoré prepadnú cez otvory sa nazývajú prepad a odvádzajú sa prostredníctvom dopravných ciest samostatne. Na site ostáva zvyšok, ktorý je odvádzaný inými dopravnými cestami. Triedenie sa môže uskutočňovať na jednej prepážke, kedy sa získajú dve frakcie, alebo na viacerých prepážkach, a vtedy sa získa viac frakcií.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

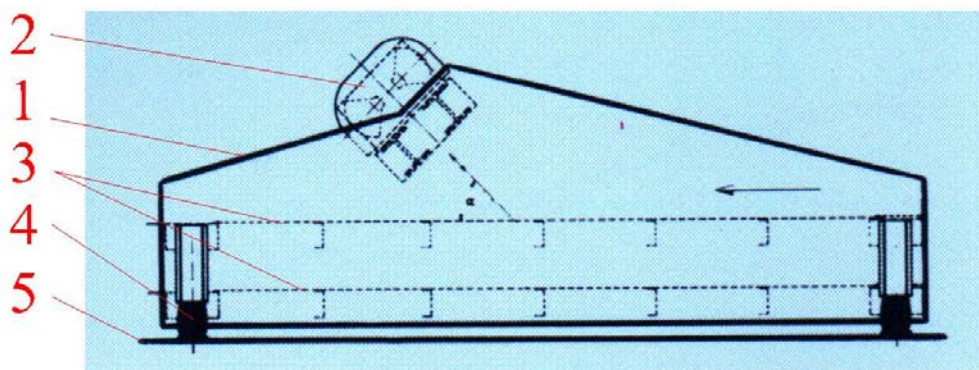
Pri návrhu triedičov je potrebné najprv poznať požadované veľkosti frakcií na ktoré má byť materiál rozdelený. Podľa tejto požiadavky sa potom vyberá zostava triediacich prepážok, väčšinou sú to dierované sitá. Ďalej treba experimentálne zmerať aká je potrebná veľkosť plochy jednotlivých sít, aby sa dosiahla požadovaná účinnosť triedenia pri zachovaní zadaného výkonu zariadenia, teda množstva vytriedeného materiálu za časovú jednotku. Na základe výsledkov meraní sa potom navrhujú rozmery sít a intenzita vibrácií, prípadne ďalších pohybov, ktoré musí zostava sít vykonávať.

### APARÁTY:

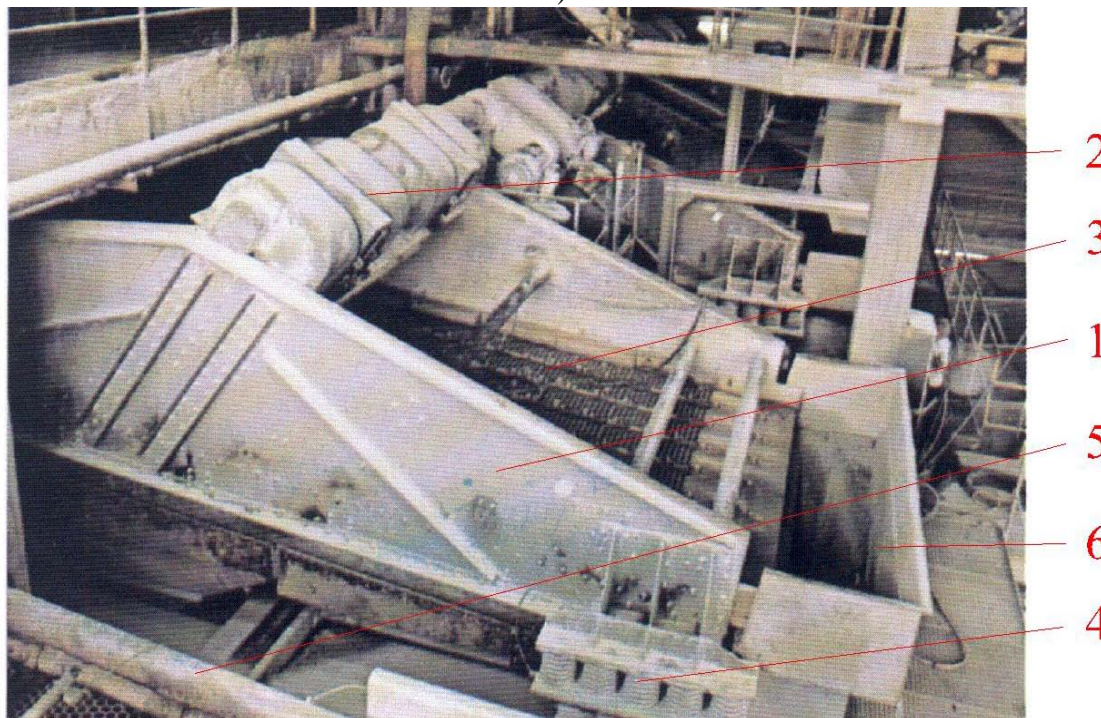
Triediče pozostávajú zo skrine do ktorej sú upevnené sitá. Táto je uložená na základovom ráme prostredníctvom pružných členov. Pohyb sít spolu so skriňou zabezpečujú budiče vibrácií, ktoré môžu byť elektromagnetické alebo mechanické.

### *Šikmý obdĺžnikový triedič*

Základ zariadenia tvorí skriňa (1), v ktorej je upevnené sito, alebo zostava sít (3). Skriňa je uložená na základovom ráme (5) prostredníctvom pružných členov (napr. pružín) (4). Pohyb skrine sa zabezpečuje vibračnými členmi (2), v tomto prípade sú to elektromotory s excentrami na hriadeloch. Materiál ktorý ostáva nad sitom vypadáva cez výsypanie (6).



a)



b)

Obr. 51 Šikmý obdĺžnikový vibračný triedič. a) schematické znázornenie triediča, b) pohľad na triedič, 1. skriňa. 2. vibračné členy, 3. sito, 4. pružné uloženie skrine na ráme, 5. základový rám, 6. výsyпка.

### *Kruhový vibračný triedič*

Tento typ triediča (obr. 52b) pozostáva zo sústavy kruhových sít (4), (6), ktoré sú poukladané nad sebou a navzájom oddelené dilatačnými prstencami s výsypnými hrdlami (5). Zostava sít a prstencov je potom položená na nádobe s výsypným otvorom pre najjemnejší podiel (3). Táto nádoba je upevnená na pružinách (1). Tieto sú spojené so skriňou s mechanizmom (2), ktorý ju potom uvádza do pohybu.

Princíp činnosti je na (obr. 52e). Triedený materiál sa sype cez hrdlo na vekú triediča (8, obr. 52b) na sito s najväčšími okami. Zrná materiálu, ktoré sú menšie ako rozmery ôk tohto sita prepadáva na nižšie sito s menšími okami atď. V spodnej časti zostavy je nádoba pre najjemnejší podiel, ktorá má plné dno. Materiál ktorý je zachytený na jednotlivých sitách potom odchádza výsypnými hrdlami.

Na (obr. 52d) je znázornený pohyb sita. Je vidieť, že sa jedná o zložitý pohyb, pozostávajúci z pohybu, vertikálneho a horizontálneho, pričom sa sito ešte aj pootáča okolo svojej osi.

Takýto zložitý pohyb je dôležitý z toho dôvodu, aby sa zabezpečilo kvalitné triedenie a zároveň aby sa zabránilo zanášaniam ôk sita triedenými časticami.

Ak ani takýto pohyb nie je postačujúci pre zabránenie zanášaniam sita, zvykne sa pod sito umiestniť rošt (6, obr.52b) a na neho sa položia guľky (obr. 52c). Vplyvom vibrácií guľky nadskakujú na rošte a udierajú na sito so spodnej strany, teda v opačnom smere ako postupuje triedený materiál. Tak častice, ktoré ostanú zachytené v ôkoch, sú z nich vyrazené von. Tým sa udržuje sito čisté.



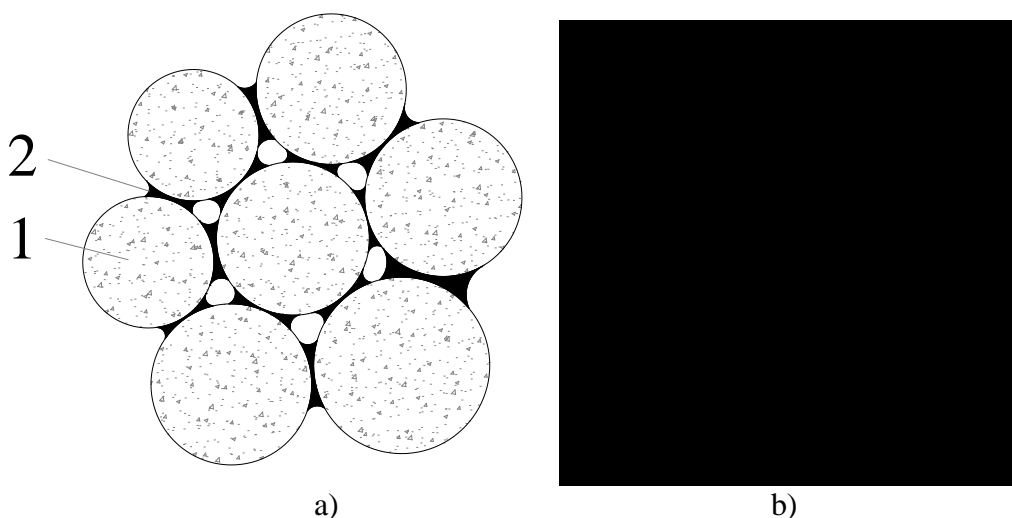
Obr. 52 Kruhový vibračný triedič. a) pohľad na triedič, b) zostava triediča, 1. pružiny, 2. podstavec s pohonným mechanizmom, 3. nádoba s výsypaným otvorom pre najjemnejší podiel, 4. sito pre najjemnejší podiel, 5. dilatačný prstenec s výsypaným hrdlom, 6. rošt, 7. sito pre najhrubší podiel, 8. veko s výsypaným hrdlom pre najhrubší podiel, c) rošt s guľkami, d) schematické znázornenie pohybov sita, e) schematické znázornenie triedenia.

PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Podobne ako predchádzajúce zariadenia, aj triediče majú široké uplatnenie a sú súčasťou takmer každej technológie pre spracovanie zrnitých materiálov. Používajú sa pre triedenie suroviny pred vstupom do aparátov, čím sa zabezpečia požadované veľkosti častíc v proces. Tiež sa používajú na konci technológií na triedenie produktov.

**NABAĽOVACIA GRANULÁCIA**DEFINÍCIA:

Nabaľovacia granulácia je proces pri ktorom sa vplyvom valivého pohybu zrnitej látky, väčšinou počas pridávania určitého množstva kvapaliny, začínajú jednotlivé častice spájať do väčších celkov, ktoré sa nazývajú aglomeráty. Jednotlivé častice držia v aglomerátoch prostredníctvom kvapalinových mostíkov, ktoré vznikajú v mieste kontaktu týchto častíc.



Obr. 53 Aglomerát. a)detail aglomerátu, 1. častica, 2. kvapalinové mostíky, 2. produkt vo forme aglomerátov.

PRINCÍP PROCESU:

Nabaľovacia granulácia využíva spájanie častíc partikulárnej látky prostredníctvom kvapalinových mostíkov. Väčšinou sa k tomu využíva rotujúci disk, sklonený po určitých uhlom, do ktorého sa dopravuje partikulárna látka a v optimálnom pomere sa tiež nastrekuje kvapalina. Vplyvom valivého pohybu v disku sa začínajú vytvárať aglomeráty. Ich veľkosť závisí od pomeru suchého práškového materiálu a kvapaliny. Čím viac sa nastrekuje kvapaliny, tým sú aglomeráty väčšie. Existuje však určitá hranica v množstve nastrekovanej kvapaliny, ktorá ak sa prekročí tak sa už prestanú vytvárať samostatné aglomeráty, ale nastane spájanie jednotlivých aglomerátov do väčších celkov (zhluky aglomerátov) a celý produkt sa znehodnotí.

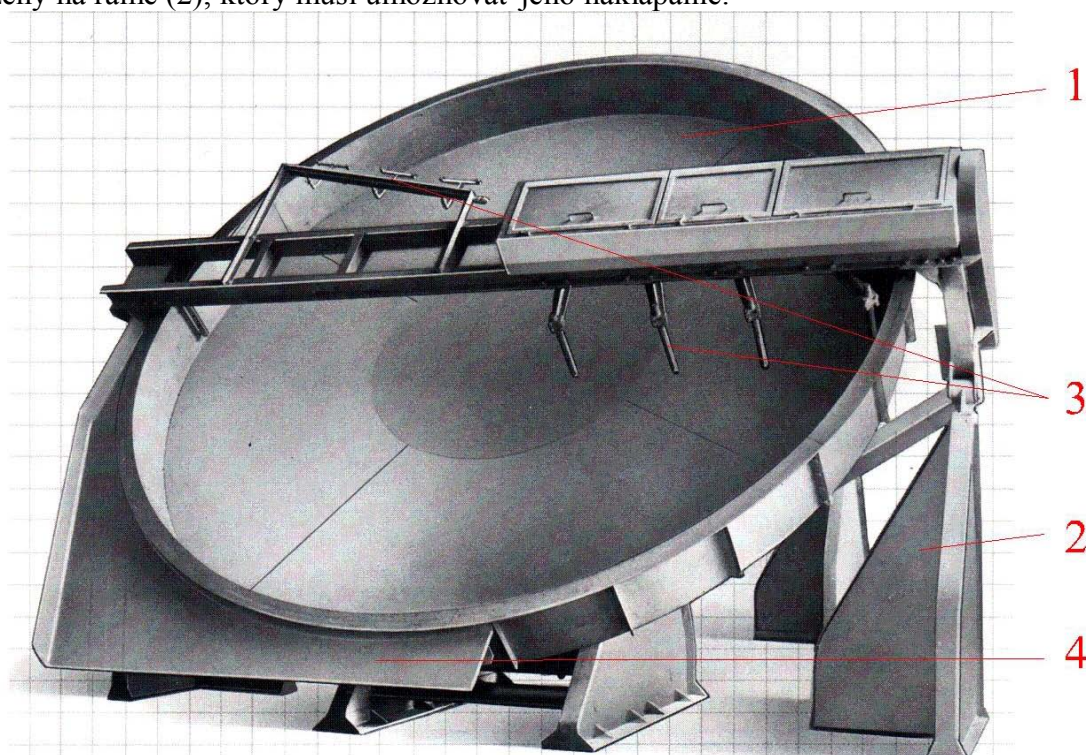
Dôležitým prvkom aglomerácie je práve kvapalina. Pokiaľ je aglomerát v mokrom stave, kvapalina vytvára mostíku a aglomerát drží v celku. Po vysušení však kvapalina zmizne a tým by sa aglomerát rozpadol. Preto je potrebné, aby kvapalina rozpustila povrch častíc v mieste kontaktu a po vysušení tam vznikne tuhý mostík zo samotného materiálu. Druhá možnosť je použiť takú kvapalinu, ktorá po vysušení kvapalnej zložky zanechá v mieste kontaktov tuhú fázu, ktorá v nej bola predtým rozpustená. To znamená, že kvapalina musí mať vlastnosti lepidla.

PRINCÍP VÝPOČTU:

Návrh zariadení a parametrov procesu sa zameriava hlavne na určenie optimálnych rozmerov disku, t.j. jeho priemeru, hĺbky a sklonu pre požadovaný výkon. Z hľadiska samotného procesu aglomerácie sa hľadajú optimálne otáčky disku, veľkosť príkonu potrebného na pohon disku a pomer dávkovaného práškoveho materiálu a kvapaliny. Opäť nie je možné sa vyhnúť laboratórnym pokusom a na základe výsledkov získaných z laboratórneho zariadenia sa potom navrhujú parametre prevádzkového zariadenia.

**APARÁTY:**

Granulačné disky sú svojou konštrukciou relatívne jednoduché zariadenia. Celý proces aglomerácie prebieha v tanieri (1), ktorý je sklonený pod určitým uhlom. Zrnitý materiál sa do neho dopravuje napr. dávkovačom, ktorý môže byť umiestnený nad tanierom. Do taniera sa tiež nastrekuje kvapalina z trysiek (3). Hotový aglomerát vypadáva cez výsypku (4). Tanier je uložený na ráme (2), ktorý musí umožňovať jeho naklápanie.



Obr. 54 Granulačný disk. 1.tanier, 2. rám, 3. trysky, 4. výsypka.

**PRIEMYSLÉNÉ APLIKÁCIE**

Aglomerácia má široké uplatnenie. Využíva sa na úpravu jemných práškových materiálov do väčších celkov, aglomerátov. Tým sa znižuje prašnosť veľmi jemných zrnitých materiálov, zlepšujú sa tokové vlastnosti, to znamená že sa znižuje napr. náchylnosť aglomerovaného produktu na klenbovanie. Okrem toho je možné využiť aglomeráciu na spojenie viacerých zložiek do jedného celku. V takom prípade sa prášková zmes pripraví v miešači, kde sa zhomogenizujú jednotlivé zložky. Takáto zmes sa potom dávkuje do taniera a spolu s vhodnou tekutinou vytvára aglomeráty. Toto sa využíva napr. pri výrobe viaczložkových hnojív. S výhodou sa využíva táto operácia aj na obalovanie povrchu častíc inou látkou. Toto je rozšírené v potravinárskom priemysle, kde typickým produktom sú rôzne obalované cukríky.

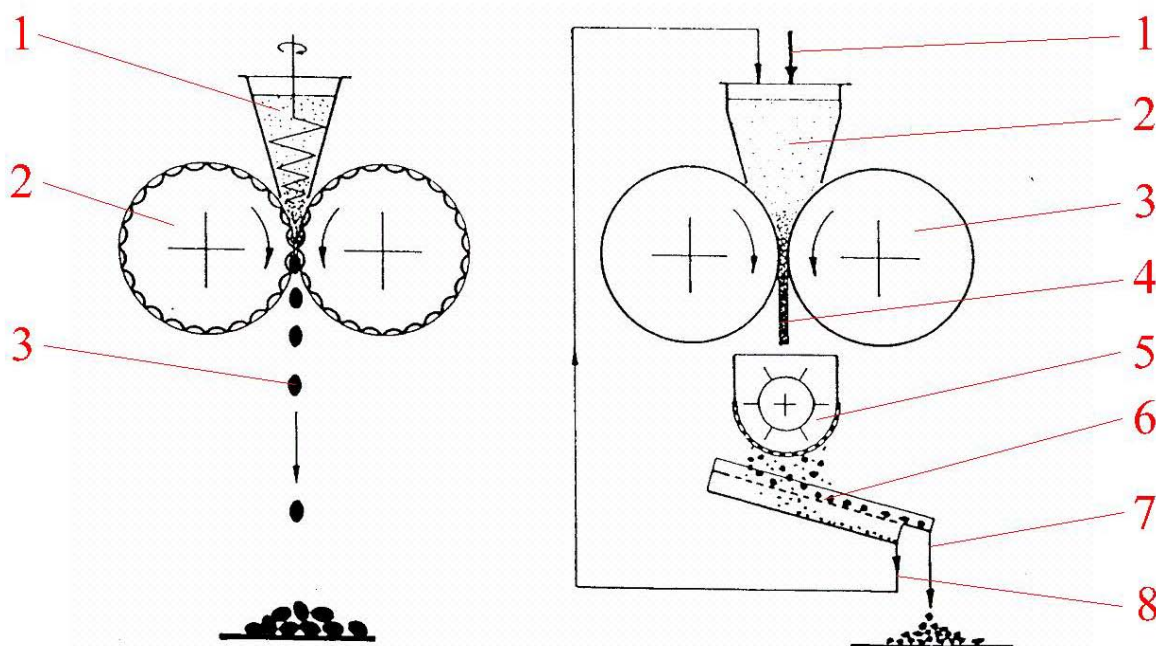
## KOMPAKTOVANIE

### DEFINÍCIA:

Je to proces vysokotlakového lisovania (kompaktovania), ktorý je založený na zhutňovaní účinkom mechanického tlaku. Tento tlak sa vytvorí pri prechode práškoveho materiálu zhutňovacou zónou medzi dvomi proti sebe sa otáčajúcimi valcami. Podľa toho či je povrch valcov profilovaný alebo hladký, sa získajú brikety (granuly väčšieho objemu a definovaného tvaru), alebo súvislý pás zlisovaného materiálu, ktorý sa v ďalšom zariadení rozpojí na granulát (malé granuly rôzneho tvaru).

### PRINCÍP PROCESU:

Vstupnou surovinou pre kompaktovanie je zrnitý materiál, alebo zmes zrnitých materiálov pripravená predchádzajúcou operáciou, miešaním. Takto pripravený práškový materiál je potom dopravovaný do násypky kompaktora, nad valce. Potom vplyvom gravitácie alebo núteného plnenia je materiál vťahovaný medzi valce, kde je stláčaný. Účinok tlaku na častice sa prejaví tak, že sa ich povrchy priblížia k sebe tak blízko, že začnú vnikat' tvarové väzby medzi nerovnosťami na ich povrchy, alebo sa začínajú uplatňovať van Der Waalsove medzimolekulárne sily a podobné väzobné mechanizmy. Výsledkom je zhutnený a súdržný materiál vo forme granúl alebo brikiet. Kompaktovanie je proces, kedy sa práškový materiál spracováva väčšinou v suchom stave. V prípade potreby sa pridávajú tuhé (napr. vosky) alebo kvapalné pojivá. Ich objem však musí byť veľmi malý, lebo vplyvom vysokých tlakov pri lisovaní by kvapalina bola vytlačená z pórov.

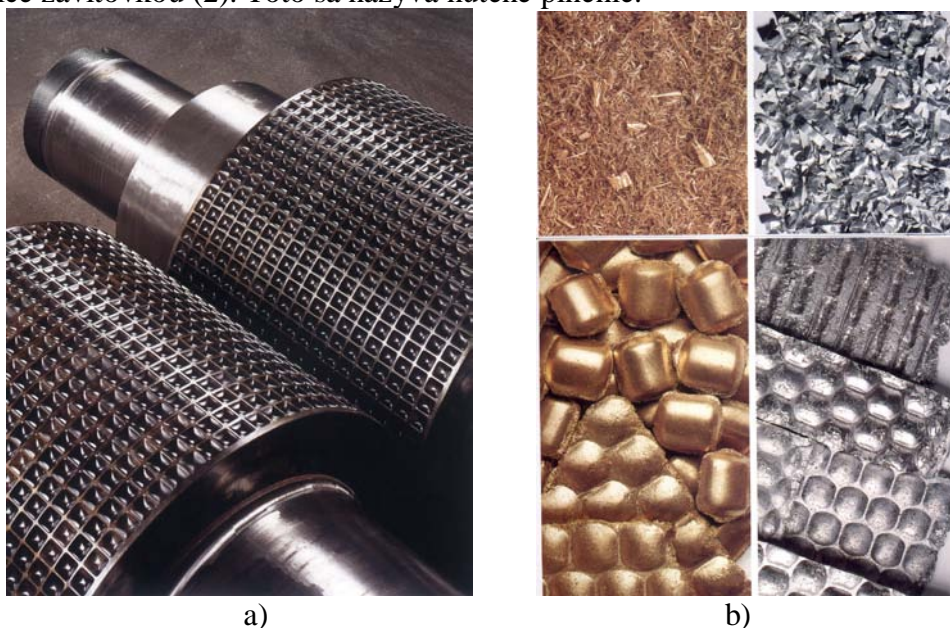


Obr. 55 Kompaktovanie medzi valcami. a) briketovanie, 1. násypka so závitovkou, 2. profilované valce, 3. brikety, b) lisovanie, 1. čerstvý materiál, 2. násypka, 3. valce, 4. zlisovaný pás, 5. drvič, 6. triedič, 7. produkt, 8. recykél.

### Briketovanie

Je to proces kompaktovania zrnitých materiálov pri ktorom majú valce profilovaný povrch (obr. 56a) a produkt má tvar brikiet (3), rozmermi a tvarom odpovedajúcich povrchu valcov (obr. 56b). Vzhľadom na profilovaný povrch valcov a teda potrebu väčšieho množstva

materiálu a zároveň aj vyšších lisovacích tlakov, je nutné zrnitý materiál z násypky tlačiť medzi valce závitovkou (2). Toto sa nazýva nútené plnenie.



Obr. 56 Briketovanie. a) povrch valcov pre briketovanie, b) produkt briketovania, v hornej časti obrázku je surovina a dole brikety.

#### *Lisovanie medzi hladkými valcami*

V tomto prípade je povrch valcov hladký. Pre dosiahnutie potrebného lisovacie tlaku je väčšinou postačujúce gravitačné plnenie (2). Do násypky (2) sa dopravuje čerstvý materiál a recykel. Materiál vlastnou tiažou padá medzi valce (3), kde sa lisuje do súvislého pásu (4). Tento sa potom drví v drviči (5) na aglomeráty rádovo väčšie ako sú častice zrnitého materiálu pred na vstupe do valcov. Aglomeráty sa potom triedia (6). Tie ktoré majú požadované rozmery odchádzajú z triediča (6) ako produkt (7). Častice ktoré prepadnú cez sito triediča sa dopravujú späť do násypky kompaktora ako recykel (8). Recykel predstavuje 25-45% z materiálu na výstupe z kompaktora.

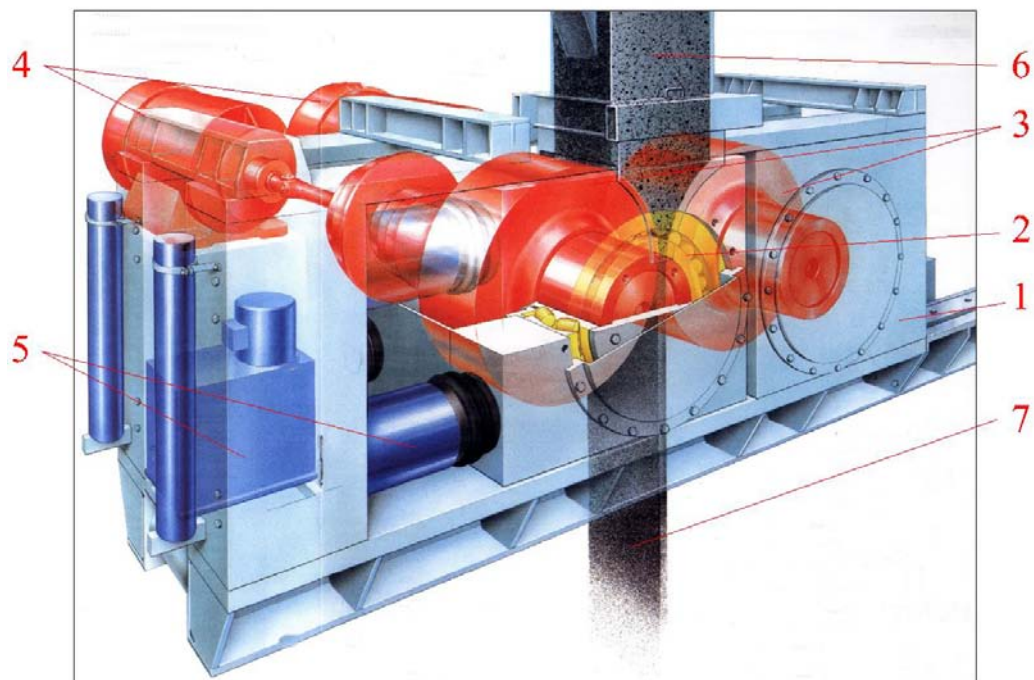
#### PRINCÍP VÝPOČTU:

Pri návrhu kompaktora sa opäť vychádza z výsledkov experimentov získaných na laboratórnom zariadení. Pri týchto meraniach sa sleduje veľkosť lisovacej sily medzi valcami, výkon zariadenia (množstvo zlisovaného materiálu) pri určitých otáčkach a hustota výliskov. Potom na základe dostupných teórií, napr. Johansonovej, vypočítajú sa parametre prevádzkového kompaktora. Je to priemer valcov, ktorý ovplyvňuje hlavne veľkosť lisovacej sily, šírka valcov a ich otáčky, ktoré ovplyvňujú výkon zariadenia.

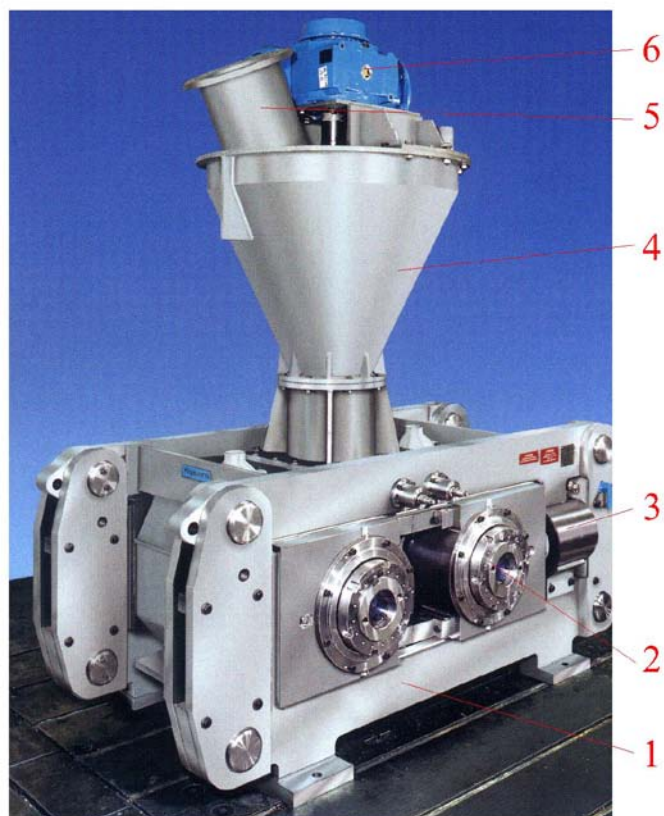
#### APARÁTY:

Kompaktor pozostáva z valcov (3, obr. 57) ktoré sa otáčajú proti sebe, pričom vťahujú do medzery medzi nimi materiál z násypky (6). Z kompaktora vychádza zlisovaný pás materiálu (7). Valce sú poháňané motormi (4). Kompaktor má ešte jeden veľmi dôležitý okruh, ktorý je pozostáva z hydraulických piestov s ovládacou sústavou. Jeden z dvojice valcov je v ráme (1) uložený posuvne a je opretý o hydraulické piesty. Ich úlohou je pritláčať tento valec o druhý valec, ktorý je uložený nepohyblivo. Tlak v hydraulických piestoch sa dá nastaviť a tým sa zabezpečuje potrebná lisovacia sila. Zároveň však toto riešenie slúži ako bezpečnostný prvok. V prípade, že sa medzi valce dostane kus materiálu, ktorý tam nemal byť, napr. kovový

úlomok, valec opretý a hydraulické piesty sa môže posunúť, to umožňuje konštrukcia hydraulického okruhu, a tým sa zabráni poškodenie povrchu valcov.



Obr. 57 Schéma kompaktora. 1. rám, 2. ložiskové domčeky, 3. valce, 4. motor, 5. hydraulický okruh, 6. násypka s materiálom, 7. zlisovaný materiál.



Obr. 58 Pohľad na kompaktor. 1. rám, 2. ložiskové domčeky, 3. hydraulický okruh, 4. násypka s núteným plnením, 5. hrdlo pre dopravu materiálu do násypky, 6. pohon závitovky núteného plnenia.



Na (obr. 58) je zobrazený pohľad na kompaktor. Základ tvorí rám (1), v ňom sú uložené ložiskové domce hriadeľov (2), pričom jeden z dvojice valcov je opretý o hydraulické piesty (3). Vo vrchnej časti kompaktora je násypka s núteným plnením (4). Nútené plnenie je tvorené závitovka (1, obr. 55). Je poháňaná prevodovkou s elektromotor (6). Materiál sa do násypky dopravuje cez otvor (5).

### PRIEMYSLÉNÉ APLIKÁCIE

Kompaktor predstavuje jedno z najpožívanejších zariadení v technológiách na spracovanie práškových materiálov. Používa sa hlavne vo farmaceutickom priemysle, kde je vyrobený z nehrdzavejúcej ocele. Slúži na výrobu tabletiék. Široké uplatnenie má v chemickom priemysle, napr. pri výrobe hnojív. Typickým produktom sú komplexné krmivá pre zvieratá. Využíva sa pri recyklácii odpadov, kedy sa rôzne práškové odpady kompaktujú do väčších celkov, aglomerátov.

## TABLETOVANIE

### DEFINÍCIA:

Je to proces vysokotlakového jednoosového lisovania, ktorý je založený na zhutňovaní účinkom mechanického tlaku. Tento tlak sa vytvorí v stlačení práškového materiálu vo forme, obyčajne dvomi, proti sebe sa pohybujúcimi piestami.

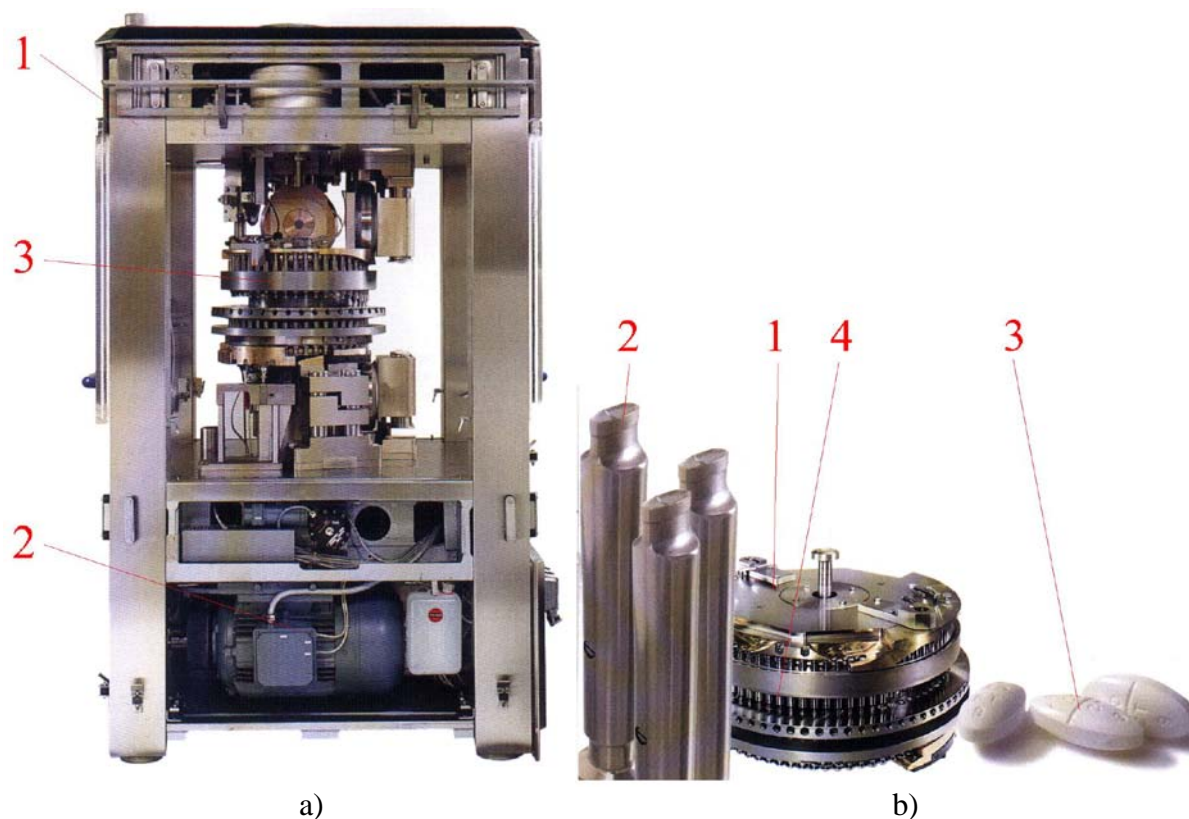
### PRINCÍP PROCESU:

Princíp procesu je rovnaký ako pri kompaktovaní. Uplatňujú sa tu rovnaké väzbové mechanizmy medzi časticami.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

Je potrebné experimentálne určiť veľkosť lisovacej sily, ktorá je potrebná na stlačenie prášku do takej miery, aby vznikla tabletká s požadovanou pevnosťou, tvarom a rozmermi..

### APARÁTY:



Obr. 59 Tabletovačka. a) pohľad na zariadenie, 1. rám, 2. pohon, 3. tabletovacia hlava, b) 1. tabletovacia hlava, 2. razníky, 3. tabletky, 4. razníky s formami.

Hoci je princíp tabletovania jednoduchý, samotné zariadenie má pomerne zložitú konštrukciu. Pozostáva z rámu (1) s pohonom (2). Samotné jadro zariadenia tvorí tabletovacia hlava (3). V nej sa nachádzajú razníky s formami (4, obr. 59). Vertikálny pohyb razníkov je zabezpečený špeciálnou konštrukciou vačkových mechanizmov. Pohyby razníkov sú synchronizované tak, že umožňujú naplnenie foriem práškom, nasledovné stlačenie a posledným krokom je vytlačenie hotovej tabletky z formy.

### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Najrozšírenejšie použitie je vo farmaceutickom priemysle, pri výrobe liečiv vo forme tabletiiek. Uplatnenie sa nachádza však v iných oblastiach chemického a potravinárskeho priemyslu.

## EXTRÚZIA

### DEFINÍCIA:

Extrúzia systémov s partikulárnou tuhú fázou je proces, pri ktorom sa vlhký práškový materiál vytlačí cez profilované dýzy a tvaruje do aglomerátov. Táto technológia sa výhodne využíva hlavne pri látkach, ktoré sú v pastovitom stave (napr. filtračné koláče, usadeniny, kaly a pod.). Obyčajne postačuje upraviť ich vlhkosť a extrudovať ich.

### PRINCÍP PROCESU:

Základom procesu extrúzie je príprava pasty. Tejto operácii sa musí venovať veľká pozornosť. Pasta pozostáva z jemnozrnej partikulárnej tuhej fázy a jej póry sú zaplnené kvapalnou a plynnou fázou. Príprava pasty sa uskutočňuje homogenizáciou tuhej, práškovej, fázy s kvapalnou. Využívajú sa na to rôzne typy miešačov. Takto pripravená pasta sa potom dopraví do extrudéra. Extrudér je zariadenie, ktoré silovým elementom, závitovka alebo piest, pohybujúcim sa v puzdre, vytlačí pastu cez profilovanú dýzu, ktorá je umiestnená na konci puzdra.

### PRINCÍP VÝPOČTU:

Proces extrúzie je pomerne komplikovanou operáciou. Hlavný problém je v tom, že pasta je viacfázový a viacfázový systém. Môže obsahovať rôzne zložky práškoveho charakteru a okrem toho musí obsahovať kvapalinu. Kvapalina vyplňuje póry medzi zrnami práškoveho materiálu. Takýto systém je potom počas extrúzie stláčaný, čo má za následok že kvapalina môže uniknúť z pórov. Keďže reologické vlastnosti pasty závisia od objemu kvapaliny v póroch, jej úbytok môže spôsobiť výrazné zmeny reologických vlastností, nárast extrúzneho tlaku a zhoršenie kvality produktu.

Aj pri návrhu extrudérov je nevyhnutné spraviť určité experimenty a na základe ich výsledkov navrhnuť zariadenie. Experimenty sa musia zamerať na dva základné okruhy.

Najprv je potrebné venovať pozornosť príprave pasty. Je potrebné zabezpečiť jej také zloženie, aby produkt dosahoval potrebné parametre. Potom treba venovať pozornosť práve javu úniku kvapaliny z pórov. V prípade potreby je možné pridať látky ktoré tento jav obmedzia.

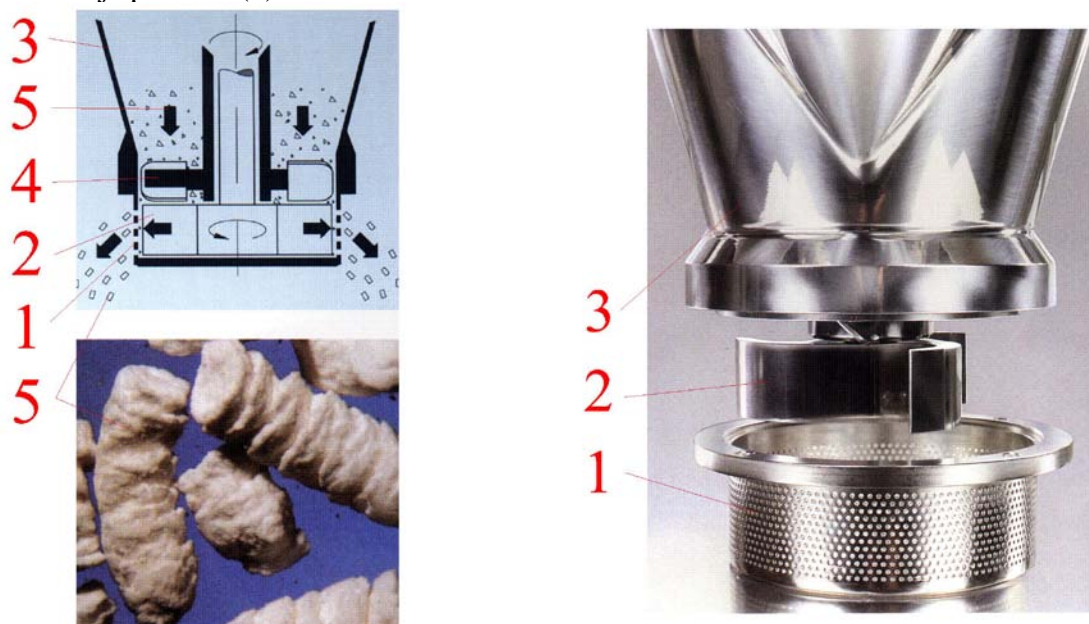
V ďalšom kroku je potrebné vyskúšať takto pripravenú pastu extrudovať. Používajú sa na to zariadenia rôznej konštrukcie. Počas experimentov sa sleduje hlavne kvalita produktu a meria sa tlak potrebný na vytlačenie pasty.

Na základe týchto poznatkov sa potom navrhujú rozmery zariadení.

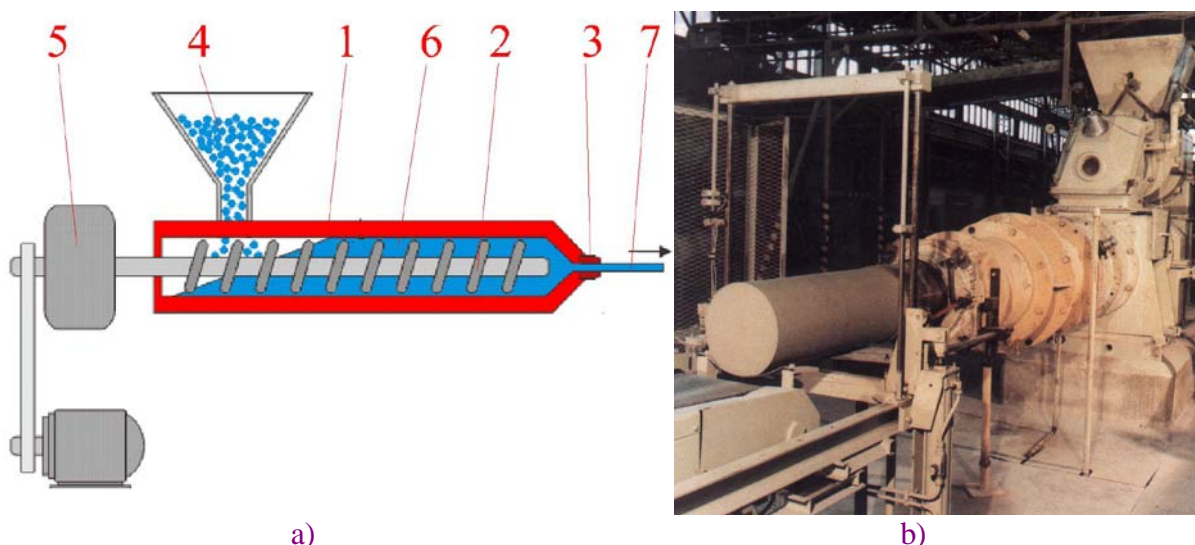
### APARÁTY:

Existuje viacero princípov a konštrukčných riešení extrudérov. Na (obr. 60) je radiálny extrudér. Základ tvorí dierovaná matrica v tvare valca (1). Po jej povrchu sa pohybuje lopatka

(2), ktorá pretláča cez matricu pastu (5). Táto je sem podávaná lopatkami (4) z násypky (3). Výsledkom je produkt (5) v valcového tvaru .



Obr. 60 Radiálny extrudér. 1. matrica, 2. pretláčacia lopatka, 3. násypka, 4. lopatka, 5. pasta, 5. produkt.



Obr. 61 Axiálny extrudér. a) princíp extrúzie, 1. puzdro, 2. závitovka, 3. matrica, 4. násypka, 5. pohon závitovky, 6. pasta, 7. produkt. b) pohľad na extrudér.

Podobným spôsobom pracuje axiálny extrudér (obr. 61). Základ tvorí puzdro (1) s násypkou (4) a matricou (3). Vo vnútri sa nachádza závitovka (2) poháňaná motorom s prevodovkou (5). Pasta (6) je dopravovaná závitovkou a vytlačaná cez matricu, v ktorej otvor má tvar požadovaného produktu (7). Na (obr. 61b) je zobrazený extrudér, kde produktom je výrobok valcového tvaru.

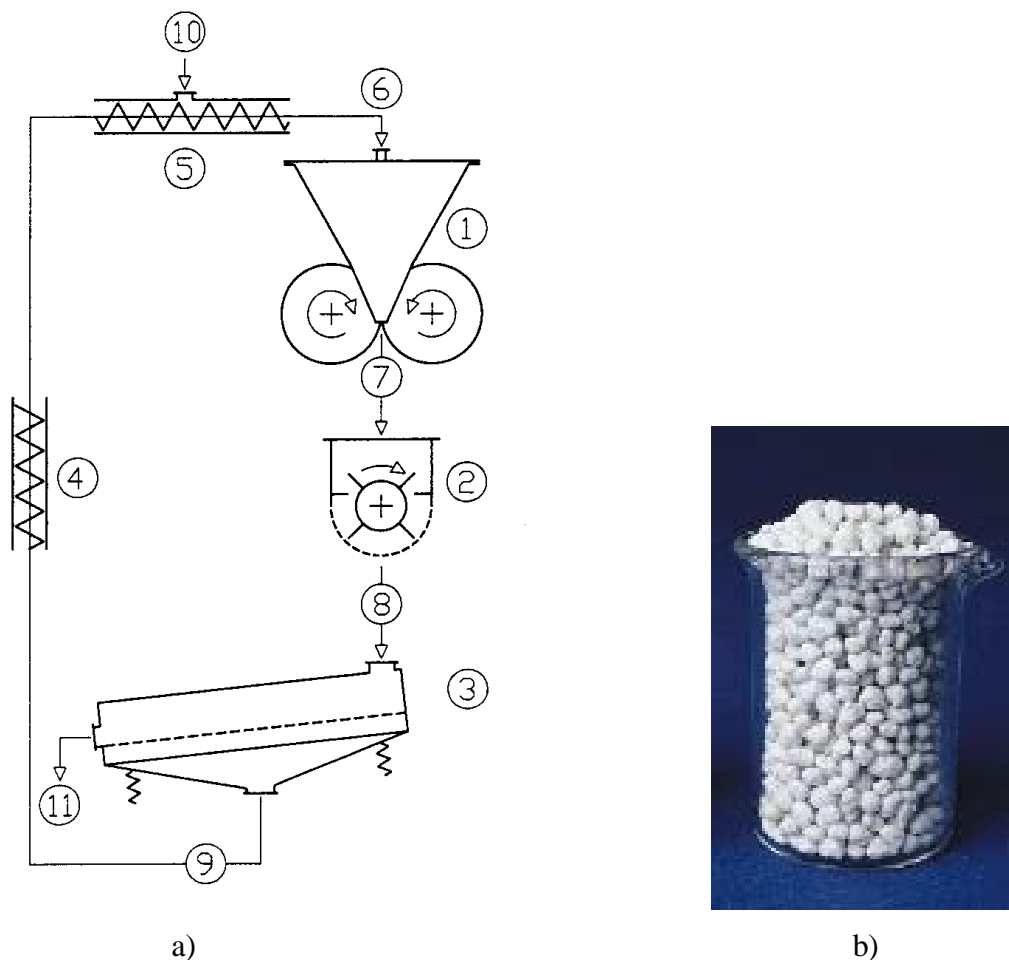
### PRIEMYSLENÉ APLIKÁCIE

Extrúzia patrí k rozšíreným operáciám v priemysle. Využíva sa na výrobu tüh, nosičov katalyzátorov do automobilov, keramických rúr, v priemysle stavebných hmôt, na granuláciu chemikálií, vo farmaceutickom priemysle a pod.

Okrem toho má výrazné uplatnenie v c potravinárstve, kde sa používa na výrobu instantných cestovín, špagiet a rôznych expendovaných produktov.

## PRÍKLAD TECHNOLOGIE S VYUŽITÍM KOMPAKTOVANIA

Na základe požiadavky priemyslu bola vyvinutá technológia aglomerácie viaczložkových minerálnych hnojív. Aglomeračná linka mala výkonom 2000 kg/h a produkovala polydisperzný granulát s veľkosťou častíc 2 – 5 mm.



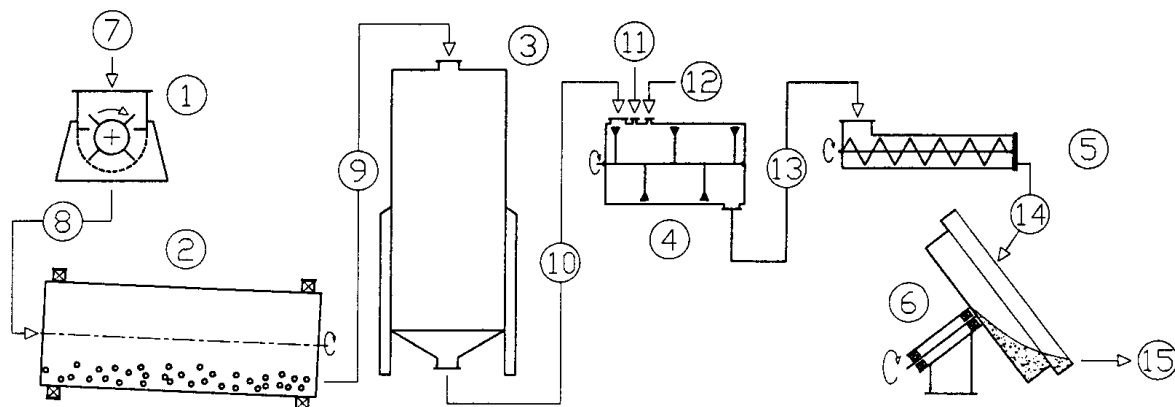
Obr. 62 Technológia tlakovej granulácie priemyselných hnojív a) 1. kompaktor, 2. lámač, 3. triedič, 4. vertikálny dopravník, 5. horizontálny dopravník, 6. surovina, 7. kompakovaný materiál, 8. polámaný materiál, 9. podsitný podiel, 10. čerstvý materiál, 11. granule, b) produkt vo forme granúl.

Základ technológie tvorí dvojvalcový kompaktor (1), v ktorom sa lisovaním získava súvislý pevný pás materiálu (7). Tento sa v ďalšom stupni drví. Na túto operácie je použitý kladivkový mlyn (2). Granulát, ktorý sa takto získa sa potom triedi navibračnom triadiči (3) na dve frakcie. Nadsitný podiel je produkt (11). Podsitný podiel, recykel (9), sa dopravuje závitkovými dopravníkmi (4) a (5) späť do násypky kompaktora. Zároveň sa do dopravníka (5) dávkuje aj čerstvý materiál (10), ktorý sa počas dopravy sa premiešava s recyklom. Táto zmes (6) sa potom vracia do kompaktora (1).

## PRÍKLAD TECHNOLOGIE S VYUŽITÍM EXTRÚZIE

Táto technológia je príkladom ako je možné granuláciu využiť na recyklácii druhotných surovín. Bola navrhnutá pre recykláciu starého skla, pričom produkt bol ľahký granulovaný stavebný materiál s výbornými tepelno - izolačnými vlastnosťami.

Základ technológie tvorí extrúzia skleneného prachu zmiešaného s vodou v optimálnom pomere, čím sa získa pasta. V následnom kroku sa v rotujúcom disku, vplyvom valivého pohybu, získajú granule guľovitého tvaru.



Obr. 63 Granulácia mletého skla 1. kladivkový mlyn, 2. gul'ový mlyn, 3. zásobník, 4. homogenizátor, 5. extrudér, 6. rotačný tanier, 7. sklo, 8. zlomové sklo, 9. mleté sklo na skladovanie, 10. mleté sklo do homogenizátora, 11. expandačná prísada, 12. voda, 13. pasta, 14. extrudovaný materiál, 15. oválne granule.

Odpadové sklo (7) sa drví kladivkovom mlyne (1) na menšie kusy (8) v gul'ovom mlyne (2) na jemný prášok (9). Tento sa uskladňuje v zásobníku (3) a z neho sa odoberá (10) do homogenizátora (4). Tu sa pridáva špeciálna prísada (11) a voda (12). Pasta (13) sa dopravuje do extrudéra (5), kde sa zhutňuje a prechodom cez otvory matrice predtvaruje. Extrudát (14) padá do rotujúceho taniera (6), kde vplyvom valivého pohybu vzniká polydisperzný granulát oválneho tvaru predpísanej veľkosti (15). Tento sa potom dopravuje na ďalšie spracovanie – sintrovanie a expandovanie.

### ZOZNAM SYMBOLOV

$a_i$	- konštanta rovnice modulu stlačiteľnosti	[ - ]
$b$	- exponent rovnice modulu stlačiteľnosti	[ - ]
$b_1, b_2, b_3, b_4$	- parametre mocninového modelu	[ - ]
$d$	- priemer piesta oedometra	[ m ]
$d_i$	- i - ty prepad na site	[ kg ]
$d_J$	- priemer komory Jenikeho prístroja	[ m ]
$d_{vi}$	- priemer i - tej častice	[ m ]
$d_{vi min}$	- minimálny ekvivalentný rozmer i - tej častice vo frakcii	[ m ]
$d_{vi max}$	- maximálny ekvivalentný rozmer i - tej častice vo frakcii	[ m ]
$d_A$	- ekvivalentný priemer častice podľa priemetu	[ m ]
$d_V$	- ekvivalentný priemer častice podľa objemu	[ m ]
$h$	- okamžité stlačenie partikulárnej látky v oedometri	[ m ]
$h_k$	- výška kužeľa hromady partikulárnej látky	[ m ]
$h_0$	- výška vzorky partikulárnej látky v oedometri pred začiatkom	[ m ]

	testu	
$m$	- hmotnosť partikulárnej látky v oedometri	[ kg ]
$m_g$	- hmotnosť plynnej fázy	[ kg ]
$m_i$	- hmotnosť $i$ - teho zvyšku	[ kg ]
$m_{i+1}$	- hmotnosť $i$ - teho prepadu	[ kg ]
$m_l$	- hmotnosť kvapaliny	[ kg ]
$m_s$	- hmotnosť tuhej fázy	[ kg ]
$m_{si}$	- hmotnosť $i$ - tej častice partikulárnej látky	[ kg ]
$m_{1c}$	- celková hmotnosť vzorky partikulárnej látky pre sitovú analýzu	[ kg ]
$n_i$	- početnosť	[ - ]
$p_l$	- podlhovatosť častice	[ - ]
$p_t$	- plochosť častice	[ - ]
$r_i$	- $i$ – ty zvyšok na site	[ kg ]
$r_j$	- polomery kružníc vpísaných do plochy priemetu častice	[ m ]
$r_v$	- polomer najväčšej kružnice, ktorú možno vpísať do celého priemetu častice	[ m ]
$w$	- absolútna hmotnostná koncentrácia	[ - ]
$x_i$	- veľkosť oka sita	[ m ]
$A_i$	- plocha priemetu častice	[ m <sup>2</sup> ]
$B$	- šírka častice	[ m ]
$D_i$	- úhrrný prepadez $i$ - te sito	[ % ]
$D_{vi}$	- frakčný priemer častice	[ m ]
$F$	- sila	[ N ]
$F_d$	- vertikálna sila pri došmyku	[ N ]
$F_i$	- $i$ – ta normálová sila pri meraní vonkajšieho uhlu trenia	[ N ]
$F_k$	- konsolidačná sila pri šmykovom teste	[ N ]
$E_p$	- modul objemového pretvorenia	[ Pa ]
$G$	- tiaž piesta oedometra	[ N ]
$R_i$	- úhrrný zvyšok na $i$ - tom site	[ % ]
$R_k$	- polomer kužeľa hromady partikulárnej látky	[ m ]
$L$	- dĺžka častice	[ m ]
$S$	- saturácia	[ - ]
$S_p$	- plocha piesta oedometra	[ m <sup>2</sup> ]
$S_J$	- prierez komory Jenike prístroja	[ m <sup>2</sup> ]
$T$	- hrúbka častice	[ m ]
$T_d$	- šmyková sila pri došmyku	[ N ]
$T_i$	- $i$ – ta šmyková sila pri meraní vonkajšieho uhlu trenia	[ N ]
$T_k$	- šmyková sila odpovedajúca konsolidačnému zaťaženiu	[ N ]
$V_l$	- objem kvapaliny v póroch	[ m <sup>3</sup> ]
$V_p$	- objem pórov	[ m <sup>3</sup> ]
$V_{pS}$	- objem pórov striasanej partikulárnej látky	[ m <sup>3</sup> ]
$V_s$	- objem tuhej fázy	[ m <sup>3</sup> ]
$V_{sg}$	- objem suchej partikulárnej látky	[ m <sup>3</sup> ]
$V_{si}$	- objem $i$ – tej častice partikulárnej látky	[ m <sup>3</sup> ]
$V_{sl}$	- objem vlhkej partikulárnej látky	[ m <sup>3</sup> ]
$V_{slg}$	- objem partikulárnej látky	[ m <sup>3</sup> ]
$\alpha_k$	- sypný uhol	[ ° ]
$\alpha_z$	- zaoblenie	[ - ]
$\varphi_i$	- vnútorný uhol trenia	[ ° ]
$\varphi_w$	- vonkajší uhol trenia	[ ° ]

$\rho$	- okamžitá objemová hmotnosť partikulárnej látky počas stláčania v oedometri	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_s$	- hustota materiálu	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{si}$	- hustota častice	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{sg}$	- objemová hmotnosť suchej partikulárnej látky	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{slg}$	- objemová hmotnosť partikulárnej látky	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{slgS}$	- objemová hmotnosť striasanej partikulárnej látky	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_0$	- počiatočná objemová hmotnosť partikulárnej látky na začiatku testu stlačiteľnosti v oedometri	[ kg.m <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	- normálové napätie	[ Pa ]
$\sigma_d$	- normálové napätie pri došmyku	[ Pa ]
$\sigma_i$	- i - ta hodnota normálového napätia	[ Pa ]
$\sigma_k$	- konsolidačné normálové napätie	[ Pa ]
$\sigma_0$	- normálové napätie na začiatku testu stlačiteľnosti v oedometri	[ Pa ]
$\sigma_1$	- prvé hlavné napätie	[ Pa ]
$\sigma_2$	- druhé hlavné napätie	[ Pa ]
$\tau_d$	- šmykové napätie pri došmyku	[ Pa ]
$\tau_i$	- i - ta hodnota šmykového napätia	[ Pa ]
$\tau_k$	- konsolidačné šmykové napätie	[ Pa ]

### LITERATÚRA

- [1] J. Feda, "Základy mechaniky partikulárných látok", Academia Praha 1997.
- [2] J. Novosad, "Mechanika sypkých hmot", Skriptum, Vysoká škola chemicko - technologická Praha, Praha 1983.
- [3] J. Bendow, J. Bridgwater, "Paste Flow And Extrusion", Clarendon Press-Oxford 1993.
- [4] V. Jindra, "Mechanické pochody", Vysokoškolské skriptum, Edičné stredisko SVŠT v Bratislave, 1984.
- [5] M. Hubert, "Stlačiteľnosť partikulárnych látok", Diplomová práca, KCHSZ SJF STU, Bratislava, 1994.
- [6] W. Pietsch "Size enlargement by agglomeration", John Wiley & Sons, 1991.

### OTÁZKY NA SKÚŠKU

1. Definícia partikulárnej látky. Vybrané vlastnosti partikulárnych látok:

- tvar častíc
- frakčné zloženie a krivky úhrnného prepadu a zvyšku
- sypný uhol
- kohezivita
- stlačiteľnosť
- vnútorný a vonkajší uhol trenia

2. Operácie, aparáty a technologické linky na spracovanie partikulárnych látok. Základné princípy a schémy. Princíp výpočtu jednotlivých operácií.