

PARTIKULÁRNE LÁTKY

DEFINÍCIA

Partikulárna látka

V chemickom, potravinárskom priemysle, ale aj v dennom živote a v domácnosti, sa veľmi často pracuje s látkami vo forme práškov alebo granúl. Sú to látky a produkty ako napríklad síra, soľ, rôzne gumárenské chemikálie, priemyselné hnojivá, práškový alebo kryštálový cukor, obilie, múka, ale aj skladovaná repa, zemiaky, ovocie, zelenina, lesné plody, cement, piesok, instantná káva, detergenty, granulované hnojivá, komplexné granulované krmivo pre zvieratá, ale tiež napr. aj sneh je partikulárnou látkou.

Z uvedených príkladov je vidieť, že pod pojmom „partikulárna látka“ sa skrýva široký okruh látok a materiálov.

Tieto látky majú spoločné vlastnosti, ktoré vyhovujú definícii partikulárnej látky [1].



Obr.1 Partikulárna látka. a) partikulárna látka tvorená vzájomne sa dotýkajúcimi časticami, b) primárna častica s vnútornými a vonkajšími pórmi c) agregát z primárnych častíc spojených pevnými väzbami do jedného celku - častice.

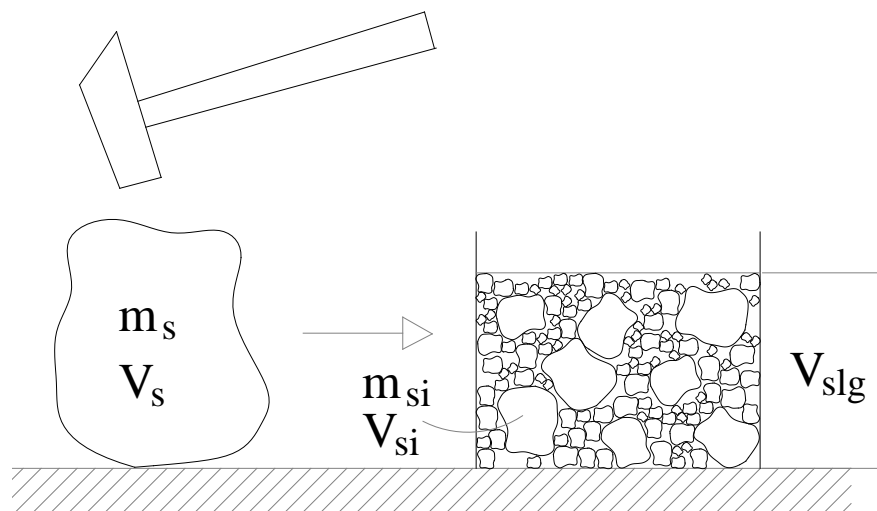
Za tuhú časticu možno považovať z mechanického hľadiska tú časť skeletu partikulárnej látky, ktorá sa správa ako jeden celok (obr.1 b), c)), napr. pri pohybe látky počas vysýpania. Takto vymedzenou tuhú časticou môže byť aj agregát (zhhluk, hrudka) jemnejších častíc (obr.1 c)).

Tuhé častice partikulárnej látky sa navzájom dotýkajú. Kontakty medzi nimi obmedzujú voľnosť pohybu jednotlivých častíc, t.j. ich pohybovú autonómiu a tým podmieňujú pevnosť a tuhosť partikulárnej látky ako celku.

Častice nemusia mať povrch hladký, môžu na ňom byť póry a póry môžu byť tak isto vo vnútri častíc alebo agregátu (obr.1). Póry týchto častíc môžu byť povrchové (otvorené póry) alebo vnútorné (uzavreté póry).

Ako môže vzniknúť partikulárna látka?

Napríklad tak, že sa zoberie hruda určitého materiálu (napr. v ápenec) o hmotnosti m_s a objeme V_s a táto sa rozdrví (napr. v mlyne). Vznikne práškový materiál, alebo inak tiež nazývaný partikulárna látka. Ak sa tento prášok nasype do nádoby, tak zaberie objem V_{slg} , ktorý pozostáva z jednotlivých častíc o hmotnosti m_{si} , objeme V_{si} a z objemu pórov V_p medzi nimi. Potom je možné napísať základné bilančné rovnice pre partikulárnu látku.



Obr.2 Príklad vzniku partikulárnej látky drvením.

- hustota materiálu (napr. horniny) :

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1)$$

- hustota častice:

$$\rho_{si} = \frac{m_{si}}{V_{si}} \quad (2)$$

kde m_{si} je hmotnosť i – tej častice, V_{si} je objem i – tej častice a zároveň platí:

$$\rho_s = \rho_{si} \quad (3)$$

- objemová hmotnosť partikulárnej látky:

$$\rho_{slg} = \frac{\sum m_{si}}{\sum V_{si} + \sum V_p} \quad (4)$$

kde V_p je objem vonkajších pórov.

Okrem tohto spôsobu, partikulárne látky vznikajú prirodzenou činnosťou prírody, napr. piesok, zemiaky, štrk, ... a pod.

Ďalší spôsob ich vzniku je priemyselná výroba. Veľmi často je práškový, alebo zrnitý materiál, výsledkom chemickej reakcie v reaktore.

- **Takto zadefinovaná látka má fyzikálno - mechanické vlastnosti, ktoré sa nachádzajú medzi vlastnosťami tuhých telies a tekutín.**
- **Ak sa skúmajú vlastnosti a mechanika pohybu JEDNOTLIVÝCH ČASTÍC, potom je možné použiť postupy a zákony platné pre mechaniku tuhého telesa.**
- **Ak sa skúmajú vlastnosti a mechanika pohybu PARTIKULÁRNEJ LÁTKY ako celku, potom je možné použiť pojmový aparát, postupy a zákony, ktoré platia skôr pre tekutiny.**

Keďže častice tuhého skupenstva tvoria základ partikulárnych látok, ich vlastnosti sa skúmajú z pohľadu mechaniky tuhého telesa. Uplatňuje sa pri tom tzv. štruktúrny prístup, pri ktorom sa skúmajú vzájomné interakcie medzi časticami a vlastnosti častíc ako jednotlivých telies. Tento prístup je však náročný a pre praktické aplikácie nie je príliš vhodný.

Ak sa skúma partikulárna látka ako celok, používa sa teda tzv. fenomenologický prístup, jej vlastnosti sa skúmajú podobným spôsobom ako pri tekutinách. To znamená, že sa skúma ako sa rozloženie tlaku v závislosti od vonkajšieho zaťaženie, a to či už je látka v pokoji alebo pohybe. V prípade, ak je prášok v pohybe, napr. pri vyprázdňovaní sila alebo zásobníka, skúma sa, podobne ako pri tekutinách, tvar rýchlostného poľa, tlakový gradient, reologické vlastnosti, vonkajšie trenie a pod.

PARTIKULÁRNE LÁTKY – PROBLEMATICKÁ SKUPINA MATERIÁLOV

- Vplyv vonkajšieho prostredia, napr. atmosferickej vlhkosti
- Vplyv doby a spôsobu skladovania a manipulácie
- Vplyv spôsobu vzniku častíc
- Nebezpečenstvo výbuchu
- Iné faktory

Štúdium správania sa partikulárnych látok počas manipulácie s nimi a pri ich spracovaní je veľmi obtiažne. Na rozdiel od látok v tuhom, kvapalnom alebo plynnom stave, sú vlastnosti týchto partikulárnych látok ovplyvnené rôznymi faktormi. Práve skutočnosť, že partikulárna látka pozostáva obyčajne zo všetkých troch skupenstiev spôsobuje značné problémy.

Napr. veľmi jemné prášky menia svoje mechanické vlastnosti už pod vplyvom atmosferickej vlhkosti. Stačí aby bol prášok voľne uložený, a pôvodne suchý, absorbuje do seba vlhkosť a menia na jeho vlastnosti, čo sa prejaví pri manipulácii s ním. Známy je príklad so soľou, ktorá ak zvlhne, vytvára hrudy a je problém ju vysypať z vreca.

Podobné problémy spôsobuje napr. dlhodobé skladovanie vo vreciach. Prášok vlastnou tiažou vytláča vzduch z pórov medzi časticami, tieto sa približujú viac k sebe, vytvárajú sa nové kontakty a súdržné sily medzi časticami a tak sa menia mechanické vlastnosti prášku, ktoré sa prejaví počas manipulácie s ním a pri jeho spracovaní.

Ďalšou veľmi nebezpečnou a nepríjemnou vlastnosťou, hlavne práškových materiálov organického pôvodu (napr. obilie, múka, ...) je výbušnosť. Ak sa v uzavretom priestore vytvorí kritická koncentrácia prášku rozptýleného vo vzduchu a je zároveň aj dostatočný prístup kyslíka, stačí určitá iniciačná energia, napr. iskra medzi kontaktmi elektrického vypínača a nastane výbuch. Sú známe prípady explózie mlynov na obilie.

VÝSKYT V PRÍRODE

zemiaky, jablká, pšenica, jačmeň, kávové zrná, piesok, štrk, uhlie, sneh, ľadové krúpy, ...atď...

VÝSKYT V PRIEMYSELE

cement, granulované hnojivá, granulovaný polyetylén, liečivá vo forme tabletiiek, instantná káva, kakao, cornflakes, detergenty, pigmenty do farieb, náplne tonerov, cukor, cestoviny, atď...

Z tohto krátkeho úvodu je zrejmé, že PARTIKULÁRNE LÁTKY tvoria veľkú skupinu materiálov, s ktorými sa STRETÁVAME KAŽDÝ DEŇ a to aj bez toho, aby sme si uvedomili, že ich produkty, ktoré sú z nich vyrobené, SÚ SPRACOVÁVANÉ V ZLOŽITÝCH TECHNOLOGIÁCH a samotný proces je spojený S VEĽKÝM MNOŽSTVOM PROBLÉMOV. V odbornej terminológii sa označujú tiež ako prášky, sypké zrnité látky, granule, aglomeráty.

ZÁKLADNÉ POJMY

Nestriasaná hustota partikulárnej látky

Hustota partikulárnej však závisí aj od toho, akým spôsobom sa s ňou manipuluje. Pokiaľ sa prášok voľne nasype do nádoby, a zmeria sa jeho hustota, táto sa nazýva nestriasaná hustota (4).

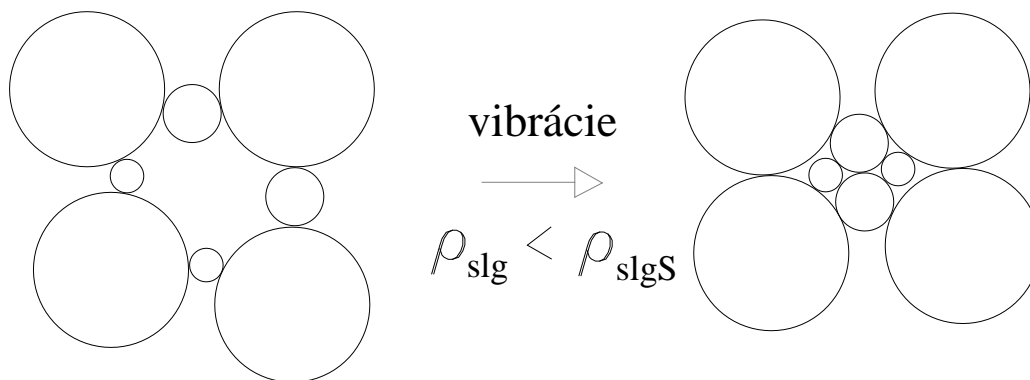
Striasaná hustota partikulárnej látky

Ak je však partikulárna látka nasype do nádoby a potom nádoba sa položí napr. na striasacie zariadenie, partikulárna látka získa väčšiu hustotu. Vibrácie spôsobia to, že častice sa preskupia tak, že menšie častice vyplnia póry medzi väčšími časticami a tým sa zmenší jej výsledný objem. Objem, ktorý zaberajú častice $\sum V_{si}$ ostáva rovnaký a tiež aj hmotnosť častíc. Zmenší sa však objem pórov $\sum V_{pS}$.

teda platí $\sum V_p > \sum V_{pS}$

$$\rho_{slgS} = \frac{\sum m_{si}}{\sum V_{si} + \sum V_{pS}} \quad (5)$$

Je dôležité si uvedomiť túto skutočnosť, pretože partikulárne látky sa málokedy nachádzajú v prostredí bez vibrácií. Ak je napr. takáto látka skladovaná v zásobníku, ktorý je umiestnený v blízkosti železnice, môžu otrasy, spôsobené prechádzajúcimi vlakmi, spôsobiť zmenu hustoty partikulárnej látky v zásobníku a tým aj napríklad spôsobiť problémy s jeho vyprázdňovaním.



Obr.3 Usporiadanie častíc v partikulárnej látke nestriasanej a striasanej.

Ako príklad je možné opäť uviesť vápenec. Hustota jeho častíc je približne $\rho_s = \rho_{si} = 2762 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Avšak hustota vápenca, ako partikulárnej látky, závisí od jemnosti jeho mletia. Môže byť napr. nestriasaná $\rho_{slg} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a striasaná $\rho_{slgS} = 1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Hustota tuhej fázy

Je hmotnosť tuhej fázy pripadajúca na jednotku jej objemu a je daná vzťahom (1).

Objemová hmotnosť suchej partikulárnej látky

Je v rozsahu tejto práce definovaná ako súčet hmotnosti tuhej Σm_{si} a plynnej m_g fázy pripadajúca na jednotku objemu V_{sg} , ktorý spolu zaberajú. Objem V_{sg} je definovaný rozmermi nádoby, do ktorej sa nasype suchá partikulárna látka pri stanovení hmotnosti.

$$\rho_{sg} = \frac{m_g + \sum m_{si}}{V_{sg}} \quad (6)$$

Objemová hmotnosť vlhkej partikulárnej látky

Je v rozsahu tejto práce definovaná ako súčet hmotnosti tuhej Σm_{si} a kvapalnej m_l fázy pripadajúca na jednotku objemu V_{sl} , je definovaný rozmermi nádoby, do ktorej sa odoberie pasta pri stanovení jej hmotnosti. Hmotnosť plynnej fázy, ak je náhodou prítomná v paste, sa zanedbáva.

$$\rho_{sl} = \frac{m_l + \sum m_{si}}{V_{sl}} \quad (7)$$

Saturácia partikulárnej látky kvapalinou

Definuje zaplnenie pórov partikulárnej látky kvapalinou.

$$S = \frac{V_l}{V_p} \quad (8)$$

kde V_l je objem kvapaliny obsiahnutej v póroch a V_p je objem pórov. Na (obr. 4) sú znázornené základne stavy saturácie partikulárnej látky.

a) suchá partikulárna látka

Objem kvapaliny $V_l = 0$, je to tzv. suchá partikulárna látka, vtedy je stupeň nasýtenia pórov $S = 0$.

b) kvapalina absorbovaná na povrchu častíc

c) kvapalinové mostíky - pendulárny stav,

d) prechodný stav - funikulárny stav

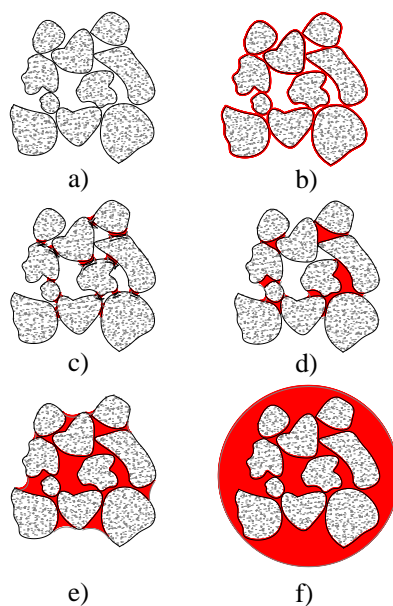
Objem kvapaliny je $V_l > 0$, je to znamená, že póry obsahujú určité množstvo kvapalnej fázy, vtedy je stupeň nasýtenia pórov $0 < S < 1$. V póroch sa okrem kvapaliny nachádza aj plynná fáza.

e) plne saturovaný stav – kapilárny stav

Objem kvapaliny je $V_l = V_p$, to znamená, že póry obsahujú určité množstvo kvapalnej fázy, vtedy je stupeň nasýtenia pórov $S = 1$. V póroch sa nachádza len kvapalina.

f) kvapka

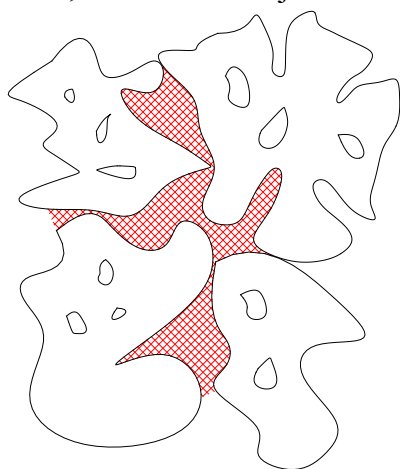
Objem kvapaliny je v týchto troch stavoch $V_l > V_p$, je to znamená, že póry sú zaplnené kvapalinou, ktorej je však prebytok. Vtedy je stupeň nasýtenia pórov $S > 1$. To znamená, že častice partikulárnej látky sú ponorené v kvapaline.



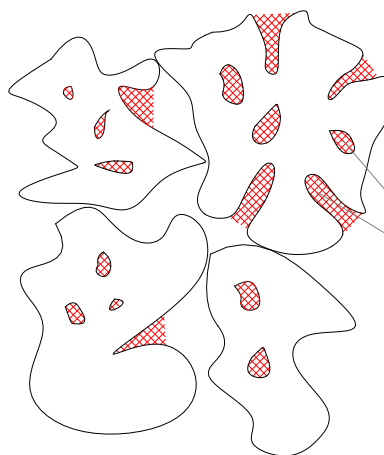
Obr.4 Schematické znázornenie rôznych saturácií partikulárnej látky kvapalinou. a) suchá, b) kvapalina absorbovaná na povrchu častíc, c) kvapalinové mostíky - pendulárny stav, d) prechodný stav – funikulárny stav, e) plne saturovaný stav – kapilárny stav, f) kvapka.

Medzerovitost' a pórovitosť

Medzerovitost' predstavuje objem medzier, ktoré vzniknú v partikulárnej látke medzi časticami, ktoré sú vo vzájomnom kontakte (obr.5).



Obr.5 Medzerovitost'



Obr.6 Pórovitosť

Pórovitosť častice je tvorená pórmí povrchovými alebo vnútornými (uzatvorené) v tuhých časticiach partikulárnej látky (obr. 6) vtedy. V rozsahu tejto práce sa pod týmto pojmom bude rozumieť objem povrchových pórov v tuhých časticiach a objem medzerovitosti. Je to teda objem, ktorý môže byť zaplnený kvapalnou fázou.

Vlhkosť

V rozsahu tejto práce sa pod týmto výrazom bude rozumieť absolútna hmotnostná koncentrácia kvapalnej fázy v sústave, pričom sa uvádza v percentách.

$$w = \frac{m_l}{m_s + m_l} \quad (9)$$

kde m_l je hmotnosť kvapaliny a m_s je hmotnosť tuhej fázy – partikulárnej látky

Partikulárna látka suchá

Je partikulárna látka v zmysle svojej definície, ktorá však neobsahuje žiadnu kvapalnú fázu. Pozostáva len z fázy tuhej, tvorenej časticami, pričom póry sú zaplnené len plynnou fázou. Saturácia je $S = 0$ (obr.4a).

Partikulárna látka vlhká

Je partikulárna látka v zmysle svojej definície, ktorá však obsahuje kvapalnú fázu. Pozostáva teda z fázy tuhej, tvorenej časticami, pričom póry sú zaplnené plynnou fázou a kvapalnou fázou. Saturácia je $0 < S < 1$ (obr.4b, c, d).

Pasta

Je partikulárna látka v zmysle svojej definície, ktorá však obsahuje len kvapalnú fázu. Pozostáva teda z fázy tuhej, tvorenej časticami, pričom póry sú zaplnené kvapalnou fázou. Saturácia je $S = 1$ (obr.4e).

Tokové vlastnosti partikulárnych látok

Pod týmto pojmom sa rozumie súbor parametrov charakterizujúcich správanie sa partikulárnej látky počas jej pohybu, napr. doprave, vysýpaní zo zásobníka a pod. Do skupiny týchto parametrov patrí napr. sypný uhol, vnútorný uhol trenia, vonkajší uhol trenia, Hausnerov pomer a pod.

Vo všeobecnosti možno zjednodušene povedať, že partikulárna látka má zlé tokové vlastnosti ak počas dopravy napr. v závitovkovom dopravníku upchá dopravník, alebo ak sa napr. pri vyprázdňovaní zásobníkov vytvára klenby, čo je veľmi častý problém. Po otvorení výsypného otvoru vytvorí partikulárna látka nad ním klenbu a zásobník nie je možné vyprázdniť.

VYBRANÉ LÁTKOVÉ VLASTNOSTI

Tvar, veľkosť, povrch častíc

Častice predstavujú základné prvky partikulárnych látok. Ich fyzikálno-chemické vlastnosti a tvar ovplyvňujú správanie sa partikulárnej látky ako celku.

FYZIKÁLNO - CHEMICKÉ VLASTNOSTI ČASTÍC

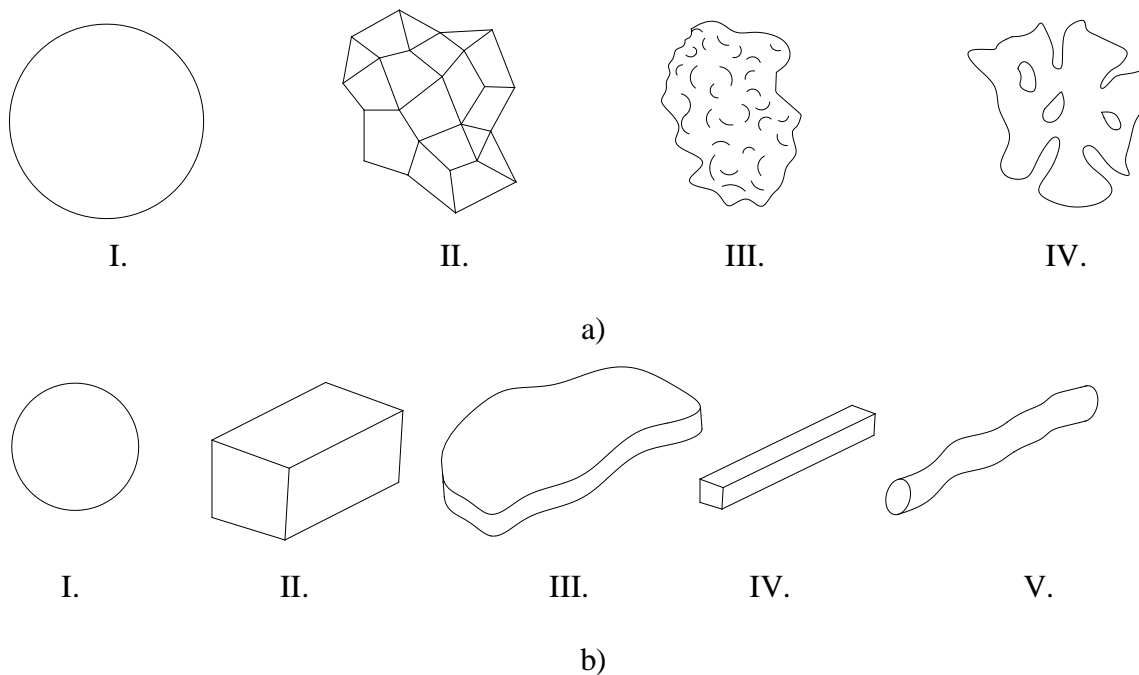
- pevnosť, tvrdosť, pružnosť, krehkosť, oteruvzdornosť
- teplota topenia, tepelná vodivosť, tepelná kapacita, tepelná rozťažnosť, teplota vznietenia
- hygroskopické vlastnosti a chemická aktivita k iným kvapalinám a plynom a rozpustnosť v nich
- elektrostatické vlastnosti, elektrická vodivosť, magnetické vlastnosti

Mechanické správanie sa partikulárnej látky je zložitým odrazom jej štruktúry. Táto sa prejavuje tvz. pohybovou autonómiou tuhých častíc.

POHYBOVÁ AUTONÓMIA ČASTÍC

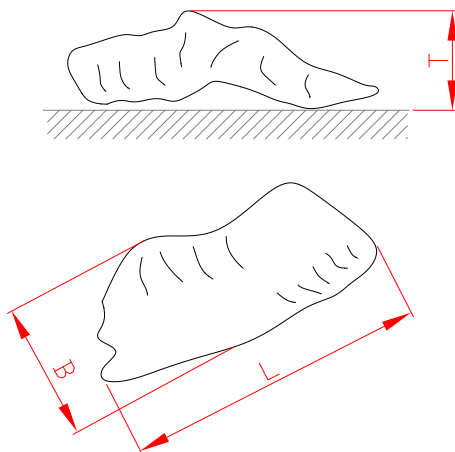
- Pohybová autonómia častíc sa dá opísať odpor prostredia, ktoré obklopuje časticu voči jej pohybu, ak sa pohybuje spolu s ďalšími časticami, tvoriacim partikulárnu látku.
- Závisí v prevažnej miere od tvaru častíc.
- Prejavuje sa hlavne keď je partikulárna látka v pohybe.

Častice môžu mať rôzny tvar, napr. sú to guľôčky, doštičky, šupinky, ihlice, vlákna a pod. Tento tvar však nie je jediný, čo vplyva na pohybovú autonómiu častíc. Veľmi dôležitý je povrch častíc. Ak je napr. častica guľová, jej povrch môže byť hladký, ostrohranný, drsný, s povrchovými pórami a pod.



Obr.7 Povrch a tvar častíc.

Na nasledujúcom obrázku je znázornený obecný tvar častice. Rozmery, ktoré sú na obrázku uvedené, pomáhajú charakterizovať základné parametre častice (10) a (11).



Obr.8 Obecné rozmery častice.

Častice je potom možné opísať dvomi charakteristikami:

Podlhovatosť

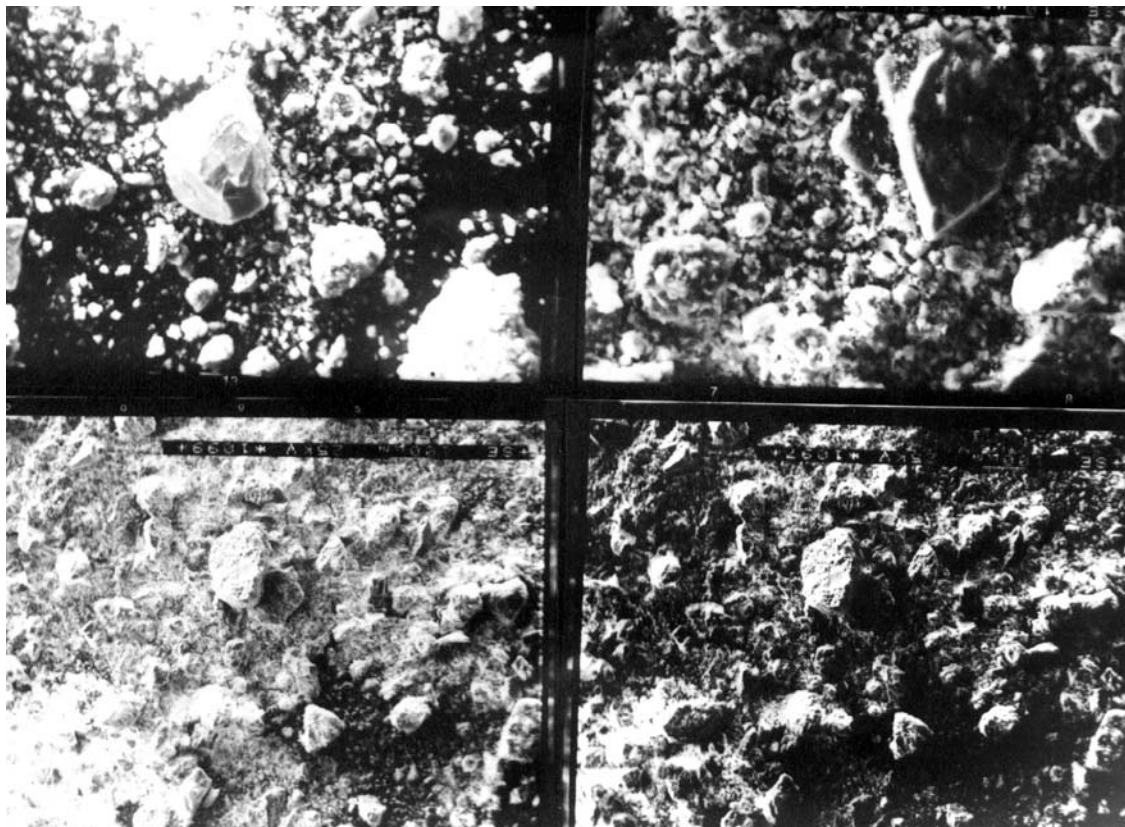
$$p_l = \frac{L}{B} \quad (10)$$

Plochosť

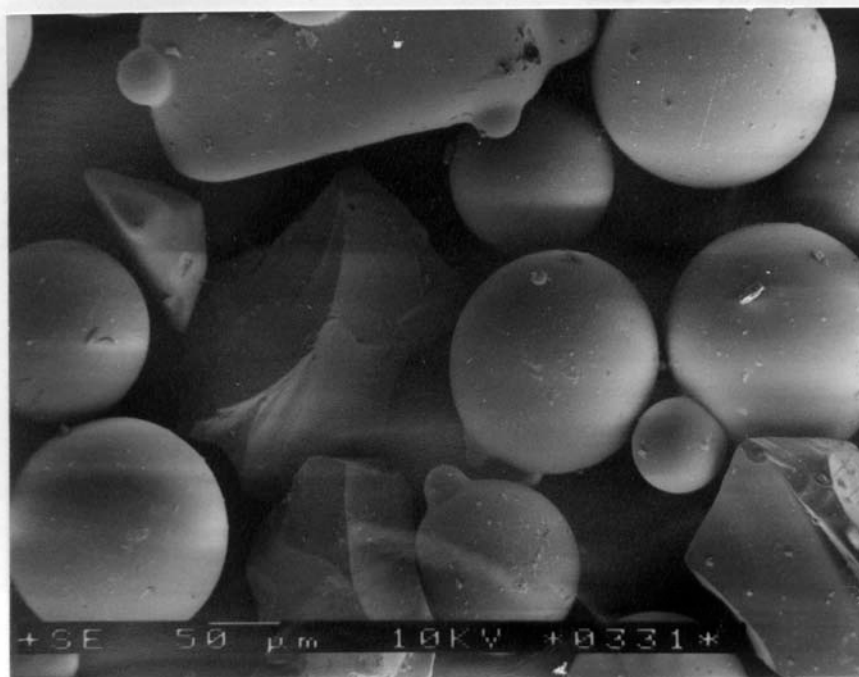
$$p_t = \frac{B}{T} \quad (11)$$

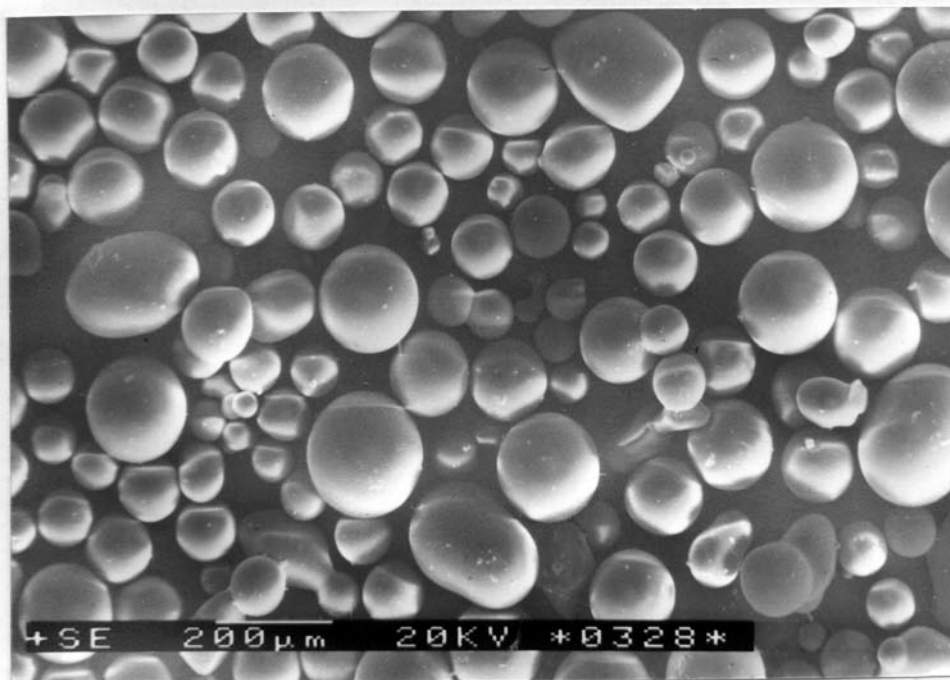
Samozrejme tieto dva parametre sú nedostatočné pre úplnú charakteristiku tvaru častíc. Poskytuje to len základnú informáciu o častici.

Pre skúmanie tvaru častíc, je potrebné, vzhľadom na ich rozmery, používať mikroskopy a to ako optické (pre väčšie častice), tak aj elektrónové pre častice veľmi malých rozmerov. Takéto snímky potom umožňujú posúdiť tvar častíc. Na nasledujúcich záberoch sú zobrazené rôzne tvary častí získané prostredníctvom mikroskopov.

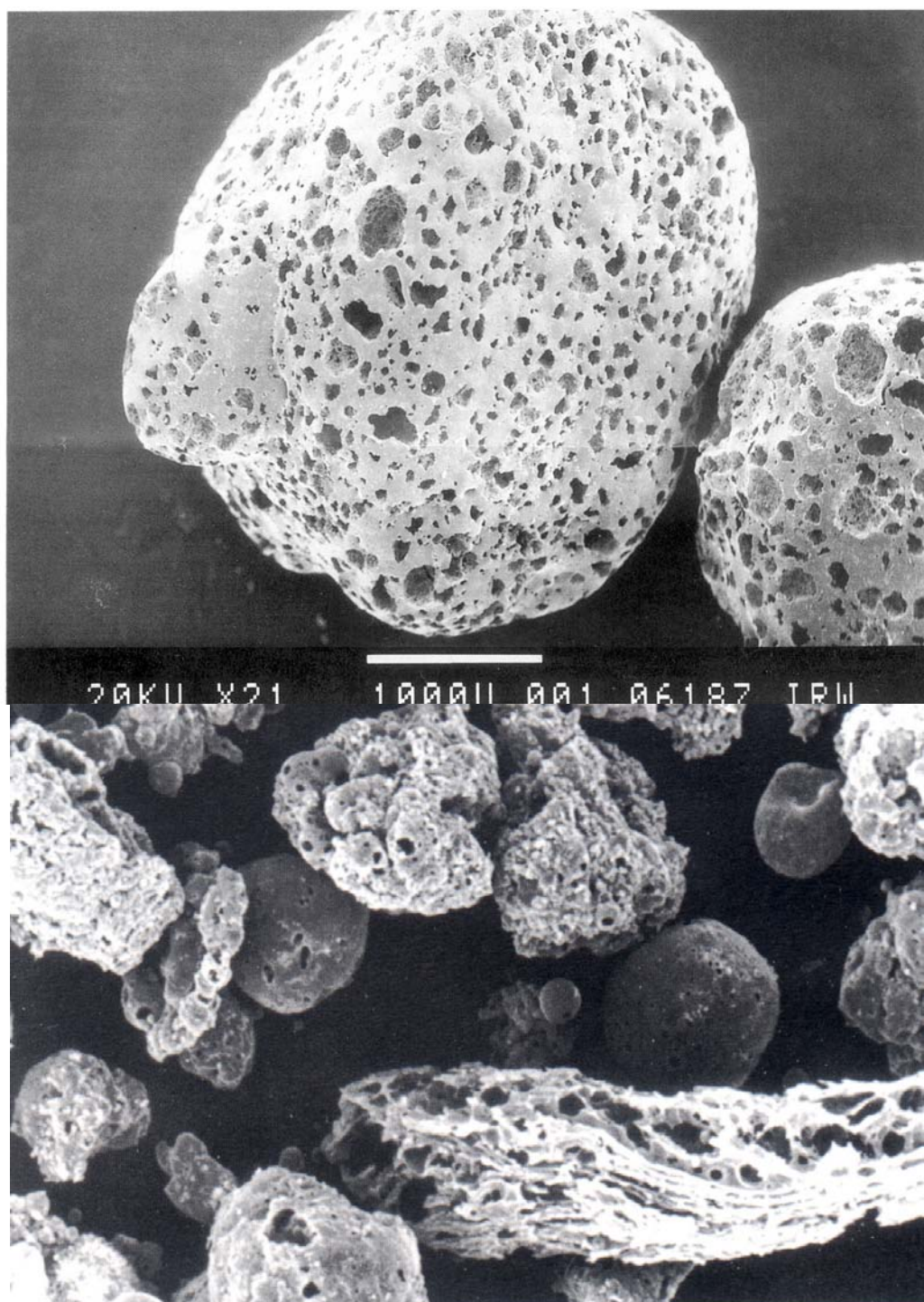


Obr. 9 Veľmi jemne mletý vápenec.



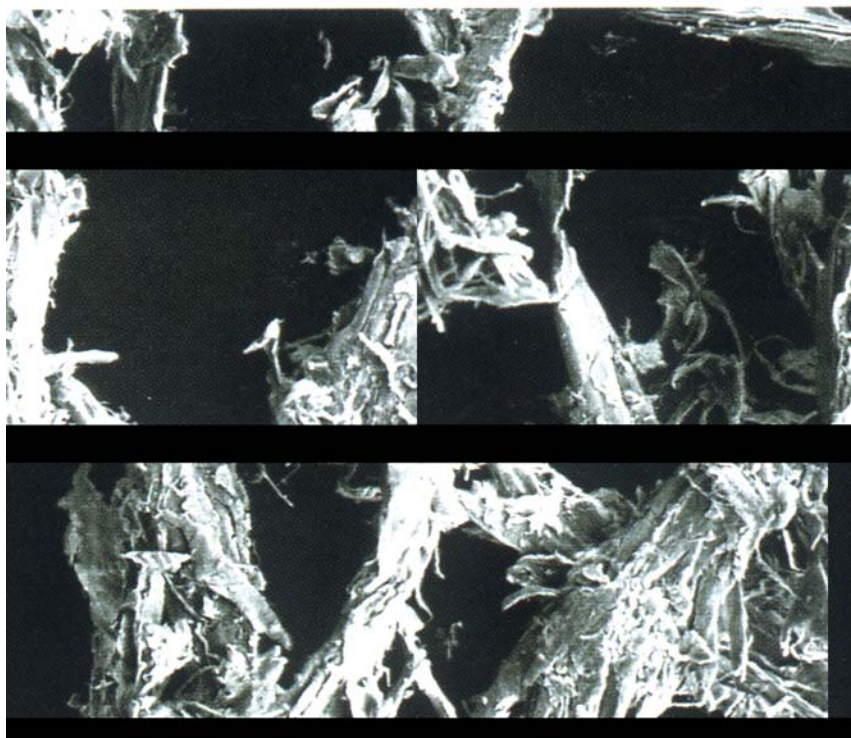


Obr. 10 Sklenná balotina

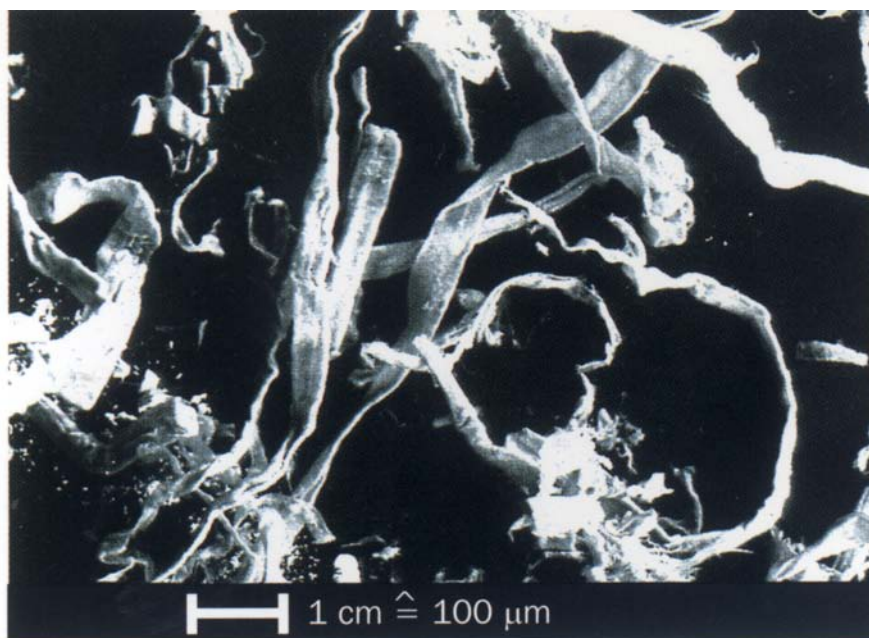


Obr. 11 Rôzne častice s povrchovými pórami.

LIGNOCEL®

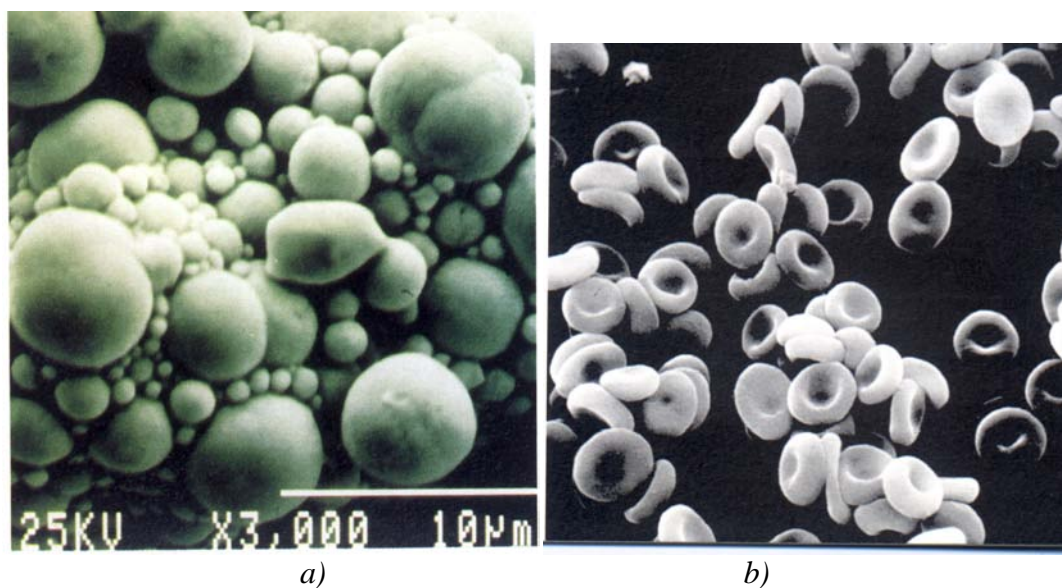


Obr. 12 LIGNOCEL je vláknina zlepšujúca vlastnosti papierových výrobkov vyrobených z recyklovaného papiera. Častice majú vláknitú štruktúru.

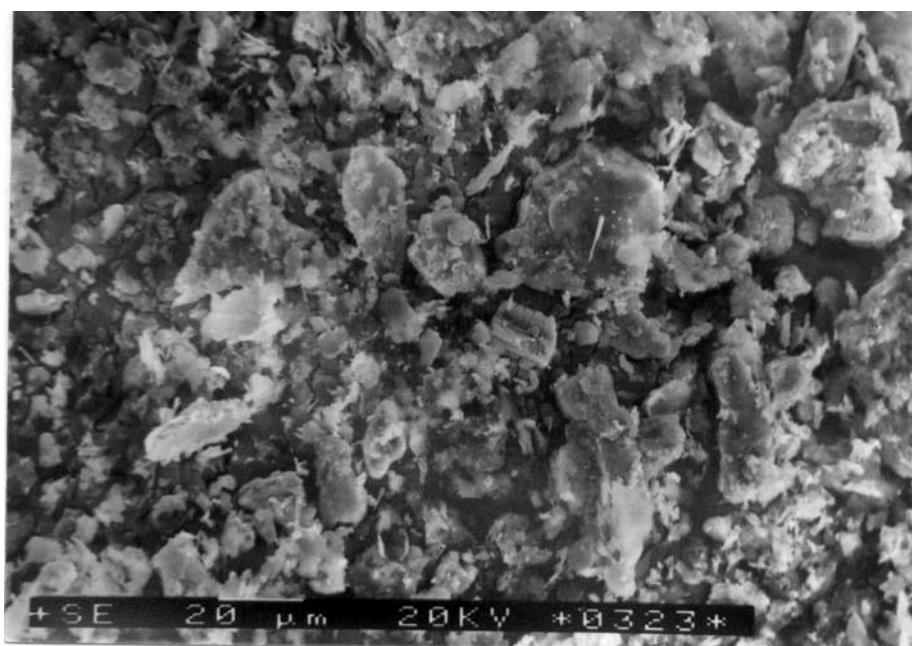


ARBOCEL®

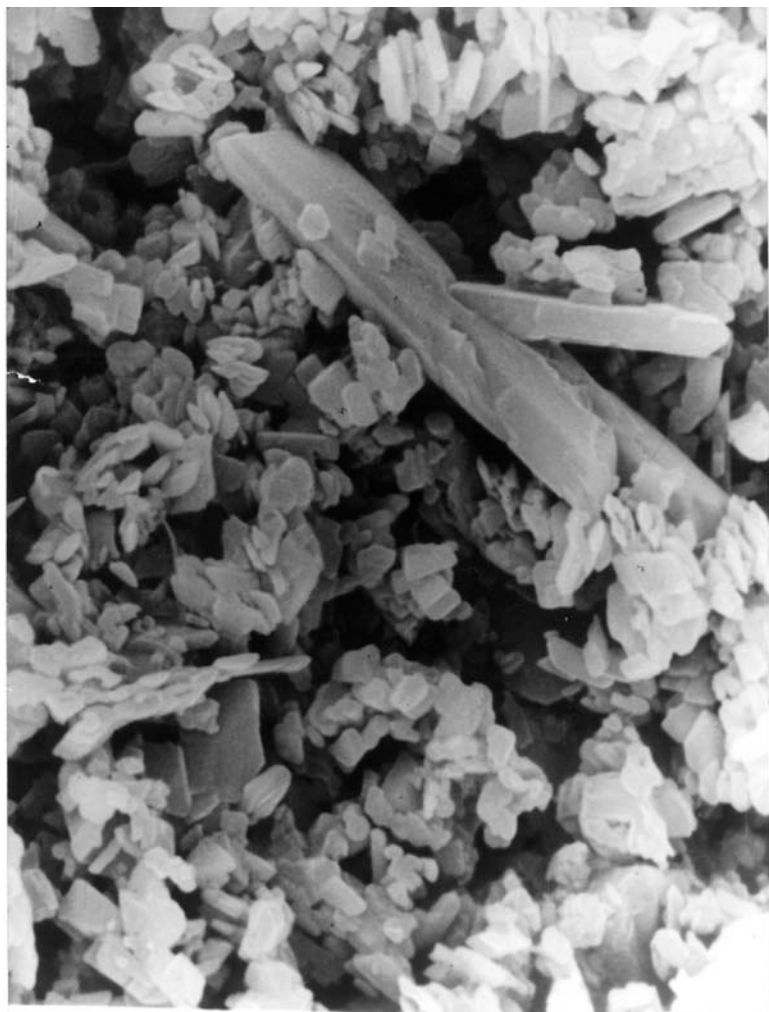
Obr. 13 ARBOCEL je prášková celulóza určená ako doplnok do krmív pre zvierat, filtráciu a iné priemyselné aplikácie.



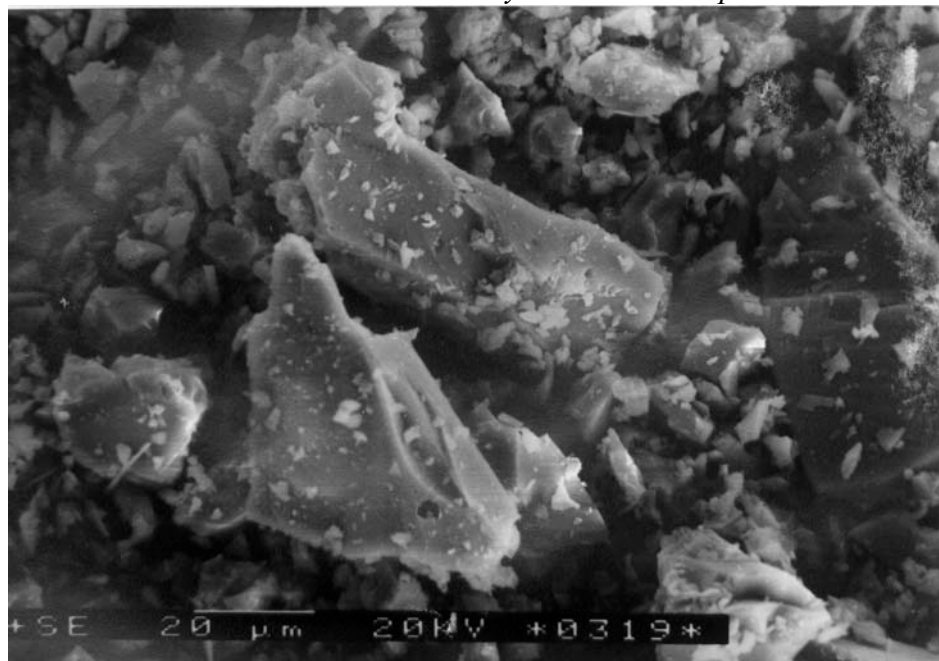
Obr. 14 Polydisperzné a monodisperzné látky. a) polydisperzná partikulárna látka s guľovými časticami a hladkým povrchom, b) monodisperzná látka s plochými a oválnymi časticami.



Obr. 15 Kaolín a jeho šupinkovité častice.



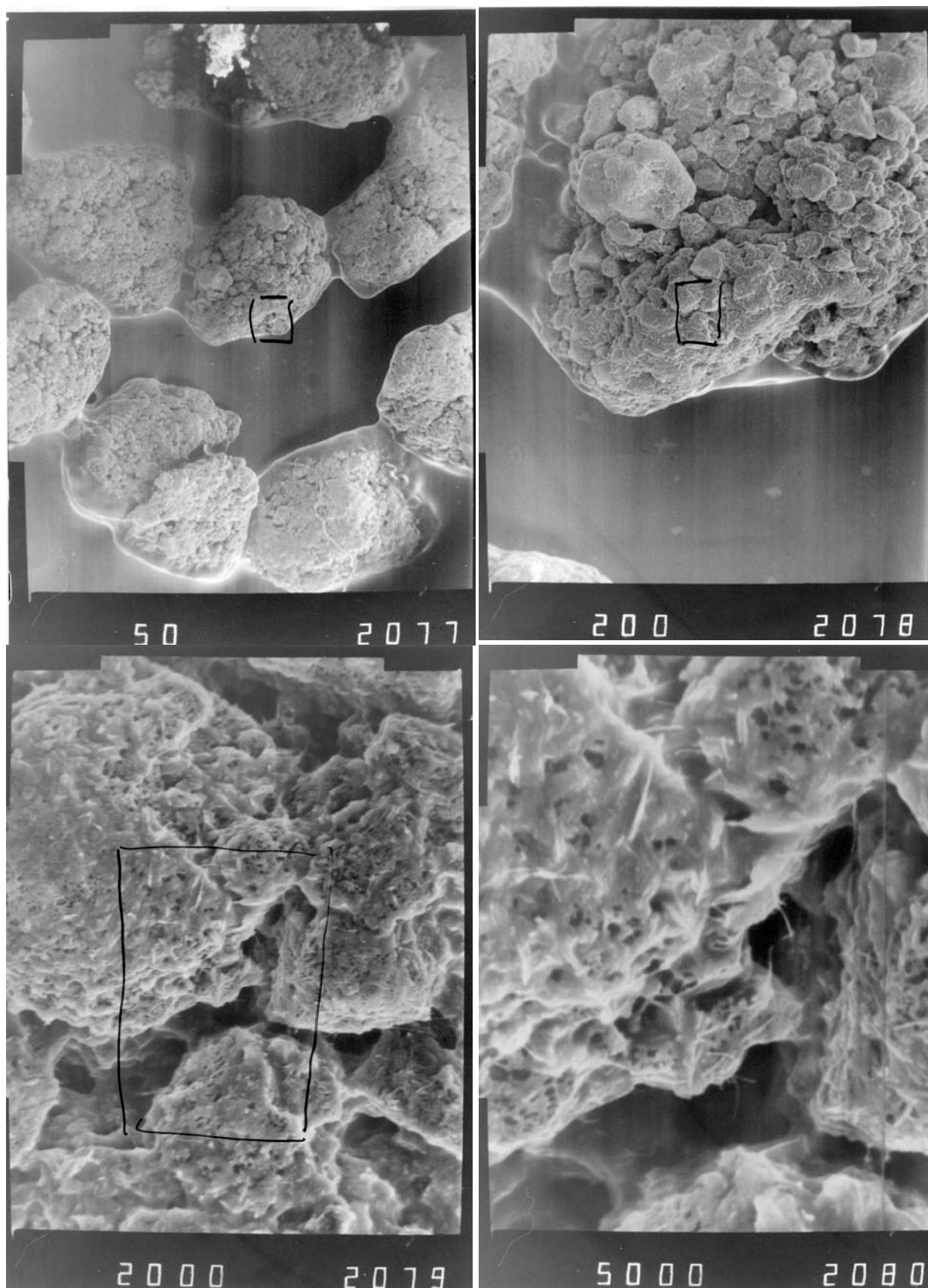
Obr. 16 Partikulárna látka s ostrohrannými časticami šupinkovitého tvaru .



Obr. 17 Ostrohranné častice jemne mletého skla.



Obr. 18 Piesok.



Obr. 19 Gumárenská chemikália Sulfenax MOR, granulovaná, rôzne zväčšenia.

Takto získané poznatky o časticách umožňujú ich zaradiť do niektorej z nasledujúcich skupín.

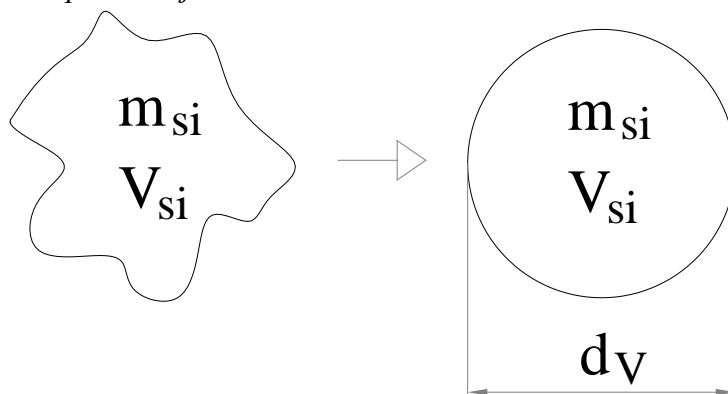
ZÁKLADNÉ TVARY ČASTÍC

- **KORPUSKULÁRNE DISPERZNÉ SYSTÉMY:**
rozmary častíc sú vo všetkých troch smeroch aspoň približne rovnaké - častice sú izometrické
- **LAMINÁRNE DISPERZNÉ SYSTÉMY:**
disperzný podiel má tvar doštičiek (lamiel) - dva rozmery prevládajú nad tretím
- **FIBRÁLNE DISPERZNÉ SYSTÉMY:**
častice sú pretiahnuté v jednom z troch smerov - majú tvar tyčíniek alebo ohybných vlákien

Ekvivalentné priemery častíc

Je všeobecnou snahou nájsť jeden parameter, ktorý by charakterizoval tvar častíc a tento parameter potom použiť vo vzťahoch pre výpočty jednotlivých operácií, procesov a zariadení. Mal by to byť náhradný rozmer, ktorý slúži na charakterizovanie disperzných sústav tvorených nekulovými - obecné nepravidelnými časticami. Vzťahy pre definovanie tohto parametru sú založené na rôznych fyzikálnych predpokladoch. Napriek veľkému úsiliu nie je možné však častice jednoducho charakterizovať takýmto parametrom, ale je možné sa k tomu aspoň priblížiť. Umožňujú to napr. aj ekvivalentné priemery. V ďalšej časti textu sú uvedené príklady niektorých ekvivalentných priemerov.

Ekvivalentný priemer podľa objemu:

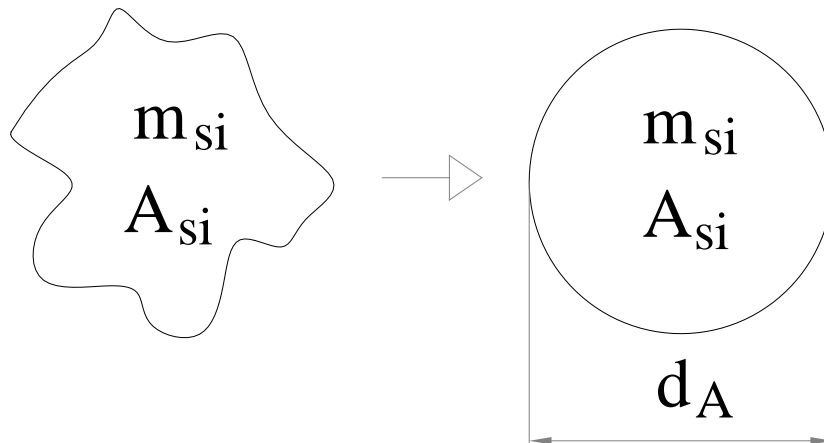


Obr. 20 Ekvivalentný priemer podľa objemu.

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6m_{si}}{\pi\rho_s}} \quad (12)$$

Bol odvodený za predpokladu, že hmotnosť uvažovanej častice m_{si} sa rovná hmotnosti náhradnej gule o priemere d_V .

Ekvivalentný priemer podľa priemetu:

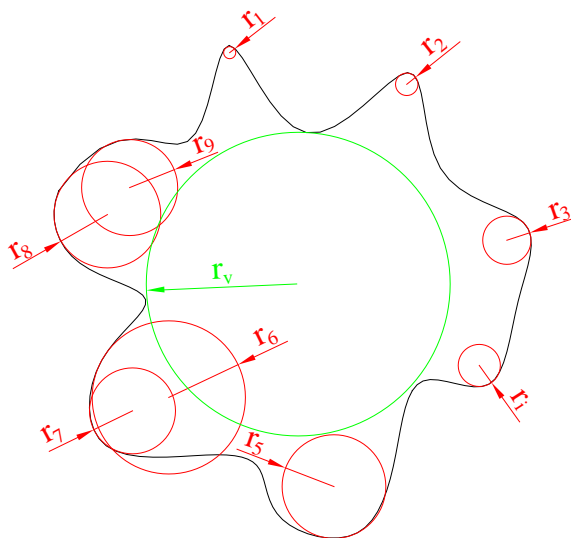


Obr.21 Ekvivalentný priemer podľa priemetu.

$$d_A = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{si}}{\pi}} \quad (13)$$

Bol odvodený za predpokladu, že plocha priemetu častice A_i je rovnako veľká ako plocha priemetu gule o priemere d_A .

Zaoblenie:



Obr. 22 Priemet častice s vpísanými kružnicami pre definovanie parametra „zaoblenie“.

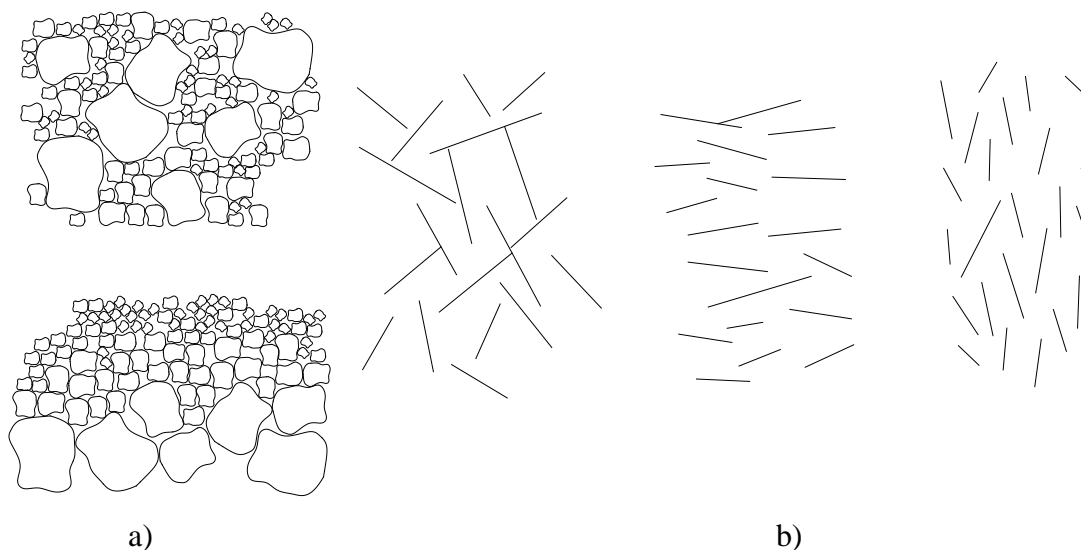
$$\alpha_z = \frac{\sum_{j=1}^n r_j}{r_v \cdot n_i} \quad (14)$$

kde r_j sú polomery kružníc vpísaných do n_i jednotlivých rohov priemetu častice a r_v je polomer najväčšej kružnice, ktorú možno vpísať do celého priemetu častice.

Štruktúra partikulárnych látok

Je usporiadanie častíc v makroobjeme partikulárnej látky. Definuje a opisuje usporiadanie častíc ak je látka s pokoji alebo v pohybe.

Usporiadanie častíc môže závisieť od rôznych faktorov. Je to napríklad spôsob akým sa častice dostávajú do zásobníka alebo ako počas prepravy sú pod vplyvom vibrácií. Potom môže byť štruktúra partikulárnej látky taká, že malé a veľké častice sú náhodne rozmiestnené v celom objeme (obr. 23a, hore), alebo sa vplyvom, napr. vibrácií, preskupia malé častice a veľké častice ku sebe (obr. 23a, dole). Podobná situácia môže nastať pri tyčinkovitých časticiach. Ako náhle sa takáto partikulárna látka uvedie do pohybu, častice sa môžu preskupiť buď do smeru kolmého alebo pozdĺžneho k smeru pohybu (obr. 23b).



Obr. 23 Rôzne štruktúry partikulárnej látky. a) usporiadanie oválnych častíc, b) usporiadanie tyčinkovitých častíc.

Frakčné zloženie partikulárnych látok

Vo väčšine prípadov je partikulárna látka polydisperznou sústavou pozostávajúcou z častíc rôznej veľkosti a tvaru. O tvare častíc sa už hovorilo v predchádzajúcej časti textu. Avšak ich veľkosť môže byť rôzna a tak isto aj počet častíc jednej veľkosti v partikulárnej látke môže byť rôzny.

Na to, aby sa zistilo, aký počet častíc určitého rozmeru sa nachádza v partikulárnej látke by bolo potrebné ich zmerať a spočítať, napr. pod mikroskopom. Je to pochopiteľne spôsob, ktorý nie je prakticky realizovateľný. Preto sa hľadali iné spôsoby, ako charakterizovať početnosť jednotlivých častíc v partikulárnej látke.

V tejto súvislosti je vhodné najprv zdefinovať niekoľko základných pojmov:

frakcia:

Je skupina častíc, ktorých priemer d_{vi} leží z intervalu $\langle d_{vi} ; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$.

početnosť frakcie:

Počet častíc n_i alebo spoločná hmotnosť $\sum m_{si}$ častíc z intervalu $\langle d_{vi} ; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$.

relatívna početnosť frakcie:

Je početnosť frakcie vzťahovaná k objemu uvažovaného štatistického kolektívu, teda k celkovému počtu častíc, alebo k ich celkovej hmotnosti.

i-ta frakcia:

Skupina častíc o hmotnosti $\sum m_{si}$ častíc z intervalu $\langle d_{vi} ; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$ sa nazýva i-tou frakciou.

ekvivalentný priemer:

Každá frakcia je charakterizovaná hraničnými hodnotami ekvivalentných priemerov $d_{vi \min}$, $d_{vi \max}$, ktoré odpovedajú hraniciam intervalu $\langle d_{vi} ; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$ a tzv. frakčným priemerom.

frakčný priemer:

Definuje priemer častice, ktorá reprezentuje interval $\langle d_{vi} ; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$ geometrický:

$$D_{vi} = \sqrt{d_{vi \min} \cdot d_{vi \max}} \quad (15)$$

aritmetický:

$$D_{vi} = \frac{d_{vi \min} + d_{vi \max}}{2} \quad (16)$$

Každú frakciu okrem toho ešte treba ešte charakterizovať štatistickými metódami charakterizujúcimi výskyt tvarov častíc alebo výskytom tvarových súčiniteľov.

i – ty prepad:

Zodpovedá určitému frakčnému priemeru, napr. D_{vi} . Pod pojmom i – ty prepad sa rozumie tá časť hmotnosti m_{i+1} z celkovej hmotnosti partikulárnej látky m_{1c} , ktorá prepadne cez otvory i – tého sita a zachytí sa na site, ktoré je pod týmto sitom (sito i+1).

$$d_i = \frac{m_{i+1}}{m_{1c}} \quad (17)$$

úhrnný prepad:

Úhrnný prepad je definovaný ako suma všetkých hmotností, ktoré prepadnú cez i – te sito.

$$D_i = d_i + d_{i+1} + \dots + d_j + \dots + d_k = \sum_{j=i}^k d_j \quad (18)$$

a zodpovedá maximálnemu ekvivalentnému priemeru v i+1 frakcii, napr. $d_{vi+1 \max}$

i – ty zvyšok:

Pod pojmom i – ty zvyšok sa rozumie tá časť hmotnosti m_i z celkovej hmotnosti partikulárnej látky m_{1c} , ktorá ostane na i – tom site.

$$r_i = \frac{m_i}{m_{1c}} \quad (19)$$

úhrnný zvyšok:

Úhrnný zvyšok je definovaný ako suma všetkých hmotností, ktoré neprepadnú cez i – te sito.

$$R_i = r_1 + r_2 + \dots + r_j + \dots + r_i = \sum_{j=1}^i r_j \quad (20)$$

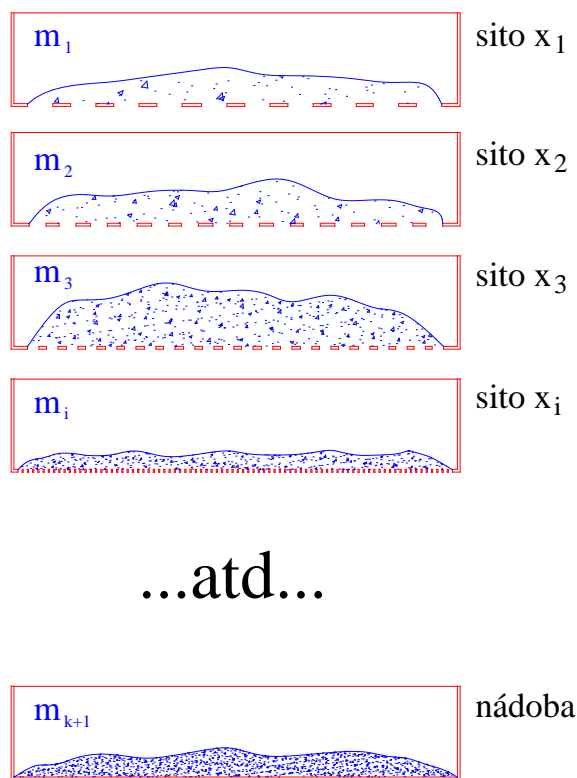
Pre úhrnný zvyšok a prepád platí:

$$R_i + D_i = 1 \quad (21)$$

Pre charakterizovanie polydisperzity partikulárnej látky je možné postupovať nasledujúcim spôsobom.

1. vyberie sa reprezentatívna vzorka z partikulárnej látky
2. roztriedi sa na $k+1$ skupín s hmotnosťami $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_{k+1}$ o celkovej hmotnosti m_{1c} (napr. sitovou analýzou) tak, aby i -tá skupina častíc, resp. i -tá časť obsahovala len častice patriace do určitého intervalu veľkosti $\langle d_{vi}; d_{vi} + \Delta d_{vi} \rangle$. Pre takto rozdelené častice platí:

$$m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_{k+1} = m_{1c} \quad (22)$$



...atd...

$$x_1 > x_2 > x_3 > x_i > \dots \text{atd} \dots$$

Obr. 25 Zostava sít pre stanovenie distribúcie veľkosti častíc.

3. odvážia sa hmotnosti práškoveho materiálu na jednotlivých sitách, tieto hodnoty sa zapíšu do tabuľky 1, kde za:

- x_i sa dosadí veľkosť oka sita
- d_{vimin} ; d_{vimax} je hraničná veľkosť častíc na i -tom site, teda sú to častice, ktoré už neprepadnú cez i – te sito, ale prepadnú cez sito $(i-1)$, teda $d_{vimin} = x_i$ a $d_{vimax} = x_{i-1}$

4. vypočítajú sa ekvivalentné priemery D_{vi}

5. vypočíta sa d_i, r_i, D_i, R_i

Tabuľka 1: Frakčné zloženie partikulárnej látky merané sitovaním.

veľkosť oka sita	hmotnosť na site po triedení	interval veľkosti častíc na site	ekvivalentný priemer	prepád na i-tom site	zvyšok na i-tom site	úhrnný prepád	úhrnný zvyšok
x_1	m_1	$d_{v1min} - d_{v1max}$	D_{v1}	$d_1 = \frac{m_2}{m_{1c}}$	$r_1 = \frac{m_1}{m_{1c}}$	$D_1 = \frac{m_2}{m_{1c}} + \frac{m_3}{m_{1c}} + \dots$	$R_1 = \frac{m_1}{m_{1c}}$
x_2	m_2	$d_{v2min} - d_{v2max}$	D_{v2}	$d_2 = \frac{m_3}{m_{1c}}$	$r_2 = \frac{m_2}{m_{1c}}$	$D_2 = \frac{m_3}{m_{1c}} + \frac{m_4}{m_{1c}} + \dots$	$R_2 = \frac{m_1}{m_{1c}} + \frac{m_2}{m_{1c}}$
x_3	m_3	$d_{v3min} - d_{v3max}$	D_{v3}	$d_3 = \frac{m_4}{m_{1c}}$	$r_3 = \frac{m_3}{m_{1c}}$	$D_3 = \frac{m_4}{m_{1c}} + \frac{m_5}{m_{1c}} + \dots$	$R_3 = \frac{m_1}{m_{1c}} + \frac{m_2}{m_{1c}} + \frac{m_3}{m_{1c}}$
x_i	m_i	$d_{vimin} - d_{vimax}$	D_{vi}	$d_i = \frac{m_{i+1}}{m_{1c}}$	$r_i = \frac{m_i}{m_{1c}}$	$D_i = \frac{m_i}{m_{1c}} + \frac{m_{i+1}}{m_{1c}} + \dots$	$R_i = \frac{m_1}{m_{1c}} + \frac{m_2}{m_{1c}} + \frac{m_3}{m_{1c}} + \frac{m_i}{m_{1c}}$
.....
.....
-	m_{k+1}	$d_{vk+1min} - d_{vk+1max}$	D_{vk+1}	-	$r_{k+1} = \frac{m_{k+1}}{m_{1c}}$	-	$R_{k+1} = \frac{m_1}{m_{1c}} + \dots + \frac{m_{k+1}}{m_{1c}}$
	m_{1c}						

6. spraví sa grafické zobrazenie niektorej z nasledujúcich funkčných závislostí:

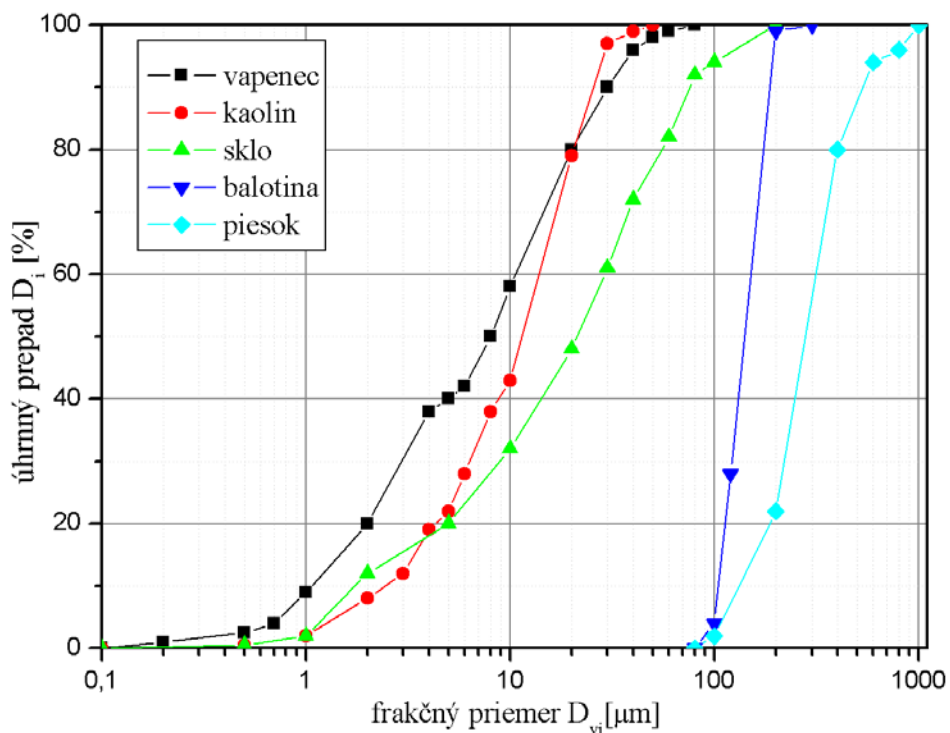
$$d_i = f(D_{vi}) \quad (23)$$

$$r_i = f(D_{vi}) \quad (24)$$

$$D_i = f(D_{vi}) \quad (25)$$

$$R_i = f(D_{vi}) \quad (26)$$

Na nasledujúcom obrázku je uvedený príklad frakčného zloženia vápenca, kaolínu, piesku, mletého skla a sklennej balotiny, ktoré je zobrazené prostredníctvom kriviek úhrnného prepádu.



Obr. 24 Krivky frakčného zloženia rôznych partikulárnych látok.

Moderným spôsobom ako získať krivky frakčného zloženia partikulárnych látok je napr. laserový analyzátor: Príklad takto získanej krivky frakčného zloženia je na nasledujúcom obrázku.

FRITSCH PARTICLE SIZER ANALY SETTE 2 2

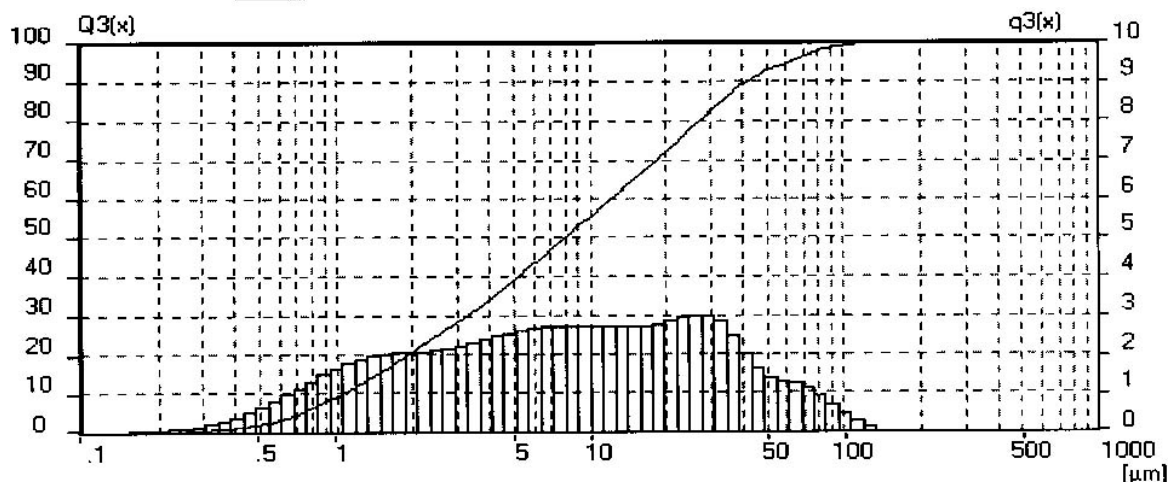
317	05-16-2001	09:34	FA.FRITSCH	UserID LAB/22	SerNo. SN3165
-----	------------	-------	------------	---------------	---------------

CASTICE -Ing. FEKETE
 'bielosede, 16.5.2001
 'voda+detergent
 'Meral: Doc. Ing. Alojz Cemansky,CSc. STU SJF KCHSZ Bratislava

Measuring Range	0.10 [µm] - 176.75 [µm]	Pump	75 [rpm]
Resolution	62 Channels (9 mm / 67 mm)	Stirrer	75 [rpm]
Absorption	12.00 [%]	Ultrasonic	100
Measurement Duration	30 [Scans]		

Modell Independant
 Fraunhofer Calculation selected.

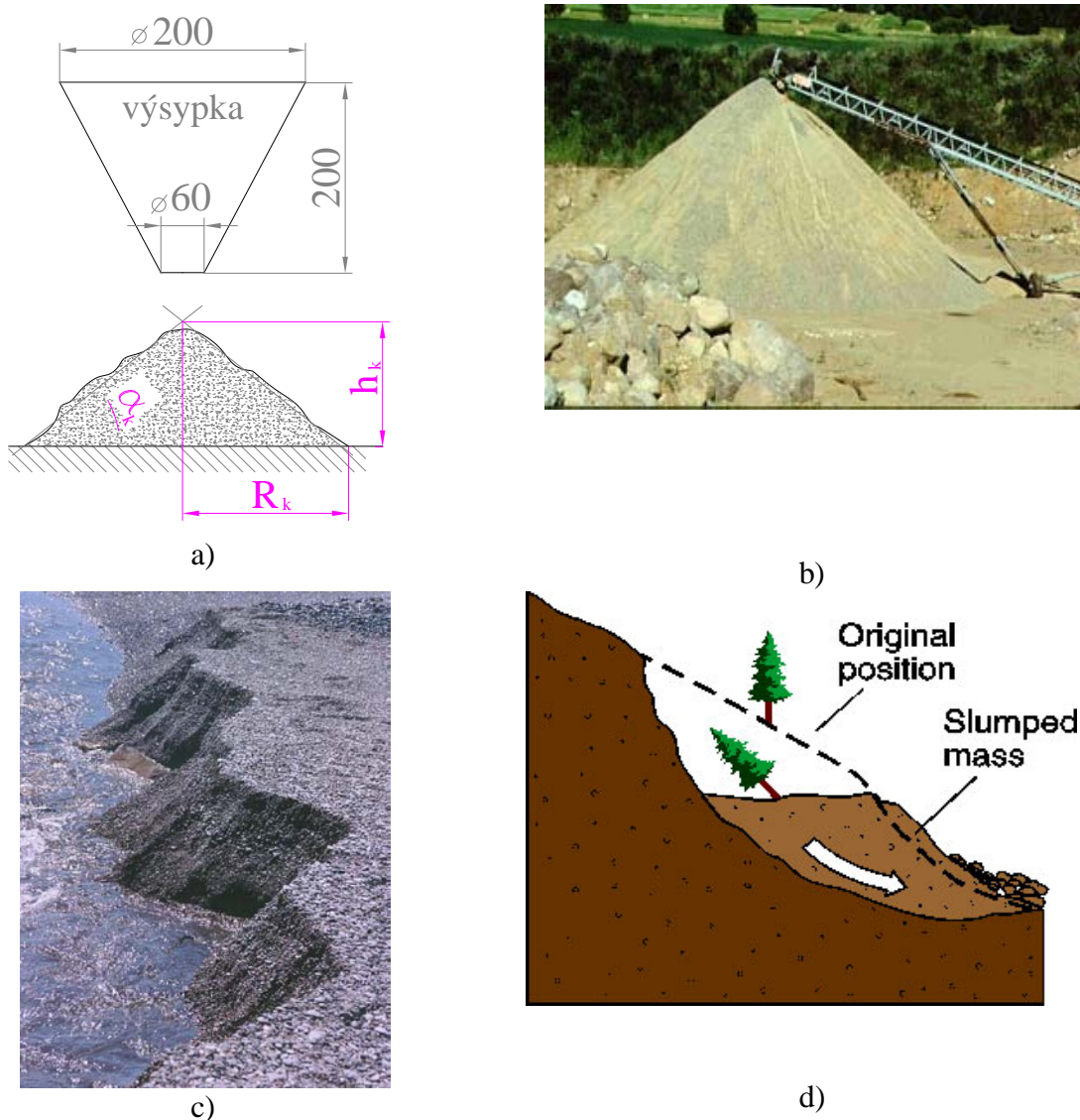
Interpolation Values... C:\A22\FRITSCH\PREROV1.FPS		
9.02 % < 1.00 µm	15.61 % < 1.50 µm	20.76 % < 2.00 µm
28.30 % < 3.00 µm	34.11 % < 4.00 µm	43.20 % < 6.00 µm
50.08 % < 8.00 µm	59.79 % < 12.00 µm	66.67 % < 16.00 µm
76.72 % < 24.00 µm	84.27 % < 32.00 µm	92.23 % < 48.00 µm
95.63 % < 64.00 µm	99.12 % < 96.00 µm	99.94 % < 128.00 µm
***** % < 192.00µm	***** % < 200.00µm	
Interpolation Values... C:\A22\FRITSCH\C1.FPV		
5.00 % < 0.72 µm	10.00 % < 1.07 µm	15.00 % < 1.45 µm
20.00 % < 1.92 µm	25.00 % < 2.52 µm	30.00 % < 3.27 µm
35.00 % < 4.17 µm	40.00 % < 5.22 µm	45.00 % < 6.47 µm
50.00 % < 7.98 µm	55.00 % < 9.82 µm	60.00 % < 12.10 µm
65.00 % < 14.93 µm	70.00 % < 18.38 µm	75.00 % < 22.45 µm
80.00 % < 27.17 µm	85.00 % < 32.96 µm	90.00 % < 41.59 µm
95.00 % < 60.38 µm	99.00 % < 93.98 µm	99.50 % < 105.06µm
99.98 % < 131.70µm	100.00 % < 149.53µm	



Obr. 26 Protokol a krivky frakčného zloženia partikulárnej látky, získané z laserového analyzátora častíc.

Sypný uhol

Sypný uhol je ďalším charakteristickým prvkom opisujúcim vlastnosti partikulárnych látok. Jeho rozpätie teoreticky môže od nuly až po deväťdesiat stupňov. Čím je jeho hodnota bližšie k nule, tým je látka menej kohézná a má lepšie tokové vlastnosti a naopak. Test je veľmi jednoduchý. Do zásobníka s otvorom v dne a položenom na ploche, sa nasype definované množstvo materiálu. Dvihnutím zásobníka sa vysype materiál a vytvorí kužeľ. Sypný uhol sa potom určí tak, že sa dá do pomeru výška kužeľa a polomer jeho postavy.



Obr.27 Sypný uhol. a) meranie sypného uhla, b) partikulárne látka na skládke, c) zosun pôdy, d) mechanizmus zosunu pôdy.

Súdržné látky majú jeho hodnotu väčšiu, nesúdržné zasa menšiu. Čím je jeho hodnota menšia, tým materiál lepšie tečie, nespôsobuje problémy pri dávkovaní, vysýpaní z otvorov zásobníkov a pod.

$$\alpha_k = \text{arctg} \frac{h_k}{R_k} \quad (27)$$

Naopak malé hodnoty sypného uhla sú prejavom nesúdržného materiálu ktorý spôsobuje zasa problémy pri skládkovaní partikulárnych látok na voľných plochách, kedy nie je možné takéto látky voľne skladovať, lebo sa „roztečú“ po ploche. Príklad voľného skládkovania materiálu s vhodným sypným uhlom je na (obr. 27b). Malé hodnoty sypného uhla sa veľmi neprijemne prejavujú pri zosuvoch pôdy (obr. 27c, d)

Kohezivita práškov

Tokové vlastnosti opisuje aj Hausnerov pomer (HR), ktorý dáva do pomeru sypnú hustotu striasanej (ρ_{sIgS}) a nestriasanej partikulárnej látky (ρ_{sIg}).

$$HR = \frac{\rho_{sIgS}}{\rho_{sIg}} \quad (28)$$

Podľa tohto pomeru potom možno prášky zaradiť do nasledujúcich skupín:

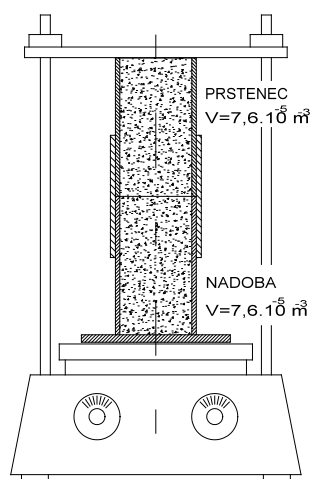
HR < 1,25 - Geldartova skupina A (voľne tečúce prášky)

HR > 1,4 - Geldartova skupina C (kohézne prášky)

1,25 < HR < 1,4 - A/C prášky (semi - kohézne prášky)

Nestriasaná aj striasaná sypná hustota sa merala v prípravku, ktorý pozostáva z nádoby s pevným dnom, na ktorú sa posadil prstenec. Rozmery nádoby a prstenca sú rovnaké, teda aj ich objemy. Do prípravku sa nasypal prášok až po okraj prstenca.

Ak sa meria nestriasaná hustota, potom sa už len vrchná časť prípravku, prstenec, aj s materiálom odstráni a odváži sa, koľko materiálu ostalo v spodnej časti. Táto hmotnosť sa podelí objemom nádoby a tak sa získa sypná hustota partikulárnej látky (4).



Obr.28 Meranie striasanej hustoty.

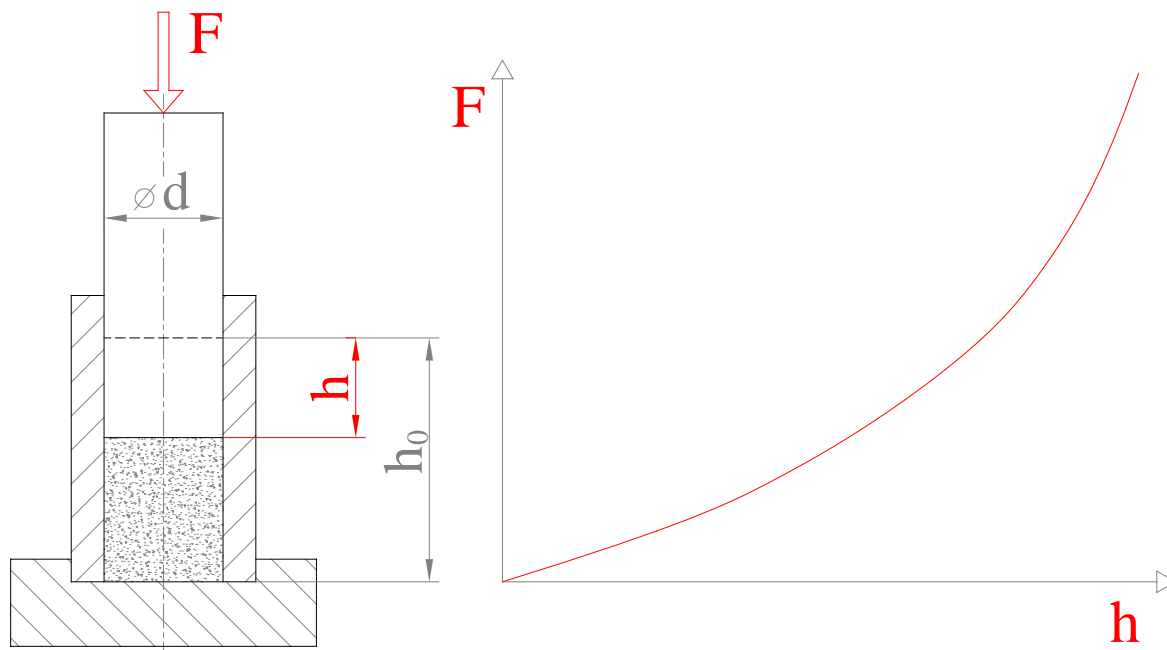
Ak sa meria striasaná sypná hustota, celý prípravok sa umiestni do striasacieho zariadenia a za definovaných podmienok na prášok utrasie. Potom sa opäť odstráni prstenec s prebytočným materiálom a zväžila sa hmotnosť materiálu v nádobe. Z tejto hmotnosti a objemu nádoby sa vypočítala striasaná hustota (5).

Stlačiteľnosť

Stláčaním sa partikulárna zahusťuje a zhutňuje, t.j. znižuje sa pórovitosť a zväčšuje sa objemová hmotnosť pomocou vonkajšej sily. Najjednoduchším spôsobom pre posudzovanie stlačiteľnosti partikulárnej látky je jednoosé stláčanie. Robí sa v prípravku nazývanom oedometer. V ňom sa vzorka stláča silou F a získa sa krivka stlačiteľnosti, ktorá vyjadruje závislosť zhutňovacej sily od stlačenia vzorky.

$$F = f(h) \quad (29)$$

Pri opise krivky stlačiteľnosti partikulárnej látky sa vychádza z analógie pružného stlačovania spojitaj tuhej látky. Pružné pretvorenie takejto je charakterizované objemovým modulom pružnosti, ktorý je konštantný a nezávislý od zaťaženia.



Obr. 29 Oedometer a grafický záznam priebehu sily v závislosti od stlačenia práškoveho materiálu počas testu stlačiteľnosti.

Hodnoty získané z testu stlačiteľnosti sa prepočítajú nasledujúcim spôsobom. Sila F sa prepočíta na napätie

$$\sigma = \frac{F}{S_p} = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (30)$$

kde S_p je plocha piesta.

Ďalej sa vypočíta počiatočné napätie vo vzorke od tiaže piestika G položeného na vzorke pre začiatkom testu.

$$\sigma_0 = \frac{G}{S_p} = \frac{G}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (31)$$

Hmotnosť vzorky m v oedometri sa prepočíta na hustotu odpovedajúcu príslušnému stlačeniu h a tomu odpovedajúcej sile F .

$$\rho = \frac{m}{S_p(h_0 - h)} = \frac{m}{\frac{\pi d^2(h_0 - h)}{4}} \quad (32)$$

Počiatočná hustota vzorky po nasypání do oedometra zaťažení piestikom

$$\rho_0 = \frac{m}{S_p h_0} = \frac{m}{\frac{\pi d^2 h_0}{4}} \quad (33)$$

Partikulárna látka je však sústava zložená zo vzájomne sa dotýkajúcich sa tuhých častíc, medzi ktorými je plyn a prípadne aj kvapalina. Stlačovanie látky je nepružné a jej vlastnosti pri stlačovaní charakterizuje modul objemového pretvorenia E_p , ktorý je závislý od napätia v partikulárnej látke.

$$E_p = f(\sigma) \quad (34)$$

Boli zostavené rôzne modely pre stlačiteľnosť partikulárnych látok v tvare

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = f\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \quad (35)$$

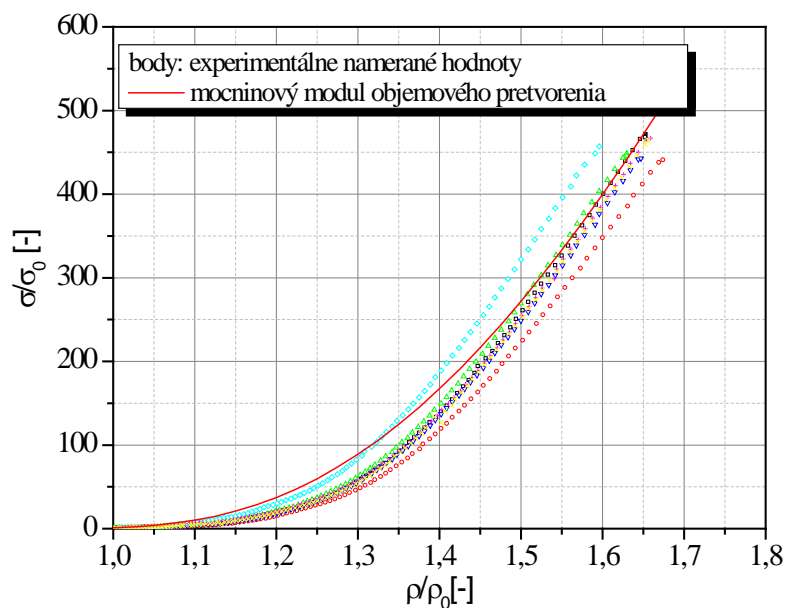
a pre modul objemového pretvorenia

$$E_p = f(a_i, \sigma^b) \quad (36)$$

kde a_i sú konštanty a b je exponent funkcie. Tieto funkčné závislosti sa určujú z nameraných údajov krivky stlačiteľnosti a testovaním už existujúcich modelov. Na obr. 30 je znázornený graf stlačiteľnosti veľmi jemne mletého vápenca. Body predstavujú namerané hodnoty, krivky sú zostavené z matematických modelov (35) a (36), pričom konkrétny tvar týchto rovníc je tabuľke 2.

Tabuľka 2: Parametre mocninového modelu a modulu objemového pretvorenia veľmi jemne mletého vápenca.

Mocninový model objemového pretvorenia:	Mocninový modul pretvorenia:
$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \left[1 + b_1 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \right]^{b_2}$ parameter modelu: $b_1 = 6,718$ $b_2 = 4,55$	$E_p = b_3 \sigma^{b_4}$ parameter modelu: $b_3 = 338,5$ $b_4 = 0,781$



Obr. 30 Graf stlačiteľnosti veľmi jemne mletého vápenca.

Vnútorň uhol trenia

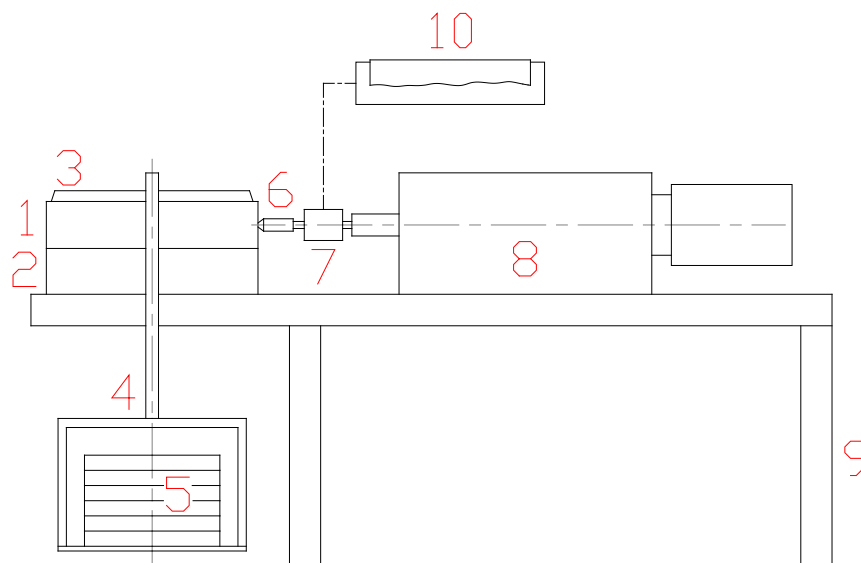
Tieto dva látkové parametre udávajú pomer medzi normálovými a trecími silami, ktoré vznikajú v partikulárnej látke pri jej pohybe. Charakterizujú teda vnútorné trenie v partikulárnej látke. Je to trenie medzi jednotlivými časticami pri manipulácii, pohybe, s partikulárnou látkou.

Práve vnútorné trenie v partikulárnych látkach ich odlišuje od kvapalín. Ak je v pohári voda a pohár sa nakloní, hladina v pohári ostane nepohnutá. Ak je však v pohári partikulárna látka a pohár sa nakloní, nakloní sa aj hladina. Pohár je možné spolu s hladinou naklápať dovtedy, kým sa neprekonajú sily vnútorného trenia medzi časticami a hladina sa uvedie do pohybu.

Pri sypkých látkach sú teda trecie sily významné. Ak by tomu tak nebolo, tak by sa partikulárna látka po vysypaní na plochu "roztekla" ako kvapalina.

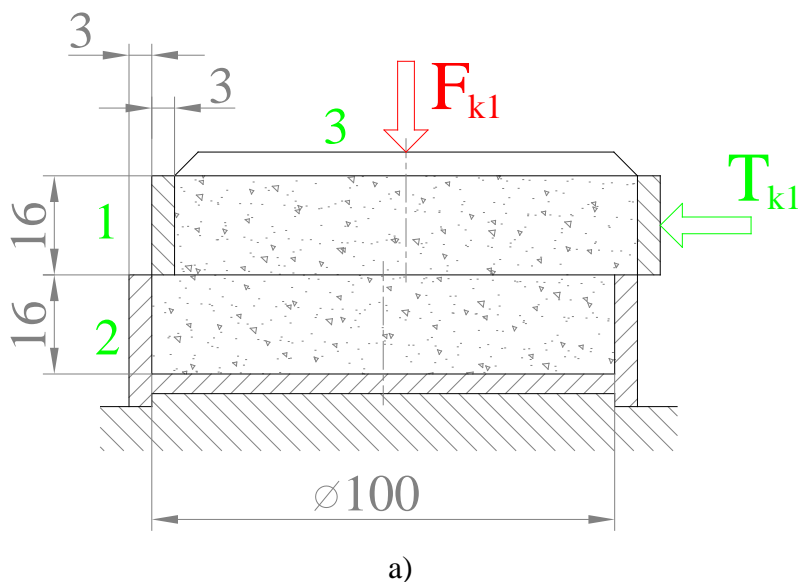
Popis a štúdium trenia v práškových materiáloch je komplikovaný. Je to spôsobené tým, že k treniu neprichádza v jednej rovine, ale v objeme, v tzv. šmykovej zóne, teda v určitom objeme. V ďalšej časti textu bude táto problematika podaná v zjednodušenej forme, so zachytením len podstatných javov. Podrobnejšie je celý postup uvedený v [2].

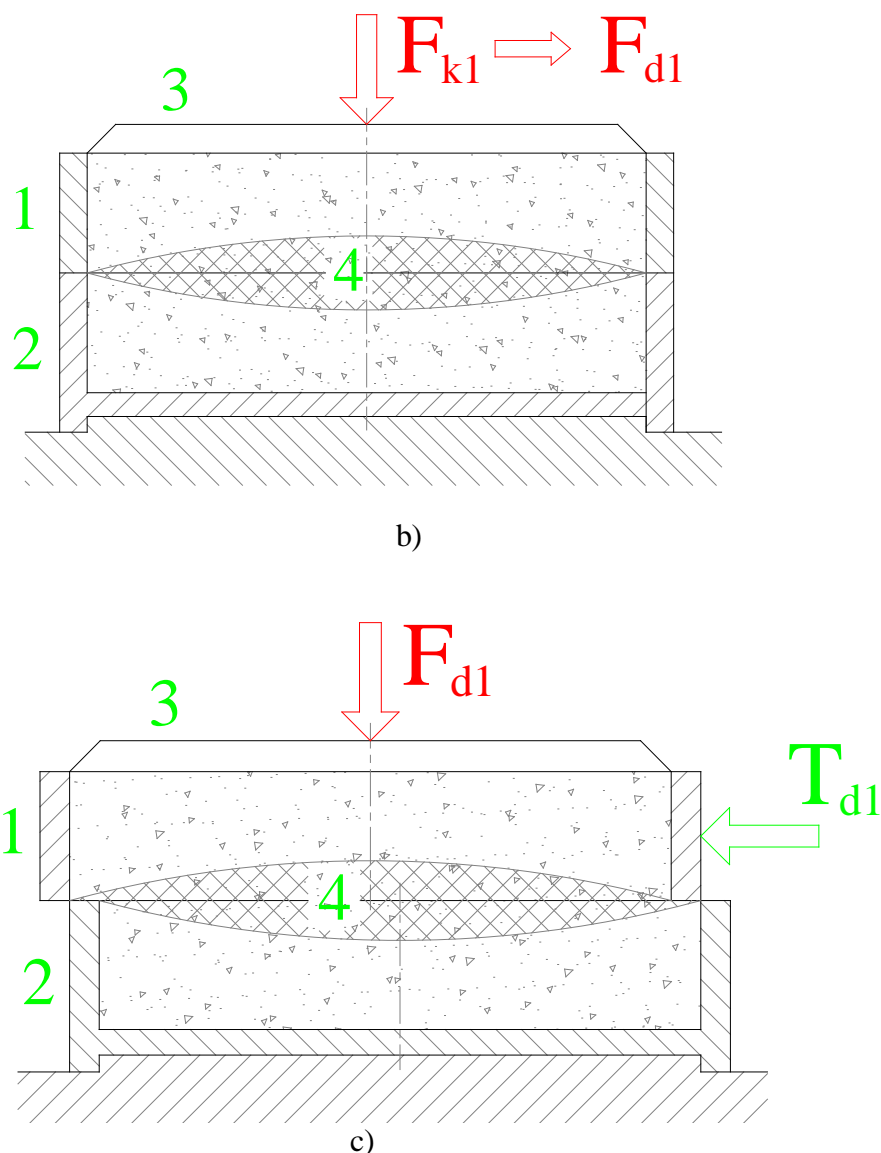
Pre štúdium tokových vlastností partikulárnych látok bolo skonštruovaných mnoho testovacích prístrojov. Najrozšírenejší je však Jenikeho šmykový prístroj.



Obr. 31 Jenikeho prístroj pre testovanie vnútorného uhla trenia. 1. krúžok, 2. miska, 3. veko, 4. rámik, 5. závažie, 6. posuvný hrot, 7. snímač šmykovej sily, 8. mechanizmus pohonu hrotu, 9. rám. 10. zapisovač.

Pozostáva z misky, krúžku a veka, ktoré spolu tvoria komoru Jenikeho prístroja. Do nej sa nasype testovaný materiál. Hrot (6) sa oprie o krúžok (1) a prostredníctvom mechanizmu pohonu (8) a snímača (7) posunie krúžok (1) s vekom (3) po povrchu misky (2). Snímač (7) zaznamená šmykovú silu na zapisovač (10). Na veku (3) je počas testu položený rámik (4) so závažím (5), ktoré vyvoláva v partikulárnej látke normálové napätie σ .





Obr.32 Komora Jenikeho šmykového prístroj. 1. šmykový krúžok, 2. pevná miska, 3. veko, 4. šmyková zóna, a) poloha pred testom b) poloha v okamihu došmyku, c) poloha na konci testu.

Test prebieha nasledujúcim spôsobom. Na misku (2) sa položí veko (1), pričom sa presadí o hrúbku steny, tak ako je to znázornené na (obr. 32a). Nasype sa testovaná látka a zakryje sa vekom (3). Veko sa zaťaží konsolidačným závažím F_{k1} . Látka sa skonsoliduje a zapne sa posuv hrotu (6, obr. 31). Tento posunie krúžok (1) s vekom (3) a rámkom (4) so závažím (5) o dĺžku odpovedajúcu hrúbke steny misky. Nameria sa šmyková sila T_{k1} . Tento krok sa nazýva predšmyk. Miska s krúžok sa dostanú do polohy, kedy budú nad sebou (obr. 32b). Vtedy sa odoberie časť závažia, čím ostane zaťaženie vzorky silou F_{d1} , a opäť sa zapne posuv. Krúžok prejde dráhu o dĺžke znovu odpovedajúcej hrúbke steny krúžku. Nameria sa šmyková sila T_{d1} . Tento krok sa nazýva došmyk. Potom sa posuv vypne. Týmto je ukončená prvá časť testu. Materiál, ktorý sa nachádzal v komore sa vyberie a odváži. Zo známej hmotnosti a objemu komory sa vypočíta hustota materiálu. Takto sa získal prvý bod medznej krivky (obr. 33).

Celý postup sa zopakuje. Nová vzorka sa opäť skonsoliduje silou F_{k1} , touto silou sa spraví aj predšmyk. Rozdiel bude len v tom, že došmyk sa uskutoční s menšou silou F_{d2} ako pri prvom meraní. Tejto sile potom odpovedá nameraná šmyková sila T_{d2} .

Tento postup sa zopakuje päť krát, pričom konsolidácia a predšmyk je vždy pri rovnakej sile, ale sila došmyku sa vždy znižuje:

$$F_{d1} > F_{d2} > F_{d3} > F_{d4} > F_{d5} \quad (37)$$

Konsolidačná sila F_k a sila predšmyku F_d sa prepočíta na normálové napätie

$$\sigma_k = \frac{F_{k1}}{S_J} = \frac{F_{k1}}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (38)$$

Sily došmyku sa tiež prepočítajú

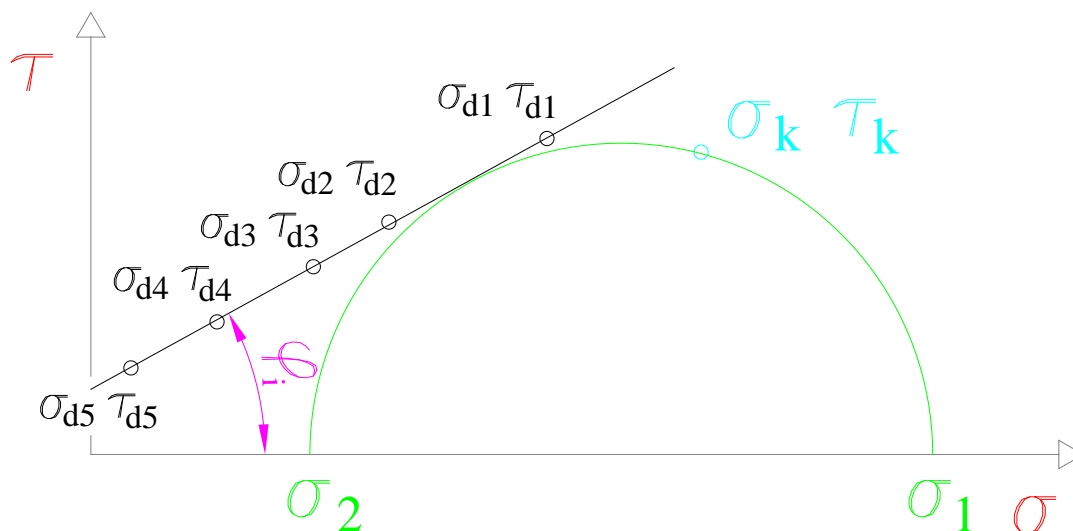
$$\sigma_{di} = \frac{F_{di}}{S_J} = \frac{F_{di}}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (39)$$

Podobným spôsobom sa prepočítajú namerané šmykové sily pre predšmyku a došmyku:

$$\tau_k = \frac{T_{k1}}{S_J} = \frac{T_{k1}}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (40)$$

$$\tau_{di} = \frac{T_{di}}{S_J} = \frac{T_{di}}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (41)$$

Z týchto hodnôt sa zostavia dvojice normálových a im zodpovedajúcich šmykových napätí, ktoré sa zobrazia v grafe.



Obr. 33 Diagram medznej krivky so zobrazením Mohrovej kružnice napätosti a uhlom vnútorného trenia.

Cez tieto dvojice bodov sa preloží priamka. Uhol, ktorý zvierá táto priamka s osou x predstavuje vnútorný uhol trenia φ_i .

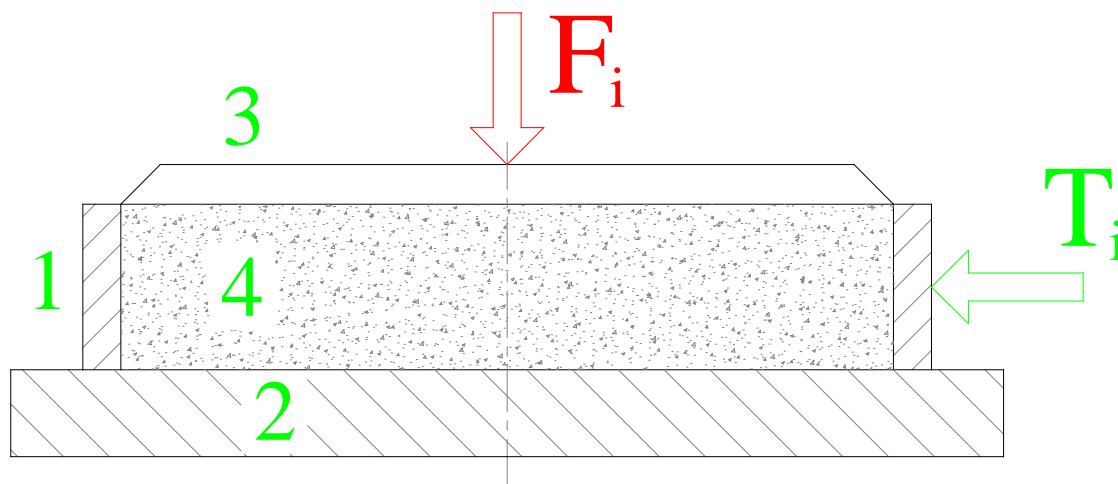
K medznej krivke sa môže zostrojiť Mohrova kružnica napätí. Prechádza bodom ktorý daný dvojicou napätí vypočítaných z predšmyku. Okrem toho je táto kružnica dotyčnicou s medzej krivke a jej stred musí ležať na osi x . Táto kružnica potom charakterizuje napätosť partikulárnej látky.

Vonkajšie trenie

Ďalšou dôležitou látkovou vlastnosťou je súčiniteľ trenia pri pohybe partikulárnej látky po povrchu.

Tento jav nastáva napr. pri doprave práškoveho materiálu v závitovkovom dopravníku. Vtedy je v kontakte prášok so stenou dopravníka a so závitovkou. Podobná situácia sa objavuje pri vyprázdňovaní zásobníkov. Vtedy je materiál v pohybe a vrstvy, resp. častice, ktoré sú pri stene zásobníka, trú o jeho stenu. Toto trenie samozrejme kladie odpor voči pohybu. Čím je povrch hladší, tým je táto hodnota nižšia. Súčiniteľ vonkajšieho trenia je teda dôležitý napr. pri návrhu dopravných ciest, zásobníkov, atď.

Pre meranie tejto vlastnosti látok sa používa opäť Jenikeho šmykový prístroj (obr.33). Rozdiel je len v tom, že miesto na miskú (2) sa položí krúžok (1) na platňu z materiálu voči ktorému sa meria vonkajší uhol trenia. Kým vnútorný uhol trenia je látkovou vlastnosťou konkrétneho práškoveho materiálu, vonkajší uhol závisí od samotnej partikulárnej látky ale aj od povrchu materiálu s ktorým je v kontakte, napr. plechu z ktorého je vyrobený zásobník.

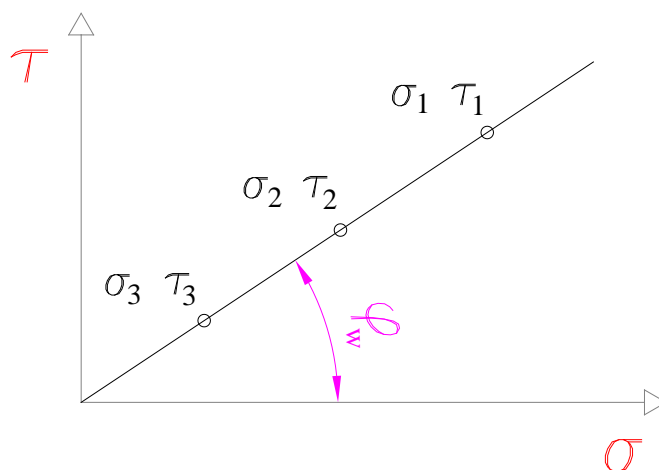


Obr.34 Jenikeho šmykový prístroj v usporiadaní pre meranie stenového trenia. 1. posuvný krúžok, 2. testovaný povrch, 3. veko, 4. partikulárna látka.

Na doštičku z materiálu, voči ktorému sa meria stenové trenie, sa položí krúžok zo šmykového prístroja, nasype sa partikulárna látka, položí sa veko a zaťaží konsolidačnou silou F_{kl} . Potom sa zapne posuv silomerného hrotu. Nameria sa šmyková sila T_{dl} . Počas neprerušeneho posuvu silomerného hrotu sa postupne odoberajú závažia. Tým sa znižuje normálové zaťaženie F_i a pre každú jeho hodnotu sa zaznamená odpovedajúca šmyková sila T_i . Meranie by sa malo spraviť aspoň pre tri hodnoty vertikálnej sily. Čím je nižšia normálová sila, tým nižšie je aj stenové trenie. Normálové sily F_i a namerané šmykové sily sa prepočítajú na napätia a ich hodnoty sa zobrazia v grafe $\sigma - \tau$.

$$\sigma_i = \frac{F_i}{S_J} = \frac{F_i}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (42)$$

$$\tau_i = \frac{T_i}{S_J} = \frac{T_i}{\frac{\pi d_J^2}{4}} \quad (43)$$



Obr. 35 Diagram so zobrazením uhla vonkajšieho trenia.

Body sa aproximujú priamkou prechádzajúcou počiatkom súradnicového systému. Uhol φ_w medzi osou normálového napätia a touto priamkou sa nazýva uhlom stenového trenia.