

## Mletí - stanovení parametrů sypkých materiálů

### Úvod:

Mletím se zdrobňují částice na velikost menší než 1,25 mm. Pro zjednodušení problému se předpokládají částice kulového tvaru. Většinu parametrů sypkých materiálů vypočítáváme z výsledků síťových analýz jejich vzorků normalizovanými síty.

### Úkol:

Stanovit u sypkého materiálu

- 1) *granulometrické složení (zrnitost)*
- 2) *střední prosevný průměr  $d_s$ ,*
- 3) *stupeň zdrobnění  $S_i$*
- 4) *specifický povrch  $a$ ,*
- 5) *sypanou (objemovou) hustotu  $\rho_V$ ,*
- 6) *hustotu (kompaktního materiálu bez mezer)  $\rho_s$ ,*
- 7) *mezerovitost  $\varepsilon_0$ ,*
- 8) *účinnost mletí  $\eta$ ,*
- 9) *sypaný úhel  $\alpha$ .*

a jejich závislost na době mletí.

### Teoretický úvod:

1) *Granulometrické složení* vyjadřuje závislost hmotnostních zlomků  $w_i$  frakcí sypkých materiálů na hodnotě zrnění nebo střední velikosti částic. *Frakce* je část sypkého materiálu se zrna vhodně zvoleného nebo předepsaného *zrnění* získaná síťovou analýzou. *Zrnění* vyjadřuje interval velikosti částic ve frakci, které prošly sítím o délce  $l_{i-1}$  strany ok síta a byly zadrženy na sítě o straně ok  $l_i$ . Vyjadřuje se zlomkem  $l_{i-1}/l_i$ . např. zrnění 2/1 vyjadřuje, že frakce síťové analýzy obsahuje zrna prošedší sítím o straně ok 2 mm a zadržena na sítě o straně ok 1 mm. Frakce s hodnotou zlomku zrnění  $l_{i-1}/l_i \leq 2$  je považována za *monodisperzní* a střední velikost částic  $d_i$  v ní se vypočítává z aritmetického průměru

$$d_i = \frac{l_{i-1} + l_i}{2} \quad (\text{R-1})$$

Frakce s hodnotou  $l_{i-1}/l_i \geq 2$  se považuje za *polydisperzní* a střední velikost částic v ní se vypočítává z geometrického průměru

$$d_i = (l_{i-1} \cdot l_i)^{0,5} \quad (\text{R-2})$$

Výjimkou při výpočtu střední velikosti částic je velikost částic poslední frakce, která prošla oky posledního síta s nejmenšími oky a byla zadržena na dně soupravy sít. Střední velikost zrn této poslední frakce nemůžeme počítat jinak než podle rov. (R-1).

Granulometrické složení vyjadřujeme formou přehledné tabulky nebo názorněji *granulometrickým spektrem* (spojnicovým grafem) a nebo *granulometrickým histogramem* (sloupcovým grafem). Spektrum je výhodnější, protože umožňuje porovnání změn složení vzorků materiálu při různých dobách mletí v jednom grafu.

Zajímavým doplňkem granulometrického složení je graf závislosti dvojitého logaritmu reciprokových hodnot hmotnostních zlomků nadsítných podílů  $\ln\left(\ln\frac{1}{w_{Ri}}\right)$  na logaritmu

strany oka síta  $l_i$ , vůči kterému se hmotnostní zlomek  $w_{Ri}$  nadsítných podílů vypočítává. Závislost vyjadřuje rovnice

$$\ln \left( \ln \frac{1}{w_{Ri}} \right) = a \ln l_i + C \quad (\text{R-3})$$

ve které jsou  $a$  a  $C$  konstanty. Hodnoty hmotnostních zlomků nadsítných podílů se vypočítávají součtem všech hmotnostních zlomků frakcí  $\sum w_i$ , které by byly zadrženy na síte o straně oka  $l_i$ , kdyby všechna síta nad ním se nacházející byla odstraněna. Linearizace síťového spektra vyjadřuje historii vzorku sypkého materiálu. Vnější zásahy do jeho přírodního složení (částečným odstraněním některé z frakcí např. vyplavením, úletem, umělým vytríděním) se projeví odchylkami v lineární závislosti. Případné odchylky od lineární závislosti v původním vzorku by se měly v průběhu mletí zmenšovat.

2) *Střední prosevný průměr*  $d_s$  je váženým průměrem velikosti částic podle jejich početního zastoupení ve frakcích vzorku:

$$d_s = \frac{\sum_1^n n_i d_i}{\sum_1^n n_i} \quad (\text{R-4})$$

Počet částic  $n_i$  v  $i$ -té frakci síťové analýzy vypočteme z hmotnosti frakce  $m_i$  a střední hmotnosti jedné částice  $m_{i\check{c}}$  podle rovnice

$$n_i = \frac{m_i}{m_{i\check{c}}} = \frac{m w_i}{K_V \rho_s d_i^3} \quad (\text{R-5})$$

ve které je  $m$  hmotnost celého vzorku,  $w_i$  hmotnostní zlomek  $i$ -té frakce,  $K_V$  tvarový součinitel pro výpočet objemu,  $\rho_s$  hustota částic a  $d_i$  charakteristický rozměr částice totožný v našem případě se střední velikostí částic. Pro předpokládaný tvar koule o objemu  $V = \pi d^3 / 6$  má tvarový součinitel hodnotu  $K_V = \pi / 6$ .

Dosazením z rov.(R-5) do rov.(R-4) a úpravami dostaneme konečnou rovnici pro výpočet středního prosevného průměru

$$d_s = \frac{\sum_1^n \frac{m w_i}{K_V \rho_s d_i^3} d_i}{\sum_1^n \frac{m w_i}{K_V \rho_s d_i^3}} = \frac{\sum_1^n \frac{w_i}{d_i^2}}{\sum_1^n \frac{w_i}{d_i^3}} \quad (\text{R-6})$$

3) *Stupeň zdrobnění*  $S_i$  je jedním z kritérií účinnosti mletí. Je definován poměrem středních prosevných průměrů před mletím a po něm:

$$S_i = \frac{d_{so}}{d_{si}} \quad (\text{R-7})$$

nebo také

$$S'_i = \frac{d_{s(i-1)}}{d_{si}} \quad (\text{R-8})$$

S narůstající dobou mletí se zvětšuje podíl jemných částic v mletém materiálu, které brání v rozemletí hrubších částic, takže hodnota stupně zdobnění podle rov.(R-7) se téměř nemění a mletí se stává neúčinným. Podobně se stává mletí neúčinným, blíží-li se hodnota stupně zdobnění podle rov.(R-8) jedné.

4) *Specifický povrch*  $a$  je důležitým kritériem užitečných vlastností tuhých materiálů. Jeho velká hodnota je požadována pro rychlé reakce s tuhými fázemi, rychlé rozpouštění, usazování, fluidaci apod. Je definován povrchem jednotkové hmotnosti částic podle rovnice

$$a = \frac{A}{m} \quad (\text{R-9})$$

ve které je  $A$  povrch částice o hmotnosti  $m$ .

Povrch částice se vypočítá, podobně jako objem, s použitím tvarového součinitele, ale povrchu  $K_A$  a charakteristického rozměru částice, např. pro kouli o průměru  $d$ :

$$A = K_A d^2 = \pi d^2, \text{ takže } K_A = \pi \quad (\text{R-10})$$

Hmotnost částice  $m$  se vypočítá stejně jako v rov.(R-5), takže hodnota specifického povrchu  $a_s$  částic o velikosti středního prosevního průměru  $d_s$  se vypočte podle rovnice

$$a_s = \frac{K_A d_s^2}{K_V \rho_s d_s^3} = \frac{K_A}{K_V \rho_s d_s} = \frac{\pi}{\frac{\pi}{6} \rho_s d_s} = \frac{6}{\rho_s d_s} \quad (\text{R-11})$$

Z rov.(R-11) je zřejmé, že s prodlužující se dobou mletí musí specifický povrch vzrůstat.

5) *Sypná (objemová) hustota*  $\rho_V$  má význam pro skladování sypkých materiálů. Je definována hmotností objemové jednotky volně nasypaného (bez setřásání) materiálu:

$$\rho_V = \frac{m}{V_V} \quad (\text{R-12})$$

V rov.(R-12) je  $m$  hmotnost volně nasypaného materiálu a  $V_V$  jeho objem. Sypná hustota se může během mletí měnit.

6) *Hustota*  $\rho_s$  (*kompaktního materiálu bez mezer*) se stanoví buď pyknometricky nebo jednodušeji a s postačující přesností z přírůstku objemu  $V_s$  v odměrném válci částečně naplněném vodou po nasypání hmotnosti  $m$  vzorku podle známého vztahu

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (\text{R-13})$$

7) *Mezerovitost*  $\varepsilon_0$  je rovněž důležitou veličinou z hlediska skladování sypkých materiálů. Zatímco hustota tuhých materiálů bývá uváděna v tabulkách, sypné hustoty, důležité z hlediska skladování, nemohou být uváděny, protože závisejí na podílu mezer mezi jednotlivými zrny. Podíl mezer závisí na disperzitě materiálů. U monodisperzních je větší, protože u polydisperzních zapadá část malých zrn do mezer mezi velkými zrny a tím se mezerovitost snižuje.

Mezerovitost je podíl objemu mezer  $V_0$  mezi zrny sypkého materiálu na celkovém (sypném) objemu  $V_v$ . Objem mezer  $V_0$  je dán rozdílem mezi sypným objemem  $V_v$  a objemem kompaktního materiálu (bez mezer)  $V_s$ , takže mezerovitost je definována rovnicí

$$\varepsilon_0 = \frac{V_0}{V_V} = \frac{V_v - V_s}{V_V} = 1 - \frac{V_s}{V_V} \quad (\text{R-14})$$

Protože objemy  $V_V$  a  $V_s$  musí být vztaženy ke stejné navážce vzorku, což může působit potíže při stanovení hodnoty  $V_s$  způsobené špatnou smáčivostí jemných zrn, vypočítáváme mezerovitost ze sypné hustoty a hustoty podle rovnice

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{V_s}{V_V} = 1 - \frac{\frac{m}{\rho_s}}{\frac{m}{\rho_V}} = 1 - \frac{\rho_V}{\rho_s} \quad (\text{R-15})$$

ve které uvedené hustoty nezávisí na hmotnosti navážek a navíc stanovení hustoty nezávisí na zrnitosti ani zrnění použité navážky a můžeme se tak vyhnout potížím při jejím experimentálním stanovení způsobeným již zmíněnou špatnou smáčivostí jemných zrn.

8) *Účinnost mletí*  $\eta$  můžeme též vyjádřit vzhledem ke zvolené nebo dané délce strany oka síta jako podíl rozdílu hmotnostních zlomků frakcí, které by byly zadrženy na síte před mletím  $w_{r0}$  a po něm  $w_{Ri}$  ku hmotnostnímu zlomku frakcí, které by byly zadrženy před mletím (nadsítné podíly, zkráceně nadsítné, jak již bylo zmíněno u rov. (R-3) ):

$$\eta = \frac{w_{R0} - w_{Ri}}{w_{R0}} \quad (\text{R-16})$$

9) *Sypný úhel*  $\alpha$  má význam pro skladování sypkých materiálů. V laboratorních podmínkách jej stanovíme výpočtem výšky  $h$  a změřením poloměru  $r$  volně nasypané hromádky kuželového tvaru, výpočtem tangenty sypného úhlu  $\alpha$  a jeho nalezením na kalkulačce.

#### **Sestava aparatury:**

Ke stanovení parametrů sypkých materiálů v průběhu mletí potřebujeme mlýn, váhy s postačující citlivostí 0,1 g, soupravu normalizovaných sít a prosévací zařízení, na stanovení sypného úhlu podložku s drátem podle níže uvedeného obrázku.

#### **Postup při měření:**

Ze zadaného vzorku odstraníme nejhrubší částice sítem o straně oka např. 4 mm, které použijeme pro stanovení hustoty  $\rho_s$  (kompaktního materiálu bez mezer). Je-li vzorek zbavený největších zrn příliš velký, zmenšíme jej na potřebnou hmotnost asi 200 g *kvartováním* (čtvrcením). Vzorek nasypeme násypkou na hladký papír, vzniklý kužel zploštíme prkénkem na výšku asi 3 cm a na takto vzniklém komolém kuželu vyznačíme pravítkem čtyři kolmé čtvrti. Protilehlé čtvrti odebereme dvěma kolmo na sebe přiloženými pravítky, vytvoříme z nich nasypáním další kužel a kvartovací postup opakujeme až získáme vzorek asi 200 g.

Nejprve stanovíme sypnou hustotu nasypáním asi 100 g vzorku násypkou do odměrného válečku o objemu 100 ml, zarovnááním povrchu proužkem tuhého papíru a odečtením objemu. Vzorek vysypeme do kádinky a měření ještě dvakrát opakujeme (celkem 3 měření). Ze změřených objemů vypočteme průměr, který použijeme pro výpočet sypné hustoty vzorku podle rov. (R-12).

Pak stanovíme granulometrické složení vzorku před mletím. Sestavíme sadu pěti normalizovaných sít tak, aby byla splněna podmínka monodisperzity frakcí získaných proséváním. Vybereme např. síta o stranách ok 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,125 mm. Poměr stran ok po sobě následujících sít musí být menší než 2. Síto s největšími oky umístíme jako první shora, pod ně síta s postupně se zmenšujícími oky až síto s nejmenšími oky je posledním v soupravě. Soupravu sít uzavřeme nahoře víkem a dole miskou pro propad posledním sítem.

Odvážíme asi 100 g vzorku s přesností 0,1 g, sejmeme víko na soupravě sít a na nejhořejší síto s největšími otvory nasypeme vzorek. Soupravu uzavřeme víkem a upevníme ji na laboratorní třepačku a při mírné frekvenci třepání proséváme asi 2 min. Prosévání dokončíme ručně. Soupravu sít postavíme na stůl, sejmeme víko, vyjmeme všechna síta z misky na propad a postavíme je na lesklý papír. Propad vybereme lžičkou a zbytek vysypeme do zvážené porcelánové misky.

První síto vložíme do vyprázdněné misky na propad a uzavřeme je víkem. Pak dokončujeme prosévání. Občas síto pootáčíme, poklepáváme jeho plášť a lehkými údery o tvrdou podložku (prkénko) uvolňujeme zrna vzpříčená v okách síta. Podíl propadlý do misky na propad nasypeme na druhé síto a v prosévání prvním sítem pokračujeme až už sítem nepropadá važitelné množství vzorku (méně než 0,1 g). Tím je prosévání první frakce sítové analýzy dokončeno. Frakci vysypeme do zvážené porcelánové misky, síto obrátíme dnem vzhůru a částice vzpříčené v otvorech síta uvolníme opatrně kartáčkem na zuby, na ruce nebo smetáčkem na podstavený lesklý papír a přidáme k první frakci v porcelánové misce. Pak frakci zvážíme a její hmotnost zapíšeme. Podobně postupujeme při zjišťování hmotnosti dalších frakcí. U sít s malými oky uvolňujeme vzpříčená zrna zvlášť opatrně, abychom síta neprotrhli. Použitím víka a misky na propad zabraňujeme obtěžování sebe a okolí prášením. Dokončování prosévání je tím časově náročnější, čím jemnější frakci proséváme. Propad z prosévání poslední (nejemnější) frakce přidáme k propadu na porcelánové misce vysypaného z misky na propad po prosévání na laboratorní třepačce (před ručním proséváním první, nejhrubší frakce).

Změřené hmotnosti frakcí zapíšeme do uvedené tabulky, kterou použijeme k nakreslení sloupcového grafu zrnitosti (histogramu) nebo granulometrického spektra a jeho linearizace a k výpočtům dalších parametrů.

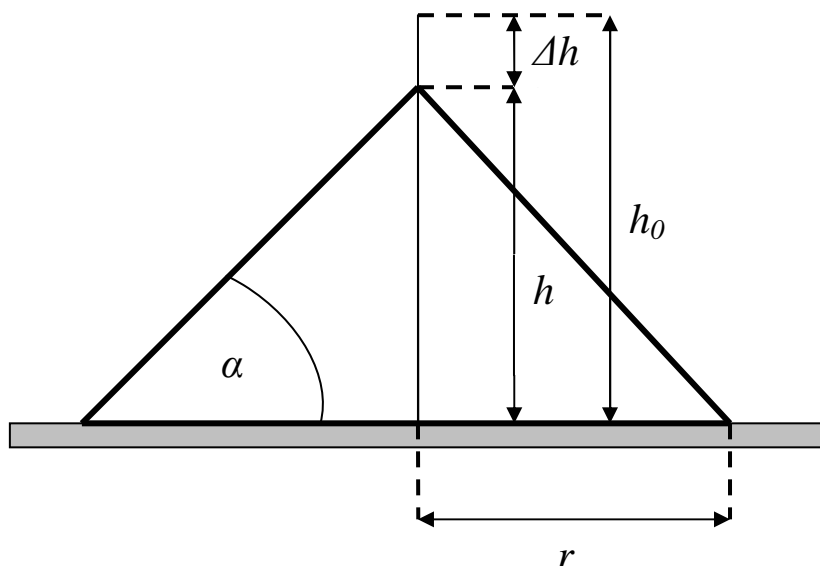
Po každém mletí stanovíme sypnou hustotu  $\rho_V$  a pak vzorek opět proséváme popsáním způsobem. K posouzení změn parametrů materiálu během mletí potřebujeme alespoň 5 měření, v našem případě pro doby mletí 0, 5, 10, 15 a 20 s na vibračním mlýně. Doby mletí měříme stopkami, Mlecí doby realizujeme tak, že po každém mletí, stanovení sypné hustoty, vytrídění frakcí a jejich zvážení frakce sesypeme a znovu meleme dalších 5 s a mlecí dobu 5 s přičteme k předchozímu součtu jednotlivých mlecích dob.

Kdykoliv během mletí nebo i po něm můžeme stanovit hustotu  $\rho_s$  materiálu (kompaktního, bez mezer) nasypáním asi 50 g vzorku odváženého s přesností 0,1 g do odměrného válečku na 100 ml naplněného asi do poloviny objemu vodou. Ke stanovení použijeme nejhrubšího podílu zbývajících na síte o nejdelší straně oka síta, protože hustota  $\rho_s$  nezávisí na zrnění ani zrnitosti vzorku. Hustotu stanovujeme aspoň třikrát. Po každém stanovení vyprázdníme odměrný váleček, částice, které v něm zbyly, spláchneme stříčkou na dno válečku, nalijeme do něj vodu po značku asi 50 ml a nasypeme do něj novou navážku

vzorku. Hustoty vypočteme podle rov.(R-13) a z nich průměrnou hodnotu, kterou použijeme při dalších výpočtech.

Stanovené parametry vypočtené podle shora uvedených rovnic zapíšeme do tabulky vyjadřující jejich závislost na době mletí a pro názornější představu nakreslíme příslušné grafy.

Sypný úhel  $\alpha$  stanovíme nasypáním asi 400 ml vzorku násypkou se širokým stonkem posazenou na vodorovnou podložku s kolmo na sebe umístěnými měřítky na podložce. V jejím středu je svisle umístěný drát s vyznačenou výškou  $h_0$ , který prochází osou násypky. Do násypky nasypeme vzorek a násypku pomalu a centricky zvedáme. Tím vytvoříme hromádku tvaru kužele o výšce  $h$ . Zrna rozkutálená na měřítkách, znesnadňující odečítání poloměrů, přihneme opatrně k hromádce, aniž bychom změnili sypný úhel  $\alpha$ , odečítáme délky poloměrů a vypočteme jejich průměrnou hodnotu  $r$ . Pak změříme vzdálenost  $\Delta h$  mezi výškou hromádky  $h$  a výškou  $h_0$  vyznačenou na drátu a vypočteme podle následujícího obrázku hodnotu  $\text{tg } \alpha$  a na kalkulačce příslušnou hodnotu sypného úhlu.



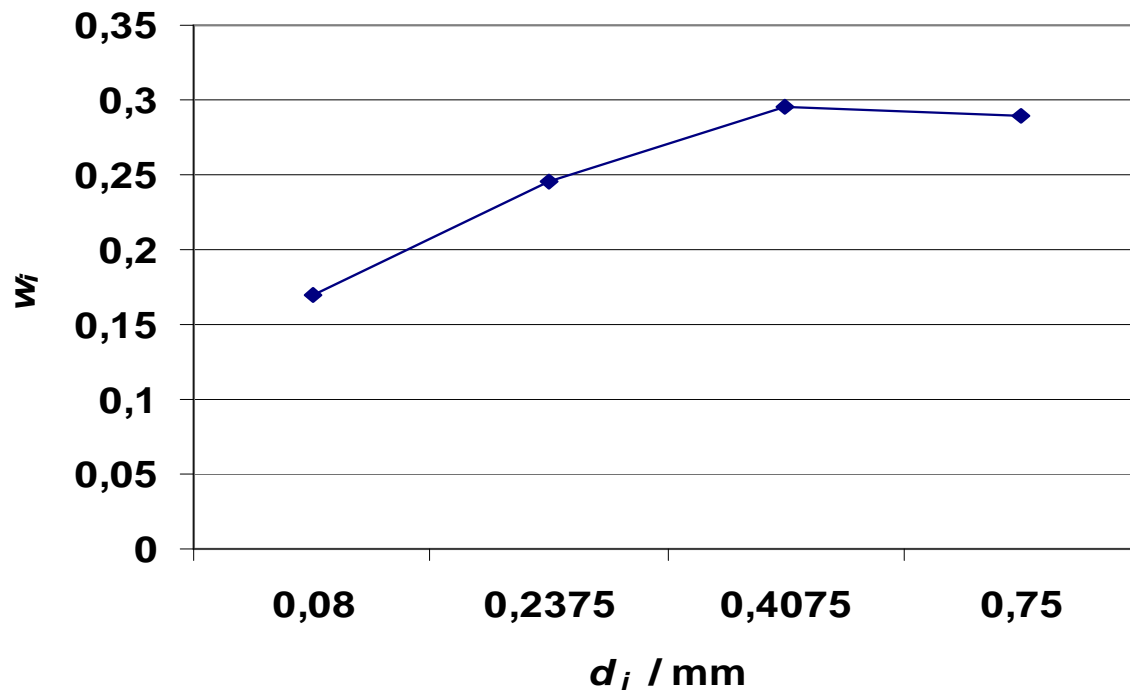
### Vyhodnocení výsledků měření:

#### 1) Granulometrické složení

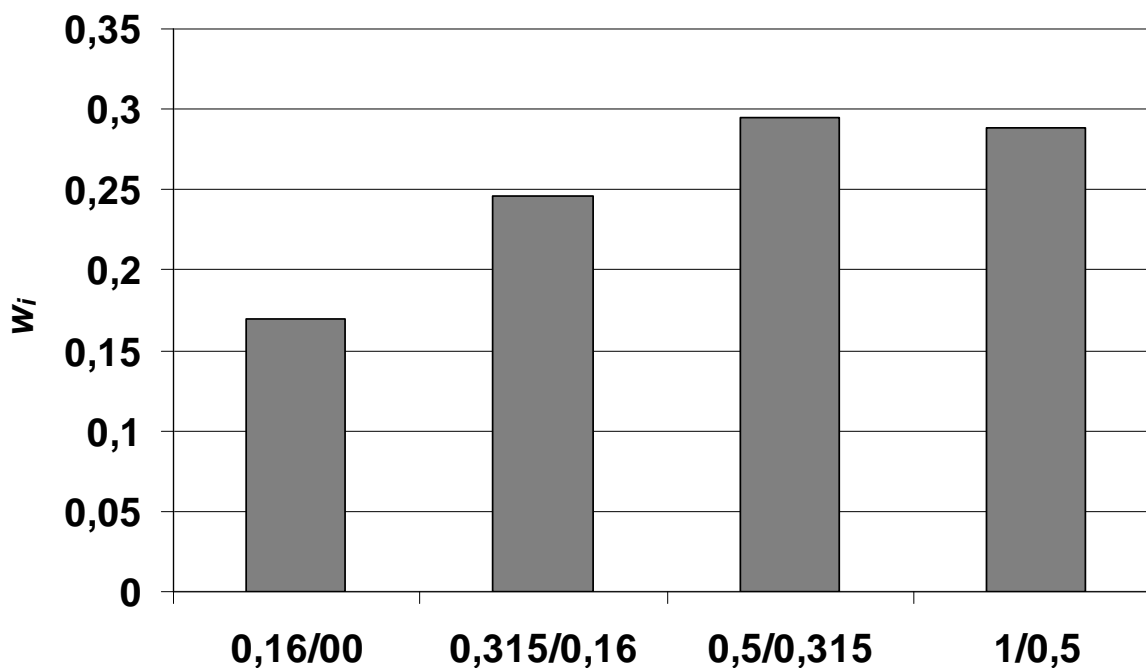
Výsledky sítové analýzy vzorku písku před mletím (zestručněný příklad)

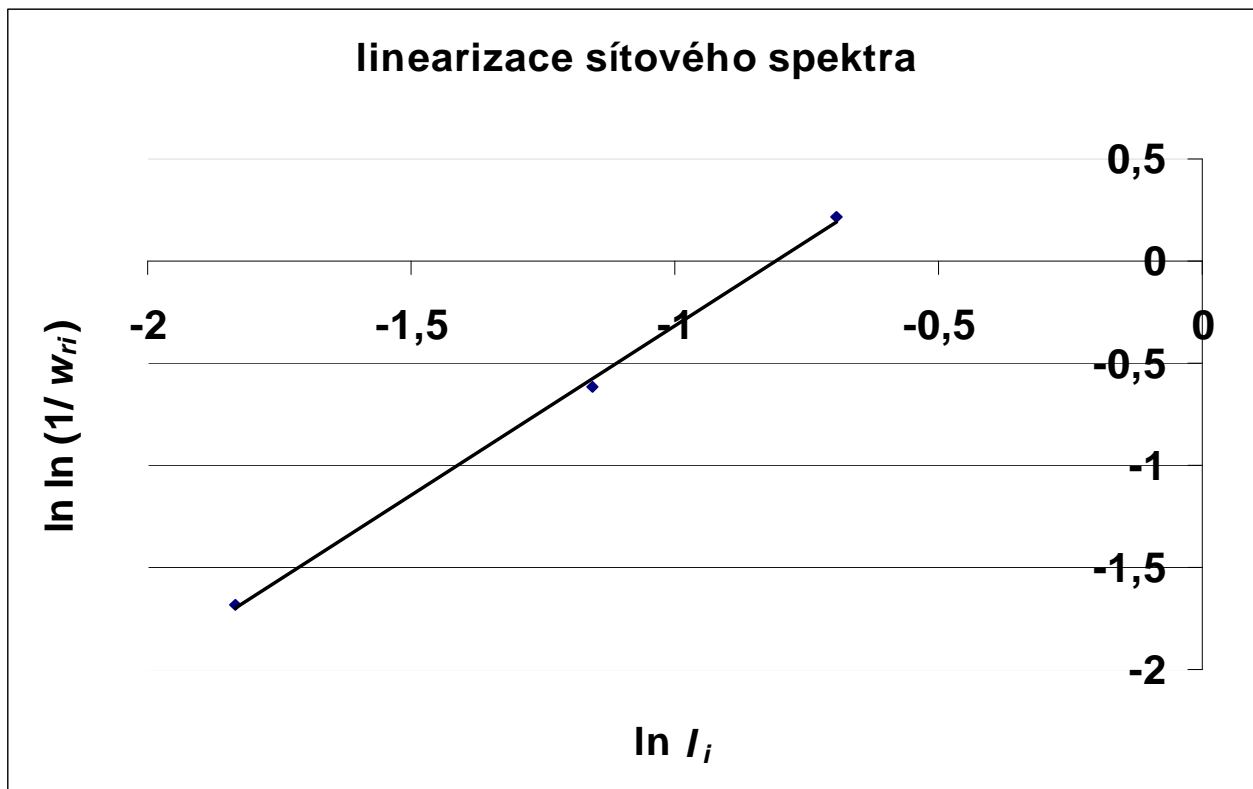
Zrnění mm/mm	$l_i /$ mm	$d_i /$ mm	$w_i /$ 1	$(w_i / d_i^2) /$ $\text{mm}^{-2}$	$(w_i / d_i^3) /$ $\text{mm}^{-3}$	$w_{Ri} /$ 1	$\ln l_i /$ 1	$\ln [\ln(1/w_{Ri})] /$ 1
1/0,5	0,500	0,75	0,289	0,514	0,685	0,289	-0,693	0,216
0,5/0,315	0,315	0,4075	0,295	1,777	4,359	0,584	-1,155	-0,620
0,315/0,16	0,16	0,2375	0,246	4,361	18,363	0,830	-1,833	-1,680
0,16/prop	0,00	0,08	0,170	26,563	332,031	1,000	-----	-----
$\Sigma$	----	-----	1,000	33,215	355,438	-----	-----	-----
$d_{50} = 0,093 \text{ mm}$								

spektrum zrnitosti (granulometrické spektrum)



Sloupcový graf zrnitosti (histogram)





2) až 8) Podle výsledků síťových analýz před mletím a po každé době mletí vypočteme podle shora uvedených rovnic parametry mletého vzorku uvedené v následujících tabulkách.

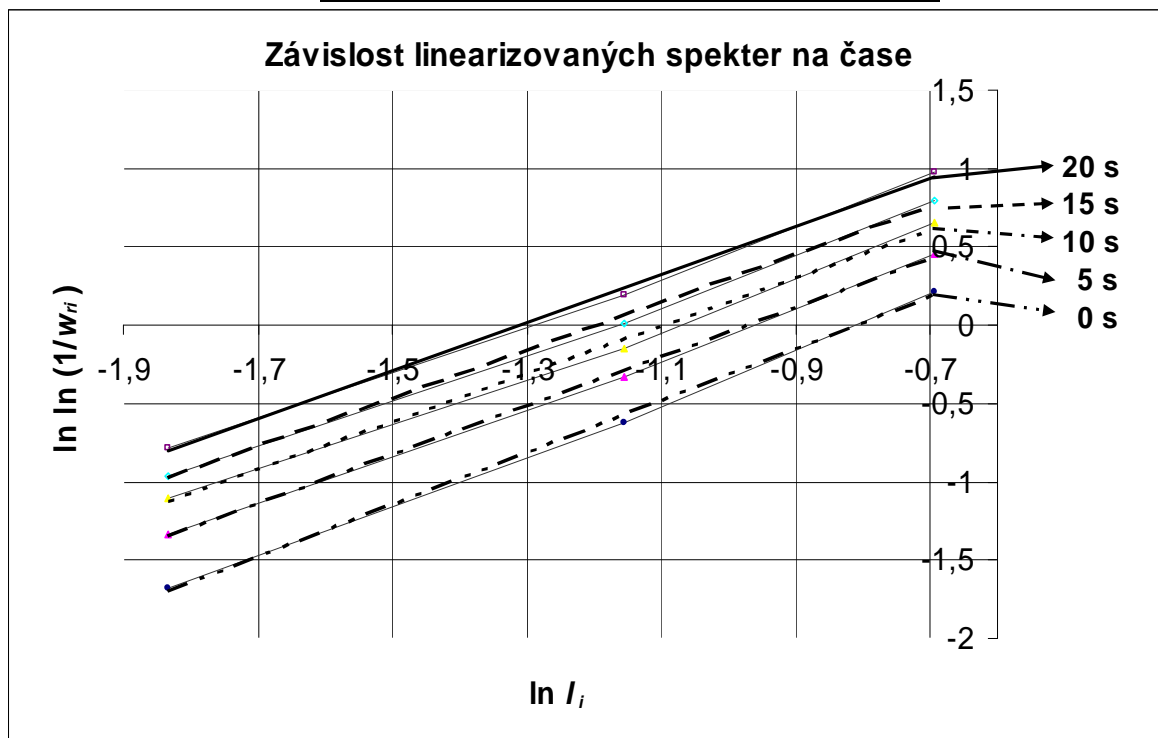
Tabulka závislosti parametrů mletého materiálu na čase (účinnost  $\eta_1$  se vztahuje k sítu o straně oka 0,5 mm,  $\eta_2$  k sítu o straně oka 0,16 mm)

$\tau / s$	$d_s / mm$	$S / 1$	$S' / 1$	$a_s / m^2 kg^{-1}$	$\rho_v / kg m^{-3}$	$\varepsilon_0 / 1$	$\eta_1 / 1$	$\eta_2 / 1$
0	0,093	1,00	1,00	0,0244	1531	0,419	0	0
5	0,090	1,03	1,03	0,0253	1519	0,424	0,287	0,077
10	0,089	1,04	1,01	0,0255	1474	0,441	0,495	0,135
15	0,088	1,06	1,01	0,0258	1488	0,436	0,619	0,178
20	0,087	1,07	1,01	0,0261	1488	0,436	0,754	0,236

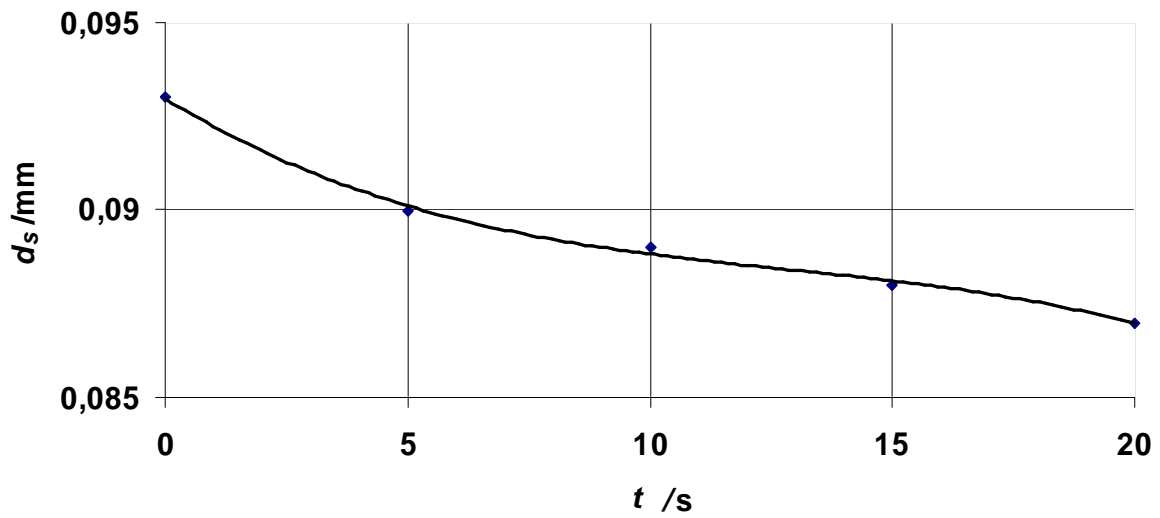


Tabulka závislosti linearizovaných spekter na době mletí (hodnota  $A_i$  znamená  $\ln \ln (1/w_{Ri})$ )

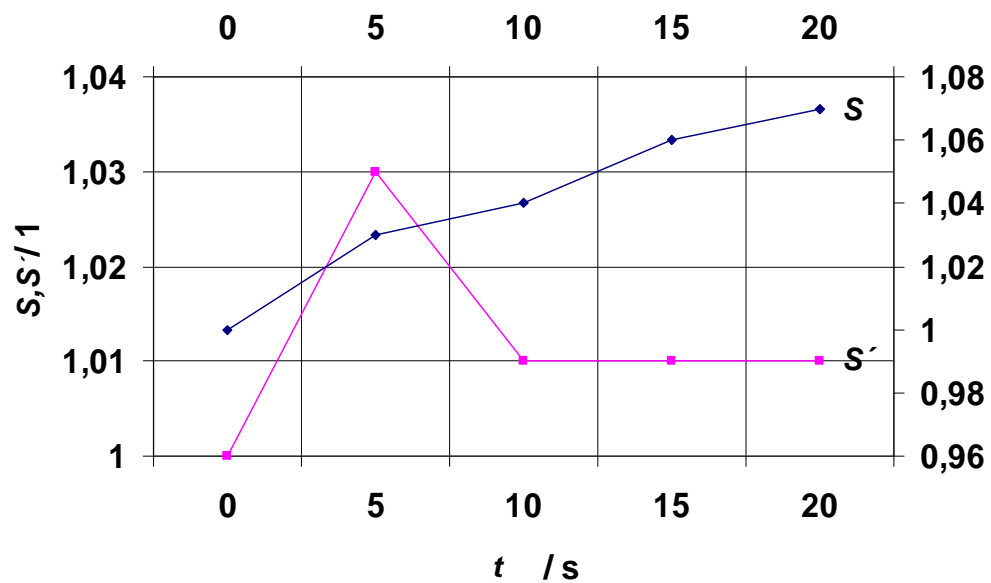
$\tau / s$	$w_{Ri} / 1$	$l_i / mm$		
		0,5	0,315	0,16
0	$w_{R0}$	0,289	0,584	0,830
	$A_0$	0,216	-0,620	-1,680
5	$w_{R5}$	0,206	0,488	0,766
	$A_5$	0,457	-0,332	-1,322
10	$w_{R10}$	0,146	0,422	0,718
	$A_{10}$	0,654	-0,148	-1,105
15	$w_{R15}$	0,110	0,363	0,682
	$A_{15}$	0,792	0,013	-0,960
20	$w_{R20}$	0,071	0,299	0,634
	$A_{20}$	0,973	0,188	-0,786



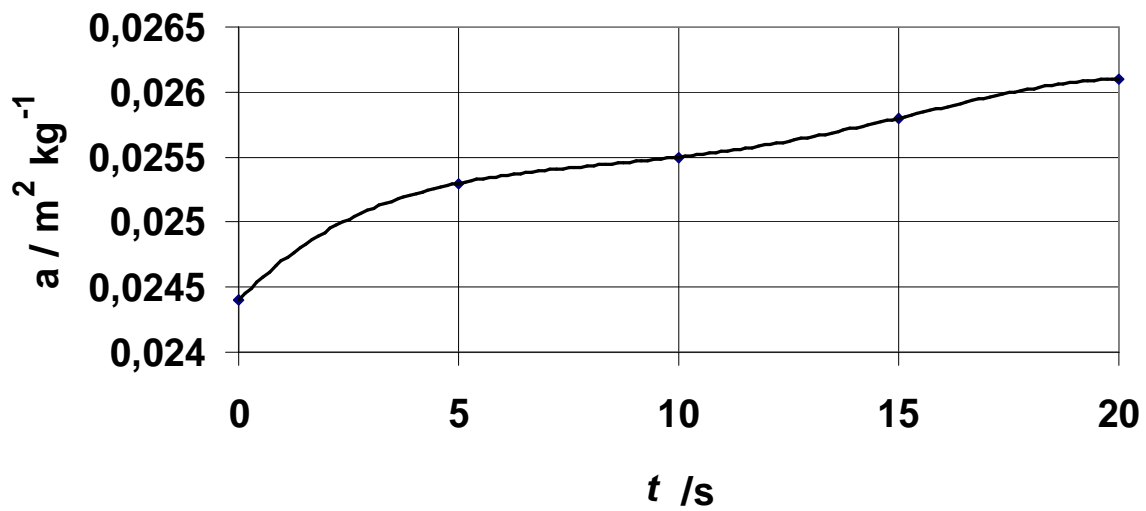
**Závislost středního prosevního průměru  $d_s$  na době mletí  $t$**



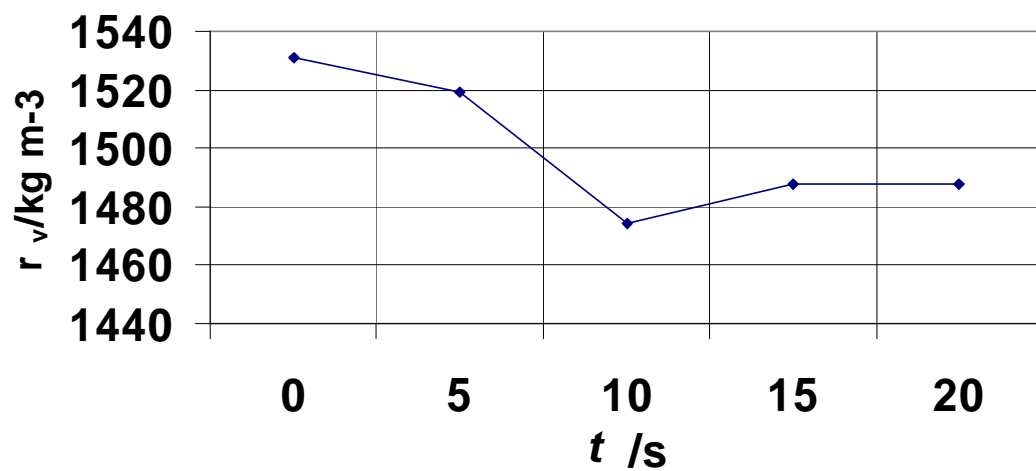
**Závislost stupňů zdrobnění  $S, S'$  na době mletí  $t$**

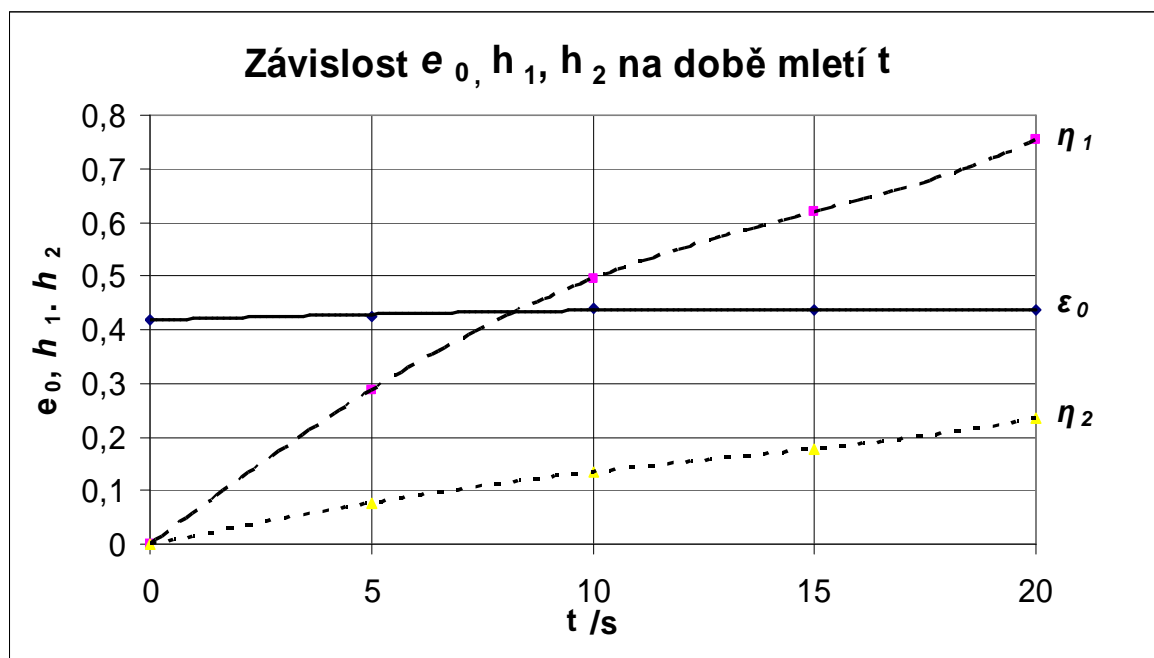


**Závislost specifického povrchu  $a$  na době mletí  $t$**



**Závislost sypané hustoty  $r_v$  na době mletí  $t$**





9) Při stanovení sypného úhlu byla vytvořena z objemu 400 ml vzorku hromádka kuželového tvaru s průměrným poloměrem  $r = 8,12$  cm, Výšková značka na drátu byla ve výšce  $h_0$  nad podložkou, vrchol hromádky byl ve vzdálenosti  $\Delta h = 16,2$  cm od výškové značky, takže výška hromádky byla  $h = 4,6$  cm. Pak  $\text{tg } \alpha = 0,5665$  a sypný úhel  $\alpha = 29^\circ 30'$ .

#### **Diskuse výsledků:**

Výsledky granulometrických rozborů (stanovení zrnitosti) potvrzují neustálé zmenšování částic se stoupající dobou mletí. Střední prosevný průměr  $d_s$ , stupeň zdrobnění  $S$  a specifický povrch  $a$  se během mletí zvětšují, nejrychleji během první mlecí doby (5 s). Stupeň zdrobnění  $S'$  se po prvním mletí zvýší, ale během dalšího zůstává konstantní, protože stupeň zdrobnění  $S$  vzrůstá prakticky lineárně.

Sypná hustota  $\rho_V$  se během mletí zmenšuje, po době mletí 10 s se ustaluje, protože granulometrické složení vzorku se blíží monodisperznímu složení. Hodnota po době mletí 10 s je zřejmě zatížena chybou měření. Se sypnou hustotou související mezerovitost zpočátku mírně vzrůstá, pak se ustaluje na konstantní hodnotě 0,44.

Obě účinnosti mletí  $\eta_1$  a  $\eta_2$  vzrůstají, ale progresivněji  $\eta_1$  vzhledem k větší straně ok síta, což je logické.

Linearizovaná spektra nevykazují prakticky odchylky od lineárního průběhu, což dokazuje granulometrickou vyrovnanost vzorku.

Závislosti všech parametrů zrnitého materiálu na době mletí velmi dobře splňují logické předpoklady

#### **Příloha:**

Tabulky a grafy jsou uvedeny v odst. *Vyhodnocení výsledků měření* pro snazší orientaci v návodu.

#### **Kontrolní otázky:**

1) Vysvětlete pojmy a uveďte jejich význam: mletí, zrnění, zrnitost (granulometrické složení), frakce sítové analýzy, mono- a polydisperzní materiál, střední velikost zrna frakce, spektrum zrnitosti (granulometrické spektrum), sloupcový graf zrnitosti (histogram), linearizace sítového spektra. Jak se mění síťová spektra během mletí?

2) Definujte slovně a matematicky střední prosevný průměr, a uveďte jeho praktický význam.

3) Definujte význam tvarových součinitelů a uplatněte je při odvození rovnice pro výpočet středního prosevného průměru.

4) Definujte stupně zdrobnění. Jakou jejich závislost na době mletí předpokládáte? Pokuste se ji znázornit graficky.

5) Definujte specifický povrch a odvoďte vzorec pro jeho výpočet pro částice kulového a krychlového tvaru.

6) Jak je definována sypná hustota, jak se zjišťuje a jaký má praktický význam?. Pokuste se zdůvodnit její závislost na době mletí.

7) Jakým jednoduchým způsobem stanovíte hustotu materiálu (kompaktního, bez mezer)?

8) Definujte mezerovitost a uveďte její praktický význam.. Které veličiny potřebujete pro její výpočet?

9) Jak vypočtete účinnost mletí podle délky strany oka síta, ke kterému se účinnost vztahuje? Proč závisí účinnost na délce strany oka síta?

10) Jak zjistíte sypný úhel materiálu a jaký má praktický význam?