

## Určení prahové rychlosti fluidace

### Fluidní vrstva

Uvažujme situaci, kdy je pevná částice v gravitačním poli obtékána plynem (nebo kapalinou) ve směru proti působení gravitační síly. Na částici působí gravitační, odporová a vztlaková síla. Z těchto tří sil je pouze odporová síla závislá na rychlosti – s rostoucí rychlostí roste. Při určité rychlosti dojde k vyrovnání sil – silové rovnováze. Tento stav nazýváme stavem fluidace (vznosu) a příslušná rychlost se nazývá prahová (minimální) rychlost fluidace  $u_{mf}$ . Při dosažení tohoto stavu pro celý soubor částic tvořících vrstvu získáme fluidní vrstvu. Vrstva částic při přechodu do vznosu mírně expanduje a jednotlivé částice přestávají být ve vzájemném kontaktu. Při dalším zvyšování rychlosti se expanze vrstvy zvyšuje a nakonec dojde k úletu částic (pneumatický transport) při rychlosti  $u_t$ . Pro rychlost proudící tekutiny v rozmezí rychlostí  $u_{mf} - u_t$  je vrstva částic ve stavu fluidace.

Uplatnění fluidní vrstvy je široké, od energetiky (fluidní kotel, suška, zplyňovací reaktor) přes zpracovatelský, potravinářský a chemický průmysl. Její hlavní předností je značná kontaktní plocha mezi částicemi a protékající tekutinou a z toho vyplývající vysoká intenzita přenosu tepla a hmoty. Další výhodou je možnost zajištění kontinuálního provozu – přívodu reagentů a odvodu produktů.

### Tlaková ztráta fluidní vrstvy

Nejlépe je přechod do stavu fluidace patrný ze sledování tlakové ztráty fluidní vrstvy. Tlaková ztráta závisí na rychlosti proudění dle tzv. Ergunovy rovnice (1), až do ustálení na hodnotě (2).

$$\Delta p_b = \frac{150 \cdot H \cdot (1-\varepsilon)^2 \cdot \mu}{\varepsilon^3 \cdot \Phi^2 \cdot D^2} \cdot u + \frac{1,75 \cdot H \cdot (1-\varepsilon) \cdot \rho_g}{\varepsilon^3 \cdot \Phi \cdot D} \cdot u^2 \quad (1)$$

$$\Delta p_b = (1 - \varepsilon) \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g \cdot H \quad (2)$$

Pozor: při experimentálním měření tlakové ztráty fluidní vrstvy je nutno brát v úvahu distributor, který se Ergunovou rovnicí neřídí a chová se jako standartní místní odpor. Měřená tlaková ztráta je součtem tlakové ztráty fluidní vrstvy a distributoru ( $\Delta p_b + \Delta p_d$ ). Tlakovou ztrátu distributoru je nutno změřit zvlášť a odečíst.

### Výpočet $u_{mf}$

V literatuře je možné najít množství vzorců s omezenou platností. Nejpoužívanější vzorec, který dosahuje velmi dobré přesnosti a je navíc univerzální lze najít v [1]. Pro stav fluidace platí rovnice (3), kde  $Ar$  a  $Re_p$  se určí z (4) a (5).

$$\frac{1,75}{\varepsilon^3 \cdot \Phi} \cdot Re_p^2 + \frac{150 \cdot (1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 \cdot \Phi^2} \cdot Re_p = Ar \quad (3)$$

$$Ar = \frac{D^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \quad (4)$$

$$Re_p = \frac{D_p \cdot u \cdot \rho_g}{\mu} \quad (5)$$

### Experimentální určení $u_{mf}$

Pro experimentální určení prahové rychlosti fluidace je nutné proměřit závislost tlakové ztráty fluidní vrstvy na rychlosti proudění a identifikovat oblasti, kdy:

- tlaková ztráta roste dle Ergunovy rovnice
- tlaková ztráta se ustálí na konstantní hodnotě

Obě oblasti je možné proložit přímkou a hledaná rychlost  $u_{mf}$  se určí jako jejich průsečík.

## Úkoly:

- 1) Změřte závislost tlakové ztráty distributoru na rychlosti proudění a znázorněte graficky. Při výpočtu rychlosti proudění z průtoku předpokládejte rovnoměrný rychlostní profil (průměr potrubí  $d = 220$  mm).
- 2) Pro předložený materiál změřte závislost tlakové ztráty fluidní vrstvy na rychlosti proudění pro dvě různé výšky vrstvy a znázorněte graficky.
- 3) Ze získaných závislostí určete prahovou rychlost fluidace. Porovnejte s teoretickou hodnotou získanou z (3), (4), (5).

Popel Bílina:

$$\rho_s = 2195 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_s = 0,75$$

$$\varepsilon = 0,6$$

$$D = 0,5 \text{ mm}$$

$$\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

## Značení

$d[\text{m}]$	průměr fluidní vrstvy/ trubky
$D[\text{m}]$	průměr částice
$g[\text{m/s}^2]$	gravitační zrychlení
$H[\text{m}]$	výška vrstvy
$p[\text{Pa}]$	tlak
$u[\text{m/s}]$	rychlost proudění

## Kritéria

$Ar$	Archimedovo číslo
$Re_p$	Reynoldsovo číslo pro částice

## Řecké znaky

$\varepsilon[-]$	mezerovitost; část celkového objemu vrstvy připadající na prázdný prostor
$\mu[\text{Pa}\cdot\text{s}]$	dynamická viskozita
$\rho[\text{kg/m}^3]$	hustota
$\Phi[-]$	sféricita

## Dolní indexy

$b$	pro vrstvu (bed)
$d$	pro distributor
$g$	pro plyn (gas)
$mf$	pro stav prahové (minimální) fluidace
$s$	pro tuhou fázi (solid)

## Literatura

[1] Kunii D., Levenspiel: Fluidization Engineering, Butterworth - Heinemann, 1991