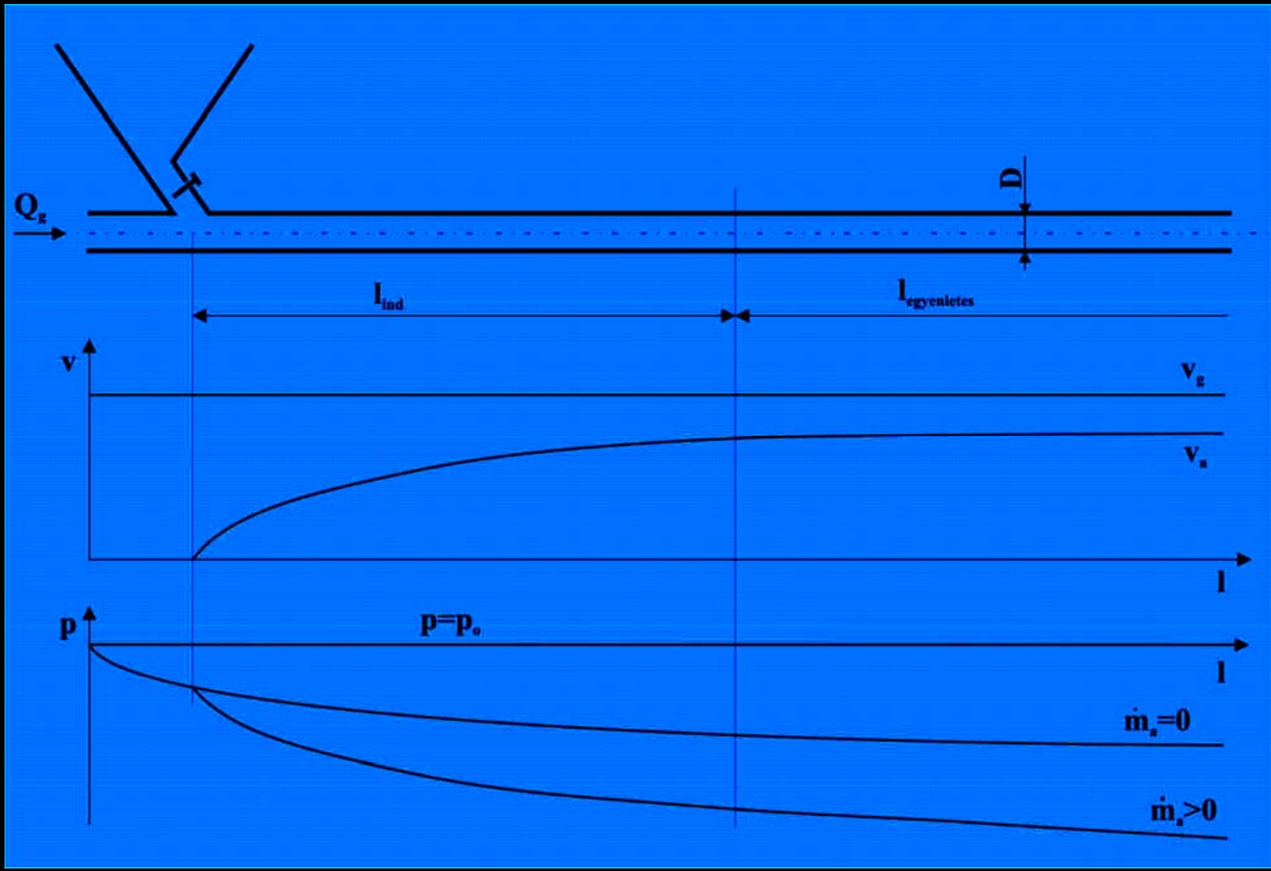
KEVERÉKEK ÁRAMLÁSA
2. előadás

Dr. Váradi Sándor
Egyetemi docens

A keverékáramlás jellemző mennyiségei



A keverékáramlás jellemző mennyiségei

$$s = \frac{w}{v_g} = \frac{(v_g - v_a)}{v_g} = 1 - \frac{v_a}{v_g}$$

- **Szlip (s)**
- **Anyagsebesség (v_a)**
- **Gázsebesség (v_g)**
- **Relatív sebesség $w = v_g - v_a$**

- **Búza (durva szemcsés anyag) s=0.3-0.4**
- **Gríz (apró szemcsés anyag) s=0.1**
- **Finom poros anyag s=0.03-0.05**

A keverékáramlás jellemző mennyiségei

- **Keverési arány (μ)**
- **Anyag tömegáram ($\dot{m}_a$)**
- **Gáz tömegáram ($\dot{m}_g$)**
- **Anyagkeresztmetszet (A_a)**
- **Gázkeresztmetszet (A_g)**
- **Tömör anyagsűrűség (ρ_a)**
- **Gázsűrűség (ρ_g)**
- **Anyag folyómétertömeg (q_a)**
- **Gáz folyómétertömeg (q_g)**

$$\mu = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_g}$$

$$\dot{m}_a = A_a \rho_a v_a$$

$$\dot{m}_g = A_g \rho_g v_g$$

$$q_a = \frac{\dot{m}_a}{v_a}$$

$$q_g = \frac{\dot{m}_g}{v_g}$$

A keverékáramlás jellemző mennyiségei

- **A szállítócsőben egyidejűleg jelen lévő tömegarány**

$$M = \frac{q_a}{q_g} = \frac{\dot{m}_a}{v_a}\frac{v_g}{\dot{m}_g} = \frac{\mu}{1-s}$$

$$M > \mu$$

- **A szilárd anyag térfogathányada**

$$\varepsilon_a = \frac{V_a}{V} = \frac{A_a}{A} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a v_a}\frac{\rho_g v_g}{\dot{m}_g} = M\frac{\rho_g}{\rho_a}$$

$$\varepsilon_a = 0.01 - 0.02$$

A keverékáramlás jellemző mennyiségei

- **Hígáramú pneumatikus szállításnál megengedhető jó közelítés** $A_g \approx A$

- **Az anyag jelenléte miatti keresztmetszet szűkítés** $\varepsilon_a = 0.01 - 0.02$

- **Milyen pontosan gyártanak csövet D=100mm $\pm$ 1mm A= $\pm$ 2%**

A keverékáramlás jellemző mennyiségei

- **Néhány jellemző ömlesztett anyag tömör anyagsűrűsége**
  - **Szén ρ_a = 1200 kg/m^3**
  - **Búza ρ_a = 1300 kg/m^3**
  - **Cement ρ_a = 2300 kg/m^3**
  - **Mészkő ρ_a = 2700 kg/m^3**

- **Keveréksűrűség**

$$\rho = \frac{q_a + q_g}{A} = \frac{q_a / q_g + 1}{A / q_g} = \frac{M + 1}{1/\rho_g} = (M + 1)\rho_g$$

Példa: Búza hígáramú szívóüzemű pneumatikus szállítása vízszintes csővezetékben

- A szállítócső belső átmérője D = 125 mm
- Keresztmetszet A = 0.01227 m^2
- Tömör anyagsűrűség ρ_a = 1300 kg/m^3
- Keverési arány μ = 7.5
- A szállító levegő sebessége v_g=32m/s
- A szállító gáz (levegő) sűrűsége ρ_g = 1.1 kg/m^3
- Szlip s = 0.4
- A szállító levegő térfogatárama $Q_g=Av_g=0.393 m^3/s= 1414\ m^3/h$
- A szállító levegő tömegárama

$$\dot{m}_g = \rho_g Q_g = 0.432 kg / s$$

Példa: Búza hígáramú szívóüzemű pneumatikus szállítása vízszintes csővezetékben (folytatás)

- **A szállított anyag tömegárama** $\dot{m}_a = \mu\,\dot{m}_g = 3.24 kg/s = 11.66 t/h$
- **Az anyagsebesség** $v_a = (1-s)v_g = 19.2 m/s$
- **A folyóméter tömeg** $q_a = \frac{\dot{m}_a}{v_a} = 0.16875 kg/m$
- **Az anyag által elfoglalt keresztmetszet hányad** $\varepsilon_a = \frac{A_a}{A} = 0.0106$

Példa: Búza hígáramú szívóüzemű pneumatikus szállítása vízszintes csővezetékben (folytatás)

- **A szállítócsőben egyidejűleg jelen lévő tömegarány**

$$M = \frac{\mu}{1-s} = 12.5$$

- **A keverék sűrűség**

$$\rho = \left(M+1\right)\rho_g = 14.85 kg/m^3$$

Anyagjellemzők

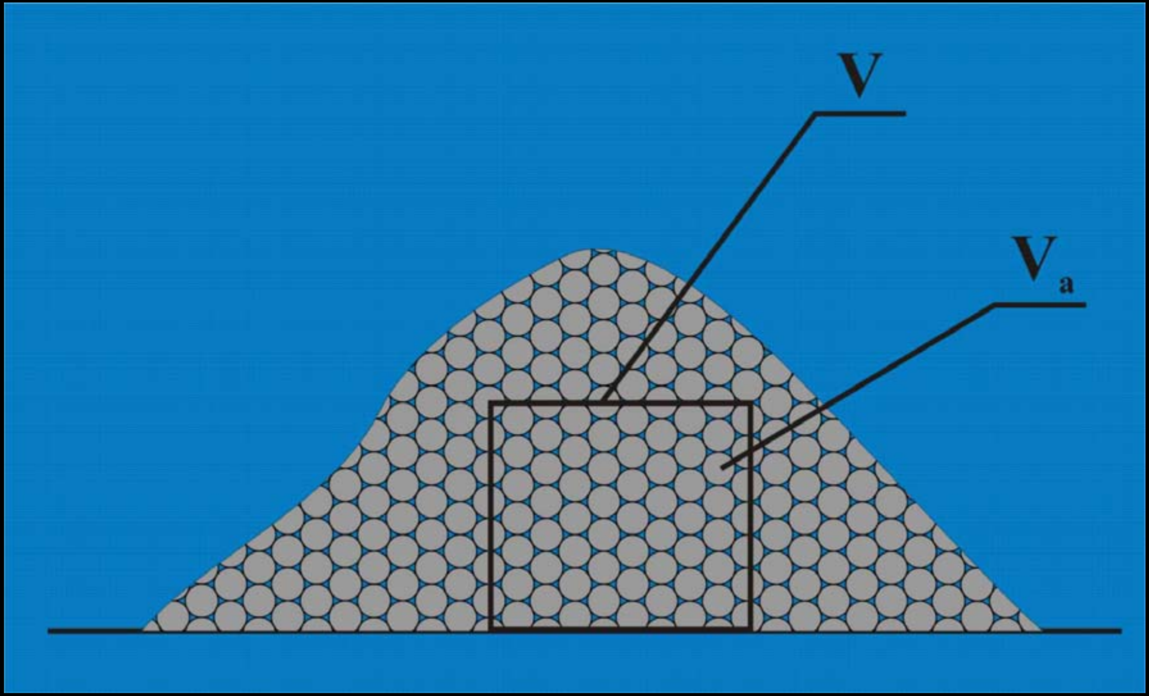
a. Jellemző sűrűségek
b. Szemcseméret; - eloszlás
c. Rézsűszög
d. Aerodinamikai erő
e. Esési határsebesség

a. Jellemző sűrűségek

- m_a - anyagtömeg
- V_a - anyagtérfogat
- V – térfogat

$$\rho_h = \frac{m_a}{V}$$

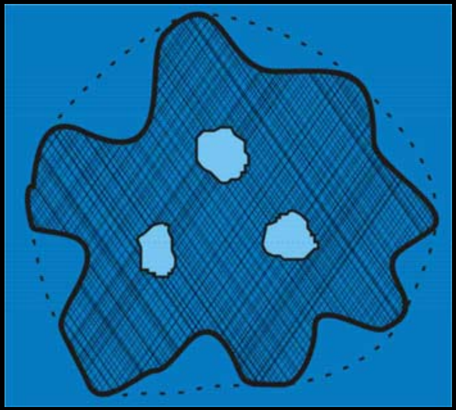
Halom- ill. halmazsűrűség



A sűrűségek közötti összefüggés

$$\frac{\rho_h}{\rho_a} = \frac{m_a/V}{m_a/V_a} = \frac{V_a}{V} = \varepsilon_a \leq 0.5$$

- A halmazsűrűség mindig kisebb, mint a tömör anyag sűrűség
- Különleges eset lehet, ha az anyagszem zárványokat, levegőbuborékot tartalmaz, ekkor a látszólagos sűrűség definiálása szükséges



$$\rho_{szem} = \frac{m_a}{V_{virt}}$$

b. Szemcseméret: d_o [mm]

Nem egyforma méretű szemcsékből áll a halmaz, a szemcseméret eloszlás szitaanalízissel határozható meg

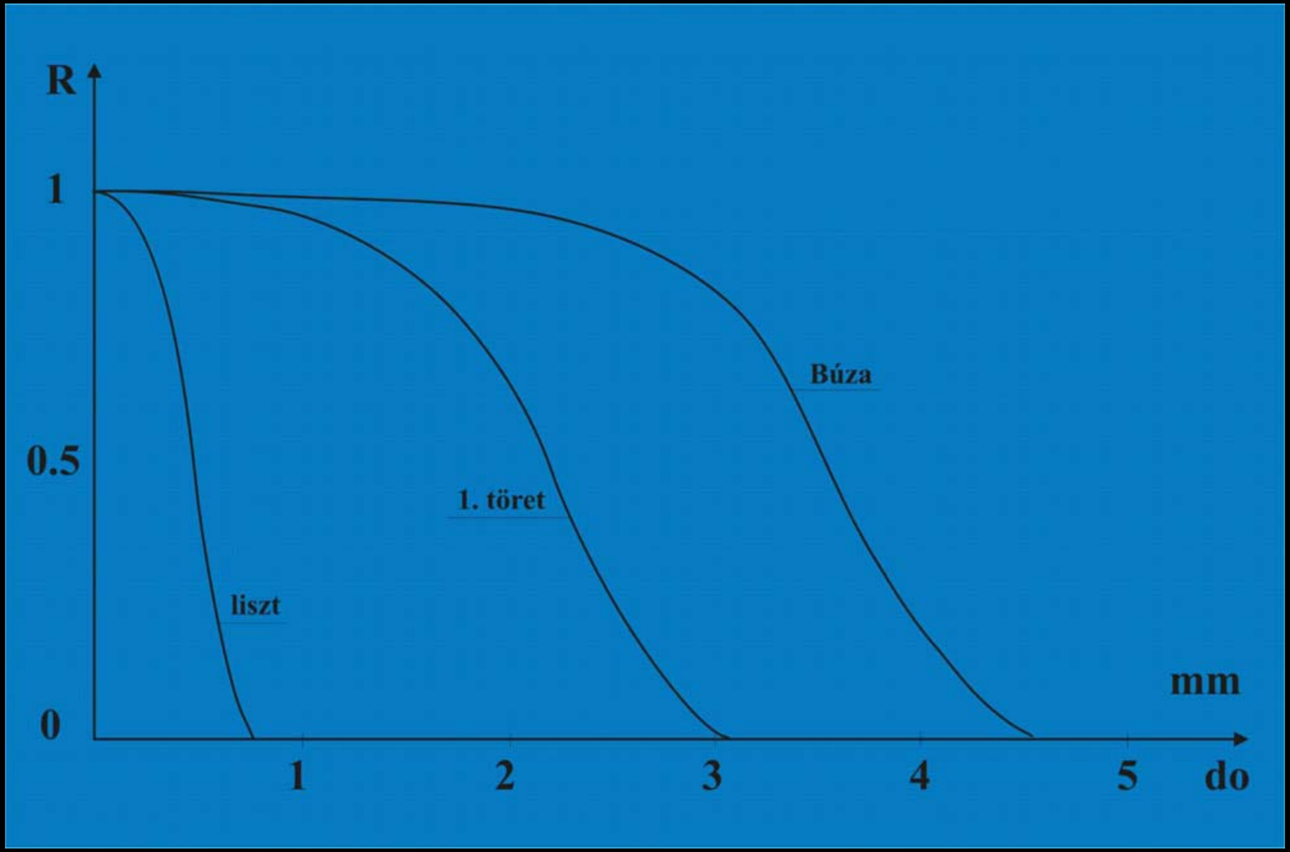
R-rezidum (maradvány): egy adott szitanyílás méretnél mennyi anyag marad a szitakeretben

d_o>1mm szemcsés anyag

d_o<1mm poros anyag

Szemcseméret eloszlás

- Szemcse alakot d_o>1mm esetén vizsgálunk



Szitaanalízis jellemző mennyiségei

- **A növekvő szitanyílás méretek:**
- **d_o ; d_1; d_2; … d_i; d_{i+1}; … d_{n-1}; d_n**

$$m_i = \frac{M_i}{\sum M_i}$$

- **Relatív frakciótömeg**

- **Az intervallumba esés relatív gyakorisága**

$$f_i = \frac{m_i}{\Delta d_i} = \frac{m_i}{\left(d_{i+1} - d_i\right)}$$

- **Kumulatív szitamaradék**

$$R_i = \sum_{j=i}^{n} m_j = \sum_{j=i}^{n} f_j \Delta d_j$$

Szitaanalízis jellemző mennyiségei (folytatás)

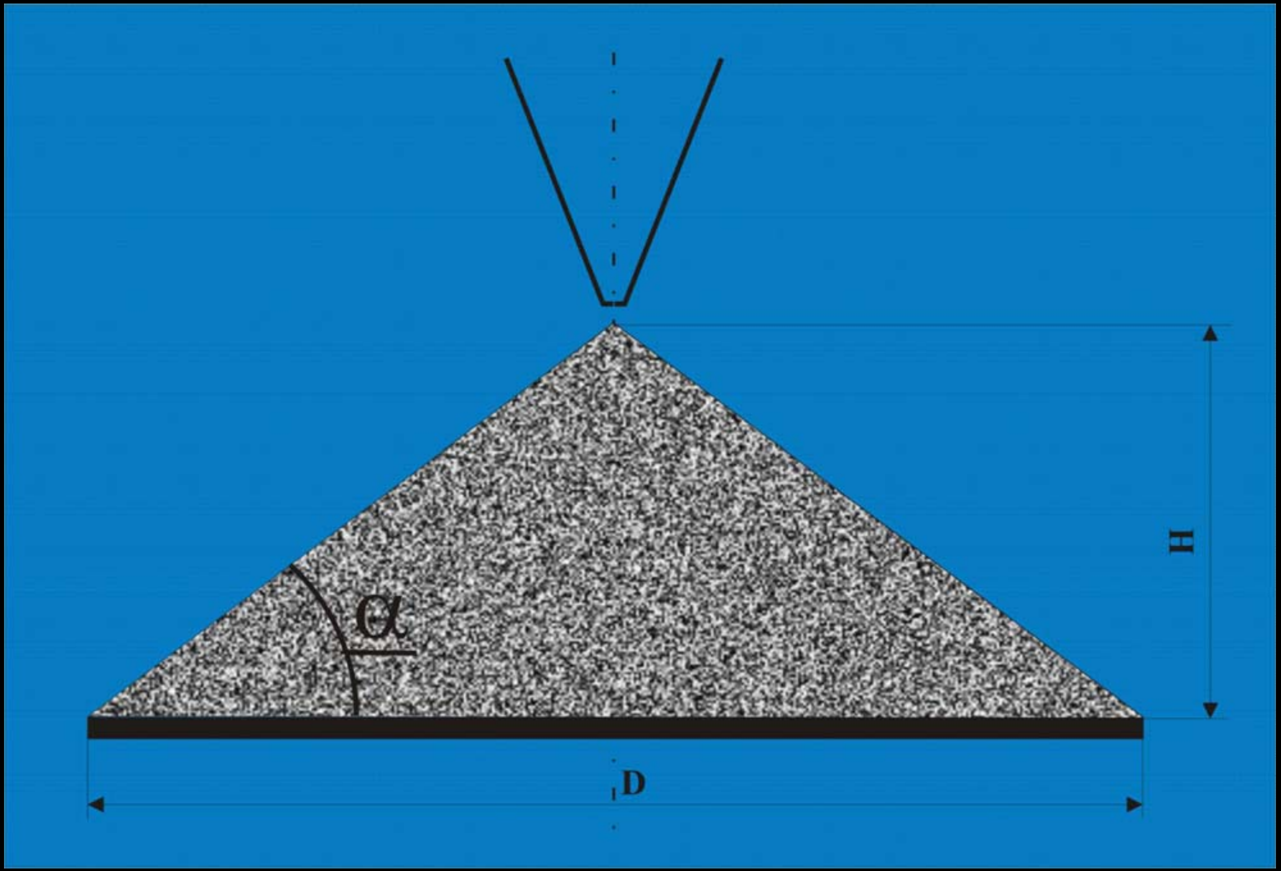
- **Frakció átlagos szemcseméret**

$$d_{iátl} = \frac{d_i + d_{i+1}}{2}$$

- **Tömegeloszlás szerint súlyozott közepes szemcseméret**

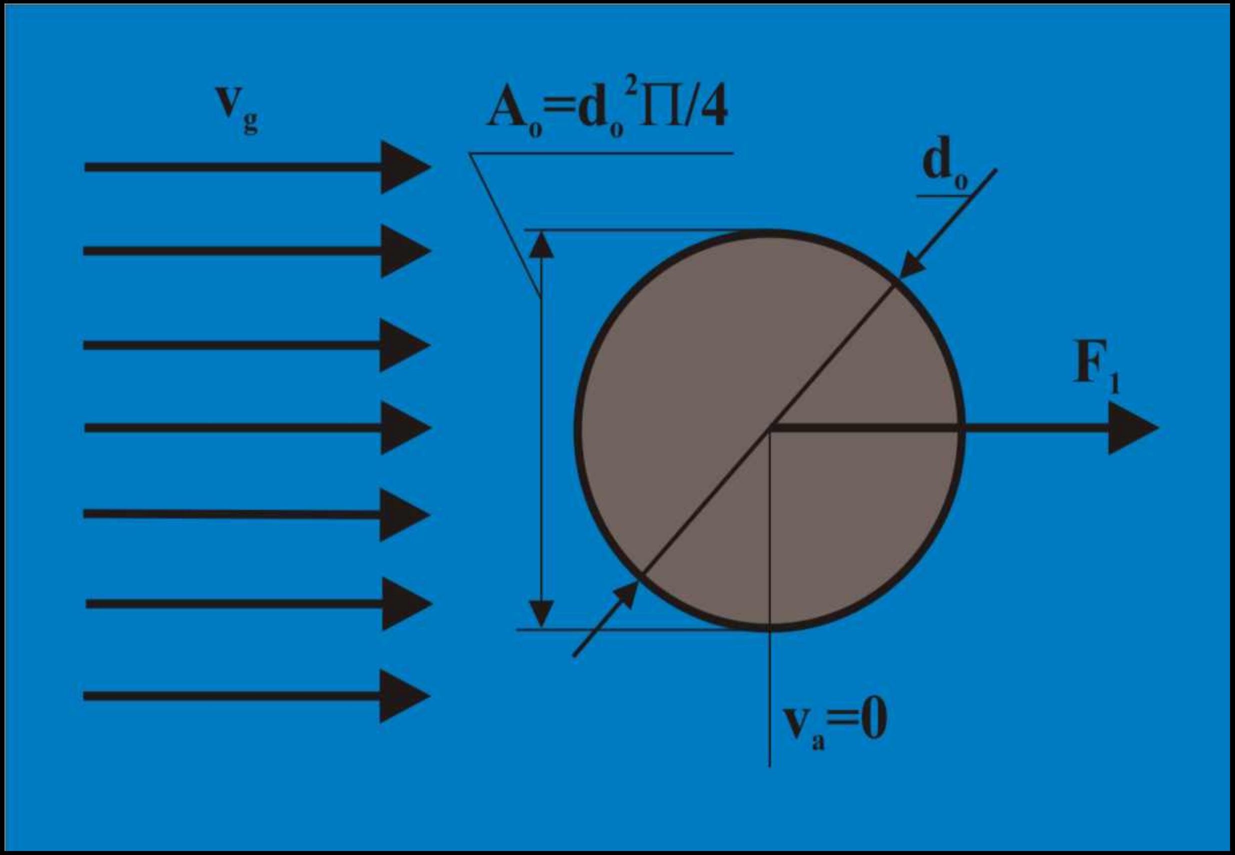
$$d_{mköz} = \sum_{i=0}^{n} m_i d_{iátl} = \sum_{i=0}^{n} f_i \Delta d_i d_{iátl}$$

c. Természetes rézsűszög



$$\alpha = arctg\frac{2H}{D}$$

d. Légáramba helyezett testre ható aerodinamikai erő



d. Légáramba helyezett testre ható aerodinamikai erő

- **Newton féle formula**

  Re_o>1000 tartományban

$$F_1 = C_e A_o \frac{\rho_g}{2} w^2 = C_e A_o \frac{\rho_g}{2}\left(v_g - v_a\right)^2$$

- **Az ellenállástényező a szemcse körüli áramlás Reynolds számától függ, KASKAS szerint gömbszemcsére**

$$C_e = \frac{24}{\mathrm{Re}_o} + \frac{4}{\sqrt{\mathrm{Re}_o}} + 0.4$$

$$\mathrm{Re}_o = \frac{d_o w}{\nu_g} = \frac{d_o\left(v_g - v_a\right)}{\nu_g}$$

- **ν_g a levegő kinematikai viszkozitása**

d. Légáramba helyezett testre ható aerodinamikai erő

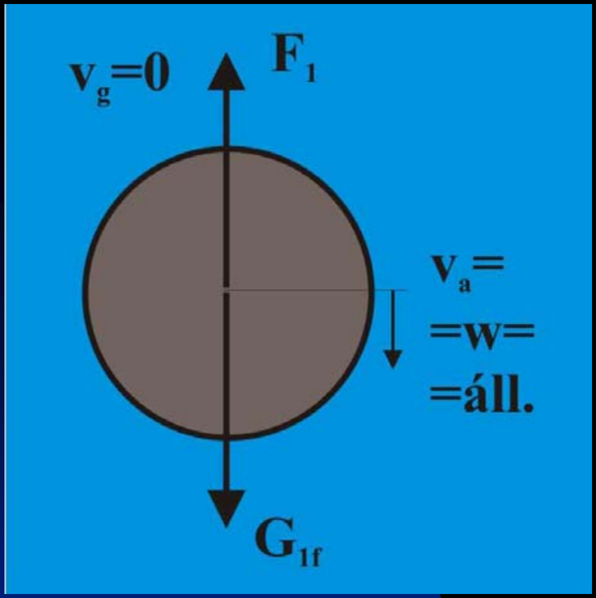
- Stokes féle formula $Re_o<1$ tartományban

$$F_1 = 3\pi\,\mu_g\,d_o\,w$$

- μ_g a gáz dinamikai viszkozitása, ahol a sűrűség teremt kapcsolatot a kinematikai viszkozitással

$$\nu_g = \frac{\mu_g}{\rho_g}$$

- A levegő kinematikai viszkozitása 20Celsius és750Hgmm esetén ν_g=15.3*10^{-6}m^2/s



e. Esési határsebesség. Lebegési sebesség

$$G_{1f} = V_a\left(\rho_a - \rho_g\right)g = m_1 g\left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_a}\right)$$

- **G_{1f} – egy szem folyadékban mért súlya**

- **$G_1=m_1g$**

Pneumatikus anyagszállításnál: $G_1 \sim G_{1f}$

Egyensúlyi egyenlet a Newton tartományban:

$$m_1 g = C_e A_o \frac{\rho_g}{2} w_o^2$$

Az esési határsebesség – w_o Newton tartományban

mivel $$m_1 = \frac{d_o^3 \pi}{6} \rho_a$$ $$A_o = \frac{d_o^2 \pi}{4}$$

$$\frac{m_1}{A_o} = \frac{d_o^3 \pi}{6} \rho_a \frac{4}{d_o^2 \pi} = \frac{2}{3} \rho_a d_o$$

$$w_o = \sqrt{\frac{2 m_1 g}{C_e A_o \rho_g}} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\rho_a}{\rho_g} \frac{g}{C_e} d_o}$$

Az esési határsebesség – w_o Stokes tartományban

$$G_1 = F_1$$

$$\frac{d_o^3 \pi}{6} \rho_a g = 3\pi\mu_g d_o w_o$$

$$w_o = \frac{1}{18} \frac{\rho_a g}{\mu_g} d_o^2$$

Példa: Búza esési határsebessége

1kg búzában n_1=27000db szem van, így egy szem tömege

$$m_1 = \frac{1kg}{27000} = 37*10^{-6}kg = 37mg$$

ρ_a=1300kg/m^3 - a tömör anyagszemcse sűrűsége

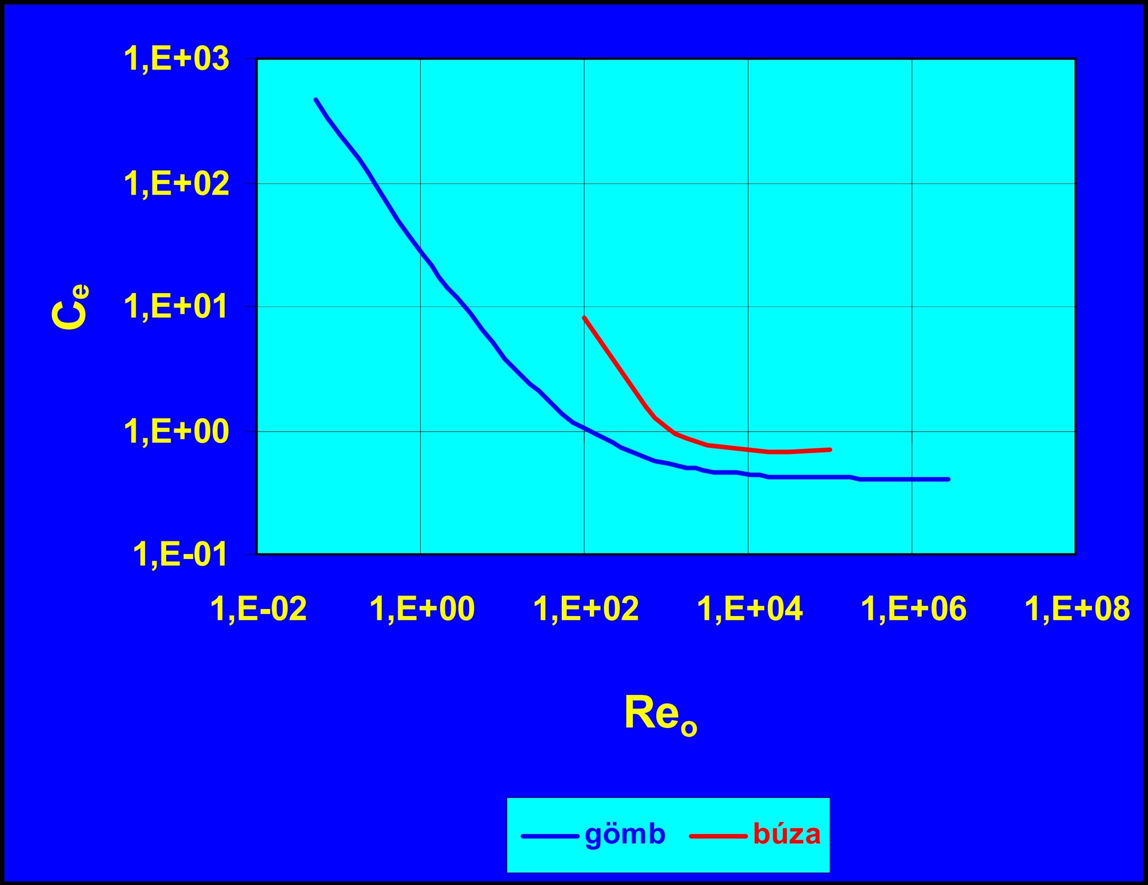
ρ_g=1.25kg/m^3 - a gáz sűrűsége

d_o=3.8*10^{-3}m - az átlagos szemcse átmérője

A_o=11.3*10^{-6}m^2 - a szemcse mozgására merőleges keresztmetszete

Példa: Búza esési határsebessége (folytatás)

Vegyük fel a relatív sebesség értékét w=9m/s értékűre, ezzel a Reynolds-szám értéke Re_o=2280



A diagrammból C_e=0.57

Példa: Búza esési határsebessége (folytatás)

Ezzel az esési határsebesség
értéke:

$$w_o = \sqrt{\frac{2 m_1 g}{C_e A_o \rho_a}} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\rho_a}{\rho_g} \frac{g}{C_e} d_o} = 9.52 m/s$$

Ha nem jó, azaz jelentősen
különbözik az eredmény
a felvett értéktől, akkor
iterálni kellene