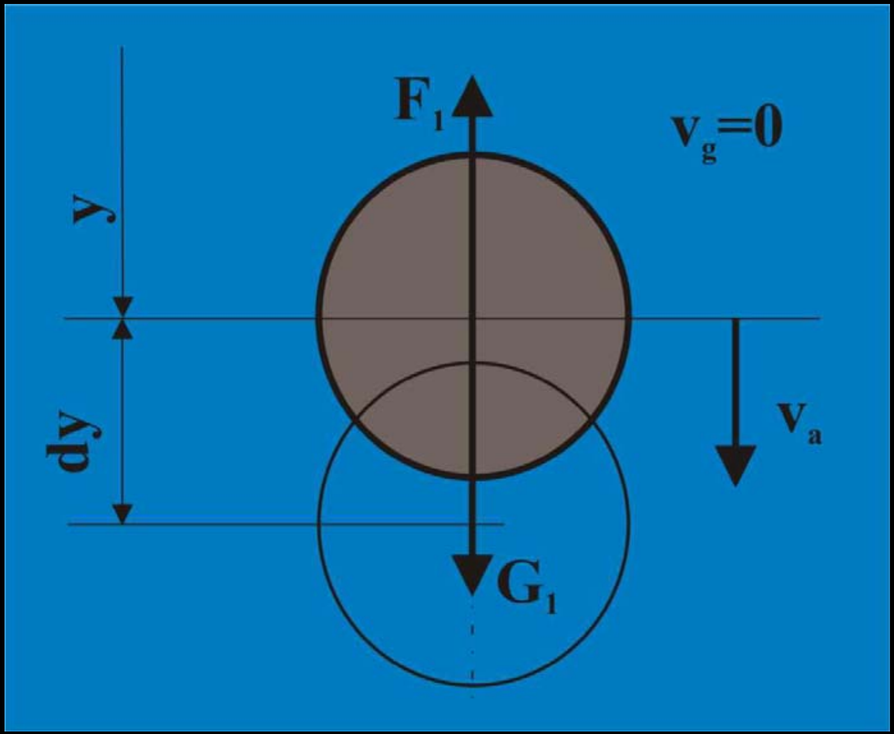
KEVERÉKEK ÁRAMLÁSA
3. előadás

Dr. Váradi Sándor
Egyetemi docens

Hogyan éri el az elejtett szem a végsebességet?

$$G_1 - F_1 = m_1 a$$



$$m_1 g - C_e A_o \frac{\rho_g}{2} v_a^2 = m_1 \frac{dv_a}{dt}\frac{dy}{dy} = m_1 v_a \frac{dv_a}{dy}$$

Felhasználva:

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

Az alábbi egyenlet adódik:

$$g - \frac{v_a^2}{w_o^2} g = v_a \frac{dv_a}{dy}$$

Szétválasztás után integrálható

$$1 - \frac{v_a^2}{w_o^2} = \frac{v_a}{g} \frac{dv_a}{dy}$$

Bevezetve az esési határsebességgel definiált alábbi y_1 úthossz jelölését

$$\frac{w_o^2}{2g} = \frac{2}{3}\frac{\rho_a}{\rho_g}\frac{d_o}{C_e} = y_1$$

Az anyagsebesség magasság menti változására az alábbi függvény adódik

$$v_a = w_o\sqrt{1 - e^{-y/y_1}}$$

A szemléletmód fejlesztése érdekében az előző jelenséget vizsgáljuk meg energetikai szemlélet alapján

A mozgási energia

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 v_a^2$$

A mozgási energia növekedése

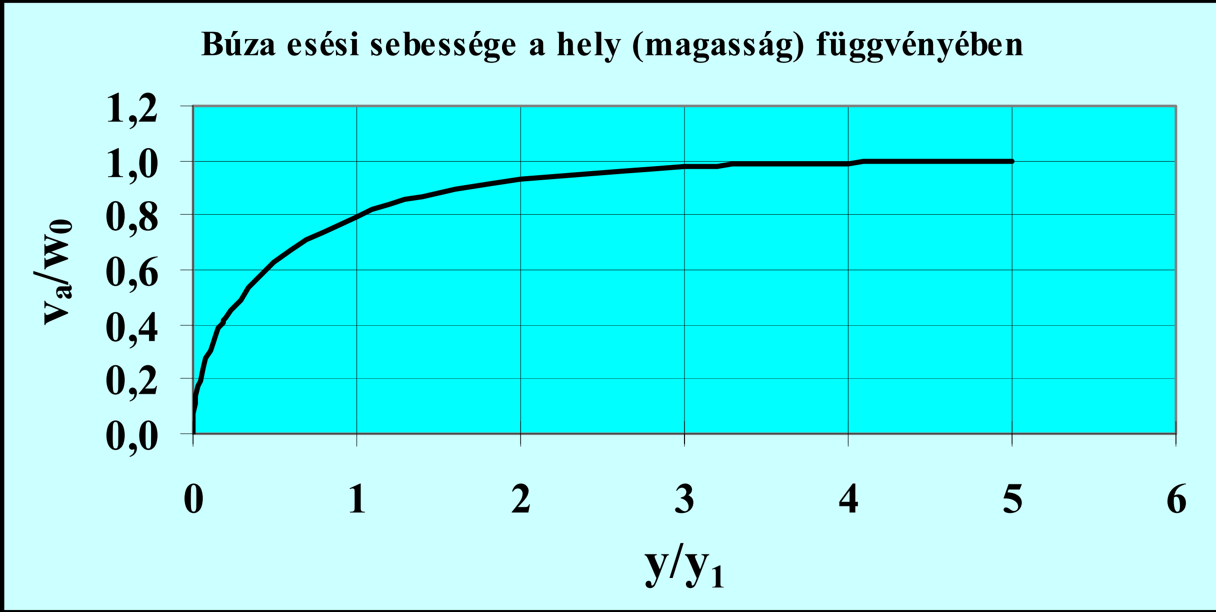
$$dE_k = m_1 v_a \, dv_a$$

A szemcsékre ható erők munkája

$$dW = (G_1 - F_1) dy$$

A szemcsére ható erők munkája az elemi úton a mozgási energia növelésére fordítódik

$$\left(G_1 - F_1\right)dy = m_1 v_a \, dv_a$$



- Az esési határsebességből számítható y_1 sebességmagasság 3-4-szeresénél már $v_a \approx w_o$

A szemcse mozgásának leírása az idő függvényében nyugvó térben

- A mozgásegyenlet az alábbi alakban írható

$$m_1 g - C_e A_o \frac{\rho_g}{2} v_a^2 = m_1 \frac{dv_a}{dt}$$

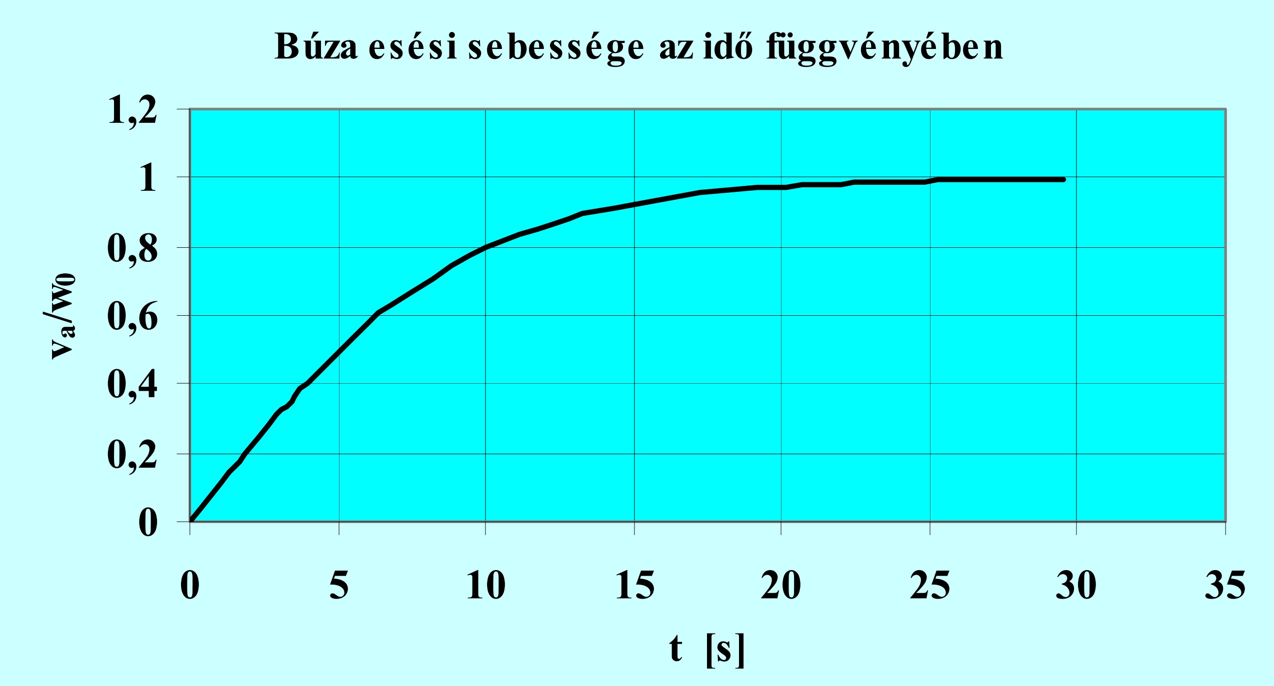
- Átalakítások után

$$dt = \frac{w_o^2}{g} \frac{dv_a}{w_o^2 - v_a^2}$$

- Az anyagsebesség-idő függvény

$$v_a = w_o \, th \frac{gt}{w_o}$$

Nyugvó térben eső szem mozgása az idő függvényében



- **Integrálva a szem által megtett út számítható**

$$s = \int v_a dt = \frac{w_o^2}{g} \ln\left(ch \frac{gt}{w_o} \right)$$

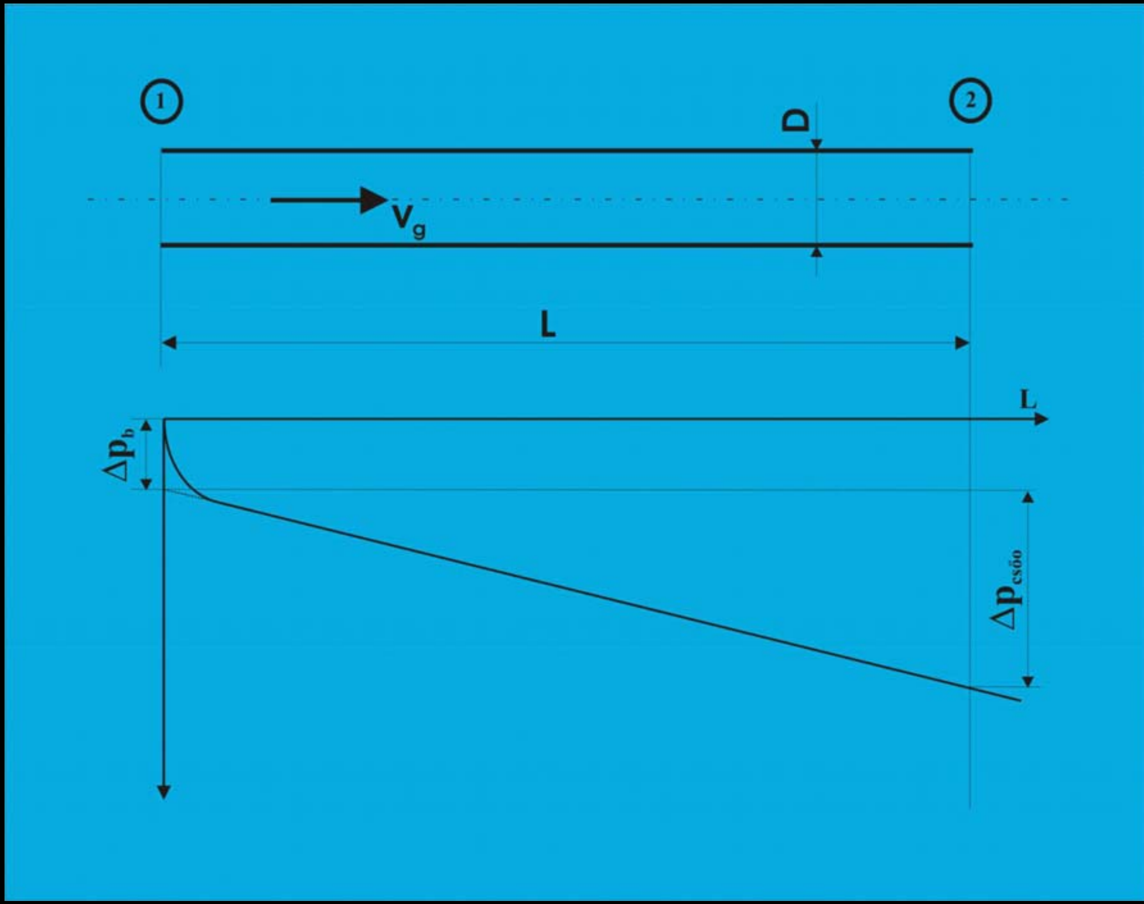
Nyomásesés számítása

- **Belépési nyomásesés**

$$\Delta p_b = \left(1 + \xi_b\right)\frac{\rho_g}{2} v_g^2$$

- ζ_b=0.05-0.3

- **Üresjárási nyomásesés**



$$\Delta p_{cső\ o} = \lambda \frac{L}{D}\frac{\rho_g}{2} v_g^2$$

Csősúrlódási tényező

λ=f(Re)

$$\mathrm{Re} = \frac{D\, v_g}{\upsilon_g}$$

- **Pneumatikus szállítás Reynolds-szám tartománya**
  - **Re=10000-400000**

- **λ – csősúrlódási tényező**
  - **sima csőben: 0.01-0.02**
  - **Érdes cső esetén: 0.02-0.03**

Hidraulikailag sima cső

- **Az érdesség miatti méretváltozás a lamináris réteg alatt marad**
- **Az anyagszállítás során az érdesség csökken részben a kopás, részben az anyag feltapadás miatt**
- **Filonyenkó:**

$$\lambda_{síma} = \left[\frac{0.55}{\log\left(\mathrm{Re}/8\right)}\right]^2$$

A szállító gáz sűrűségváltozása

- **Fizikai normál állapot**
- **Normál levegő sűrűség**

$$\rho_{gn} = 1.293\, kg / m^3$$

- **Nyomás**

$$b = 760 mmHgo \quad \mathrm{p_n} = 101.4 kPa$$

- **hőmérséklet**

$$T_n = 273K \quad \mathrm{t_n} = 0°C$$

A szállító gáz viszkozitás változása

- **Normál állapotú levegő viszkozitása**

$$\upsilon_{lev\,n} = 13.3 * 10^{-6}\, m^2/s$$

- **A hőmérséklet és a nyomás hatása**

$$\upsilon_{lev} = \frac{p_n}{p}\left(10^6\,\upsilon_{lev\,n} + 0.1t\right)10^{-6}$$

Egyenes csőszakasz üresjárási nyomásesése

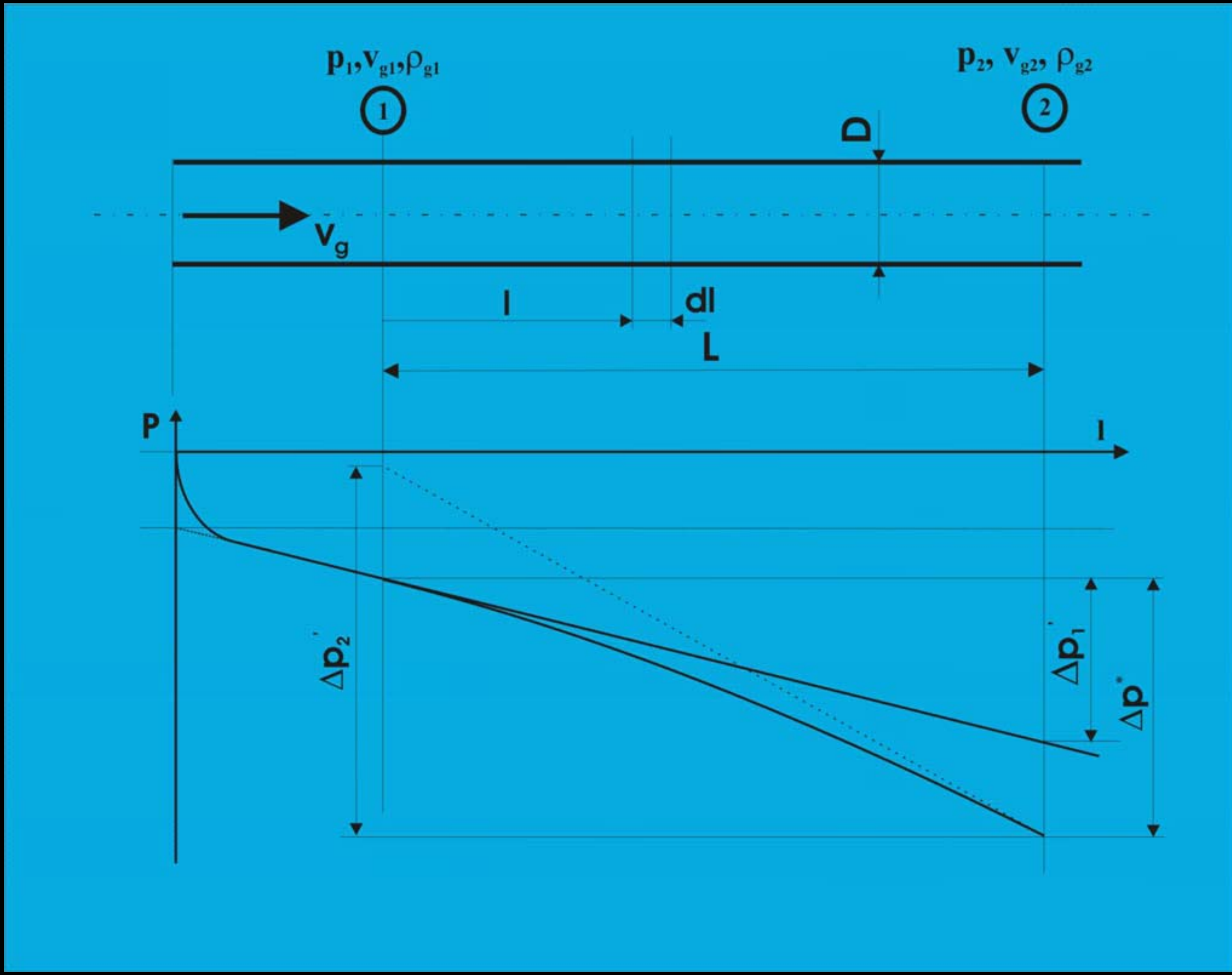
- Ez az összefüggés az expanziót nem veszi figyelembe

$$\Delta p_{o\,cső} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho_g}{2} v_g^2$$

- Az alábbi tartományban használható

$$\frac{\Delta p_o}{p_o} \leq 0.1$$

Az expanzió figyelembe vétele üresjárásban



Nyomásesés a belépő adatokkal

$$\Delta p_1^{'} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho_{g1}}{2} v_{g1}^2$$

- **nyomásesés a kilépő adatokkal**

$$\Delta p_2^{'} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho_{g2}}{2} v_{g2}^2$$

- **nyomásesés az elemi csőszakaszon**

$$-dp = \frac{\lambda}{D} \frac{\rho_g}{2} v_g^2 \, dl$$

Izotermikus állapotváltozás

$$\rho_g = \rho_{g1} \frac{p}{p_1}$$

- **Az anyagtömegáram állandóságból**

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

$$v_g = \frac{\dot{m}_g}{A \rho_g} = \frac{\dot{m}_g p_1}{A \rho_{g1} p}$$

- **Ebből következik**

$$v_g p = áll.$$

- **Azaz írható**

$$v_g = v_{g1} \frac{p_1}{p}$$

Behelyettesítés, egyszerűsítés és átalakítás után

$$-dp = \frac{\lambda}{D}\frac{\rho_{g1}}{2}v_{g1}^{2}\frac{p}{p_1}\frac{p_1^{2}}{p^{2}}dl$$

- **Írható, hogy**

$$-pdp = \frac{\Delta p_1^{'}}{L}p_1 dl$$

- **Integrálás után adódik**

$$\frac{p_1^{2}-p_2^{2}}{2} = \frac{\Delta p_1^{'}}{L}p_1 L$$

p_2 kifejezése után

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - 2\, p_1 \Delta p_1'}$$

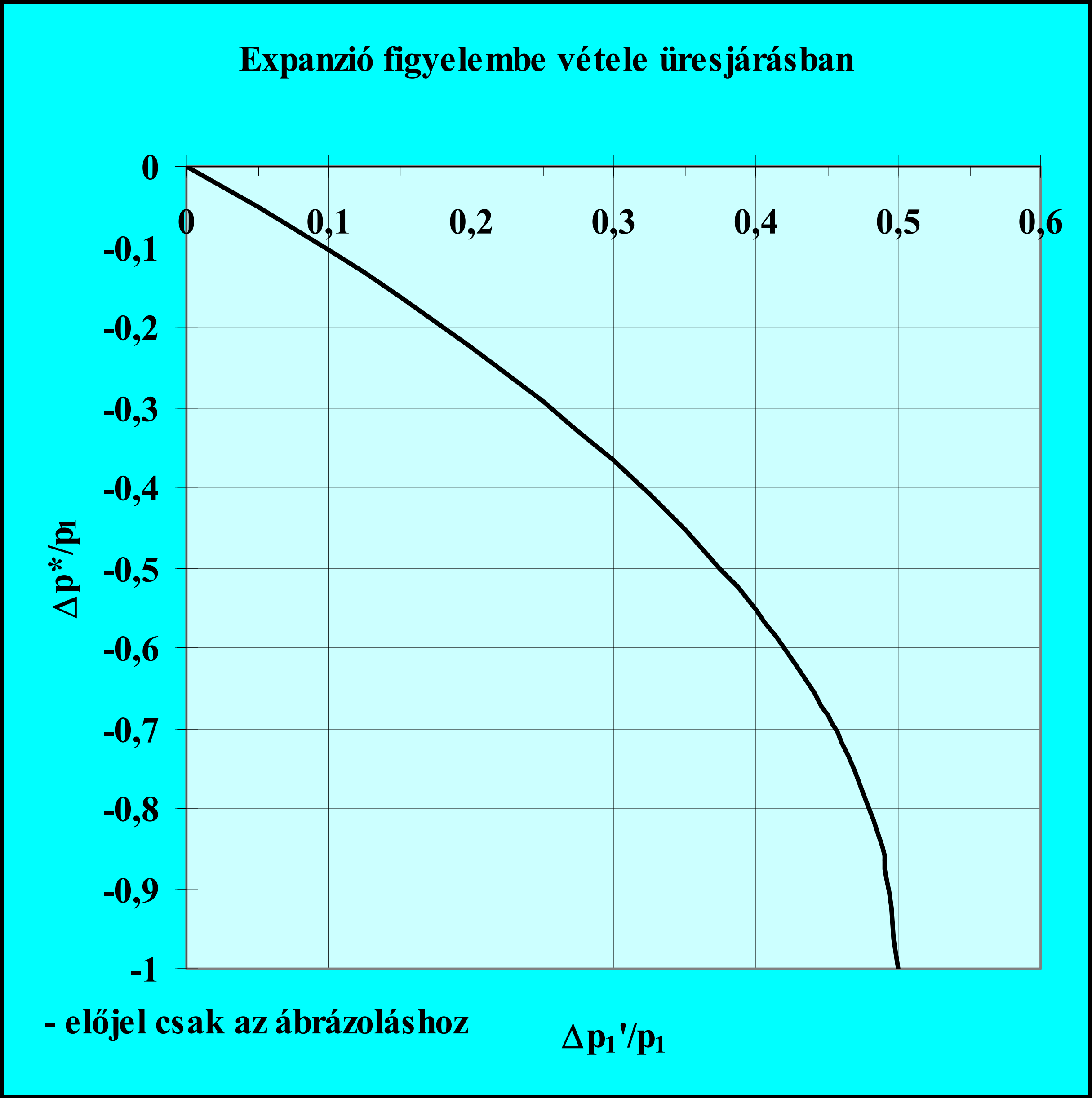
- **Végül a valóságban, az expanzió figyelembe vételével adódó nyomásesés**

$$\Delta p^* = p_1 - p_2 = p_1 - \sqrt{p_1^2 - 2\, p_1 \Delta p_1'}$$

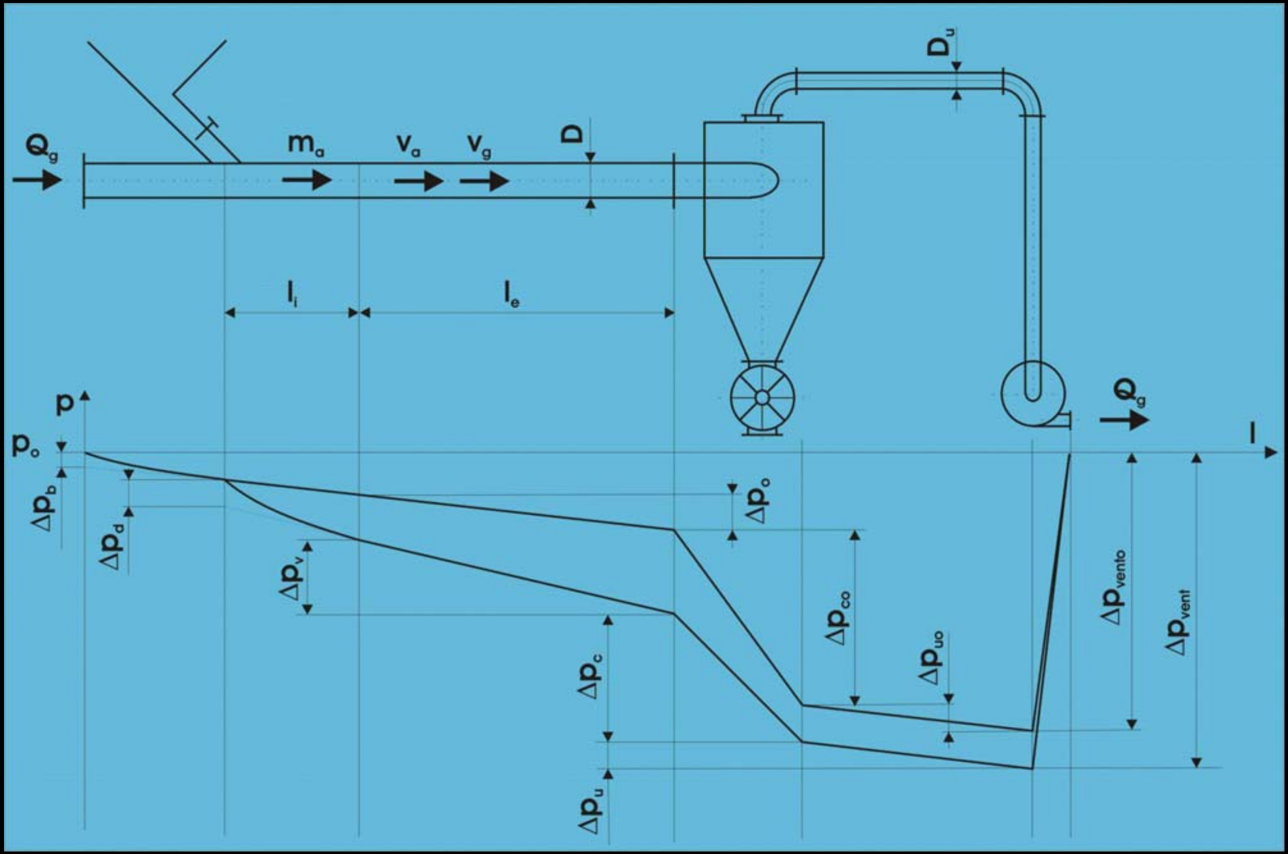
- **Vagy dimenziótlan alakban**

$$\frac{\Delta p^*}{p_1} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2\,\Delta p_1'}{p_1}}$$

A gáz expanzió hatása



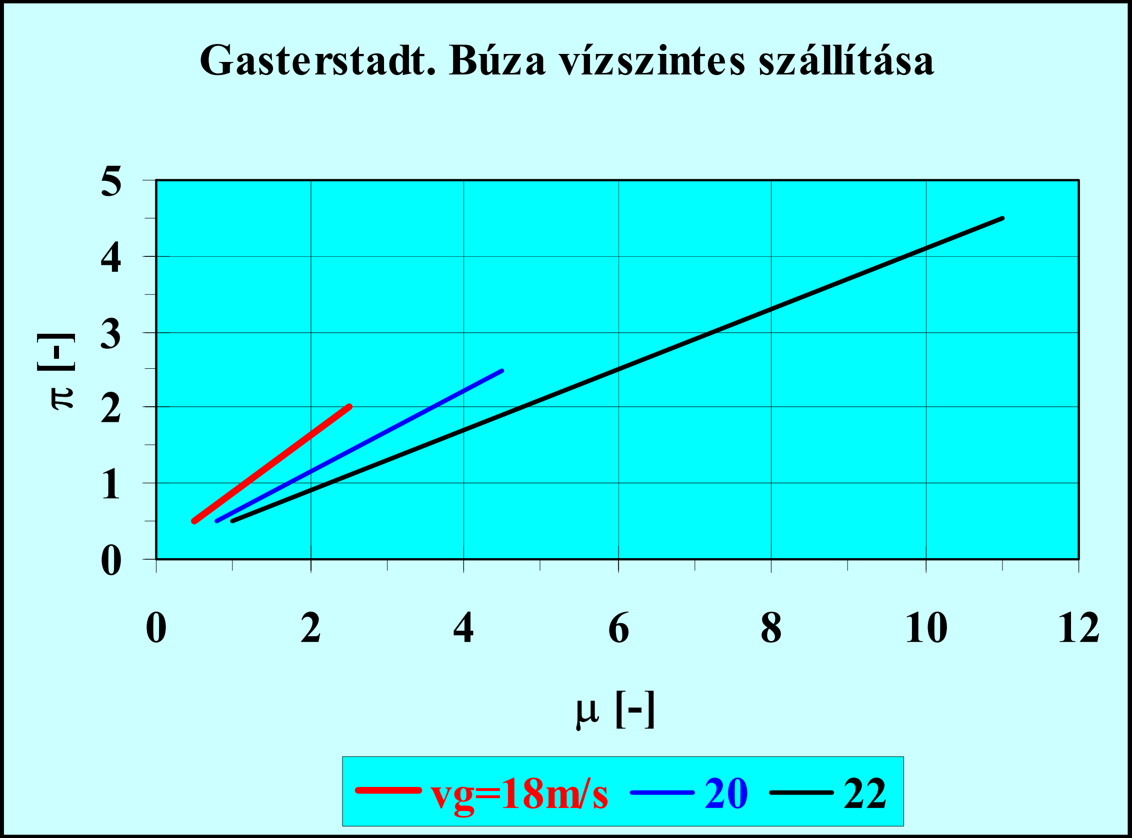
Anyagszállítás közben adódó nyomásesés



Nyomásesés számítási módszerek

- Gasterstädt
- Búza k_G=0.3

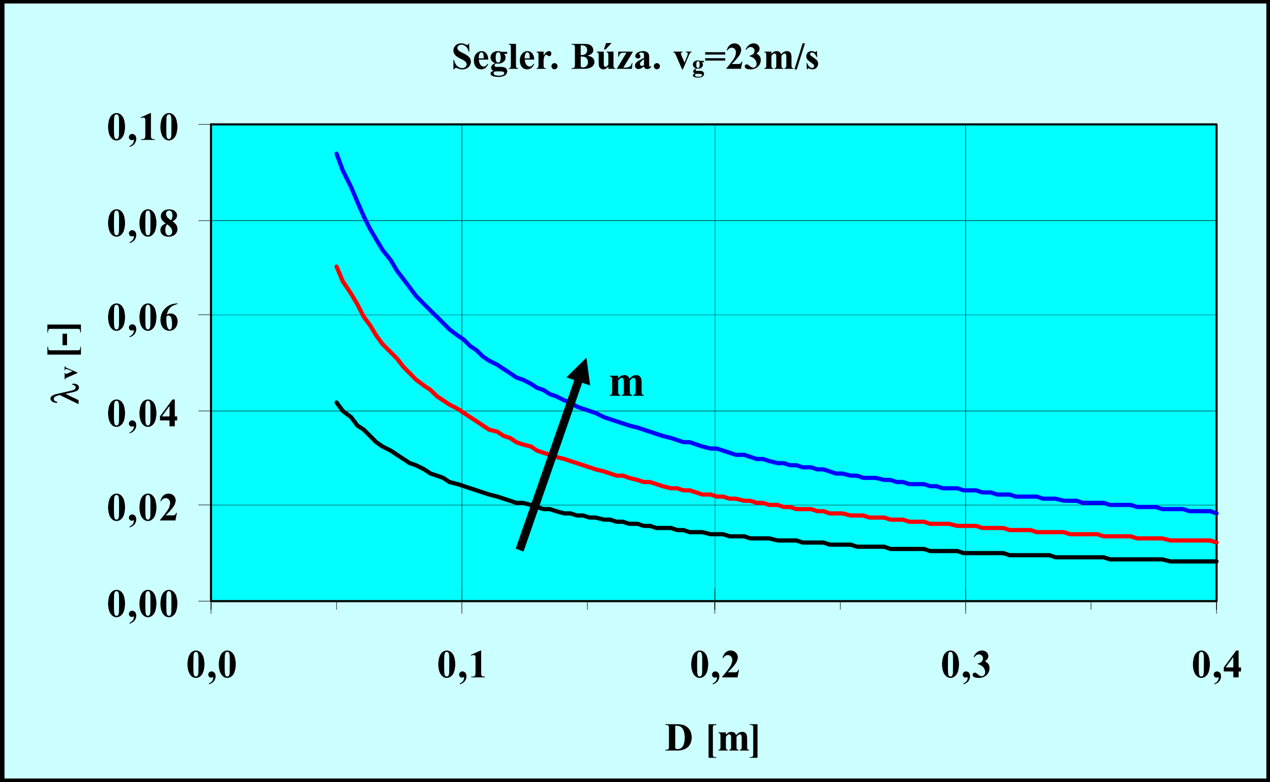
$$\pi = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_o}\left(1 + k_G \mu\right)$$



Segler – mérési eredmények empírikus feldolgozása

- **A diagram egy anyagfajtára és egy levegősebességre vonatkozik**

$$\Delta p_v = \lambda_v \frac{L}{D} \frac{\rho_g}{2} v_g^2$$



Pápai. Nyomásesések összegzése

$$\Delta p = \Delta p_o + \Delta p_j$$

- Δp – össznyomásesés
- Δp_o – üresjárási nyomásesés
- Δp_j – az anyagszállítás miatt adódó járulékos nyomásesés

Barth. λ_j - Járulékos csősúrlódási tényező

$$\Delta p_j = \lambda_j \frac{L}{D} \frac{\rho_g}{2} v_g^2 \mu$$

- $\lambda_j = f(Fr)$

$$Fr = \frac{v_g}{\sqrt{gD}}$$

Szállítás vízszintes csőben