Hidrodinamikai
Rendszerek
Tanszék

Keverékek áramlása. 4. előadás

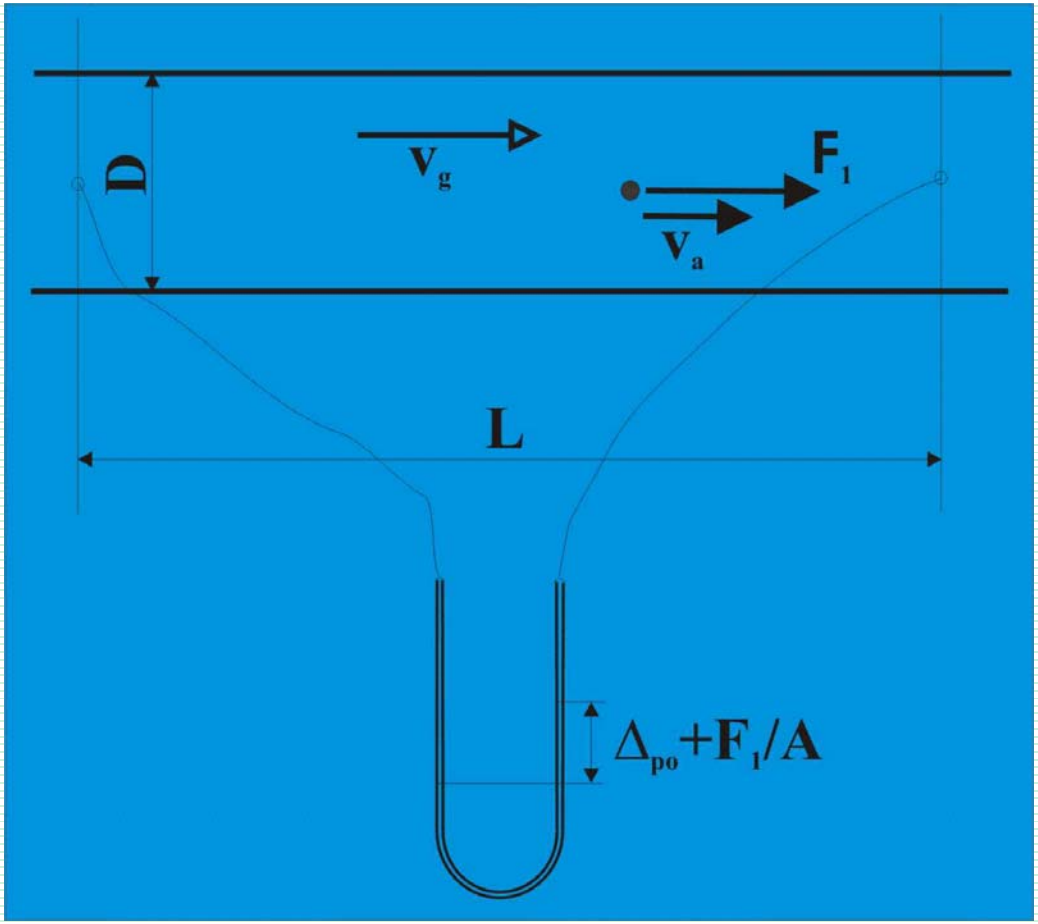
Készítette: dr. Váradi Sándor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

MŰEGYETEM 1782

1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3. D ép. 334.
Tel: 463-16-80 Fax: 463-30-91
http://www.vizgep.bme.hu

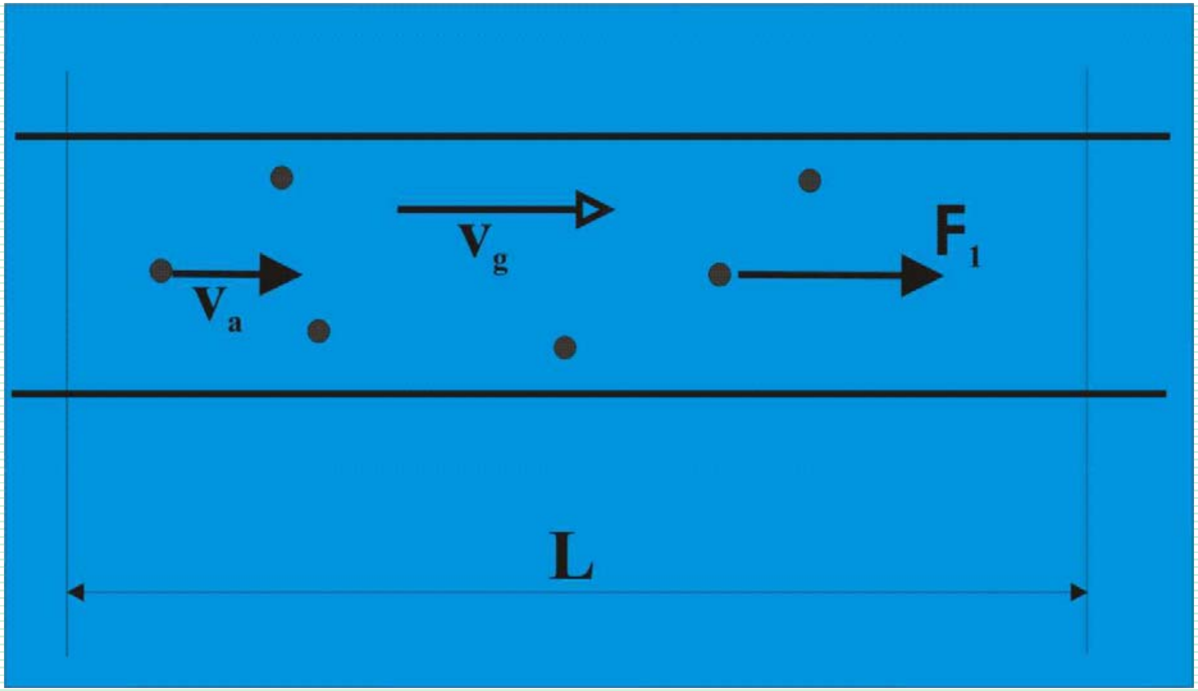
Szemcsékre ható erők módszere



Erőmérés aerodinamikai mérleg segítségével

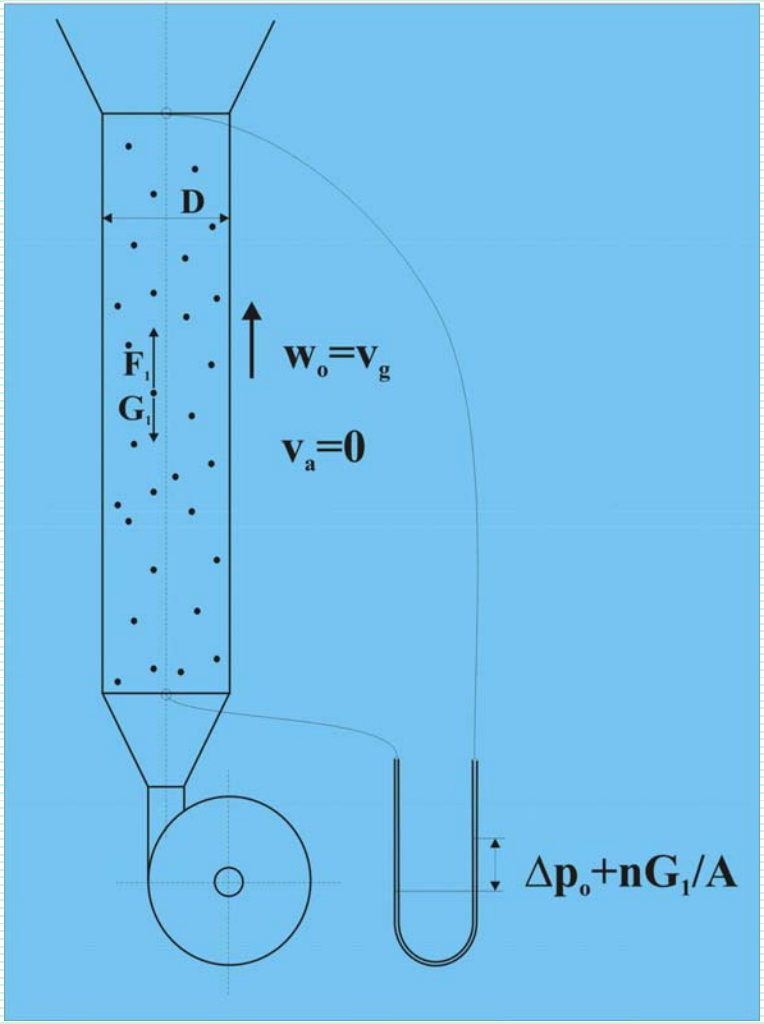
F_1 - aerodinamikai erő

Pneumatikus szállítási modell



$$\Delta p = \Delta p_o + \frac{n \cdot F_1}{A}$$

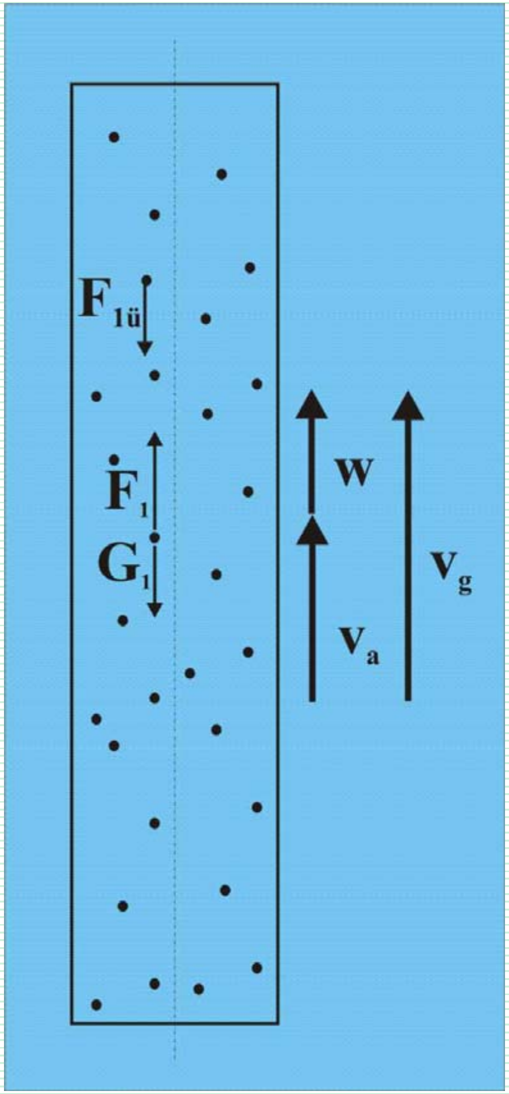
Szemcse lebegtetési kísérlet



G_1 - egy szem súlya

- az aerodinamikai erőhatás a nyomásesésben additív tagként jelentkezik

Függőleges pneumatikus szállítócső



$F_{1ü}$ - ütközésből származó egy szemre jutó visszatartó („fékező”) erő

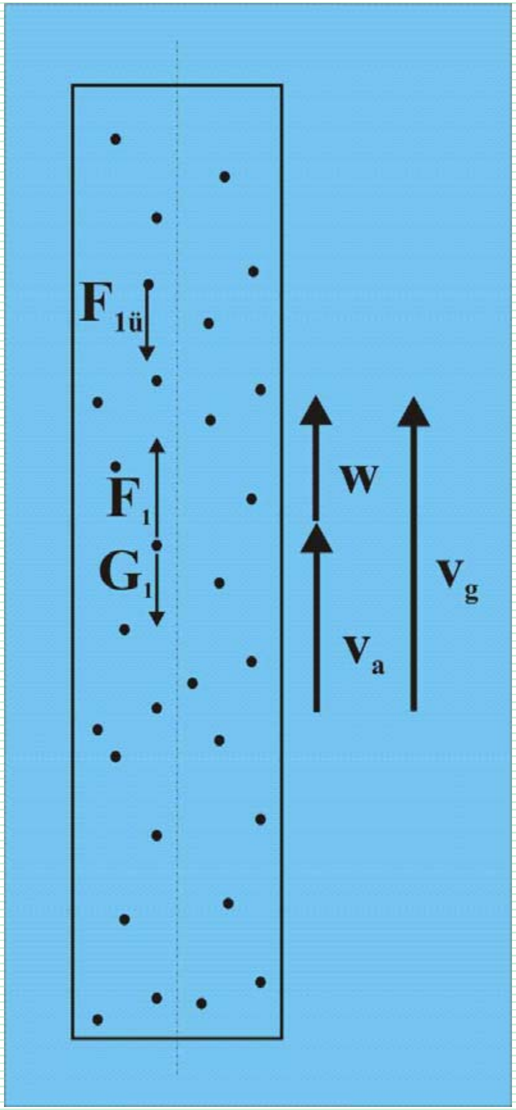
$$F_1 = G_1 + F_{1ü}$$

$$F_1 = C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2$$

$$w > w_o$$

- szállítás közben a „ w ” relatív sebesség nagyobb, mint a „ w_o” esési határsebesség

Indítószakasz



$$F_1 > G_1 + F_{1ü}$$

$$F_1 - \left(G_1 + F_{1ü}\right) = F_{1d}$$

F_{1d} - egy szemre ható gyorsító erő

Nyomásesés számítási módszer

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

$$\Delta p_j = \Delta p_d + \Delta p_e + \Delta p_ü + \Delta p_s \left(+ \ldots . + \Delta p_t \right)$$

$$\Delta p_j = \frac{n \cdot F_1}{A} = \frac{n \cdot F_{d1}}{A} + \frac{n \cdot G_1}{A} + \frac{n \cdot F_{1ü}}{A} + \frac{n \cdot F_{1s}}{A} \left(+ \ldots . + \frac{n \cdot F_{1t}}{A} \right)$$

Emelési nyomásesés (L hosszúságú csőben)

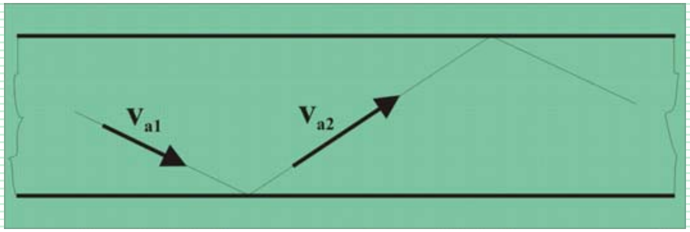
$$\Delta p_e = \frac{n \cdot G_1}{A} = L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A}$$

Mivel $n \cdot G_1 = L \cdot q_a \cdot g = L \cdot \frac{\dot{m}_a}{v_a} \cdot g = n \cdot m_1 \cdot g$

$$\Delta p_e = k_e \cdot L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A}$$

q_a - folyómétertömeg

k_e - emelési tényező



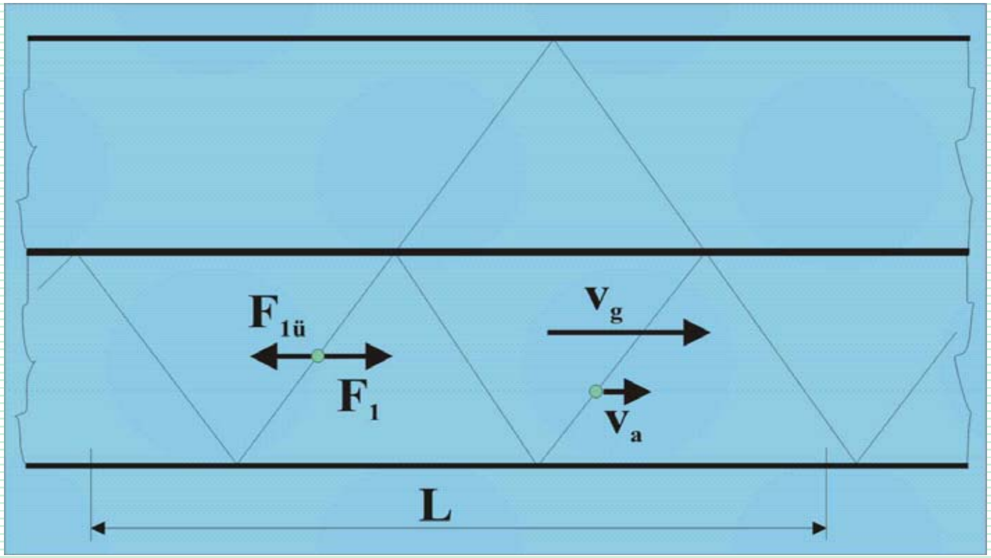
k_e =1 függőleges cső

k_e >0 vízszintes cső

-vízszintes csőben is emelni kell a szemeket, mert enélkül nem maradnának egyenletes szállítási állapotban

Ütközési nyomásesés

$$\Delta p_{ü} = \frac{n \cdot F_{1ü}}{A}$$



$$F_{1ü} = \frac{\xi}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D} = k_ü \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D}$$

ξ - folyóméterenkénti energiaapadási tényező

$F_{1ü}$ - folyamatosan hatónak feltételezett helyettesítő erő

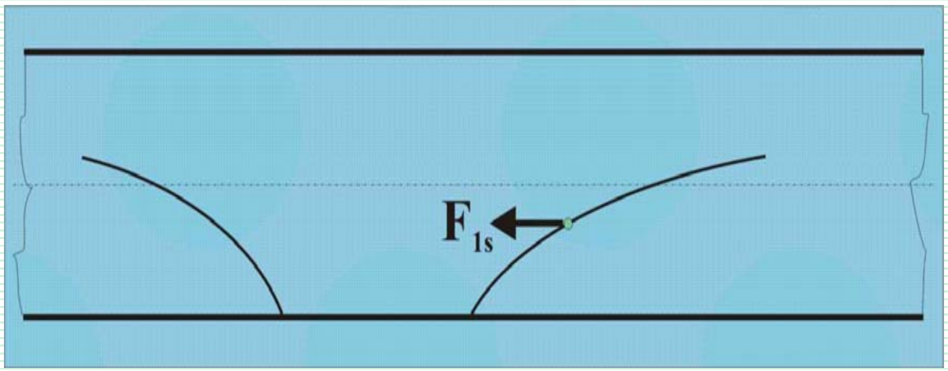
$$F_{1ü} \cdot L = \Delta E = \xi \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{2}$$

$k_ü$ - ütközési tényező

$$n \cdot m_1 = L \cdot \frac{\dot{m}_a}{v_a} \longrightarrow n = L \cdot \frac{\dot{m}_a}{v_a \cdot m_1}$$

$$\Delta p_{ü} = \frac{n \cdot F_{1ü}}{A} = \frac{L \cdot \dot{m}_a}{v_a \cdot m_1} \cdot k_{ü} \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D} \cdot \frac{1}{A} = k_{ü} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot v_a}{A}$$

Súrlódási nyomásesés



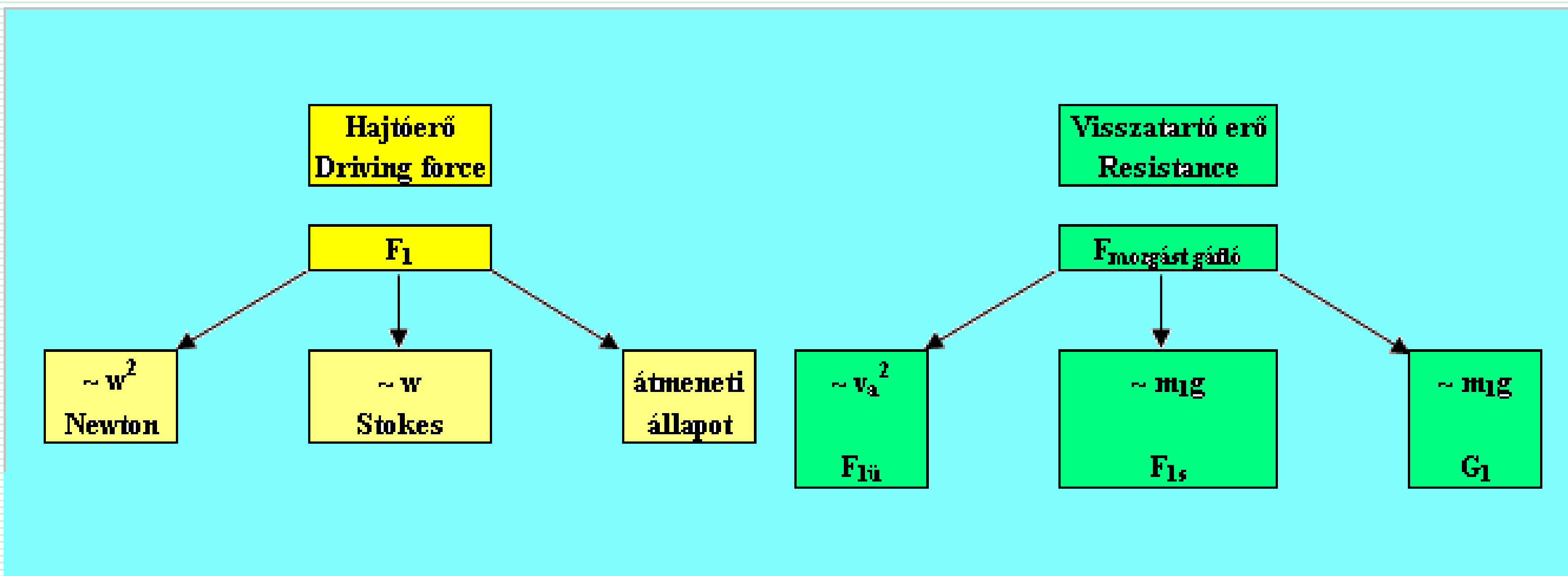
F_{1s} - állandónak feltételezett súrlódásból származó visszatartó erő

$$F_{1s} = k_s \cdot m_1 \cdot g$$

$$\Delta p_s = \frac{n \cdot F_{1s}}{A} = \frac{n \cdot k_s \cdot m_1 \cdot g}{A} = \frac{L \cdot \dot{m}_a}{v_a \cdot m_1} \cdot \frac{k_s \cdot m_1 \cdot g}{A} = k_s \cdot L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A}$$

Sebességviszonyok vizsgálata
(speed ratio, velocity ratio)

$$v_a(v_g) \qquad\qquad w(v_g)$$



A,

Newton-féle előrehajtó erő: $$F_h = F_1 = C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2$$

Ütközésből származó visszatartó erő: $$F_e = F_{1ü} = k_ü \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D}$$

$$C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2 = k_ü \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D}$$

$$w^2 = \frac{2 \cdot k_ü \cdot m_1}{C_e \cdot A_o \cdot \rho_g} \cdot \frac{v_a^2}{D} = A' \cdot \frac{v_a^2}{D}$$

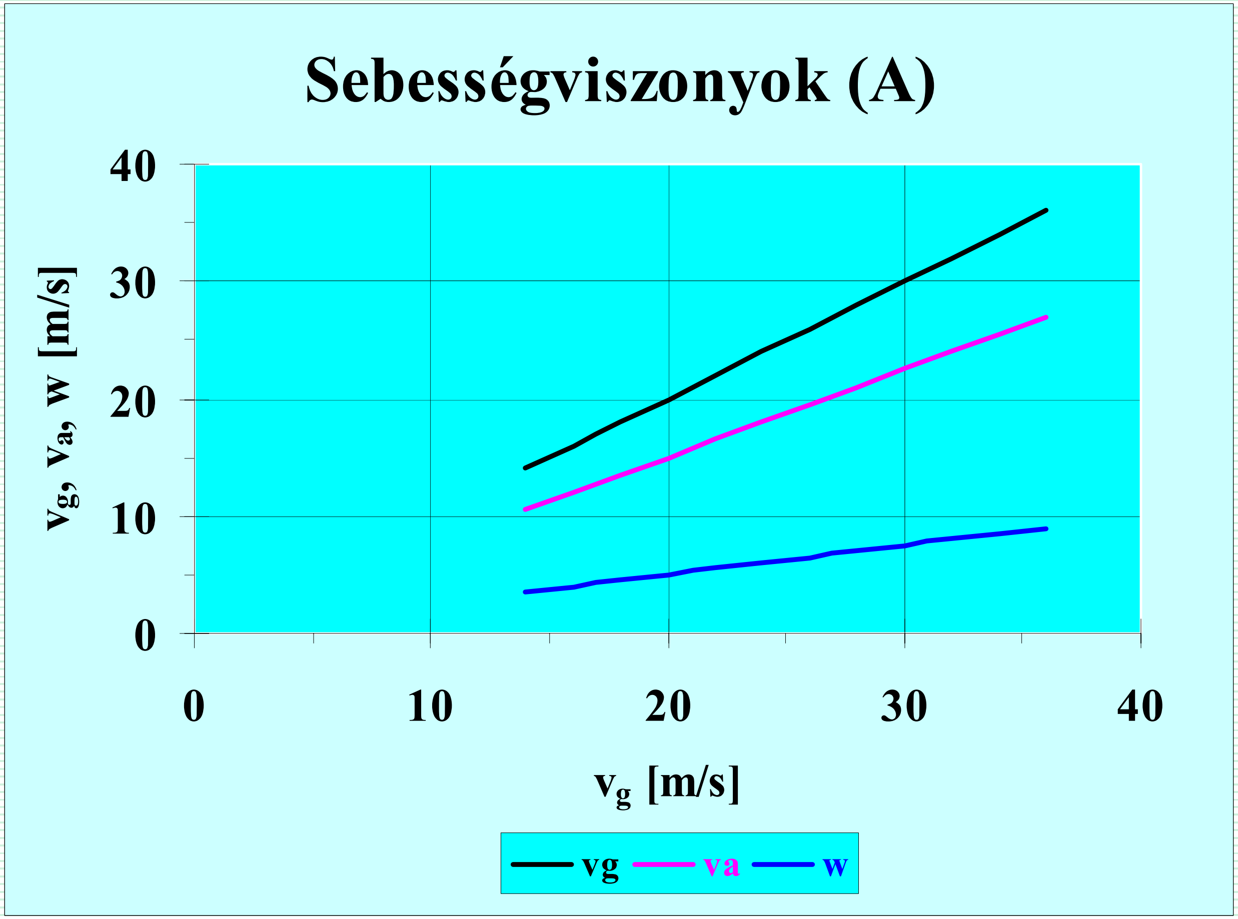
$$w = \sqrt{\frac{A'}{D}} \cdot v_a$$

$$v_g = v_a + w = v_a + \sqrt{\frac{A'}{D}} \cdot v_a = \left(1 + \sqrt{\frac{A'}{D}}\right) \cdot v_a$$

$$v_a = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{A'}{D}}} \cdot v_g$$

$$w = \frac{\sqrt{\frac{A'}{D}}}{1 + \sqrt{\frac{A'}{D}}} \cdot v_g$$

- a sebességek egymással lineáris kapcsolatban vannak, tehát a szlip állandó



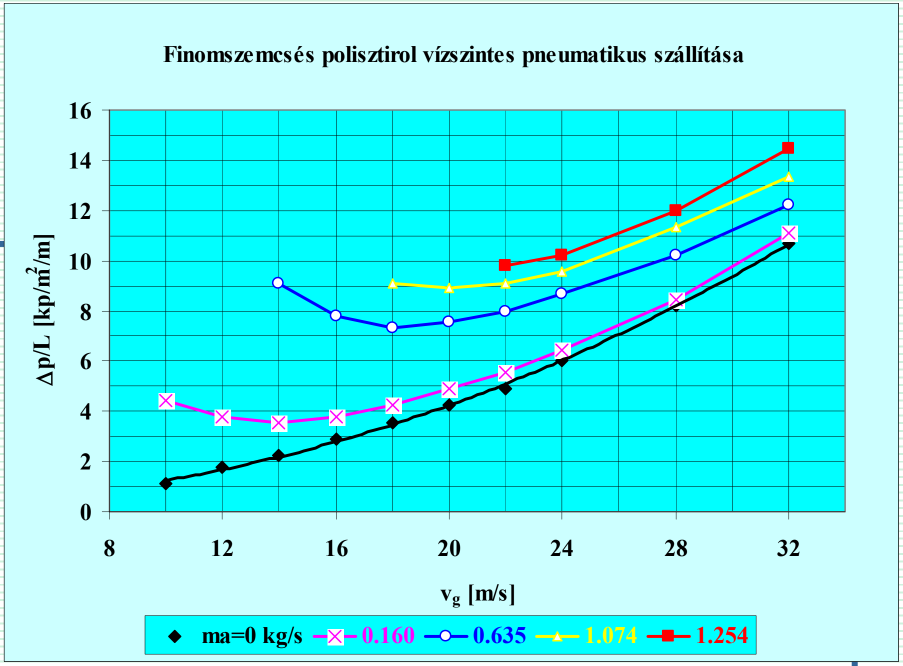
$$s = \frac{w}{v_g} = áll.$$

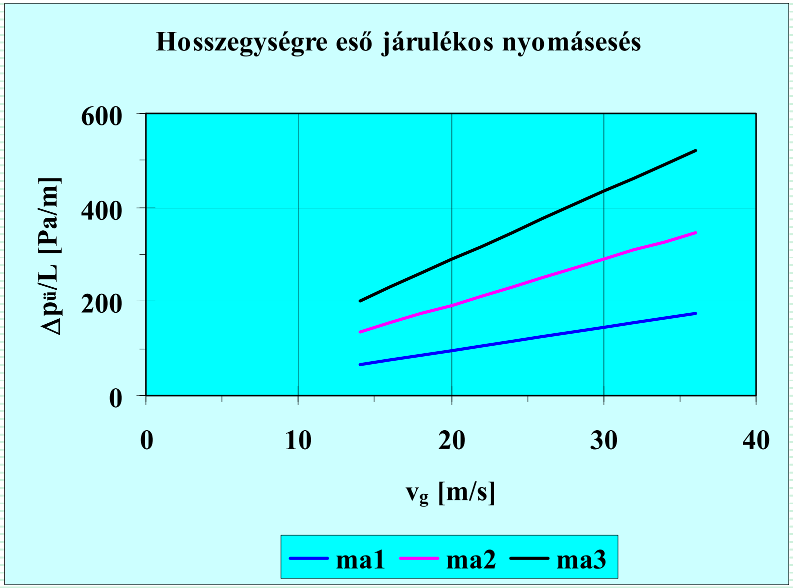
$$D = áll.$$

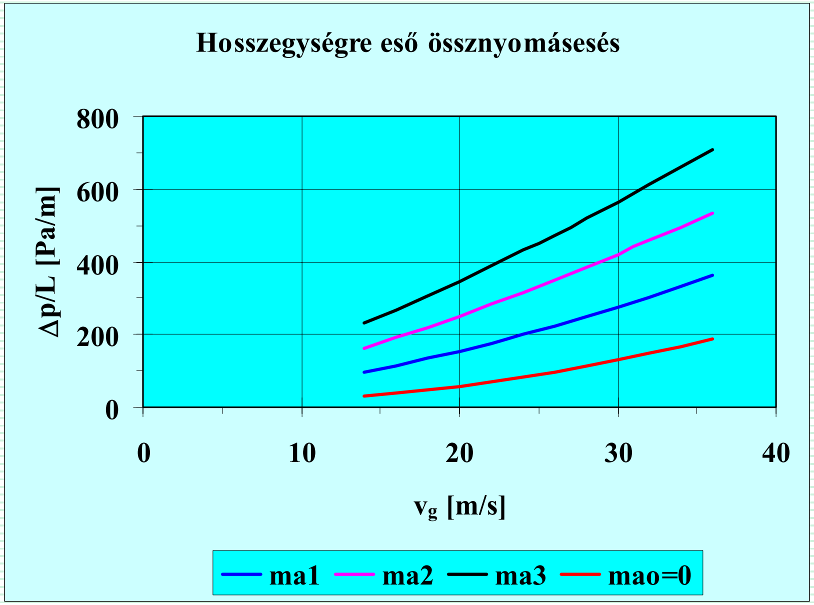
$$anyagfajta = áll.$$

Siegel hígáramú pneumatikus szállítási kísérletei →

$$\frac{\Delta p_{ü}}{L} = k_{ü} \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot v_a}{A}$$







B,

Newton-féle hajtóerő: $$F_h = F_1 = C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2$$

Súrlódásból származó ellenállás: $$F_{1s} = k_s \cdot m_1 \cdot g$$

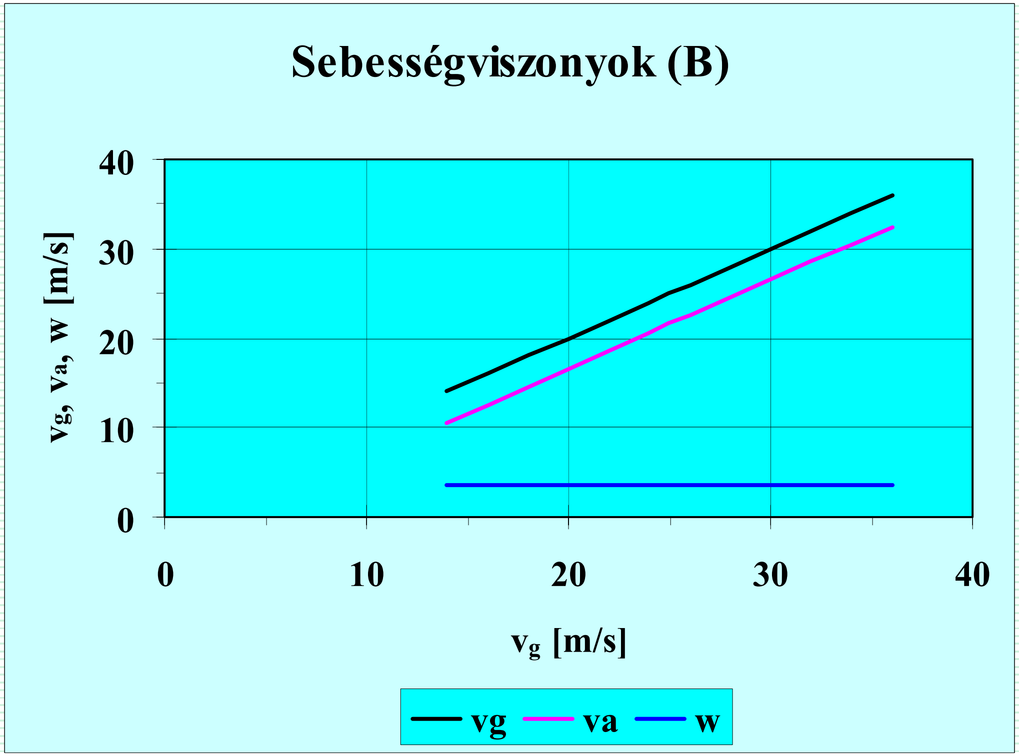
$$C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2 = k_s \cdot m_1 \cdot g = k_s \cdot C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w_o^2$$

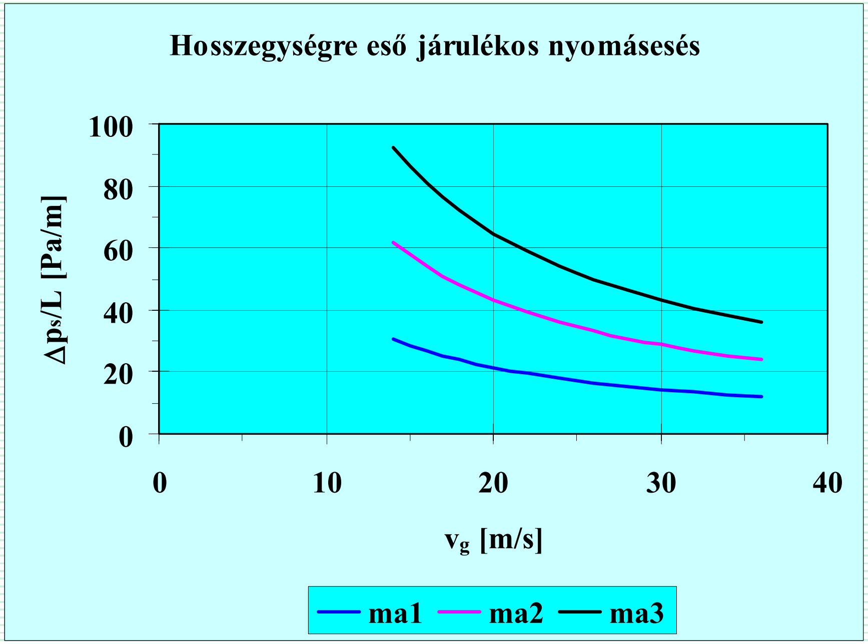
$$w^2 = k_s \cdot w_o^2 \qquad w = \sqrt{k_s} \cdot w_o$$

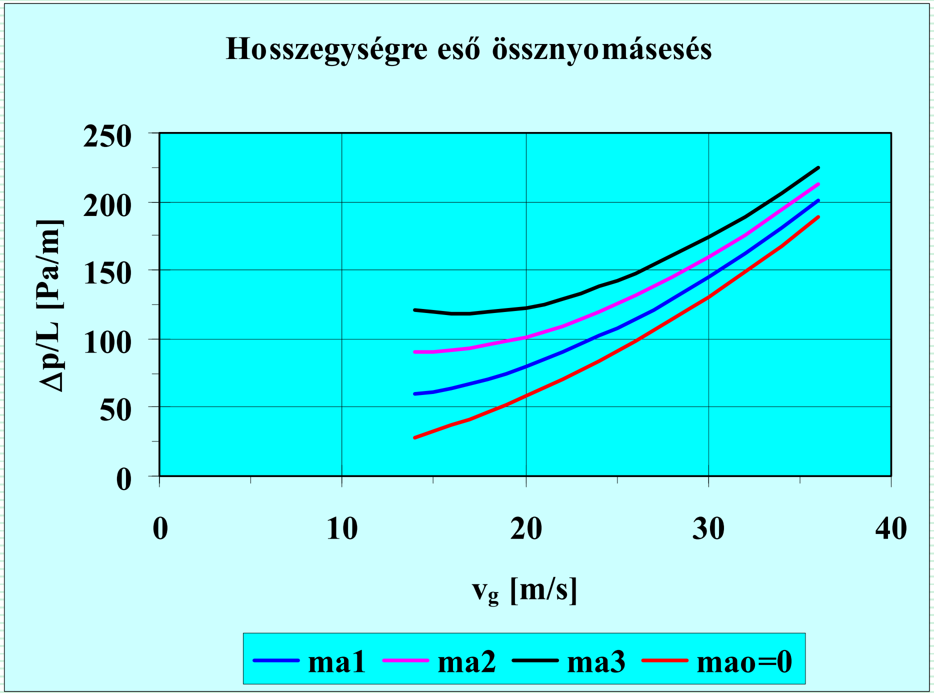
- szemcsés, ($d_o > 1mm$) puha anyag szállításánál fordul elő

$$w = \sqrt{k_s} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_1 \cdot g}{C_e \cdot A_o \cdot \rho_g}} = \sqrt{k_s} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_g} \cdot \frac{g}{C_e} \cdot d_o} = \acute{a}lland\acute{o}$$

$$v_a = v_g - w = v_g - \acute{a}ll.$$







$$\frac{\Delta p_s}{L} = k_s \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A}$$

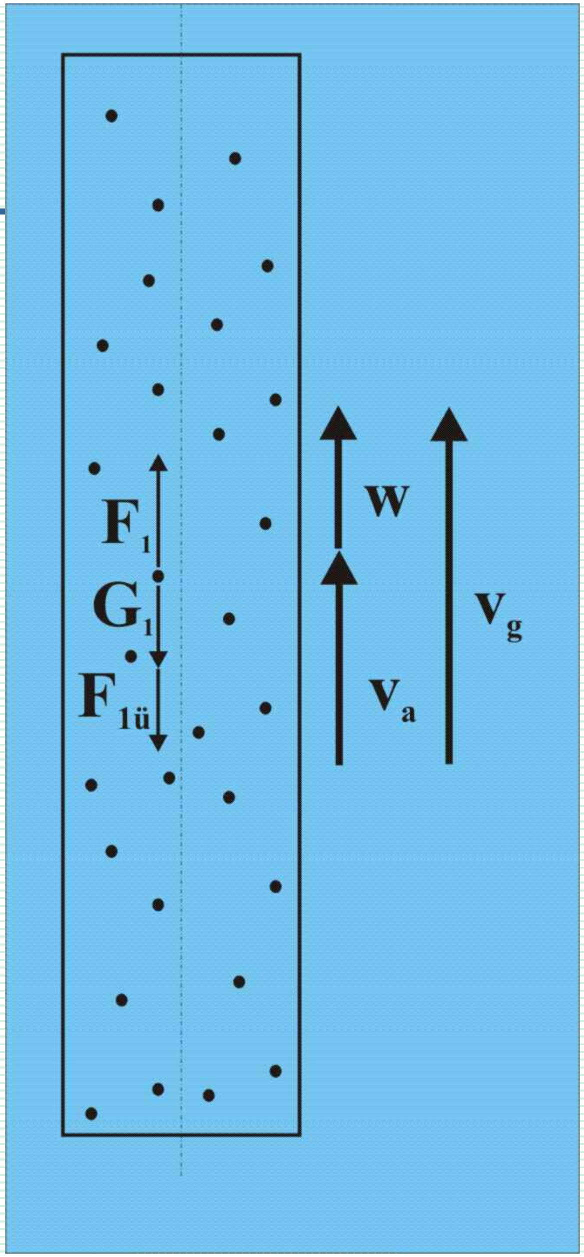
C,

Függőleges egyenletes hígáramú pneumatikus szállítás
-nagyszemcsés rugalmas anyag
-Newton-féle előrehajtó elő
-Ellenállás: emelés és ütközés

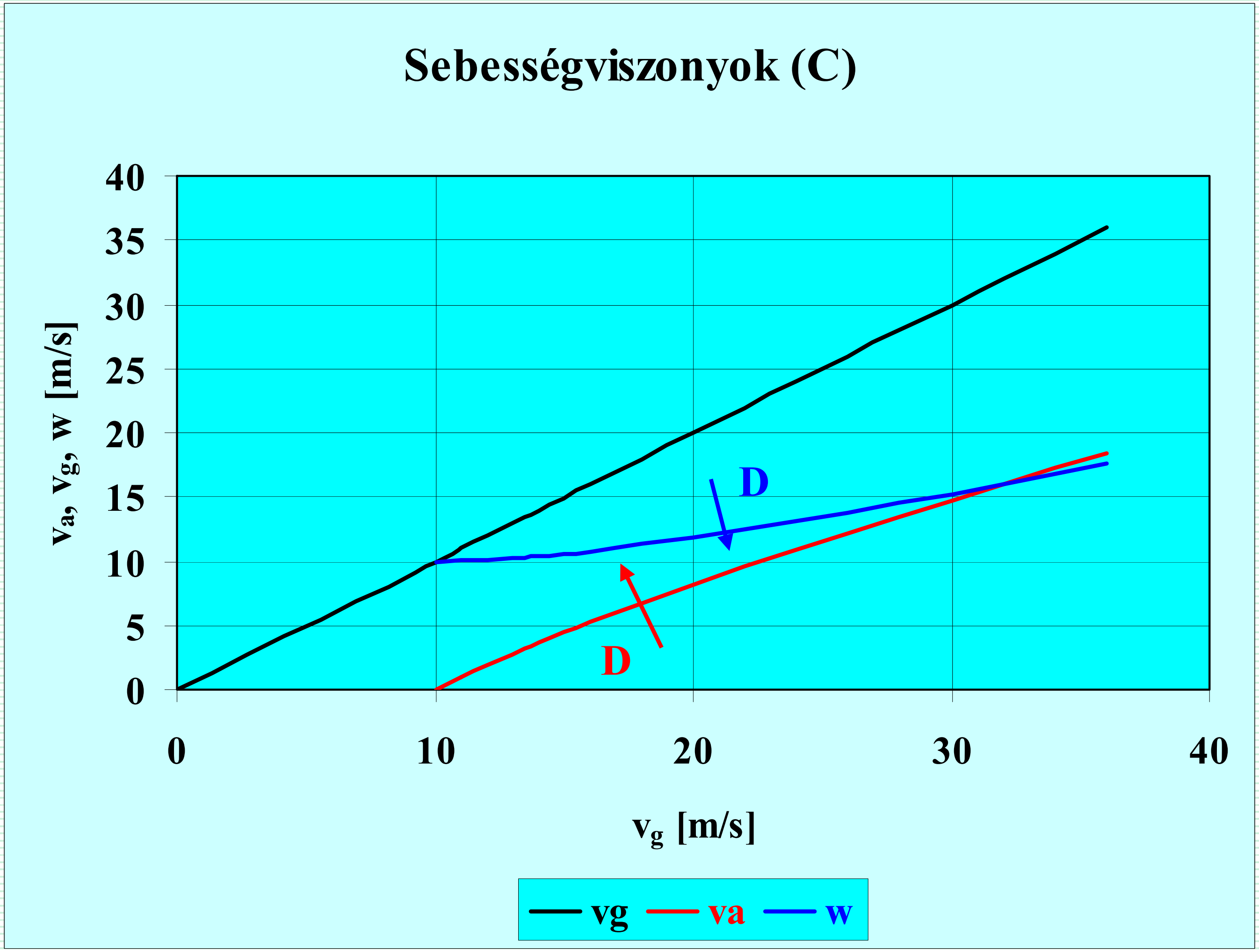
$$C_e \cdot A_o \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot w^2 = m_1 \cdot g + k_ü \cdot \frac{m_1 \cdot v_a^2}{D}$$

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

$$\frac{w^2}{w_o^2} = 1 + k_ü \cdot \frac{v_a^2}{g \cdot D}$$



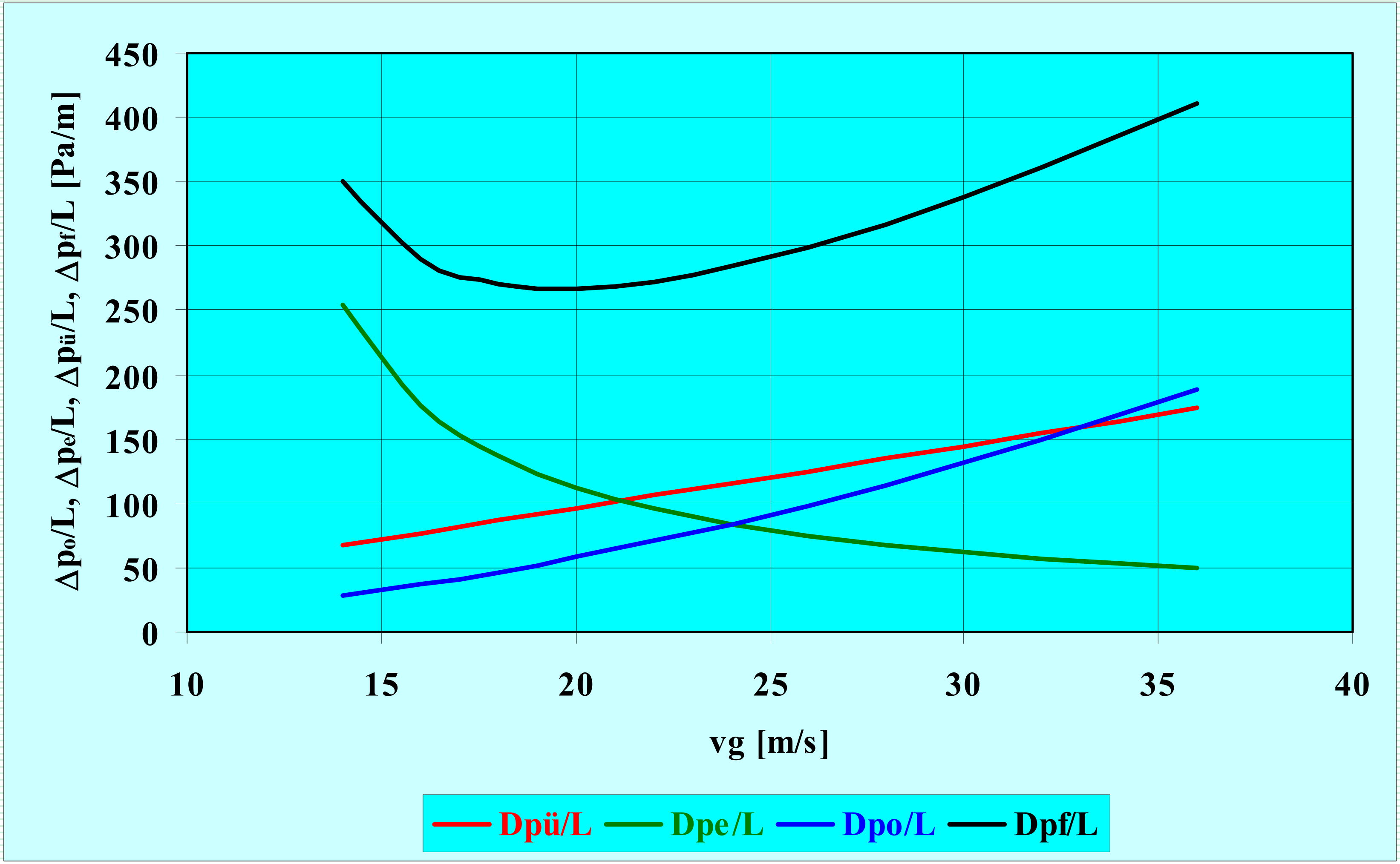
$$w = w_o \sqrt{1 + k_{ü} \cdot \frac{v_a^2}{g \cdot D}} \qquad v_g = v_a + w = v_a + w_o \sqrt{1 + k_{ü} \cdot \frac{v_a^2}{g \cdot D}}$$



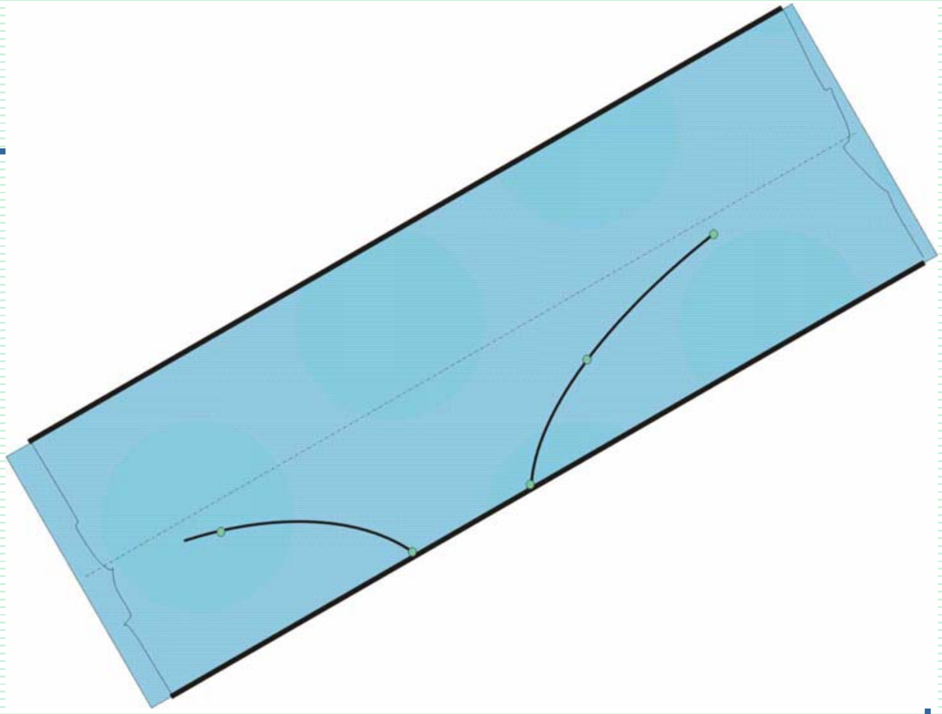
$$\Delta p_f = \Delta p_o + \Delta p_j = \Delta p_o + \Delta p_e + \Delta p_{ü}$$

$$D = áll. \qquad \dot{m}_a = áll.$$

$$anyagfajta = áll.$$



D, :általános eset



$$F_{1ü} + k_e \cdot G_1 + F_{1s}$$

$$v_g = v_a + w_o \sqrt{k_e + k_s + k_ü \cdot \frac{v_a^2}{g \cdot D}}$$

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

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho_g}{2} \cdot v_g^2 + k_e \cdot L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A} + k_s \cdot L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A} + k_ü \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot v_a}{A}$$

vízszintes csőben:

	búza	PE granulátum	borsó
$k_ü$	**0.0015**	**0.00043**	**0.00045**
k_e	**0.25**	**0.35**	**0.24**

Példa:

Búza hígáramú szívóüzemű pneumatikus szállítása

$$D = 95mm \qquad A \cong 0.0071m^2$$

$L = 30m$ vízszintes

$$v_g = 23m/s \qquad w_o = 9.6m/s$$

$$\rho_g = 1.2kg/m^3$$

$$\dot{m}_g = 0.196kg/s$$

$$\lambda = 0.0167$$

$$\Delta p_o = 1674 Pa$$

$$k_{ü} = 0.0015$$

$$k_e = 0.25$$

$$v_g = v_a + w_o \cdot \sqrt{k_e + k_{ü} \cdot \frac{v_a^2}{g \cdot D}}$$

v_a felvételével iterálunk $v_a = 15.4 m/s \rightarrow s = 0.33$

$$\dot{m}_a = 3.5 t/h = 0.97 kg/s$$

$$\mu = 4.95 \approx 5$$

$$\Delta p_{ü} = k_{ü} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot v_a}{A} = 997 Pa$$

$$\Delta p_e = k_e \cdot L \cdot \frac{\dot{m}_a \cdot g}{v_a \cdot A} = 653 Pa$$

$$\Delta p_j = 1650 Pa$$

$$\Delta p_v = 3324 Pa$$

Siegel mérési eredménye (D=100mm): $\Delta p_v = 3300 Pa$

Segler ($\lambda_v = 0.038$): $\Delta p_v = 3809 Pa$

Függőleges szállítás $k_e=1$ $k_ü=0.0015$

v_a az anyagsebesség függőleges szállításnál kisebb, mint vízszintes szállításnál (értéke az iteráció után a mintapéldában $v_a = 12.3 m/s$)

$$\Delta p_ü = 796 Pa$$

$$\Delta p_e = 3269 Pa$$

$$\Delta p_j = 4065 Pa$$

$$\Delta p_{függ} = 5739 Pa$$