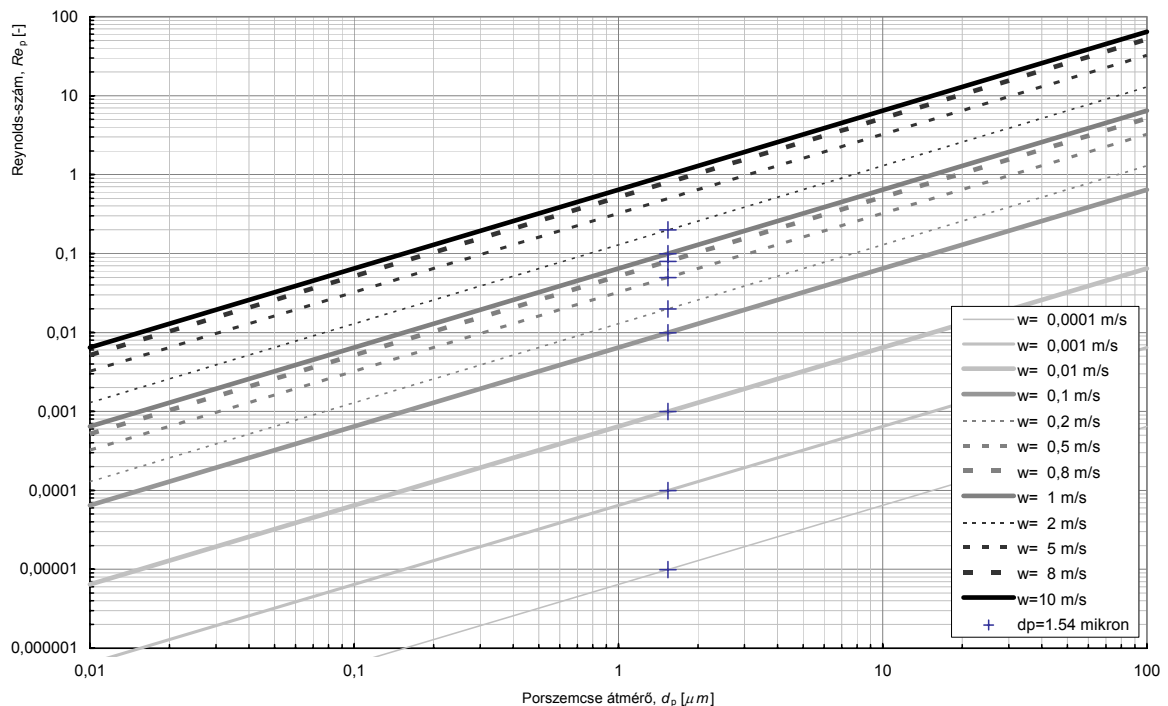


MELLÉKLET  
1-5. előadásokhoz

A bejuttatott részecske és a szállító közeg (pl. levegő, víz) közötti relatív sebességgel ( $w = v - u$ ) definiáljuk a részecske REYNOLDS-számot ( $Re_p$ ), amely a részecske körüli áramlást jellemzi.

$$Re_p = \frac{w \cdot d_p}{\nu} = \frac{w \cdot d_p \cdot \rho_g}{\mu}$$

A részecske Reynolds-számot ábrázoltuk az átmérő (gömb alakot feltételezve) és a  $w$  relatív sebesség függvényében különböző relatív sebesség értékekre (ld. alábbi ábra). Külön + jellel jelöltük egy professzionális SAFEX ködgenerátor által létrehozott LDA mérésekhez alkalmazott részecske közepes átmérőjére ( $d_p=1.5\mu\text{m}$ ) vonatkozó adatokat.



A STOKES-képlet egy gömb alakú részecske körüli áramlást jellemző  $Re_p < 0,25$  (ún. STOKES-tartomány) esetén érvényes:

$$F_e = 3\pi\mu d_p w$$

$$c_e = \frac{24}{Re_p}$$

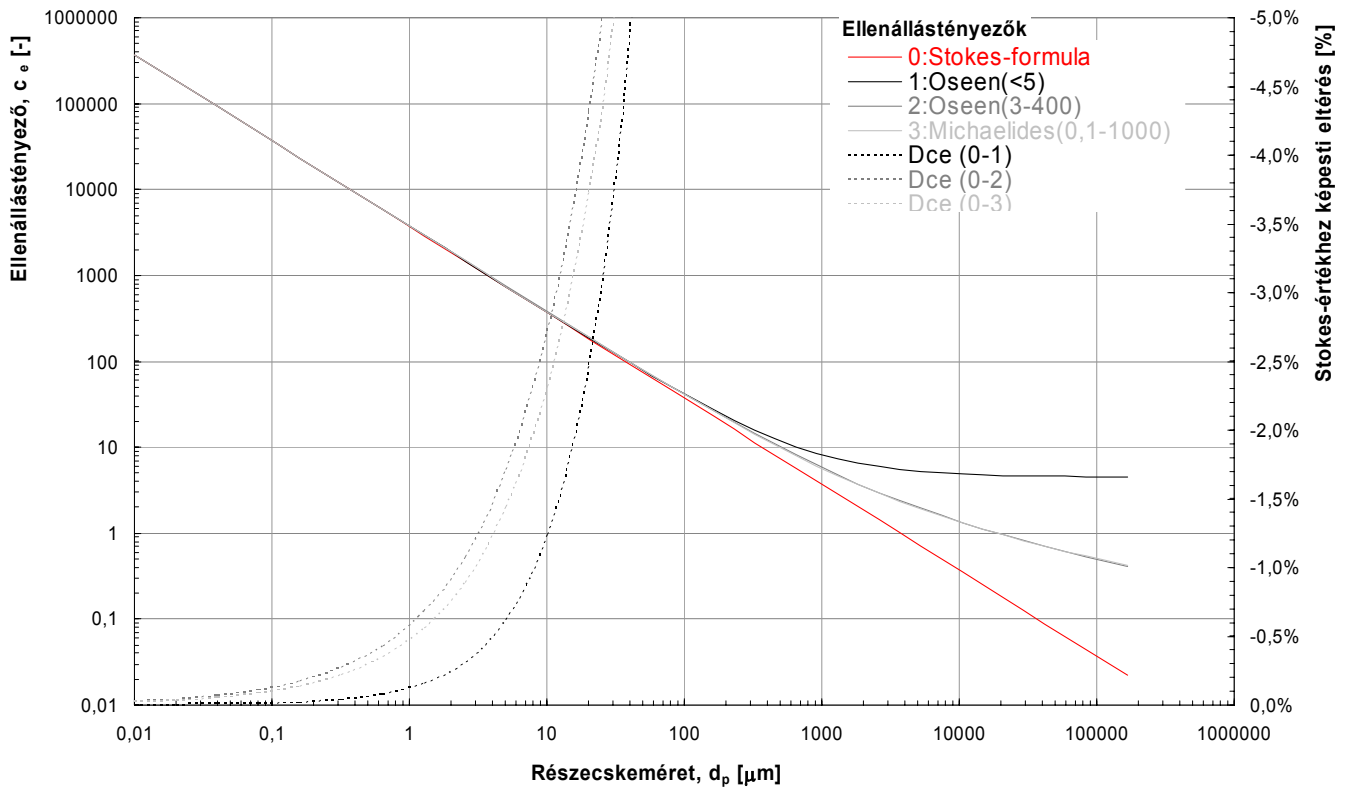
OSEEN által javasolt összefüggések a Reynolds-szám érvényességi tartomány kiterjesztésére:

$$c_e = \frac{24}{Re_p} \cdot \left(1 + \frac{3}{16} Re_p\right) \quad Re_p < 5$$

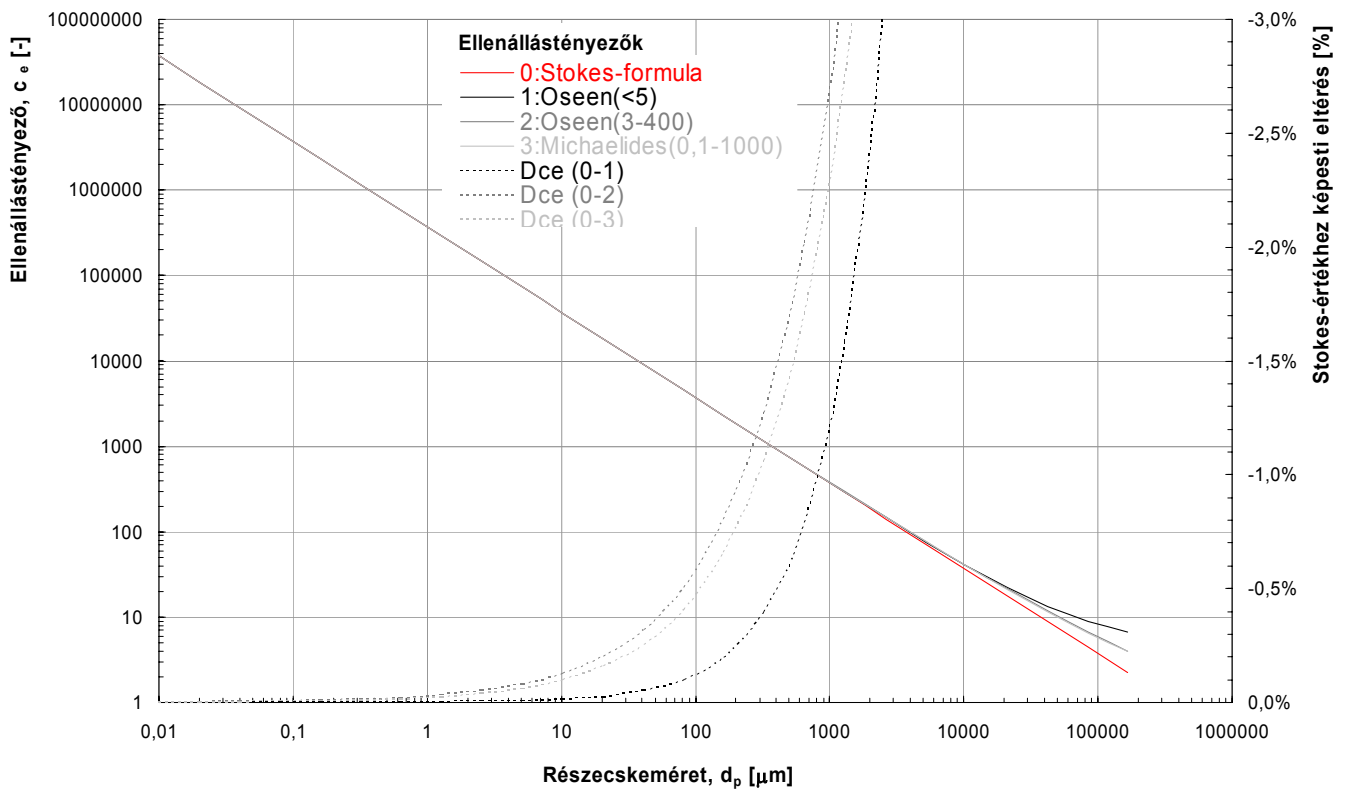
$$c_e = \frac{24}{Re_p} \cdot \left(1 + \frac{Re_p^{\frac{2}{3}}}{6}\right) \quad 3 < Re_p < 400$$

MICHAELIDES (1997) által meghatározott kifejezés:

$$c_e = \frac{24}{Re_p} \cdot \left(1 + 0,15 \cdot Re_p^{0,687}\right) \quad 0,1 < Re_p < 1000$$



w=0,1 m/s relatív sebesség (v0=1m/s, olajköd, levegő)



w=0,001 m/s relatív sebesség (v0=1m/s, olajköd, levegő)

Mivel a lézeroptikai mérési módszerekhez szükség van áramlásba juttatott (=”seeding”) és egyben áramlást követő (=”tracer”) részecskékre, így azok kétfázisú áramlásnak tekinthetők. A szállító közeg a primer fázis, a bejuttatott részecskék alkotják szekunder fázist. A kétfázisú áramlások vizsgálatánál - főként a primer közegbeli turbulencia-módosítással foglalkozó szakirodalomban - leginkább elterjedt paraméter az alábbi kifejezéssel definiált  $\alpha_p$  térfogati arány:

$$\alpha_p = \frac{V_p}{V_g} = \frac{d_p^3 \pi}{6 a^3} = \frac{c_p}{\rho_p}$$

valamint az  $M$  tömegarány:

$$M = \frac{c_p}{\rho_g} = \alpha_p \frac{\rho_p}{\rho_g} \quad \text{Átszámítás:} \quad \frac{M}{\alpha_p} = \frac{\rho_p}{\rho_g}, \text{ vagy } \frac{\alpha_p}{M} = \frac{\rho_g}{\rho_p}$$

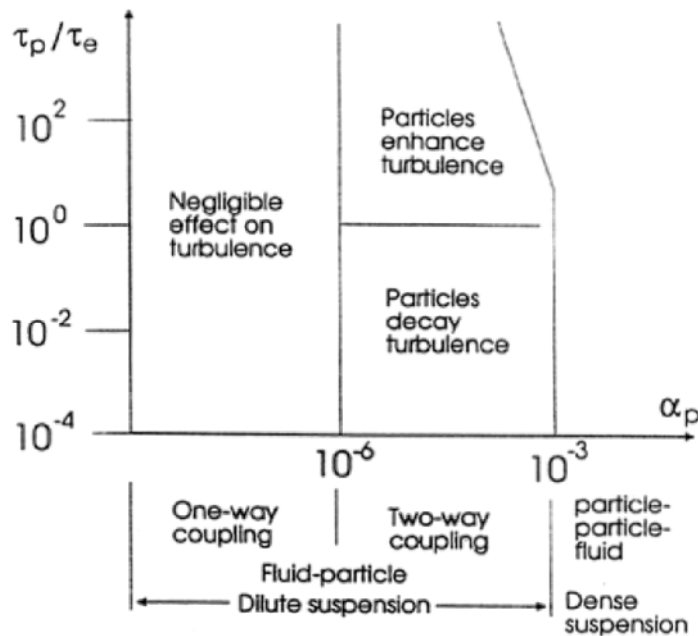
Ezek igen fontos paraméterek olyan vonatkozásban, hogy meg tudjuk ítélni, hogy a bejuttatott részecskék milyen mértékben befolyásolják a mérendő közeg tulajdonságait.

**Táblázat** A részecskék egymástól mért relatív távolsága ( $a/d_p$ ), a  $c_p$  koncentráció és a  $\rho_p$  sűrűség függvényében; valamint az  $N$  [ $db/mm^3$ ] darabszám szerinti koncentráció a  $\rho_p$  sűrűség függvényében adott  $d_p=1,5\mu m$  szemcseátmérő esetén.

$a / d_p$		$\rho_p$ [ $kg/m^3$ ]		
		800	1500	2500
$c_p$ [ $g/m^3$ ]	0,0001	1612	1988	2357
	0,001	748	923	1094
	0,01	347	428	508
	0,1	161	199	236
	1	75	92	109
	10	35	43	51
	100	16	20	24

$N$ [ $db/mm^3$ ]		$\rho_p$ [ $kg/m^3$ ]		
		800	1500	2500
$c_p$ [ $g/m^3$ ]	0,0001	0,07	0,04	0,02
	0,001	0,7	0,4	0,2
	0,01	7	4	2
	0,1	71	38	23
	1	707	377	226
	10	7074	3773	2264
	100	70736	37726	22635

ELGHOBASHI (1994) kétfázisú áramlásokban a fázisok közötti kölcsönhatásokat vizsgáló összefoglaló munkája szerint egy gáz-részecske kétfázisú elegy az  $\alpha_p$  térfogati arány szerint két tartományra: a sűrű ( $\alpha_p > 10^{-3}$ ) és híg ( $\alpha_p < 10^{-3}$ ) elegyekre osztható.



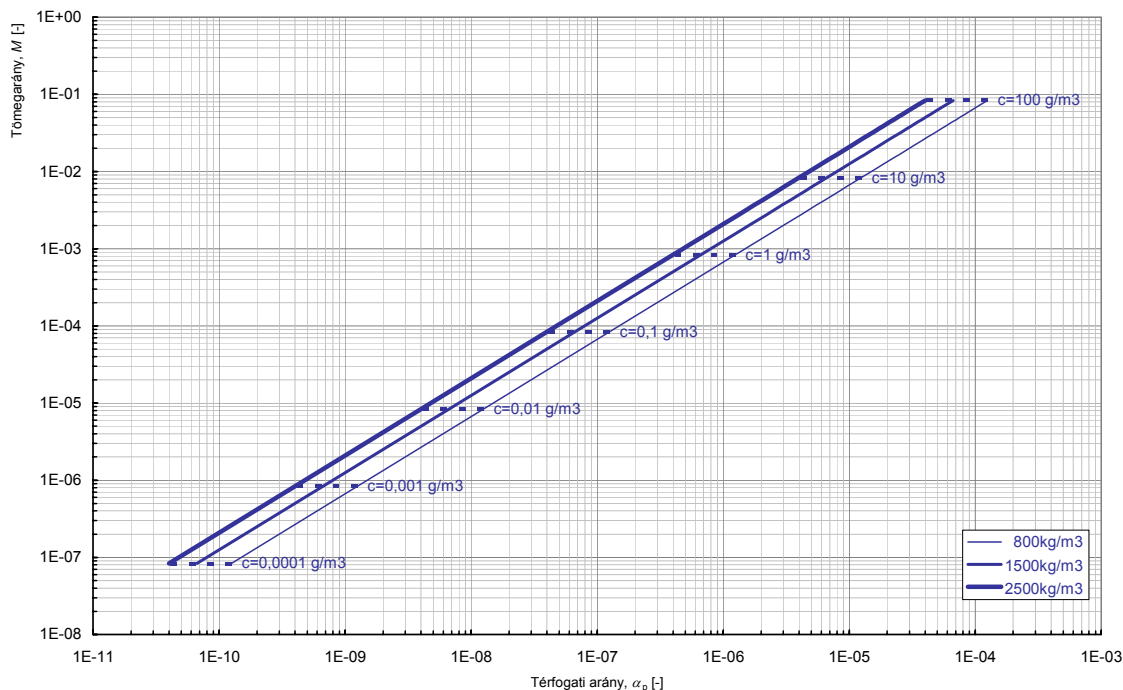
Kétfázisú áramlásokban a közeg (levegő) és a diszperz fázisok közötti kölcsönhatások turbulencia módosításban játszott szerepének megítélésére javasolt térkép a fenti ábra („Turbulence modulation map”): amely a térfogati arány ( $\alpha_p$ ) és a porszemcse STOKES-szám ( $St_p = \tau_p / \tau_e$ ) jellemző értéktartományában a részecskéknek a primer fázis turbulencia jellemzőire kifejtett hatását (turbulencia növelés, csökkentés, semleges) értékli. (ELGHOBASHI, 1994)

- a) Az  $\alpha_p > 10^{-3}$  tartomány a sűrű szuszpenziókra jellemző, ahol pl. a levegő és a szemcsék közötti kétirányú kölcsönhatás mellett az egyes szemcsék közötti kölcsönhatás (ütközés, összetapadás) is jellemző<sup>1</sup>.
- b) Az  $\alpha_p < 10^{-3}$  tartomány a híg elegyekre jellemző tartomány, melyen belül [ELGHOBASHI \(1994\)](#) a diszperz (szekunder) fázis primer fázisra gyakorolt hatás szempontjából külön kezeli a  $10^{-6} < \alpha_p < 10^{-3}$  és a  $\alpha_p < 10^{-6}$  tartományokat az alábbiak szerint:
- 1) A  $10^{-6} < \alpha_p < 10^{-3}$  tartományon<sup>2</sup> belül az adott szemcsére jellemző STOKES-szám ( $St_p$ ) alapján eldönthető, hogy a diszperz (szekunder) fázis gázáramlásra gyakorolt hatása a szállító gáz áramlási sebességterére jellemző turbulencia intenzitás növelésében ( $St_p > 1$ ) vagy csökkenésében ( $St_p < 1$ ) jelentkezik-e – az egyfázisú áramlásra jellemző turbulencia intenzitáshoz képest.
  - 2) A kétfázisú gáz-részecske elegyek  $\alpha_p < 10^{-6}$  térfogati arány tartományban már rendkívül hígak, ebben az esetben a diszperz fázis gázáramlásra gyakorolt hatása bármely szemcse STOKES-szám tartományban elhanyagolható<sup>3</sup>, állapítja meg [ELGHOBASHI \(1994\)](#).

**Táblázat** Térfogati arány ( $\alpha_p$ ) a  $c_p$  koncentráció és a  $\rho_p$  sűrűség függvényében, valamint az  $M$  tömegarány a  $c_p$  porkoncentráció és a  $\rho_g$  gáz-sűrűség függvényében.

$\alpha_p$		$\rho_p$ [kg/m <sup>3</sup> ]		
		800	1500	2500
$C_p$ [g/m <sup>3</sup> ]	0,0001	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-11}$
	0,001	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
	0,01	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$
	0,1	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
	1	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
	10	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
	100	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$

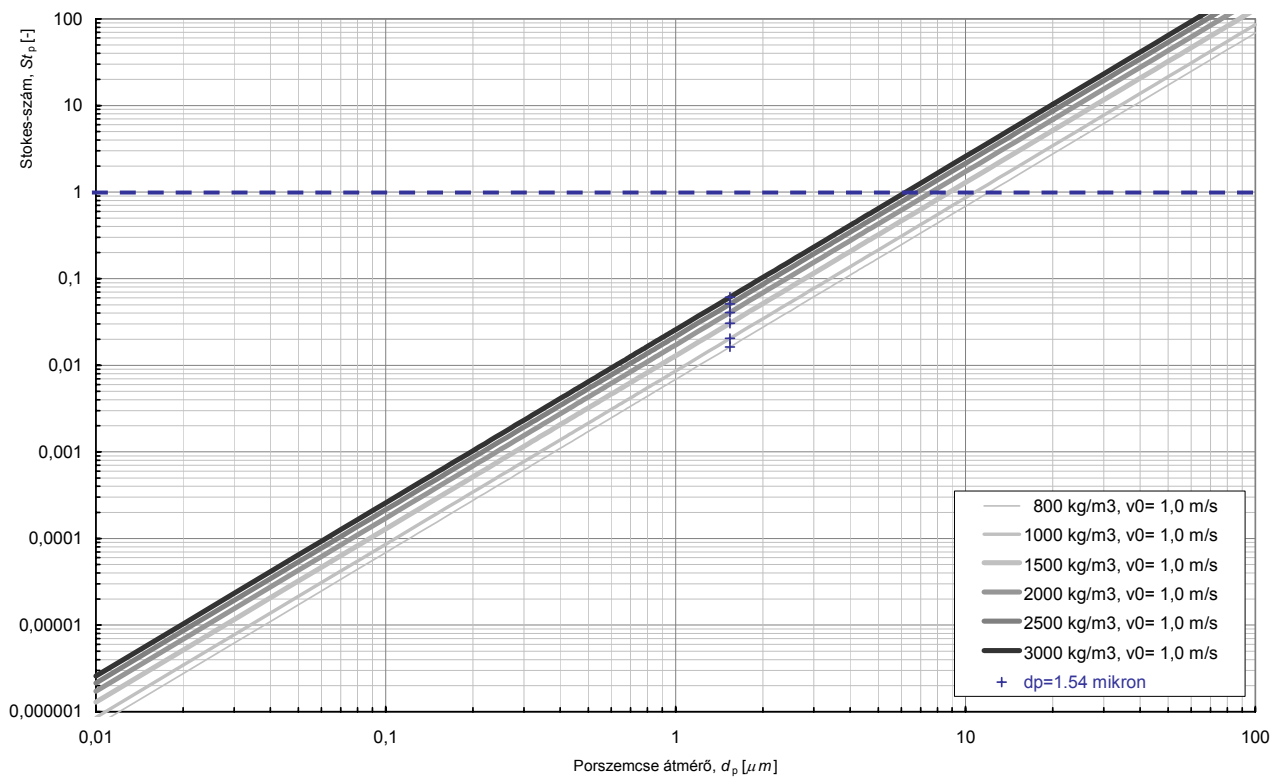
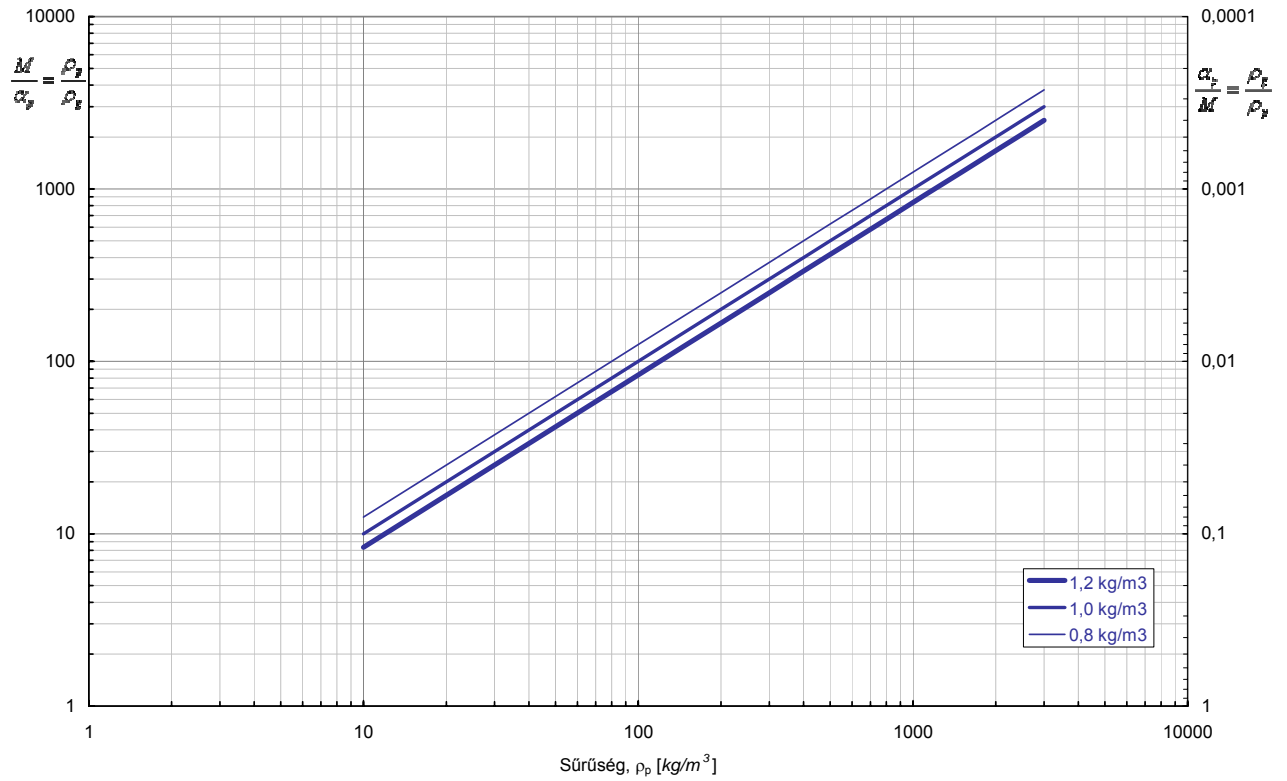
$M$		$\rho_g$ [kg/m <sup>3</sup> ]		
		0,8	1,0	1,2
$C_p$ [g/m <sup>3</sup> ]	0,0001	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$
	0,001	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-7}$
	0,01	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$
	0,1	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$
	1	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
	10	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$
	100	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$8,3 \cdot 10^{-2}$



<sup>1</sup> A (levegő↔szemcse) kölcsönhatás mellett a (szemcse↔szemcse) kölcsönhatások is jellemzőek a sűrű ( $\alpha_p > 10^{-3}$  térfogati arányú) kétfázisú elegyekre. (levegő↔szemcse↔szemcse)

<sup>2</sup> „two-way coupling”: a „kétirányú”, azaz (levegő→szemcse) ill. (szemcse→levegő) kölcsönhatások tartománya. (levegő↔szemcse)

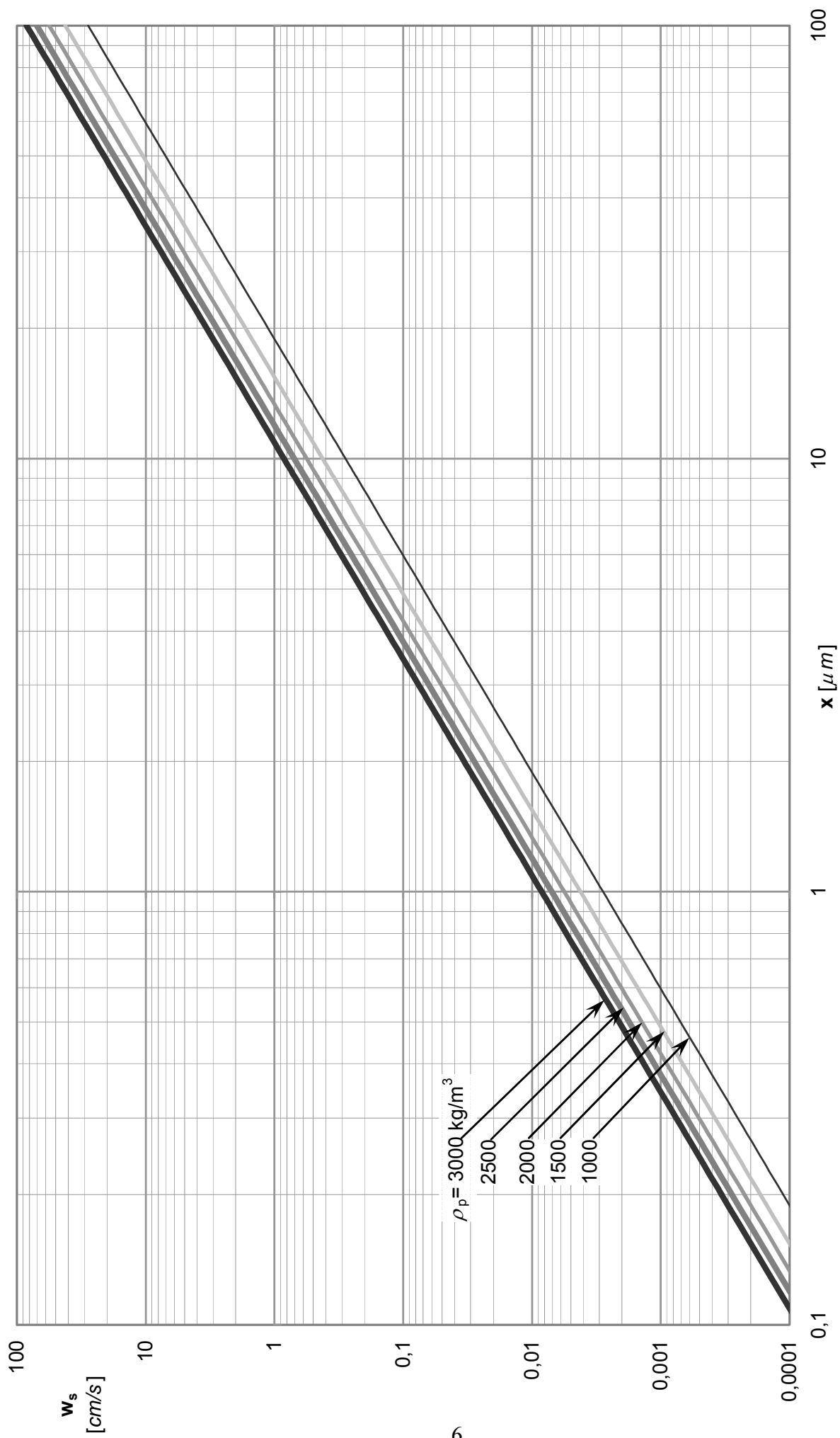
<sup>3</sup> „one-way coupling”: az „egyirányú”, azaz csak (levegő→szemcse) kölcsönhatások tartománya.



Irodalom:

ELGHOBASHI, S.E. (1994) On predicting particle-laden turbulent flows. *Appl. Sci. Res.* Vol. **52**, pp.309-329.

MICHAELIDES, E.E. (1997) Review – The transient equation of motion for particles, bubbles and droplets. *Transactions of the Americal Society of Mechanical Engineers, J. Fluids Eng.*, Vo.. **119**, pp.233-247.



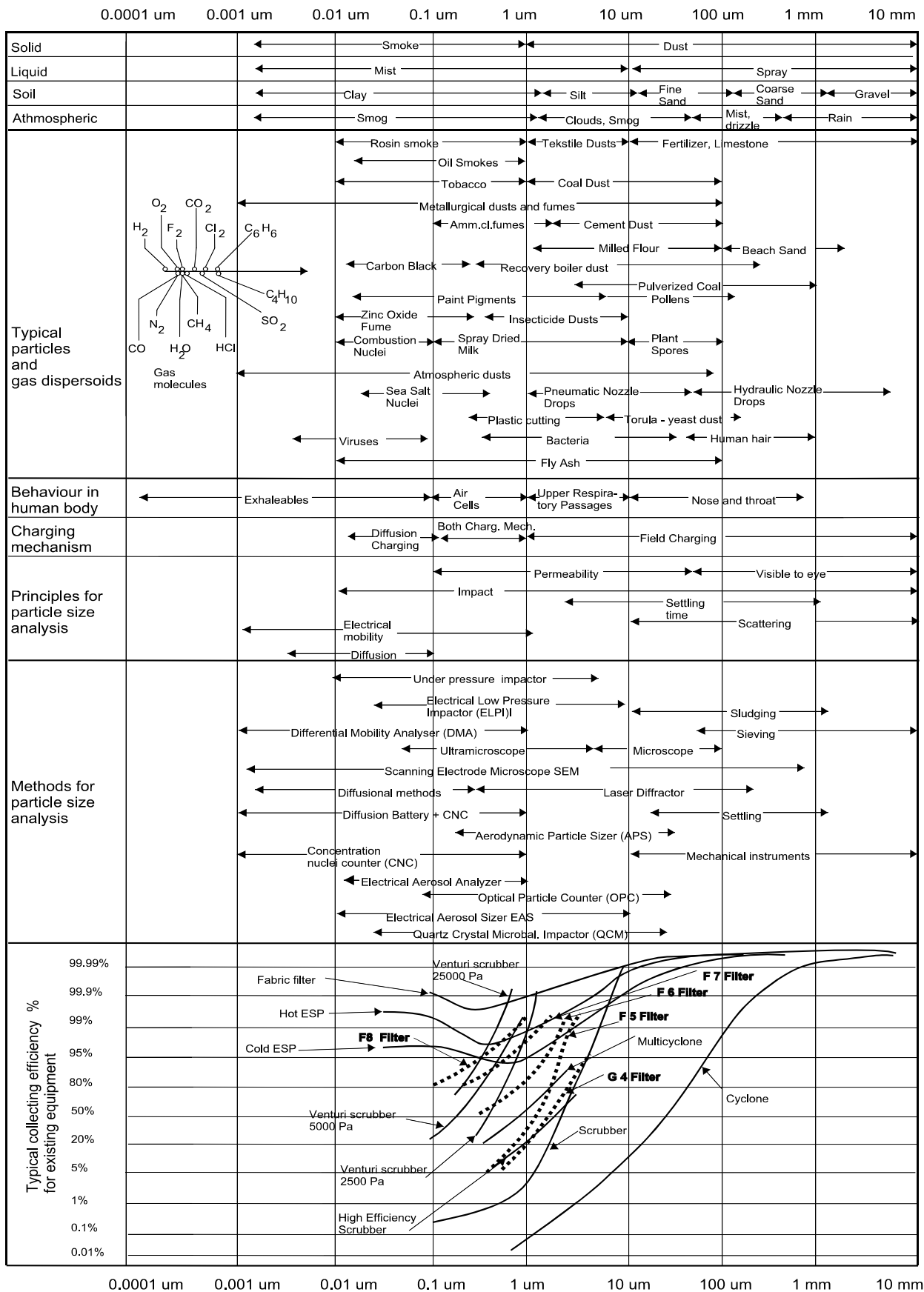
$\rho_p = 3000 \text{ kg/m}^3$

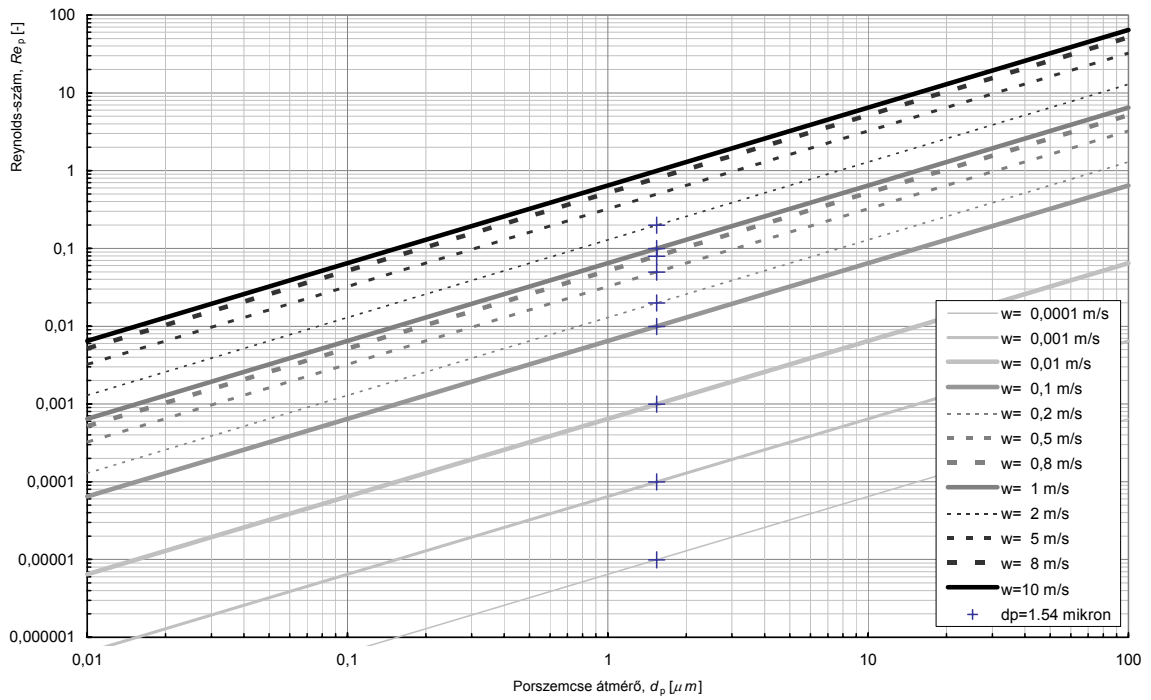
2500

2000

1500

1000



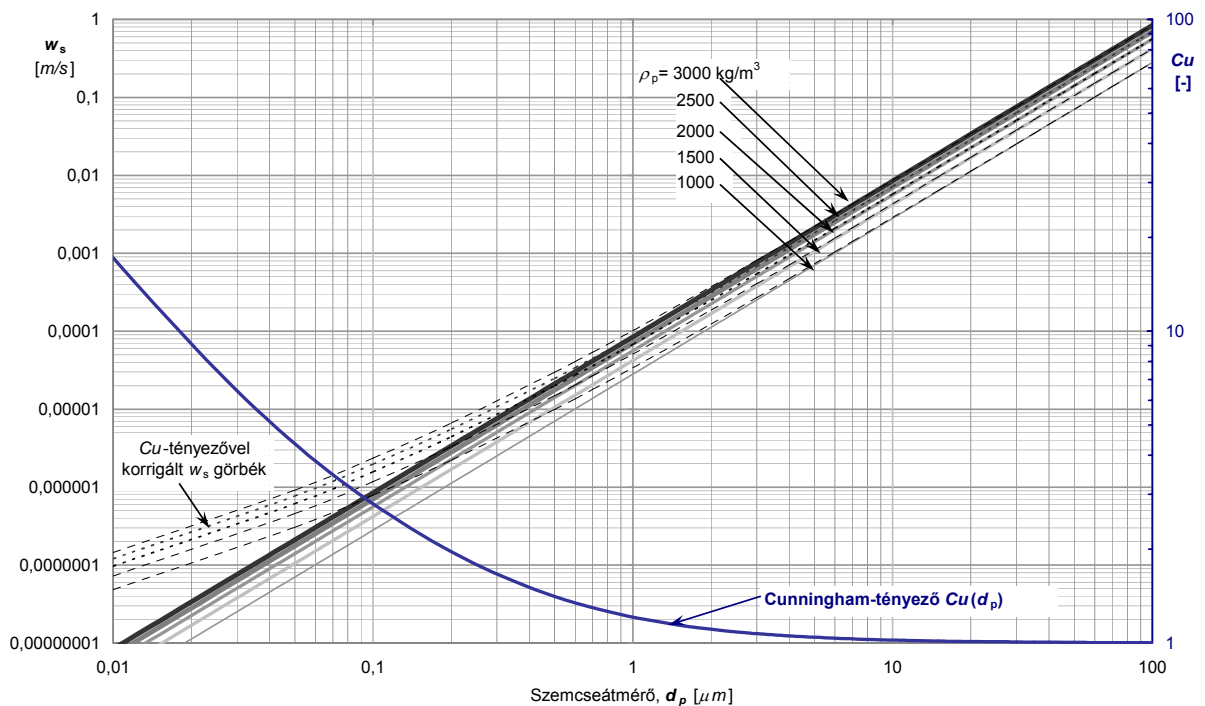


$$F_{Stokes} = 3\pi\mu d_p w, \quad Re_p = \frac{w \cdot d_p}{\nu} = \frac{w \cdot d_p \cdot \rho_g}{\mu}, \quad c_d = \frac{F_{Stokes}}{\frac{\rho_g}{2} w^2 \frac{d_p^2 \pi}{4}}, \quad c_d = \frac{24}{Re_p}$$

OSEEN  $c_d = \frac{24}{Re_p} \cdot \left(1 + \frac{3}{16} Re_p\right) \quad Re_p < 5 \quad (1)$

OSEEN  $c_d = \frac{24}{Re_p} \cdot \left(1 + \frac{Re_p^{\frac{2}{3}}}{6}\right) \quad 3 < Re_p < 400 \quad (2)$

MICHAELIDES  $c_d = \frac{24}{Re_p} \cdot (1 + 0,15 \cdot Re_p^{0,687}) \quad 0,1 < Re_p < 1000 \quad (3)$



Szemcse süllyedési (ülepedési) sebessége, ill. *Cu*: Cunningham-féle korrekciós tényező:



$$w_s = \frac{(\rho_p - \rho_g)d_p^2 g}{18\mu} \cong \frac{\rho_p d_p^2 g}{18\mu}$$
$$Cu = 1 + 1,246 \cdot \frac{2\lambda}{d_p} + 0,42 \cdot \frac{2\lambda}{d_p} \cdot e^{-0,87 \frac{2\lambda}{d_p}} \quad (Cu \cong 1 + \frac{2A\lambda}{d_p})$$