

Zadatak 1.

Izračunati brzinu taloženja u zraku za česticu promjera $d=1 \mu\text{m}$ ($=10^{-6} \text{ m}$).

$$\mu_{zrak} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ kg/ms}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\check{c}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{zrak} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$v_t = \frac{d_{\check{c}}^2 (\rho_{\check{c}} - \rho_{zrak}) \cdot g}{18\mu}$$

$$v_t = \frac{(10^{-6} \text{ m})^2 \cdot (2000 \text{ kg/m}^3 - 1,2 \text{ kg/m}^3) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{18 \cdot (1,8 \cdot 10^5 \text{ kg/ms})} = 6,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Napomena: Radi se o vrlo malim česticama pa je potrebno provesti korekciju s Cunninghamovom konstantom.

Zadatak 2.

Gravitacijski sedimentator visine 2 m i duljine 20 m upotrebljava se za separaciju čestica prosječnih dimenzija $5 \mu\text{m}$ prisutnih u plinskoj struji koja kroz uređaj prolazi brzinom od $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Kolika je učinkovitost separacije?

$$\mu = 0,075 \text{ kg/mh} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$u = 10 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\check{c}} = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$H = 2 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$v_t = \frac{(9,81 \text{ m/s})(5 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 (1500 \text{ kg m}^{-3} - 3)}{(18)(2 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms})} = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\eta_{lam} = \frac{v_t L}{u H}$$

$$\eta = \frac{(9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s})(20 \text{ m})}{(10 \text{ m/s})(2 \text{ m})} = 9,8 \cdot 10^{-4}$$

Isto komentar kao u prethodnom zadatku!

Zadatak 3.

Čestica se kreće u ciklonu u struji plina brzinom $v_c = 18,29 \text{ m/s}$ po radijusu $r = 0,3048 \text{ m}$. Izračunati omjer centrifugalne sile i gravitacijske sile koja djeluje na tu česticu.

$$\frac{\text{centrifugalna sila}}{\text{gravitacijska sila}} = \frac{F_c}{F_g} = \frac{\frac{mv_c^2}{r}}{m \cdot g} = \frac{(18,29 \text{ m/s})^2}{(0,3048 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)} = 111,88$$

Zadatak 4.

Izračunati brzinu taloženja u ciklonu za česticu promjera $d=1 \text{ }\mu\text{m}$ koja se kreće brzinom $v_c = 18,29 \text{ m/s}$ po radijusu $r = 0,3048 \text{ m}$. Gustoća fluida može se zanemariti.

$$\mu_{zrak} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ kg/ms}$$

$$\rho_{\check{c}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 1 \text{ }\mu\text{m}$$

$$v_c = 18,29 \text{ m/s}$$

$$r = 0,3048 \text{ m}$$

$$v_t = \frac{1}{18\mu} d_{\check{c}}^2 (\rho_{\check{c}} - \rho_t) \cdot g$$

$$F_c \gg F_g$$

$$m \cdot g = \frac{m \cdot v_c^2}{r}$$

$$g \rightarrow \frac{v_c^2}{r}$$

$$v_r = \frac{1}{18\mu} \frac{d_{\check{c}}^2 (\rho_{\check{c}} - \rho_{zrak}) \cdot v_c^2}{r}$$

$$v_r = \frac{(1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (18,29 \text{ m/s})^2 \cdot 2000 \text{ kg/m}^3}{18 \cdot (1,8 \cdot 10^5 \text{ kg/ms}) \cdot 0,3048} = 0,0068 \text{ m/s}$$

$$v_r (\text{ciklon}) = 0,68 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \gg v_t (\text{gravit. sedim.}) = 6,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Zaključak: Usporedbom v_r (ciklon) i v_t (gravit. sedim.) za identične dimenzije čestica $\rightarrow v_r$ (ciklon) $\gg v_t$ (gravit. sedim.)

Zadatak 5.

Čestice oblika kugle promjera $d = 200 \mu\text{m}$ talože se u zraku. Ukoliko je moguće primijeniti Stokesov zakon i izračunati brzinu taloženja i vrijednost Re značajke.

$$Re = \frac{v_t d_c \rho_f}{\mu}$$

$$v_t = ?$$

$$Re < 1, d_c < 0,03 \text{ mm}$$

$$v_t = \frac{1}{18\mu} d_c^2 (\rho_c - \rho_f) \cdot g$$

$$v_t = \frac{1(200 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \cdot (2000 - 1,2) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 2,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{2,42 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (200 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}} = 32,3$$

Zaključak: čestice su prevelike za primjenu Stokesovog zakona. Kada su čestice prevelike za primjenu Stokesovog zakona potrebno je računati koeficijent ili faktor otpora, C_D , a brzinu taloženja računati pomoću Newtonovog zakona. Ponekad se c_D izračunava pomoću grafičkog prikaza $c_D = f(c_D \cdot Re^2)$

$$c_D \cdot Re^2 = \frac{4 \cdot g \cdot \rho_f \cdot d_p^3 (\rho_c - \rho_f)}{3 \cdot \mu_f^2}$$

Zadatak 6.

Izračunati brzinu taloženja za česticu promjera $d_c = 200 \mu\text{m}$ iz prethodnog zadatka primjenom korelacije za c_D , uz pretpostavku da je $Re = 20$. Primijeniti metodu pokušaja i pogreške. Kada su čestice prevelike za primjenu Stokesovog zakona potrebno je računati koeficijent ili faktor otpora, C_D .

$$c_D = \frac{24}{Re} (1 + 0,14 Re^{0,7}) \quad (\text{točnost procjene: } \pm 6 \%)$$

$$c_D = \frac{F_D}{\left(\frac{\pi}{4}\right) d_c^2 \rho_F \frac{v_t^2}{2}}$$

$$F_D = c_D \cdot A \frac{v_t^2 \cdot \rho_F}{2} \quad ; \quad A = \frac{d_c^2 \pi}{4}$$

$$F_D = c_D \cdot \frac{\pi}{8} \cdot d_\epsilon^2 \cdot v_t^2 \cdot \rho_F$$

$$v_t = \sqrt{\frac{F_D}{c_D \left(\frac{\pi}{8} \right) \cdot d_\epsilon^2 \cdot \rho_F}}$$

$$c_D = \frac{24}{20} (1 + 0,14 \cdot 20^{0,7}) = 2,57$$

U uvjetima taloženja: $F_D = m \cdot g = \frac{\pi}{6} \cdot d_\epsilon^3 \cdot \rho_\epsilon \cdot g$

$$v_t = \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{3} \right) d_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot g}{c_D \rho_F}} \quad v_t \Rightarrow \left(\frac{1}{c_D} \right)^{1/2} \quad v_t = 1,3 \text{ m/s}$$

Provjera:

$$\text{Re} = \frac{v_t d_\epsilon \rho_f}{\mu} = 20$$

$$\text{Re} = \frac{1,3 \text{ m/s} \cdot (200 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3}{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 17,3 \neq 20$$

Nova korigirana vrijednost za c_D (s novim Re):

$$c_D = \frac{24}{\text{Re}} (1 + 0,14 \text{ Re}^{0,7}) = 2,82$$

Brzina taloženja uz pravu vrijednost c_D

$$v_t = 1,3 \text{ m/s} \left(\frac{2,57}{2,82} \right)^{1/2} = 1,24 \text{ m/s}$$

Nova iteracija

$$\text{Re} = 16,5 \rightarrow c_D = 2,9 \rightarrow v_t = 1,22 \text{ m/s} \rightarrow \text{Re} = 16,2 \rightarrow \text{stop}$$

\Rightarrow uvjet je ispunjen.

Zadatak 7.

Ako su čestice premalene za primjenu Stokesovog zakona potrebno je primjeniti Cunninghamovu konstantu.

Čestica oblika kugle promjera $0,1 \mu\text{m}$ talože se u zraku. Izračunati brzinu taloženja: a) uz pretpostavku da vrijedi Stokesov zakon, b) uz korekciju za c_D pri tlaku od 1 atm i temperature od 25°C .

$$p = 1 \text{ atm}$$

$$d_p = 0,1 \mu\text{m}$$

$$c_D = 2,57$$

$$C = 2,89$$

$$C = 1 + \left(2A \frac{\lambda}{d_p} \right)$$

$$A = 1,257 + 0,40 \cdot e^{-1,1d_p/2\lambda}$$

λ - srednji slobodni put molekula fluida

$$\lambda(\text{zrak}) = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$$

$$c_D' = \frac{c_D}{C} = \frac{2,57}{2,89} = 0,889$$

a) Uz pretpostavku da vrijedi Stokesov zakon

$$v_t = \frac{1}{18\mu} d_c^2 (\rho_c - \rho_t) \cdot g \rightarrow v_t = 6,05 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$

b) Uz korekciju za c_D

$$v_t = \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{3}\right) d_c \cdot \rho_c \cdot g}{c_D \rho_F}} \rightarrow v_t = 4,94 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

Zaključak: Izračunata brzina taloženja je znatno veća od one koju bismo procijenili primjenom Stokesovog zakona (zbog toga što manja čestica ima manju silu otpora i brže se taloži pod djelovanjem vanjske sile nego što se može predvidjeti primjenom Stokesovog zakona).

Zadatak 8.

Izračunati učinkovitost gravitacijskog sedimentatora ukoliko su zadani sljedeći parametri:

$$H = 2 \text{ m}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$u = 1 \text{ m/s}$$

$$d = 1 \mu\text{m}$$

Uz pretpostavku da vrijedi Stokesov zakon ($d=1\mu\text{m}$) izračunati η :

a) u uvjetima laminarnog strujanja

b) u uvjetima turbulentnog strujanja

Laminarno strujanje:

$$\eta = \frac{v_t \cdot L}{u \cdot H}$$

Turbulentno strujanje:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{v_t \cdot L}{u \cdot H}\right)$$

a) $v_t = 6,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (Stokes iz zadatka 1.)

$$\eta = \frac{6,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \cdot 10 \text{ m}}{1 \text{ m/s} \cdot 2 \text{ m}} = 3,025 \cdot 10^{-4}$$

b) $\eta = 1 - \exp\left(-\frac{6,05 \cdot 10^{-5} \cdot 10}{1 \cdot 2}\right) = 3,024 \cdot 10^{-4}$

Zaključak: Za čestice dimenzija $d=1 \mu\text{m}$ dobiva se približno ista vrijednost za učinkovitost bez obzira na vrstu strujanja. S porastom veličina čestica raste učinkovitost gravitacijskog sedimentatora, ali i razlika u vrijednostima η s obzirom na pretpostavljeni model strujanja.

Zadaća: Izračunati η za laminarno i turbulentno strujanje za čestice promjera $d= 10,30,50 \mu\text{m}$.

Zadatak 9.

Izračunati a) pad tlaka u ciklonu u kPa i b) snagu ciklona u kW ukoliko se radi se o standardnoj izvedbi ciklona, a zadani su sljedeći podaci:

promjer centralne cijevi: $D = 1 \text{ m}$

protok zraka: $Q_v = 150 \text{ m}^3 / \text{min}$

konstanta zavisna o izvedbi ciklona i radnim uvjetima: $K = 15$

$T = 350 \text{ K}$

$p = 1 \text{ atm}$

$\mu = 0,075 \text{ kg} / \text{min h}$

$\rho_f = 1,01 \text{ kg} / \text{m}^3$

$H / D = 0,5; D = 1 \Rightarrow H = 0,5 \text{ m}$

$W / D = 0,25 \Rightarrow W = 0,25 \text{ m}$

$D_e / D = 0,5 \Rightarrow D_e = 0,5 \text{ m}$

$$\text{a) } \Delta p = \frac{1}{2} \frac{\rho_f \cdot u^2 \cdot K \cdot H \cdot W}{D_e^2}$$

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{H \cdot W} = 150 \frac{m^3}{\min} \frac{1}{0,5m \cdot 25m} \cdot \frac{1 \min}{60s} = 20m/s$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,01kg/m^3 \cdot (20m/s)^2 \cdot 15 \cdot 0,5m \cdot 0,25m}{(0,5m)^2} = 1515N/m^2 = 1515Pa$$

b)

$$\dot{w} = Q \cdot \Delta p = 150m^3/\min \cdot \frac{1 \min}{60s} \cdot 1515N/m^2 = 3788Nm/s = 3788J/s = 3,79kJ/s [kW]$$

Zadatak 10.

Standardni ciklonski separator promjera 0,5 m upotrebljava se za separaciju aerosola koncentracije 50 mg · m⁻³ pri brzini od 10 m · s⁻¹ i temperaturi od 350 K. Ako je srednja veličina čestica aerosola 5 μm i gustoća čestica 1500 kg · m⁻³. Viskoznost zraka iznosi 0,075 kg/m · h. Kolika je učinkovitost separacije?

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

$$H = 0,5 D = 0,25 \text{ m}$$

$$L_b = 1D = 1 \text{ m}$$

$$L_c = 2D = 1 \text{ m}$$

$$u = 10 \text{ m/s} = 36000 \text{ m/h}$$

$$\rho_c = 1500 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,075 \text{ kg/mh}$$

$$R_c = D/2 = 0,25 \text{ m}$$

$$\Delta R_c = 0,15 \text{ m}$$

$$N = \frac{1}{H} \left(L_b + \frac{L_c}{2} \right) = \frac{1}{0,25} (1 + 0,5) = 5,76 \approx 6$$

$$v_t = \frac{d_c^2 \Delta \rho u^2}{18 \eta R_c} = \frac{(5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1500 \frac{kg}{m^3} \cdot (36000 \frac{m}{h})^2}{18 \cdot 0,25m \cdot 0,075 \frac{kg}{mh}} = 144 \frac{m}{h}$$

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{2\pi R_c N v_t}{u \Delta R_c}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,25m \cdot 6 \cdot 144 \frac{m}{h}}{36000 \frac{m}{h} \cdot 0,15m}\right) = 0,22$$

Zadatak 11.

Dizajnirati standardni ciklon (Lapple) za obradu plina ($\rho=1 \text{ kg/m}^3$) koji sadrži čestice gustoće $\rho_c=1,500 \text{ kg/m}^3$. Očekuje se učinkovitost veća od 70 % i pad tlaka manji od 3000 Pa. Za zadane dimenzije odrediti D , η , u i Δp .

$$Q=120 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\mu=0,07 \text{ kg/mh}$$

$$K=14$$

$$\eta \geq 70 \%$$

$$\Delta p \leq 3,000 \text{ Pa}$$

$d_p/\mu\text{m}$	0-2	2-4	4-10	10-20	20-40	40-100	> 100
maseni udio	0,02	0,18	0,30	0,30	0,15	0,04	0,01

Procjena D (prema podacima iz tablice za standardni ciklon)

Ako je $D=1$

$$W=0,25 \text{ m}$$

$$H=0,5 \text{ m}$$

$$D_e=0,5 \text{ m}$$

$$L_b=L_c=2 \text{ m}$$

$$N = \frac{L_b + 1/2L_c}{H} = 6$$

$$u = \frac{Q}{HW}, \text{ pa slijedi: } u = 16 \text{ m/s}$$

$$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu W}{2\pi Nu(\rho_c - \rho_f)}}; d_{50}=6,96 \mu\text{m} \approx 7 \mu\text{m}$$

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{50}}{d_\varepsilon}\right)^2}$$

$d_p/\mu\text{m}$	0-2	2-4	4-10	10-20	20-40	40-100	> 100
maseni udio	0,02	0,18	0,30	0,30	0,15	0,04	0,01
η_i	0,0202	0,1568	0,5031	0,8230	0,9490	0,9902	0,9952
x_i	0,0004	0,0282	0,1509	0,2469	0,1423	0,0396	0,01

$$\eta_{ukupno} = \sum x_i \eta_i = 0,618 (<70 \% ; \text{kriterij nije ispunjen!})$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \frac{\rho_g u^2 KHW}{D_e^2}$$

$$\Delta p = \left[(\rho_{plin} \cdot u^2) / 2 \right] \cdot H_v$$

$$\Delta p = \left[(\rho_{plin} \cdot u^2) / 2 \right] \cdot H_v = \frac{1 \cdot 16^2}{2} \cdot 14 \cdot \left(0,25 \cdot \frac{0,5}{0,5^2} \right) = 896 \text{ Pa (kriterij je ispunjen!)}$$

a) Sljedeća procjena

$$D=0,8$$

$$H=0,4$$

$$W=0,2 \text{ m}$$

$$N=6$$

$$u= 25 \text{ m/s}$$

$d_p/\mu\text{m}$	0-2	2-4	4-10	10-20	20-40	40-100	> 100
maseni udio	0,02	0,18	0,30	0,30	0,15	0,04	0,01
η_i	0,0387	0,2661	0,6638	0,9007	0,9732	0,9950	0,9975
x_i	0,0008	0,0479	0,1991	0,2702	0,1460	0,0398	0,01

$$\eta_{ukupno} = \sum x_i \eta_i = 0,714 (>70 \%) \text{ ispunjen je kriterij!}$$

$$\Delta p = \left[(\rho_{plin} \cdot u^2) / 2 \right] \cdot H_v = \frac{1 \cdot 25^2}{2} \cdot 14 \cdot \left(0,2 \cdot \frac{0,4}{0,4^2} \right) = 2,188 \text{ Pa } (<3,000 \text{ Pa}) \text{ ispunjen kriterij!}$$

Zadatak 12.

Čestica materijala promjera $1\mu\text{m}$ čija dielektrična konstanta iznosi 6 postiže ravnotežni naboj u ESP na mjestu na kojem električno polje postiže vrijednost od 300 kV/m . Koliko će nastati elektrona?

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C / Vm}$$

$$\varepsilon = 6$$

$$E_{ip} = 300 \text{ kV / m}$$

q - teorijski naboj zasićenja na čestici

$$q = \pi \cdot d_{\varepsilon}^2 \varepsilon_0 K \cdot E_{ip} = \pi \cdot d_{\varepsilon}^2 \varepsilon_0 \cdot \frac{3\varepsilon}{\varepsilon + 2} \cdot E_{ip}$$

$$q = \pi \cdot (10^{-6} \text{ m})^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C / (Vm)} \cdot \left(\frac{3 \cdot 6}{6 + 2} \right) \cdot 300 \text{ kV / m}$$

$$= 1,88 \cdot 10^{-17} \text{ C} \cdot \left(\frac{1,602 \cdot 10^{19} \text{ elektrona}}{\text{C}} \right) = 300 \text{ elektrona}$$

Zadatak 13.

Izračunati prosječnu brzinu taloženja za čestice iz prethodnog zadatka uz $C=1$.

$$v_t = \frac{Cd_{\varepsilon}}{3\mu} \varepsilon_0 K E_{ip} E_p = \frac{Cd_{\varepsilon}}{3\mu} \varepsilon_0 K E_p^2$$

$$v_t = \frac{(10^{-6} \text{ m}) \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} (\text{C / V} \cdot \text{m}) \cdot (3 \cdot 10^5 (\text{V / m}))^2 (3 \cdot 6 / 8) (\text{N} \cdot \text{m} / \text{C} \cdot \text{V})}{3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg} / (\text{ms})(\text{Ns}^2 / \text{kg} \cdot \text{m})} = 0,033 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Napomena: Brzina taloženja na sabirnoj elektrodi ESP-a proporcionalna je s d_{ε} , a ne s d_{ε}^2 kao u slučaju gravitacijskih sedimentatora i ciklona.

Zadatak 14.

Potrebno je dizajnirati ESP za postizanje učinkovitosti od 99 % u sljedećim radnim uvjetima:

$$Q = 2000 \text{ m}^3/\text{min} = 33,33 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d_{\varepsilon} = 0,5 \mu\text{m}$$

$$q = 10 \text{ elektrona}$$

$$E_c = 50000 \text{ V/m}$$

$$\text{dimenzije ploča} = 6\text{m} \times 3\text{m}$$

$$\lambda_g = 0,066 \text{ m}$$

S obzirom da se radi o jako sitnim česticama potrebno je izračunati Cunninghamovu značajku prema sljedećem izrazu:

$$C = 1 + \frac{\lambda_g}{d_c} (2,51 + 0,80 \exp(-\frac{0,55d_c}{\lambda_g})) = 1,333$$

Naboj na svim česticama:

$$q = 10 \cdot e = 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C = 1,6 \cdot 10^{-18} C$$

Brzina taloženja:

$$v_t = \frac{q \cdot E_p \cdot C}{3\pi \cdot \mu \cdot d_c} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-18} C)(5 \cdot 10^4 V / m)(1,333)}{3\pi(1,81 \cdot 10^{-5} kg / ms)(0,5 \cdot 10^{-6} m)} = 1,25 \cdot 10^{-3} m / s$$

Za $\eta = 0,99$ potrebno je osigurati:

$$\eta = 1 - \exp(-\frac{v_t A}{Q})$$

$$\exp(-\frac{v_t A}{Q}) = 1 - 0,99 = 0,01 \Rightarrow \frac{v_t A}{Q} = 4,61$$

Za $Q = 2000 m^3/min$ i izračunatu brzinu taloženja, v_t potrebna je površina:

$$A = \frac{4,61 \cdot 33,33 m^3 / s}{1,25 \cdot 10^{-3} m / s} = 122,783 m^2$$

$$A_p = 2 HL = 2 \cdot 6 \cdot 3 = 36 m^2$$

$$N = \frac{A}{A_p} + N_s = \frac{122,783 m^2}{36 m^2} + 1 = 3,412$$

Zadatak 15. (nastavak na prethodni zadatak)

Za čestice dimenzija $1 \mu m$, čija dielektrična konstanta iznosi 6, a $A/Q = 15 m^2/(m^3 s)$ izračunati značajku učinkovitosti.

$$\eta = 1 - e^{-\frac{v_t A}{Q}} = 1 - e^{-0,033 m/s \cdot 15 s/m} = 0,39$$

Izračunati značajku učinkovitosti za čestice dimenzija 0,1; 0,5; 3 i 5 μm i komentirati dobivene vrijednosti.

Zadatak 16.

ESP pokazuje ukupnu učinkovitost od 90 %. Međutim, potrebno je povećati njegovu učinkovitost na 99 %. Za koliko je potrebno povećati ukupnu sabirnu površinu ploča?

$$Pt_{\text{postojeći ESP}} = 1 - \eta_{\text{postojeći}} = 0,1 = e^{\left(-\frac{v_t A_{\text{postojeći}}}{Q}\right)}$$

$$Pt_{\text{novi ESP}} = 1 - \eta_{\text{novi}} = 0,01 = e^{\left(-\frac{v_t A_{\text{novi}}}{Q}\right)}$$

$$\frac{\ln 0,1}{\ln 0,01} = 0,5 = \frac{\left(-\frac{v_t A_{\text{postojeći}}}{Q}\right)}{\left(-\frac{v_t A_{\text{novi}}}{Q}\right)} = \frac{A_{\text{postojeći}}}{A_{\text{novi}}}$$

$$\frac{A_{\text{novi}}}{A_{\text{postojeći}}} = 2$$

Napomena: Uzeti u obzir da je brzina taloženja čestica u ESP proporcionalna s promjerom čestice (sve do vrlo malih čestica). Stoga će se velike čestice (koje imaju najveću masu) prve ukloniti, dok će preostale manje čestice biti sve teže i teže ukloniti. Zbog toga je prikladno primijeniti modificirani oblik izraza koji glasi:

$$Pt = 1 - \eta = e^{\left(-\frac{v_t A}{Q}\right)^k}$$

pri čemu eksponent k obično iznosi 0,5.

Zadatak 17.

Izračunati ukupnu površinu ploča ESP za sljedeće situacije:

a) potrebno je ostvariti učinkovitost od $\eta = 98\%$ pri obradi $10\,000\text{ m}^3/\text{min}$ zraka, uz prosječnu brzinu taloženja $v_t = 6,0\text{ m/min}$,

b) uz pretpostavku da su ploče 6 m visoke i 3 m dugačke te da postoje 2 serije u smjeru toka otpadnog plina, izračunati potreban broj ploča za volumni protok od $8000\text{ m}^3/\text{min}$.

a)

$$\eta = 1 - e^{-\frac{v_t A}{Q}} / \ln$$

$$\ln(1 - \eta) = -\frac{v_t A}{Q}$$

$$A = -\frac{Q}{v_t} \ln(1-\eta)$$

$$A = \frac{-10000m^3 / \text{min}}{6,0m / \text{min}} \ln(0,02) = 6520m^2$$

$$A = A_p (N - N_s) = A_p (N - 2)$$

$$A_p = 2 \cdot H \cdot L_p$$

$$\frac{A}{A_p} = N - 2 \Rightarrow N = \frac{A}{A_p} + 2 = \frac{6520m^2}{2 \cdot 6 \cdot 3} + 2 = 184 \text{ ploče}$$

2 sekcije $\rightarrow 184 : 2 = 92$ ploče u svakoj sekciji

b)

$$A = -\frac{8000 \frac{m^3}{\text{min}}}{6 \frac{m}{\text{min}}} (\ln(0,2)) = 2145,9m^2$$

$$N = \frac{A}{A_p} + 2 = \frac{2145,9}{2 \cdot 6 \cdot 3} + 2 = 61,67$$

61,6 : 2 = 30 ploča u svakoj sekciji

Zadatak 18.

Za ESP koji s 99%-tnom učinkovitošću obrađuje 20 000 m³/min plina sa potrebnom ukupnom sabirnom površinom od 14 000 m² potrebno je procijeniti ukupnu širinu, dužinu i visinu ESP. Potrebno je primijeniti uobičajene vrijednosti za visinu, širinu kanala, brzinu plina i karakteristične omjere ESP-a. Pretpostaviti da su ploče 6-12 metara visoke i 3m duge.

a)

$$H = 12m$$

$$D = 25cm = 0,25m$$

$$u = 100m / \text{min}$$

$$R = L / H = 1$$

Broj kanala, N_d :

$$N_d = \frac{Q}{u \cdot D \cdot H} = \frac{20000m^3 / \text{min}}{100m / \text{min} \cdot 0,25m \cdot 12m} = 67 \text{ kanala}$$

Broj sekcija, N_s :

$$N_s = \frac{R \cdot H}{L_p} = \frac{1,0 \cdot 12}{3} = 4 \text{ sekcije}$$

Sabirna površina, A_a :

$$A_a = 2 \cdot H \cdot L_p \cdot N_s \cdot N_d = 2(12)(3)(4)(67) = 19296 m^2$$

b)

Kako je $19296 m^2$ znatno veće od zadanih $14\ 000 m^2$ potrebno je promijeniti veličinu ploče, npr $H=10m$.

$$N_d = \frac{20000}{100 \cdot 0,25 \cdot 10} = 80 \text{ kanala}$$

$$N_s = \frac{1,0 \cdot 10}{3} = 3,3 \text{ sekcije} \approx 4$$

$$A_a = 2(10)(3)(4)(80) = 19200 m^2 \text{ (ovo nije puno bolje rješenje!)}$$

c)

Pretpostavka novih dimenzija ploča:

$$H = 8m$$

$$L_p = 3m$$

$$N_d = 100$$

$$N_s = 3$$

$$\Rightarrow A_a = 14400 m^2 ; R(=L/H) = 1,1 \text{ (a treba biti } R=1)$$

$$A_a = \frac{14400 m^2}{20000 m^3 / min} = 0,72 \frac{m^2}{m^3 / min}$$

$$\text{Površina ploče po sekciji} = \frac{14400}{3} = 4800 m^2$$

Preporuka: poželjno je podijeliti ESP u 2,3 ili 4 paralelna odjeljka što daje 6,9 ili 12 nezavisnih serija (tj. elektr. setova).

Ukupna širina, dužina i visina:

$$\text{ukupna širina ESP} = 100 \cdot 0,25m = 25 m$$

$$\text{ukupna dužina } L = 18 - 20 m$$

$$L_{ul} = L_{izl} = 3 - 5m$$

$$H = 16 m$$

Zadatak 19.

Potrebno je dizajnirati vrećasti filter, tj. izračunati broj filteraških vreća, ako je zadano sljedeće:

$$Q = 4,72 \cdot 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$u = 4 \text{ cm/s}$$

$$d = 0,203 \text{ m}$$

$$\underline{H = 3,66 \text{ m}}$$

$$N = ?$$

$$u = \frac{Q}{A_{uk}} \Rightarrow A_{uk} = \frac{Q}{u} = \frac{4,72 \cdot 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = 1180000 \text{ cm}^2 = 118 \text{ m}^2$$

A (jedne vreće), A_b

$$A_b = \pi dL = 3,14 \cdot 0,203 \text{ m} \cdot 3,66 \text{ m} = 2,33 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{A_{uk}}{A_b} = \frac{118 \text{ m}^2}{2,33 \text{ m}^2} = 51$$

Zadaci za vježbu

1. Izračunati brzinu taloženja čestica u zračnoj struji primjenom konstante K kao kriterija koji određuje područje strujanja (*USEPA-81/10, p. 3-10*).

Zadani su sljedeći podaci:

$$d_c = 45 \text{ } \mu\text{m}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\rho_c = 0,899 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = 0,012 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm s}$$

$$C = 1 \text{ (ukoliko je primjenljivo)}$$

2. Lebdeće čestice pepela talože se u zraku. Odrediti područje strujanja (odrediti konstantu K), izračunati brzinu taloženja (pretpostaviti da su čestice kuglastog oblika) i odrediti udaljenost koju će čestice prijeći u vremenu od 30 sekundi.

$$d_c = 0,4; 40 \text{ i } 400 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\rho_c = 2,309 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 0,911 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,021 \text{ cp}$$

$$(1 \text{ Pa s} = 10^3 \text{ cp} = 10 \text{ g/cm s})$$