Strømning, øving 5

Oppg. 1a) For et enfasesystem gjelder kontinuitetslikningen og N.S.

Kont: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$

N.S.: $\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\rho \mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = -\nabla p + \rho \mathbb{F}_v + \nabla \cdot \mathbb{T}$

Energibalansen og komponentbalansen gjelder, med en rx-term

MB: $\frac{\partial}{\partial t}(\rho w_i) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} w_i) = \nabla \cdot (D_i \rho \nabla w_i) + M_i \nu_i r$

EB: $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla) T - \beta T \frac{D\rho}{Dt} = \mu \Phi + \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho \dot{R}' - r \sum M_i \nu_i H_i$

Oppg. 1b) I et flerfasesystem må kont. og N.S. settes opp for hver fase, med et utvekslingsledd

Kont: $\frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_n \mathbf{u}_n) = \dot{S}_n$, $\sum_n \dot{S}_n = 0$

N.S.: $\rho_n \frac{\partial \mathbf{u}_n}{\partial t} + (\rho_n \mathbf{u}_n \cdot \nabla)\mathbf{u}_n = -\nabla p_n + \rho_n \mathbb{F}_{v,n} + \nabla \mathbb{T}_n + \dot{M}_n$,

$\sum_n \dot{M}_n = 0$

1c) $2A + 3B \rightarrow C$

$r = \frac{r_A}{2} = \frac{r_B}{3} = k_0 C_A^2 C_B^3$

rx-orden: A = 2, rx-orden: B = 3

$[k_0] = \left(\frac{mol}{m^3 s}\right)^{-4}$, evt. $[k_0] = \left(\frac{mol}{m^2 s}\right)^{-4}$ hvis rx er en overflaterx

Oppg. 2a) Beregn Re fra grense-/initial-betingelser → Finn strømningsforhold ved start/grenser. Oppdatter iterativt under løsning.

Oppg. 2b) $d_p = 20 \cdot 10^{-6}$, $\rho_p = 2{,}7 \cdot 10^3$, $\rho = 7{,}1 \cdot 10^3$
$\mu = 5{,}5 \cdot 10^{-3}$

Terminalhastighet ved $\sum_i F_{p,i} = 0$

$$F_g + F_b + F_d = 0$$
$$V_p g(\rho_p - \rho) + \frac{1}{2}\rho |u_r| u_r A_p^* C_d = 0$$

$u = 0 \rightarrow u_r = -u_p$

$A_p^* = \frac{\pi}{4} d_p^2$, $V_p = \frac{\pi}{6} d_p^3$

$u_{Terminal} = 0{,}0001744$ m/s (se vedlagt kode)
Laminære forhold

Oppg. 2c) $d_p = 5 \cdot 10^{-3}$, $\rho_p = 2{,}7 \cdot 10^3$, $\rho = 1{,}2$, $\mu = 2 \cdot 10^{-5}$

$u_{Terminal} = 18{,}28$ m/s (Samme kode
Turbulente forhold

Oppg. 2d) Finner først $E_o = \frac{g d_b^2 \Delta\rho}{\sigma}$

i) $\Delta\rho = |\rho_b - \rho| = 1 \cdot 10^3$

$E_o = 8{,}60$

$M_o = \frac{g \mu^4 \Delta\rho}{\sigma^3 \rho^2} = 2{,}52 \cdot 10^{-11}$

$\log(M_o) = -10{,}6$

Samme kode

$\rightarrow Re \approx 1000 \rightarrow u_{Terminal} = 0{,}125$ m/s

Form: wobbling

Oppg. 2d ii)

$$E_o = \frac{g d_e^2 \Delta\rho}{\sigma} = 2{,}01$$

$$M_o = \frac{g \mu^2 \Delta\rho}{\sigma^3 \rho^2} = 5{,}37 \cdot 10^{-12}$$

$\log M_o = -12{,}3$

$\rightarrow Re \approx 2 \cdot 10^3 \rightarrow u_{terminal} = 0{,}25$ m/s

Form: wobling

Oppg. 3) Fra Ergun:

$$\frac{\Delta p}{L u_o} = 150 \frac{\mu (1-\varepsilon)^2}{d_p^2 \varepsilon^3} + 1{,}75 \frac{\rho u_o (1-\varepsilon)}{d_p \varepsilon^3}$$

$$\frac{d}{du_o}\left(\frac{\Delta p}{L u_o}\right) = 1{,}75 \frac{\rho (1-\varepsilon)}{d_p \varepsilon^3} = \frac{(3{,}67 - 2{,}2) \cdot 10^3}{0{,}25}$$

$$\left.\frac{\Delta p}{L u_o}\right|_{u_o = 0} = 150 \frac{\mu (1-\varepsilon)^2}{d_p^2 \varepsilon^3} = 2{,}2 \cdot 10^3$$

Løser med python:

$\varepsilon = 0{,}07$, $d_p = 0{,}053\text{m} = 5{,}3\text{cm}$