

Dvofazni tok

Osnovni pojmi

Indeksi:

k ... k-ta faza

1 ... nosilna, zvezna faza (v primeru merhurčkastega toka - kapljevina)

2 ... dispergirana faza (v primeru mehurčkastega toka – plin, para)

$\dot{m} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$... masni pretok dvofazne mešanice

$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$... volumski pretok dvofazne mešanice, kjer je $\dot{V}_k = \dot{m}_k / \rho_k$

$\langle \alpha \rangle = V_2 / (V_1 + V_2)$... povprečni delež dispergirane faze

$X = \dot{m}_2 / \dot{m}$... kvaliteta toka

$j_k = \dot{V}_k / A$... gostota volumskega toka faze k

$G_k = \dot{m}_k / A = \rho_k j_k$... gostota masnega toka faze k

$j_1 = (1 - \alpha)v_1$... gostota volumskega toka nosilne faze

$j_2 = \alpha v_2$... gostota volumskega toka dispergirane faze

$j = j_1 + j_2$... skupna gostota volumskega toka

$v_{21} = v_2 - v_1$... relativna hitrost

$v_{1j} = v_1 - j$ oz. $v_{2j} = v_2 - j$... gonilne hitrosti faz

$j_{21} = \alpha(v_2 - j)$... gostota gonilnega volumskega toka faze 2

$j_{12} = (1 - \alpha)(v_1 - j)$... gostota gonilnega volumskega toka faze 1

Padec tlaka v dvofaznem toku

Kontinuitetna enačba

$$\dot{m} = \rho_m v A$$

$$\rho_m = \alpha \rho_2 + (1 - \alpha) \rho_1 \quad \dots \text{gostota mešanice}$$

Gibalna enačba

$$\dot{m} \frac{dv}{dz} = - \frac{dp}{dz} - \rho_m \tau_w - \rho_m g \cos \theta$$

Padec tlaka

$$\frac{dp}{dz} = \underbrace{\left(\frac{dp}{dz} \right)_F}_{\text{trenje}} + \underbrace{\left(\frac{dp}{dz} \right)_A}_{\text{pospeševanje}} + \underbrace{\left(\frac{dp}{dz} \right)_G}_{\text{gravitacija}}$$

Lockhart-martinellijev model

Padec tlaka zaradi trenja dvofazne mešanice $\left(\frac{dp}{dz}\right)_F$

Korekcijski koeficienti

$$\phi_1^2 = \frac{\left(\frac{dp}{dz}\right)_F}{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1}}, \quad \phi_2^2 = \frac{\left(\frac{dp}{dz}\right)_F}{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2}}$$

$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1}$... padec tlaka zaradi trenja, če bi se v cevi pretakala samo kapljevina

$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2}$... padec tlaka zaradi trenja, če bi se v cevi pretakal samo plin

$$\left(\frac{1}{\phi_1^2}\right)^{\frac{1}{n}} + \left(\frac{1}{\phi_2^2}\right)^{\frac{1}{n}} = 1 \quad n = 3.5 \dots \text{ univerzalen koeficient za laminaren ali turbulenten tok}$$

$$X^2 = \frac{\phi_2^2}{\phi_1^2} = \frac{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1}}{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2}}$$

$\alpha = (1 + X^{0.8})^{-0.378}$... volumski delež plinaste faze

Darcy-Weisbachova enačba za padec tlaka

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1} = \frac{-\lambda_1 \rho_1 j_1}{2D}, \quad \left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2} = \frac{-\lambda_2 \rho_2 j_2}{2D}$$

Naloga 1: Padec tlaka v mehurčkastem toku 1

Zrak in voda se pretakata navzgor v navpični cevi premera $D= 2,5 \text{ cm}$. Masni pretok vode je $0,457 \text{ kg/s}$, masni tok zraka pa $8,5 * 10^{-3} \text{ kg/s}$. Temperatura vode in zraka je konstantna 20°C , izstopni tlak je atmosferski. Določite tlak na lokaciji 0,457 m pred izstopom cevi. Za faktor trenja uporabite $\lambda = 0,02$ za obe fazi. V Lockart-Martinellijevem modelu upoštevajte $n=4$.

Rešitev:

$$j_1 = \frac{\dot{m}_1}{\rho_1 A} \quad \text{in} \quad j_2 = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2 A}$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1} = \frac{-\lambda_1 \rho_1 j_1}{2D} \quad \text{in} \quad \left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2} = \frac{-\lambda_2 \rho_2 j_2}{2D}$$

$$\Phi_2^2 = \left(1 + \left(\frac{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F1}}{\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2}} \right)^{\frac{1}{4}} \right)^4$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_F = \Phi_2^2 \left(\frac{dp}{dz}\right)_{F2}$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_G = (\alpha \rho_2 + (1 - \alpha) \rho_1) g$$

$$\alpha = (1 + X^{0,8})^{-0,378}$$

$$p_1 - p_2 = - \left(\left(\frac{dp}{dz}\right)_F + \left(\frac{dp}{dz}\right)_G \right) L$$

Naloga 1: Padec tlaka v mehurčkastem toku 2

Zrak in voda se pretakata navzgor v 3m dolgi navpični cevi premera $D= 5 \text{ cm}$ pri temperaturi 20°C . Tlak na izstopu je atmosferski. Določite vstopni tlak za naslednji kombinaciji gostot toka: a.) $j_1 = 4,5 \text{ m/s}$ in $j_2 = 3 \text{ m/s}$ b.) $j_1 = 9 \text{ m/s}$ in $j_2 = 9 \text{ m/s}$. V Lockart-Martinellijevem modelu upoštevajte $n=3,5$. Pri izračunu tlačnih padcev zaradi trenja uporabite Moody-jev diagram za hidravlično gladke cevi.