

Wyznaczenie strumienia masy dla zwężki pomiarowej: kryzy ISA z przytarczowym pomiarem ciśnienia

Strumień masy \dot{m}

$$\dot{m} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\Delta p \rho} \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m} - strumień masy [kgs⁻¹],
C - współczynnik przepływu [-], gdzie współczynnik przepływu dla kryzy ISA z przytarczowym pomiarem ciśnienia

$$C' = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,1840\beta^3 + 0,0029\beta^{2,5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,75}$$

d - średnica otworu zwężki [m],
 Δp - różnica ciśnień przed i za zwężką [Pa],
 ρ - gęstość płynu przed zwężką w temperaturze i pod ciśnieniem dla którego wyznaczany jest strumień masy [kgm⁻³].

Liczba Reynoldsa Re_D :

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} \quad (2)$$

gdzie:

Re_D - liczba Reynoldsa [-],
U - prędkość przepływu [ms⁻¹],
D - średnica rurociągu [m],
 ν - kinematyczny współczynnik lepkości [m²s⁻¹].

Obliczenia przeprowadzono dla danych:

D=40mm średnica rurociągu
d=24mm średnica otworu zwężki
T=22⁰C temperatura wody
 $\Delta h=11$ mm różnica ciśnień przed i za zwężką

$\rho=997,77$ kgm⁻³ gęstość wody w temperaturze T
 $\mu=0,958 \cdot 10^{-3}$ kgm⁻¹s⁻¹ dynamiczny współczynnik lepkości wody w temperaturze T
 $\nu=\mu\rho^{-1}=9,601 \cdot 10^{-7}$ m²s⁻¹ kinematyczny współczynnik lepkości wody w temperaturze T
 $\Delta p=\rho g \Delta h=997,77 \cdot 9,81 \cdot 0,011=107,669$ Pa różnica ciśnień przed i za zwężką
 $\beta = \frac{d}{D} = \frac{0,024}{0,04} = 0,6$ współczynnik przewężenia zwężki
 $\varepsilon=1$ liczba ekspansji dla wody

ITERACJA 1

Przyjmuję $Re_D = 10^6$

$$C' = 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,6^{2,1} - 0,1840 \cdot 0,6^3 + 0,0029 \cdot 0,6^{2,5} \left(\frac{10^6}{10^6} \right)^{0,75} = 0,5676 \quad [-]$$

$$\dot{m} = \frac{0,5676}{\sqrt{1-0,6^4}} \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,024^2}{4} \sqrt{2 \cdot 107,669 \cdot 997,77} = 0,12758 \quad [\text{kg s}^{-1}]$$

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,12758}{997,77} = 0,00012787 \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$$

$$U = \frac{\dot{Q}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,00012787}{\frac{\pi 0,04^2}{4}} = 0,10176 \quad [\text{ms}^{-1}]$$

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} = \frac{0,10176 \cdot 0,04}{9,601 \cdot 10^{-7}} = 4239 \quad [-]$$

$$C'' = 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,6^{2,1} - 0,1840 \cdot 0,6^3 + 0,0029 \cdot 0,6^{2,5} \left(\frac{10^6}{4239} \right)^{0,75} = 0,6155 \quad [-]$$

Błąd względny współczynnika przepływu

$$\left| \frac{0,5676 - 0,6155}{0,6155} \right| = 0,078 > 0,001 \quad \text{nie spełnia nierówności} \quad \left| \frac{C' - C''}{C''} \right| \leq 0,001$$

ITERACJA 2

Przyjmuję nowy współczynnik przepływu C' z poprzedniej iteracji

$$C' = 0,6155 \quad [-]$$

$$\dot{m} = \frac{0,6155}{\sqrt{1-0,6^4}} \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,024^2}{4} \sqrt{2 \cdot 107,669 \cdot 997,77} = 0,13834 \quad [\text{kg s}^{-1}]$$

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,13834}{997,77} = 0,00013865 \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$$

$$U = \frac{\dot{Q}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,00013865}{\frac{\pi 0,04^2}{4}} = 0,11034 \quad [\text{ms}^{-1}]$$

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} = \frac{0,11034 \cdot 0,04}{9,601 \cdot 10^{-7}} = 4597 \quad [-]$$

$$C'' = 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,6^{2,1} - 0,1840 \cdot 0,6^3 + 0,0029 \cdot 0,6^{2,5} \left(\frac{10^6}{4597} \right)^{0,75} = 0,5959 \quad [-]$$

Błąd względny współczynnika przepływu

$$\left| \frac{0,6155 - 0,5959}{0,5959} \right| = 0,033 > 0,001 \quad \text{nie spełnia nierówności} \quad \left| \frac{C' - C''}{C''} \right| \leq 0,001$$

ITERACJA 3

Przyjmuję nowy współczynnik przepływu C' z poprzedniej iteracji

$$C' = 0,5959 \quad [-]$$

$$\dot{m} = \frac{0,5959}{\sqrt{1-0,6^4}} \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,024^2}{4} \sqrt{2 \cdot 107,669 \cdot 997,77} = 0,13394 \quad [\text{kg s}^{-1}]$$

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,13394}{997,77} = 0,00013424 \quad [\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$$

$$U = \frac{\dot{Q}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,00013424}{\frac{\pi 0,04^2}{4}} = 0,10682 \quad [\text{m s}^{-1}]$$

$$\text{Re}_D = \frac{UD}{\nu} = \frac{0,10682 \cdot 0,04}{9,601 \cdot 10^{-7}} = 4450 \quad [-]$$

$$C'' = 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,6^{2,1} - 0,1840 \cdot 0,6^3 + 0,0029 \cdot 0,6^{2,5} \left(\frac{10^6}{4450} \right)^{0,75} = 0,5959 \quad [-]$$

Błąd względny współczynnika przepływu

$$\left| \frac{0,5959 - 0,5959}{0,5959} \right| = 0 \leq 0,001 \quad \text{spełnia nierówność} \quad \left| \frac{C' - C''}{C''} \right| \leq 0,001$$

Przyjmuję strumień objętości $Q = 0,00013424 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$