

Opory hydrauliczne przepływu spalin dla pęczka rur w układzie korytarzowym na podstawie VDI Heat Atlas

$$\Delta p = \xi \cdot n_{MR} \cdot \frac{\rho \cdot w_e^2}{2}$$

ξ współczynnik oporów

n_{MR} liczba rzędów rur w kierunku przepływu spalin

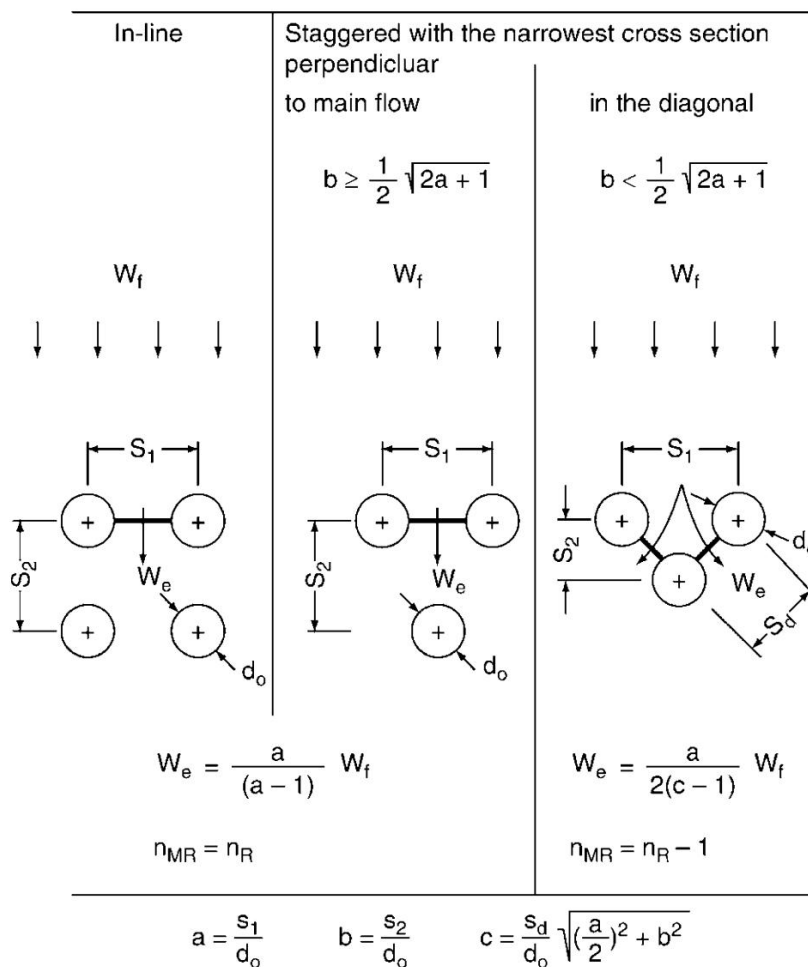
w_e średnia prędkość w największym przekroju

dla układu korytarzowego i szachownicowego rur w pęczku, dla największej odległości między rurami (zaznaczone linią pogrubioną na poniższym rysunku po lewej i środkowym):

$$b \geq 0.5 \cdot \sqrt{2a + 1} \quad n_{MR} = z_2 \quad (1)$$

dla układu szachownicowego rur w pęczku, dla dla największej ukośnej (diagonalnej) odległości między rurami (zaznaczone linią pogrubioną na poniższym rysunku po prawej):

$$b < 0.5 \cdot \sqrt{2a + 1} \quad n_{MR} = z_2 - 1 \quad (2)$$



względna podziałka poprzeczna rur w pęczku

$$a := \frac{S_1}{d} = 2.1$$

względna podziałka podłużna rur w pęczku

$$b := \frac{s_2}{d} = 5$$

sprawdzenie warunku równania (1) dla układu korytarzowego:

$$b = 5 > 0.5 \cdot \sqrt{2 \cdot a + 1} = 1.14 \quad \text{to:} \quad n_{MR} = z_2 \quad \text{liczba rzędów rur na drodze przepływu spalin}$$

średnia prędkość w największym przekroju:

$$w_e := w_{sp} = 10 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

gęstość spalin wilgotnych dla średniej temperatury:

$$\rho_g := \rho_{sw} \cdot \frac{273.15}{\frac{t_{sp1} + t_{sp2}}{2} + 273.15} = 0.400 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

lepkość dynamiczna spalin dla średniej temperatury rdzenia strugi:

$$\eta_f := \text{ViscGas} \left(\frac{t_{sp1} + t_{sp2}}{2} \right) \cdot \rho_g = 3.381 \times 10^{-5} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

liczba Reynoldsa:

$$\text{Re} := \frac{w_e \cdot d_o \cdot \rho_g}{\eta_f} = 3763$$

współczynniki oporów przepływu:

$$\xi = \xi_{lam} \cdot f_{znl} + (\xi_{turb} \cdot f_{zt} + f_{nt}) \cdot F_f$$

- część laminarna

$$f_{alf} := \frac{280 \cdot \pi \cdot \left[(b^{0.5} - 0.6)^2 + 0.75 \right]}{(4 \cdot a \cdot b - \pi) a^{1.6}} = 23.667$$

$$\xi_{lam} := \frac{f_{alf}}{\text{Re}} = 6.29 \times 10^{-3}$$

współczynnik korekcyjny dla warstwy przyściennej ze względu na temperaturę i ilość rzędów rur (**przy $n_R < 10$**):

$$t_{\text{wall.mean}} := \frac{t_{\text{walczaka}} + t_{\text{PK}}}{2} + 30 = 381 \cdot ^\circ\text{C}$$

średnia temperatury ścianki

$$\rho_{\text{g.wall.mean}} := \rho_{\text{sw}} \cdot \frac{273.15}{t_{\text{wall.mean}} + 273.15} = 0.516 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

gęstość spalin dla średniej temperatury ścianki

$$\eta_w := \text{ViscGas}(t_{\text{wall.mean}}) \cdot \rho_{\text{g.wall.mean}} = 2.825 \times 10^{-5} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

lepkość dynamiczna spalin dla średniej temperatury ścianki

$$f_{\text{znl}} := \left(\frac{\eta_w}{\eta_f} \right) \frac{0.57 \cdot \left(\frac{n_R}{10} \right)^{0.25}}{\left[\left(\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi} - 1 \right) \cdot \text{Re} \right]^{0.25}} = 0.992$$

współczynnik korekcyjny dla warstwy przyściennej ze względu na temperaturę i ilość rzędów rur (**przy $n_R > 10$**):

$$f_{\text{znl}} := \left(\frac{\eta_w}{\eta_f} \right) \frac{0.57}{\left[\left(\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi} - 1 \right) \cdot \text{Re} \right]^{0.25}} = 0.993$$

- część turbulentna:

$$f_{\text{atf}} := \left[0.22 + 1.2 \cdot \frac{\left(1 - \frac{0.94}{b} \right)^{0.6}}{(a - 0.85)^{1.3}} \right] \cdot 10^{0.47 \cdot \left(\frac{b}{a} - 1.5 \right)} + [0.03 \cdot (a - 1) \cdot (b - 1)] = 2.759$$

$$\xi_{\text{turb}} := \frac{f_{\text{atf}}}{0.1 \cdot \frac{b}{a} \cdot \text{Re}} = 0.388$$

$$F_f := 1 - e^{-\left(\frac{\text{Re} + 1000}{2000} \right)} = 0.908$$

temperaturowy współczynnik korekcyjny dla warstwy przyściennej:

$$f_{\text{zt}} := \left(\frac{\eta_w}{\eta_f} \right)^{0.14} = 0.975$$

dla ilości rzędów rur $5 < n_R < 10$ współczynnik korekcyjny ze względu na gwałtowne powiększenie wolnego przekroju dla przepływu spalin w kanale za ostatnim rzędem rur:

$$\xi_0 := \frac{1}{a^2} = 0.227$$

$$f_{nt} := \xi_0 \cdot \left(\frac{1}{n_R} - \frac{1}{10} \right) = -0.01$$

dla ilości rzędów rur $n_R > 10$ współczynnik korekcyjny ze względu na gwałtowne powiększenie wolnego przekroju dla przepływu spalin w kanale za ostatnim rzędem rur:

$$f_{nt} := 0$$

ostatecznie współczynnik oporów przepływu wynosi:

$$\xi := \xi_{lam} \cdot f_{zn1} + (\xi_{turb} \cdot f_{zt} + f_{nt}) \cdot F_f = 0.35$$

a opory przepływu wynoszą:

$$\Delta p := \xi \cdot n_R \cdot \frac{\rho_g \cdot w_e^2}{2} = 126 \cdot \text{Pa}$$