

Oblicz wymaganą długość wymiennika ciepła płaszczowo-rurowego, przeciwwprądowego dla następujących danych:

$$d_z := 18 \cdot \text{mm} \quad d_w := 16 \cdot \text{mm} \quad n_r := 37 \quad \lambda_r := 80 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad D_p := 0.171 \cdot \text{m}$$

$$m_1 := 9 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad T'_1 := 75^\circ\text{C} \quad T''_1 := 65^\circ\text{C}$$

$$T'_2 := 21^\circ\text{C} \quad T''_2 := 29^\circ\text{C}$$

Woda gorąca wewnątrz rur.

ROZWIĄZANIE

$$T_{1f} := \frac{T'_1 + T''_1}{2} = 70^\circ\text{C}$$

$$T_{2f} := \frac{T'_2 + T''_2}{2} = 25^\circ\text{C}$$

► Obliczenia pomocnicze

$$\rho_1 := 977.76 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_2 := 997.05 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_{p1} := 4190.1 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c_{p2} := 4181.3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\mu_1 := 0.00040389 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_2 := 0.00089008 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$\nu_1 := \frac{\mu_1}{\rho_1} = 4.131 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\nu_2 := \frac{\mu_2}{\rho_2} = 8.927 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\lambda_1 := 0.66313 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_2 := 0.60719 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Pr}_1 := \frac{\mu_1 \cdot c_{p1}}{\lambda_1} = 2.552$$

$$\text{Pr}_2 := \frac{\mu_2 \cdot c_{p2}}{\lambda_2} = 6.129$$

Sumaryczne pole przekroju poprzecznego dla przepływu wewnątrz rurek

$$A_R := n_R \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 7.439 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Pole przekroju poprzecznego dla przepływu w płaszczu

$$A_P := \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} - n_R \cdot \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} = 1.355 \times 10^{-2} \cdot \text{m}^2$$

Prędkość wody w rurkach

$$w_1 := \frac{m_1}{A_R \cdot \rho_1} = 1.237 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Strumień oddawanego ciepła przez wodę gorącą

$$Q := m_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1 - T''_1) = 3.771 \times 10^5 \cdot \text{W}$$

Strumień wody zimnej

$$m_2 := \frac{Q}{c_{p2} \cdot (T''_2 - T_2)} = 11.274 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Prędkość wody w płaszczu

$$w_2 := \frac{m_2}{A_P \cdot \rho_2} = 0.834 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Liczba Reynoldsa

$$\text{Re}_1 := \frac{w_1 \cdot d_w}{\nu_1} = 47925.6$$

$$\text{Re}_2 := \frac{w_2 \cdot d_z}{\nu_2} = 16825$$

Ze wzoru Dittusa i Boltera

$n := 0.3$ - chłodzenie

$$\text{Nu}_1 := 0.023 \cdot \text{Re}_1^{0.8} \cdot \text{Pr}_1^n = 169.141$$

Warunki stosowalności korelacji

$$\text{Re} > 10^4$$

$$\text{Re}_1 = 47926$$

$$100 > \text{Pr} > 0.7$$

$$\text{Pr}_1 = 2.552$$

$$\frac{L}{d_w} > 60$$

$$\alpha_1 := \frac{\lambda_1 \cdot \text{Nu}_1}{d_w} = 7010.2 \frac{1}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \cdot \text{W}$$

Obliczenia pomocnicze dla korelacji Donohue

$$_{\mu} := \begin{pmatrix} 50 & 0.00054685 \\ 55 & 0.00050398 \\ 60 & 0.00046640 \end{pmatrix}$$

$$\mu(t) := \text{linterp}({}_{\mu}^{\langle 0 \rangle}, {}_{\mu}^{\langle 1 \rangle}, t) \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Założona temperatura ścianki

$$T_w := 56.06$$

$$\mu_{2w} := \mu(T_w) = 4.96 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}}$$

$$\left(\frac{\mu_2}{\mu_{2w}} \right)^{0.14} = 1.085$$

$$D_h := \frac{D_p^2 - n_r \cdot d_z^2}{D_p + n_r \cdot d_z} = 0.02061 \text{ m}$$

$$_C := 1.16 \cdot \left(\frac{D_h}{m} \right)^{0.6} = 0.113$$

Korelacja Donohue

Warunki stosowalności korelacji

$$Nu_2 := _C \cdot Re_2^{0.6} \cdot Pr_2^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\mu_{2w}} \right)^{0.14} = 76.544$$

$$\begin{aligned} Re &= 200 - 20000 \\ D_h &= 0,012 \text{ m} - 0.05 \\ &\text{m} \\ Pr &= 0,5 - 500 \end{aligned}$$

$$\alpha_2 := \frac{\lambda_2 \cdot Nu_2}{d_z} = 2582 \frac{1}{K \cdot m^2} \cdot W$$

Odwrotność współczynnika przenikania ciepła odniesionego do zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła

$$kz_odwr := \frac{d_z}{d_w \cdot \alpha_1} + \frac{d_z}{2 \cdot \lambda_r} \cdot \ln \left(\frac{d_z}{d_w} \right) + \frac{1}{\alpha_2} = 5.61 \times 10^{-4} K \cdot m^2 \cdot \frac{1}{W}$$

Współczynnik przenikania ciepła odniesiony do zewnętrznej powierzchni rurek

$$k_z := \frac{1}{kz_odwr} = 1782.5 \frac{1}{K \cdot m^2} \cdot W$$

$$\Delta T' := T'_1 - T''_2 = 46 \text{ K}$$

$$\Delta T'' := T''_1 - T'_2 = 44 \text{ K}$$

Średnia różnica temperatur w wymienniku

$$\Delta T_{ln} := \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln \left(\frac{\Delta T'}{\Delta T''} \right)} = 44.993 \text{ K}$$

Zewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła

$$A_Z := \frac{Q}{k_Z \cdot \Delta T_{\ln}} = 4.702 \text{ m}^2$$

$$A_Z = n_T \cdot \pi \cdot d_Z \cdot L$$

Długość rur

$$L := \frac{A_Z}{n_T \cdot \pi \cdot d_Z} = 2.247 \text{ m}$$

Sprawdzenie stosunku L/d_Z

$$\frac{L}{d_Z} = 124.856 \quad L/d_Z > 60$$

$$Q = A_Z \cdot \alpha_2 \cdot (T_w - T_2)$$

Sprawdzenie poprawności założenia temperatury T_w

- wartość założona

$$T_w = 56.06$$

- wartość obliczona

$$T_w := T_{2f} + \frac{Q}{A_Z \cdot \alpha_2} = 56.06 \cdot ^\circ\text{C}$$