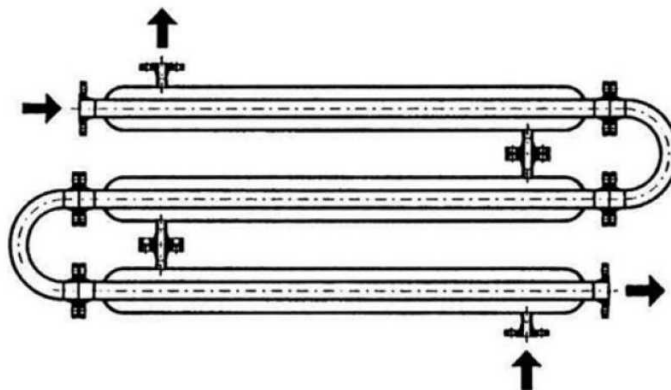


W wymienniku ciepła typu „rura w rurze” do rury wewnętrznej o średnicach 150/154 mm wpływa 3 kg/s wody grzewczej o temperaturze 110°C i ciśnieniu 2 bar. Rurą zewnętrzną o średnicy wewnętrznej 190 mm płynie 5,2 kg/s wody ogrzewanej, której temperatura zwiększa się od 36,7°C do 52°C. Rura wewnętrzna wykonana jest ze stali o współczynnika przewodności cieplnej 35 W/(m·K). Obliczyć współczynnik przenikania ciepła odniesiony do zewnętrznej powierzchni rury wewnętrznej oraz zewnętrzną powierzchnię wymiany ciepła.

ROZWIĄZANIE



1 - czynnik cieplejszy
2 - czynnik zimniejszy

$$d_w := 150 \text{ mm}$$

$$d_z := 154 \text{ mm}$$

$$D_w := 190 \cdot \text{mm}$$

$$\lambda := 35 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$m_1 := 3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$T_1' := 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1'' = ?$$

obliczyć

$$T_2' := 36.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2'' := 52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 := 5.2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

OBLICZENIA DLA CZYNNIKA ZIMNIEJSZEGO (nr 2)

Średnia temperatura czynnika zimniejszego

$$T_{2f} := \frac{T_2' + T_2''}{2} = 44.350 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Interpolacja parametrów termofizycznych czynnika nr 2.

$$x_1 := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x_2 := 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x := T_{2f} = 44.350 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f(y_1, y_2) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$\rho_{2f} := f(992.2, 990.2) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 990.460 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_{p2f} := f(4175, 4176) \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = (4.176 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{2f} := f(0.633, 0.640) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = 0.63909 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\eta_{2f} := f(658.026, 605.070) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = (611.954 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\nu_{2f} := f(0.658, 0.611) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = (6.171 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr_{2f} := f(4.3, 3.9) = 3.952$$

Poprzeczny przekrój kanału pierścieniowego

$$A_2 := \frac{\pi \cdot (D_w^2 - d_z^2)}{4} = 0.009726 \text{ m}^2$$

Prędkość wody w kanale pierścieniowym

$$m_2 = A_2 \cdot w_2 \cdot \rho_{2f}$$

$$w_2 := \frac{m_2}{A_2 \cdot \rho_{2f}} = 0.5398 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Średnica hydrauliczna

$$D_{2h} = \frac{4 \cdot A_2}{\Omega_2} = D_w - d_z$$

$$D_{2h} := D_w - d_z = 0.03600 \text{ m}$$

$$Re_{2f} := \frac{w_2 \cdot D_{2h}}{\nu_{2f}} = 31489$$

Korelacja Stein i Begell (1958 r.)

Czynnik: woda

$$\frac{D_w}{d_z} \quad 1.2 - 1.7$$

$$\frac{D_w}{d_z} = 1.234$$

$$Re = 3 \cdot 10^4 - 3.9 \cdot 10^5$$

$$Re_{2f} = 3.149 \cdot 10^4$$

$$Nu_{2f} := 0.02 \cdot \left(\frac{D_w}{d_z} \right)^{0.5} \cdot Re_{2f}^{0.8} \cdot Pr_{2f}^{\frac{1}{3}} = 139.351$$

$$\alpha_2 := \frac{\lambda_{2f} \cdot Nu_{2f}}{D_{2h}} = 2473.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Q := m_2 \cdot c_{p2f} \cdot (T_2'' - T_2') = (332.232 \cdot 10^3) \text{ W}$$

OBLICZENIA DLA CZYNNIKA CIEPLEJSZEGO (nr 1)

Temperatura wylotowa czynnika cieplejszego

Wstępnie zakładamy $T_{1zał}'' := 85 \text{ °C}$

Obliczamy średnią temperaturę czynnika cieplejszego

$$T_{1f} := \frac{T_1' + T_{1zał}''}{2} = 97.50 \text{ °C}$$

Ciepło właściwe dla temperatury średniej

$$c_p(x_1, y_1, x_2, y_2, x) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$c_{p1f} := c_p(95, 4206, 100, 4211, 97.5) \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = (4.209 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Wylotowa temperatura czynnika nr 1

$$Q = m_1 \cdot c_{p1f} \cdot (T_1' - T_{1zat}'')$$

$$T_{1obl}'' := T_1' - \frac{Q}{m_1 \cdot c_{p1f}} = 83.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Obliczona temperatura różni się znacznie od temperatury założonej.
W drugim przybliżeniu zakładamy, że $T_{1zat}'' := T_{1obl}'' = 83.69 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T_{1f} := \frac{T_1' + T_{1zat}''}{2} = 96.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{p1f} := c_p(95, 4206, 100, 4211, 96.84) \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = (4.208 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_{1obl}'' := T_1' - \frac{Q}{m_1 \cdot c_{p1f}} = 83.68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Na tym możemy zakończyć iteracje, ponieważ temperatura założona jest równa w przybliżeniu temperaturze obliczonej.

Średnia temperatura czynnika cieplejszego (1)

$$T_{1f} := \frac{T_1' + T_{1obl}''}{2} = 96.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Interpolacja parametrów termofizycznych czynnika 1.

$$x_1 := 95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x_2 := 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$x := T_{1f} = 96.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f(y_1, y_2) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$\rho_{1f} := f(961.9, 958.4) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 960.611 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_{1pf} := f(4206, 4211) \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = (4.208 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{1f} := f(0.680, 0.682) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} = 0.68074 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\eta_{1f} := f(292.238, 277.528) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = (2.868 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\nu_{1f} := f(0.310, 0.294) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = (3.041 \cdot 10^{-7}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr_{1f} := f(1.84, 1.75) = 1.807$$

$$A_1 := \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 0.017671 \text{ m}^2$$

Średnia prędkość czynnika pierwszego

$$w_1 := \frac{m_1}{A_1 \cdot \rho_{1f}} = 0.177 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{1f} := \frac{w_1 \cdot d_w}{\nu_{1f}} = 87169 \quad \text{- przepływ burzliwy}$$

Wstępnie zakładamy, że temperatura powierzchni ścianki po wewnętrznej stronie rurki

$$T_{1w_zat} := \frac{T_{1f} + T_{2f}}{2} = 70.60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Po obliczeniu powierzchni wymiany ciepła wymiennika sprawdzimy, czy założenie było słuszne.

$$Pr(x_1, y_1, x_2, y_2, x) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$Pr_{1w} := Pr(70, 2.55, 75, 2.23, 70.60) = 2.512$$

Korelacja Micheeva

$$Nu_{1f} := 0.021 \cdot Re_{1f}^{0.8} \cdot Pr_{1f}^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_{1f}}{Pr_{1w}} \right)^{0.25} = 223.476$$

Warunki stosowalności korelacji

Czynnik: dowolny

Rodzaj kanału: dowolny

$$5 \cdot 10^6 > Re > 10^4$$

$$Re_{1f} = 87169$$

$$2500 > Pr > 0.6$$

$$Pr_{1f} = 1.807$$

$$\frac{L}{D} > 50$$

$$\frac{L}{D} = ? \quad \text{sprawdzić po obliczeniu}$$

$$\alpha_1 := \frac{\lambda_{1f} \cdot Nu_{1f}}{d_w} = 1014.189 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Współczynnik przenikania ciepła

$$k_z := \left(\frac{d_z}{d_w \cdot \alpha_1} + \frac{d_z}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_z}{d_w} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = 678.227 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Założymy, że średnia różnica temperatur pomiędzy czynnikami jest w przybliżeniu równa różnicy średnich temperatur czynników.

Strumień przenikającego ciepła

$$Q = A_z \cdot k_z \cdot (T_{1f} - T_{2f})$$

Zewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła

$$A_z := \frac{Q}{k_z \cdot (T_{1f} - T_{2f})} = 9.332 \text{ m}^2$$

$$A_z = \pi \cdot d_z \cdot L$$

Długość rur wymiennika

$$L := \frac{A_z}{\pi \cdot d_z} = 19.289 \text{ m}$$

Wewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła

$$A_w := \pi \cdot d_w \cdot L = 9.090 \text{ m}^2$$

Strumień ciepła wnikaający do wewnętrznej powierzchni rury wewnętrznej

$$Q = A_w \cdot \alpha_1 \cdot (T_{1f} - T_w)$$

Temperatura wewnętrznej powierzchni rury wewnętrznej

$$T_{1w_obl} := T_{1f} - \frac{Q}{A_w \cdot \alpha_1} = 60.80 \text{ }^\circ\text{C}$$

Założona temperatura ścianki $T_{1w_zat} = 70.60 \text{ }^\circ\text{C}$ różni się znacznie od tej obliczonej, dlatego wykonujemy drugą iterację zakładając, że

$$T_{1w_zat} := T_{1w_obl} = 60.80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Pr(x_1, y_1, x_2, y_2, x) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$Pr_{1w} := Pr(70, 2.55, 75, 2.23, 60.80) = 3.139$$

$$Nu_{1f} := 0.021 \cdot Re_{1f}^{0.8} \cdot Pr_{1f}^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_{1f}}{Pr_{1w}} \right)^{0.25} = 211.362$$

$$\alpha_1 := \frac{\lambda_{1f} \cdot Nu_{1f}}{d_w} = 959.214 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$k_z := \left(\frac{d_z}{d_w \cdot \alpha_1} + \frac{d_z}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_z}{d_w} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = 652.550 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$A_z := \frac{Q}{k_z \cdot (T_{1f} - T_{2f})} = 9.699 \text{ m}^2$$

$$A_w := \frac{d_w}{d_z} \cdot A_z = 9.447 \text{ m}^2$$

$$T_{1w_obl} := T_{1f} - \frac{Q}{A_w \cdot \alpha_1} = 60.18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Wykonujemy trzecią iterację, bo założona i obliczona temperatura ścianki się różnią

$$T_{w_zat} := T_{1w_obl} = 60.18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Pr(x_1, y_1, x_2, y_2, x) := y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$Pr_{1w} := Pr(70, 2.55, 75, 2.23, 60.18) = 3.178$$

$$Nu_{1f} := 0.021 \cdot Re_{1f}^{0.8} \cdot Pr_{1f}^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_{1f}}{Pr_{1w}} \right)^{0.25} = 210.70$$

$$\alpha_1 := \frac{\lambda_{1f} \cdot Nu_{1f}}{d_w} = 956.21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$k_z := \left(\frac{d_z}{d_w \cdot \alpha_1} + \frac{d_z}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_z}{d_w} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = 651.119 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$A_z := \frac{Q}{k_z \cdot (T_{1f} - T_{2f})} = 9.721 \text{ m}^2$$

$$A_w := \frac{d_w}{d_z} \cdot A_z = 9.468 \text{ m}^2$$

$$T_{1w_obl} := T_{1f} - \frac{Q}{A_w \cdot \alpha_1} = 60.14 \text{ }^\circ\text{C}$$

Założona i obliczona temperatura ścianki różnią się nieznacznie. Na tym iteracje można zakończyć.