

## Przenoszenie ciepła

### Lista nr 10

#### PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) Średnia logarytmiczna różnica temperatur

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_p - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_p}{\Delta t_k}} \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta t_p$  różnica temperatur na początku wymiennika, °C

$\Delta t_k$  różnica temperatur na końcu wymiennika, °C

- 2) Równanie Pecleta

$$\dot{Q} = kA\Delta t_m \quad (2)$$

$$\dot{Q} = k_L L \Delta t_m \quad (3)$$

gdzie:

$k$  współczynnik przenikania ciepła, W/(m<sup>2</sup> °C)

$k_L$  współczynnik liniowy przenikania ciepła (dla rur), W/(m °C)

$A$  powierzchnia wymiany ciepła wymiennika ciepła, m<sup>2</sup>

$L$  długość rur wymiennika ciepła, m

- 3) Zależność współczynnika przenikania ciepła  $k$  od zastępczego oporu cieplnego  $R_z$

$$k = \frac{1}{R_z} \quad (4)$$

- 4) Pojemność cieplna strumienia

$$\dot{W} = \dot{m}c_p \quad (5)$$

gdzie:

$\dot{m}$  strumień masy czynnika roboczego, kg/s

$c_p$  ciepło właściwe czynnika roboczego przy stałym ciśnieniu, J/(kg K)

- 5) Końcowa różnica temperatur w wymienniku ciepła

$$\Delta t_k = \Delta t_p e^{-kA \left( \frac{1}{\dot{W}_1} + \frac{1}{\dot{W}_2} \right)} \quad (6)$$

gdzie „-” odnosi się do wymiennika przeciwprądowego, „+” współprądowego. Indeks „1” odnosi się do czynnika gorącego, indeks „2” do zimnego.

- 6) Strumień ciepła w wymienniku krzyżowo-prądowym

$$\dot{Q} = kA\Delta t_{mp} F \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta t_{mp}$  to średnia logarytmiczna różnica temperatur liczona jak dla wymiennika przeciwprądowego,

$F$  współczynnik korekcyjny będący funkcją parametrów bezwymiarowych  $P$  i  $R$

7) Parametry  $P$  i  $R$

$$P = \frac{t_{2k} - t_{2p}}{t_{1p} - t_{2p}} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_{max}} \quad (8)$$

$$R = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{\dot{W}_2}{\dot{W}_1} \quad (9)$$

**ZADANIA**

**1. (1 punkt)** Chłodnica oleju jest wykonana jako współprądowy wymiennik ciepła. Strumień oleju wynosi  $m_1 = 10$  kg/s, jego średnie ciepło właściwe  $c_1 = 3$  kJ/(kg K), temperatura początkowa  $T_{1p} = 413$  K, końcowa  $T_{1k} = 323$  K. Woda chłodząca podgrzewa się od  $T_{2p} = 293$  K do  $T_{2k} = 303$  K. Współczynnik przenikania ciepła  $k = 400$  W/(m<sup>2</sup> K), straty ciepła do otoczenia można pominąć. Obliczyć strumień ciepła  $Q$  przekazany w wymienniku, strumień masy wody chłodzącej  $m_2$  i powierzchnię przekazywania ciepła  $A$ . Obliczyć to samo dla wymiennika przeciwprądowego.  **Odp:  $Q = 2700$  kW,  $m_2 = 64,4$  kg/s,  $A_w = 121$  m<sup>2</sup>,  $A_p = 110$  m<sup>2</sup>.**

**2. (1,5 punktu)** Do przeciwprądowego podgrzewacza wody o powierzchni przekazywania ciepła  $A = 3$  m<sup>2</sup> dopływa woda gorąca o temperaturze  $T_{1p} = 363$  K i woda podgrzewana o temperaturze  $T_{2p} = 293$  K. Strumienie wody wynoszą:  $m_1 = 0,7$  kg/s,  $m_2 = 0,5$  kg/s. Obliczyć końcowe temperatury wody  $T_{1k}$  i  $T_{2k}$  oraz wydajność cieplną  $Q$  wymiennika, jeżeli współczynnik przenikania ciepła  $k = 1200$  W/(m<sup>2</sup> K), a średnie ciepło właściwe wody  $c_w = 4,2$  kJ/(kg K).  **Odp:  $T_{1k} = 328,6$  K,  $T_{2k} = 341,2$  K,  $Q = 101,14$  kW.**

**3. (2 punkty)** Wymiennik ciepła, z przeponą z blachy stalowej ( $\lambda = 50$  W/(m K)) o grubości  $\delta = 2$  mm i powierzchni przekazywania ciepła  $A = 100$  m<sup>2</sup> ma być użyty do podgrzewania strumienia powietrza, dla którego pojemność cieplna  $W_2 = 2$  kW/K przez spaliny o  $W_1 = 3$  kW/K. Współczynniki przejmowania ciepła  $\alpha_1 = 70$  W/(m<sup>2</sup> K) od strony spalin oraz  $\alpha_2 = 50$  W/(m<sup>2</sup> K) od strony powietrza, temperatury początkowe  $T_{1p} = 873$  K (spaliny),  $T_{2p} = 283$  K (powietrze). Pomijając straty ciepła do otoczenia, obliczyć wydajność cieplną wymiennika  $Q$  oraz temperatury końcowe gazów  $T_{1k}$ ,  $T_{2k}$  dla układu współprądowego. Obliczenia powtórzyć dla przeciwprądu i wyznaczyć stosunek wydajności cieplnych  $Q_p/Q_w$ .  **Odp:  $Q_w = 646,987$  kW,  $T_{1k} = 657,33$  K,  $T_{2k} = 604,82$  K,  $Q_p = 763,688$  kW,  $T_{1k'} = 614,08$  K,  $T_{2k'} = 669,45$  K,  $Q_p/Q_w = 1,18$ .**

**4. (2 punkty)** Przegrzewacz pary wykonano z rur ze stali stopowej ( $\lambda = 20$  W/(m K)) o średnicach  $d_w/d_z = 30/34$  mm w układzie przeciwprądowym. Do przegrzewacza dopływa para z prędkością  $w_2 = 14$  m/s o parametrach początkowych  $p_2 = 12$  MPa,  $T_{2p} = 773$  K. Strumień masy pary  $m_2 = 60$  kg/s, temperatura pary na wylocie z wymiennika  $T_{2k} = 813$  K. Spaliny ochładzają się od temperatury  $T_{1p} = 1223$  K do  $T_{1k} = 1153$  K. Współczynniki przejmowania ciepła  $\alpha_1 = 50$  W/(m<sup>2</sup> K),  $\alpha_2 = 2188$  W/(m<sup>2</sup> K). Obliczyć wydajność cieplną wymiennika  $Q$ , liczbę rur  $n$ , łączną ich długość  $L$ , długość pojedynczej rurki  $L_1$  i całkowitą powierzchnię przekazywania ciepła  $A$ .  **Odp:  $Q = 6,24$  MW,  $n = 163$  szt,  $L = 3097$  m,  $L_1 = 19$  m,  $A = 330,7$  m<sup>2</sup>.**

**5. (1,5 punktu)** Obliczyć sumaryczne zapotrzebowanie rur stalowych o średnicach  $d_w/d_z = 52/60$  mm ( $\lambda = 50$  W/(m K)) potrzebnych do zbudowania wymiennika ciepła o wydajności  $Q = 150$  kW, w którym olej jest chłodzony wodą. Temperatura wody na dopływie  $T_{2p} = 293$  K, na wypływie  $T_{2k} = 303$  K. Olej należy schłodzić od temperatury  $T_{1p} = 353$  K do  $T_{1k} = 313$  K. Współczynniki przejmowania ciepła wynoszą  $\alpha_1 = 300$  W/(m<sup>2</sup> K) (dla oleju),  $\alpha_2 = 4000$  W/(m<sup>2</sup> K) (dla wody). Woda płynie wewnątrz rury. Obliczenia przeprowadzić dla układu prądów: współprądowego, przeciwprądowego i krzyżowego.  **Odp:  $L_w = 105,3$  m,  $L_p = 90,2$  m,  $L_k = 93$  m.**