

Przenoszenie ciepła

Lista nr 11

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY: Metoda ε -NTU

- 1) Stosunek pojemności cieplnych

$$\dot{W}^* = \frac{\dot{W}_{min}}{\dot{W}_{max}} \quad (1)$$

gdzie \dot{W}_{min} i \dot{W}_{max} to mniejsza i większa wartość z pojemności cieplnych \dot{W}_1 i \dot{W}_2 . Wartość $\dot{W}^* = 0$ odpowiada skraplaczowi lub parowaczowi.

- 2) Maksymalny możliwy strumień ciepła dla przepływu przeciwno-prądowego

$$\dot{Q}_{max} = \dot{W}_{min} (T_{1p} - T_{2p}) \quad (2)$$

- 3) Liczba NTU (number of transfer units)

$$NTU = \frac{kA}{\dot{W}_{min}} \quad (3)$$

- 4) Efektywność wymiennika ciepła

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (4)$$

- 5) Efektywność dla przeciwno-prądu

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - \dot{W}^*)]}{1 - \dot{W}^* \exp[-NTU(1 - \dot{W}^*)]} \quad (5)$$

- 6) Efektywność dla współprądu

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + \dot{W}^*)]}{1 + \dot{W}^*} \quad (6)$$

- 7) Efektywność dla przeciwno-prądu dla $\dot{W}^* = 1$

$$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad (7)$$

- 8) Efektywność dla współprądu dla $\dot{W}^* = 1$

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(1 - e^{-2NTU}) \quad (8)$$

- 9) Efektywność dla przeciwno-prądu i współprądu dla $\dot{W}^* = 0$ (parowanie lub kondensacja)

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} \quad (9)$$

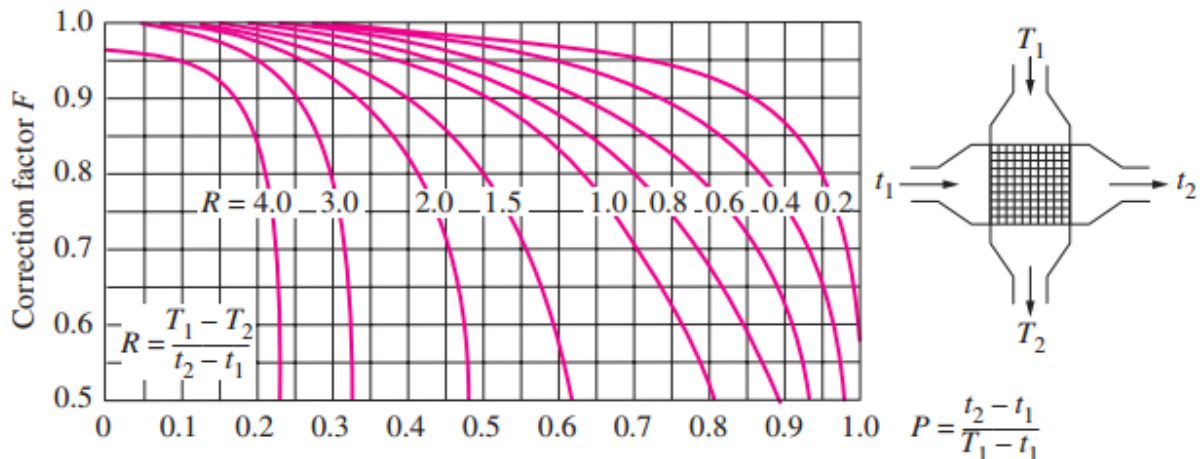
Dla bardziej skomplikowanych przypadków wartości ε odczytuje się z wykresów typu $\varepsilon = f(\dot{W}^*, NTU)$.

ZADANIA

1. (1 punkt) W kondensatorze siłowni parowej para wodna skrapla się w temperaturze 50°C przy użyciu wody chłodzącej pobieranej z pobliskiego jeziora. Woda chłodząca podgrzewa się od 18 do 27°C . Powierzchnia wymiany ciepła kondensatora wynosi $A = 58\text{ m}^2$, a współczynnik przenikania $k = 2400\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$. Oblicz wymagany strumień masy wody chłodzącej i strumień masy kondensatu. **Odp: $m_w = 100,6\text{ kg/s}$, $m_k = 1,59\text{ kg/s}$.**

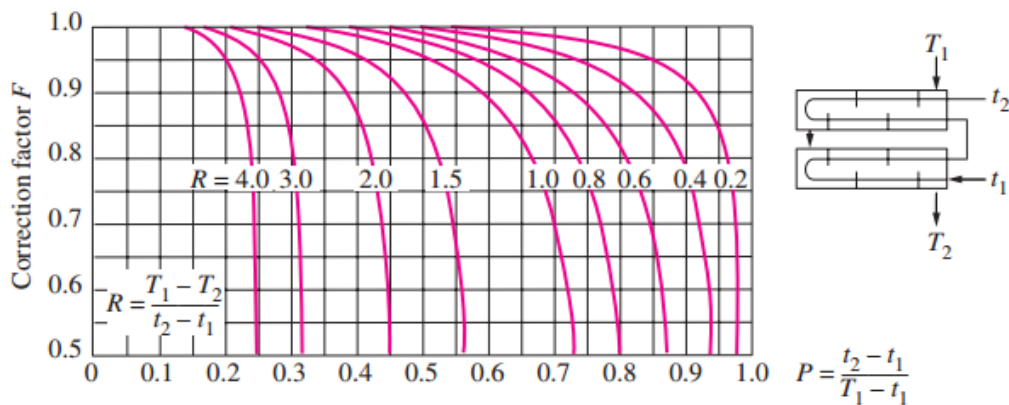
2. (1 punkt) W przeciwprądowym wymienniku ciepła glikol etylenowy ($c_{p1} = 2560\text{ J}/(\text{kg K})$, $m_1 = 3,5\text{ kg/s}$) ochładza się od temperatury 80 do 40°C . Czynnikiem chłodzącym jest woda, która podgrzewa się od 20 do 55°C . Współczynnik przenikania ciepła (wyznaczony dla wewnętrznej powierzchni rury wewnętrznej) wynosi $250\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$. Obliczyć: moc cieplną wymiennika, strumień masy wody chłodzącej, powierzchnię wymiany ciepła na wewnętrznej powierzchni rury wewnętrznej. **Odp: $Q = 358,4\text{ kW}$, $m_w = 2,45\text{ kg/s}$, $A = 64\text{ m}^2$.**

3. (1,5 punktu) W wymienniku krzyżowym o przepływie nie mieszanym (rys. 1), powietrze, zanim zostanie skierowane do pieca, jest przegrzewane przez spaliny. Powietrze o temperaturze 20°C wpływa do wymiennika pod ciśnieniem 95 kPa . Strumień objętościowy powietrza wynosi $0,8\text{ m}^3/\text{s}$. Spaliny ($c_{p1} = 1100\text{ J}/(\text{kg K})$) mają na wlocie do wymiennika temperaturę 180°C , na wylocie 95°C , a ich strumień masy wynosi $1,1\text{ kg/s}$. Współczynnik przenikania ciepła $k = 1200\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$. Obliczyć strumień ciepła przekazywany w wymienniku, temperaturę wylotową powietrza oraz powierzchnię wymiany ciepła. **Odp: $Q = 102,85\text{ kW}$, $t_{2k} = 133,12^{\circ}\text{C}$, $A = 1,726\text{ m}^2$.**



Rys. 1. Współczynnik korekcyjny F dla wymiennika krzyżowego o przepływie nie mieszanym [1]

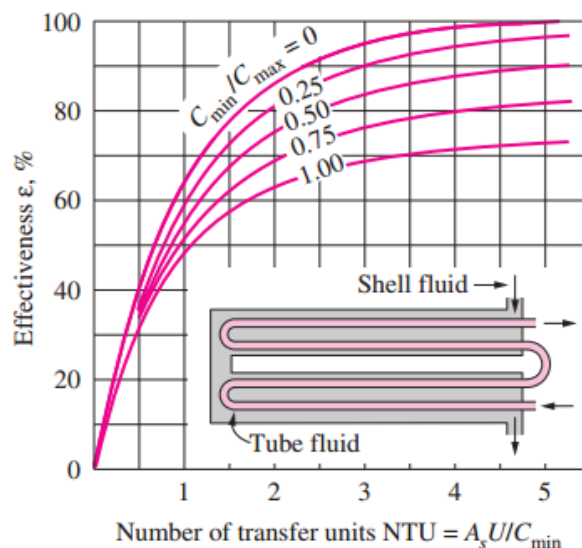
4. (1 punkt) W wymienniku płaszczowo-rurowym z dwoma przejściami przez płaszcz i ośmioma przejściami przez rurki (rys. 2), w rurkach ogrzewa się alkohol etylowy ($c_{p2} = 2670\text{ J}/(\text{kg K})$) od temperatury 25 do 70°C . Strumień masy alkoholu etylowego wynosi $2,1\text{ kg/s}$. Czynnikiem ogrzewającym jest woda, której temperatury wlotowa i wylotowa wynoszą odpowiednio $t_{1p} = 95^{\circ}\text{C}$ i $t_{1k} = 45^{\circ}\text{C}$. Jeśli współczynnik przenikania ciepła $k = 950\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$, oblicz pole powierzchni wymiennika ciepła. **Odp: $A = 15,4\text{ m}^2$.**



Rys. 2. Współczynnik korekcyjny F dla wymiennik płaszczowo-rurowego o dwóch przejściach w płaszczu i 4,8,12 itd. przejściach rurek [1]

5. (1 punkt) W parowaczu spaliny ($c_{p1} = 1051 \text{ J/(kg K)}$) o strumieniu masy $m_1 = 0,25 \text{ kg/s}$ i temperaturze wlotowej 550 °C są używane do wytwarzania pary wodnej. Woda wpływa do parowacza w jako ciecz nasycona i odparowuje w temperaturze 200 °C . Powierzchnia wymiany ciepła od strony wody wynosi $0,5 \text{ m}^2$, a współczynnik przenikania ciepła $k = 1780 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Oblicz moc cieplną parowacza, temperaturę wylotową spalin i strumień masy pary. **Odp: $Q = 88,85 \text{ kW}$, $t_{k1} = 211,8 \text{ °C}$, $m_p = 0,0458 \text{ kg/s}$.**

6. (1 punkt) Metoda ϵ -NTU jest zdecydowanie bardziej przydatna niż metoda średniej logarytmicznej różnicy temperatur w przypadku gdy znana jest powierzchnia wymiennika ciepła natomiast nie są znane temperatury wylotowe. Gorący olej ($c_{p1} = 2200 \text{ J/(kg K)}$) jest chłodzony wodą w wymienniku ciepła o dwóch przejściach przez płaszcz i dwunastu rurkach (rys. 3). Rurki są cienkościennie o średnicy $1,8 \text{ cm}$ i są wykonane z miedzi. Długość każdej rurki wynosi 3 m a współczynnik przenikania ciepła $k = 340 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Woda przepływa przez rurki i jej całkowity strumień masy wynosi $m_2 = 0,1 \text{ kg/s}$, natomiast strumień masy oleju $m_1 = 0,2 \text{ kg/s}$. Temperatury wlotowe wody i oleju wynoszą odpowiednio $t_{2p} = 18 \text{ °C}$ i $t_{1p} = 160 \text{ °C}$. Oblicz moc cieplną wymiennika oraz temperatury wylotowe za pomocą metody ϵ -NTU. **Odp: $36,2 \text{ kW}$, $t_{2k} = 104,6 \text{ °C}$ i $t_{1k} = 77,7 \text{ °C}$.**



Rys. 3. Efektywność ϵ dla wymiennika ciepła o dwóch przejściach przez płaszcz i 4, 8, 12, ... przejściach przez rurki [1]

Literatura

[1] Y. A. Cengel, Heat transfer, druga edycja, Mcgraw-Hill, 2002.