

W płytowym przeciwbieżnym wymienniku ciepła woda zimna do celów sanitarnych jest ogrzewana ciepłą wodą technologiczną. Wymiennik zbudowany jest z płyt typu *chevron*. Wymiennik jest jednoprzepływowy po stronach obydwu czynników. Obliczyć temperatury końcowe czynników, jeżeli:

$$T'_1 := 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T'_2 := 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_1 := 9.2 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_2 := 8 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Grubość płyty } t := 0.5 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Głębokość wytłoczeń } p := 2.9 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Kąt wytłoczenia } \beta := 30$$

$$\lambda_w := 17.5 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Współczynnik przyrostu powierzchni wymiany ciepła ze względu na wytłoczenia płyt

$$\phi := 1.184$$

$$\text{Średnica wlotów do kanałów } D_p := 50 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Odległość pomiędzy otworami wlotowymi do kanałów, w pionie } L_v := 1.06 \cdot \text{m}$$

$$\text{Efektywna szerokość kanału } L_w := 0.46 \cdot \text{m}$$

$$\text{Liczba płyt } N_t := 39$$

Rzeczywista powierzchnia wymiany ciepła jednej płyty

$$A_{1w} := \phi \cdot (L_v - D_p) \cdot L_w = 0.550 \text{ m}^2$$

Rzeczywista powierzchnia wymiany ciepła dla $N_t = 39.000$ płyt

$$A := (N_t - 2) \cdot A_{1w} = 20.35 \text{ m}^2$$

Wymiar charakterystyczny kanału pomiędzy dwiema kolejnymi płytami

$$b := p - t = 2.400 \text{ mm}$$

Pole przekroju poprzecznego jednego kanału

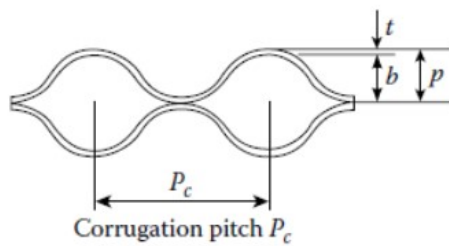
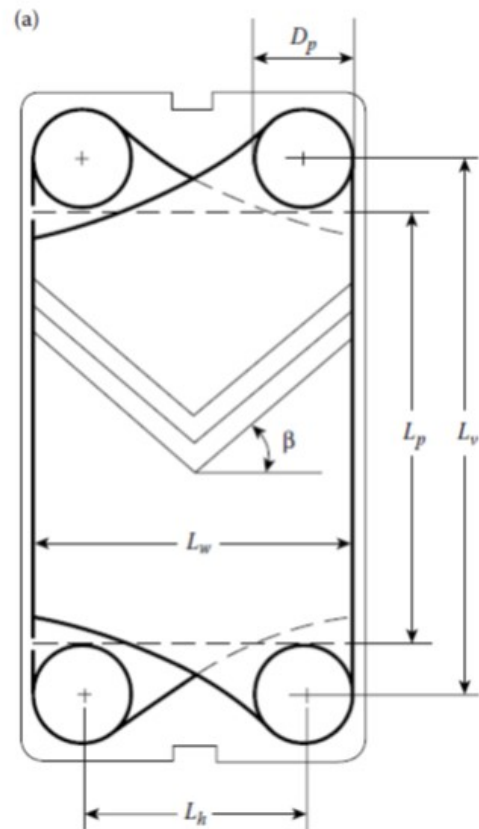
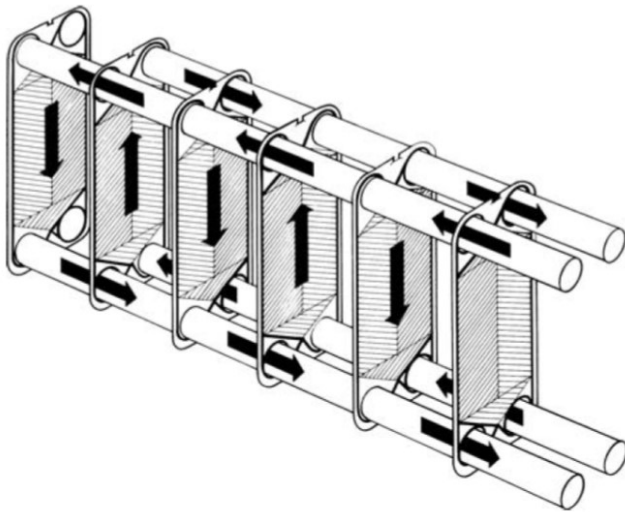
$$A_k := b \cdot L_w = (1.104 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

Liczba kanałów wody ciepłej i wody zimnej

$$N_1 := \frac{N_t - 1}{2} = 19.000 \quad N_2 := N_1 = 19.000$$

Pole przekroju poprzecznego strumienia wody ciepłej i wody zimnej

$$A_{p1} := N_1 \cdot A_k = 0.02098 \text{ m}^2 \quad A_{p2} := A_{p1} = 0.02098 \text{ m}^2$$



Wstępnie, na potrzeby obliczenia parametrów termofizycznych, zakładam wartości temperatur końcowych

$$T''_1 = 33.880 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T''_2 = 61.790 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Średnia temperatura wody gorącej

$$T_{f1} := \frac{T'_1 + T''_1}{2} = 49.440 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Średnia temperatura wody zimnej

$$T_{f2} := \frac{T'_2 + T''_2}{2} = 43.895 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zależność właściwości wody od temperatury

$$_W := \begin{bmatrix} 20 & 998.21 & 4.1841 & 0.0010016 & 0.59846 \\ 25 & 997.05 & 4.1813 & 0.00089008 & 0.60719 \\ 30 & 995.65 & 4.1798 & 0.00079735 & 0.6155 \\ 35 & 994.03 & 4.1793 & 0.00071932 & 0.62332 \\ 40 & 992.22 & 4.1794 & 0.00065298 & 0.63063 \\ 45 & 990.21 & 4.1801 & 0.00059607 & 0.63739 \\ 50 & 988.03 & 4.1813 & 0.00054685 & 0.64359 \\ 55 & 985.65 & 4.1830 & 0.00050398 & 0.64926 \\ 60 & 983.2 & 4.185 & 0.0004664 & 0.65439 \\ 65 & 980.55 & 4.1873 & 0.00043326 & 0.659 \\ 70 & 977.76 & 4.1901 & 0.00040389 & 0.66313 \end{bmatrix}$$

Funkcje interpolujące właściwości wody

$$f\rho(t) := \text{linterp}(_W^{(0)}, _W^{(1)}, t) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$fc_p(t) := \text{linterp}(_W^{(0)}, _W^{(2)}, t) \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$f\mu(t) := \text{linterp}(_W^{(0)}, _W^{(3)}, t) \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$f\lambda(t) := \text{linterp}(_W^{(0)}, _W^{(4)}, t) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Właściwości fizyczne wody w temperaturze T_{f1}

$$\rho_1 := f\rho\left(\frac{T_{f1}}{\text{K}} - 273.15\right) = 988.274 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_{p1} := f c_p \left(\frac{T_{f1}}{K} - 273.15 \right) = 4181.166 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\lambda_1 := f \lambda \left(\frac{T_{f1}}{K} - 273.15 \right) = 0.6429 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu_1 := f \mu \left(\frac{T_{f1}}{K} - 273.15 \right) = (5.524 \cdot 10^{-4}) Pa \cdot s \quad \nu_1 := \frac{\mu_1}{\rho_1} = (5.589 \cdot 10^{-7}) \frac{m^2}{s}$$

$$Pr_1 := \frac{\mu_1 \cdot c_{p1}}{\lambda_1} = 3.592$$

Właściwości fizyczne wody w temperaturze T_{f2}

$$\rho_2 := f \rho \left(\frac{T_{f2}}{K} - 273.15 \right) = 990.654 \frac{kg}{m^3}$$

$$c_{p2} := f c_p \left(\frac{T_{f2}}{K} - 273.15 \right) = 4179.945 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\lambda_2 := f \lambda \left(\frac{T_{f2}}{K} - 273.15 \right) = 0.6359 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu_2 := f \mu \left(\frac{T_{f2}}{K} - 273.15 \right) = (6.086 \cdot 10^{-4}) Pa \cdot s \quad \nu_2 := \frac{\mu_2}{\rho_2} = (6.144 \cdot 10^{-7}) \frac{m^2}{s}$$

$$Pr_2 := \frac{\mu_2 \cdot c_{p2}}{\lambda_2} = 4.001$$

Prędkość wody ciepłej

$$w_1 := \frac{m_1}{A_{p1} \cdot \rho_1} = 0.444 \frac{m}{s}$$

Prędkość wody zimnej

$$w_2 := \frac{m_2}{A_{p2} \cdot \rho_2} = 0.385 \frac{m}{s}$$

Średnica hydrauliczna dla kanału

$$D_h := 2 \cdot b = 4.800 \text{ mm}$$

$$Re_1 := \frac{w_1 \cdot D_h}{\nu_1} = 3811.4$$

$$Re_2 := \frac{w_2 \cdot D_h}{\nu_2} = 3007.8$$

Korelacja Chisholma i Wanniarachchi'ego

Zakres zastosowania

$$30^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$$

$$10^3 \leq Re \leq 10^4$$

$$Nu_1 := 0.72 \cdot Re_1^{0.59} \cdot Pr_1^{0.4} \cdot \phi^{0.41} \cdot \left(\frac{90 - \beta}{30} \right)^{0.66} = 263.680$$

$$Nu_2 := 0.72 \cdot Re_2^{0.59} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \phi^{0.41} \cdot \left(\frac{90 - \beta}{30} \right)^{0.66} = 239.392$$

$$\alpha_1 := \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{D_h} = 35316.4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha_2 := \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D_h} = 31714.3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Współczynnik przenikania ciepła

$$k := \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{t}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = (11.31 \cdot 10^3) \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pojemności cieplne czynników

$$W_1 := m_1 \cdot c_{p1} = (3.847 \cdot 10^4) \frac{W}{K}$$

$$W_2 := m_2 \cdot c_{p2} = (3.344 \cdot 10^4) \frac{W}{K}$$

$$W_{min} := W_1$$

$$W := \frac{W_1}{W_2} = 1.150$$

$$N := \frac{k \cdot A}{W_{min}} = 5.984$$

$$\varepsilon := \frac{1 - \exp(-N \cdot (1 - W))}{1 - W \cdot \exp(-N \cdot (1 - W))} = 0.798$$

$$\varepsilon = \frac{T'_1 - T''_1}{T'_1 - T'_2} = \frac{\Delta T_1}{T'_1 - T'_2}$$

$$\Delta T_1 := \varepsilon \cdot (T'_1 - T'_2) = 31.115 \text{ K}$$

$$T''_1 \equiv 33.88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T''_{1o} := T'_1 - \Delta T_1 = 33.88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q := W_1 \cdot \Delta T_1 = 1196.9 \text{ kW}$$

$$\Delta T_2 := \frac{Q}{W_2} = 35.793 \text{ K}$$

$$T''_2 \equiv 61.79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T''_{2o} := T'_2 + \Delta T_2 = 61.79 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sprawdzenie

$$\Delta T' := T'_1 - T''_2 = 3.210 \text{ K}$$

$$\Delta T'' := T''_1 - T'_2 = 7.88 \text{ K}$$

$$\Delta T_{sr} := \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln\left(\frac{\Delta T'}{\Delta T''}\right)} = 5.200 \text{ K}$$

$$Q := k \cdot A \cdot \Delta T_{sr} = 1197.0 \text{ kW}$$