

Parownik kotła parowego o wydajności cieplnej $Q := 500 \text{ kW}$ zbudowany jest z rur stalowych o średnicy wewnętrznej $D_w := 60 \cdot \text{mm}$ i grubości ścianki $\delta := 4 \cdot \text{mm}$. Po pewnym czasie eksploatacji kotła na powierzchni wewnętrznej rur utworzyła się warstwa kamienia kotłowego o grubości $\delta_2 := 1.5 \cdot \text{mm}$, natomiast powierzchnia zewnętrzna pokryta została warstwą sadzy o grubości $\delta_1 := 0.5 \cdot \text{mm}$. Średni współczynnik przejmowania ciepła od strony spalin $\alpha_1 := 60 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, temperatura spalin na wlocie do parownika $T'_1 := 550 \text{ }^\circ\text{C}$, a na wylocie z parownika $T''_1 := 250 \text{ }^\circ\text{C}$. Ciśnienie bezwzględne w parowniku kotła wynosi $p_2 := 19.08 \cdot \text{bar}$, a średni współczynnik przejmowania ciepła od strony wrzącej wody $\alpha_2 := 8000 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Współczynniki przewodzenia ciepła wynoszą: materiału rur $\lambda := 35 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$, sadzy $\lambda_1 := 0.1 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ i kamienia kotłowego $\lambda_2 := 1.5 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$. Obliczyć o ile procent powinna wzrosnąć powierzchnia wymiany ciepła, aby w zanieczyszczonym wymienniku był przekazywany taki sam strumień ciepła przy niezmienionych temperaturach końcowych czynników.

Dla ciśnienia $p_2 = 19.08 \text{ bar}$ temperatura nasycenia wynosi $T_s := 210 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T'_2 := T_s \quad T''_2 := T_s$$

$$D_z := D_w + 2 \cdot \delta = 68 \text{ mm}$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła

$$k_l(\delta_1, \delta_2) := \left(\frac{1}{(D_w - 2 \cdot \delta_2) \cdot \alpha_2} + \frac{\ln\left(\frac{D_w}{D_w - 2 \cdot \delta_2}\right)}{2 \cdot \lambda_2} + \frac{\ln\left(\frac{D_z}{D_w}\right)}{2 \cdot \lambda} + \frac{\ln\left(\frac{D_z + 2 \cdot \delta_1}{D_z}\right)}{2 \cdot \lambda_1} + \frac{1}{(D_z + 2 \cdot \delta_1) \cdot \alpha_1} \right)^{-1}$$

$$k_z(\delta_1, \delta_2) := \frac{k_l(\delta_1, \delta_2)}{D_z + 2 \cdot \delta_1} \quad k_z(\delta_1, \delta_2) = 43.182 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T' := T'_1 - T'_2 = 340 \text{ K}$$

$$\Delta T'' := T''_1 - T''_2 = 40 \text{ K}$$

$$\Delta T_{ln} := \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln\left(\frac{\Delta T'}{\Delta T''}\right)} = 140.183 \text{ K}$$

$$\delta_1 = 0.5 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 1.5 \text{ mm}$$

Powierzchnia wymiany ciepła wymiennika niezanieczyszczonego

$$A_{z0} := \frac{Q}{k_z(0 \text{ mm}, 0 \text{ mm}) \cdot \Delta T_{ln}} = 60.385 \text{ m}^2$$

Zewnętrzna powierzchnia wymiany ciepła wymiennika zanieczyszczonego (powierzchnia sadzy)

$$A_z := \frac{Q}{k_z(\delta_1, \delta_2) \cdot \Delta T_{ln}} = 82.598 \text{ m}^2$$

$$A_{zr} := A_z \cdot \frac{D_z}{D_z + 2 \cdot \delta_1} = 81.401 \text{ m}^2$$

$$\Delta A := \frac{A_{zr} - A_{z0}}{A_{z0}} \cdot 100 = 34.8 \%$$

Opór cieplny kamienia kotłowego

$$R_{bw} := \frac{D_w \cdot \ln\left(\frac{D_w}{D_w - 2 \cdot \delta_2}\right)}{2 \cdot \lambda_2} = 0.001 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Opór cieplny sadzy

$$R_{bz} := \frac{(D_z + 2 \cdot \delta_1) \cdot \ln\left(\frac{D_z + 2 \cdot \delta_1}{D_z}\right)}{2 \cdot \lambda_1} = 0.00504 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Całkowity opór cieplny

$$R_b := \frac{D_z}{D_w} \cdot R_{bw} + R_{bz} = 0.0062 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Uproszczony wzór na powierzchnię wymiany ciepła wymiennika zanieczyszczonego - zewnętrzną powierzchnią wymiany ciepła jest zewnętrzna powierzchnia rurki

$$A_{zb} := A_{z0} \cdot (1 + k_z(0 \text{ mm}, 0 \text{ mm}) \cdot R_b) = 82.497 \text{ m}^2$$

Uproszczony wzór na współczynnik przenikania ciepła dla wymiennika zanieczyszczonego - zewnętrzną powierzchnią wymiany ciepła jest zewnętrzna powierzchnia rurki

$$k_{zb} := \left(\frac{D_z}{D_w \cdot \alpha_2} + \frac{D_z \cdot R_{bw}}{D_w} + \frac{D_z \cdot \ln\left(\frac{D_z}{D_w}\right)}{2 \cdot \lambda} + R_{bz} + \frac{1}{\alpha_1} \right)^{-1} = 43.235 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$A_{zb} := \frac{Q}{k_{zb} \cdot \Delta T_{ln}} = 82.497 m^2$$