

Parownik kotła parowego 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 wnikania ciepła od strony spalin

$\alpha_1 := 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, a średnia temperatura spalin $T_{f1} := 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Ciśnienie bezwzględne w parowniku wynosi $p_2 := 19.08 \text{ bar}$, a średni współczynnik wnikania ciepła od strony wrzącej wody $\alpha_2 := 8000 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Współczynniki przewodności cieplnej 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 $\lambda_2 := 1.5 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

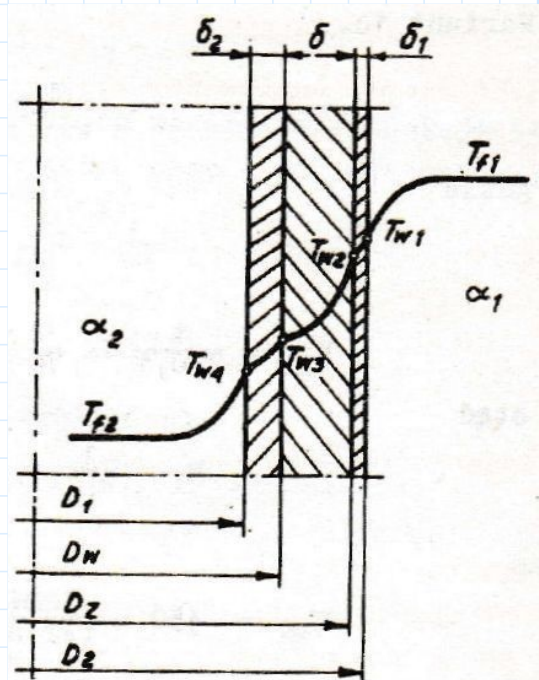
1. Obliczyć strumień ciepła doprowadzanego do wrzącej wody w parowniku (na jednostkę długości rury), jeżeli:

- rury zostały oczyszczone z osadu kamienia kotłowego oraz sadzy,
- rury zostały oczyszczone tylko z warstwy sadzy,
- rury są pokryte warstwą kamienia kotłowego i sadzy.

2. Obliczyć temperaturę na zewnętrznej powierzchni rury dla trzech wariantów punktu 1.

3. Jaka powinna być temperatura spalin (przy niezmiennych pozostałych wielkościach), aby strumień ciepła doprowadzonego do wrzącej wody w przypadkach 1b i 1c był taki sam jak dla rur czystych (przypadek 1a)?

4. O ile procent należałoby zwiększyć długość zanieczyszczonych rur parowacza, żeby strumień ciepła przekazywanego wrzącej wodzie był taki sam jak dla rur bez zanieczyszczeń?



Temperatura wody wrzącej pod ciśnieniem 19,08 bar

$$T_{f2} := 210 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zewnętrzna średnica rury czystej

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

Wewnętrzna średnica rury pokrytej od wewnątrz kamieniem kotłowym

$$D_1 := D_w - 2 \cdot \delta_2 = 57 \text{ mm}$$

Zewnętrzna średnica rury pokrytej na zewnątrz sadzą

$$D_2 := D_z + 2 \cdot \delta_1 = 69 \text{ mm}$$

Liniowy opór przenikania ciepła przez ściankę cylindryczną wielowarstwową

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

Rura oczyszczona z warstwy sadzy (δ_1) i kamienia kotłowego (δ_2)

$$R_{kl1} := R_{kl}(0 \cdot \text{mm}, 0 \cdot \text{mm}) = 0.249 \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Rura oczyszczona tylko z warstwy sadzy

$$R_{kl2} := R_{kl}(0 \cdot \text{mm}, \delta_2) = 0.2662 \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Rura pokryta warstwą kamienia kotłowego i sadzy

$$R_{kl3} := R_{kl}(\delta_1, \delta_2) = 0.3356 \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Strumień ciepła odniesiony do jednostki długości rury

- dla rury bez zanieczyszczeń

$$q_{l1} := \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{f2})}{R_{kl1}} = (2.397 \cdot 10^3) \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

- dla rury oczyszczonej z sadzy (pozostał kamień kotłowy)

$$q_{l2} := \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{f2})}{R_{kl2}} = (2.243 \cdot 10^3) \frac{W}{m}$$

- dla rury pokrytej warstwą kamienia kotłowego i sadzy

$$q_{l3} := \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{f2})}{R_{kl3}} = (1.779 \cdot 10^3) \frac{W}{m}$$

Strumień ciepła wnikaącego od spalin do powierzchni zewnętrznej rury

- dla rury bez zanieczyszczeń

$$q_{l1} = \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{w2_1})}{R_{kl1w}}$$

- dla rury oczyszczonej z sadzy (pozostał kamień kotłowy)

$$q_{l2} = \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{w2_2})}{R_{kl2w}}$$

- dla rury pokrytej warstwą kamienia kotłowego i sadzy

$$q_{l3} = \frac{\pi \cdot (T_{f1} - T_{w2_3})}{R_{kl3w}}$$

Liniowy opór cieplny przenikania ciepła od spalin do zewnętrznej powierzchni rury

- dla rury bez zanieczyszczeń

$$R_{kl1w} := \frac{1}{\alpha_1 \cdot D_z} = 0.2451 \frac{m \cdot K}{W}$$

- dla rury oczyszczonej z sadzy (pozostał kamień kotłowy)

$$R_{kl2w} := R_{kl1w} = 0.2451 \frac{m \cdot K}{W}$$

- dla rury pokrytej warstwą kamienia kotłowego i sadzy

$$R_{kl3w} := \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_z}\right) + \frac{1}{\alpha_1 \cdot D_2} = 0.3145 \frac{m \cdot K}{W}$$

Temperatura na zewnętrznej powierzchni rury

- dla rury bez zanieczyszczeń

$$T_{w2_1} := T_{f1} - \frac{q_{l1} \cdot R_{kl1w}}{\pi} = 212.954 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- dla rury oczyszczonej z sadzy (pozostał kamień kotłowy)

$$T_{w2_2} := T_{f1} - \frac{q_{l2} \cdot R_{kl2w}}{\pi} = 225.046 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- dla rury pokrytej warstwą kamienia kotłowego i sadzy

$$T_{w2_3} := T_{f1} - \frac{q_{l3} \cdot R_{kl3w}}{\pi} = 221.933 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura jaką powinny mieć spaliny, aby strumień ciepła doprowadzany do wrzącej wody był taki sam jak dla rur czystych

$$q_{l2} = q_{l1}$$

$$q_{l3} = q_{l1}$$

$$T_{f1_2} := T_{f2} + \frac{q_{l1} \cdot R_{kl2}}{\pi} = 413.132 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{f1_3} := T_{f2} + \frac{q_{l1} \cdot R_{kl3}}{\pi} = 466.126 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$l_1 := 1 \cdot m$$

O ile procent należałoby zwiększyć długość zanieczyszczonych rur, aby strumień ciepła doprowadzany do wrzącej wody był taki sam jak dla rur czystych

$$l_2 := \frac{q_{l1}}{q_{l2}} \cdot l_1 = 1.069 \text{ m}$$

$$\Delta l_2 := \frac{l_2 - l_1}{l_1} \cdot 100 = 6.91 \%$$

$$l_3 := \frac{q_{l1}}{q_{l3}} \cdot l_1 = 1.348 \text{ m}$$

$$\Delta l_3 := \frac{l_3 - l_1}{l_1} \cdot 100 = 34.8 \%$$