

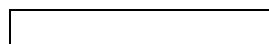
Obliczenia projektowe podgrzewacza wody/powietrza/przegrzewacza pary

Założenia projektowe

- średnice zewnętrzne rur, z których zbudowana jest powierzchnia podgrzewacza wody/przegrzewacza pary $d_z = 25; 31.8; 38; 44.5$ mm (podgrzewacz powietrza 29-40mm)
- grubości ścianki rur $g = 4.0, 4.5, 5.0, 5.6$ mm (podgrzewacz powietrza 1.5mm)
- podziałki dla ECO $s_1 = (1.5-3.5) \cdot d_z$; $s_2 = (3-5) \cdot d_z$
- podziałki dla przegrzewacza $s_1 = (1.5-3) \cdot d_z$; $s_2 = (3-5) \cdot d_z$
- podziałki dla podgrzewacza powietrza $s_1 = (1.5-1.6) \cdot d_z$; $s_2 = (1.05-1.1) \cdot d_z$
- predkość wody przepływającej w rurach ECO $w_w = 1.5-2$ m/s; $(w \cdot \rho) =$ do 2000 kg/m²·s
- prędkość pary przepływającej w rurach przegrzewacza $w_p = 12-20$ m/s; $(w \cdot \rho) = 500-1000$ kg/m²·s
- predkość powietrza przepływającego na zewnątrz rur podgrzewacza $w_{pow} = 4.5-6$ m/s
- prędkość spalin w ECO $w_{sp} = 6-12$ m/s
- predkość spalin w przegrzewaczu $w_{sp} = 6-12$ m/s
- predkość spalin w podgrzewaczu powietrza (w rurach) $w_{sp} = 9-13$ m/s
- wymiary kanału spalin: $a \cdot c$; $c = 0.6 \cdot a$ (dla kotła dwuciągowego, w układzie pi),
 $c = a$ (dla kotła jednociągowego, wieżowego)
- orientacyjne α : spaliny, powietrze - 20-120, para przegrzana pierwotna 1500-3500, para przegrzana wtorna 650-1200, woda 4600-12000 W/m²K

 - wielkości, które **należy** uwzględnić w obliczeniach

 - funkcje z biblioteki MATHCADa

 - brak oznaczeń - komentarz

OBLICZENIA PROJEKTOWE ECO / PRZEGRZEWACZA PARY

1. Dane konstrukcyjne

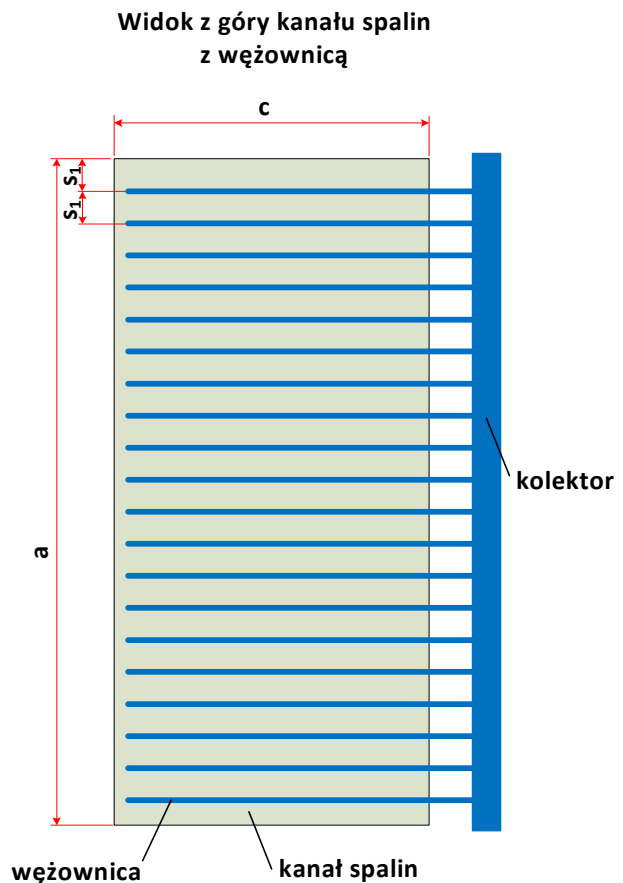
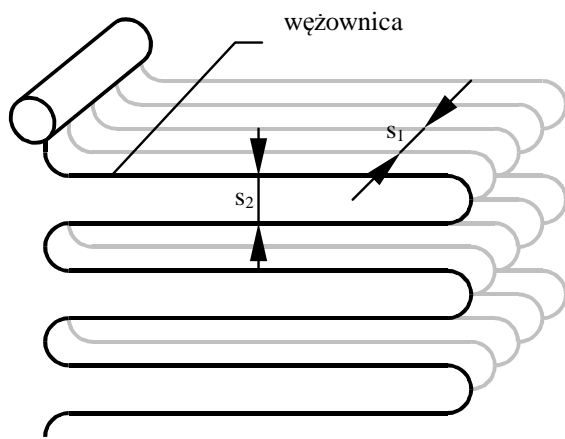
- średnica rur: $d_z := 0.0318$ m

- grubość rur: $g := 4.5$ mm $d_w := d_z - 2 \cdot g \cdot 10^{-3} = 0.023$ m

- podziałki: $s_1 := 2.8 \cdot d_z$ m $s_2 := 3 \cdot d_z$ m

- wymiary kanału spalin: $c := 0.6a = 3.59$ m $a = 5.99$ m

- **założona** wstępnie ilość skrzyżowań czynników (przyjmować należy wartość parzystą ze względu na lokalizację kolektorów): $n_{cross} := 6$



2. Założone prędkości spalin i czynnika

$w_{sp} := 10 \frac{m}{s}$ - prędkość przepływu spalin

$w_p := 15 \frac{m}{s}$ - prędkość przepływu czynnika

3. Parametry czynnika i spalin

3.1. Para

- temperatura:

$$t_{sr_p} := \frac{t_5 + t_6}{2}$$

$t_{sr_p} = 465 \text{ } ^\circ\text{C}$

- ciśnienie:

$$p_{sr_p} := \frac{p_5 + p_6}{2}$$

$p_{sr_p} = 10.2 \text{ MPa}$

- objętość właściwa pary:

$$v_{sr_p} := v_{tp}(t_{sr_p}, p_{sr_p})$$

$v_{sr_p} = 0.03 \frac{m^3}{kg}$

- lepkość dynamiczna:

$$\mu_{sr_p} := \text{Visc}(t_{sr_p}, p_{sr_p})$$

$\mu_{sr_p} = 2.74 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$

- lepkość kinematyczna:

$$\nu_{sr_p} := \mu_{sr_p} \cdot v_{sr_p}$$

$\nu_{sr_p} = 8.22 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}$

- wsp. przewodzenia ciepła:

$$\lambda_{sr_p} := \text{Lambda}(t_{sr_p}, p_{sr_p})$$

$\lambda_{sr_p} = 0.07 \frac{W}{m \cdot K}$

- ciepło właściwe:

$$C_{sr_p} := Cp(t_{sr_p}, p_{sr_p})$$

$C_{sr_p} = 2.68 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

- liczba Prandtla:

$$Pr_{sr_p} := \frac{\mu_{sr_p} \cdot C_{sr_p} \cdot 1000}{\lambda_{sr_p}}$$

$Pr_{sr_p} = 1.01$

- liczba Reynoldsa:

$$Re_{sr_p} := \frac{w_p \cdot d_w}{\nu_{sr_p}}$$

$Re_{sr_p} = 415815$

3.2. Spaliny

- temperatura:

$$\theta_{sr_sp} := \frac{t_{sp_PG} + t_{sp_PWyl}}{2}$$

$\theta_{sr_sp} = 863 \text{ } ^\circ\text{C}$

- wsp. nadmiaru pow.:

$$\lambda_{sr} := \frac{\lambda_{pg} + \lambda_{pwył}}{2}$$

$\lambda_{sr} = 1.17$

- udział pary wodnej w spalinach:

$$r_{\text{H}_2\text{O}} := r_{\text{H}_2\text{O}}(\lambda_{\text{sr}}, \text{Fuel})$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 9.49 \cdot \%$$

- lepkość kinematyczna:

$$\nu_{\text{sr_sp}} := \text{ViscGas}(\theta_{\text{sr_sp}}) \cdot \text{MVisc}(\theta_{\text{sr_sp}}, r_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$\nu_{\text{sr_sp}} = 1.38 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- wsp. przewodzenia ciepła:

$$\lambda_{\text{sr_sp}} := \text{LambdaGas}(\theta_{\text{sr_sp}}) \cdot \text{MLambda}(\theta_{\text{sr_sp}}, r_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$\lambda_{\text{sr_sp}} = 0.1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

- liczba Prandtla:

$$\text{Pr}_{\text{sr_sp}} := \text{PrGas}(\theta_{\text{sr_sp}}) \cdot \text{MPr}(r_{\text{H}_2\text{O}})$$

$$\text{Pr}_{\text{sr_sp}} = 0.59$$

- liczba Reynoldsa:

$$\text{Re}_{\text{sr_sp}} := \frac{w_{\text{sp}} \cdot d_z}{\nu_{\text{sr_sp}}}$$

$$\text{Re}_{\text{sr_sp}} = 2299$$

- udział gazów

trójatomowych w spalinach:

$$r_{\text{RO}_2} := r_{\text{H}_2\text{O}}(\lambda_{\text{sr}}, \text{Fuel}) + r_{\text{CO}_2}(\lambda_{\text{sr}}, \text{Fuel})$$

$$r_{\text{RO}_2} = 0.24$$

4. Obliczenia cieplno-konstrukcyjne

4.1. Obliczenia konstrukcyjne

- ilość rur włączonych równolegle do kolektora (równanie ciągłości)

$$n := \text{round}\left(\frac{D \cdot v_{\text{sr_p}}}{w_p \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4}}\right)$$

$$n = 191 \quad \text{szt}$$

- ilość rur w jednym rzędzie (poprzecznie do kierunku przepływu spalin)

$$z_1 := \text{round}\left(\frac{a}{s_1} - 1\right)$$

$$z_1 = 66 \quad \text{szt}$$

- ilość rzędów rur włączonych równolegle

$$z := \frac{n}{z_1}$$

$$z = 2.89$$

przyjmuję $z := 3$

- ilość rzędów rur na drodze przepływu spalin (zgodnie z kierunkiem przepływu spalin)

$$z_2 := z \cdot n_{\text{cross}}$$

$$z_2 = 18$$

- wolny przekrój dla przepływu spalin

$$F_{\text{kanalu}} := a \cdot c$$

$$F_{\text{kanalu}} = 21.49 \quad \text{m}^2$$

$$F_w := F_{\text{kanalu}} - z_1 \cdot d_z \cdot c$$

$$F_w = 13.96 \quad \text{m}^2$$

- sprawdzenie prędkości spalin

$$w_{\text{sp}} := \frac{V_{\text{rz_sp}}(\lambda_{\text{sr}}) \cdot B_o}{F_w} \cdot \frac{\theta_{\text{sr_sp}} + 273}{273}$$

$$w_{\text{sp}} = 10.3 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- sprawdzenie prędkości pary

$$w_p := \frac{D \cdot v_{sr_p}}{\frac{\pi \cdot d_w^2}{4} \cdot z \cdot z_1}$$

$$w_p = 14.4$$

$$\frac{m}{s}$$

OBLICZENIA WYMIANY CIEPŁA

5. Obliczenia wymiany ciepła

5.1. Współczynnik wnikania ciepła po stronie spalin α_1

C_s - poprawka uwzględniająca układ podziałek

$$\sigma_1 := \frac{s_1}{d_z} \quad \sigma_2 := \frac{s_2}{d_z} \quad \sigma_2' := \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad \phi_o := \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_2' - 1} \quad \phi_o = 0.78$$

$$C_s := 0.34 \cdot \phi_o^{0.1} \quad C_s = 0.33$$

C_z - poprawka uwzględniająca liczbę rzędów rur w kierunku przepływu spalin

$$\text{dla } z_2 = 18 \text{ i } \sigma_1 = 2.8 \quad C_z := 3.12 \cdot z_2^{0.05} - 2.5 \quad C_z = 1.11$$

α_k - współczynnik wnikania ciepła dla pęczka konwekcyjnego w układzie szachownicowym omywanym poprzecznie

$$\alpha_k := C_s \cdot C_z \cdot \frac{\lambda_{sr_sp}}{d_z} \cdot Re_{sr_sp}^{0.6} \cdot Pr_{sr_sp}^{0.33} \quad \alpha_k = 96 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Alfa1s(tg,vel,r,dz,s1,s2,z2)

$$\text{Alfa1s}(\theta_{sr_sp}, w_{sp}, r_{H_2O}, d_z, s_1, s_2, z_2) = 89$$

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$t_s := t_{sr_p} + 30 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{założona temperatura ścianki rury}$$

$$s_{pWy1} := 0.9 \cdot d_z \cdot \left(\frac{s_1 \cdot s_2}{\pi \cdot d_z^2} - 1 \right)$$

$$s_{pWy1} = 0.277 \quad m$$

zastępcza grubość warstwy promieniujących spalin (wzór dla pęczka)

k - współczynnik osłabienia promieniowania

$$k_g := \left(\frac{0.78 + 1.6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{r_{RO2} \cdot s_{pWy1}}} - 0.1 \right) \cdot \left(1 - 0.37 \cdot \frac{\theta_{sr_sp} + 273}{1000} \right) \cdot r_{RO2} \quad k_g = 0.49 \quad \frac{1}{m \cdot \text{MPa}}$$

$$k_{pop} := \frac{4300 \cdot \rho_{sp}}{3 \sqrt{(\theta_{sr_sp} + 273)^2 \cdot d_{pop}^2}} \quad k_{pop} = 8.09 \quad \frac{1}{m \cdot \text{MPa}}$$

$$\mu_{pop} := \frac{A_r \cdot a_{un}}{100 \cdot G_{sp}(\lambda_{kp})} \quad \mu_{pop} = 0.01 \quad \frac{kg_{pop}}{kg_{sp}}$$

$$k := k_g + k_{pop} \cdot \mu_{pop} + k_k \quad k = 0.61 \quad \frac{1}{m \cdot \text{MPa}}$$

- emisyjność spalin

$$\varepsilon_{sp} := 1 - e^{-k \cdot s_{pwy1}}$$

$$\varepsilon_{sp} = 0.16$$

EmisGas(tg, f, s, Fuel)

$$\text{EmisGas}(\theta_{sr_sp}, \lambda_{sr}, s_{pwy1}, \text{Fuel}) = 0.15$$

α_{pr} - współczynnik wnikania ciepła przez promieniowanie dla strumienia zapylonego

$$\alpha_{pr}(\vartheta, t_s, \varepsilon_{sp}) := \begin{cases} \sigma \leftarrow 5.67 \cdot 10^{-8} \\ \varepsilon_s \leftarrow 0.8 \\ T_{sp} \leftarrow \vartheta + 273 \\ T_s \leftarrow t_s + 273 \\ \sigma \cdot \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \cdot \varepsilon_{sp} \cdot T_{sp}^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_s}{T_{sp}}\right)^4}{1 - \frac{T_s}{T_{sp}}} \end{cases}$$

Alfar(tg, tsurf, emis)

$$\text{Alfar}(\theta_{sr_sp}, t_s, \varepsilon_{sp}) = 27 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{pr}(\theta_{sr_sp}, t_s, \varepsilon_{sp}) = 28 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$\xi := 1$ stopień wykorzystania powierzchni (stopień omywania powierzchni)
dla omywanej poprzecznie = 1

$$\alpha_1 := \xi \left(\text{Alfa1s}(\theta_{sr_sp}, w_{sp}, r_{H2O}, d_z, s_1, s_2, z_2) + \text{Alfar}(\theta_{sr_sp}, t_s, \varepsilon_{sp}) \right) \quad \alpha_1 = 116 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

5.2. Współczynnik wnikania ciepła po stronie czynnika α_2

$$\alpha_2 := 0.023 \cdot \frac{\lambda_{sr_p}}{d_w} \cdot \text{Re}_{sr_p}^{0.8} \cdot \text{Pr}_{sr_p}^{0.4} \quad \alpha_2 = 2299 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Alfa2(t, p, vel, dw)

$$\text{Alfa2}(t_{sr_p}, p_{sr_p}, w_p, d_w) = 2230 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

5.3. Współczynnik przenikania ciepła k

$\psi := 0.65$ współczynnik sprawności cieplnej powierzchni konwekcyjnej, -

$\lambda_m := 40$ współczynnik przewodzenia ciepła dla stali, W/mK

$$k := \frac{\psi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_z}{2 \cdot \lambda_m} \cdot \ln\left(\frac{d_z}{d_w}\right) + \frac{d_z}{\alpha_2 \cdot d_w}} \quad k = 70 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

5.4. Logarytmiczna różnica temperatur dla przepływu krzyżującego się

dla układu przeciwwprądowego:

$$\Delta t_{\log_przeciww} := \frac{(t_{sp_PG} - t_6) - (t_{sp_PWyl} - t_5)}{\ln\left(\frac{t_{sp_PG} - t_6}{t_{sp_PWyl} - t_5}\right)} = 396 \text{ } ^\circ\text{C}$$

dtCross(n,tsp1,tsp2,t1,t2)

$$\text{dtCross}(n_{\text{cross}}, t_{sp_PG}, t_{sp_PWyl}, t_5, t_6) \cdot \text{FiCross}(n_{\text{cross}}, t_{sp_PG}, t_{sp_PWyl}, t_5, t_6) = 395 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\log} := \text{dtCross}(n_{\text{cross}}, t_{sp_PG}, t_{sp_PWyl}, t_5, t_6) \cdot \text{FiCross}(n_{\text{cross}}, t_{sp_PG}, t_{sp_PWyl}, t_5, t_6) = 395 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. Obliczeniowa powierzchnia wymiany ciepła przegrzewacza wylotowego pary

$$Q_{PWyl} = 9640 \cdot \text{kW} \text{ moc ciepła przegrzewacza wylotowego pary}$$

$$H_{PWyl_obl} := \frac{Q_{PWyl}}{k \cdot 10^{-3} \cdot \Delta t_{\log}} \quad H_{PWyl_obl} = 351 \text{ } \text{m}^2$$

Uwaga! Obliczeniowa powierzchnia wymiany ciepła nie uwzględnia naddatków związanych z pogorszeniem sprawności cieplnej na skutek zabrudzania się powierzchni podczas eksploatacji, odstępstw od wyidealizowanego sposobu opływu rur przez spaliny czy dokładności wynonania. Dlatego obliczoną powierzchnię wymiany ciepła należy zwiększyć o 30-50% (w niektórych przypadkach nawet o 100%). Tak otrzymaną wartość należy dalej traktować jako ostatecznie zaprojektowaną powierzchnię wymiany ciepła.

$$H_{PWyl_projekt} := 130\% \cdot H_{PWyl_obl} = 456 \text{ } \text{m}^2$$

7. Całkowita długość rur (bez uwzględnienia łuków)

$$L := 100$$

Given

$$H_{PWyl_projekt} = \pi \cdot d_z \cdot L$$

$$L := \text{Find}(L)$$

$$L = 4565 \text{ } \text{m}$$

Długość rur oblicza się względem średnicy od strony mniejszego 'alfa'

8. Długość jednej rury (bez uwzględnienia łuków)

$$L_r := \frac{L}{z \cdot z_1} \quad L_r = 23.1 \text{ } \text{m}$$

9. Ilość skrzyżowań czynników

$$n_{\text{cross}} := \frac{L_r}{c} \quad n_{\text{cross}} = 6.4 \text{ } \text{szt}$$

przyjęta i podstawiona na początek obliczeń $n_{\text{cross}} := 6 \text{ } \text{szt}$

10. Długość wymiennika w kierunku przepływu spalin

$$l := s_2 \cdot z \cdot n_{\text{cross}} \quad l = 1.72 \text{ } \text{m}$$