

Przenoszenie ciepła

Lista nr 2

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) Krytyczna średnica izolacji rury

$$d_{kr} = \frac{2\lambda_{iz}}{\alpha} \quad (1)$$

gdzie:

λ_{iz} współczynnik przewodzenia materiału izolacji, W/(m K)

α współczynnik wnikania ciepła po stronie izolacji, W/(m² K)

- 2) Krytyczna średnica izolacji kuli

$$d_{kr} = \frac{4\lambda_{iz}}{\alpha} \quad (2)$$

- 3) Współczynnik przewodzenia ciepła zależny liniowo od temperatury

$$\lambda(t) = \lambda_0(1 + bt) \quad (3)$$

gdzie:

λ_0 współczynnik przewodzenia materiału w temperaturze 0°C, W/(m K)

b współczynnik wyznaczany doświadczalnie lub brany z tablic

- 4) Średni współczynnik przewodzenia ciepła w zakresie temperatur $t_{w1} \div t_{w2}$, gdy $\lambda(t)$ dane jest wzorem (3)

$$\lambda_m = \frac{\lambda(t_{w1}) + \lambda(t_{w2})}{2} = \lambda_0 \left(1 + b \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \right) \quad (4)$$

- 5) Gęstość strumienia ciepła przez przegrodę płaską, gdy $\lambda(t)$ dane jest wzorem (3)

$$q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{\delta}{\lambda_m}} \quad (5)$$

- 6) Rozkład temperatury w ścianie płaskiej, gdy $\lambda(t)$ dane jest wzorem (3)

$$t(x) = \frac{1}{b} \left[\sqrt{\left(\frac{\lambda(t_{w1})}{\lambda_0} \right)^2 - \frac{2b\dot{q}}{\lambda_0} x} - 1 \right] \quad (6)$$

Krzywa jest wypukła, gdy $b > 0$, wklęsła dla $b < 0$.

- 7) Rozkład temperatury w ścianie cylindrycznej, gdy $\lambda(t)$ dane jest wzorem (3)

$$t(x) = \frac{1}{b} \left[\sqrt{\left(\frac{\lambda(t_{w1})}{\lambda_0} \right)^2 - \frac{b\dot{q}_L}{\pi\lambda_0} \ln \frac{r}{r_w}} - 1 \right] \quad (7)$$

ZADANIA

Zad. 1. (1 punkt) Obliczyć gęstość liniową q_L strumienia strat ciepła do otoczenia i temperatury T_{w1} , T_{w2} ścian rurociągu $d_w/d_z = 250/280$ mm przesyłającego gorącą wodę o temperaturze $T_1 = 373$ K. Temperatura otoczenia wynosi $T_2 = 283$ K, współczynniki przewodzenia ciepła materiału rury $\lambda_1 = 40$ W/(m K), wnikania ciepła od wody do rury $\alpha_1 = 1000$ W/(m² K) oraz przejmowania ciepła od rury do powietrza $\alpha_2 = 10$ W/(m² K). Określić również gęstość liniową strumienia ciepła q_L i wszystkie temperatury powierzchni ścian rurociągu zaizolowanego izolacją o grubości $\delta_{iz} = 120$ mm o współczynniku $\lambda_{iz} = 0,12$ W/(m K) (α_2 nie ulega zmianie). **Odp: $q_L = 780$ W/m, $T_{w1} = 372$ K, $T_{w2} = 371,7$ K, $q_L = 101,8$ W/m, $T_{w1'} = T_{w2'} = 372,9$ K, $T_{w3'} = 289,2$ K.**

Zad. 2. (1 punkt) Naczynie szklane w kształcie kuli o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_1 = 0,6$ W/(m K) jest zaizolowane warstwą izolacji o współczynniku $\lambda_2 = 0,1$ W/(m K). Kula ma promień wewnętrzny $r_1 = 250$ mm, grubość ścianki naczynia $\delta_1 = 3$ mm, grubość izolacji $\delta_2 = 37$ mm. Wewnątrz naczynia znajduje się ciecz o temperaturze $T_1 = 453$ K. Temperatura otoczenia wynosi $T_2 = 298$ K, współczynniki przejmowania ciepła wynoszą odpowiednio $\alpha_1 = 150$ W/(m² K), $\alpha_2 = 8$ W/(m² K). Obliczyć: a) moc grzejnika, jaki należy umieścić wewnątrz naczynia, b) temperaturę T_{w2} na granicy szkła i izolacji, c) gęstość strumienia ciepła q_3 na zewnętrznej powierzchni izolacji. **Odp: a) $N = 290$ W, b) $T_{w2} = 448,7$ K, c) $q_3 = 274,4$ W/m²**

Zad. 3. (2,5 punktu) Przewodem o średnicy $d = 2$ mm, znajdującym się w otoczeniu o temperaturze $T_0 = 286$ K przepływa prąd elektryczny. Temperatura powierzchni przewodu wynosi $T_{w1} = 358$ K a współczynnik przejmowania ciepła $\alpha = 20$ W/(m² K). Wyznaczyć grubość izolacji δ_{iz} z kauczuku ($\lambda_{iz} = 0,145$ W/(m K)) umożliwiającej obciążenie przewodu maksymalnym prądem I_{max} , przy nieziennej temperaturze przewodu T_{w1} . Ile razy prąd maksymalny jest większy od prądu przepływającego przez przewód nieizolowany? Przyjmując, że współczynnik przejmowania ciepła po nałożeniu izolacji wynosi $\alpha' = 10$ W/(m² K). **Odp: $\delta_{iz} = 13,5$ mm, $I_{max}/I = 1,4$.**

Zad. 4. (1 punkt) Rurociągiem o średnicach $d_w/d_z = 90/100$ mm płynie ciepły olej. Rurociąg ten pokryto warstwą izolacji o grubości $\delta_{iz} = 100$ mm. Współczynniki przewodzenia ciepła materiału rury i izolacji wynoszą odpowiednio $\lambda_1 = 40$ W/(m K), $\lambda_{iz} = 1,16$ W/(m K). Średnia temperatura oleju $T_1 = 438$ K, temperatura otoczenia $T_2 = 285$ K. Współczynnik wnikania ciepła od oleju do rury $\alpha_1 = 120$ W/(m² K) i przejmowania ciepła od izolacji do powietrza $\alpha_2 = 10$ W/(m² K). Określić gęstość liniową strumienia ciepła q_L dla rurociągu gołego i pokrytego izolacją q_L . Ile powinien wynosić współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego, by pokryty nim rurociąg cechował się stratami ciepła nie większymi niż goły? **Odp: $q_L = 439,38$ W/m, $q_L = 533,6$ W/m, $\lambda_{iz} \leq 0,8239$ W/(m K).**

Zad. 5. (2 punkty) Podczas remontu komory spalania kotła pomiędzy cegłą szamotową a cegłą czerwoną wstawiono warstwę izolacji o grubości δ_x . Jaka powinna być jej grubość, aby strumień ciepła przewodzony przez ścianę wynosił $q = 952$ W/m², a temperatury powierzchni zewnętrznych wynosiły odpowiednio $T_{w1} = 1473$ K, $T_{w4} = 313$ K. Współczynniki przewodzenia ciepła poszczególnych warstw wynoszą odpowiednio: $\lambda_1 = (0,3 + 0,00021 T_w)$ W/(m K), $\lambda_{iz} = (0,12 + 0,00021 T_w)$ W/(m K), $\lambda_3 = 0,65$ W/(m K). Obliczyć również temperatury T_{w2} , T_{w3} na styku poszczególnych warstw. Grubość warstw z cegły szamotowej i czerwonej wynoszą odpowiednio $\delta_1 = 0,2$ m i $\delta_3 = 0,3$ m. **Odp: $\delta_x = 0,130$ m, $T_{w2} = 1141,60$ K, $T_{w3} = 752,38$ K.**

Zad. 6. (1,5 punktu) Płaska ściana pieca grzejnego wykonana jest z trzech warstw: cegły szamotowej o grubości $\delta_1 = 0,25$ m, cegły izolacyjnej ($\delta_2 = 0,2$ m) oraz cegły czerwonej ($\delta_3 = 0,2$ m). Współczynniki przewodzenia ciepła wynoszą odpowiednio: $\lambda_1 = 0,84(1 + 0,0007 t_w)$ W/(m K), $\lambda_2 = 0,15$ W/(m K), $\lambda_3 = 0,7$ W/(m K). Temperatury powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej pieca mają wartości $T_{w1} = 1373$ K, $T_{w4} = 323$ K. Obliczyć gęstość strumienia ciepła q oraz temperatury na granicach warstw T_{w2} , T_{w3} . **Odp: $q = 586,28$ W/m², $T_{w2} = 1272,2$ K, $T_{w3} = 490,5$ K.**

Zad. 7. (1,5 punktu) Obmurze pieca wykonane jest z warstwy cegły szamotowej o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,84(1 + 0,000695 T_w)$ W/(m K). Grubość obmurza wynosi $\delta = 0,25$ m. Określić gęstość strumienia ciepła q przenikającego przez ściankę pieca i temperatury na powierzchniach ściany, jeżeli temperatura gazów w piecu wynosi $T_1 = 1473$ K a temperatura powietrza w pomieszczeniu $T_2 = 303$ K. Współczynnik wnikania ciepła od gazów do ściany wynosi $\alpha_1 = 30$ W/(m² K) a współczynnik przejmowania ciepła od ściany do powietrza $\alpha_2 = 10$ W/(m² K). **Odp: $q = 3800$ W/ m².**

Zad. 8. (1 punkt) Straty ciepła z powierzchni pieca do otoczenia wynoszą $Q_{str} = 18000$ W. Grubość ścianki pieca $\delta = 0,4$ m, powierzchnia ścian pieca $A = 8$ m². Obliczyć temperaturę zewnętrznej powierzchni pieca T_{w2} jeśli temperatura powierzchni wewnętrznej wynosi $T_{w1} = 1273$ K a współczynnik przewodzenia ciepła materiału, z którego wykonano piec wynosi $\lambda = 4,66 + 0,00596 T_w$. **Odp: $T_{w2} = 1186$ K.**