

Przenoszenie ciepła

Lista nr 5

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) Współczynnik temperaturowy m żebra

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda\delta}} \quad (1)$$

gdzie:

δ grubość żebra, m

- 2) Strumień ciepła oddawany przez pojedyncze żebro

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\max} \varepsilon_z = \alpha A_{pz} (T_0 - T_{ot}) \varepsilon_z \quad (2)$$

gdzie:

ε_z sprawność żebra

A_{pz} pole powierzchni żebra, m²

T_0 temperatura u nasady żebra, K

T_{ot} temperatura otoczenia, K

- 3) Żebro prostokątne proste

Dla żeber prostokątnych prostych możemy stosować wzory dla prętów. Należy wtedy za L (długość pręta) podstawiać wysokość żebra, którą zwykle oznaczamy jako h .

- 4) Rozkład nadwyżki temperatury wzdłuż żebra okrągłego o stałej grubości

$$\vartheta = \vartheta_0 \frac{I_0(mr)K_1(mr_z) + I_1(mr_z)K_0(mr)}{I_0(mr_w)K_1(mr_z) + I_1(mr_z)K_0(mr_w)} \quad (3)$$

gdzie:

ϑ_0 nadwyżka temperatury u nasady żebra, °C

r dowolny promień żebra ($r_w \leq r \leq r_z$), m

r_w promień wewnętrzny żebra, m

r_z promień zewnętrzny żebra, m

$I(mr)$ zmodyfikowana funkcja Bessela pierwszego rodzaju (tab. 1)

$K(mr)$ zmodyfikowana funkcja Bessela drugiego rodzaju (tab. 1)

- 5) Strumień ciepła przepływający przez podstawę żebra okrągłego o stałej grubości

$$\dot{Q}_0 = 2\pi r_w \lambda \delta m \vartheta_0 \psi \quad (4)$$

gdzie parametr ψ dany jest wzorem

$$\psi = \frac{I_1(mr_z)K_1(mr_w) - I_1(mr_w)K_1(mr_z)}{I_0(mr_w)K_1(mr_z) + I_1(mr_z)K_0(mr_w)} \quad (5)$$

lub można go odczytać z rys. 1.

6) Sprawność żebra prostokątnego prostego o wysokości L

$$\varepsilon_{zp} = \frac{\text{th}(mL)}{mL} \quad (6)$$

7) Sprawność żebra okrągłego o stałej grubości

$$\varepsilon_{zo} = \frac{2\psi}{(1+\rho)mL_o} \quad (7)$$

$$\rho = r_z / r_w \quad (8)$$

$$L_o = r_z - r_w \quad (9)$$

8) Strumień ciepła przenikający przez ściankę ożebrowaną

$$\dot{Q} = A \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\varphi \varepsilon_{oz} \alpha_2}} \quad (10)$$

9) Współczynnik ożebrowania równy φ

$$\varphi = \frac{A_{oz}}{A} \quad (11)$$

gdzie

A_{oz} pole powierzchni ożebrowania (powierzchnia żeber A_{pz} + powierzchnia międzyżebrowa), m^2

A pole powierzchni ściany gładkiej, m^2

10) Sprawność ożebrowania ε_{oz}

$$\varepsilon_{oz} = 1 - \frac{A_{pz}}{A_{oz}} (1 - \varepsilon_z) \quad (12)$$

ZADANIA

1. (0,5 punktu) Ile ciepła odpływa do powietrza przez proste stalowe żebro ($\lambda = 46,5 \text{ W}/(\text{m K})$) o długości $L = 2 \text{ m}$, wysokości $h = 60 \text{ mm}$ i grubości $\delta = 4 \text{ mm}$, jeżeli przez pomiar temperatury wykazano, że temperatura u nasady żebra wynosi $T_0 = 473 \text{ K}$, a na jego końcu $T_L = 369,5 \text{ K}$. Temperatura otoczenia $T_{ot} = 293 \text{ K}$, współczynnik wnikania ciepła $\alpha = 47 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. **Odp: 1366,7 W.**

2. (1 punkt) W celu intensyfikacji chłodzenia płaskiej ściany stalowej / $\lambda = 50 \text{ W}/(\text{m K})$ /, pokryto ją żebrami prostokątnymi o grubości $\delta = 10 \text{ mm}$, wysokości $h = 150 \text{ mm}$ i podziałce $s = 30 \text{ mm}$. Przyjąć: współczynnik przejmowania ciepła $\alpha = 120 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, temperatura ścianki $T_2 = 773 \text{ K}$, a otoczenia $T_{ot} = 298 \text{ K}$. Obliczyć gęstość strumienia ciepła q przekazanego przez ściankę. **Odp: $q = 213,22 \text{ kW}/\text{m}^2$.**

3. (1,5 punktu) W celu zmniejszenia oporu przenikania ciepła przez płaską ściankę, po stronie mniejszego współczynnika α zastosowano płaskie żebra o grubości $\delta = 5 \text{ mm}$, wysokości $h = 40 \text{ mm}$ i podziałce $s = 15 \text{ mm}$. Zakładając, że współczynniki $\alpha_1 = 120 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, $\alpha_2 = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, $\lambda = 320 \text{ W}/(\text{m K})$ oraz grubość ścianki $\delta_s = 20 \text{ mm}$, obliczyć: a) ile razy zmniejszy się opór cieplny ścianki po nałożeniu żeber, b) gęstość strumienia ciepła q oraz temperaturę ścianki T_{w2} w obu przypadkach, gdy temperatury płynów po obu stronach ścianki wynoszą $T_1 = 523 \text{ K}$, T_2

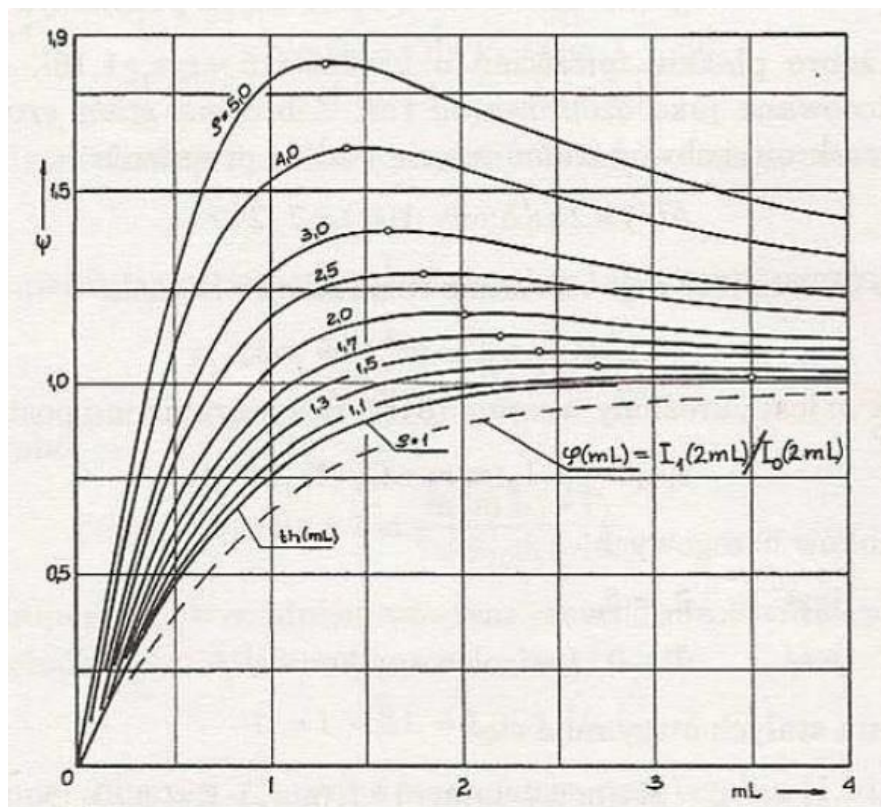
= 298 K. **Odp: a) $R1/R2 = 3,6$, b) $T_{w2} = 490K$, $T_{w2}' = 408K$, $q_{gt} = 3,8 \text{ kW/m}^2$, $q_{oz} = 13,7 \text{ kW/m}^2$.**

4. (2 punkty) Grzejnik powietrza wykonano w postaci pionowej rury żeliwnej $\lambda = 55 \text{ W/(m K)}$ o średnicy zewnętrznej $d_z = 60 \text{ mm}$ i wysokości $h = 1,2 \text{ m}$, posiadającej na obwodzie okrągłe żebra płaskie. Średnica zewnętrzna żebra $D = 160 \text{ mm}$, jego grubość $\delta = 3 \text{ mm}$ podziałka $s = 9,4 \text{ mm}$. Temperatura otoczenia wynosi $T_{ot} = 293K$, a powierzchni rury / podstawy żebra / $T_2 = 353 \text{ K}$. Współczynniki przejmowania ciepła dla rury gładkiej i ożebrowanej wynoszą odpowiednio $\alpha_1 = 10 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, $\alpha_2 = 7 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Obliczyć strumień ciepła Q_{gt} przekazany przez rurę gładką i ożebrowaną Q_{oz} oraz rzeczywiste i efektywne zwiększenie powierzchni na skutek ożebrowania. **Odp: $Q_{gt} = 135,7 \text{ W}$, $Q_{oz} = 1830 \text{ W}$, $A_{oz}/A_1 = 21$, $Q_{oz}/Q_1 = 13,5$.**

5. (2 punkty) Podgrzewacz wody w kotle wykonany jest z rur żeliwnych ($\lambda = 52,4 \text{ W/(m K)}$) o średnicach $d_w/d_z = 64/76 \text{ mm}$ i długości $L = 3 \text{ m}$. Rury ożebrowane są żebrami okrągłymi o średnicy zewnętrznej $D = 200 \text{ mm}$ i grubości $\delta = 5 \text{ mm}$. Obliczyć strumień ciepła Q przejmowany przez zewnętrzną powierzchnię rury od spalin o temperaturze $T_2 = 673 \text{ K}$, jeżeli temperatura tej powierzchni wynosi $T_2 = 453 \text{ K}$, a współczynnik przejmowania ciepła $\alpha = 46,2 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Przyjąć, że na długości L znajduje się $n = 150$ żeber. **Odp: $Q = 56,2 \text{ kW}$.**

Tab. 1. Wartości tablicowe zmodyfikowanych funkcji Bessela pierwszego i drugiego rodzaju [1]

x	$I_0(x)$	$K_0(x)$	$I_1(x)$	$K_1(x)$
0,0	1,000	∞	0	∞
0,1	1,003	2,447	0,050	9,854
0,2	1,010	1,753	0,101	4,776
0,3	1,023	1,373	0,152	3,056
0,4	1,040	1,115	0,204	2,184
0,5	1,064	0,924	0,258	1,656
0,6	1,092	0,775	0,314	1,303
0,7	1,126	0,661	0,372	1,050
0,8	1,166	0,565	0,433	0,862
0,9	1,213	0,487	0,497	0,717
1,0	1,266	0,421	0,565	0,602
1,2	1,394	0,318	0,715	0,435
1,4	1,553	0,244	0,886	0,320
1,6	1,750	0,188	1,085	0,241
1,8	1,989	0,159	1,317	0,183
2,0	2,279	0,114	1,591	0,140
2,5	3,289	0,062	2,517	0,0739
3,0	4,881	0,0347	3,395	0,0402
3,5	7,378	0,0196	6,206	0,0222
4,0	11,302	0,0112	9,759	0,0125
4,5	17,481	0,0064	15,389	0,00708
5,0	27,240	0,0037	24,336	0,00404



Rys. 1. Wartości parametru pomocniczego ψ [1]

Literatura:

- [1] E. Kostowski: Zbiór zadań z przepływu ciepła, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.