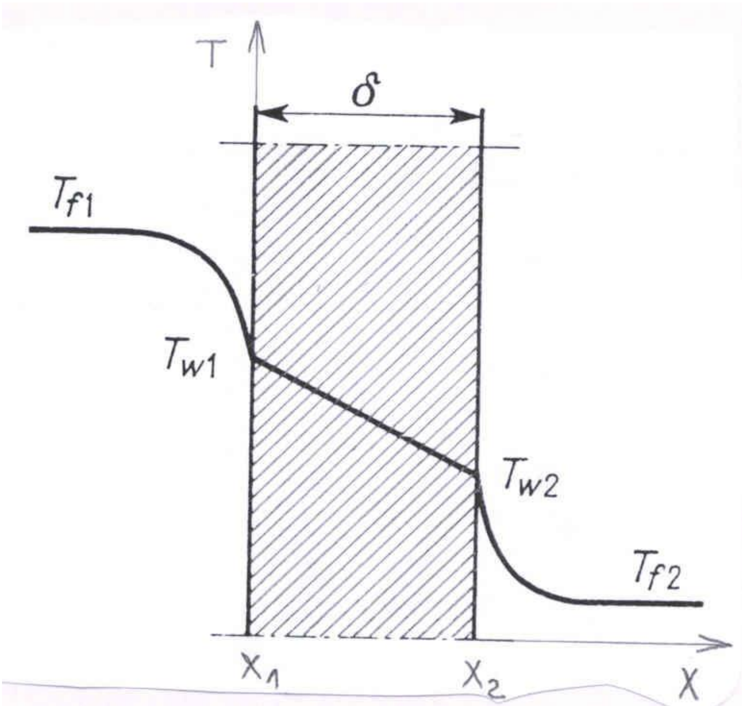
PRZENIKANIE CIEPŁA

1. Przenikanie ciepła przez ściankę płaską



Transport ciepła od płynu gorącego do płynu zimnego przez ściankę oddzielającą te płyny nazywany jest *przenikaniem* ciepła. Strumień ciepła przenikającego przez ściankę można wyznaczyć z empirycznego równania *Pecleta*

$$Q = Ak\left(T_{f1} - T_{f2}\right) \quad [\mathrm{W}] \tag{1.1}$$

gdzie:

A jest powierzchnią wymiany ciepła w m^2

k jest współczynnikiem przenikania ciepła odniesionym do powierzchni A, w W/(m^2·K)

Gęstość strumienia przenikającego ciepła, q, jest równa

$$q = \frac{Q}{A} \quad \left[\frac{W}{m^2}\right] \tag{1.2}$$

Wyznaczymy teraz zależność na współczynnik przenikania ciepła dla ścianki płaskiej. Wnikanie ciepła do ścianki

$$q = \alpha_1 \left(T_{f1} - T_{w1} \right) \tag{1.3}$$

Przewodzenie ciepła przez ściankę o grubości δ

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \left(T_{w1} - T_{w2} \right) \tag{1.4}$$

Wnikanie ciepła do płynu

$$q = \alpha_2 \left(T_{w2} - T_{f2} \right) \tag{1.5}$$

Z (1.3)

$$T_{f1} - T_{w1} = \frac{q}{\alpha_1} \tag{1.6}$$

Z (1.4)

$$T_{w1} - T_{w2} = \frac{q\delta}{\lambda} \tag{1.7}$$

Z (1.5)

$$T_{w2} - T_{f2} = \frac{q}{\alpha_2} \tag{1.8}$$

Równania (1.6) - (1.8) sumujemy stronami

$$T_{f1} - T_{f2} = q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \tag{1.9}$$

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \left(T_{f1} - T_{f2} \right) \tag{1.10}$$

Z porównania (1.10) z (1.1) otrzymujemy

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{1.11}$$

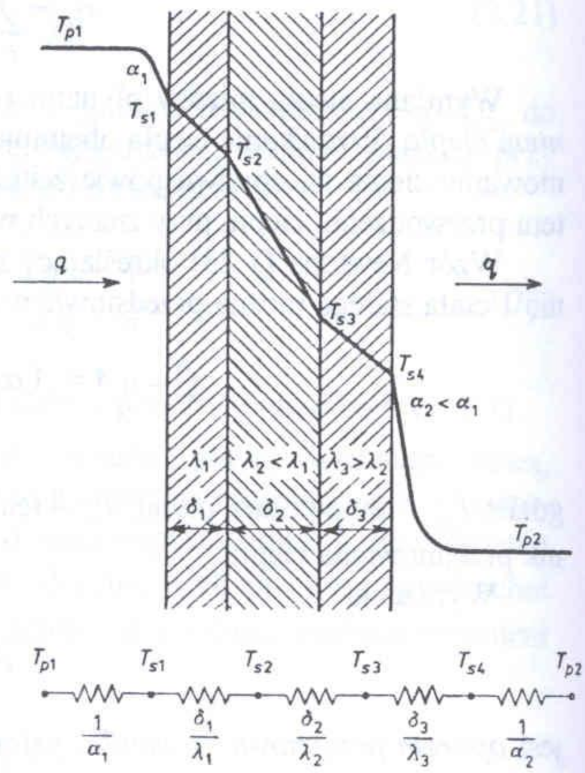
Stąd

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \qquad (1.12)$$

Równanie (1.12) można przedstawić w postaci

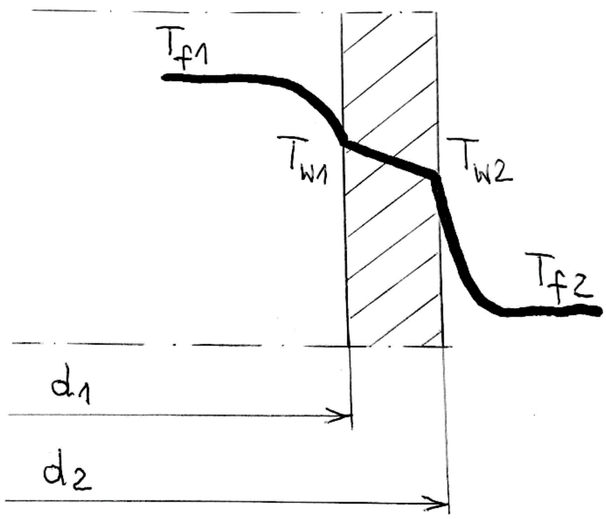
$$R_k = R_{\alpha 1} + R_{\lambda} + R_{\alpha 2} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right] \qquad (1.13)$$

gdzie: R_k jest oporem przenikania ciepła, R_α oporem wnikania ciepła, a R_λ oporem przewodzenia ciepła.



Rys. 2.3. Przenikanie ciepła przez ściankę płaską wielowarstwową

2. Przenikanie ciepła przez ściankę cylindryczną



Założenia: $d_2 > d_1$, $T_{f1} > T_{f2}$

Wnikanie ciepła do ścianki

$$Q = A\alpha_1\left(T_{f1} - T_{w1}\right) = \pi d_1 l \alpha_1\left(T_{f1} - T_{w1}\right) \tag{2.1}$$

Przewodzenie ciepła przez ściankę

$$Q = \frac{2\pi l \lambda}{\ln\dfrac{d_2}{d_1}}\left(T_{w1} - T_{w2}\right) \tag{2.2}$$

Wnikanie ciepła do płynu

$$Q = \pi d_2 l \alpha_2\left(T_{w2} - T_{f2}\right) \tag{2.3}$$

Z równań (2.1) - (2.3) wyznaczamy różnice temperatur

$$T_{f1} - T_{w1} = \frac{Q}{\pi d_1 l \alpha_1} \tag{2.4}$$

$$T_{w1} - T_{w2} = \frac{Q\ln\dfrac{d_2}{d_1}}{2\pi l \lambda} \tag{2.5}$$

$$T_{w2} - T_{f2} = \frac{Q}{\pi d_2 l \alpha_2} \tag{2.6}$$

Po zsumowaniu równań (2.4) - (2.6) otrzymujemy

$$T_{f1} - T_{f2} = \frac{Q}{\pi l}\left(\frac{1}{d_1\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{d_2\alpha_2}\right) \tag{2.7}$$

$$Q = \frac{\pi l\left(T_{f1} - T_{f2}\right)}{\frac{1}{d_1\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{d_2\alpha_2}} \tag{2.8}$$

Strumień ciepła dla jednostkowej długości rury

$$q_l = \frac{Q}{l} = \pi k_l\left(T_{f1} - T_{f2}\right) \quad \left[W/m\right] \tag{2.9}$$

gdzie $k_l \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$ jest liniowym współczynnikiem przenikania

ciepła

$$\frac{1}{k_l} = \frac{1}{d_1\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{d_2\alpha_2} \tag{2.10}$$

Liniowy opór przenikania ciepła

$$R_{kl} = \frac{1}{k_l} \quad \left[\frac{m \cdot K}{W}\right] \tag{2.11}$$

Licznik i mianownik prawej strony równania (2.8) mnożymy przez zewnętrzną średnicę rury d_2

$$Q = \frac{\pi d_2 l\left(T_{f1} - T_{f2}\right)}{\frac{d_2}{d_1\alpha_1} + \frac{d_2}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{2.12}$$

$$Q = A_z k_z \Delta T \tag{2.13}$$

Z porównania równań (2.12) i (2.13) otrzymujemy

$$\frac{1}{k_z} = \frac{d_2}{d_1\alpha_1} + \frac{d_2}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2} \tag{2.14}$$

k_z jest powierzchniowym współczynnikiem przenikania ciepła odniesionym do zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła A_z.

$$A_z = \pi d_2 l \tag{2.15}$$

Z porównania wzorów (2.10) oraz (2.14) wynika, że

$$k_z = \frac{k_l}{d_2} \tag{2.16}$$