

Wymiana ciepła budynku z otoczeniem

Wymiana ciepła jest procesem złożonym, a pole temperatury zmienia się w czasie (t). Mówimy wówczas, że przepływ ciepła jest nieustalony (bądź niestacjonarny). Zmienia się on także w przestrzeni (x, y, z). W praktyce, dla uproszczenia zagadnienia, możemy skomplikowane matematycznie zadania przepływu ciepła przez przegrody budynku rozwiązywać przy założeniu ustalonego (stacjonarnego) w czasie przepływu ciepła (rozważania poniżej).

Z wymianą ciepła związane są następujące podstawowe pojęcia:

Strumień ciepła – ciepło odniesione do jednostki czasu

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad [J \cdot s^{-1}] = [W]$$

gdzie:

- Q – ilość ciepła, J
- t – czas wymiany ciepła, s

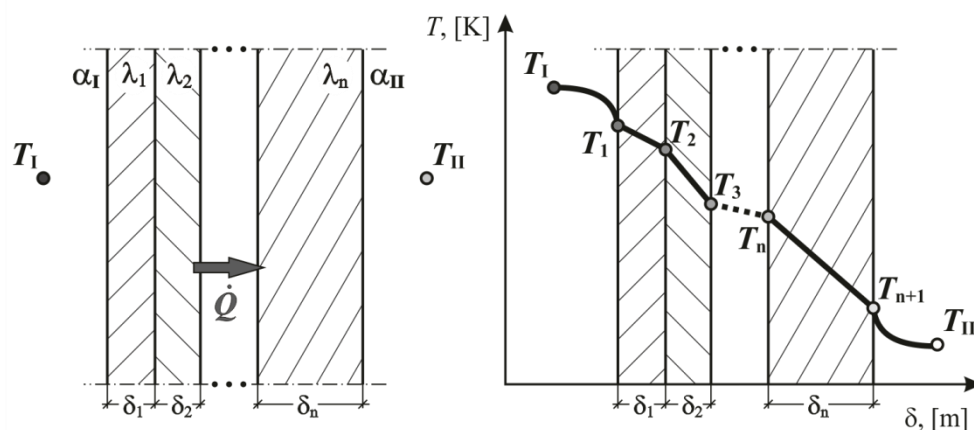
Gęstość strumienia ciepła (natężenie strumienia ciepła) – strumień ciepła odniesiony do powierzchni

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

gdzie:

- \dot{Q} – strumień ciepła, W
- S – powierzchnia wymiany ciepła, m^2

Proces przenikania ciepła przez przegrody złożony jest z przyjmowania ciepła (przez konwekcję i promieniowanie) na powierzchni przegrody oraz przewodzenia ciepła przez tę przegrodę (rys. 1).



Rys.1. Przenikanie ciepła przez przegrodę wielowarstwową.

W przypadku przenikania ciepła przez przegrodę do otoczenia (powietrza, gruntu) strumień ciepła jest wprost proporcjonalny do różnicy temperatur po obu stronach przegrody oraz pola powierzchni wymiany ciepła. Współczynnikiem proporcjonalności jest **współczynnik przenikania ciepła (U)**, który jest odwrotnością oporu przenikania ciepła. Stanowi on ważną informacją o stopniu ochrony cieplnej budynku. Im jego wartość jest mniejsza, tym budynek traci mniej ciepła do otoczenia. Budynki pasywne i niskoenergetyczne projektuje się tak, aby jego wartość nie przekraczała $0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Wzór na strumień ciepła przenikający przez przegrodę wielowarstwową (rys.1) w warunkach ustalonego przepływu ciepła w jednym kierunku przyjmuje postać:

$$\dot{Q} = \frac{T_I - T_{II}}{\frac{1}{\alpha_I} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{II}}} \cdot S = \frac{T_I - T_{II}}{R_I + \sum_{i=1}^n R_i + R_{II}} \cdot S = (T_I - T_{II}) \cdot U \cdot S \quad [W]$$

gdzie:

oznaczenia jak na rys. 1

- T_I – temperatura po wewnętrznej (cieplejszej) stronie przegrody, K,
- T_{II} – temperatura po zewnętrznej (chłodniejszej) stronie przegrody, K,
- δ_i – grubość i-tej warstwy przegrody, m,
- λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła i-tej warstwy przegrody, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$,
- α_I – współczynnik przejmowania ciepła po wewnętrznej stronie przegrody, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$,
- α_{II} – współczynnik przejmowania ciepła po zewnętrznej stronie przegrody, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$,
- R_I – opór przejmowania ciepła po wewnętrznej stronie przegrody, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$,
- R_{II} – opór przejmowania ciepła po zewnętrznej stronie przegrody, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$,
- R_i – opór przewodzenia ciepła, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
- U – współczynnik przenikania ciepła, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
- S – powierzchnia przegrody, m^2

Zadanie

Ściana zewnętrzna budynku mieszkalnego zbudowana jest cegły pełnej o grubości $\delta_1 = 25$ cm oraz warstwy izolacji termicznej ze styropianu o grubości $\delta_2 = 15$ cm. Współczynniki przewodzenia ciepła wynoszą odpowiednio: $\lambda_1 = 0,7$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, $\lambda_2 = 0,05$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Obliczyć ilość ciepła wymienianego przez 75 m^2 tej przegrody w czasie $t = 240$ godzin, przy założeniu temperatur powietrza po obu stronach tej przegrody wynoszących odpowiednio: $T_I = 20^\circ C$, $T_{II} = -5^\circ C$. Opory przejmowania ciepła wynoszą odpowiednio: $R_I = 0,13$ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$, $R_{II} = 0,04$ $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$. Obliczenia należy wykonać przy założeniu ustalonego przepływu ciepła.

Rozwiązanie

Współczynnik przenikania ciepła U ściany wynosi:

$$U = \frac{1}{R_I + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_{II}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,25}{0,70} + \frac{0,15}{0,05} + 0,04} = 0,28 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}$$

Ilość ciepła Q wymienianego przez tę przegrodę wynosi:

$$Q = (T_I - T_{II}) \cdot U \cdot S \cdot t = [20 - (-5)] \cdot 0,28 \cdot 75 \cdot 240 = 126\,000 \text{ Wh} = 126 \text{ kWh}$$

Opracowanie:

Dr inż. Anna Staszczuk