

## Magazynowanie ciepła w przegrodach budynku

Jednym ze sposobów magazynowania energii termicznej jest wykorzystanie pojemności cieplnej materiałów budowlanych, z których wykonane są przegrody budynku: ściany, stropy, podłoga itd. Jest to sposób jawny magazynowania ciepła, związany ze zmianą temperatury materiału podczas magazynowania i uwalniania ciepła. Pojemność cieplna przegrody stanowi bardzo ważną informację dla inżyniera z punktu widzenia ochrony cieplnej budynków i efektywności energetycznej. Posługiwanie się jedynie współczynnikiem przenikania ciepła jest niewystarczające, bowiem nie dostarcza żadnej informacji o możliwości odzysku ciepła z masy.

**Ciepło właściwe** jest cechą danej substancji i oznacza ilość ciepła, którą należy dostarczyć do 1kg tej substancji, by ogrzać ją o 1 stopień. Ciepło właściwe oznaczamy symbolem  $c$ .

Ma ono wymiar  $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ .

**Pojemność cieplna**  $C$  jest związana z ciepłem właściwym prostą zależnością:

$$C = c \cdot m \quad [J \cdot K^{-1}]$$

gdzie:

$m$  – masa, kg

$c$  – ciepło właściwe,  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

W przypadku przegród budowlanych obliczamy ich wewnętrzną pojemność cieplną, uwzględniając głębokość akumulacji ciepła do pierwszej warstwy izolacji termicznej.

Warstwa izolacyjna ze względu na swoją niewielką pojemność cieplną i bardzo niski współczynnik przewodzenia ciepła skutecznie ogranicza migrację i akumulację ciepła.

**Ilość ciepła  $Q$  zakumulowaną w jednorodnej warstwie przegrody** obliczamy ze wzoru [1]:

$$Q = C \cdot \bar{T} = c \cdot m \cdot \bar{T} = V \cdot \rho \cdot c \cdot \bar{T} = S \cdot \delta \cdot \rho \cdot c \cdot \bar{T} \quad [J]$$

gdzie:

$m$  – masa przegrody lub warstwy, kg

$S$  – powierzchnia przegrody,  $m^2$

$V$  – objętość materiału przegrody lub warstwy,  $m^3$

$\rho$  – gęstość materiału przegrody lub warstwy,  $kg \cdot m^{-3}$

$c$  – ciepło właściwe materiału,  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

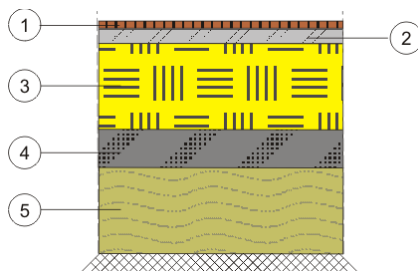
$C$  – pojemność cieplna przegrody lub warstwy,  $J \cdot K^{-1}$

$\delta$  – grubość przegrody lub warstwy, m

$\bar{T}$  – średnia temperatura przegrody lub warstwy, K

### Zadanie 1.

Obliczyć wewnętrzną pojemność cieplną  $1m^2$  podłogi na gruncie jak na rysunku poniżej i zbudowanej z materiałów o parametrach fizycznych podanych w tabeli. Obliczyć także pojemności cieplne poszczególnych warstw podłogi, traktując je jako warstwy niezależne. Wskazać, która z tych warstw charakteryzuje się największą pojemnością cieplną, a która najmniejszą.



Nr warstwy	Materiał	$\delta$ [m]	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	$c$ [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
1	Wykładzina	0,01	200	1300
2	Jastrych	0,05	1800	1000
3	Styropian	0,30	50	1450
4	Beton	0,15	2400	1000
5	Podsypka piaskowa	0,25	1650	840

### **Rozwiązanie**

Pojemności cieplne poszczególnych warstw podłogi na gruncie wynoszą:

$$C_1 = S \cdot \delta_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 = 1 \cdot 0,01 \cdot 200 \cdot 1300 = 2600 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_2 = S \cdot \delta_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 = 1 \cdot 0,05 \cdot 1800 \cdot 1000 = 90\,000 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_3 = S \cdot \delta_3 \cdot \rho_3 \cdot c_3 = 1 \cdot 0,30 \cdot 50 \cdot 1450 = 21\,750 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_4 = S \cdot \delta_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4 = 1 \cdot 0,15 \cdot 2400 \cdot 1000 = 360\,000 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_5 = S \cdot \delta_5 \cdot \rho_5 \cdot c_5 = 1 \cdot 0,25 \cdot 1650 \cdot 840 = 346\,500 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

*Najmniejszą pojemnością cieplną* charakteryzuje się wykładzina podłogowa, ponieważ ma bardzo małą masę i niewielką gęstość. Bardzo małą pojemność cieplną posiada także warstwa izolacji termicznej ze styropianu, jednak znaczna jej grubość (w stosunku do wierzchniej warstwy podłogi) zwiększa masę, a co za tym idzie także jej pojemność cieplną.

*Największą pojemność cieplną* posiada ciężka warstwa betonowej płyty podłogowej.

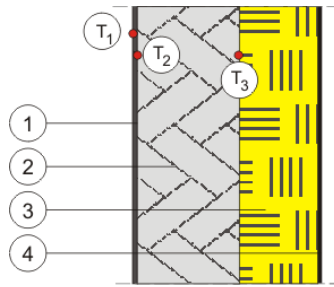
Wewnętrzną pojemność cieplną podłogi na gruncie z uwagi na głębokość akumulacji ciepła wyznaczamy do warstwy izolacji termicznej, a więc z uwzględnieniem dwóch pierwszych wewnętrznych warstw podłogi – 1 i 2, a zatem:

$$C = C_1 + C_2 = S \cdot \delta_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 + S \cdot \delta_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2$$

$$C = 1 \cdot 0,01 \cdot 200 \cdot 1300 + 1 \cdot 0,05 \cdot 1800 \cdot 1000 = 92\,600 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cong 93 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$$

### **Zadanie 2.**

Obliczyć ilość ciepła zakumulowanego w 1m<sup>2</sup> ściany zewnętrznej jak na rysunku poniżej. Poszczególne warstwy ściany zbudowane są z materiałów o parametrach fizycznych podanych w tabeli.



Nr warstwy	Materiał	$\delta$ [m]	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	$c$ [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
1	Tynk gipsowy	0,015	730	840
2	Cegła ceramiczna pełna	0,38	1800	840
3	Styropian	0,18	20	1460
4	Tynk mineralny cienkowarstwowy	0,005	1800	840

Temperatury w przegrodzie wynoszą odpowiednio:  $T_1 = 19,05^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 18,62^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 15,03^\circ\text{C}$

### Rozwiązanie

Ilość zakumulowanego ciepła obliczamy z uwzględnieniem dwóch pierwszych wewnętrznych warstw 1 i 2, a zatem:

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 \cdot \bar{T}_1 + C_2 \cdot \bar{T}_2 = \left( S \cdot \delta_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} \right) + \left( S \cdot \delta_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot \frac{T_2 + T_3}{2} \right) =$$

$$Q = \left( 1 \cdot 0,015 \cdot 730 \cdot 840 \cdot \frac{19,05 + 18,62}{2} \right) + \left( 1 \cdot 0,38 \cdot 1800 \cdot 840 \cdot \frac{18,62 + 15,03}{2} \right)$$

$$= 173\,244,3 + 9\,666\,972 = 9\,840\,216,3 \text{ J} \approx 9841 \text{ kJ}$$

Literatura

[1] Starakiewicz A., Szyszka J.: *Fizyka budowli w zadaniach*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów, 2010.

Opracowanie:  
Dr inż. Anna Staszczuk