

**Fizyka budowli z BuildDesk.**

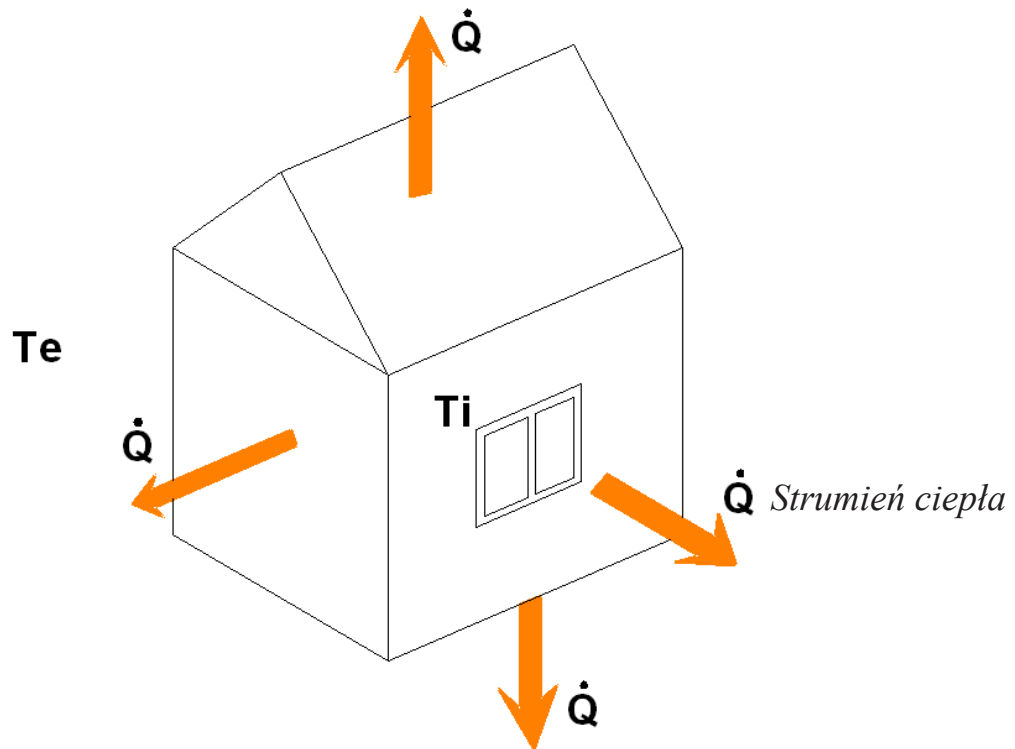
**Materiały edukacyjne dla doradców  
i audytorów energetycznych**

Transport energii cieplnej - podstawowe zagadnienia



## Transport energii cieplnej – podstawowe zagadnienia.

Ocena ilości traconej energii cieplnej z budynku ma ścisły związek ze zjawiskami, którymi zajmuje się fizyka budowli. Główną wielkość, czyli ilość energii (ilość ciepła)  $Q$  [J], oblicza się analizując zmiany strumienia ciepła  $\dot{Q}$  [W] w czasie. Strumień ciepła jest to ilość ciepła przepływająca między układami w jednostce czasu. Gęstość strumienia ciepła,  $q$  [W/m<sup>2</sup>], jest to strumień ciepła przepływający przez jednostkę powierzchni.



Z punktu widzenia obliczania zapotrzebowania na energię do ogrzewania, czyli strat ciepła, ważne są trzy w/w podstawowe pojęcia:

- gęstość strumienia ciepła  $q$  [W/m<sup>2</sup>]
- strumienia ciepła  $\dot{Q} = q \cdot A$  [W]
- energia (ciepło)  $Q = \dot{Q} \cdot t$  [J]

Na potrzeby obliczeń strat ciepła z budynku, gęstość strumienia ciepła obliczana jest ze wzoru:

$$q = U(T_i - T_e)$$

gdzie:

$U$  – współczynnik przenikania ciepła [W/m<sup>2</sup>K]

$(T_i - T_e)$ : różnica temperatur pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym [K]

Współczynnik przenikania ciepła ( $U$ ) wyraża ilość energii (w dżulach) przepływającej przez 1m<sup>2</sup> przegrody w ciągu 1 sekundy przy różnicy temperatur 1K po obu stronach przegrody.

Na podstawie powyższej definicji współczynnika przenikania ciepła, widać więc, że aby obliczyć ilość energii traconej przez całą bryłę budynku:

- współczynniki przenikania ciepła ( $U$ , [ $W/(m^2K)$ ]) poszczególnych elementów obudowy budynku mnożymy przez ich powierzchnię ( $A$ , [ $m^2$ ]). Dostajemy współczynniki strat ciepła przez przenikanie ( $H_{tr}$ , [ $W/K$ ]).
- Iloczyn współczynników strat ciepła ( $H_{tr}$ , [ $W/K$ ]) i różnicy temperatur ( $T_e - T_i$ , [ $K$ ]) odpowiada strumieniowi ciepła [ $W$ ]; Iloczyn ten odpowiada także mocy cieplnej, jaką należy dostarczyć do budynku w postaci ciepła aby przy danych współczynnikach przenikania ciepła  $U$  i powierzchniach przegród  $A$  utrzymać w danej chwili zadaną temperaturę wewnętrzną.
- Ostatnim etapem obliczeń strat ciepła przez przenikanie jest iloczyn strumienia ciepła ( $\dot{Q}$  [ $W$ ]) przez czas [ $s$ ] trwania zadanej różnicy temperatur, np. przez okres jednego miesiąca (lub godziny). W jego wyniku otrzymujemy ilość energii [ $J$ ] traconej z budynku w wyniku przenikania ciepła w ciągu trwania założonego okresu [ $s$ ] (np. miesiąc, godzina) przy występującej w danym okresie różnicy temperatur ( $T_e - T_i$  [ $K$ ])

Poniżej wyjaśniono teoretyczne podstawy obliczania strat ciepła przez przenikanie.

Wymiana energii cieplnej pomiędzy układami może następować poprzez: przewodzenie, konwekcję i promieniowanie. Większość wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym poprzez przegrody odbywa się na drodze przewodzenia, opisanego prawem Fouriera.

Prawo Fouriera mówi, że gęstość przewodzonego strumienia ciepła jest wprost proporcjonalna do gradientu temperatury:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}T$$

$\vec{q}$  - wektor gęstości strumienia ciepła [ $\frac{W}{m^2}$ ]

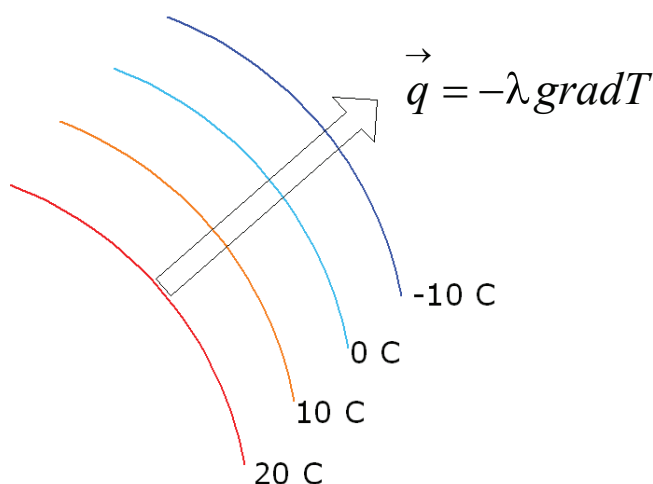
$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła [ $\frac{W}{m K}$ ]

$T$  - temperatura [ $K$ ]

**Grad** – (gradient) jest to operator różniczkowy, który w układzie współrzędnych kartezjańskich ma postać:

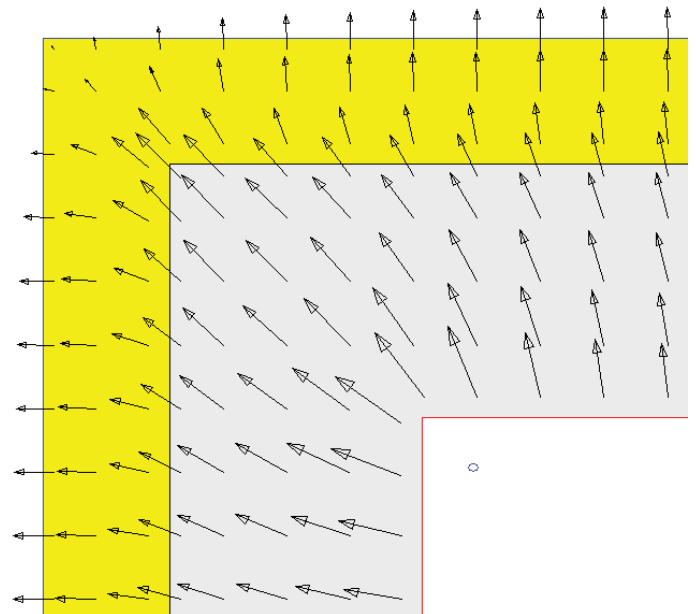
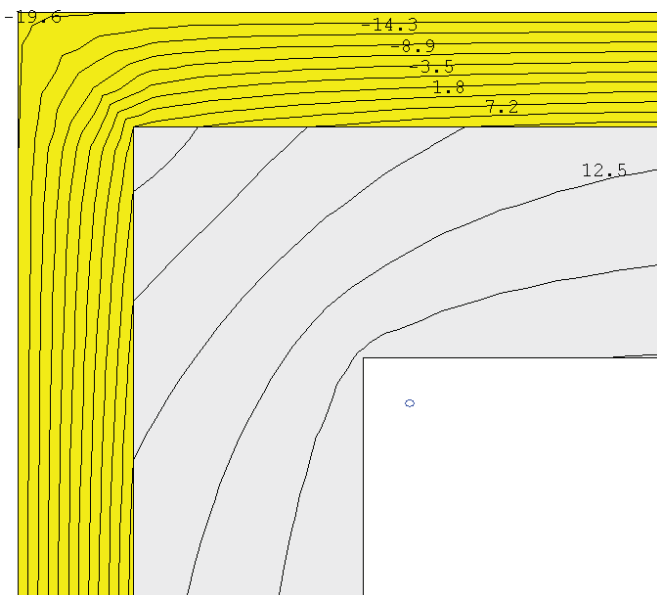
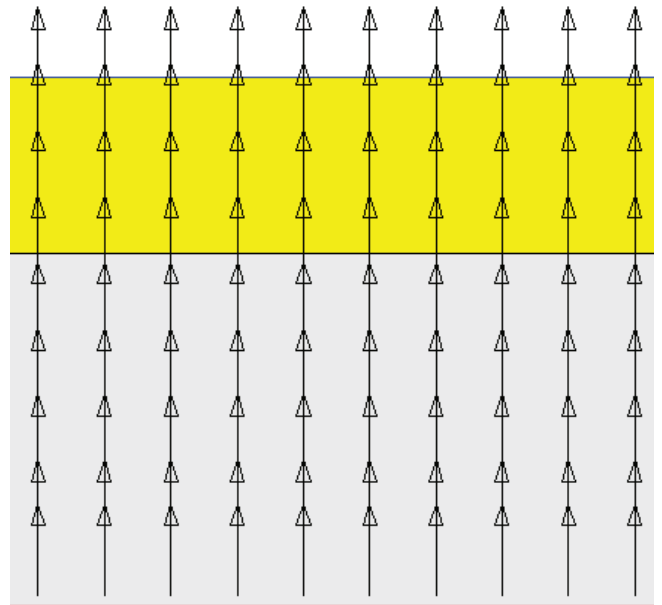
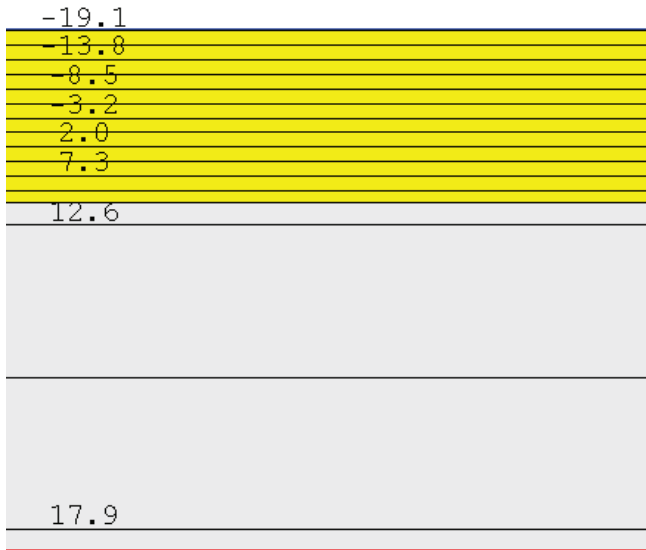
$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

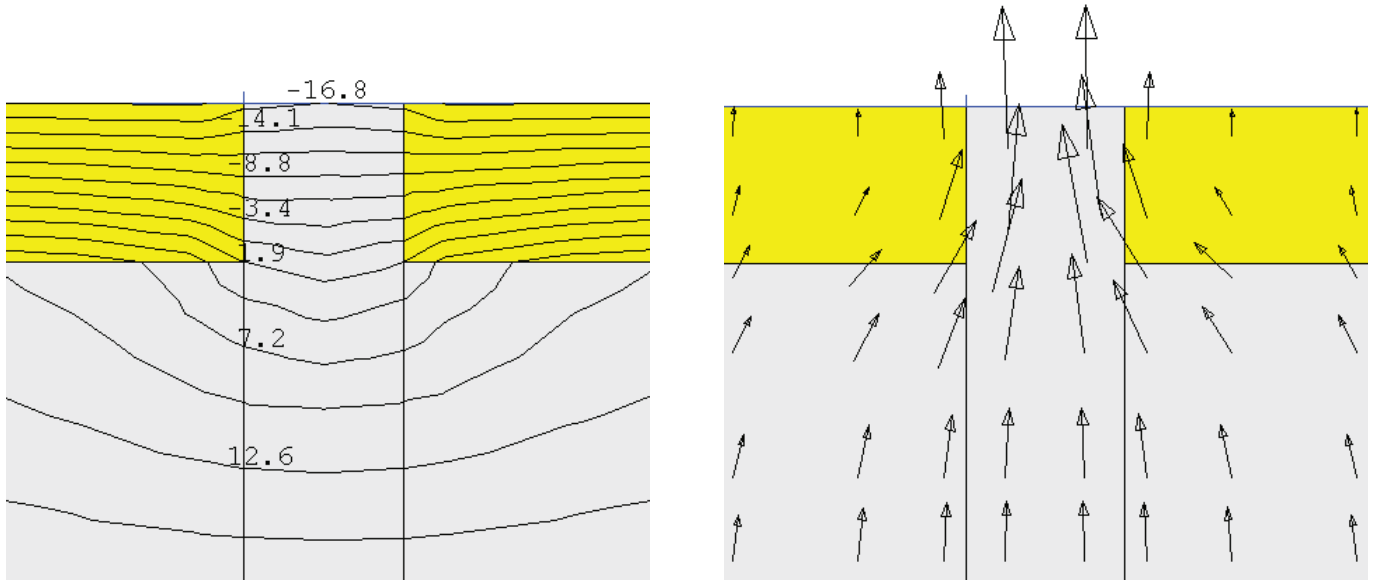
Gradient działając na pole skalarne, w tym wypadku pole temperatury, przyporządkowuje mu odpowiednie pole wektorowe. W tym wypadku pole gęstości strumienia ciepła. Gradient wskazuje kierunek i zwrot największego wzrostu wartości pola, na które działa, np. pola temperatury.



Ponieważ zwrot wektora gęstości strumienia ciepła jest zgodny z kierunkiem spadku temperatur, a zwrot wektora gradientu temperatury jest skierowany przeciwnie (od temperatury niższej do wyższej) to w zapisie wektorowym prawa Fouriera musi pojawić się znak minus.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów rozkładu pól temperatury wraz z przyporządkowanymi polami gęstości strumieni ciepła. Jak widać, wektory gęstości strumienia ciepła skierowane są zawsze prostopadle do izoterm (czyli zawsze zgodnie z kierunkiem największych zmian temperatury) i mają zwrot zgodny ze spadkiem temperatury (czyli odwrotny do jej gradientu).





Dla przypadku jednowymiarowego, tzn. dla zmian pola temperatury zależnych tylko od jednej współrzędnej przestrzennej np. od zmiennej  $x$ , prawo Fouriera można zapisać w postaci skalarnej jako:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

Gęstość strumienia ciepła przenikającego przez przegrodę składającą się z warstwy o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda$  i grubości  $d = dx$  wyrazimy wzorem:

$$q = \frac{\lambda}{d} (T_1 - T_2)$$

Jeśli za opór cieplny warstwy materiału zdefiniujemy, jako:

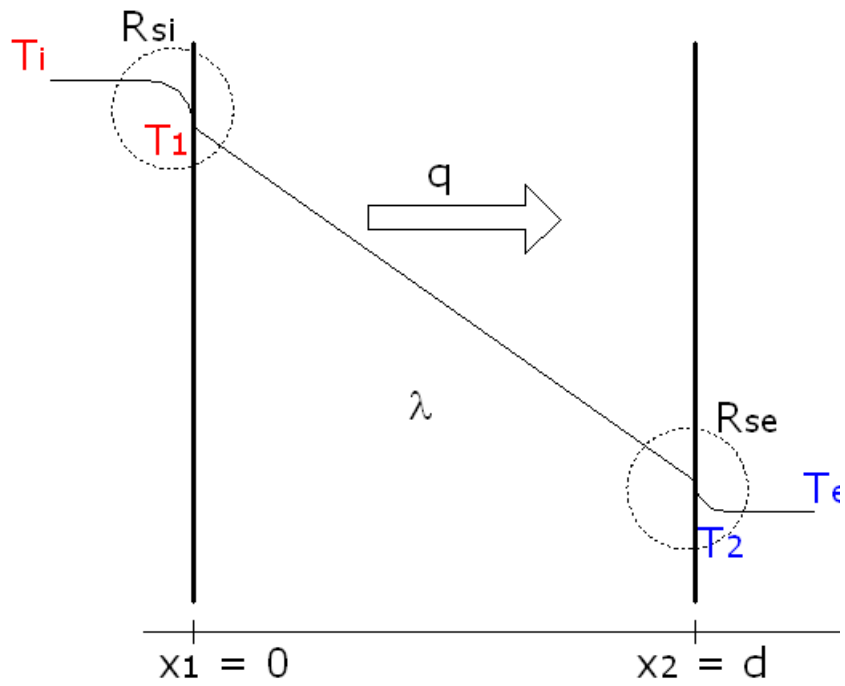
$$R = \frac{d}{\lambda} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

to wówczas gęstość strumienia ciepła przez daną warstwę wynosi:

$$q = \frac{1}{R} (T_1 - T_2)$$

Gdy do oporu cieplnego warstwy materiału dodamy opory przyjmowania ciepła po stronie wewnętrznej ( $R_{si}$ ) i zewnętrznej ( $R_{se}$ ) przegrody, to wówczas:

$$q = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} (T_i - T_e)$$



Zastępując ułamek

$$\frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

wielkością  $U$  (**współczynnik przenikania ciepła, [W/(m²K)]**), otrzymamy wyrażenie na gęstość strumienia ciepła w postaci:

$$q = U (T_i - T_e) \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**BuildDesk Polska Sp. z o.o.**

ul. Kwiatowa 14

66-131 Cigacice

Polska

tel.: (+48) 68 385 00 22

fax: (+48) 68 385 00 22

info@builddesk.pl

www.builddesk.pl