

## WPŁYW GRADIENTU TEMPERATURY NA WSPÓŁCZYNNIK PRZEWODZENIA CIEPŁA

Andrzej MARYNOWICZ  
Politechnika Opolska, Opole

### 1. Wprowadzenie

Przewodność cieplna jest jedną z podstawowych cech materiałów budowlanych. Jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia izolacyjności cieplnej materiałów osłonowych i izolacyjnych (ściany zewnętrzne, izolacje termiczne). Mówiąc o przewodności cieplnej, mamy zazwyczaj na myśli składową kondukcyjną strumienia cieplnego, pomijając pozostałe dwa mechanizmy wymiany ciepła – konwekcyjny i radiacyjny [1]. Pierwszy z nich ma znaczenie wtedy, gdy mamy do czynienia z szybkim przepływem masy powietrza i pary wodnej przez materiał, podczas gdy drugi – radiacyjny – dotyczy przede wszystkim materiałów o dużej przezroczystości, a także poddawanych działaniu wysokich temperatur.

Najczęściej, w literaturze dotyczącej pomiarów współczynnika przewodności cieplnej, można spotkać jego zależności od temperatury, jednak nie rozpatruje się zazwyczaj wpływu na wynik różnicy temperatur po obu stronach przegrody [2,3].

### 2. Podstawy fizyczne

Najprostszą relację opisującą strumień ciepła w funkcji gradientu temperatury można zapisać w sposób analogiczny do prawa Fouriera, czyli

$$q_i = \lambda(T_{,k})T_{,i} = \lambda(g_k)g_i, \quad (1)$$

w którym zastosowano wygodniejsze do dalszych przekształceń podstawienie  $T_{,i} = g_i$ . Za pomocą relacji 1 można podać najprostsze równanie przewodnictwa cieplnego (stacjonarne, bezźródłowe) w postaci

$$[\lambda(g_k)g_i]_{,i} = 0, \quad (2)$$

które, po rozpisaniu pochodnej,

$$[\lambda(g_k)]_{,i}g_i + \lambda(g_k)g_{i,i} = \frac{\partial \lambda(g_k)}{\partial g_k}g_{k,i}g_i + \lambda(g_k)g_{i,i} = 0, \quad (3)$$

pozwoili na przeanalizowanie dopuszczalnej formy wyrażenia na zależność funkcyjną współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda(g_k)$ . Ze względu na konieczność spełnienia równania przewodnictwa cieplnego (3), zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gradientu temperatury przedstawić można co najwyżej w formie liniowej, czyli

$$\lambda = a_k T_{,k} = a_1 T_{,1} + a_3 T_{,3} + a_3 T_{,3}. \quad (4)$$

Upraszczając zadanie do przypadku jednowymiarowego (ze względu na warunki pomiaru), można pominąć dwa ostatnie człony równania 4, przez co będziemy mogli zapisać równanie 1 w postaci

$$q = a_1 \frac{dT}{dx_1} \frac{dT}{dx_1} = \frac{a_1}{h^2} (T_1 - T_2)^2. \quad (5)$$

Nową wielkością, pozwalającą wyznaczyć funkcję  $\lambda(g_k)$ , jest współczynnik  $a_1$  w równaniu 5, czyli

$$a_1 = \frac{qh^2}{(T_1 - T_2)^2}, \quad (6)$$

w którym  $h[m]$  oznacza grubość próbki,  $T_1 - T_2 [^\circ]$  jest różnicą temperatur po obu jej stronach, zaś  $q[W/m^2]$  jest mierzonym strumieniem ciepła.

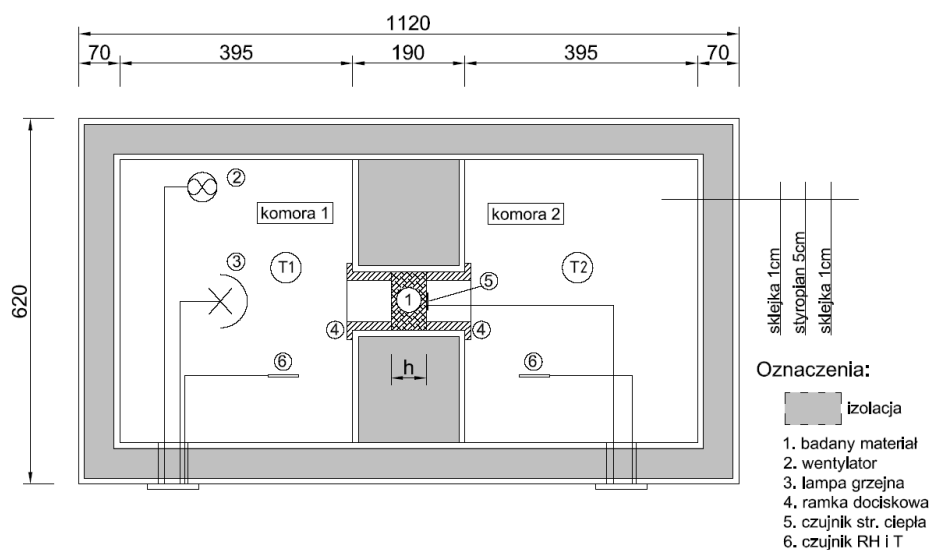
### 3. Metoda pomiaru

Jedną z najczęściej wykorzystywanych technik wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej materiałów budowlanych bazuje na tzw. dwudzielnej skrzynce cieplnej ([4], rys. 1), pozwalającej określić ten współczynnik w przypadku stacjonarnym, niestacjonarnym, jak również przy różnych gabarytach próbki. Skrzynka składa się z dwóch komór, oddzielonych izolowaną ścianką.

Próbka badanego materiału (1) umieszczana jest w ściance oddzielającej za pomocą wieloelementowych ramek dystansowych (4), pozwalających na dopasowanie i uszczelnienie mocowania próbki. Źródłem ciepła jest lampa grzejna o mocy 250W, podłączona do zewnętrznego regulatora mocy. Powietrze w komorze grzejnej jest mieszane za pomocą wentylatora (2). Do wygenerowania gradientu temperatury zastosowano regulację tylko w jednej komorze – niskie straty ciepła przez komorę 2 pozwoliły na łatwe utrzymanie w niej stałej temperatury w czasie całego pomiaru. W czasie pomiaru były rejestrowane temperatury (wraz z wilgotnością względną powietrza) w obydwóch komorach (czujniki nr 6), a także strumień ciepła (czujnik nr 5).

### 4. Wyniki pomiarów

W opisanej wyżej skrzynce cieplnej wykonano pomiary kilku wybranych materiałów izolacyjnych. W tabelach 1 do 4 przedstawiono wynik pomiarów dla materiałów o odmiennej budowie wewnętrznej: styropianu EPS50 i wełny mineralnej. Obydwie próbki miały tę samą grubość równą 50mm, zaś zadawane różnice temperatur były z przedziału od 10 do 40°C. Pomiary strumienia ciepła i temperatur prowadzone były do chwili ustabilizowania się warunków w skrzynce tak, aby można było przyjąć warunek stacjonarności przepływu ciepła i wykorzystać równanie 2.

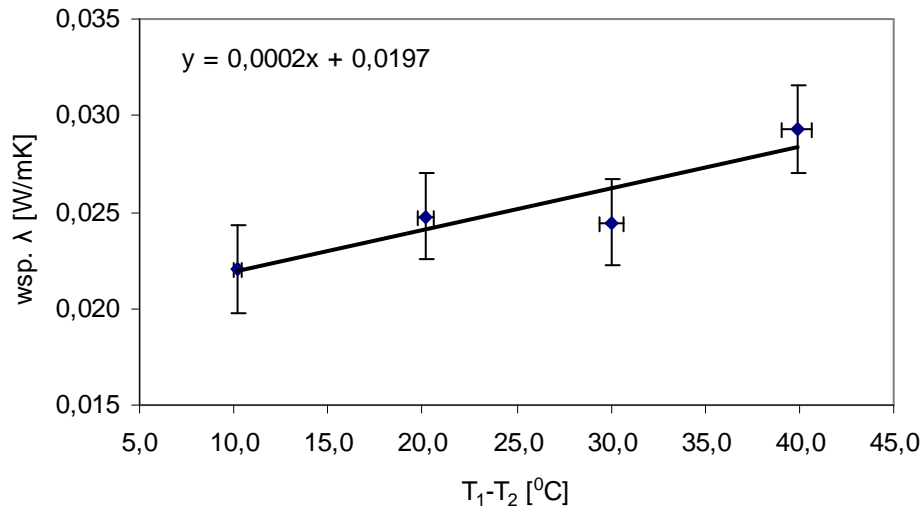
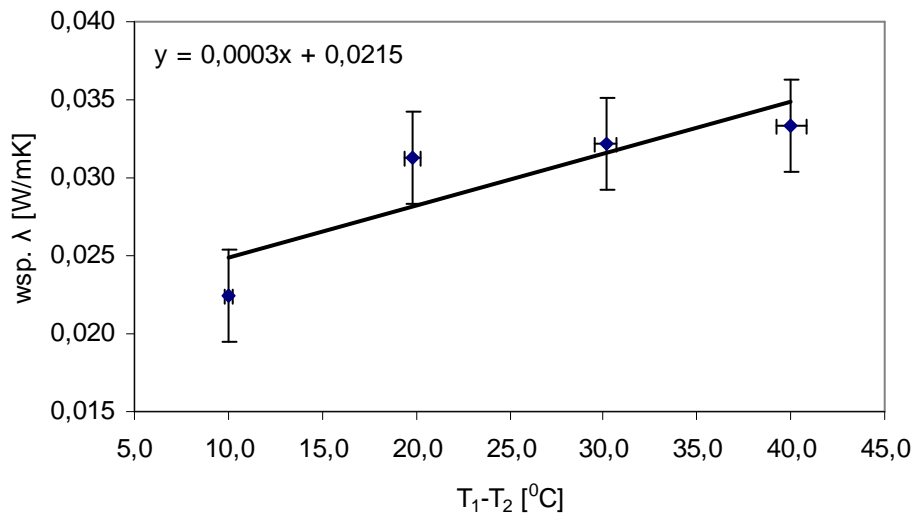


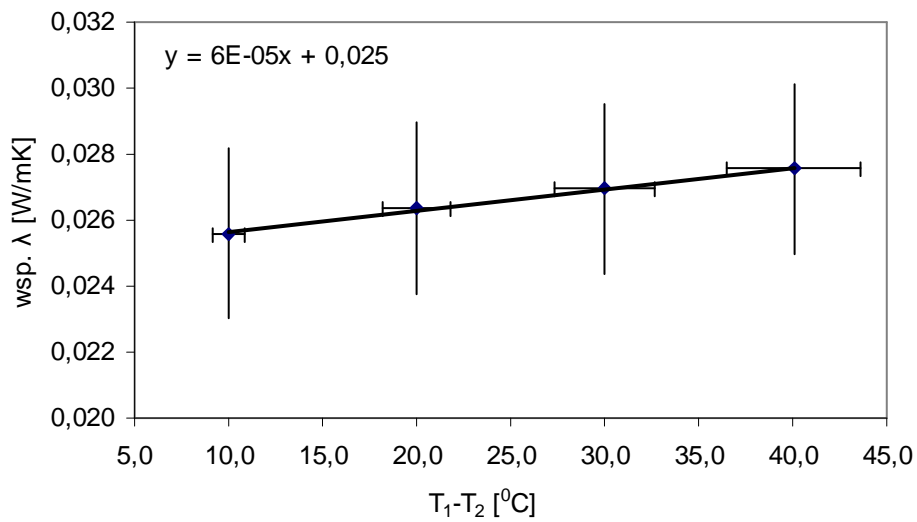
Rys. 1. Schemat budowy dwudzielnej skrzynki cieplnej  
Fig. 1. Scheme of bipartite thermal box

Tabela 1. Wyniki pomiarów wełny mineralnej (h=50mm), styropianu EPS50, styropianu podwalinowego (h=80mm) oraz pianki izolacyjnej PUR (h=60mm).

Table 1. Measurements results for mineral wool (h=50mm), EPS50 styrofoam (h=50mm), foundation styrofoam (h=80mm) and isolation PUR foam (h=60mm).

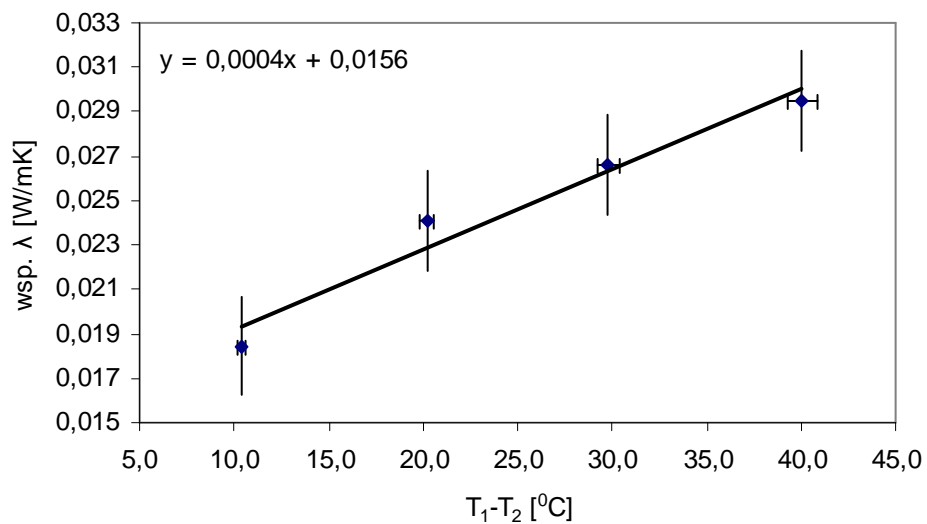
Material	h [m]	T <sub>1</sub> - [°C]	f1 [%RH]	T <sub>2</sub> - [°C]	f2 [%RH]	T <sub>sr</sub> [°C] (T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> )/2	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> [°]	q [W/m <sup>2</sup> ]	λ (T <sub>i</sub> ) [W/mK]	współczynnik a <sub>1</sub> [W/K <sup>2</sup> ]
Wełna mineralna - dachowa	0,05	30,90	39,90	20,70	40,00	25,80	10,20	4,50	0,0221	1,08E-04
	0,05	41,74	39,10	21,56	41,00	31,65	20,18	10,00	0,0248	6,14E-05
	0,05	50,09	36,00	20,06	42,00	35,08	30,03	14,70	0,0245	4,08E-05
	0,05	61,40	30,00	21,50	42,00	41,45	39,90	23,40	0,0293	3,67E-05
Styropian zwykły	0,05	31,03	34,30	21,01	42,00	26,02	10,02	4,50	0,0225	1,12E-04
	0,05	41,53	36,30	21,70	41,00	31,62	19,83	12,40	0,0313	7,88E-05
	0,05	52,79	35,30	22,65	42,00	37,72	30,14	19,40	0,0322	5,34E-05
	0,05	63,20	33,80	23,17	42,00	43,19	40,03	26,70	0,0333	4,17E-05
Styropian podwalinowy (niebieski)	0,08	30,60	44,00	20,60	45,00	25,60	10,00	3,20	0,0256	2,05E-04
	0,08	41,55	42,90	21,53	45,00	31,54	20,02	6,60	0,0264	1,05E-04
	0,08	52,03	41,90	22,02	45,00	37,03	30,01	10,11	0,0270	7,18E-05
	0,08	62,53	40,00	22,47	45,00	42,50	40,06	13,80	0,0276	5,50E-05
pianka izolacyjna	0,06	30,80	43,10	20,40	46,00	25,60	10,40	3,20	0,0185	1,07E-04
	0,06	41,66	41,60	21,47	45,00	31,57	20,19	8,10	0,0241	7,15E-05
	0,06	52,67	39,70	22,87	45,00	37,77	29,80	13,20	0,0266	5,35E-05
	0,06	63,04	38,43	22,97	45,00	43,01	40,07	19,70	0,0295	4,42E-05

Rys. 2. Zależność  $\lambda(T_i)$  dla wełny mineralnejFig. 2. The dependence  $\lambda(T_i)$  for rock woolRys. 3. Zależność  $\lambda(T_i)$  dla styropianu EPS50Fig. 3. The dependence  $\lambda(T_i)$  for foamed polystyrene EPS50 type



Rys. 4. Zależność  $\lambda(T_i)$  dla styropianu podwalinowego

Fig. 4. The dependence  $\lambda(T_i)$  for foundation styrofoam



Rys. 5. Zależność  $\lambda(T_i)$  dla pianki izolacyjnej PUR

Fig. 5. The dependence  $\lambda(T_i)$  for PUR foam

Dla tak pomierzonych temperatur oraz strumieni ciepła wyznaczono wartości poszukiwanych współczynników  $\lambda(T_i)$  (rys. 2, 3, 4, 5).

#### 4. Wnioski

W pracy przedstawiono wyniki badań współczynników przewodzenia ciepła wybranych materiałów izolacyjnych. Zaobserwować można, że w zależności od budowy wewnętrznej materiału, charakter zmian współczynnika  $\lambda$  jest różny. Interesujące jest również to, że różnice w mierzonym współczynniku sięgają 48%, dla  $\Delta T$  między 10 a 40° (dla styropianu) oraz 33% dla wełny, podczas gdy dla styropianu podwalinowego nie przekracza 8%. Jednak, biorąc pod uwagę przyjmowane obliczeniowo różnice temperatur w przegrodach typowych budynków, należy spodziewać się niewielkiego wpływu zmienności współczynnika przewodzenia ciepła izolacji na parametry cieplne przegrody. Chcąc przeanalizować rzeczywiste straty ciepła, należałoby dokonać bilansu strat ciepła na bazie dziennych wartości temperatur, np. za pomocą odpowiednich programów symulacyjnych.

#### Oznaczenie symboli

- $q$  – strumień ciepła, *heat flux* [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$ ],  
 $\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła, *thermal conductivity* [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ],  
 $T$  – temperatura (bezwzględna), *temperature* [K],  
 $h$  – grubość próbki, *sample height* [m],

#### Literatura

- [1] Furmański P. i inni: Izolacje cieplne, ITC PW, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [2] Stefaniak A.: Przewodność cieplna materiałów budowlanych, PWN, Warszawa 1963.
- [3] Oleśkiewicz-Popiel C., Wojtkowiak J.: Eksperymenty w wymianie ciepła, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [4] Tokarz B.: Pomiary przewodności cieplnej wybranych materiałów budowlanych, Praca magisterska, WB, Politechnika Opolska, Opole 2008.

### TEMPERATURE GRADIENT INFLUENCE ON INSULATING MATERIALS THERMAL CONDUCTIVITY

#### Summary

The measurements of thermal conductivity coefficient in building insulating materials depend strongly on temperature gradient in the sample. In the paper two different insulating materials were tested, with four different temperature gradients. The results show nonlinear character of the  $\lambda(T_i)$  relation, which can have importance in some design cases, concerning mainly heat losses calculations.