



Przewodnictwo cieplne

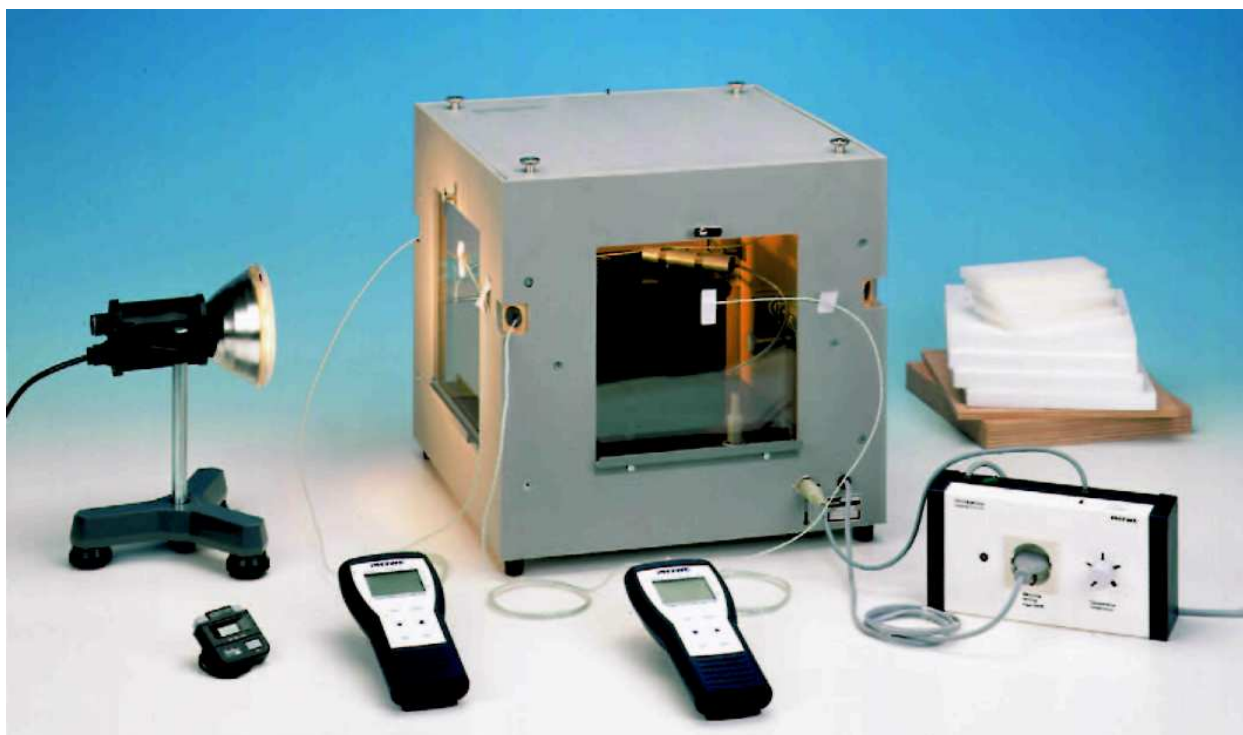
1. Zagadnienia

przewodność cieplna, gęstość strumienia energii, opór cieplny, przejmowanie ciepła, rozkład temperatury w przegrodzie, izolacja cieplna

2. Opis

Model pomieszczenia z wymiennymi ścianami bocznymi umożliwia wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła U dla różnych przegród i okien oraz do wyznaczenia przewodności cieplnej λ różnych materiałów. W tym celu po wewnętrznej i zewnętrznej stronie przegród mierzone są temperatury powietrza w stanie ustalonym, czyli w warunkach równowagi termodynamicznej.

Przy wielowarstwowej strukturze ścian różnica temperatur na każdej warstwie jest proporcjonalna do rezystancji cieplnych poszczególnych warstw.



Ponieważ różnice mierzonych temperatur odgrywają istotną rolę w wykonaniu doświadczenia należy zadbać o zgodność wskazań temperatur za pomocą termopar. Ewentualne odchyłki należy uwzględnić w obliczeniach. W przypadku wielowarstwowej struktury ścian należy zarejestrować temperatury ścian po stronie wewnętrznej i zewnętrznej oraz temperatury powietrza. Ponieważ w pionie występuje gradient temperatury wszystkie pomiary muszą być zarejestrowane na tej samej wysokości.

Otwory w rogach modelu służą do wprowadzania termopar w celu dokonywania pomiarów wewnątrz. Termopary powinny być wprowadzane na głębokość około 5 cm. Przy pomiarze temperatury ścian końcówka termopary powinna być osadzona na poziomie poprzecznych dziur, w osi pionowej ścian. Przewody muszą być również przytwierdzone dokładnie do powierzchni ścian.

Do ogrzewania wnętrza modelu pomieszczenia używana jest 100 W żarówka z osłoną. Temperatura wewnętrzna utrzymywana jest na stałym poziomie przez termostat. Czujnik temperatury termostatu jest mocowany do osłony przez 5-pinowe gniazdo w podłodze i z boku domu. Zasilacz do ogrzewania domu



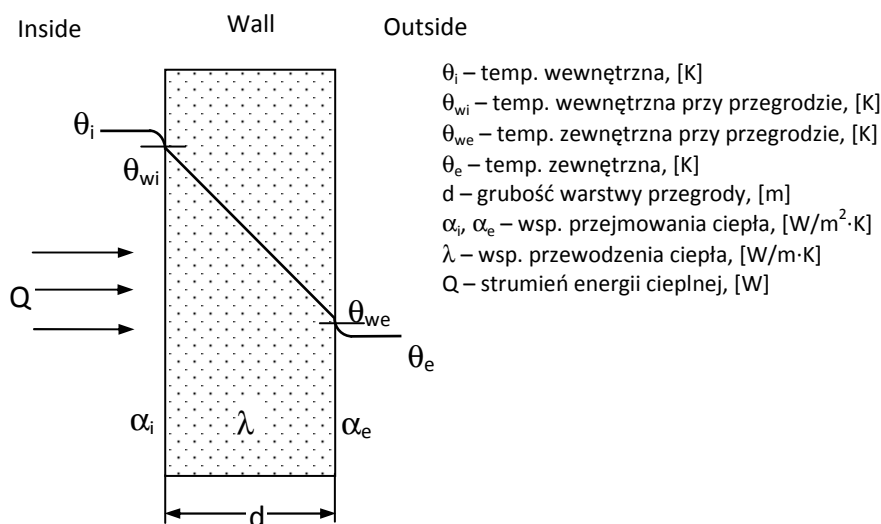
jest wprowadzany przez wtyczkę termostatu. Czterostopniowy przełącznik pozwala ustawić temperaturę wewnątrz domu maksymalnie do około 60°C.

Energia ciepła Q przenikająca przez jednorodną płaską ścianę o współczynniku przewodzenia λ i grubości d zależy od różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz przegrody. W stanie ustalonym, równowagi termodynamicznej ustala się rozkład temperatury w przegrodzie, co oznacza transfer energii cieplnej przez ścianę w kierunku przestrzeni o temperaturze niższej. Przepływ energii jest regulowany przez obszar powierzchni ściany o polu A oraz poszczególnych różnic temperatury.

Transmisja powietrze wew. – powierzchnia wew. ściany:
$$Q = \alpha_i A (\theta_i - \theta_{wi}) \quad (1)$$

Transmisja powierzchnia wew. ściany – powierzchnia zew. ściany:
$$Q = \frac{\lambda}{d} A (\theta_{wi} - \theta_{we}) \quad (2)$$

Transmisja powierzchnia zew. ściany – powietrze zew.:
$$Q = \alpha_e A (\theta_{we} - \theta_e) \quad (3)$$



Przegrupowanie tych trzech równań i dodanie ich stronami daje:
$$\frac{Q}{A} R_T = (\theta_i - \theta_e) \quad (4)$$

gdzie: R_T jest oporem cieplnym przegrody opisany wzorem:
$$R_T = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (5)$$

W ścianie składającej się z wielu warstw środkowa część równania (5) będzie równa sumie oporów cieplnych każdej warstwy. Odwrotność oporu cieplnego określana jest jako współczynnik przenikania ciepła U . Wzór (4) można teraz zapisać w postaci:

$$\frac{Q}{A} = U (\theta_i - \theta_e) \quad (6)$$

Energia termiczna przepływająca przez ściany jest wyznaczana z różnicy zewnętrznej ściany i zewnętrznej temperatury powietrza. Współczynnik przyjmowania ciepła w przypadku naturalnej cyrkulacji w zamkniętym pomieszczeniu w praktyce wynosi dla wszystkich materiałów ścian: $\alpha_i = 8.1$ W/K·m².

Równanie (5) pokazuje zależność liniową pomiędzy rezystancją cieplną R_T a grubością ściany d . Przy ekstrapolacji mierzonych wartości przecięcie osi dla $d = 0$ jest równe sumie wewnętrznej i zewnętrznej rezystancji cieplnej $1/\alpha_i + 1/\alpha_e$. W modelu domu $\alpha_i > \alpha_e$ jest to wynikiem promieniowania ciepła do ścian przez grzejnik. Im większa przewodność cieplna λ tym mniej stroma jest charakterystyka oporu cieplnego przegrody. Izolacja cieplna powinna charakteryzować się jak największym oporem cieplnym.



Grubość ścian znacznie wpływa na rezystancję cieplną, szczególnie w przypadkach, gdy mamy do czynienia z materiałami izolacyjnymi.

3. Przebieg ćwiczenia

A. Konstrukcja modelu domu dla pierwszej serii pomiarów (ściany jednowarstwowe):

- drewno $d = 1$ cm grubości
- drewno $d = 2$ cm grubości,
- styropian $d = 2$ cm grubości
- zwykłe szkło

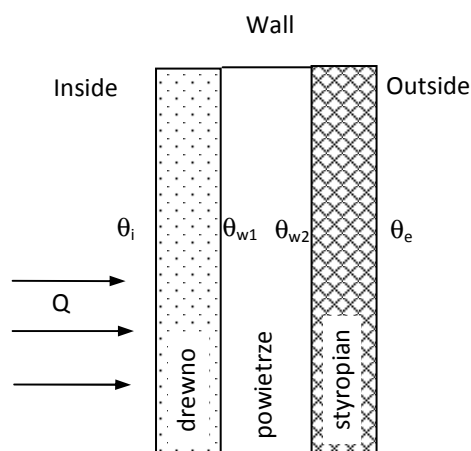
Umieszczamy dwie termopary bezpośrednio na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przegrody drewnianej o grubości $d = 1$ cm. Trzecią wprowadzamy przez otwór do wewnątrz 5 cm od powierzchni przegrody, a czwartą na zewnątrz w tej samej odległości. Wszystkie termopary powinny znajdować się na tej samej wysokości. Włączamy lampę grzejącą wewnątrz modelu i wykonujemy pomiary temperatury w odstępach czasu około 4 min. Dane zapisujemy w tabeli.

Przegroda drewniana ($d = 1$ cm)				
Czas [min]	θ_i [°C]	θ_{wi} [°C]	θ_{we} [°C]	θ_e [°C]
0				
4				
...				

Dla pozostałych trzech przegród wykonujemy tylko pomiary końcowe temperatur w stanie ustalonym (po około 15 min od momentu zmiany położenia termopar).

B. Konstrukcja modelu domu dla drugiej serii pomiarów:

- wielowarstwowa ściana zawierająca 2 cm styropianu (wewnątrz) i 2 cm drewna (na zewnątrz)
- wielowarstwowa ściana zawierająca 1 cm drewna (wewnątrz) i 1 cm warstwy z wnęką (z wąskim paskiem pianki w narożniku) oraz 2 cm styropianu (umieszczony w otworze ściany z zewnątrz)
- drewniana ściana, $d = 3$ cm grubości
- szyba ze szkłem izolującym



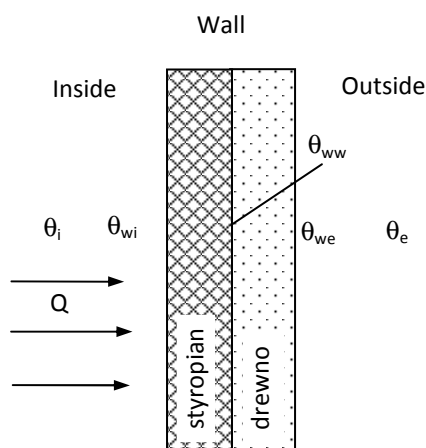
Najpierw pomiary rejestrujemy w czterech punktach ściany z wnęką. Na powierzchni drewnianej od strony wewnętrznej, od strony wnęki oraz na powierzchni styropianu od strony wnęki i powierzchni zewnętrznej. Należy uważać na utwierdzenie termopar. Temperatury w tych czterech punktach ścian z wnęką rejestrujemy co kilka minut. Wyniki zapisujemy w tabeli.

Przegroda wielowarstwowa z wnęką				
Czas [min]	θ_i [°C]	θ_{w1} [°C]	θ_{w2} [°C]	θ_e [°C]
0				
4				
...				



Otwieramy pokrywę i umieszczamy termopary w wielowarstwowej ścianie z drewna i styropianu. Pierwszą na powierzchni styropianu od strony pokoju, drugą między drewnem a styropianem a trzecią na powierzchni drewnianej od strony zewnętrznej. Czwarta termopara jest używana do pomiarów temperatury wewnątrz i na zewnątrz (5 cm od powierzchni przegrody). Wyniki zapisujemy w tabeli co kilka minut.

Przegroda wielowarstwowa					
Czas [min]	θ_i [°C]	θ_{wi} [°C]	θ_{ww} [°C]	θ_{we} [°C]	θ_e [°C]
0					
4					
...					



Otwieramy pokrywę i używamy dwóch termopar do zmierzenia temperatury drewnianej ściany ($d = 3$ cm) oraz izolującej szyby okna (Tak samo jak dla pomiarów w serii A).

4. Opracowanie wyników

Na podstawie zebranych pomiarów temperatur dla przegród jednowarstwowych wypełniamy tabelę. Przyjmując $\alpha_i = 8.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, dla każdej przegrody, obliczymy Q/A za pomocą wzoru (1), stosując wzór (6) obliczamy wartość U , a za pomocą wzoru (2) λ . Opór cieplny przegrody można wyznaczyć stosując wzór (4) lub jako odwrotność współczynnika przenikania U .

Materiał	Grubość [cm]	θ_i [°C]	θ_{wi} [°C]	θ_{we} [°C]	θ_e [°C]	Q/A [W/m ²]	U [W/m ² ·K]	R_T [W/m ² ·K]	λ [W/m·K]
Drewno	1								
	2								
	3								
Styropian	2								
Szkoło zwykłe	0.5								
Szkoło izolujące	0.5								

Wartości teoretyczne wsp. przewodzenia ciepła: drewno $\lambda = 0.14$ [W/m·K]; styropian $\lambda = 0.035 \div 0.041$ [W/m·K]; szkło $\lambda = 0.7 \div 1.1$ [W/m·K]

Wykonać wykres oporu cieplnego przegrody w funkcji jej grubości $R_T(d)$ dla materiału drewnianego oraz nanieść jeden pomiar dla styropianu.

W przypadku przegród wielowarstwowych wykonać rozkład temperatur w przegrodzie dla stanu ustalonego.

