

Rafał SZAFRAN¹, Krzysztof SIKORA²

BADANIA PRZENIKALNOŚCI CIEPLNEJ PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

Streszczenie: Artykuł poświęcony badaniom przenikalności cieplnej przegród budowlanych z wykorzystaniem autorskiego rozwiązania umożliwiającego badanie przegród zarówno na etapie prototypu jak i gotowej przegrody.

Słowa kluczowe: Przenikalność cieplna, przegrody budowlane, izolacje cieplne

TESTS OF HEAT TRANSFER THROUGH BUILDING PARTITIONS

Summary: An article describes the testing of building partitions and determination of the heat transfer coefficient with the use of a their own solution, enabling the testing of partitions both at the stage of the prototype and the finished partition.

Keywords: heat transfer, building partitions, thermal insulation

1. Wstęp

pojęcia, jakim jest energooszczędność, określająca zapotrzebowanie budynku na energię potrzebną do ogrzania obiektu, w skład której wchodzi energia cieplna oraz odpowiednia ilość ciepłej wody użytkowej. Aby zminimalizować utratę energii przez budynek, stosuje się nie tylko najnowsze technologie, lecz także specjalne materiały. W celu stworzenia projektu spełniającego wszystkie minimalne wymagania dotyczące izolacji przegród budynków, jakimi powinny odznaczać się budowle, wystarczy zagłębić się szerzej w rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, gdzie widnieją wszystkie aktualnie zastrzone przepisy dotyczące pojęcia energooszczędności. Krajowy Plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii podaje, iż przegrody zewnętrzne powinny spełniać co najmniej wymagania Warunków Technicznych na rok 2021 [1], czyli:

- współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych – maksimum $0,20 \left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$,

¹ Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Automatyka i Robotyka

² dr inż. Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, ksikora@ubb.edu.pl

- współczynnik przenikania ciepła dla dachów – maksimum $0,15 \left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$,
- współczynnik przenikania ciepła dla podłóg na gruncie – maksimum $0,30 \left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$.

Dobór odpowiedniej technologii budowy, a także wykorzystanych materiałów mających na celu izolację budynku, może być przedmiotem optymalizacji pod wieloma względami, zarówno ekonomicznymi (redukcja kosztów budowy), jak i energetycznymi (całościowy wydatek energetyczny na etapach eksploatacji, produkcji, budowy i utylizacji) oraz ekologicznymi.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła określa izolacyjność cieplną danej przegrody budowlanej, która ma istotne znaczenie w bilansie energetycznym budynku i kosztach jego ogrzewania [2].

Współczynnik przenikania ciepła wyznacza ilość mocy cieplnej wyrażoną w watach, jaka przenika przez przegrodę, w odniesieniu do powierzchni tejże przegrody, a także różnicy temperatur występujących z obu jej stron. Im mniejsza jest wartość wspomnianego współczynnika (zależna od rodzaju użytego materiału, grubości oraz rodzaju przegrody), tym mniejsze występują straty ciepła, a co za tym idzie, dana przegroda jest o wiele lepszym izolatorem.

Aby obliczyć wartość współczynnika przenikania ciepła konieczna jest znajomość współczynników przewodzenia ciepła poszczególnych materiałów, będących budulcami przegrody, a także grubości poszczególnych warstw. Ważna jest także znajomość wartości oporów wnikania (przejmowania) ciepła po obu stronach przegrody.

Aby wyznaczyć współczynnik przenikania ciepła, należy skorzystać ze wzoru:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{R_k} \quad (1)$$

gdzie:

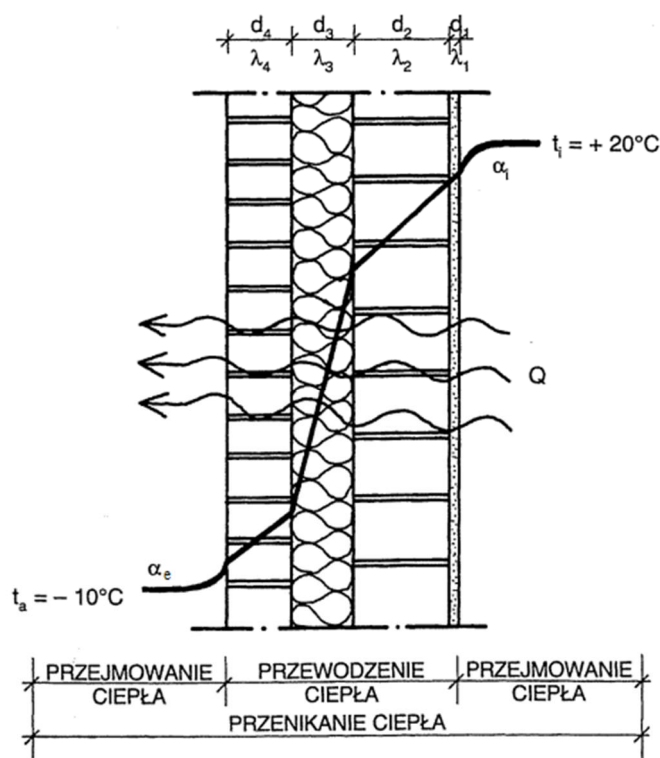
k – współczynnik przenikania ciepła przegrody $\left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$,

d - grubość przegrody lub warstwy [m],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału przegrody lub warstwy $\left[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \right]$,

α_i – współczynnik przejmowania ciepła od strony wewnętrznej $\left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$,

α_e – współczynnik przejmowania ciepła od strony zewnętrznej $\left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$.



Rysunek 1. Przenikanie ciepła przez przegrodę wielowarstwową

2.2. Bilans cieplny budynku

Bilans cieplny budynku dla stanu ustalonego sprowadza się do równości między energią jaka jest dostarczana do budynku a energią jaka z budynku jest wyprowadzana. Z tego bilansu określa się ilość energii dostarczanej przez system ogrzewania potrzebnej do utrzymania komfortu cieplnego wewnątrz budynku.

Do bilansu cieplnego wliczają się następujące elementy:

- ciepło doprowadzone do budynku z zewnątrz, czyli nagrzewanie budynku poprzez promieniowanie słoneczne,
- ciepło wytwarzane wewnątrz budynku tj. ciepło wypromieniowywane przez ludzi, urządzenia codziennego użytku, zwierzęta, a także dostarczane przez systemy grzewcze i sztuczne oświetlenie,
- ciepło odprowadzane na zewnątrz – przenikające przez przegrody do powietrza lub gruntu oraz odprowadzane przez powietrze przy wentylowaniu budynku.

Udziały poszczególnych składników w liczonego bilansie cieplnym zależą między innymi od:

- wielkości budynku,
- usytuowania budynku względem sąsiedniej zabudowy oraz kierunków geograficznych,
- izolacji cieplnej przegród zewnętrznych,

- sposobu oraz intensywności wentylacji pomieszczeń,
- częstości oraz sposobu eksploatacji pomieszczeń,
- rozmieszczenia okien oraz przepuszczalności promieniowania słonecznego przez te szklane przegrody

Aby zmniejszyć straty ciepła w budynkach, pod uwagę bierze się poprawę współczynników przenikania ciepła w odniesieniu do ścian, stropów oraz okien poprzez stosowanie dobrej jakości izolacji lub poprzez zwiększenie grubości poszczególnych przegród.

3. Metody wyznaczania współczynnika przenikania ciepła

3.1. Metoda oparta na pomiarze temperatury (TBM)

Metodę opartą na pomiarze temperatury (Temperature Based Method)[3] wykorzystuje się głównie w przypadku, gdy do czynienia mamy przegrodami budowlanymi starszych budynków, gdzie materiały zastosowane do budowy nie mogą zostać określone, grubość przegrody jest bardzo trudna do zmierzenia oraz w sytuacji, gdzie nie można przeprowadzić odwiertu kontrolnego, by pozyskany materiał oddać do laboratorium. Badanie laboratoryjne materiałów wymaga nakładu czasowego oraz pieniężnego, co często dyskwalifikuje go z możliwych do wykonania czynności pomiarowych. Podczas wykonywania badań termograficznych zdarza się, iż wyniki wskazują jasno na fakt niejednorodnej budowy ścian.

Ostatecznie, wartość współczynnika przenikania ciepła można wyznaczyć ze wzoru:

$$k = \frac{1}{R_{si}} \cdot \frac{(T_{si} - T_2)}{(T_1 - T_2)}, \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (2)$$

gdzie:

R_{si} - opór przyjmowania ciepła od strony wewnętrznej $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$,

$(T_{si} - T_2)$ - różnica temperatury wewnętrznej strony przegrody oraz temperatury otoczenia [K],

$(T_1 - T_2)$ - różnica temperatury płynów po obu stronach przegrody [K].

W metodzie opartej na pomiarze temperatury wartość oporu przyjmowania ciepła przyjmowana jest jako wartość stała i wynosi $R_{si} = 0,13 \text{ } [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$. Temperatura wewnętrzna mierzona jest przy pomocy termopary typu K (NiCr-Ni), a temperatura zewnętrzna mierzona jest przy pomocy czujnika *NTC* (termistora). Znajomość wartości tych temperatur pozwala na wyznaczenie wartości współczynnika przenikania ciepła przegrody.

Aby pomiar był jak najbardziej miarodajny, pomiary należy przeprowadzać nocą lub w miejscu pozbawionym dostępu promieniowania słonecznego, które padając na przegrodę może zafałszować wyniki. Zaleca się wykonywanie pomiarów dla różnicy temperatur co najmniej 15 - 20°C.

3.2. Metoda oparta na pomiarze strumienia ciepła (HFM)

Zaletą metody opartej na pomiarze strumienia ciepła (Heat Flux Method) [3] jest fakt, iż przy pomocy zestawu pomiarowego mierzymy temperaturę wewnętrzną i zewnętrzną oraz wartość gęstości strumienia ciepła \dot{q} . Po uzyskaniu wartości wszystkich tych trzech parametrów możliwe jest obliczenie wartości współczynnika przenikania ciepła w sposób bezpośredni. Metoda ta sprawdza się w sytuacji, gdy zmiany temperatury w czasie są bardzo niewielkie.

W celu wyznaczenia wartości gęstości strumienia ciepła używany jest czujnik strumienia ciepła lub płytka strumienia ciepła. Czujnik strumienia ciepła to płytka, której opór cieplny R jest znacząco mały i znana jest jego bardzo dokładna wartość. W dodatku wartości temperatury ośrodków po obu stronach przegrody są także mierzone bardzo dokładnie.

Wynika z tego, że::

$$\dot{q} = \frac{T_1 - T_2}{R}, \quad [\text{W/m}^2] \quad (3)$$

gdzie:

\dot{q} – gęstość strumienia ciepła,

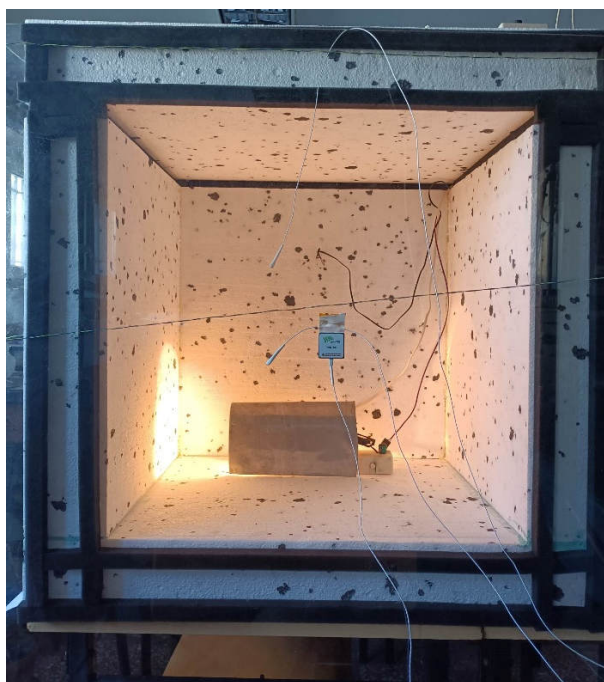
$T_1 - T_2$ – różnica temperatury po obu stronach przegrody [K],

R - opór przejmowania ciepła $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$.

Metoda oparta na pomiarze strumienia ciepła jest metodą znormalizowaną, opisaną w normie ISO 9869, która uwzględnia wiele czynników takich jak pojemność cieplna ściany, sytuacja pogodowa i tym podobne. [4]

4. Stanowisko do wyznaczania współczynnika przenikania ciepła

W zaproponowanej metodzie badań współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych zaimplementowano metodę HFM i wykonano stanowisko, które umożliwi wyznaczanie współczynnika przenikania ciepła zarówno dla określonej wielkości próbek przegród, jak i dla gotowych budynków. Możliwe jest to ze względu na jego małą masę oraz prostą budowę. Do pomiaru strumienia ciepła i temperatur wykorzystano zestaw pomiarowy gSKIN KIT firmy greenTEG. Sama komora stanowiska została wykonana z płyt styropianowych sklejonych pianką montażową. Na powierzchniach styku z przegrodą znajduje się uszczelniająca elastyczna pianka termoizolacyjna. Wewnątrz komory znajduje się grzałka sterowana termostatem. Moc grzałki również jest regulowana. Pozwala to na uzyskanie wewnątrz komory temperatury o niewielkich odchyleniach od wartości zadanej. Pozwala to na wykorzystanie komory zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i na ścianie budynku, w przypadku gdy nie występują wymagane do pomiaru klasycznego różnice temperatury.



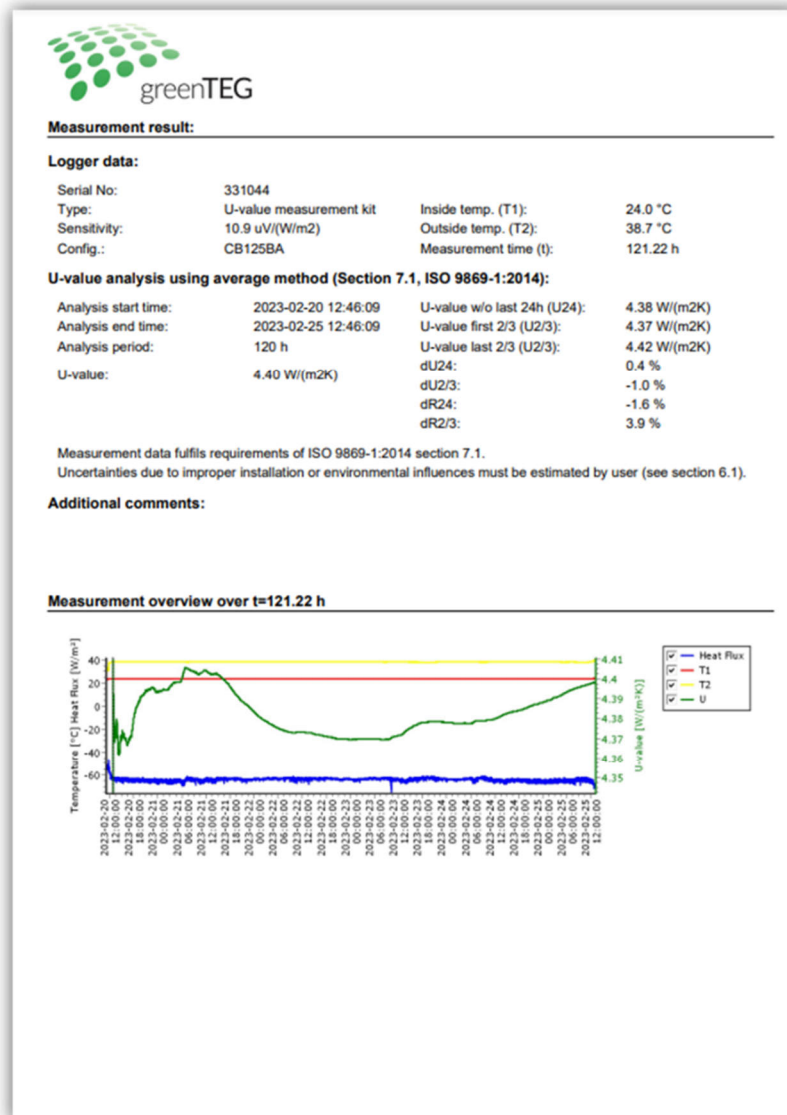
Rysunek 2. Komora z zainstalowanym na przegrodzie z płyty poliwęglanowej czujnikiem gSkin

5. Wstępne pomiary eksperymentalne

Aby sprawdzić, czy stanowisko działa poprawnie, dokonano przy jego pomocy pierwszych pomiarów pamiętając, że metoda badań HFM opiera się ściśle na normie ISO 9869:2014-8 (Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance). W tym celu wzięto pod uwagę następujące założenia:

- Zgodnie z rozdziałem 4 normy odnoszącym się do oprzyrządowania stanowiska, urządzenie pomiarowe składa się co najmniej z jednego miernika strumienia ciepła oraz dwóch czujników temperatury umieszczonych pojedynczo wewnątrz i na zewnątrz przegrody [4]. Czujniki zestawu firmy greenTEG odpowiadały warunkom pomiaru oraz zabezpieczone były przed wpływem zewnętrznym tj. promieniowaniem słonecznym oraz ingerencją osób trzecich.
- W przypadku procedury kalibracyjnej opisanej w rozdziale 5 normy urządzenie gSKIN zostało skalibrowane przy użyciu identyfikowalnych termicznych materiałów wzorcowych NIST. Także czujniki temperatury zostały skalibrowane fabrycznie.
- W odniesieniu do rozdziału 6 wzięto pod uwagę fakt, iż czujniki muszą być zamontowane w taki sposób, by dawały reprezentatywny wynik pomiarów dla całego eksperymentu. Zgodnie z normą minimalny czas trwania pomiarów wynosi nie mniej niż 72 h, jednakże pomiary w naszym laboratorium trwały ponad 120 h.

Wyniki przeprowadzonego doświadczenia prezentuje raport wykonany za pomocą dołączonego oprogramowania:



Rysunek 3. Wyniki przeprowadzonego doświadczenia

6. Wnioski

Wyniki otrzymane podczas eksperymentu potwierdzają przydatność stanowiska do badań zarówno laboratoryjnych jak i terenowych w miejscu posadowienia badanego

budynku. Metoda HFM jest dokładniejsza dla mniejszych amplitud wahań temperatury, na utrzymanie takich warunków pozwala właśnie wykorzystanie zbudowanego stanowiska.

Literatura

1. Serwis dla inżynierów budownictwa <https://inzynierbudownictwa.pl/energooszczedny-budynek-czyli-jaki-poznaj-charakterystyke-poszczegolnych-standardow/>, 01.12.2022
2. WIŚNIEWSKI S., Wymiana ciepła, Warszawa, PWN, 1988
3. GUALDARONI SACRISTÁN E., LAFUENTE DE ARANZADI D.; Heat transfer coefficient of a building element. Methods comparison, Amberg, Bayern, 2018
4. Norma ISO 9869:2014-8; Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance