

**Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego**



**MLBE**

**MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM  
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO**

**Raport z badania właściwości cieplnych  
wielowarstwowych paneli termoizolacyjnych**

NAZWA ZADANIA: **RAPORT Z BADAŃ**

**BADANIA I RAPORT ZOSTAŁY OPRACOWANE W:**

**Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego**

**Politechnika Krakowska**

**ul. Warszawska 24**

**31-155 Kraków**

**ZESPÓŁ BADAWCZY**

**POD KIERUNIKIEM dr hab. inż. arch. Marcina Furtaka, prof. PK:**

**Kierownik badania: dr inż. Małgorzata Fedorczak-Cisak**

**Prowadzący badanie: mgr inż. Henryk Łoziczonek**

**DYREKTOR**  
Małopolskiego Laboratorium  
Budownictwa Energooszczędnego

dr hab. inż. arch. Marcin Furtak, prof. PK

H. F. -  
Henryk B. Łoziczonek

**Kraków 09/2019**

- ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA -

**RAPORT Z BADANIA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH  
WIELOWARSTWOWYCH PANELI TERMOIZOLACYJNYCH**

**I. PODSTAWY PRAWNE OPRACOWANIA**

1. Cel opracowania
2. Zakres opracowania
3. Podstawy prawne
4. Podstawowe pojęcia i definicje

**II. OPIS METODY BADAWCZEJ**

1. Metodyka badań
2. Procedura badania
3. Opis stanowiska badawczego
4. Opis obiektów badawczych
5. Czas trwania badania

**III. WYNIKI BADAŃ**

**IV. WARTOŚCI OBLICZONE**

1. Szacowana dokładność pomiarów

**V. LITERATURA**

## I. PODSTAWY PRAWNE OPRACOWANIA

### 1. Cel opracowania

1. Celem badania było wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ] innowacyjnych płyt izolacyjnych przeznaczonych do wytworzenia zewnętrznej warstwy ocieplającej budynku.

2. Celem naukowym było potwierdzenie właściwości izolacyjnych zastosowanego rozwiązania.

### 2. Zakres opracowania

Zakresem opracowania obejmuje opis procedury badawczej oraz prezentację uzyskanych wyników.

### 3. Podstawa prawna opracowania

Ekspersi Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej, zgodnie z obowiązującą procedurą, przeprowadzili badania na sprzęcie laboratoryjnym zakupionym w ramach projektu MRPO 05.01.00-12-89/12 „Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego”.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z procedurą umieszczoną na stronie internetowej <http://www.mlbe.pk.edu.pl/w> trybie niekomercyjnym, z zachowaniem poszanowania zasad konkurencyjności na rynku materiałów budowlanych.

Badania oparto o normy i regulacje dedykowane tego typu projektom:

- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 wraz z późniejszymi zmianami,
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.),
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,
- PN-EN ISO 8990 – Określanie właściwości związanych z przenikaniem ciepła w stanie ustalonym. Metoda kalibrowanej i osłoniętej skrzynki grzejnej,
- PN-EN ISO 12567-1 – Ciepłne właściwości użytkowe okien i drzwi. Określanie współczynnika przenikania ciepła metodą skrzynki grzejnej,
- PN-EN 1934 – Określanie oporu cieplnego metodą skrzynki grzejnej z użyciem ciepłomierza,
- PN-EN 12667 - Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym,



- PN-EN 12664 - Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego Suche i wilgotne wyroby o średnim i małym oporze cieplnym
- PN-ISO 8301 – Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z czujnikami strumienia cieplnego
- PN-ISO 8302 – Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą,
- ASTM C518-15 - Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus,
- EN ISO 7345 Thermal insulation – Physical quantities and definitions
- Norma europejska PN-EN ISO 6946:2008 – „Komponenty budowlane elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania”,

#### 4. Podstawowe pojęcia i definicje

Podstawowe definicje zostały przytoczone na podstawie obowiązujących norm i rozporządzeń:

**Współczynnik oporu cieplnego  $R$  [ $m^2K/W$ ]** – określa zdolność materiału do powstrzymywania strat ciepła. Opór cieplny warstwy wchodzącej w skład przegrody określa się jako stosunek różnicy temperatur na jej powierzchniach do gęstości ustalonego strumienia ciepła.

**Współczynnik przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ]** – współczynnik określający przenikanie ciepła przez przegrody budowlane określany jako odwrotność całkowitego oporu cieplnego przegrody.

**Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  dla materiałów budowlanych [ $W/mK$ ]** – jest miarą zdolności materiału do przewodzenia ciepła. Badanie i określanie współczynnika przewodzenia ciepła materiału jest wykonywane zgodnie z normami: PN ISO 8301 i PN ISO 8302 *Izolacja cieplna - Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym - Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą oraz PN ISO 10456 Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.*

**Ekwiwalentny współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $W/mK$ ]** – dla elementu budowlanego składającego się z kilku materiałów budowlanych określa przewodność cieplną jednorodnego zastępczego materiału budowlanego w kształcie prostopadłościanu o tych samych wymiarach, który w miejscu całego elementu budowlanego w stanie zamontowanym pozwala uzyskać ten sam efekt cieplny.<sup>1</sup>

**Średnia temperatura promieniowania** – odpowiednio ważona temperatura powierzchni „widzianych” przez próbkę wprowadzona w celu określenia gęstości strumienia cieplnego wywołanego przez to promieniowanie na powierzchni próbki.

---

<sup>1</sup> Schöck

**Temperatura otoczenia** – odpowiednio ważone temperatury powietrza i promieniowania wprowadzone w celu określenia gęstości strumienia ciepłego na powierzchni próbki.

**Średnio niejednorodna próbka** – próbka, która podczas badania spełnia ujednolicone kryteria temperatury zgodne z normą.

## II. OPIS METODY BADAWCZEJ

### 1. Metodyka badań

W elementach obudowy budynków występują złożone procesy transportu ciepła. Są to: przewodzenie, promieniowanie, konwekcja oraz wymiana masy, występujące wszystkie razem, lub też niektóre z nich. Metodologia, według której przeprowadzono badanie, określa całkowitą ilość ciepła przenikającego z jednej strony obiektu do drugiej, dla danej różnicy temperatur, w zdefiniowanych warunkach badania.

Badanie zostało wykonane trzema metodami.

- Wartością mierzoną w komorze klimatycznej metodą osłoniętej skrzynki grzejnej był współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę  $U$  [ $W/m^2K$ ].
- Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $W/mK$ ] materiału izolacyjnego został wyznaczony za pomocą przyrządu Isomet 2114.
- Opór cieplny  $R$  [ $m^2K/W$ ] przegrody składającej się z warstwy materiału izolacyjnego oraz folii refleksyjnej został zmierzony aparatem płytowym.

### 2. Procedura badania

Obiekty badawcze zostały dostarczone do Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego.

W celu przygotowania obiektów zgodnie z normą, zostały one poddane procesowi kondycjonowania aż do osiągnięcia w obiektach wyrównanego rozkładu wilgoci.

**2.1.** Badanie w komorze klimatycznej zostało przeprowadzone dla ustalonych temperatur powietrza, których wartości zostały przedstawione w tabeli nr 1.

Tabela 1. Zadeklarowane temperatury powietrza w komorze klimatycznej

| Strona ciepła | Strona zimna | Różnica temperatur | Wartość średnia |
|---------------|--------------|--------------------|-----------------|
| 20°C          | 0°C          | 20K                | 10°C            |
| 20°C          | -20°C        | 40K                | 0°C             |

Orientacja obiektu: pionowa.

Kierunek przewodzenia ciepła: poziomy.



Celem badania było wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła przez panel termoizolacyjny.

Podczas badania zostały wykonane dwa pomiary. Wynikiem badania jest średnia z dwóch pomiarów.

**2.2.** Podczas badania przyrządem ISOMET 2114 zostało wykonanych pięć serii po pięć pomiarów. Wynikiem badania jest średnia z pięciu serii pomiarów.

**2.3** Badanie w aparacie płytowym.

Tabela 2. Zadeklarowane temperatury badania w aparacie płytowym

| Płyta dolna<br>(ciepła) | Płyta górna<br>(zimna) | Różnica<br>temperatur | Wartość średnia |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| 20°C                    | 0°C                    | 20K                   | 10°C            |
| 9°C                     | -9°C                   | 18K                   | 0°C             |

Orientacja obiektu: pozioma.

Kierunek przewodzenia ciepła: pionowy.

Podczas badania zostały wykonane trzy pomiary. Wynikiem badania jest średnia z trzech pomiarów.

### 3. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze to komora klimatyczna wyposażona w osłoniętą skrzynkę grzejną, przeznaczona do wyznaczania współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ] przez niejednorodną przegrodę budowlaną.

Do zbadania wartości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $W/mK$ ] materiału warstwy przegrody wykorzystany został przyrząd ISOMET 2114.

Pomiar współczynnika oporu cieplnego  $R$  [ $m^2K/W$ ] materiału izolacyjnego wraz z folią refleksyjną został wykonany za pomocą aparatu płytowego FOX 802.

Komora klimatyczna służy do wyznaczania współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ] przez niejednorodną przegrodę budowlaną w warunkach stanu ustalonego metodą osłoniętej skrzynki grzejnej. Składa się z komory zimnej, w której są symulowane warunki panujące na zewnątrz oraz komory ciepłej, w której są symulowane warunki wewnętrzne, z uwzględnieniem temperatury oraz cyrkulacji powietrza. W komorze ciepłej umieszczona jest skrzynka grzejna, w której utrzymywana jest taka temperatura, która zapewnia brak przepływu ciepła przez jej ścianki. Między komorą ciepłą a zimną umieszcza się maskownicę, w której znajduje się badany obiekt. Za pomocą czujników temperatury (termopar) mierzona jest temperatura powietrza wewnątrz komory, a także temperatury ekranów oraz charakterystycznych punktów maskownicy. W obliczeniach uwzględniony jest wpływ konwekcji i radiacji na wynik pomiaru.

Przyrząd ISOMET 2114 służy do wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $W/mK$ ] metodą dynamiczną. W sondzie przyrządu wytwarzany jest impuls cieplny w celu

wyznaczenia wartości współczynnika  $\lambda$ .

Za pomocą aparatu płytowego FOX 802 wyznaczany jest opór cieplny  $R$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] warstwy przegrody oraz współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $\text{W/mK}$ ] dla materiału jednorodnego w warunkach termicznego stanu ustalonego.

### 3.1 Metody badawcze

Metoda osłoniętej skrzynki grzejnej jest przeznaczona do wyznaczania w komorze klimatycznej współczynnika przenikania ciepła przez niejednorodne przegrody budowlane. Współczynnik przenikania ciepła  $U$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] otrzymujemy przez wyznaczenie gęstości strumienia ciepłego  $q$  [ $\text{W/m}^2$ ] przepływającego przez obiekt badawczy dla znanej grubości obiektu badawczego oraz znanej różnicy temperatur środowiska między jego powierzchniami zewnętrznymi, w warunkach termicznego stanu ustalonego. Strumień cieplny przepływający przez obiekt badawczy jest różnicą między całkowitą mocą grzewczą dostarczoną do układu (grzałki, napędy wentylatorów, elektronika) a strumieniem ciepła przepływającym przez część maskownicy oraz strumieniem ciepła wynikającym z efektu brzegowego. Jako wartość wynikową przyjmuje się wartość współczynnika  $U$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] obliczoną na podstawie znajomości gęstości strumienia ciepłego  $q$  [ $\text{W/m}^2$ ] przepływającego przez obiekt badawczy, temperatury środowiska po stronie cieplej i zimnej, z uwzględnieniem wpływu konwekcji i radiacji oraz skorygowanej w zakresie oporów przejmowania, będących funkcją gęstości strumienia ciepłego  $q$  [ $\text{W/m}^2$ ].

Wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $\text{W/mK}$ ] wyznaczana jest przyrządem ISOMET 2114 metodą dynamiczną. Przyrząd do badania wyposażony jest w dwie sondy, igłową i powierzchniową. Sonda igłowa służy do pomiaru w materiałach sypkich, półpłynnych oraz miękkich i elastycznych. Do badania materiałów sztywnych i twardych służy sonda powierzchniowa. W sondzie przyrządu wytwarzany jest impuls cieplny, a na podstawie analizy spadku temperatury w funkcji czasu wyznaczana jest wartość współczynnika  $\lambda$ .

W aparacie płytowym wyznaczana jest wartość oporu cieplnego przegrody  $R$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ], grubość obiektu badawczego oraz współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $\text{W/mK}$ ]. Pomiar wykonywany jest w warunkach termicznego stanu ustalonego.

### 3.2 Czujniki wykorzystane w badaniu

Sterowanie pracą i pomiarami w komorze klimatycznej odbywa się za pomocą jednostki sterowania i kontroli. Składa się ona z multiplexera wejściowego, konwertera analogowo-cyfrowego oraz procesora CPU. CPU kontroluje wszystkie procesy zapisu danych oraz komunikuje się z komputerem – hostem. Sygnały z termoelementów oraz miernika przepływu ciepła połączone są z wejściem konwertera analogowo – cyfrowego poprzez multiplexer wejściowy. Konwerter analogowo – cyfrowy przekształca napięcie wejściowe na wartości cyfrowe. Dokładność i rozdzielczość pomiaru spełnia wymagania normy PN-EN 1934.



### 3.2.1 Czujniki temperatury

Do pomiaru temperatury w komorze klimatycznej używanych jest 84 czujników temperatury – termopar typu T. Umieszczone są one w powietrzu otaczającym obiekt badawczy, na powierzchni ekranu po stronie zimnej i ciepłej oraz w punktach charakterystycznych maskownicy, rozmieszczone zgodnie z normą PN-EN ISO 8990.

### 3.2.2 Pomiar ilości ciepła dostarczonego do układu

Całkowita ilość ciepła dostarczona do układu to ciepło pochodzące z grzałek, ciepło wydzielane przez silniki wentylatorów oraz ciepło wydzielane przez elektronikę. Miara ilości ciepła jest całkowita moc elektryczna dostarczona do tych urządzeń. Moc elektryczna jest zliczana przez jednostkę sterowania i kontroli.

Dokładność pomiarów wielkości elektrycznych jest lepsza niż 0,01% od wartości rzeczywistej.

### 3.2.3 Pomiar prędkości przepływu powietrza

Czujniki do pomiaru prędkości powietrza zostały umieszczone centralnie na płytach przegrody powietrza po stronie ciepłej oraz zimnej, a także na przegrodzie powietrza skrzynki grzejnej.

Zakres pomiarowy: od 0 do 20 [m/s]  $\pm(0,3 \text{ [m/s]} + 4\% \text{ v.M.})$

### 3.2.4 Pomiar grubości obiektu badawczego

Pomiar grubości obiektu badawczego dokonywany jest za pomocą przymiaru liniowego

Dokładność:  $\pm 1 \text{ mm}$

### 3.2.5 Pomiar wartości współczynnika $\lambda$

Do pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  [W/mK] używany jest przyrząd ISOMET 2114.

### 3.2.6 Aparat płytowy FOX 802

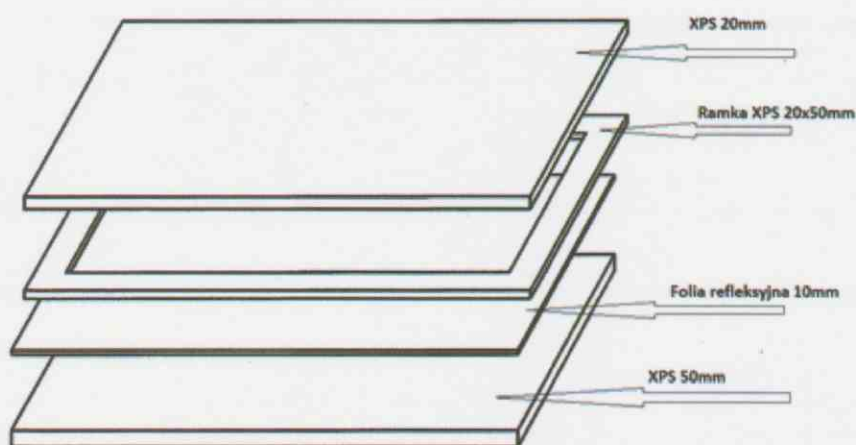
Pomiar temperatury płyty górnej i dolnej dokonywany jest za pomocą termopar umieszczonych w płytach. Pomiar gęstości strumienia ciepła przepływającego przez płyty aparatu dokonywany jest za pomocą stosów termopar umieszczonych w płytach aparatu płytowego. Pomiar grubości obiektu badawczego dokonywany jest przez odczyt przesunięcia śrub pociągowych sterujących przesunięciem płyty górnej aparatu.

#### 4 Opis obiektów badawczych

W komorze klimatycznej został przebadany obiekt o wymiarach 1230 mm x 1480 mm i grubości 100 mm.



Rys. 1. Obiekt badawczy



Rys. 2. Przekrój obiektu

Za pomocą przyrządu ISOMET 2114 został wyznaczony współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [W/mK] oraz pojemność cieplna  $C_{ro}$  [MJ/m<sup>3</sup>K] materiału ramki panelu.

W aparacie płytowym został wyznaczony współczynnik oporu cieplnego  $R$  [m<sup>2</sup>K/W] ramki panelu z folią refleksyjną umieszczoną od spodu.

#### 5 Czas trwania badania

Badanie zostało wykonane w okresie: styczeń – wrzesień 2019.

### III. WYNIKI BADAŃ

Tabela 3. Wyniki uzyskane w komorze klimatycznej

| Nr badania | Temperatury zadane<br>[°C] |              | Temperatura<br>Średnia<br>[°C] | Współczynnik U<br>[W/m²K] |
|------------|----------------------------|--------------|--------------------------------|---------------------------|
|            | Strona ciepła              | Strona zimna |                                |                           |
| 1          | 20°C                       | 0°C          | 10°C                           | 0,347                     |
| 2          | 20°C                       | -20°C        | 0°C                            | 0,345                     |

Tabela 4. Wyniki uzyskane dla styropianu XPS z panelu termoizolacyjnego metodą dynamiczną

| Nr pomiaru      | Współczynnik $\lambda$<br>[W/mK] | Pojemność cieplna Cro<br>[MJ/m³K] |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1               | 0,0348                           | 0,07032                           |
| 2               | 0,0346                           | 0,06944                           |
| 3               | 0,0346                           | 0,06944                           |
| 4               | 0,0347                           | 0,06989                           |
| 5               | 0,0349                           | 0,07045                           |
| Wartość średnia | 0,0347                           | 0,06991                           |

Tabela 5. Wyniki uzyskane w aparacie płytowym

| Nr badania | Grubość<br>[m] | Temperatury zadane<br>[°C] |                 | Temperatura<br>Średnia<br>[°C] | Współczynnik<br>oporu<br>cieplnego R<br>[m²K/W] | Ekwiwalentny<br>współczynnik<br>$\lambda$ [W/mK] |
|------------|----------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|            |                | Strona<br>ciepła           | Strona<br>zimna |                                |                                                 |                                                  |
| 1          | 0,063          | 20°C                       | 0°C             | 10°C                           | 1,873                                           | 0,0336                                           |
| 2          | 0,063          | 9°C                        | -9°C            | 0°C                            | 1,933                                           | 0,0326                                           |

### IV. WARTOŚCI OBLICZONE:

#### 1. Szacowana dokładność pomiarów

Dokładność pomiaru w komorze klimatycznej wyniosła  $\pm 3,3\%$

Dokładność pomiaru metodą dynamiczną wyniosła  $\pm 2\%$

Dokładność pomiaru dla aparatu płytowego wynosi  $\pm 0,1\%$



## V. LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 7345:1998 Izolacja cieplna. Wielkości fizyczne i definicje.
- [2] PN-ISO 31-4:2002 Wielkości fizyczne i jednostki miar – Część 4: Ciepło.
- [3] PN-EN ISO 10456:2009 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.
- [4] PN-EN 13238:2011 Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Procedury sezonowania i ogólne zasady wyboru podkładów.
- [5] Muratorplus
- [6] M. Sobolewski, K. Prekiel, Możliwości badawcze materiałów izolacyjnych w aparacie płytowym na przykładzie polistyrenu ekstrudowanego. Czasopismo Techniczne Technical Transactions. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Zeszyt 3. Rok 109.
- [7] K. Firkowicz-Pogorzelska. Metodyka określania wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych. Prace instytutu Techniki Budowlanej – kwartalnik nr 3 (119) 2001.

Opracował:

*Henryk B. Łoziczonek*  
mgr inż. Henryk B. Łoziczonek