

Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego



MLBE

**MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO**

**Raport z badania oporu cieplnego przegród
budowlanych zawierających warstwy wykonane z
wybranych tworzyw sztucznych**

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:

Kierownik badania: dr inż. Małgorzata Fedorczak-Cisak

Prowadzący badanie: mgr inż. Henryk Łoziczonek

M. Furtaka
Henryk B. Łoziczonek

Kraków 03/2019

- ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA -

**RAPORT Z BADANIA OPORU CIEPLNEGO PRZEGRÓD
BUDOWLANYCH ZAWIERAJĄCYCH WARSTWY WYKONANE Z
WYBRANYCH TWORZYW SZTUCZNYCH**

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 jest wyznaczenie oporu cieplnego R [$\text{m}^2\text{K/W}$] przegród budowlanych zawierających warstwy z tworzyw sztucznych oraz określenie optymalnego doboru rodzaju i grubości materiałów w tych warstwach, a także optymalnego rozkładu warstw.

2. Celem naukowym będzie potwierdzenie właściwości izolacyjnych wybranych tworzyw sztucznych oraz określenie optymalnego rozkładu warstw, z uwzględnieniem rodzaju i grubości materiału zastosowanego w danej warstwie.

2. Zakres opracowania

Zakresem opracowania obejmuje opis procedury badawczej oraz przeprowadzenie obliczeń w celu porównania uzyskanych wyników.

3. Podstawa prawna opracowania

Eksperti 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 Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,
- 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.),
- Norma europejska PN-EN ISO 6946:2008 – „Komponenty budowlane elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania”,
- 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

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 przewodzenia ciepła λ 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 λ_{eq} [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.¹

Temperatura otoczenia – jako temperaturę otoczenia przyjmuje się temperaturę 25°C – temperaturę pokojową.

Temperatura środowiska – średnia ważona temperatury powietrza i promieniowania od powierzchni próbki, z uwzględnieniem wpływu radiacji i konwekcji.

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

¹ Schöck

całkowitą ilość ciepła przenikającego z jednej strony obiektu do drugiej, dla danej różnicy temperatur, w zdefiniowanych warunkach badania.

Wartością mierzoną w aparacie płytowym jest opór cieplny R [$\text{m}^2\text{K/W}$] warstwy materiału oraz współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/mK].

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.

Badanie zostało przeprowadzone dla temperatur, które zostały ustalone na powierzchniach płyt aparatu:

Tabela 1. Zadeklarowane temperatury badania

Strona ciepła	Strona zimna	Różnica temperatur	Wartość średnia
20°C	0°C	20K	10°C
55°C	-5°C	60K	25°C

Orientacja obiektu: pozioma.

Kierunek przewodzenia ciepła: pionowy.

Celem badania było wyznaczenie oporu cieplnego dostarczonych obiektów wykonanych z wybranych tworzyw sztucznych.

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

3. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze to aparat płytowy do wyznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych.

Aparat płytowy służy do wyznaczania oporu cieplnego przegrody R [$\text{m}^2\text{K/W}$] oraz współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/mK] materiałów budowlanych w warunkach stanu ustalonego. Posiada on komorę izolowaną cieplnie od warunków otoczenia. Wewnątrz komory znajdują się dwie płyty, nieruchoma dolna oraz ruchoma górna, z możliwością dociśnięcia jej do górnej powierzchni obiektu badawczego. Na płytach ustalane są temperatury dla zadeklarowanych warunków badania. Różnica temperatur powoduje przepływ ciepła przez obiekt badawczy. W płytach znajdują się przetworniki strumienia ciepła. Aparat posiada system pomiaru grubości obiektu badawczego. Znajomość tych parametrów pozwala na wyznaczenie wartości współczynnika λ .

Aparat jest wyposażony w system rotacyjny umożliwiający pomiar obiektu badawczego umieszczonego pod kątem z zakresu od 0° do 90° .

3.1 Metody badawcze

Metoda z użyciem aparatu płytowego jest przeznaczona do wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła obiektów badawczych - izolacyjnych materiałów budowlanych. Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/mK] otrzymujemy przez wyznaczenie gęstości strumienia ciepła q [W/m²] dla znanej grubości obiektu badawczego oraz zadanej różnicy temperatur na jego powierzchniach, w warunkach termicznego stanu ustalonego oraz jednorodnego strumienia ciepła. Jako wartość wynikową przyjmuje się wartość średnią współczynnika λ [W/mK] z wartości uzyskanych na płytach górnej i dolnej. Podczas badania wyznaczany jest opór cieplny R [m²K/W] przegrody.

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą: PN-ISO 8301, PN-ISO 8302 oraz ASTM C518-15.

3.2 Czujniki wykorzystane w badaniu

3.2.1 Mierniki gęstości strumienia ciepła

Do pomiaru gęstości strumienia cieplnego został wykorzystany elektryczny przetwornik strumienia ciepła. Daje on sygnał elektryczny, który jest bezpośrednią funkcją gęstości strumienia cieplnego przechodzącego przez niego. Mierniki gęstości strumienia ciepła umieszczone są w płycie górnej i dolnej.

Rozdzielczość pomiaru temperatury: $0,01^\circ\text{C}$

3.2.2 Czujniki temperatury

Czujniki temperatury umieszczone są na powierzchni płyty górnej oraz dolnej i służą do pomiaru temperatury na powierzchniach obiektu badawczego.

Do pomiaru temperatury panującej na powierzchniach obiektu badawczego mogą być stosowane dodatkowe termopary.

Zakres pomiarowy: od -15°C do 85°C

Dokładność: $\pm 0,02^\circ\text{C}$

3.2.3 Pomiar przesunięcia płyty górnej

Pomiar grubości obiektu badawczego dokonywany jest przez pomiar przesunięcia płyty

górnej. Do tego pomiaru używane są sensory umieszczone na śrubach pociągowych układu napędowego.

Zakres: od 0 do 300 [mm].

Dokładność odczytu: $\pm 0,025$ [mm].

4 Opis obiektów badawczych

W aparacie płytowym były badane obiekty o wymiarach 750 x 750 mm i grubości 100 mm.

Tabela nr 2 zawiera wykaz materiałów podlegających badaniom, a w tabeli nr 3 są przedstawione obiekty badawcze zestawione z wybranych materiałów.

Obiekty badawcze nr 41, 42, 43, 47 i 48 składały się z elementów, które nie były ze sobą powiązane, natomiast w obiektach badawczych nr 44, 45 oraz 46 poszczególne warstwy materiału zostały połączone klejem.

Tabela 2. Wykaz materiałów

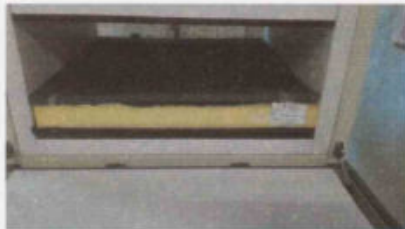
Poz.	Materiał
1.	Kauczuk syntetyczny
2.	Poliuretan lekki
3.	Poliuretan standardowy
4.	Aluminium
5.	Polietylen
6.	Włókno poliestrowe

Tabela 3. Wykaz obiektów badawczych

Nr badania	Numer obiektu badawczego	Zestawienie warstw materiału		
Badanie nr 1	Obiekt nr 41	4 warstwy materiału, bez kleju	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			poliuretan lekki	60 mm
			aluminium	1 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm

RAPORT Z BADANIA OPORU CIEPLNEGO PRZEGRÓD BUDOWLANYCH
ZAWIERAJĄCYCH WARSTWY WYKONANE Z WYBRANYCH TWORZYW SZTUCZNYCH

Badanie nr 2	Obiekt nr 42	3 warstwy materiału, bez kleju	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			poliuretan lekki	61 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 3	Obiekt nr 43	4 warstwy materiału, bez kleju	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			włókno poliestrowe	20 mm
			poliuretan lekki	41 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 4	Obiekt nr 44	4 warstwy materiału, z klejem	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			poliuretan lekki	60 mm
			aluminium	1 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 5	Obiekt nr 45	3 warstwy materiału, z klejem	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			poliuretan lekki	61 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 6	Obiekt nr 46	4 warstwy materiału, z klejem	Warstwy materiału	Grubość
			kauczuk syntetyczny	19 mm
			włókno poliestrowe	20 mm
			poliuretan lekki	41 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 7	Obiekt nr 47	2 warstwy materiału, bez kleju	Warstwy materiału	Grubość
			poliuretan lekki	80 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm
Badanie nr 8	Obiekt nr 48	2 warstwy materiału, bez kleju	Warstwy materiału	Grubość
			poliuretan standardowy	80 mm
			polietylen	20 mm
		Razem		100 mm



Rys. 1. Obiekt nr 41. Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen



Rys. 2. Obiekt nr 42. Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen



Rys. 3. Obiekt nr 43. Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen



Rys. 4. Obiekt nr 44. Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen, z klejem



Rys. 5. Obiekt nr 45. Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen, z klejem



Rys. 6. Obiekt nr 46. Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen, z klejem



Rys. 7. Obiekt nr 47. Poliuretan lekki, polietylen



Rys. 8. Obiekt nr 48. Poliuretan standardowy, polietylen

5 Czas trwania badania

Czas wykonywania badania wynosił: styczeń – luty 2019

III. WYNIKI BADAŃ

Wyniki uzyskane w badaniu dla zadanych temperatur 20°C po stronie ciepłej oraz 0°C po stronie zimnej przedstawione są w tabeli nr 4 a dla zadanych temperatur 55°C po stronie ciepłej oraz -5°C po stronie zimnej przedstawione są w tabeli nr 5.

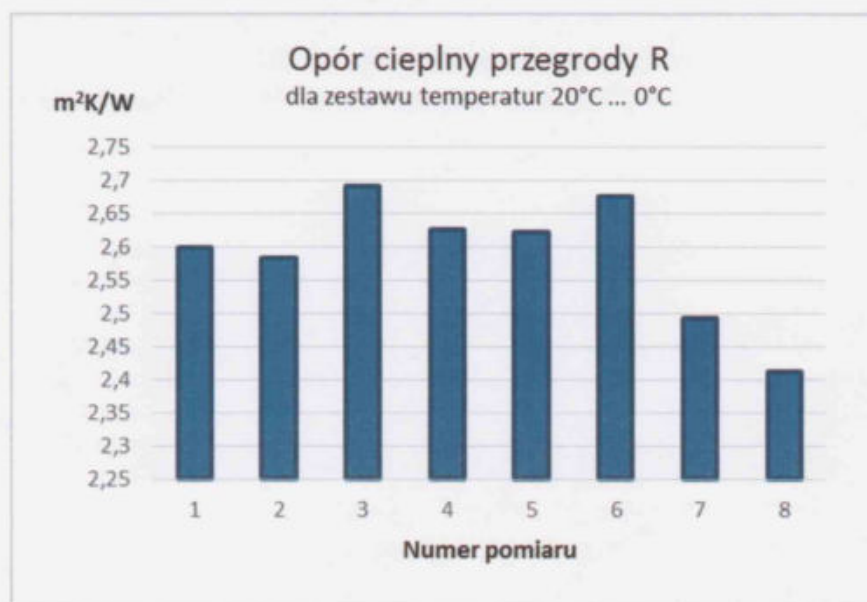
Tabela nr 6 zawiera zestawienie wartości współczynnika oporu cieplnego R [m²K/W] uzyskane dla obiektów badawczych, w których warstwy materiału nie były ze sobą powiązane oraz tych, w których warstwy materiału zostały połączone klejem.

Tabela 4. Wyniki badania dla zadanych temperatur 20°C po stronie ciepłej i 0°C po stronie zimnej

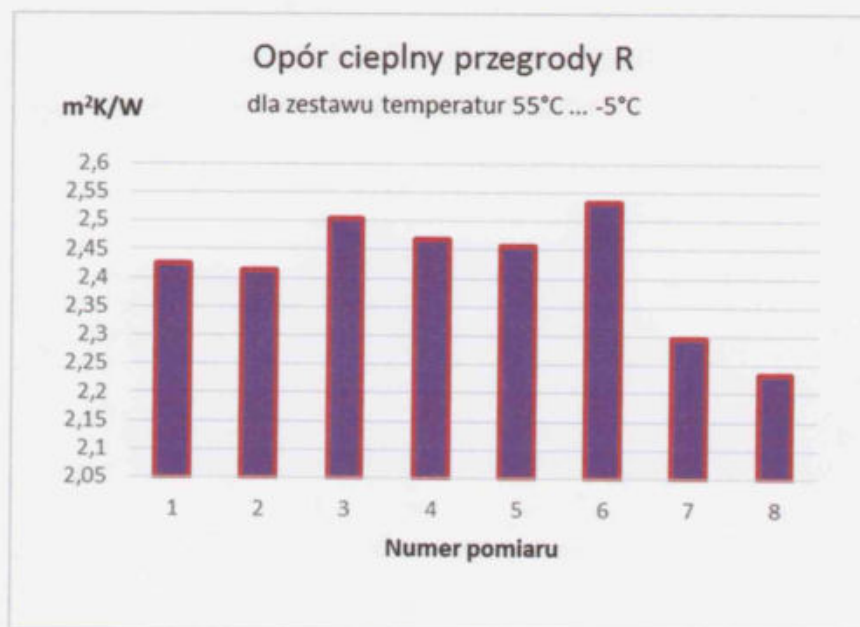
Nr badania	Nr obiektu badawczego	Obiekt badawczy	Opór cieplny R [m ² K/W]	Ekwiwalentny współczynnik λ [W/mK]
1	Obiekt nr 41	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen, bez kleju	2,599	0,03848
2	Obiekt nr 42	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,584	0,03870
3	Obiekt nr 43	Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,692	0,03715
4	Obiekt nr 44	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen, z klejem	2,626	0,03864
5	Obiekt nr 45	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen, z klejem	2,622	0,03840
6	Obiekt nr 46	Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen, z klejem	2,676	0,03753
7	Obiekt nr 47	Poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,494	0,04009
8	Obiekt nr 48	Poliuretan standardowy, polietylen, bez kleju	2,413	0,03907

Tabela 5. Wyniki badania dla zadanych temperatur 55°C po stronie ciepłej i -5°C po stronie zimnej

Nr badania	Nr obiektu badawczego	Obiekt badawczy	Opór cieplny R [m ² K/W]	Ekwiwalentny współczynnik λ [W/mK]
1	Obiekt nr 41	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen, bez kleju	2,426	0,04121
2	Obiekt nr 42	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,414	0,04143
3	Obiekt nr 43	Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,505	0,03992
4	Obiekt nr 44	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, aluminium, polietylen, z klejem	2,468	0,04113
5	Obiekt nr 45	Kauczuk syntetyczny, poliuretan lekki, polietylen, z klejem	2,457	0,04099
6	Obiekt nr 46	Kauczuk syntetyczny, włókno poliestrowe, poliuretan lekki, polietylen, z klejem	2,534	0,04005
7	Obiekt nr 47	Poliuretan lekki, polietylen, bez kleju	2,296	0,04354
8	Obiekt nr 48	Poliuretan standardowy, polietylen, bez kleju	2,234	0,04220



Rys.9. Zestawienie wartości oporu cieplnego R dla zadanych temperatur 20°C po stronie ciepłej oraz 0°C po stronie zimnej



Rys.10. Zestawienie wartości oporu cieplnego R dla zadanych temperatur 55°C po stronie cieplej oraz -5°C po stronie zimnej

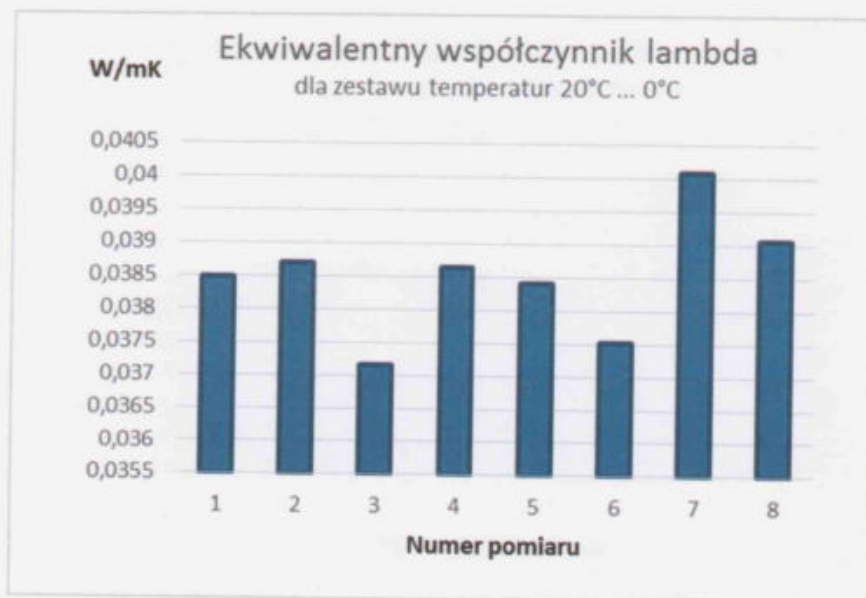
W tabelach nr 6 i 7 przedstawione jest zestawienie porównawcze wartości współczynnika oporu cieplnego R [m²K/W] uzyskanych dla obiektów, w których warstwy materiałów izolacyjnych były połączone klejem z wartościami uzyskanymi dla obiektów, w których warstwy nie były połączone.

Tabela 6. Zestawienie porównawcze wartości współczynnika oporu cieplnego R [m²K/W] uzyskanych dla obiektów, w których warstwy materiałów izolacyjnych były połączone klejem z wartościami uzyskanymi dla obiektów, w których warstwy nie były połączone dla zadanych temperatur 20°C po stronie cieplej oraz 0°C po stronie zimnej

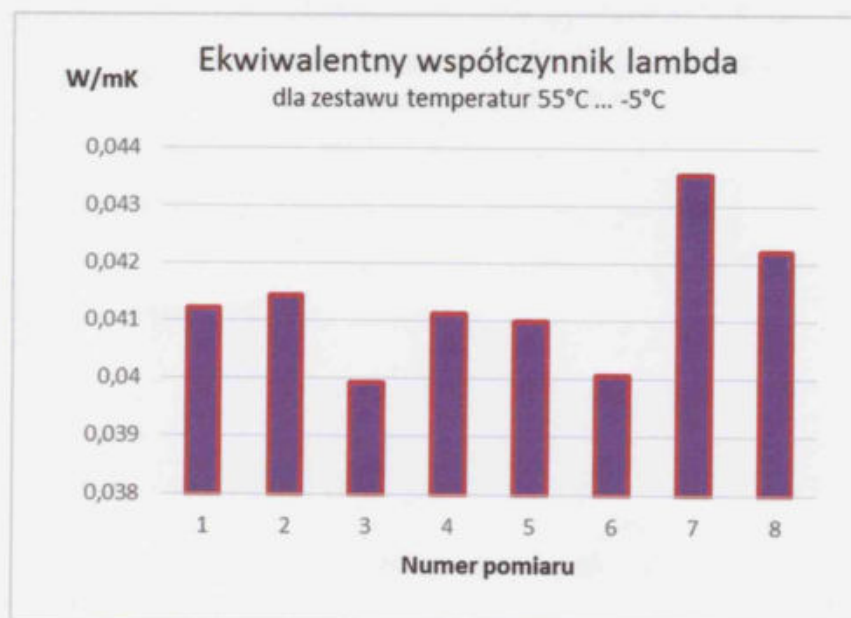
Nr badania	Opór cieplny R [m²K/W]	Nr badania	Opór cieplny R [m²K/W]	Nr badania	Opór cieplny R [m²K/W]
Badanie nr 1	2,599	Badanie nr 2	2,584	Badanie nr 3	2,692
Badanie nr 4	2,626	Badanie nr 5	2,622	Badanie nr 6	2,676
Różnica procentowa	1,0%	Różnica procentowa	1,5%	Różnica procentowa	-0,6%

Tabela 7. Zestawienie porównawcze wartości współczynnika oporu cieplnego R [$\text{m}^2\text{K/W}$] uzyskanych dla obiektów, w których warstwy materiałów izolacyjnych były połączone klejem z wartościami uzyskanymi dla obiektów, w których warstwy nie były połączone dla zadanych temperatur 55°C po stronie cieplej oraz -5°C po stronie zimnej

Nr badania	Opór cieplny R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Nr badania	Opór cieplny R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Nr badania	Opór cieplny R [$\text{m}^2\text{K/W}$]
Badanie nr 1	2,426	Badanie nr 2	2,414	Badanie nr 3	2,505
Badanie nr 4	2,468	Badanie nr 5	2,457	Badanie nr 6	2,534
Różnica procentowa	1,7%	Różnica procentowa	1,8%	Różnica procentowa	1,2%



Rys. 11. Zestawienie wartości ekwiwalentnego współczynnika λ dla zadanych temperatur 20°C po stronie cieplej oraz 0°C po stronie zimnej



Rys. 12. Zestawienie wartości ekwiwalentnego współczynnika λ dla zadanych temperatur 55°C po stronie cieplej oraz -5°C po stronie zimnej

IV. WARTOŚCI OBLICZONE:

1. Szacowana dokładność pomiarów

Dokładność pomiaru dla aparatu płytowego wynosi $\sim 1\%$

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.
- [8] A. Miros, G. Swólek. Problemy pomiaru wartości współczynnika przewodzenia ciepła w wysokich temperaturach. Izolacje 10/2012.

Opracował:


mgr inż. Henryk B. Łoziczonek