

Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego



**MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO**

Raport z badania właściwości cieplnych aerożelowych mat izolacyjnych

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 Fedorczyk-Cisak

Prowadzący badanie: mgr inż. Henryk Łoziczonek

Kraków 10/2018

- ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA -

**RAPORT Z BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH AEROŻELOWYCH MAT
IZOLACYJNYCH:**

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

1. Wyniki badania przy stałej różnicy temperatur
2. Wyniki badania przy stałej temperaturze średniej

IV. WARTOŚCI OBLICZONE

1. Szacowana dokładność pomiarów

V. LITERATURA

I. PODSTAWY PRAWNE OPRACOWANIA

1. Cel opracowania

Celem opracowania jest określenie zależności współczynnika przewodzenia ciepła λ od temperatury dla materiałów izolacyjnych – mat aerożelowych oraz porównanie uzyskanych wartości z wartościami uzyskanymi dla płyt polistyrenu ekstrudowanego XPS oraz ze styropianu EPS.

2. Zakres opracowania

Zakresem opracowania obejmuje opis procedury badawczej oraz przedstawienie 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 grzejną,

- 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 przenikania ciepła U [W/m^2K] – Strumień cieplny w stanie ustalonym podzielony przez pole powierzchni i przez różnicę temperatur otoczenia po obu stronach układu. Jest to współczynnik określający przenikanie ciepła przez przegrody termiczne. Współczynnik ten dla powierzchni płaskiej określa ilość ciepła przenikającego przez przegrodę o jednostkowym polu powierzchni, gdy panuje między powierzchniami różnica temperatur równa jednostce temperatury. Pozwala on oznaczyć właściwości termoizolacyjne danej przegrody domu (ściany, okna, dach, etc.). Wartość U określa ilość energii, jaka przenika przez jeden metr kwadratowy przegrody w czasie jednej sekundy gdy różnica między temperaturą panującą na zewnątrz i wewnątrz wynosi 1 stopień Celsjusza.

Współczynnik przewodzenia ciepła λ dla materiałów budowlanych [W/mK] – Współczynnik przewodzenia ciepła λ (lambda) to ilość energii cieplnej przepływającej na wskroś pewnej masy próbki, w wyniku zewnętrznej różnicy temperatur. Dla ciała o kształcie prostopadłościanu przewodzącego ciepło w warunkach stanu stabilnego ilość przekazanego ciepła jest zależna od substancji, proporcjonalna do przekroju ciała, różnicy temperatur oraz czasu przepływu ciepła. Współczynnik przewodzenia ciepła λ określa zdolność materiału do przewodzenia ciepła.

Strumień cieplny Φ [W] – Ilość ciepła przepływająca do lub z układu, podzielona przez czas.

Gęstość strumienia cieplnego q [W/m^2] – Strumień cieplny podzielony przez pole powierzchni.

Opór cieplny R [$(m^2K)/W$] – Różnica temperatur podzielona przez gęstość strumienia cieplnego w stanie ustalonym.

II. OPIS METODY BADAWCZEJ

1. Metodyka badań

W elementach obudowy budynków występują złożone procesy transportu ciepła poprzez przewodzenie, promieniowanie, konwekcję oraz wymianę masy. Metodologia, według której przeprowadzono badanie, określa całkowitą ilość ciepła przenikającego od jednej powierzchni obiektu do drugiej, dla danej różnicy temperatur, w zdefiniowanych warunkach badania. Badanie zostało wykonane w warunkach stacjonarnych, dla jednokierunkowego przepływu ciepła.

Podczas interpretacji wyników badań należy mieć na uwadze, że właściwości wymiany ciepła często zależą od właściwości cieplnych samego obiektu badawczego, od warunków brzegowych, wymiarów próbki oraz wielu innych parametrów, zatem wyniki otrzymane z pojedynczego obiektu badawczego nie są konieczne reprezentatywne lub możliwe do odniesienia do wszystkich próbek z danej technologii.

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

Badanie zostało wykonane aparatem płytowym Fox 802 zgodnie z normą PN-ISO 8301.

2. Procedura badania

W celu przygotowania obiektów badawczych zgodnie z normą PN-EN 13238, zostały one poddane procesowi kondycjonowania aż do osiągnięcia w próbkach wyrównanego rozkładu wilgoci.

Tabele nr 1 i 2 zawierają zestawienie temperatur, które zostały zadane na płytach aparatu płytowego. Zestawienie obiektów, które zostały poddane badaniu, zawiera tabela nr 3.

Wykonane zostały dwa zestawy badań:

- Przy stałej różnicy temperatur (Tabela nr 1). Różnica temperatur wynosiła 20 K.
- Przy stałej temperaturze średniej (Tabela nr 2). Średnia temperatura wynosiła 30 °C

Tabela 1. Zestawienie zadanych temperatur dla badania przy stałej różnicy temperatur

Numer badania	Strona ciepła [°C]	Strona zimna [°C]	Różnica temperatur między stroną ciepłą i zimną [K]	Wartość średnia [°C]
Badanie nr 1	10	-10	20	0
Badanie nr 2	15	-5	20	5
Badanie nr 3	20	0	20	10
Badanie nr 4	30	10	20	20
Badanie nr 5	40	20	20	30
Badanie nr 6	50	30	20	40
Badanie nr 7	54	34	20	44

Tabela 2. Zestawienie zadanych temperatur dla badania przy stałej temperaturze średniej

Numer badania	Strona ciepła [°C]	Strona zimna [°C]	Różnica temperatur między stroną ciepłą i zimną [K]	Wartość średnia [°C]
Badanie nr 8	35	25	10	30
Badanie nr 9	45	15	30	30
Badanie nr 10	55	5	50	30
Badanie nr 11	65	-5	70	30

Grubość próbki jest mierzona w aparacie płytowym automatycznie lub podawana (wpisywana) ręcznie przez eksperymentatora. W czasie pomiaru automatycznego następuje dociśnięcie górnej płyty aparatu do górnej powierzchni badanej próbki. Podczas takiego pomiaru grubości, próbki aerożelowe ulegały zgnieceniu a ich grubość była mniejsza od deklarowanej przez producenta. Miało to wpływ na wynik badania. Tabela 4, 6, 8 i 10 zawiera wyniki uzyskane dla próbek aerożelowych nie poddanych zgnieceniu – grubość próbki została wprowadzona ręcznie. W tabelach 5, 7, 9 i 11 zostały podane wartości dla próbek, których grubość była zmierzona automatycznie.

Dla porównania uzyskanych w trakcie badania wyników z właściwościami powszechnie stosowanych materiałów izolacyjnych, w tych samych warunkach zostały przebadane płyty z polimeru ekstrudowanego XPS oraz ze styropianu EPS. Właściwości tych materiałów zostały przedstawione w tabeli nr 3.

3. Opis stanowiska badawczego

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

Aparat płytowy służy do wyznaczania 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 obliczenie wartości współczynnika λ [W/mK].

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, zgodnie z normą PN-ISO 8301. Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/mK] otrzymujemy przez pomiar gęstości strumienia ciepła q [W/m²] przepływającego przez obiekt badawczy o znanej grubości oraz 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.

3.2 Czujniki wykorzystane w badaniu

Aparat płytowy jest wyposażony w czujniki do pomiaru temperatury, gęstości strumienia ciepła oraz grubości obiektu badawczego. Każda z płyt została wyposażona w system chłodząco-grzewczy zawierający szereg modułów Peltiera. Temperatury płyt mogą być niezależnie utrzymywane na dowolnej wartości z zakresu od -15°C do 85°C z

dokładnością $\pm 0,02$ [K].

Na powierzchni każdej z płyt zastosowane zostały wysokosygnałowe elektryczne przetworniki do pomiaru gęstości strumienia ciepła. Składają się one z tysięcy małych termopar. W środku każdego z przetworników zamontowana została termopara typu E. Termopary te zostały umieszczone tuż przy powierzchniach płyt aby mierzyć temperatury panujące na powierzchniach płyt oraz na powierzchniach próbki.

24-bitowy konwerter analogowo-cyfrowy zamienia sygnał z termopar i przetworników na sygnał cyfrowy z rozdzielczością $0,6$ [μV], co daje rozdzielczość pomiaru temperatury równą $0,01$ [K].

Na każdym z narożników płyty ruchomej zamontowany został precyzyjny cyfrowy system pomiaru położenia płyty. Dokładność odczytu grubości próbki wynosi $\pm 0,025$ [mm]. W przypadku badania materiałów elastycznych (np. wełna mineralna), wartość grubości próbki jest wprowadzana ręcznie.

4 Opis obiektów badawczych

Badaniu podlegały maty aerożelowe, maty na nadproża, płyty z polistyrenu XPS oraz płyta ze styropianu fasadowego XPS.

W tabeli nr 3 zestawione zostały geometria oraz opisy obiektów badawczych.

Tabela 3. Wykaz obiektów badawczych

Nazwa obiektu badawczego	Opis	Wymiary [mm]	Grubość nominalna [mm]	Grubość zmierzona [mm]	Gęstość [kg/m^3]
Obiekt nr 1	Mata aerożelowa biała	760 x 760	13	11,9824	180
Obiekt nr 2	Mata aerożelowa popielata	760 x 760	10	8,9725	146
Obiekt nr 3	Mata aerożelowa na nadproża 13	760 x 760	13	14,8717	169
Obiekt nr 4	Mata aerożelowa na nadproża 10	760 x 760	10	12,3571	135
Obiekt nr 5	Płyta z polistyrenu XPS zielonego	750 x 750	50	50,1459	32
Obiekt nr 6	Płyta z polistyrenu XPS różowego	750 x 750	50	51,6572	34
Obiekt nr 7	Płyta ze styropianu fasadowego EPS	750 x 750	50	48,4378	14

Na rys. 1 – 7 przedstawiono badane obiekty:



Rys. 1. Obiekt nr 1. Mata aerożelowa biała o grubości 13 mm



Rys. 2. Obiekt nr 2. Mata aerożelowa popielata o grubości 10 mm



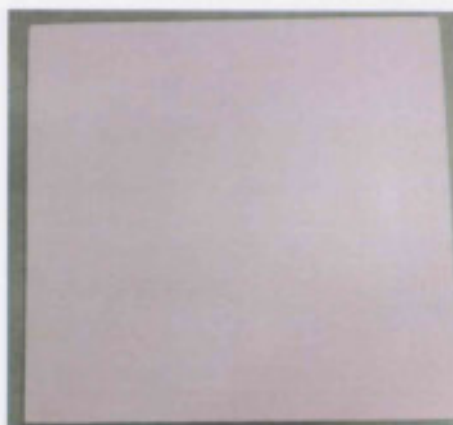
Rys. 3. Obiekt nr 3. Mata aerożelowa na nadproża o grubości 13 mm



Rys. 4. Obiekt nr 4. Mata aerożelowa na nadproża o grubości 10 mm



Rys. 5. Obiekt nr 5. Płyta z polistyrenu ekstrudowanego XPS zielonego o grubości 50 mm



Rys. 6. Obiekt nr 6. Płyta z polistyrenu ekstrudowanego XPS różowego o grubości 50 mm



Rys. 7. Obiekt nr 7. Płyta ze styropianu fasadowego o grubości 50 mm

5 Czas trwania badania

Czas wykonywania badania wynosił: styczeń – lipiec 2018

III. WYNIKI BADAŃ

Wyniki przedstawione w tabelach 4, 6, 8 i 10 zostały uzyskane dla próbek o grubościach deklarowanej przez producenta. W tabelach 5, 7, 9 i 11 są wyniki uzyskane dla obiektów, których grubość została zmierzona podczas badania. Tabele 12, 13 i 14 zawierają wyniki badania polistyrenu XPS i styropianu EPS.

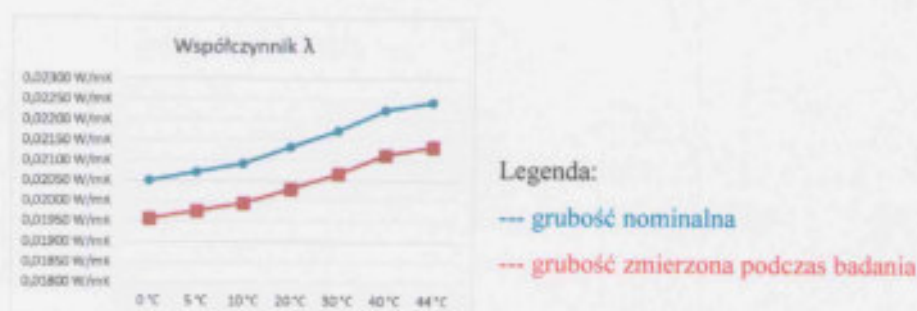
1 Wyniki badania przy stałej różnicy temperatur równej 20 K.

Tabela 4. Obiekt nr 1. Mata aerożelowa biała. Grubość nominalna 13 mm wprowadzona przez eksperymentatora.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	31,57	0,6335	0,02052	0%
Badanie nr 2	5	31,90	0,6270	0,02073	1,0%
Badanie nr 3	10	32,21	0,6208	0,02094	2,0%
Badanie nr 4	20	32,83	0,6093	0,02133	3,9%
Badanie nr 5	30	33,48	0,5977	0,02175	6,0%
Badanie nr 6	40	34,20	0,5848	0,02223	8,3%
Badanie nr 7	44	34,50	0,5796	0,02243	9,3%

Tabela 5. Obiekt nr 1. Mata aerożelowa biała. Grubość 11,9824 mm uzyskana podczas badania.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	32,69	0,6119	0,01958	0%
Badanie nr 2	5	32,99	0,6063	0,01976	0,9%
Badanie nr 3	10	33,30	0,6006	0,01995	1,9%
Badanie nr 4	20	33,90	0,5902	0,02030	3,7%
Badanie nr 5	30	34,55	0,5791	0,02069	5,7%
Badanie nr 6	40	35,29	0,5669	0,02114	8,0%
Badanie nr 7	44	35,29	0,5617	0,02133	8,9%



Rys. 8. Zestawienie wartości współczynnika λ dla maty aerożelowej białej o grubości 13 mm bez docisku oraz dociśniętej górną płytą aparatu.

Tabela 6. Obiekt nr 2. Mata aerożelowa popielata. Grubość nominalna 10 mm wprowadzona przez eksperymentatora.

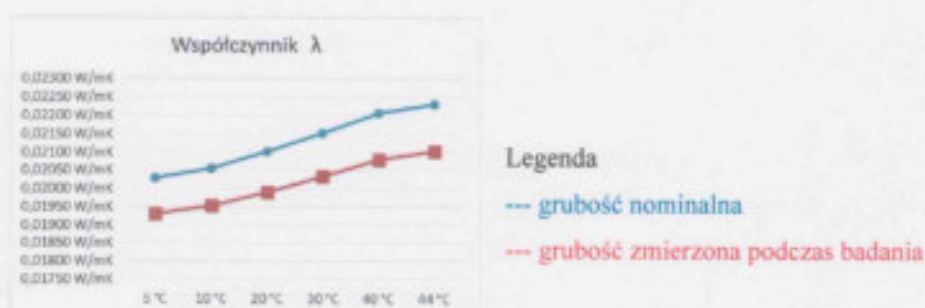
Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	*	*	*	*
Badanie nr 2	5	40,59	0,4927	0,02030	0%
Badanie nr 3	10	41,14	0,4861	0,02057	1,3%**
Badanie nr 4	20	42,08	0,4754	0,02103	3,6%**
Badanie nr 5	30	43,09	0,4644	0,02153	6,1%**
Badanie nr 6	40	44,17	0,4528	0,02208	8,8%**
Badanie nr 7	44	44,62	0,4481	0,02232	10,0%**

* Nie została osiągnięta zadana temperatura

** Wartości odniesione do badania nr 2

Tabela 7. Obiekt nr 2. Mata aerożelowa popielata. Grubość 8,9725 mm uzyskana podczas badania.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	42,52	0,4704	0,01907	0%
Badanie nr 2	5	42,53	0,4647	0,01931	1,3%
Badanie nr 3	10	43,54	0,4594	0,01953	2,4%
Badanie nr 4	20	44,41	0,4506	0,01991	4,4%
Badanie nr 5	30	45,34	0,4413	0,02033	6,6%
Badanie nr 6	40	46,39	0,4311	0,02081	9,1%
Badanie nr 7	44	46,82	0,4270	0,02101	10,2%



Rys. 9. Zestawienie wartości współczynnika λ dla maty aerożelowej popielatej o grubości 10 mm bez docisku oraz dociśniętej górną płytą aparatu.

Tabela 8. Obiekt nr 3. Mata aerożelowa na nadproża 13 mm. Grubość nominalna 13 mm wprowadzona przez eksperymentatora.

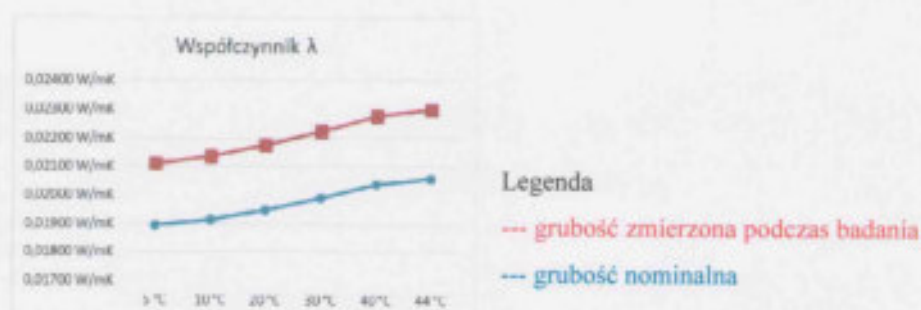
Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	28,86	0,6931	0,01876	0%
Badanie nr 2	5	29,15	0,6860	0,01895	1,0%
Badanie nr 3	10	29,45	0,6792	0,01914	2,0%
Badanie nr 4	20	30,00	0,6669	0,01949	3,9%
Badanie nr 5	30	30,65	0,6532	0,01990	6,1%
Badanie nr 6	40	31,35	0,6379	0,02038	8,6%
Badanie nr 7	44	31,66	0,6316	0,02058	9,7%

Tabela 9. Obiekt nr 3. Mata aerożelowa na nadproża 13 mm. Grubość 14,8717 mm uzyskana podczas badania.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	*	*	*	*
Badanie nr 2	5	28,39	0,7043	0,02111	0%
Badanie nr 3	10	28,70	0,6969	0,02134	1,1%**
Badanie nr 4	20	29,28	0,6834	0,02176	3,1%**
Badanie nr 5	30	29,91	0,6691	0,02223	5,3%**
Badanie nr 6	40	30,62	0,6532	0,02277	7,9%**
Badanie nr 7	44	30,91	0,6468	0,02299	8,9%**

* Nie została osiągnięta zadana temperatura

** Wartości odniesione do badania nr 2



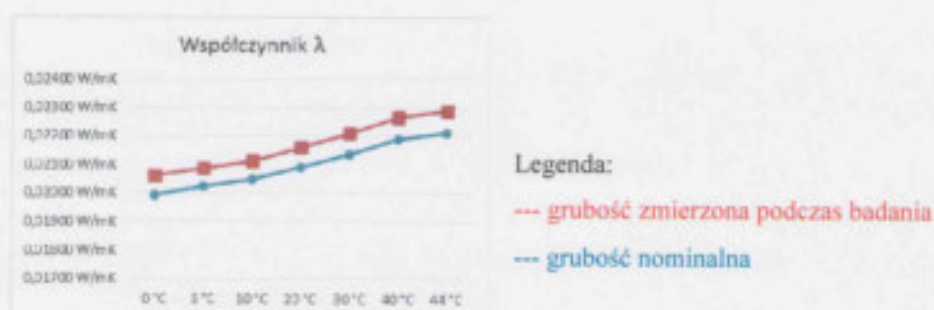
Rys. 10. Zestawienie wartości współczynnika λ dla maty aerożelowej na nadproża o grubości 13 mm bez docisku oraz dociśniętej górną płytą aparatu.

Tabela 10. Obiekt nr 4. Mata aerożelowa na nadproża 10 mm. Grubość nominalna 10 mm wprowadzona przez eksperymentatora.

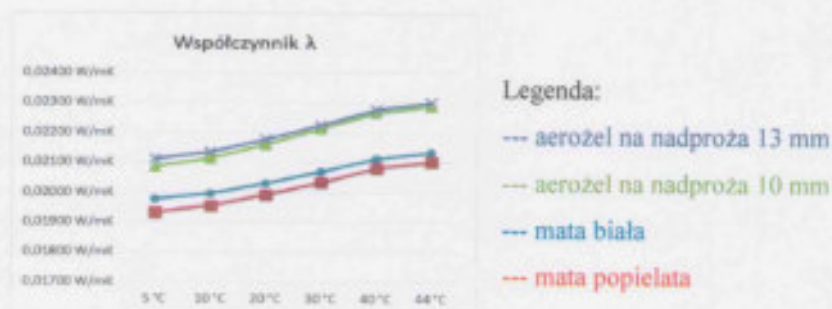
Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	34,67	0,5767	0,01994	0%
Badanie nr 2	5	35,21	0,5679	0,02025	1,6%
Badanie nr 3	10	35,63	0,5613	0,02049	2,8%
Badanie nr 4	20	36,38	0,5499	0,02091	4,9%
Badanie nr 5	30	37,21	0,5378	0,02138	7,2%
Badanie nr 6	40	38,11	0,5248	0,02191	9,9%
Badanie nr 7	44	38,49	0,5195	0,02214	11,0%

Tabela 11. Obiekt nr 4. Mata aerożelowa na nadproża 10 mm. Grubość 12,3571 mm uzyskana podczas badania.

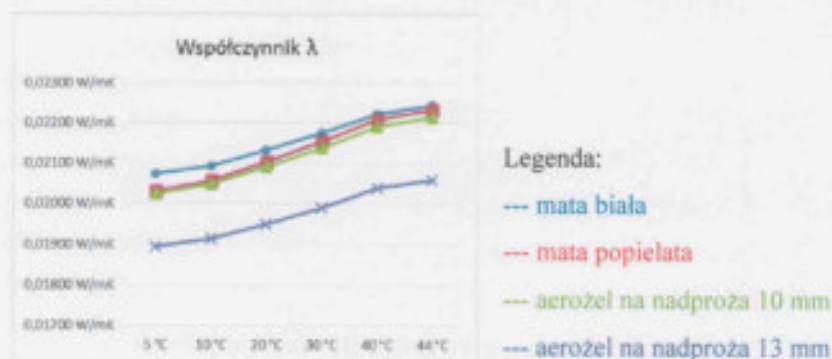
Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	33,35	0,5999	0,02060	0%
Badanie nr 2	5	33,75	0,5925	0,02086	1,6%
Badanie nr 3	10	34,19	0,5849	0,02113	2,6%
Badanie nr 4	20	34,98	0,5720	0,02160	4,9%
Badanie nr 5	30	35,80	0,5590	0,02211	7,3%
Badanie nr 6	40	36,67	0,5453	0,02266	10,0%
Badanie nr 7	44	37,04	0,5399	0,02289	11,1%



Rys. 11. Zestawienie wartości współczynnika λ dla maty aerożelowej na nadproża o grubości 10 mm bez docisku oraz dociśniętej górną płytą aparatu.



Rys. 12. Zestawienie wartości współczynnika λ dla badanych mat aerożelowych uzyskanych dla grubości zmierzonych podczas badania.



Rys. 13. Zestawienie wartości współczynnika λ dla badanych mat aerożelowych uzyskanych dla grubości wprowadzonych przez eksperymentatora.

Tabela 12. Obiekt nr 5. Płyta z polistyrenu XPS zielonego. Grubość 50,1459 mm została uzyskana podczas badania.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	12,51	1,597	0,03133	0%
Badanie nr 2	5	12,79	1,562	0,03202	2,2%
Badanie nr 3	10	13,00	1,539	0,03252	3,8%
Badanie nr 4	20	13,38	1,496	0,03344	6,7%
Badanie nr 5	30	13,77	1,454	0,03441	9,8%
Badanie nr 6	40	14,17	1,411	0,03545	13,2%
Badanie nr 7	44	14,35	1,394	0,03589	14,6%

Tabela 13. Obiekt nr 6. Płyta z polistyrenu XPS różowego. Grubość 51,6572 mm została uzyskana podczas badania.

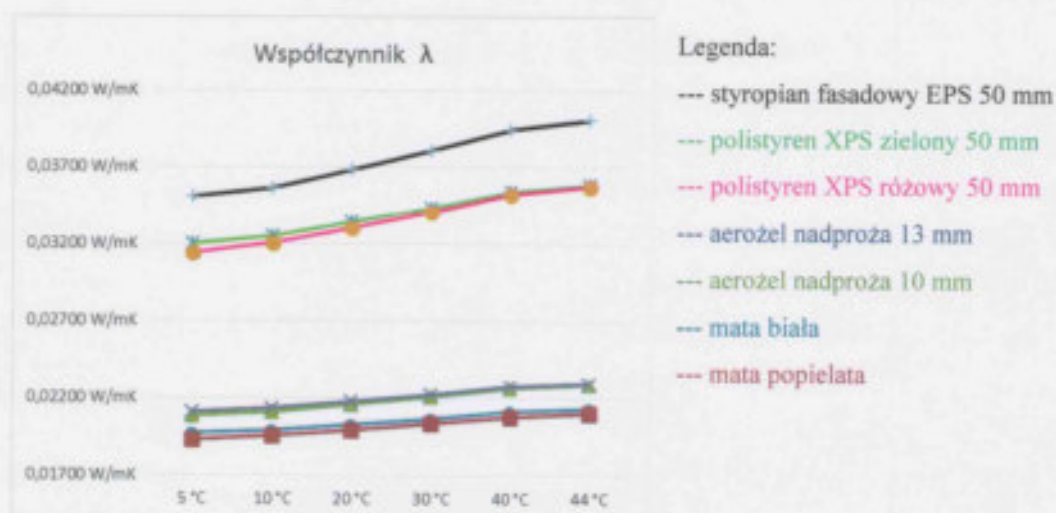
Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	*	*	*	*
Badanie nr 2	5	12,15	1,646	0,03141	0%
Badanie nr 3	10	12,38	1,616	0,03201	1,9%**
Badanie nr 4	20	12,78	1,566	0,03303	5,2%**
Badanie nr 5	30	13,19	1,518	0,03408	8,5%**
Badanie nr 6	40	13,62	1,469	0,03522	12,1%**
Badanie nr 7	44	13,82	1,448	0,03573	13,8%**

* Nie została osiągnięta zadana temperatura

** Wartości odniesione do badania nr 2

Tabela 14. Obiekt nr 7. Płyta ze styropianu fasadowego EPS. Grubość 48,4378 mm została uzyskana podczas badania.

Numer badania	Średnia temperatura badania [°C]	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
Badanie nr 1	0	14,28	1,401	0,03458	0%
Badanie nr 2	5	14,51	1,378	0,03514	1,6%
Badanie nr 3	10	14,75	1,357	0,03571	3,3%
Badanie nr 4	20	15,23	1,314	0,03688	6,7%
Badanie nr 5	30	15,75	1,271	0,03813	10,3%
Badanie nr 6	40	16,29	1,228	0,03946	14,1%
Badanie nr 7	44	16,54	1,209	0,04007	15,9%



Rys. 14. Zestawienie wartości współczynników λ uzyskanych dla badanych mat aerożelowych z wartościami uzyskanymi dla polistyrenów ekstrudowanych XPS oraz styropianu EPS.

2 Wyniki badania przy stałej średniej temperaturze obiektu badawczego

Badanie zostało wykonane dla średniej temperatury wynoszącej 30°C.w

Tabela 15. Obiekt nr 1. Mata aerożelowa biała 13 mm. Grubość 11,9697 mm została uzyskana podczas badania.

Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	17,56	0,5692	0,02103	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	52,95	0,5668	0,02112	0,4%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	88,70	0,5638	0,02123	1,0%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	124,40	0,5626	0,02128	1,2%

Tabela 16. Obiekt nr 2. Mata aerożelowa popielata 10 mm. Grubość 8,8773 mm została uzyskana podczas badania.

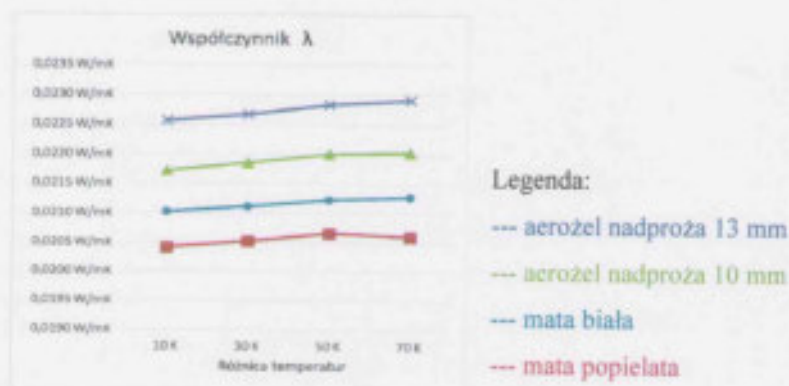
Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	22,98	0,4350	0,02041	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	69,36	0,4326	0,02052	0,5%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	116,40	0,4296	0,02066	1,2%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	162,40	0,4309	0,02060	0,9%

Tabela 17. Obiekt nr 3. Mata aerożelowa na nadproża 13 mm. Grubość 14,8907 mm została uzyskana podczas badania.

Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	15,14	0,6601	0,02256	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	45,70	0,6566	0,02268	0,5%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	76,69	0,6522	0,02283	1,2%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	107,70	0,6498	0,02292	1,6%

Tabela 18. Obiekt nr 4. Mata aerożelowa na nadproża 10 mm. Grubość 11,6332 mm została uzyskana podczas badania.

Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	18,67	0,5353	0,02173	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	56,38	0,5323	0,02186	0,6%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	94,64	0,5285	0,02201	1,3%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	132,60	0,5279	0,02204	1,4%



Rys. 15. Zestawienie wartości współczynnika λ uzyskanych dla mat aerożelowych uzyskanych dla stałej średniej temperatury obiektu badawczego.

Tabela 19. Obiekt nr 5. Płyta z polistyrenu XPS zielonego.

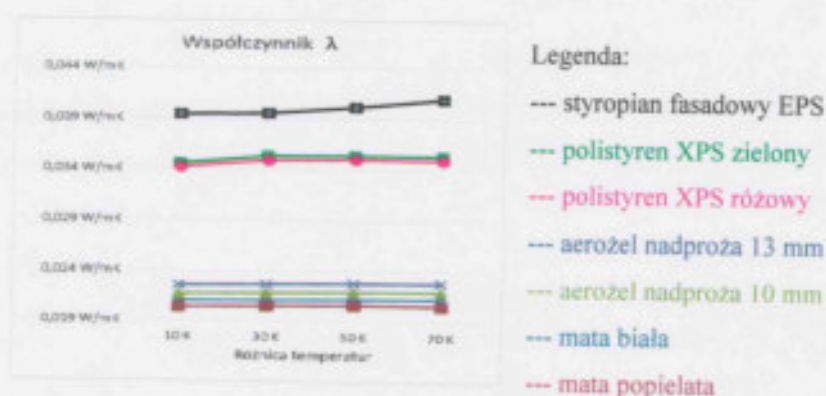
Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	6,89	1,450	0,03457	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	21,15	1,419	0,03534	2,2%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	35,36	1,414	0,03546	2,6%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	49,46	1,416	0,03543	2,5%

Tabela 20. Obiekt nr 6. Płyta z polistyrenu XPS różowego.

Numer badania	Zakres		Różnica	Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2					
Badanie nr 8	35°C	25°C	10 K	6,61	1,513	0,03414	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	30 K	20,24	1,483	0,03484	2,1%
Badanie nr 10	55°C	5°C	50 K	33,83	1,478	0,03495	2,4%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	70 K	47,31	1,480	0,03490	2,2%

Tabela 21. Obiekt nr 7. Płyta ze styropianu fasadowego EPS.

Numer badania	Zakres		Strumień ciepła [W/m ²]	Opór cieplny [m ² K/W]	Współczynnik λ [W/mK]	Przyrost wartości współczynnika λ
	T1	T2				
Badanie nr 8	35°C	25°C	8,14	1,228	0,03944	0%
Badanie nr 9	45°C	15°C	24,54	1,223	0,03960	0,4%
Badanie nr 10	55°C	5°C	41,56	1,204	0,04024	2,0%
Badanie nr 11	65°C	-5°C	59,36	1,179	0,04107	4,1%


Rys. 16. Zestawienie wartości współczynnika λ uzyskanych dla wszystkich badanych obiektów uzyskanych dla stałej średniej temperatury obiektu badawczego.

IV. WARTOŚCI OBLICZONE:

1. Szacowana dokładność pomiarów

Dla aparatu płytowego dokładność pomiaru wynosi ~ 1%

Henryk B. Łoziczonek

Opracował: mgr inż. Henryk B. Łoziczonek

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. Swolek. Problemy pomiaru wartości współczynnika przewodzenia ciepła w wysokich temperaturach. Izolacje 10/2012.