

Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego



MLBE

**MAŁOPOLSKIE LABORATORIUM
BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO**

**Raport z badania właściwości cieplnych przegród
budowlanych pokrytych farbą fotokatalityczną**

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

gf
M. Fedorczak-Cisak
Henryk B. Łoziczonek

Kraków 07/2019

- ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA -

**RAPORT Z BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH
PRZEGRÓD BUDOWLANYCH POKRYTYCH
FARBĄ FOTOKATALITYCZNĄ**

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

Celem opracowania jest określenie właściwości cieplnych przegród budowlanych pokrytych farbą fotokatalityczną przez określenie współczynnika oporu cieplnego R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] przegrody oraz wartości współczynnika przenikania ciepła U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] przez przegrodę i porównanie z wartością tego współczynnika dla obiektu referencyjnego niepokrytego farbą.

2. Zakres opracowania

Zakres opracowania obejmuje opis procedury badawczej, wyniki badań oraz obliczenie szacunkowej dokładności pomiarów.

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 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
- PN-EN ISO 6946:2008 – „Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania”,
- PN-ISO 10456 Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.

4. Podstawowe pojęcia i definicje

Podstawowe definicje zostały przytoczone na podstawie obowiązujących norm i rozporządzeń:

Współczynnik przenikania ciepła U [W/m^2K] – określa właściwości termoizolacyjne danej przegrody domu (ściany, okna, dach, etc.). Wartość U określa ile energii przenika przez metr kwadratowy przegrody w czasie jednej sekundy, gdy różnica między temperaturą na zewnątrz i wewnątrz wynosi 1 stopień Celsjusza.

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 [W/mK] dla materiałów budowlanych – określa zdolność 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 – odpowiednio ważone temperatury powietrza i promieniowania w celu osiągnięcia strumienia cieplnego od powierzchni próbki.

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

¹ Schöck

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. Badania były prowadzone w warunkach równowagi termicznej.

Podczas interpretacji wyników badań należy mieć na uwadze, że właściwości wymiany ciepła zależą od właściwości cieplnych samego obiektu badawczego, od warunków brzegowych, wymiarów obiektu 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.

W komorze klimatycznej, w badaniu metodą osłoniętej skrzynki grzejnej wartością mierzoną jest współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę U [W/m^2K], a w badaniu metodą ciepłomierza wartością mierzoną jest opór cieplny przegrody R [m^2K/W].

Wartością mierzoną w aparacie płytowym jest opór cieplny warstwy materiału R [m^2K/W]. Na tej podstawie wyliczany jest ekwiwalentny 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.

2.1. Badanie w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza.

Badanie zostało przeprowadzone dla temperatur powietrza, które zostały ustalone po stronie cieplej i zimnej komory klimatycznej.

Ułożenie obiektu badawczego: pionowe

Kierunek przepływu ciepła: poziomy

2.2. Badanie w komorze klimatycznej metodą osłoniętej skrzynki grzejnej.

Badanie zostało przeprowadzone dla temperatur powietrza, które zostały ustalone wewnątrz skrzynki grzejnej oraz po stronie zimnej komory klimatycznej.

Ułożenie obiektu badawczego: pionowe

Kierunek przepływu ciepła: poziomy

Tabela 1. Zadeklarowane temperatury powietrza

Metoda badawcza	Strona ciepła	Strona zimna	Różnica temperatur	Wartość średnia
Metoda ciepłomierza	20°C	0°C	20 [K]	10°C
Metoda osłoniętej skrzynki grzejnej	20°C	0°C	20 [K]	10°C

2.3. Badanie w aparacie płytowym.

Badanie zostało przeprowadzone dla temperatur które zostały ustalone na płytach aparatu płytowego.

Ułożenie obiektu badawczego: poziome

Kierunek przepływu ciepła: pionowy w górę

Tabela 2. Zadeklarowane temperatury na płytach

Metoda badawcza	Płyta dolna	Płyta górna	Różnica temperatur	Wartość średnia
Aparat płytowy	20°C	0°C	20 [K]	10°C

Celem badania było wyznaczenie oporu cieplnego warstwy farby fotokatalitycznej przez wyznaczenie wartości współczynnika oporu cieplnego R płyty z polistyrenu ekstrudowanego XPS pokrytego tą farbą i porównanie z wartością współczynnika oporu cieplnego polistyrenu XPS bez tej farby.

3. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze składa się z komory klimatycznej do badania właściwości cieplnych przegród budowlanych oraz aparatu płytowego do wyznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych.

Komora klimatyczna składa się z sekcji ciepłej oraz sekcji zimnej, które są izolowane od warunków zewnętrznych. Komora służy do symulacji warunków panujących w budynkach. W sekcji ciepłej utrzymywana jest temperatura taka, jaka panuje w pomieszczeniach wewnętrznych, a w sekcji zimnej taka, jak na zewnątrz budynku w okresie zimowym. Temperatury te są utrzymywane przez odpowiednią cyrkulację powietrza. Pomiędzy sekcjami, w maskownicy, umieszczany jest obiekt badawczy. Podczas badania metodą ciepłomierza, na powierzchniach obiektu badawczego panują temperatury wywołane przez temperatury powietrza panujące wewnątrz komory, po stronie ciepłej i zimnej. W czasie badania metodą osłoniętej skrzynki grzejnej stosowana jest dodatkowa skrzynka, wewnątrz której ustalana jest temperatura w taki sposób, żeby cały strumień ciepła przechodzący od sekcji ciepłej do sekcji zimnej przechodził przez badany obiekt oraz przez fragment maskownicy. Pomiar dokonywany jest po uzyskaniu stanu równowagi termicznej.

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 docisnięcia 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

Komora klimatyczna

Podczas badania metodą ciepłomierza, na podstawie gęstości strumienia ciepła q [W/m^2] przepływającego przez przegrodę oraz różnicy temperatur panujących na jej powierzchniach wyznaczany jest opór R [$\text{m}^2\text{K/W}$] przegrody. Podczas badania metodą osłoniętej skrzynki grzejnej, w obu sekcjach komory wyznaczane są temperatury środowiska, z uwzględnieniem wpływu konwekcji i radiacji. Na tej podstawie wyliczana jest wartość współczynnika U [$\text{W/m}^2\text{K}$] przegrody.

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/m^2] dla znanej grubości obiektu badawczego oraz znanej różnicy temperatur na jego powierzchniach, w warunkach termicznego stanu ustalonego oraz jednorodnego strumienia ciepła. Jako wartość wynikową przyjmuje się wartość średnią współczynnika λ z wartości uzyskanych na płytach górnej i dolnej. Podczas badania wyznaczany jest opór cieplny R [$\text{m}^2\text{K/W}$] przegrody.

3.2 Czujniki wykorzystane w badaniu

3.2.1 Mierniki gęstości strumienia ciepła

Do pomiaru gęstości strumienia cieplnego zostały wykorzystane elektryczne przetworniki ciepła. Dają one sygnał elektryczny, który jest bezpośrednią funkcją gęstości strumienia cieplnego przechodzącego przez niego. W aparacie płytowym mierniki gęstości strumienia ciepła umieszczone są w płycie górnej i dolnej. W komorze klimatycznej pomiar gęstości strumienia ciepła dokonywany jest za pomocą oddzielnego miernika.

3.2.2 Czujniki temperatury

W komorze klimatycznej temperatura na powierzchni obiektu badawczego, temperatura

powietrza w otoczeniu obiektu badawczego, temperatura ekranu oraz temperatura maskownicy mierzona jest za pomocą termopar. Temperatury mierzone są po stronie ciepłej oraz zimnej. Czujniki zostały rozmieszczone zgodnie z normą PN-EN ISO 8990.

W aparacie płytowym czujniki temperatury umieszczone są na powierzchni płyty górnej i dolnej i służą do pomiaru temperatury na powierzchniach obiektu badawczego.

3.2.3 Pomiar grubości obiektu badawczego

W komorze klimatycznej pomiar grubości obiektu badawczego wykonywany jest za pomocą suwmiarki lub przymiaru liniowego.

Pomiar grubości obiektu badawczego w aparacie płytowym dokonywany jest przez pomiar przesunięcia płyty górnej. Do tego celu używane są sensory umieszczone na śrubach pociągowych układu napędowego.

3.2.4 Pomiar wilgotności i prędkości przepływu powietrza

W komorze klimatycznej wykonywany jest pomiar wilgotności powietrza oraz prędkości przepływu powietrza po stronie ciepłej oraz po stronie zimnej.

4 Opis obiektów badawczych

Do badania w komorze klimatycznej zostały przygotowane obiekty:

Obiekt badawczy: Farba fotokatalityczna naniesiona na powierzchnię płyty wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego XPS.

Obiekt referencyjny: Płyta z polistyrenu ekstrudowanego XPS.



Rys. 1. Badanie w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza. Farba fotokatalityczna naniesiona na płytę z polistyrenu ekstrudowanego XPS.

Tabela 3. Obiekty badane w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza

Poz.	Obiekt badawczy	Opis	Wymiary	Grubość całkowita	Grubość farby
1.	Farba fotokatalityczna naniesiona na powierzchnię płyty wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego XPS	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	1500x1500 mm	49,1 mm	0,2 mm
2.	Obiekt referencyjny	Polistyren ekstrudowany XPS	1500x1500 mm	48,9 mm	0 mm



Rys. 2. Badanie w komorze klimatycznej metodą osłoniętej skrzynki grzejnej. Farba fotokatalityczna naniesiona na płytę z polistyrenu ekstrudowanego XPS.

Tabela 4. Obiekty badane w komorze klimatycznej TAURUS metodą osłoniętej skrzynki grzejnej

Poz.	Obiekt badawczy	Opis	Wymiary	Grubość całkowita	Grubość farby
1.	Farba fotokatalityczna naniesiona na powierzchnię płyty wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego XPS	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	1230x1480 mm	49,1 mm	0,2 mm
2.	Obiekt referencyjny	Polistyren ekstrudowany XPS	1230x1480 mm	48,9 mm	0 mm



Rys. 3. Badanie w aparacie płytowym. Farba fotokatalityczna naniesiona na płytę z polistyrenu ekstrudowanego XPS a) od strony zimnej, b) od strony ciepłej

Tabela 5. Obiekty badane w aparacie płytowym FOX 802

Poz.	Obiekt badawczy	Opis	Wymiary	Grubość całkowita	Grubość farby
1.	Farba fotokatalityczna naniesiona na powierzchnię płyty wykonanej z polistyrenu ekstrudowanego XPS	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	750x750 mm	49,05 mm	0,17 mm
2.	Obiekt referencyjny	PolistyrenXPS	750x750 mm	48,88 mm	0 mm

5 Czas trwania badania

Czas wykonywania badania wynosił: marzec – wrzesień 2018

III. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań przedstawione są w tabelach nr 7, 8 i 10.

W tabelach 6 i 9 są podane wartości temperatur zadanych w badaniach w komorze klimatycznej oraz w aparacie płytowym.

1. Badanie w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza oraz metodą osłoniętej skrzynki grzejnej.

Tabela 6. Zadane temperatury powietrza wewnątrz komory klimatycznej

Strona ciepła	Strona zimna	Temperatura średnia	Różnica temperatur
20°C	0°C	10°C	20 K

Tabela 7. Wyniki badania w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza

Nr badania	Obiekt badawczy	Grubość obiektu [m]	Grubość farby [mm]	Opór cieplny [m ² K/W]
Badanie nr 1	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	0,0491	0,2 mm	1,750
Badanie nr 2*	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	0,0491	0,2 mm	1,835
Badanie nr 3	Obiekt referencyjny - polistyren ekstrudowany XPS	0,0489	0 mm	1,558

* Badanie przeprowadzone po upływie 48 godzin

Tabela 8. Wyniki badania w komorze klimatycznej metodą osłoniętej skrzynki grzejnej

Nr badania	Obiekt badawczy	Grubość obiektu [m]	Grubość farby [mm]	Współczynnik U [W/m ² K]
Badanie nr 4	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna	0,0506	0,5 mm	0,657
Badanie nr 5	Obiekt referencyjny - polistyren ekstrudowany XPS	0,0501	0 mm	0,655

2. Badanie w aparacie płytowym

Tabela 9. Temperatury zadane na płytach aparatu płytowego

Płyta dolna - ciepła	Płyta górna - zimna	Temperatura średnia	Różnica temperatur
20°C	0°C	10°C	20 K

Tabela 10. Wyniki badania w aparacie płytowym

Nr badania	Obiekt badawczy	Grubość obiektu [m]	Grubość farby [mm]	Opór cieplny [$\text{m}^2\text{K/W}$]
Badanie nr 6	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna od góry	0,0491	0,2 mm	1,523
Badanie nr 7	Polistyren ekstrudowany XPS + farba fotokatalityczna od dołu	0,0491	0,2 mm	1,520
Badanie nr 8	Obiekt referencyjny - polistyren ekstrudowany XPS	0,0489	0 mm	1,518

IV. WARTOŚCI OBLICZONE:

1. Szacowana dokładność pomiarów

Tabela 11. Szacowana dokładność pomiarów w komorze klimatycznej metodą ciepłomierza

Nr badania	Szacowana dokładność pomiaru [$\text{m}^2\text{K/W}$]
Badanie nr 1	0,087
Badanie nr 2	0,092
Badanie nr 3	0,078

Tabela 12. Szacowana dokładność pomiarów w komorze klimatycznej osłoniętej skrzynki grzejnej

Nr badania	Szacowana dokładność pomiaru [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Badanie nr 4	0,020
Badanie nr 5	0,020

Dla aparatu płytowego dokładność pomiaru 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. Tabelaaryczne 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] Schöck
- [6] Muratorplus
- [7] 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.
- [8] K. Firkowicz-Pogorzelska. Metodyka określania wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych. Prace instytutu Techniki Budowlanej – kwartalnik nr 3 (119) 2001.
- [9] A. Miros, G. Swólek. Problemy pomiaru wartości współczynnika przewodzenia ciepła w wysokich temperaturach. Izolacje 10/2012.

Opracował:

Henryk B. Łoziczonek
mgr inż. Henryk B. Łoziczonek