

mgr inż. Henryk B. Łoziczonek^{1*)}

ORCID: 0000-0002-3771-2066

dr inż. Małgorzata Fedorczak-Cisak¹⁾

ORCID: 0000-0003-1125-4068

Badania in situ mikrosferowych materiałów powłokowych

In situ studies of microsphere coating materials

DOI: 10.15199/33.2022.03.06

Streszczenie. W ostatnich latach coraz większego znaczenia nabiera oszczędność energii, szczególnie w budownictwie. Trwają poszukiwania materiałów, które posiadałyby jeszcze lepsze właściwości izolacyjne niż te, które są stosowane do tej pory. Należą do nich m.in. mikrosferowe powłokowe materiały termoizolacyjne. Powłoki z nich wykonane mają grubość do kilku milimetrów, ale współczynnik przewodzenia ciepła deklarowany przez producentów wynosi 0,001 W/(mK) [1, 2]. Takie wartości, niespotykane w przypadku dotychczas stosowanych materiałów izolacyjnych, skłoniły do podjęcia badań w celu określenia ich właściwości cieplnych oraz weryfikacji wpływu na efektywność energetyczną budynku. Badania in situ wykonano na Poligonie Energooszczędności przy Zespole Szkół Budowlanych w Tarnowie.

Słowa kluczowe: budownictwo energooszczędne; efektywność energetyczna; powłoki termoizolacyjne; mikrosferowe materiały powłokowe.

Abstract. Energy saving has become more and more important in recent years, particular in construction. There is an ongoing search for materials that would have even better insulating properties than those used so far. Thermal insulation coatings can be such a material. These coatings are up to a few millimeters thick, but the thermal conductivity coefficient declared by the manufacturers is 0,001 W/(mK) [1, 2]. Such values, unprecedented in the insulation materials used so far, prompted us to undertake research in order to determine their thermal properties and to verify the influence on energy efficiency of the building. In situ tests were carried out at the Energy Efficiency Test Range at the Construction School Complex in Tarnów.

Keywords: energy-efficient construction; energy efficiency; thermal insulation coatings; microsphere coating materials

Podstawową rolę w budownictwie energooszczędnym pełnią przegrody budowlane (ściany, stropy, podłogi, okna, drzwi) o odpowiednich właściwościach izolacyjnych. Od 2021 r. maksymalna wymagana wartość współczynnika przenikania ciepła U ścian zewnętrznych wynosi 0,20 W/(m²K). Taką wartość można osiągnąć przez zastosowanie warstwy izolacyjnej o odpowiednio dużej grubości. Kilkanaście centymetrów warstwy izolacyjnej powoduje jednak zmniejszenie powierzchni mieszkalnej wewnątrz budynku. Jest to istotne, szczególnie w przypadku budynków wielorodzinnych. Rozwiązaniem problemu może być zastosowanie materiału cieńszego, ale o lepszych właściwościach cieplnych. Może to być coraz powszechniejsza mikrosferowa powłoka termoizolacyjna, grubości do kilku milimetrów. Deklarowana przez producentów mikrosferowych materiałów powłokowych

wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ wynosi 0,001 W/(mK) [1, 2]. Jest to wartość prawie 40-krotnie mniejsza niż styropianu oraz 15-krotnie mniejsza niż aerożelu. Potwierdzenie tych wartości mogłoby zrewolucjonizować rynek materiałów termoizolacyjnych. Publikowane przez różne ośrodki badawcze wyniki badań wskazują na możliwość obniżenia kosztów ogrzewania przez zastosowanie powłok mikrosferowych o właściwościach termoizolacyjnych [3, 4, 5]. Celem analiz była weryfikacja wyników tych badań oraz określenie, w jakim zakresie zastosowanie mikrosferowych materiałów powłokowych może wpłynąć na zmniejszenie kosztów ogrzewania budynku. Innym celem było określenie wpływu pokrycia ścian budynku mikrosferową powłoką termoizolacyjną na temperaturę oraz mikroklimat panujący w pomieszczeniach wewnętrznych. Chodziło przede wszystkim o potwierdzenie właściwości termoizolacyjnych takich powłok.

Poligon Energooszczędności powstał na terenie Zespołu Szkół Budowlanych (ZSB) w Tarnowie w 2014 r. jako część

realizacji projektu Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego (MLBE) Politechniki Krakowskiej. Zadaniem tego nowoczesnego laboratorium wybudowanego na kampusie Politechniki Krakowskiej jest testowanie, w warunkach laboratoryjnych, nowoczesnych technologii dedykowanych budynkom energooszczędnym. Natomiast Poligon Energooszczędności ma zapewnić możliwość testowania nowoczesnych technologii w warunkach naturalnego użytkowania. Testy wykonywane są w modelowych budynkach, których przegrody wzniesiono w różnych technologiach, wytypowanych przez naukowców z Politechniki Krakowskiej. Na terenie poligonu został wybudowany mały budynek badawczy (fotografia 1), w którym przeprowadzono badania in situ właściwości cieplnych mikrosferowej powłoki termoizolacyjnej.

Metody badań

Kompleksowe badanie warunków termicznych i klimatycznych panujących wewnątrz budynku badawczego,

¹⁾ Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Lądowej

^{*)} Adres do korespondencji: henryk.łoziczonek@pk.edu.pl



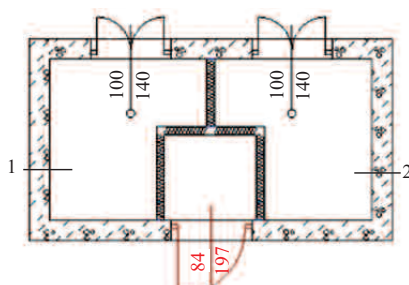
Fot. 1. Budynek do badań in situ na Poligonie Energooszczędności

Fot. archiwum autorów
Photo 1. Research building for in situ tests at the energy efficiency test site

w którym jedno pomieszczenie zostało pokryte od wewnątrz mikrosferową powłoką termoizolacyjną, a drugie białą akrylową farbą emulsyjną, przeprowadzone zostało w listopadzie i grudniu 2021 r., a więc w warunkach jesienno-zimowych. Podczas badania wykonano pomiary temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, współczynnika przenikania ciepła przez ścianę budynku, temperatury na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni ściany, mikroklimatu panującego wewnątrz pomieszczeń oraz badanie termowizyjne. Porównano wartości temperatury oraz gęstości strumienia ciepła q . Pomiary odbywały się w okresie od 24.11.2021 r. do 20.12.2021 r. Pomiar kontrolny wykonano 24.11.2021 r. oraz 25.11.2021 r., natomiast pomiary temperatury, przepływu ciepła przez przegrodę oraz mikroklimatu w okresie od 10.12.2021 r. do 20.12.2021 r.

Budynek badawczy ma wymiary 4 x 2 m, a kubatura pomieszczeń wynosi 9,33 m³. Przestrzeń wewnątrz budynku została podzielona ocieploną ścianką działową na dwie strefy o powierzchni 3,43 m² każda: **strefę A** pokrytą od wewnątrz mikrosferową powłoką termoizolacyjną oraz **strefę referencyjną B**, której ściany pokryto białą akrylową farbą emulsyjną (rysunek 1). Powierzchnia pokryta mikrosferową powłoką termoizolacyjną (strefa A) wynosiła 32,4 m².

Budynek badawczy był nieocieplony i ściany zewnętrzne nie zostały otynkowane. Pomieszczenia w budynku ogrzewano grzejnikami elektrycznymi, a temperaturę wewnątrz pomieszczeń stabilizowano za pomocą termostatów elektronicznych. W celu wyeliminowania wpływu zmiennego promieniowania światła słonecznego na wyniki pomiarów, wszystkie czujniki zostały rozmieszczone na ścianie



Oznaczenia: 1 – strefa A pokryta od wewnątrz powłoką termoizolacyjną; 2 – strefa B pokryta od wewnątrz farbą emulsyjną

Rys. 1. Rzut budynku badawczego
Fig. 1. Throw of the research building

zlokalizowanej od strony północnej. Wyniki pomiarów nie wykazały takiego wpływu. Mierniki gęstości strumienia ciepła zostały umieszczone w obu strefach na ścianie od wewnątrz, pod oknami.

Badana farba termoizolacyjna jest, zgodnie z deklaracją producenta [6], przeznaczona do nakładania na ściany zewnętrzne i wewnętrzne budynków, rurociągów, kotłów, kominów i urządzeń przemysłowych. Zadaniem farby było odbijanie strumienia promieniowania cieplnego padającego na przegrodę do wnętrza budynku. Farba ta może, zgodnie z deklaracją producenta [6], odbijać do 91% promieniowania podczerwonego. Współczynnik przewodzenia ciepła powłoki farby termoizolacyjnej λ wynosi, zgodnie z kartami technicznymi producentów [1, 2] 0,001 W/(mK), natomiast zgodnie z deklaracją innego producenta [6] współczynnik λ uzyskany metodą obliczeniową wg normy PN-EN 1745 [13], to 0,093 W/(mK) [6].

Przebieg badania

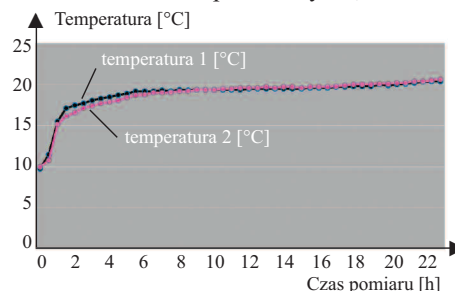
Na badaną ścianę (rysunek 1, strefa A) naniesione zostały dwie warstwy farby termoizolacyjnej, a ściana referencyjna (strefa B) została w celach porównawczych dwukrotnie pomalowana białą akrylową farbą emulsyjną. Pomiar mikroklimatu pomieszczeń metodą porównawczą został wykonany za pomocą dwóch zestawów pomiarowych. Jeden umieszczono w strefie A, a drugi w strefie B. W trakcie tego badania wykonane zostały pomiary wartości temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, temperatury poczernionej kuli, wilgotności oraz prędkości ruchu konwekcyjnego powietrza, a także gęstości strumienia ciepła q przepływającego przez przegrodę.

Zmierzone wartości temperatury na powierzchni ściany zarówno od strony wewnętrznej, jak i zewnętrznej. W celu określenia rozkładu temperatury na badanych powierzchniach zostało wykonane badanie termowizyjne.

Przed rozpoczęciem badania przeprowadzono pomiar kontrolny systemu grzewczego. Jego celem było sprawdzenie, jak równomiernie są nagrzewane obydwa pomieszczenia. Był to pierwszy etap badań mikrosferowych powłok termoizolacyjnych. W kolejnym etapie planowane jest pokrycie mikrosferową powłoką termoizolacyjną zewnętrznej powierzchni przegrody wewnętrznej w strefie A. Powłoka ta będzie pełnić rolę kolejnej warstwy izolującej termicznie przegrody.

Wyniki badań

Pomiar kontrolny. W celu określenia warunków cieplnych wewnątrz budynku badawczego oraz właściwości systemu grzewczego, przed nałożeniem mikrosferowej powłoki termoizolacyjnej wykonano pomiar kontrolny temperatury w pomieszczeniach wewnętrznych. Wyniki pomiaru (rysunek 2) wskazują na dużą zbieżność temperatury wewnątrz obu stref budynku badawczego. Różnica wynosiła od 0,9°C w początkowym okresie nagrzewania do 0,2°C w końcowym okresie. Oznacza to, że w obu strefach badawczych panowały podczas badań takie same warunki termiczne. Pomiar wilgotności pomieszczeń wykonany w tym okresie wykazał, że różnica wilgotności w tych pomieszczeniach nie przekroczyła 2,4% RH.

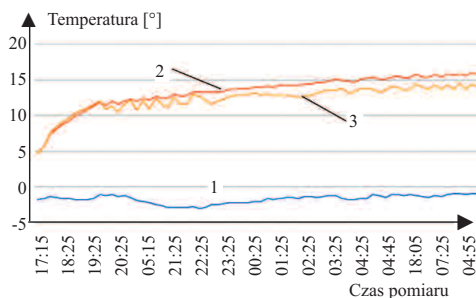


Rys. 2. Pomiar kontrolny temperatury wewnątrz budynku badawczego

Fig. 2. Control measurement of the temperature inside the research building

Pomiary temperatury i mikroklimatu. Po wykonaniu pomiaru kontrolnego przeprowadzono pomiar temperatury na zewnętrznej powierzchni ściany oraz na powierzchni w strefie A i w strefie B (rysunek 3). Wartości tempera-

tury na powierzchni ściany w strefie A oraz w strefie B, zarejestrowane w okresie od 13.12.2021 r. do 17.12.2021 r., wykazały różnicę 1,6°C na końcu pomiaru. Średnie wartości temperatury, zmierzone w tym okresie na powierzchniach ściany budynku, zostały przedstawione w tabeli 1.



Oznaczenia: 1 – powierzchnia zewnętrzna; 2 – powłoka mikroosferowa (strefa A); 3 – farba akrylowa (strefa B)

Rys. 3. Wartości temperatury na powierzchni ściany po stronie wewnętrznej oraz zewnętrznej
Fig. 3. Temperature values on the wall surface on the inside and outside

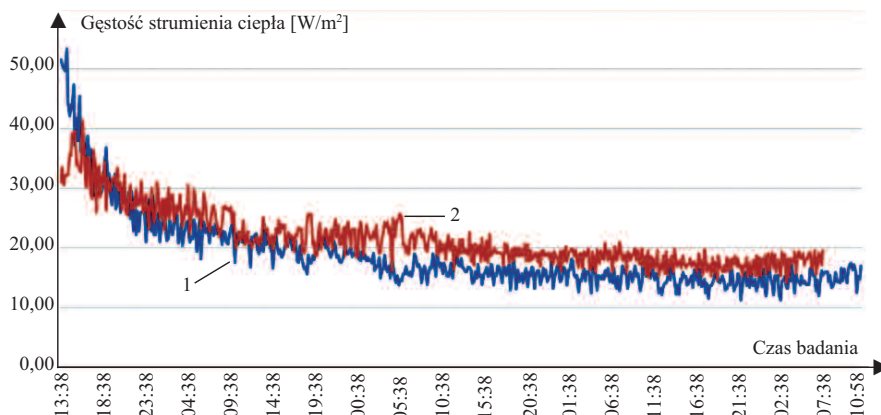
Tabela 1. Średnia wartość temperatury zmierzona na powierzchniach ściany budynku
Table 1. Average temperature values measured on the surfaces of the building's wall

Wielkość mierzona	Temperatura na powierzchni wewnętrznej			Temperatura na powierzchni zewnętrznej
	pokrytej mikroosferową powłoką termoizolacyjną	pokrytej powłoką akrylową	różnica	
Temperatura początkowa [°C]	4,8	4,7	0,1	-1,8
Temperatura końcowa [°C]	15,7	14,1	1,6	-0,9

Pomiar gęstości strumienia ciepła.

Wartości gęstości strumienia ciepła q uzyskane w trakcie badania na ścianach zewnętrznych przedstawiono na rysunku 4. Ciepłomierze zostały umieszczone na powierzchniach wewnętrznych w strefach A i B. Raport obrazuje przebieg badania i obejmuje pomiary uzyskane w okresie od 13.12.2021 r. do 17.12.2021 r. Średnia różnica między wartościami wynosiła 3,8 W/m².

Badanie mikroklimatu zostało wykonane przy wartości MET = 1,0 (aktywność – praca w pozycji siedzącej) oraz CLO = 1,0 (izolacyjność odzieży – odzież zimowa). Uzyskane wartości przedstawiono w tabeli 2. Pomiar został wykonany 16.12.2021 r. oraz 17.12.2021 r., kiedy ustabilizowała się temperatura.



Oznaczenia: 1 – strumień ciepła A q [W/m²]; 2 – strumień ciepła B q [W/m²]

Rys. 4. Gęstość strumienia ciepła zmierzona za pomocą ciepłomierza na ścianie zewnętrznej w strefie A oraz strefie B

Fig. 4. Heat flux densities measured with a heat meter on the outer wall in zone A and zone B

Tabela 2. Wartości temperatury uzyskane podczas badania mikroklimatu

Table 2. Temperature values obtained during the microclimate test

Wielkość	Strefa pokryta	
	mikrosferową powłoką termoizolacyjną	zwykłą powłoką
TA [°C]	24,5	23,0
TG [°C]	23,9	22,6
RH [%]	57	62
VA [m/s]	0,05	0,02
PMV	0,30	0,0

Oznaczenia: TA [°C] – temperatura powietrza; TG [°C] – temperatura poczwierzonej kuli; RH [%] – wilgotność względna; VA [m/s] – prędkość powietrza; PMV – przewidywana średnia ocena środowiska termicznego

Badanie termowizyjne. Wyniki badania termowizyjnego przedstawiono na fotografii 2, a wartości temperatury uzyskane podczas badania termowizyjnego w tabeli 3.

Uwagi i wnioski

• Znanych jest wiele metod wyznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła λ . Aparaty płytowe działające zgodnie z normą PN-ISO 8301 [9] oraz PN-ISO 8302 [10] mogą mierzyć współczynnik λ już od wartości 0,001 W/(mK) [7, 8]. Aparaty z osłoniętą rurą grzejną działają zgodnie z PN-EN ISO 8497. Inne metody pomiaru nie zostały znormalizowane.

• Współczynnik λ deklarowany przez producentów powłok został wyznaczony metodą obliczeniową [1, 2, 6].

• Wartość współczynnika λ styropianu wynosi 0,040 – 0,045 W/(mK) [15], a aerożelu, który jest najlepszym dotychczas znanym materiałem izolacyjnym 0,014 – 0,016 W/(mK) [16].

• Pomiar kontrolny wykazał dużą zbieżność temperatury wewnątrz obu stref budynku badawczego; różnica nie przekroczyła 0,9°C (2%).

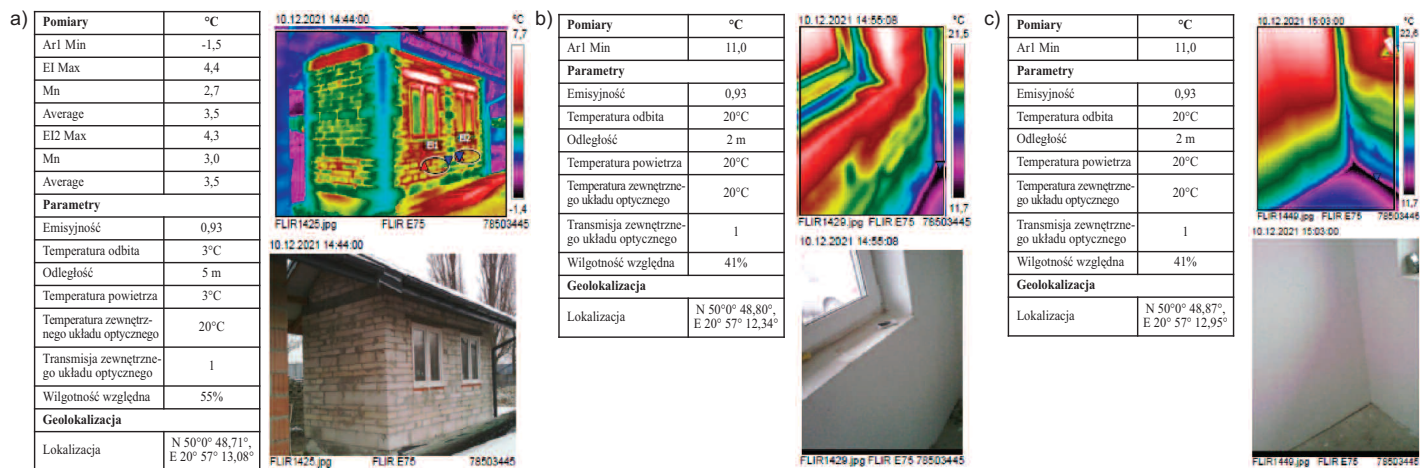
• Temperatura zmierzona bezpośrednio na powierzchni ściany pokrytej od wewnątrz budynku mikroosferową powłoką termoizolacyjną była na końcu pomiaru o 1,6°C wyższa niż temperatura na powierzchni ściany pokrytej od wewnątrz zwykłą powłoką akrylową (tabela 1). Nałożenie powłoki termoizolacyjnej poprawia właściwości izolacyjne przegrody budowlanej.

• Wartość gęstości strumienia ciepła wnikającego w przegrodę w strefie A (z powłoką termoizolacyjną) była mniejsza niż w strefie B (z powłoką akrylową). Należy jednak wziąć pod uwagę niejednorodność przegród w obu strefach, co mogło wpływać na wyniki.

• Badanie termowizyjne zewnętrznej powierzchni ściany budynku badawczego nie wykazało istotnej różnicy temperatury między strefą pokrytą od wewnątrz mikroosferową powłoką termoizolacyjną a strefą, która została pokryta od wewnątrz farbą akrylową (tabela 3).

• Badanie termowizyjne wykazało dużą niejednorodność w przewodzeniu ciepła przez ścianę budynku. Miało to wpływ na zużycie energii potrzebnej do jego ogrzania. Grzejniki pracowały z pełną wydajnością, utrzymując stabilną temperaturę w obu strefach.

• Badanie mikroklimatu wykazało, że temperatura powietrza w strefie A była o 1,5°C wyższa niż w strefie B. Temperatura poczwierzonej kuli była wyższa o 1,3°C. Wartość PMV (wskaźnik komfortu) w strefie A był na poziomie 0,3,



Fot. 2. Wyniki badania termowizyjnego w budynku badawczym w ZSB Tarnów: a) fasada zewnętrzna; b) strefa pokryta mikrosferową powłoką termoizolacyjną; c) strefa pokryta farbą akrylową

Photo 2. Results of the thermal imaging test in the research building at ZSB Tarnów: a) external facade; b) zone covered with microsphere heat-insulating coating; c) zone covered with acrylic paint

Tabela 3. Wartości temperatury uzyskane podczas badania termowizyjnego

Table 3. Temperature values obtained during the thermal imaging test

Temperatura	Strefa z mikrosferową powłoką termoizolacyjną [°C]	Strefa ze zwykłą powłoką [°C]
Maksymalna	4,7	4,3
Minimalna	2,7	3,0
Wartość średnia	3,5	3,5

a w strefie B na poziomie 0,0, co oznacza komfort cieplny.

- Wilgotność względna w strefie A była o 5% RH mniejsza niż w strefie B. Mogło to mieć wpływ na zarejestrowane wartości temperatury.

- Dokładność pomiaru: tabela 1 – 0,1 K; tabela 2 – ±0,4°C, ±2% RH, ± 0,05 m/s, tabela 3 – ±2°C.

- Nie zarejestrowano wpływu promieniowania słonecznego na wyniki pomiarów.

- Na wyniki mogła mieć wpływ niejednorodność przegród, którą wykazało badanie termowizyjne.

- Na podstawie wyników przeprowadzonych badań nie można rekomendować stosowania mikrosferowych powłok termoizolacyjnych w budownictwie jako samoistnego ocieplenia. Polecane są natomiast jako materiał dociepleniowy. Badania potwierdziły, że mają one właściwości zmniejszające przepływ ciepła przez przegrodę budowlaną. Potrzebne będzie więc przeprowadzenie dalszych badań.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że pokrycie ściany mikrosferową powłoką termoizolacyjną poprawiło właściwo-

ści izolacyjne tej ściany. W pomieszczeniu, którego ściany zostały pokryte powłoką termoizolacyjną, temperatura powietrza była wyższa o 1,5°C niż w pomieszczeniu, gdzie ściany pokryto farbą akrylową. Temperatura na powierzchni ściany w strefie A (powłoka termoizolacyjna) była wyższa o 1,6°C od temperatury w strefie B (farba akrylowa). Badanie mikroklimatu wykazało polepszenie komfortu cieplnego w strefie A.

Literatura

[1] Russian Federation Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Department of Architecture, Technical report Thermal Properties of Ultra-Thin Thermal Insulation Korund®, Wołgograd 2011.

[2] Material Research Laboratory. Department of Physics and Astronomy. University of Turku. Laboratory tests for thermal insulation coatings: Bronya Anticor, Bronya Fascade, Bronya Classic. 17. Aug. 2017.

[3] Malz Sebastian, Walter Krenkel, Oliver Steffens. 2020. „Infrared reflective wall paint in buildings: Energy saving potentials and thermal comfort”. *Energy & Buildings* 224: 110212.

[4] Prusa D. 2019. *Thermoreflective insulation in building industry*. AIP Conference Proceedings 2170.

[5] Park Innowacji i Przemysłu Sp. z o.o. Katowice. Raport badawczy: Wpływ produktów PSC Systems na właściwości termiczne przegrody. Katowice 2018.

[6] PSC-250T Power Smart Coat, RIVER POWER Karta Techniczna, <https://pscoat.pl/wp-content/uploads/2020/10/Karta-Techn.-PSC250T.pdf> [dostęp 1.02.2022].

[7] NETSCH TAURUS INSTRUMENTS Product overview. <https://www.taurus-instruments.de/en/product/thermal-conductivity-measuring-devices/with-heat-flow-meter/> [dostęp 08.02.2022].

[8] FOX 801 Accurate, easy-to-use instrument for measuring thermal conductivity according to ASTM C518 and ISO 8301. <https://www.tainstruments.com/fox-800/> [dostęp 9.02.2022].

[9] PN-ISO 8301 Określenie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z czujnikami gęstości strumienia cieplnego.

[10] PN-ISO 8302 Określenie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejną.

[11] PN-EN ISO 8497 Izolacja cieplna – Określanie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolacje cieplne przewodów rurowych.

[12] PN-EN ISO 7345:1998 Izolacja cieplna. Wielkości fizyczne i definicje.

[13] PN-EN 1745:2004P Mury i wyroby muru. Metody określania obliczeniowych wartości cieplnych.

[14] PN-ISO 31-4:2002 Wielkości fizyczne i jednostki miar – Część 4: Ciepło.

[15] Zestawienie parametrów fizycznych materiałów/wyrobow budowlanych wg PN-EN ISO 12524:2003, PN-EN ISO 6946: 1999 i PN-91/B-02020. http://kurtz.zut.edu.pl/fileadmin/BE/Tablice_materialowe.pdf. [dostęp 9.02.2022].

[16] POROGEL – izolacja termiczna z aerożelu. http://www.aerogels.pl/files/pisza_o_nas/Artyku%C5%82%20o%20Aerogels%20Poland%20Nanotechnology%20Sp_%20z%20o_o_%20-%20Izolacje%20-%20luty%202012.pdf [dostęp 9.02.2022].

[17] Instrukcja Obsługi Miernik Mikroklimatu EHA MM101.

[18] Instruction Manual for gSKIN® Heat Flux Sensors for R&D Applications.

[19] FLIR Instrukcja obsługi.

Podziękowanie

Autorzy składają podziękowanie Panom Ludwikowi Chruścielowi i Adamowi Łobodzie z ZSB Tarnów za udział w realizacji badań.

Przyjęto do druku: 09.02.2020 r.