

WIELOWARSTWOWE MATY REFLEKSYJNE W BUDYNKU NZEB – ZASTOSOWANIE I METODY OCENY

1. WSTĘP

Jednym z głównych kryteriów budynków o niemal zerowym zużyciu energii (nZEB) jest zapewnienie skutecznej bariery termicznej, oddzielającej budynek od otoczenia zewnętrznego [11]. Rosnące wymagania dotyczące maksymalnych współczynników przenikania ciepła przez nieprzeźroczyste przegrody zewnętrzne (tab. 1) determinują stosowanie coraz grubszych izolacji termicznych, z czym bezpośrednio wiąże się zwiększenie grubości całych przegród budowlanych.

Effektem obostrzeń i konieczności ich spełnienia są szeroko idące następstwa, w tym m.in. mniejsza ilość światła dziennego docierająca do wnętrza budynku, przez wzgląd na dużą grubość ścian. Obecna sytuacja staje się bodźcem do poszukiwań alternatywnych rozwiązań, spełniających bardziej restrykcyjne wymagania osłony termicznej. Nowe materiały powinny cechować się zwiększoną całkowitą opornością cieplną. W pracy przedstawiono potencjał aplikacyjny wielowarstwowych mat refleksyjnych, możliwości ich zastosowania w przegrodach zewnętrznych oraz metody oceny ich zastępczego oporu cieplnego, a także zestawienie porównawcze z tradycyjnymi izolacjami termicznymi.

Tabela 1. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła dla wybranych nieprzeźroczystych przegród zewnętrznych

Rodzaj przegrody i temperatury w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$		
	[W/(m ² K)]		
	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. ^{*)}
Ściany zewnętrzne			
a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$	0,25	0,23	0,2
b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	0,45	0,45	0,45
Dachy i stropodachy			
a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$	0,2	0,18	0,15
b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	0,3	0,3	0,3

t_i – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia

^{*)} od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

2. WIELOWARSTWOWE MATY REFLEKSYJNE

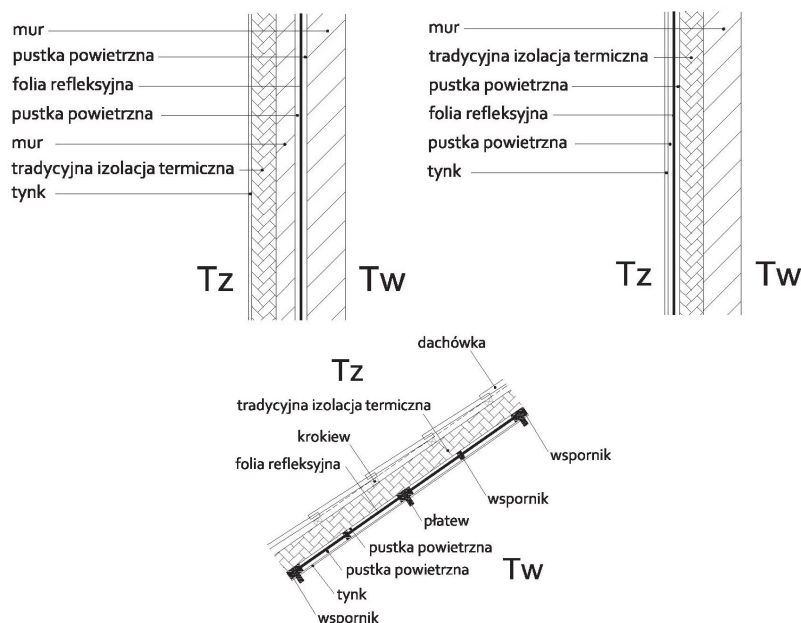
Jednym z najbardziej popularnych sposobów na redukcję zapotrzebowania energii na cele grzewcze budynku jest stosowanie izolacji termicznej o odpowiedniej grubości dla przegród zewnętrznych. Konwencjonalne materiały izolacyjne, które swoją zdolność do ograniczania przewodzenia strumienia ciepła zawdzięczają przede wszystkim ograniczonej kondukcji są najczęściej stosowane w budownictwie, natomiast oprócz nich istnieją materiały innego typu spełniające tę samą rolę, w tym mniej powszechne refleksyjne izolacje termiczne. Charakteryzują się one zasadniczo wysokim współczynnikiem przewodzenia ciepła, co jest niekorzystne ze względu na izolacyjność termiczną, jednak mają bardzo niski współczynnik radiacyjnego przejmowania ciepła, czego efektem jest skuteczne ograniczenie radiacyjnego strumienia ciepła. Według American Society for Testing and Materials (ASTM) emisyjność materiału refleksyjnego powinna być niższa niż 0,1 [9]. Wprawdzie rozwiązania te mogą wydawać się innowacyjne, jednak wynalezione zostały jeszcze w XIX w. przez Jeana Claude Eugene Peceleta, który prowadził eksperymenty nad wielowarstwowymi ekranami cieplnymi z blach stalowych [5].

Obecnie, przedstawioną grupę materiałów izolacyjnych na skalę konsumpcyjną, reprezentują folie i maty refleksyjne, które odnotowują znaczne nasilenie popytu, w celu użycia tych materiałów, jako izolacji termicznej obiektów budowlanych. To kombinacja sprasowanych ze sobą kilku lub kilkunastu ekranów niskoemisyjnych, o grubości około 0,01 mm, przedzielonych warstwami folii pęcherzykowych lub pianki polietylenowej, które stanowią dodatkowy element wzmacniający właściwości termoizolacyjne [5, 13]. Stosowanie kilku warstw folii skutkuje uzyskaniem większego całkowitego oporu cieplnego, niż w przypadku zastosowania tej samej grubości izolacji o mniejszej liczbie warstw, co potwierdzono w wielu niezależnych badaniach [5]. Ponadto folie i maty refleksyjne w przypadku zastosowania wymagają mniej przestrzeni w przegrodzie budowlanej w stosunku do tradycyjnych izolacji termicznych. W ten sposób stają się one ciekawą alternatywą dla powszechnie stosowanego styropianu (spienionego polistyrenu) czy wełny mineralnej, przy czym wykazują potencjał aplikacyjny w branży budowlanej zarówno przy budowie nowych obiektów nZEB, jak i przy modernizacji istniejących.

3. ZASTOSOWANIE WIELOWARSTWOWYCH MAT REFLEKSYJNYCH

Wielowarstwowe maty refleksyjne mogą być z powodzeniem stosowane do zabezpieczenia termicznego ścian zewnętrznych, dachów, stropów oraz podłogi na gruncie. Montowane są najczęściej w przygotowanych pustkach powietrznych przegród na specjalnym stelażu. Folie można zabudować zasadniczo w każdym miejscu przegrody, tj. wewnątrz lub od strony zewnętrznej, a także

na powierzchniach pionowych oraz poziomych czy skośnych (rys. 1). Poszczególne warstwy mat refleksyjnych powinny nachodzić na siebie minimum 50 mm tak, aby tworzyły jednolitą, szczelną strukturę bez mostków termicznych.



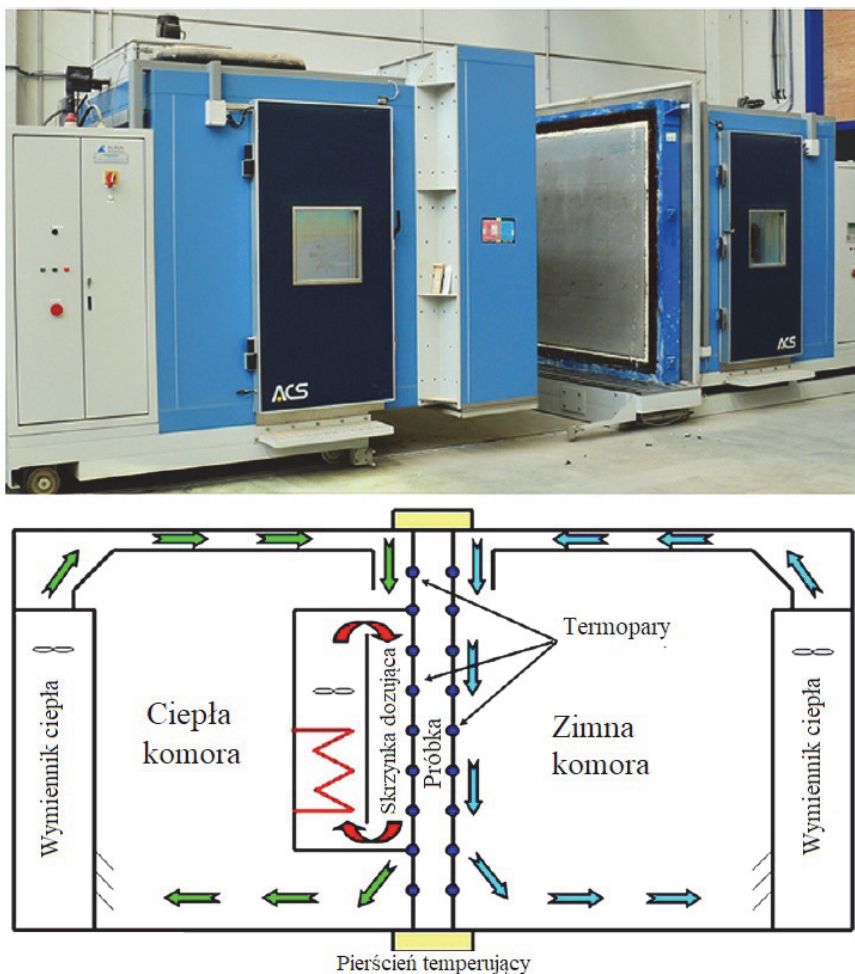
Rys. 1. Lokalizacje wielowarstwowych mat refleksyjnych w przegrodach – a) ściana zewnętrzna trójwarstwowa z folią refleksyjną w środkowej warstwie docieplona od zewnątrz tradycyjną izolacją, b) ściana dwuwarstwowa z folią refleksyjną od strony zewnętrznej, c) dach z folią refleksyjną od strony wewnętrznej

Istotną rolę przy zastosowaniu przedmiotowych materiałów w przegrodach budowlanych odgrywa przestrzeń powietrza z ich obu stron. W literaturze oraz w prospektach producenckich jako minimum podaje się grubość szczelin powietrznych wynoszącą 10–20 mm [5]. W pracy [10] wykazano, że istnieje silna korelacja między grubością szczelin powietrznych a całkowitym oporem cieplnym przegrody z zastosowaniem mat refleksyjnych. Tendencja jest rosnąca, wraz ze zwiększeniem grubości warstw powietrznych rośnie całkowity opór cieplny przegrody.

4. METODY OCENY ZASTĘPCZEGO OPORU CIEPLNEGO

Zastępczy współczynnik przewodzenia ciepła λ_{eff} lub też zastępczy opór cieplny R przez wzgląd na bardziej skomplikowany proces przenikania ciepła przez maty refleksyjne w stosunku do tradycyjnych materiałów izolacyjnych jest wyznaczany eksperymentalnie z wykorzystaniem odpowiednich urządzeń. Na

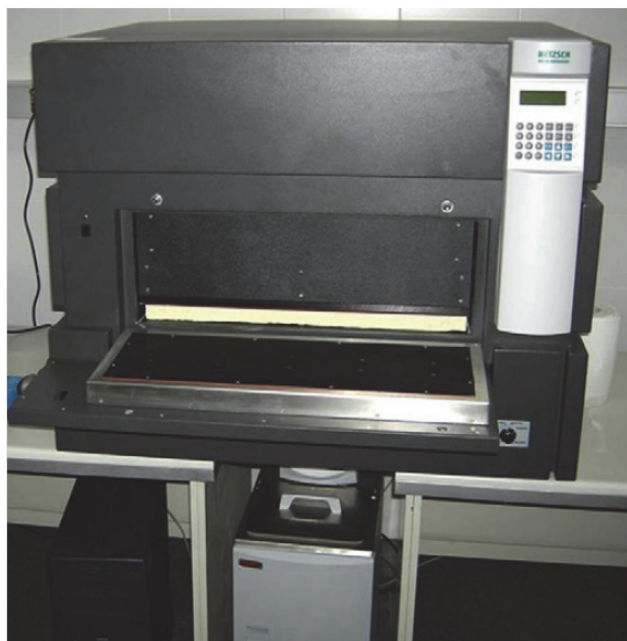
przestrzeni kilkudziesięciu lat badań nad tymi materiałami wypracowano wiele różnych metod określania ich zastępczej oporności termicznej. W latach 30. ubiegłego wieku zaczęto do tego celu używać aparatu mającego obudowaną gorącą płytę (ang. guarded hot plate) oraz posiadającej znacznie większe gabaryty – „obudowanej skrzynki grzejnej” (ang. guarded hot box) – rysunek 2 [5]. W latach 80. Miller et al. [6] przeprowadzili badania, korzystając ze skalibrowanego „hot box”. Efektem uzyskanych pomiarów było otrzymanie dokładniejszych rezultatów. Tego typu badania materiałów refleksyjnych stosowane są do dziś.



Rys. 2. Urządzenie do pomiaru oporu termicznego typu „guarded hot box” wraz ze schematem – źródło: [2]

„Hot box” ze względu na swoje rozmiary umożliwia przeprowadzenie badań dla całej ściany, dachu lub innej powierzchni. Metodą „hot plate” bada się po-

wierzchniowo niewielkie fragmenty samego materiału izolacyjnego. Saber [12] wykazał, iż badanie oporu cieplnego w urządzeniach do pomiaru strumienia ciepła (ang. heat flow meter – rys. 3) prowadzi do uzyskania wartości niższych od wartości uzyskanych w pomiarach metodą „guarded hot box” podawanych przez ASHRAE [1]. Do podobnych wniosków doszedł Piasecki [7] – porównanie dotyczyło jednak PN-EN16012+A1:2015-04 [8] – normy obecnie stosowanej w Polsce w celach określania deklarowanych cieplnych właściwości użytkowych.



Rys. 3. Urządzenie do pomiaru oporu termicznego typu „heat flow meter” – źródło: [2]

Rozwój metod komputerowego wspomagania badań oraz symulacji spowodował, że powstały programy obliczeniowe służące do wyznaczania parametrów termicznych folii refleksyjnych. Do 2011 roku roku Fricker i Yarbrough [2] zaprezentowali cztery komputerowe metody, pozwalające dokonać symulacji zastępczego oporu termicznego dla zamkniętych refleksyjnych przestrzeni. Noszą one nazwy HRP32, Reflect2, Reflect3, Res2. Służą do wyznaczania oporu cieplnego za pomocą kalkulacji opartych na właściwościach fizycznych maty refleksyjnej lub całej przegrody takich, jak: emisyjność powierzchni, grubość pustek powietrznych, przewodność cieplna, etc. Programy te są szczególnie przydatne do celów przygotowywania komputerowych symulacji energetycznych budynku, które zazwyczaj wymagają podania współczynnika U lub R danej przegrody budynku. Wyniki obliczeń uzyskane za pomocą metod symulacyjnych są zbliżone w +/- 10% z wartościami uzyskiwanymi z zastosowaniem normy ISO 6946 [3].

W pracy [13] porównano kilka rodzajów mat i przytoczono badanie przewodności cieplnej w aparacie płytowym. Wyliczony na ich podstawie opór cieplny R wynosił 0,23, 0,5 i 1,27 ($\text{m}^2\cdot\text{K}$)/W dla mat o grubości odpowiednio 5, 27 i 47 mm, mających 3, 5 i 9 warstw. W pracy wykazano również, że zastosowanie dziesięciowarstwowej maty refleksyjnej (6x folia bąbelkowa oraz 4 ekran refleksyjny) pozwoliło obniżyć współczynnik przenikania ciepła dla ściany z wartości $U = 2,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ do $U = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. W pracy [7] wykazano, że zastosowanie maty refleksyjnej wypełnionej pianką polietylenową o grubości 5 mm obustronnie przykrytej alumizowaną folią o emisyjności $\varepsilon = 0,25$ w pustce powietrznej powoduje wzrost oporu cieplnego pustki 1,8-krotny przy przepływie ciepła pionowym w górę i 1,9-krotny przy ruchu ciepła pionowym w dół. Oczywiście jest fakt, że właściwości izolacyjne różnych produktów mogą znacząco od siebie odbiegać.

W wielu niezależnych badaniach zebranych przez Lee et al. [5] wykazano, iż zastosowanie mat refleksyjnych jako docieplenia dachów prowadzi do redukcji obciążeń chłodniczych wywołanych warunkami zewnętrznymi od 25-50% w czasie sezonu letniego w klimatach subtropikalnych suchych i wilgotnych oraz umiarkowanych nadmorskich. Redukcja zimowych obciążeń grzewczych dla podanych przykładów oscylowała w granicach 7-13% dla poddaszy.

5. PRZEGLĄD MATERIAŁÓW DOSTĘPNYCH NA POLSKIM RYNKU – PORÓWNANIE

W celach porównawczych deklarowanej przez producentów skuteczności wielowarstwowych mat refleksyjnych postanowiono zestawzić je z tradycyjnymi izolacjami termicznymi (tab. 2). Łączna grubość porównywanych izolacji termicznych w przegrodzie wynosi po 50 mm, dla folii refleksyjnych uwzględniono szczeliny powietrzne z obu stron materiału o szerokości ok. 20 mm.

Tabela 2. Przegląd wielowarstwowych materiałów refleksyjnych dostępnych na polskim rynku

		Wielowarstwowe maty refleksyjne					Styro- pian	Wełna mineralna
		5 warstw	7 warstw	11 warstw	11 warstw	15 warstw		
		2 x MFP 2 x MP 1 x FM	2 x MFP 3 x MP 2 x FM	2 x MFP 5 x MP 4 x FM	2 x MFP 2 x MP 3 x PP 4 x FM	2 x MFP 2 x MP 1 x FM		
λ	W/(mK)	0,033	0,027	0,024	0,019	0,023	0,04	0,04
R	(m^2K)/W	0,9	1,3	1,85	1,33	1,31	1,25	1,25

λ – współczynnik przewodzenia ciepła, R – opór cieplny, PP – pianka poliestrowa, MFP – metalizowana folia poliestrowa, MP – mata poliestrowa, FM – folia metalizowana

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wielowarstwowe maty refleksyjne stanowią ciekawą alternatywę dla tradycyjnych materiałów izolacyjnych, dzięki czemu wykazują potencjał aplikacyjny w branży budowlanej zarówno przy budowie nowych obiektów nZEB, jak i przy modernizacji istniejących. Materiały te mają podobny lub nieco wyższy całkowity opór cieplny przy takiej samej grubości przegrody zewnętrznej, co w przypadku zastosowania konwencjonalnych odpowiedników, takich jak spieniony polistyren (styropian), czy wełna mineralna. W szczególności ich użycie pozwala ograniczyć radiacyjny strumień ciepła, czego bezpośrednim następstwem jest obniżenie potencjalnych zysków ciepła związanych z nasłonecznieniem, co jest szczególnie istotne dla budynków pasywnych oraz nZEB, z uwagi na redukcję obciążenia chłodniczego, przewyższające często obciążenia grzewcze dla budynków tego typu.

Nawiązując do przytoczonych publikacji, nieprawdą okazują się zapewnienia niektórych producentów dotyczące kilkukrotnego ograniczenia grubości warstwy izolacji termicznej w przegrodach, w szczególności zwracając uwagę na fakt, iż wielokrotnie wykazano, że aby uzyskać optymalne parametry termizolacyjne warstwa refleksyjna powinna być poprzedzona pustką powietrzną o odpowiedniej grubości, dochodzącej nawet do 20 cm. Nie ulega jednak wątpliwości, iż izolacje refleksyjne mogą stanowić alternatywę dla standardowych materiałów izolacyjnych, a stosowanie obu rodzajów izolacji w jednej przegrodzie, chcąc wykorzystać zalety tradycyjnych i innowacyjnych rozwiązań, może prowadzić do uzyskania bardzo dobrych rezultatów cieplno-wilgotnościowych.

LITERATURA

- [1] ASHRAE HVAC, 2009. Fundamentals handbook. The American Society of Heating, United States, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [2] Escudero C., Martin K., Erkoreka A., Flores I., Sala J.M., 2013. Experimental thermal characterization of radiant barriers for building insulation, *Energy and Buildings* 59, 62-72.
- [3] Fricker J.M., Yarbrough D.W., 2011. Review of Reflective Insulation Estimation Methods. [In:] *Proceedings of the Build. Simul. 12th Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc.*, 1989–1996.
- [4] ISO 6946:2007, 2007, Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance - Calculation Method.
- [5] Lee S.W., Lim Ch.H., Bin Salleh E. @ I. 2016. Reflective thermal insulation systems in building: A review on radiant barrier and reflective insulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65, 643-661,
- [6] Miller R.G., Oscar D.S., Seifae F., Goss W.P., 1987. Methods for Determining the Thermal Performance of Reflective Insulation Systems.

- ASTM/DOE/ONRL/ BTECC Conf. Therm. Insul. Mater. Test. Appl. ASTM STP 1030, Bal Harb. FL.
- [7] Piasecki M., Pilarski M., 2016. Badania wyrobów i systemów wykorzystujących niskoemisyjne materiały refleksyjne. Izolacje 10.
 - [8] PN-EN 16012+A1:2015-04, 2017. Wyroby do izolacji refleksyjnej – Określanie deklarowanych cieplnych właściwości użytkowych.
 - [9] Radiant Barrier Fact Sheet, 2010. Oak Ridge Natl Lab.
 - [10] Reflective Insulation, Radiant Barriers and Radiation Control Coatings, 2002, RIMA.
 - [11] 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 (Dz.U. 2013 poz. 926).
 - [12] Saber H.H., 2012. Investigation of Thermal performance of reflective insulations for different applications. Build Environ 52, 32–44.
 - [13] Wójcik R., 2014, Badania nad zastosowaniem mat refleksyjnych do dociepleń ścian od wewnątrz, Izolacje, 11/12, 64-66