

dr inż. Beata Sadowska¹⁾

ORCID: 0000-0003-2866-3685

dr hab. inż. arch. Przemysław Markiewicz-Zahorski, prof. PK²⁾

ORCID: 0000-0002-2853-1263

dr inż. Małgorzata Fedorczyk-Cisak^{3)*}

ORCID: 0000-0003-1125-4068

dr inż. Marzena Nowak-Octoń⁴⁾

ORCID: 0000-0002-6877-3742

prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina³⁾

ORCID: 0000-0002-3237-4360

Zalety zastosowania wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej w budynku jednorodzinny

Advantages of using a multi-layer reflective thermal insulation mat in a single-family building

DOI: 10.15199/33.2023.02.01

Streszczenie. Celem artykułu jest ocena zasadności zastosowania izolacji refleksyjnej w poprawie efektywności energetycznej budynków. Przeanalizowano małe budynki do 70 m² powierzchni zabudowy, które zgodnie z polskim prawem budowlanym można realizować bez pozwolenia na budowę. W takich budynkach jest to problem szczególnie istotny, ponieważ zastosowanie wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej pozwoliłoby na zwiększenie powierzchni użytkowej o ok. 5 m².

Słowa kluczowe: izolacja refleksyjna; budynki bez pozwolenia na budowę; efektywność energetyczna.

Abstract. The purpose of this article is to assess the validity of using reflective insulation in improving the energy efficiency of buildings. Small buildings with the built-up area of up to 70 m², which according to the Polish Construction Law can be erected without a building permit, were analyzed. In small buildings this is a particularly important problem, since the use of multi-layer reflective insulation mat would allow to increase the usable area by about 5 m².

Keywords: reflective insulation; buildings without building permits; energy efficiency.

Wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynków, a w efekcie izolacyjności cieplnej elementów obudowy zewnętrznej, są obecnie bardzo restrykcyjne. Wynikają one z polityki klimatycznej UE zmierzającej do osiągnięcia zerowego poziomu emisyjności budynków. Ściany zewnętrzne zajmują coraz więcej miejsca w powierzchni użytkowej. Szczególnie jest to istotne w małych budynkach o powierzchni do 70 m², opisanych w programie „Polski Ład” jako budynki niewymagające pozwolenia na budowę, a jedynie zgłoszenia [1]. Producentom materiałów budowlanych poszukują nowych rozwiązań, pozwalających

na zmniejszenie grubości przegród. Jednym z nich jest **zastosowanie izolacji refleksyjnej jako warstwy ograniczającej straty ciepła przez przegrody zewnętrzne**.

W artykule [2] przedstawiono wyniki badań właściwości termoizolacyjnych mat refleksyjnych zamocowanych na wewnętrznej powierzchni ścian zewnętrznych. Uzyskane wyniki pomiarów z zastosowaniem komory typu hot-box potwierdziły korzystne właściwości cieplne tych materiałów. Rozwiązania wykorzystujące efekt odbijania promieniowania cieplnego są znane i stosowane od wielu lat zarówno w budownictwie, jak i w innych dziedzinach. Współczynnik odbicia fali padającego promieniowania podczerwonego może wynosić w przypadku aluminium polerowanego nawet 97%. Jako przekładki pomiędzy arkuszami aluminiowymi stosuje się folie bąbelkowe, spienione tworzywa i wełnę szklaną. Badania izolacyjnych wyrobów refleksyjnych oraz ich zastosowanie w przegrodach bu-

dowlanych przeprowadzili również autorzy pracy [3], którzy przedstawili metody oraz wyniki badań cieplnych wyrobów izolacji refleksyjnych stosowanych w przegrodach budowlanych. Wyznaczenie oporu cieplnego zostało przeprowadzone w stanie ustalonym, przy użyciu jednopróbkowego aparatu płytowego z osłoniętą płytą grzejną, zgodnie z normą PN-EN 12667:2002 [4] i własną procedurą badawczą. W otwartym raporcie badawczym [5] opublikowano wyniki badania dwóch próbek drewnianej ściany szkieletowej z zastosowaniem izolacji refleksyjnej oraz bez izolacji. Badanie przeprowadzono w komorze klimatycznej metodą osłoniętej skrzynki grzejnej. Konstrukcja szkieletowa po zastosowaniu izolacji refleksyjnej wykazała wartość współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²K)] mniejszą o 33% w porównaniu z konstrukcją bez tej folii. Zainteresowanie badaniami dotyczącymi wpływu izolacji refleksyjnej na parametry cieplne przegrody potwierdza, że jej zastosowanie jako war-

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

²⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Architektury

³⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

* Adres do korespondencji: mfedorczyk-cisak@pk.edu.pl

stwy polepsza izolacyjność cieplną. W artykule przedstawiono analizę efektywności energetycznej i ekonomicznej zastosowania multifolii refleksyjnej jako jednej z warstw ścian zewnętrznych budynku do 70 m² o szkieletcie z drewna i oceniono, ile dodatkowo można zwiększyć powierzchnię użytkowej.

Przedmiot i metoda badań

Przeprowadzono analizę zwycięskiego projektu budynku jednorodzinnego o powierzchni zabudowy 70 m² w konkursie z 2021 r., zorganizowanym przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii oraz Główny Urząd Nadzoru Budowlanego. Na fotografii przedstawiono wizualizację analizowanego budynku. Budynek został zaprojektowany w technologii drewnianej szkieletowej z dachem stromym dwuspadowym, posadowiony na płycie fundamentowej.



Wizualizacje analizowanego budynku

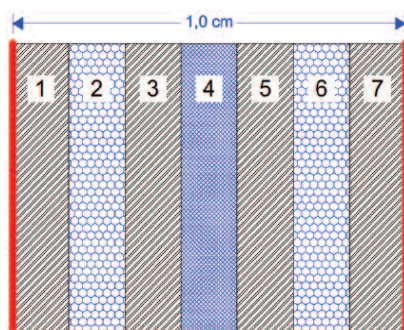
Fot. archiwum autorów

Visualizations of the analyzed building

Photo authors' archive

Do badań wybrano wielowarstwową refleksyjną matę termoizolacyjną grubości 1 cm, obustronnie pokrytą folią refleksyjną z czystego aluminium. Rdzeń maty składa się z dwóch warstw pęcherzyków suchego i stabilnego powietrza, zamkniętych w samogasnącym

polietylenie oraz warstwy komórek powietrznych zamkniętych w samogasnącym filmie polietylenowym, przedzielonych folią aluminiową. Na rysunku 1 przedstawiono przekrój przez analizowaną wielowarstwową refleksyjną matę termoizolacyjną.



Rys. 1. Przekrój przez analizowaną wielowarstwową refleksyjną matę termoizolacyjną: 1, 3, 5, 7 – folia aluminiowa; 2, 6 – warstwy pęcherzyków suchego i stabilnego powietrza zamknięte w samogasnącym polietylenie; 4 – warstwa komórek powietrznych zamkniętych w samogasnącym filmie polietylenowym

Rys. archiwum autorów

Fig. 1. Cross-section through the analyzed multilayer reflective thermal insulation mat: 1, 3, 5, 7 – aluminum foil; 2, 6 – layers of dry and stable air bubbles encapsulated in self-extinguishing polyethylene; 4 – layer of air cells encapsulated in self-extinguishing polyethylene film

Fig. authors' archive

Rozpatrzono cztery warianty ściany budynku:

- **wariant W1** – wyjściowy; wariant ponadstandardowy w stosunku do wymagań ochrony cieplnej, określonych w WT 2021; termoizolacja ścian zewnętrznych jest tradycyjna, tzn. na bazie wełny mineralnej, której grubość wpływa na wartość współczynnika U_c [W/(m²K)];

- **wariant W2** – przekraczający znacznie wymagania ochrony cieplnej, określone w WT 2021 (poziom budynek pasywny); powstał przez dodanie do wariantu wyjściowego ściany warstwy izolacji refleksyjnej od strony wewnętrznej, zwiększając jej grubość o 4 cm;

- **wariant W3** – o współczynniku U_c [W/(m²K)] takim samym jak w wariantcie W1, ale z izolacją refleksyjną, dzięki której grubość przegrody została zredukowana o 1,5 cm przez zmniejszenie grubości wełny mineralnej od strony zewnętrznej;

- **wariant W4** – ściany z zastosowaniem izolacji refleksyjnej, spełniające wymagania WT 2021 [6] na minimalnym poziomie (ściany zewnętrzne o $U_c = 0,2$ W/(m²K)); grubość przegrody została zredukowana o 12 cm w porównaniu z wariantem wyjściowym.

Wartość współczynnika przenikania ciepła ścian w każdym z wariantów obliczono zgodnie z procedurą dotyczącą przegród niejednorodnych. Przyjęte do obliczeń wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ materiałów podano w tabeli 1. Opory przejmowania ciepła na powierzchniach płaskich (strona wewnętrzna (R_{si}) i zewnętrzna (R_{se})) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946 [7]. Parametry wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej zaczerpnięto z danych udostępnionych przez producenta produktu: wartość oporu cieplnego R [(m²K)/W] maty to 0,279 (m²K)/W, zaś układu mata/szczelina powietrzna 1,16 (m²K)/W przy poziomym kierunku ruchu ciepła.

Tabela 1. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów przyjętych do obliczeń

Opracowanie własne

Table 1. Values of thermal conductivity coefficient of materials adopted for calculations

Own study

Materiały budowlane	λ [W/(m·K)]
Tynk zewnętrzny cementowo-wapienny	0,72
Zaprawa klejąca	0,72
Wełna mineralna	0,038
Styropian	0,031
Płyta OSB	0,13
Drewno	0,16
Płyta G-K	0,25

Obliczenia i analiza wyników

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła ścian zamieszczono w tabeli 2 i zaprezentowano szczegółowo układ oraz grubość warstw ścian w poszczególnych wariantach. Dodanie izolacji refleksyjnej do ściany z projektu (wariant W2) zwiększyło jej grubość o 4 cm, ale spowodowało obniżenie współczynnika przenikania ciepła o ponad 15% (tabela 2). Zastosowanie systemu izolacji refleksyjnej w ścianie, przy utrzymanym poziomie jej izolacyjności termicznej (wariant W3), pozwoliło na zmniejszenie grubości warstwy wełny mineralnej o 5,5 cm

Tabela 2. Struktura materiałowa ścian w analizowanych wariantach i wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U

Opracowanie własne
 Table 2. The meter structure of the walls in each of the analyzed variants and the results of calculations of the heat transfer coefficient U

Materiały budowlane		Układ i grubość warstw w poszczególnych wariantach ściany			
		W1	W2	W3	W4
Izolacja cieplna + okładzina zewnętrzna	tynek zewnętrzny [cm]	0,5	0,5	0,5	0,5
	zaprawa klejowa [cm]	0,5	0,5	0,5	0,5
	zewnętrzna izolacja termiczna [cm]	20,0 (wełna mineralna)	20,0 (wełna mineralna)	14,5 (wełna mineralna)	4,0 (styropian)
Konstrukcja + wełna mineralna	plyta OSB [cm]	1,5	1,5	1,5	1,5
	wełna mineralna/słupki drewniane [cm]	10,0	10,0	10,0	10,0
Izolacja cieplna + okładzina wewnętrzna	folia paroizolacyjna [cm]	0,015	–	–	–
	folia refleksyjna [cm]	–	1,0	1,0	1,0
	puszka powietrzna [cm]	–	3,0	3,0	3,0
	plyta G-K [cm]	1,5	1,5	1,5	1,5
Całkowita grubość ściany [cm]		34,0	38,0	32,5	22,0
Współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² ·K]		0,13	0,11	0,13	0,20

i grubości przegrody o 1,5 cm (o 4,4%). Przy przeprojektowaniu ściany na spełniającą obecne wymagania WT 2021 (wariant W4) grubość przegrody zmniejszyła się o 12 cm (czyli o ponad 35%), ale współczynnik przenikania ciepła zwiększył się o prawie 54% w porównaniu z wariantem bazowym.

Zmiana grubości ścian pociąga za sobą zmianę powierzchni użytkowej budynku. W poszczególnych wariantach powierzchnia użytkowa w obrysie ścian zewnętrznych analizowanego budynku wynosi: w wariantcie W1 – 58,9 m²; w wariantcie W2 – 57,7 m²; w wariantcie W3 – 59,4 m²; w wariantcie W4 – 62,7 m². Powierzchnia ta w wariantcie W4 jest o 5 m² większa w porównaniu z wariantem W2 (standard pasywny).

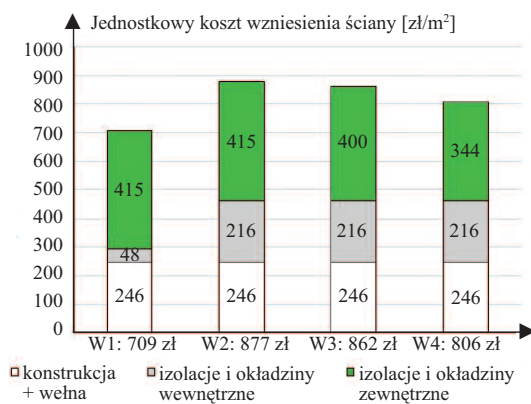
W kolejnym etapie badań oszacowano koszt wykonania 1 m² ściany w każdym z analizowanych wariantów z wykorzystaniem programu Norma PRO Wersja 4.77a i poziomu cen z grudnia 2022 r. Uwzględniono ceny materiałów, koszt montażu, koszty pośrednie i zysk kalkulacyjny. Zestawienie nakładów jednostkowych, w podziale na poszczególne części przegrody wg tabeli 2, przedstawiono na rysunku 2.

Najdroższym z analizowanych przypadków jest ściana w wariantcie W2, gdzie do wersji wyjściowej (W1) dodano izolację refleksyjną, pozostawiając pozostałe warstwy bez zmian. Koszt wykonania proponowanego systemu (wie-

lowarstwowa refleksyjna mata termoizolacyjna od strony wewnętrznej ściany + plyta G-K na szkielecie z listew o grubości 3 cm) to 216 zł/m². Udział kosztu takiego systemu w całkowitym jednostkowym koszcie ściany (w każdym z wariantów W2-W4) stanowi 25 – 26% i jest tylko o 14% mniejszy od kosztu części konstrukcyjnej ściany z wełną między słupkami konstrukcyjnymi.

W tabeli 3 zestawiono koszty wzniesienia ścian w podziale na materiały, roboty montażowe i pozostałe składniki ceny kosztorysowej. W ścianie bez zastosowania izolacji refleksyjnej (wariant W1) udział kosztu materiałów w całkowitym koszcie jednostkowym przegrody wyniósł 38,51%, natomiast w wariantach, gdy taką izolację zastosowano, udział ten przekroczył 41%. Oszacowano również koszt całkowity wzniesienia ścian. W każdym z wariantów W2-W4 trzeba zapłacić więcej niż w wariantcie wyjściowym, odpowiednio o 23,7; 21,6 i 13,6%. Wykonano ponadto obliczenia zapotrzebowania budynku na energię do ogrzewania przy założeniu wartości współczynnika przenikania ciepła ściany wynoszącej 0,13 W/(m²K) (wariant W1 i W3) oraz 0,20 W/(m²K) (wariant W4). Zrezygnowano z obliczeń budynku ze ścianą w wariantcie W2, gdyż wówczas następowało zwiększenie

grubości ściany, a tym samym zmniejszenie powierzchni użytkowej budynku w porównaniu ze stanem bazowym, co miało się z celem artykułu. Parametry pozostałych przegród przyjęto jako stałe, na podstawie projektu analizowanego budynku. W dachu i pod nieogrzewaną przestrzenią dachową zastosowano 30 cm wełny mineralnej, a w podłodze na gruncie 25 cm izolacji termicznej, co spowodowało, że spełnione zostały z nadatkiem obecne wymagania WT 2021.



Rys. 2. Koszt wzniesienia 1 m² ściany w poszczególnych wariantach

Opracowanie własne
 Fig. 2. Cost of erecting 1 m² of wall in each variant

Tabela 3. Koszt jednostkowy wzniesienia 1 m² ściany w podziale na poszczególne składniki, stanowiące cenę kosztorysową i łączny koszt wzniesienia ścian budynku w poszczególnych wariantach

Opracowanie własne
 Table 3. Unit cost of erecting 1 m² of wall divided into individual components constituting the cost price and the total cost of erecting the walls of the building in each variant

Wyszczególnienie	Koszt jednostkowy wzniesienia ścian [zł/m ²] w wariantach			
	W1	W2	W3	W4
Materiały	273	386	371	336
Montaż (robocizna i sprzęt)	228	256	256	245
Pozostałe składniki kształtujące cenę kosztorysową	208	234	234	224
Koszt całkowity	709	876	862	805
Łączny koszt wzniesienia ścian analizowanego budynku [zł]				
Łączny koszt całkowity	85 031	105 144	103 404	96 615

Jako źródło ciepła w budynku zastosowano kocioł gazowy. Do wykonania obliczeń energetycznych użyto programu Design Builder i otrzymano wielkość rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania: 2803,21 kWh w przypadku budynku ze ścianami o $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oraz 3359,19 kWh ze ścianami o $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Przy cenie gazu na poziomie 0,229 zł/kWh, różnica kosztu ogrzewania budynku to 127 zł w skali roku.

Okazało się, że przy zmianie konstrukcji ściany z bazowej (wariant W1) na wariant W4 z zastosowaniem izolacji refleksyjnej, spełniającej wymagania WT 2021 na minimalnym poziomie ($U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), „zysk” ze zwiększonej powierzchni użytkowej wynoszący 22 800 zł (przy przyjęciu 6000 zł/m²), przekroczy dodatkowe nakłady inwestycyjne wynikające z zastosowania systemu izolacji refleksyjnej (+11 585 zł) i nieco wyższego rocznego kosztu ogrzewania. Rozwiązanie takie można więc uznać za opłacalne.

Podsumowanie i wnioski

Wyniki przeprowadzonych obliczeń pokazały, że:

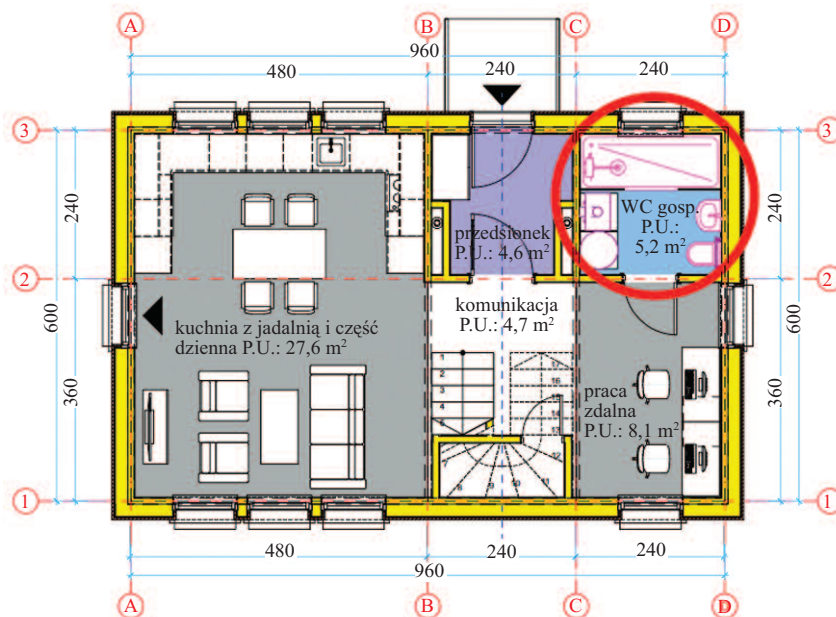
- dzięki dodaniu wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej do drewnianej ściany szkieletowej o współczynnika $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ można polepszyć jej jakość cieplną o ponad 15%, przy jednoczesnym wzroście grubości o 4 cm (o ok. 12%) i kosztu jednostkowego o 24,62%;

- w przypadku zastosowania w ścianie systemu izolacji refleksyjnej i zmniejszenia grubości konwencjonalnej izolacji tak, aby zachować taki sam poziom jej izolacyjności termicznej ($U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), można zmniejszyć całkowitą grubość przegrody o 1,5 cm (o 4,4%). Wzrost kosztu ściany w tym wariantcie wyniesie 21,58% w porównaniu z przegrodą bazową;

- przeprojektowanie ściany w wariantcie wyjściowym, aby spełniała aktualne wymagania WT 2021 i zawierała izolację refleksyjną, pozwala zmniejszyć jej grubość o 12 cm (o 35,3%) przy jednoczesnym pogorszeniu jej izolacyjności cieplnej o ok. 54 % i wzroście kosztu jednostkowego o 13,60%.

W przypadku małych budynków o powierzchni zabudowy wynoszącej 70,0 m², różnica w wielkości powierzchni użytkowej dochodzi w analizowanych wariantach do 5,0 m², co może być powierzchnią wykorzystaną na małą łazienkę lub przedsiónek. Rzut parteru budynku przedstawiono na rysunku 3.

Dobierając odpowiednio warstwy przegród zewnętrznych, przez zastosowanie w nich nowoczesnych materiałów izolacyjnych, można w znacznym stopniu zwiększyć powierzchnię użytkową, co jest szczególnie istotne w przypadku budynków o ograniczonej powierzchni zabudowy.



Rys. 3. Rzut parteru budynku z oznaczeniem dodatkowo zyskanej powierzchni

Opracowanie własne

Fig. 3. Ground floor plan of the building with marking of additionally gained area Own study

Czerwonym okręgiem zaznaczono powierzchnię użytkową (odpowiadającą wielkości obrysowanej łazienki), którą możemy uzyskać wyłącznie przez zmniejszenie grubości ścian zewnętrznych.

Analizowane warianty ścian zewnętrznych mają znaczenie szczególnie w przypadku budynków o małej powierzchni zabudowy, gdzie grubość ścian zewnętrznych ma duży wpływ na wielkość wewnętrznej powierzchni użytkowej. W budynkach o powierzchni zabudowy wynoszącej 70,0 m², a więc niewymagających uzyskania pozwolenia na budowę wg założeń programu „Polski Ład”, różnice w wielkości powierzchni użytkowej dochodzą w analizowanych wariantach do 5,0 m². Jednocześnie „zysk” ze zwiększonej powierzchni użytkowej może przewyższyć dodatkowe nakłady inwestycyjne wynikające z zastosowania systemu izolacji refleksyjnej, a także nieco wyższych kosztów ogrzewania.

Literatura

- [1] Ustawa z 17 września 2021 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane oraz ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Kancelaria Sejmu RP. Dz. U. 2021 poz. 1986.
- [2] Wójcik R. Badania nad zastosowaniem mat refleksyjnych do dociepleń ścian od wewnątrz. Izolacje. 2014; 11 – 12.
- [3] Piasecki M, Pilarski M. Badania izolacyjnych wyrobów refleksyjnych oraz ich zastosowanie w przegrodach budowlanych. Obliczenia oporu cieplnego przegród budowlanych z zastosowaniem izolacji refleksyjnej. Izolacje. 2016; 10.
- [4] PN-EN 12667:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych – Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego – Wyroby o dużym i średnim porzeczności.
- [5] http://www.mlbe.pk.edu.pl/images/files/Raport-z-bada_Konstrukcja_szkieletowa-1.pdf.
- [6] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z 31 stycznia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. 2022 poz. 248).
- [7] ISO 6946:2017-10 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metody obliczania.

Przyjęto do druku: 17.01.2023 r.