

Anna ŚPIEWAK

Politechnika Częstochowska

ANALIZA PORÓWNAWCZA KOSZTÓW OCIEPLENIA DOMU JEDNORODZINNEGO DLA WYBRANYCH WSPÓŁCZESNYCH MATERIAŁÓW TERMOIZOLACYJNYCH

W artykule omówiono aktualne warunki techniczne dotyczące ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych. Przeprowadzono analizę porównawczą kosztów termoizolacji ścian zewnętrznych domu jednorodzinnego, względem wybranych, współcześnie wykorzystywanych materiałów termoizolacyjnych, w celu dokonania wyboru najtańszego rozwiązania.

Słowa kluczowe: dom jednorodzinny, współczynnik przenikania ciepła, styropian grafitowy EPS, płyty PIR, izolacja aerożelowa, panele próżniowe VIP

WPROWADZENIE

Dobrze zaprojektowany system ocieplenia domu jednorodzinnego z wykorzystaniem materiałów o optymalnych parametrach fizycznych i termicznych jest jednym z kluczowych aspektów wznoszenia domów, pozwalającym na uzyskanie oszczędności finansowych w całym procesie jego użytkowania. Na wysokość uzyskanych oszczędności istotny wpływ ma rodzaj zastosowanego ocieplenia. W artykule przedstawiono wyniki analizy kosztów termoizolacji ścian zewnętrznych domu jednorodzinnego bez uwzględnienia ceny wykonania usługi. Do analizy przyjęto najnowocześniejsze materiały termoizolacyjne, charakteryzujące się najlepszymi obecnie na rynku właściwościami cieplnymi i termoizolacyjnymi. Jednak zaawansowane technologicznie systemy i rozwiązania materiałowe ze względu na wysoką cenę często są dostępne jedynie dla dużych firm i niewielkiej liczby odbiorców indywidualnych.

1. AKTUALNE WARUNKI TECHNICZNE DOTYCZĄCE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Izolacyjność termiczna przegród budowlanych jest zagadnieniem często poruszanym w dokumentach, określających kierunek rozwoju Unii Europejskiej (Dyrektywa 2012/27/UE [1]). W Polsce od 1 stycznia 2014 r. obowiązuje Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, zmieniające warunki

techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2], które m.in. mówi o izolacyjności termicznej ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych. Dla domów jednorodzinnych, gdzie projektowana temperatura wewnętrzna wynosi $t_i \geq 16^\circ\text{C}$, wartości maksymalne współczynnika przenikania ciepła obowiązujące od roku 2014 to $U_{C(\max)} \leq 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, dla roku 2017 $U_{C(\max)} \leq 0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a dla roku 2021 $U_{C(\max)} \leq 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Program dopłat do budowy lub zakupu domów energooszczędnych i pasywnych NFOŚiGW definiuje dwa nowe standardy energetyczne odpowiednio NF40 i NF15 dla domów jednorodzinnych. Standard energetyczny NF40 informuje, że współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej powinien przyjmować wartość $U_C \leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ w przypadku budynków zlokalizowanych w strefach klimatycznych I, II oraz III oraz dla stref klimatycznych IV i V $U_C \leq 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [2-5].

2. ANALIZOWANE MATERIAŁY TERMOIZOLACYJNE

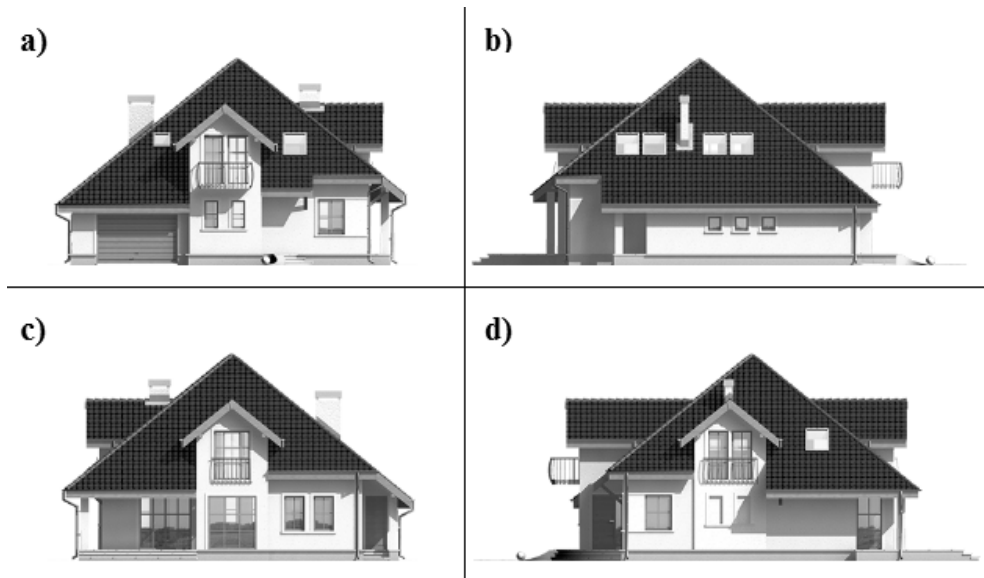
Do analizy przyjęto cztery najpopularniejsze i najnowsze na polskim rynku materiały termoizolacyjne charakteryzujące się najniższymi współczynnikami przewodzenia ciepła pozwalającymi na osiągnięcie wartości U_C dla warunków technicznych na 2021 rok. Analizowane materiały to styropian grafitowy EPS, płyty poliuretanowe PIR, maty aerożelowe oraz panele próżniowe VIP. W tabeli 1 zestawiono i porównano parametry fizyczne i mechaniczne wybranych materiałów wykorzystanych w dalszej analizie kosztów docieplenia ścian zewnętrznych budynku jednorodzinnego. Parametry materiałowe zaczerpnięto z aprobat technicznych materiałów, artykułów oraz danych producentów.

Tabela 1. Porównanie parametrów analizowanych materiałów termoizolacyjnych [oprac. własne na podstawie 6-12]

Parametr	Styropian grafitowy EPS	Płyty poliuretanowe PIR	Maty aerożelowe	Panele próżniowe VIP
Deklarowany przez producentów współczynnik U_C [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	0,030÷0,031	0,019÷0,024	0,0138÷0,017	0,007÷0,009
Minimalna gęstość objętościowa [kg/m^3]	13,5÷18	30÷40	130÷150	190÷210
Wytrzymałość na ściskanie [kPa]	≥ 110 ÷115	≥ 150 ÷230	≥ 100	≥ 160
Wytrzymałość na rozciąganie [kPa]	≥ 100	≥ 150 ÷230	≥ 100	≥ 60
Klasa odporności ogniowej	E (samogasnący, gaśnie po usunięciu źródła ognia)	E (samogasnący, gaśnie po usunięciu źródła ognia)	A (trudnozapałny, niekapiący, nieodpadający)	B (trudnozapałny, niekapiący brak rozgorzenia)
Izolacyjność akustyczna	Niska	Dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra

3. ANALIZA WPLYWU SYSTEMU TERMOIZOLACYJNEGO NA KOSZT IZOLACJI DOMU JEDNORODZINNEGO

Do analizy, która ma za zadanie wskazanie najtańszego systemu termoizolacji ścian zewnętrznych (w analizie nie uwzględniono izolacji termicznej fundamentów, ścian fundamentowych, podłogi na gruncie, dachu, balkonów i tarasów), przyjęto dom jednorodzinny parterowy, niepodpiwniczony, z wbudowanym garażem oraz z poddaszem użytkowym (rys. 1).



Rys. 1. Elewacje analizowanego domu jednorodzinnego: a) elewacja zachodnia, b) elewacja północna, c) elewacja wschodnia, d) elewacja południowa [oprac. własne na podstawie projektu pracowni projektowej ARCHIPELAG]

Analizowany budynek zlokalizowano w Częstochowie i zaklasyfikowano do III strefy klimatycznej zgodnie z normą PN-EN 12831:2006 [13]. Całkowita powierzchnia użytkowa domu włącznie z garażem to 210,25 m² (11 pomieszczeń na kondygnacji parterowej i 6 pomieszczeń poddasza użytkowego). Wymiary budynku to 14,2 m na 15,2 m, zaś wysokość w kalenicy budynku to 10,88 m. Przeprowadzona poniżej analiza nie uwzględnia specyfiki ocieplenia poddasza, dotyczy jedynie 170 m² ścian zewnętrznych z uwzględnieniem otworów okiennych i drzwiowych. Ściany zewnętrzne zostały zaprojektowane jako przegrody dwuwarstwowe, gdzie warstwę konstrukcyjną stanowi pustak ceramiczny poryzowany o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,313 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Przegrodę wykończono od zewnątrz warstwą tynku silikatowo-silikonowego o gr. 1,5 mm i przewodności cieplnej $\lambda = 0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Natomiast od wewnątrz zastosowano tynk cementowo-wapienny o gr. 1,5 mm i współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,82 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Do analizy kosztów termoizolacji ścian zewnętrznych przyjęto materiały izolacyjne w czterech

wariantach, a dla teoretycznych przegród przeprowadzono obliczenia ciepłno-wilgotnościowe, które pozwoliły na ustalenie grubości materiału termoizolacyjnego (przyjętym założeniem było spełnienie przez przegrodę warunków technicznych 2021, $U_C \leq U_{C(\max)} = 0,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). Obliczenia wykonano zgodnie z procedurą wg normy PN-EN 6946:2008 [14], pominięto wpływ liniowych mostków termicznych oraz poprawki ze względu na łączniki mechaniczne. Wartości współczynników przenikania ciepła przegrody z zastosowaniem odpowiedniego rodzaju i grubości termoizolacji zaprezentowano w tabeli 2. Dodatkowo w tabeli 2 przedstawiono grubości termoizolacji, jakie należałoby przyjąć dla spełnienia przez przegrodę standardu NF40.

Tabela 2. **Współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych domu jednorodzinnego termoizolacji w czterech wariantach [oprac. własne]**

Rodzaj izolacji zastosowanej w przegrodzie	Minimalna gr. termoizolacji dla spełnienia WT2021 [cm]	Współczynnik przenikania ciepła przegrody pionowej U_C [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	Minimalna gr. termoizolacji dla spełnienia standardu NF40 [cm]	Współczynnik przenikania ciepła przegrody pionowej U_C [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
Styropian grafitowy EPS	13	0,195	18	0,147
Płyty PIR	8,4	0,200	11,7	0,150
Maty aerożelowe	6	0,197	8,5	0,145
Panele VIP	3	0,197	4,5	0,138

Ceny wszystkich analizowanych materiałów przyjęto na podstawie średnich cen dystrybutorów odpowiednich rodzajów materiałów izolacyjnych. Kalkulacja kosztów termomodernizacji analizowanego budynku obejmuje koszty materiałów bez uwzględnienia kosztów robocizogodzin za wykonaną pracę zgodnie z KNR. Analizowane koszty zawierają ceny materiałów izolacji termicznej oraz innych produktów systemowych pozwalających na przyklejenie izolacji do części masywnej przegrody zgodnie z zaleceniami producentów. Dodatkowo do kosztów doliczono materiały wyprawy elewacyjnej, tj. tynk silikatowo-silikonowy o grubości 1,5 mm (kompatybilny z każdym wariantem termoizolacji). W tabelach 3-6 przedstawiono obliczenia kosztów termomodernizacji ścian zewnętrznych budynku jednorodzinnego, uwzględniając każdorazowo inny materiał termoizolacyjny, tj. styropian grafitowy EPS, płyty poliuretanowe PIR, maty aerożelowe oraz panele próżniowe VIP.

Styropian grafitowy EPS i poliuretanowe płyty PIR to ulepszone wersje tradycyjnych materiałów, tj. styropian i płyty z poliuretanu. Charakteryzują się one lepszymi właściwościami mechanicznymi i parametrami ciepłochronnymi przy stosunkowo niskiej cenie w porównaniu do innych nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych.

Tabela 3. Koszty systemu docieplenia ściany zewnętrznej styropianem grafitowym EPS [oprac. własne]

System docieplenia ścian zewnętrznych z zastosowaniem styropianu grafitowego EPS					
Pow. ocieplenia [m ²]	170	Rodzaj i parametry ściany:	bez tynku - wysokość do 8 m		
		Materiał konstrukcyjny ściany:	Pustak z ceramiki poryzowanej		
Gr. izolacji [cm]	13	Izolacja termiczna:	Płyty z styropianu grafitowego EPS		
Materiały warstwy izolacyjno - zbrojeniowej		Zużycie na 1m ²	Jedn.	Cena [PLN] netto	
				Jedn.	1 m ²
Izolacja termiczna	Płyty styropianu grafitowego EPS gr. 13cm	1,00	m ³	27,17	27,17
Klej do przyklejania płyt	Klej do styropianu grafitowego EPS	6,00	kg	0,88	5,28
Siatka zbrojąca	Siatka z włókna szklanego	1,10	m ²	3,40	3,74
Klej do zatapiania siatki	Klej do zatapiania siatki	5,00	kg	0,88	4,4
Materiały wyprawy elewacyjnej					
Tynk dekoracyjny	Tynk silikatowo-silikonowy baranek 1,5 mm	2,50	kg	7,12	17,80
Grunt podtynkowy	Grunt pod tynki	0,40	kg	6,78	2,71
	RAZEM:	1,00	m ³	[PLN]	61,10
	RAZEM	170	m²	[PLN]	10387,34

Tabela 4. Koszty systemu docieplenia ściany zewnętrznej płytami poliuretanowymi PIR [oprac. własne]

System docieplenia ścian zewnętrznych z zastosowaniem płyt poliuretanowych PIR					
Pow. ocieplenia [m ²]	170	Rodzaj i parametry ściany:	bez tynku - wysokość do 8 m		
		Materiał konstrukcyjny ściany:	Pustak z ceramiki poryzowanej		
Gr. izolacji [cm]	8.4	Izolacja termiczna:	Płyty poliuretanowe PIR		
Materiały warstwy izolacyjno - zbrojeniowej		Zużycie na 1m ²	Jedn.	Cena [PLN] netto	
				Jedn.	1 m ²
Izolacja termiczna	Płyty poliuretanowe z warstwą mineralną zwiększającą przyczepność tynku gr. 8.4 cm.	1,00	m ²	100,77	100,77
Klej do przyklejania płyt	Klej do płyt poliuretanowych PIR	53,60	ml	0,04	2,14
Materiały wyprawy elewacyjnej					
Tynk dekoracyjny	Tynk silikatowo-silikonowy baranek 1,5 mm	2,50	kg	7,12	17,80
Grunt podtynkowy	Grunt pod tynk	0,40	kg	6,78	2,71
	RAZEM:	1,00	m ²	[PLN]	123,43
	RAZEM	170	m²	[PLN]	20982,42

Maty aerożelowe to powszechnie stosowane izolacje na świecie, lecz bardzo rzadko w Polsce, pomimo doskonałych parametrów cieplnych. Maty aerożelowe na polskim rynku stosowane są głównie do minimalizacji wpływu mostków termicznych w węzłach konstrukcyjnych lub jako korekty błędów wykonawczo-projektowych. Z analizy wynika, że rozwiązanie to jest ok. 18-krotnie droższe od dwóch wcześniejszych, jednak pozwala zredukować grubość izolacji do jedynie 6 cm. Wysoka cena mat aerożelowych sprawia, że nie są stosowane jako izolacje wielkopowierzchniowe, czyli tak jak przedstawiono w analizie.

Tabela 5. Koszty systemu docieplenia ściany zewnętrznej matami aerożelowymi [oprac. własne]

System docieplenia ścian zewnętrznych z zastosowaniem mat aerożelowych					
Pow. ocieplenia [m ²]	170	Rodzaj i parametry ściany:	bez tynku - wysokość do 8 m		
		Material konstrukcyjny ściany:	Pustak z ceramiki poryzowanej		
Gr. izolacji [cm]	6	Izolacja termiczna:	Maty aerożelowe		
Materiały warstwy izolacyjno - zbrojeniowej		Zużycie na 1m ²	Jedn.	Cena [PLN] netto	
				Jedn.	1 m ²
Izolacja termiczna	Maty aerożelowe gr. 6 cm	1,00	m ²	1116,00	1116
Klej do przyklejania płyt	Klej do mat aerożelowych	6,00	kg	1,28	7,68
Siatka zbrojąca	Siatka z włókna szklanego	1,10	m ²	3,40	3,74
Klej do zatapiania siatki	Klej do zatapiania siatki	5,50	kg	0,88	4,84
Materiały wyprawy elewacyjnej					
Tynk dekoracyjny	Tynk silikatowo-silikonowy baranek 1,5 mm	2,50	kg	7,12	17,80
Grunt podtynkowy	Grunt pod tynk	0,40	kg	6,78	2,71
	RAZEM:	1,00	m ²	[PLN]	1152,77
	RAZEM	170	m²	[PLN]	195971,24

Tabela 6. Koszty systemu docieplenia ściany zewnętrznej próżniowymi panelami izolacyjnymi VIP [oprac. własne]

System docieplenia ścian zewnętrznych z zastosowaniem paneli próżniowych VIP					
Pow. ocieplenia [m ²]	170	Rodzaj i parametry ściany:	bez tynku - wysokość do 8 m		
		Material konstrukcyjny ściany:	Pustak z ceramiki poryzowanej		
Gr. izolacji [cm]	3	Izolacja termiczna:	Panele próżniowe VIP		
Materiały warstwy izolacyjno - zbrojeniowej		Zużycie na 1m ²	Jedn.	Cena [PLN] netto	
				Jedn.	1 m ²
Izolacja termiczna	Panele próżniowe VIP gr. 3cm	1,00	m ²	1668	1668
Klej do przyklejania paneli	Klej do paneli próżniowych	6,00	kg	0,88	5,28
Siatka zbrojąca	Siatka z włókna szklanego	1,10	m ²	3,40	3,74
Klej do zatapiania siatki	Klej do zatapiania siatki	5,00	kg	0,88	4,4
Materiały wyprawy elewacyjnej					
Tynk dekoracyjny	Tynk silikatowo-silikonowy baranek 1,5 mm	2,50	kg	7,12	17,80
Grunt podtynkowy	Grunt pod tynki	0,40	kg	6,78	2,71
	RAZEM:	1,00	m ²	[PLN]	1701,93
	RAZEM	170	m²	[PLN]	289328,44

Główną zaletą paneli próżniowych jest zapewnienie wysokiej efektywności energetycznej budynku. Złożona i skomplikowana struktura paneli VIP powoduje, że ich montaż może prowadzić jedynie przeszkolona i doświadczona ekipa montażowa, co generuje dodatkowe wysokie koszty nieuwjęte w przeprowadzonej analizie. Koszt termoizolacji analizowanego domu jednorodzinnego jest blisko 30-krotnie wyższy w porównaniu z tradycyjnymi systemami ze styropianu grafitowego XPS oraz płyt PIR. Tak bardzo wysoki koszt wynika ze skomplikowanej budowy paneli, które nie mogą być cięte, docinane i obrabiane na wymiar na placu budowy. System

izolacji próżniowej budynku VIP musi być dokładnie przewidziany, przemyślany i zaprojektowany indywidualnie dla każdego klienta, co generuje ogromne koszty tego systemu.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza wykazała, że najbardziej ekonomicznym systemem ocieplenia domu jednorodzinnego jest izolacja w postaci styropianu grafitowego EPS. Już 13-centymetrowa warstwa izolacji ścian zewnętrznych pozwala spełnić warunki techniczne na rok 2021, a grubość 18 cm zapewnia spełnienie standardu NF40 dla przegrody zewnętrznej. Jednak analiza wykazuje tylko koszty związane z termoizolacją budynku bez uwzględnienia dużej efektywności energetycznej droższych rozwiązań w całym okresie użytkowania budynku. Dlatego przeprowadzona analiza nie jest analizą miarodajną, mówiącą o kosztach wydanych na izolację budynku i zyskach pozyskanych podczas użytkowania budynku. Materiały, takie jak maty aerożelowe czy panele próżniowe, pozwalają na osiągnięcie wyższej efektywności energetycznej przy jednoczesnym zredukowaniu grubości przegrody, co powoduje znaczne zmniejszenie zużycia energii oraz zużycia materiału, a tym samym zmniejszenie emisji CO₂. Dodatkowo coraz bardziej zaostrzane wymagania związane z energooszczędnością budynków dają szansę popularyzacji takich materiałów termoizolacyjnych. Istotną wadą tych zaawansowanych pod względem technologicznym materiałów jest ich bardzo wysoka cena w stosunku do ulepszanych materiałów tradycyjnych, co powoduje, że w Polsce znajdują one wąskie grono odbiorców. Jediną nadzieją na liczniejsze zastosowania tych materiałów są działania mające na celu zwiększenie świadomości energetycznej klientów oraz możliwość uzyskania dotacji lub dofinansowania do budowy domu energetycznego, niskoenergetycznego, a w przyszłości zeroenergetycznego.

LITERATURA

- [1] Directive 2012/27/EU of 25 October 2012 on energy efficiency.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002, Nr 75, poz. 690 ze zm. (Dz.U. 2013, poz. 926).
- [3] Repelewicz A., Izolacyjność termiczna obiektów sakralnych w świetle nowych przepisów, *Budownictwo o Z optymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2014, 1(13), 101-107.
- [4] Jadwiszczak P., Standard energetyczny NF15 i NF40 oraz dopłaty do budownictwa energooszczędnego, *Rynek Instalacyjny* 2013, 6, 29-34.
- [5] Repelewicz A., Układy architektoniczno-konstrukcyjne i izolacyjność cieplna ścian zewnętrznych w obiektach sakralnych, *Budownictwo o Z optymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2012, 1(9), 84-94.
- [6] Systemy dociepleń: <http://www.ocieplenie.pl/>, dostęp: 20.06.2016.
- [7] PPHU JAGA-ROL Jarosław Rzymyszkiewicz: <http://www.pir-pur.pl/>, dostęp: 20.06.2016.
- [8] Nowoczesne systemy termoizolacji i fasad: <http://linitherm.pl/>, dostęp: 20.06.2016.

- [9] Aerogels Poland Nanotechnology Sp. z o.o., <http://www.aerogels.pl/>, dostęp: 20.06.2016.
- [10] Evertec Sp. z o.o., <http://evertecsolutions.com/>, dostęp: 20.06.2016.
- [11] Nowoczesne izolacje termiczne: <http://izomat.net/>, dostęp: 20.06.2016.
- [12] <http://www.kingspaninsulation.pl/>, dostęp: 20.06.2016.
- [13] PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach - Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [14] PN-EN 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania.
- [15] Zastawna-Rumin A., Izolacja aerożelowa na tle izolacji tradycyjnych, *Izolacje* 2010, 9, 32-36.
- [16] Adamczyk-Królak, I., Aerożele i pianki poliuretanowe - nowoczesne materiały termoizolacyjne w budownictwie, *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2015, 2(15), 9-14.
- [17] Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A., Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review, *Energy and Buildings* 2011, 43, 761-769.
- [18] Bochenek M., Izolacje próżniowe (VIP) - właściwości i przykłady zastosowań w budownictwie, *Izolacje* 2012, 10, 16-18.
- [19] Steven J. Herek, Emmanuel C. Nsofor, Performance of vacuum insulation panels in building energy conservation, *American Journal of Engineering Research* 2014, 3, 149-160.
- [20] Baetens R., Jelle B.P., Thue J.V., Tenpierik M.J., Grynning S., Uvsløkk S., Gustavsen A., Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond, *Energy and Buildings* 2010, 42, 147-172.

COMPARATIVE ANALYSIS OF COSTS OF THE INSULATION A DETACHED HOUSE FOR OF SELECTED CONTEMPORARY INSULATION MATERIALS

The article discusses the current technical conditions for the exterior walls of residential buildings. A comparative analysis of the costs of the thermal insulation of exterior walls of a detached house, in relation to selected recently used thermal insulation materials, in order to choose the cheaper solution.

Keywords: detached house, heat transfer coefficient, expanded polystyrene graphite foams EPS, PIR insulation, aerogel insulation, vacuum insulated panel VIP