

Gabriela RUTKOWSKA¹, Marcin PRZYBYTKOWSKI

¹Katedra Budownictwa i Geodezji SGGW w Warszawie
Department of Civil Engineering and Geodesy WULS – SGGW

Analiza opłacalności ocieplania wybranych budynków jednorodzinnych. Część II

Analisis of thermal insulation profitability of selected individual houses (single family houses). Part II

Słowa kluczowe: granica, ocieplenie, opłacalność, budynek

Key words: break-even point, thermal insulation, profitability, building

Zestawienie wyników obliczeń

Obliczenia cieplne przegród, grubości granicznej i optymalnej izolacji cieplnej oraz prostego czasu zwrotu zestawiono oddzielnie dla ścian (tab. 1 i 2) i dachów (tab. 3 i 4) budynków.

Obliczone wartości optymalnej grubości izolacji termicznej dla ścian (tab. 1) wyznaczają grupę budynków o numerach od 1–6, dla których d_{opt} zawiera się w przedziale 0,24–0,23 m, grupę budynków 7–9 dla których $d_{opt} = 0,22–0,21$ m, oraz grupę budynków 10–12, dla których optymalna grubość izolacji cieplnej jest mniejsza od 18 cm. Wartość optymalnego współczynnika przenikania jest stała dla wszystkich badanych ścian budynków i wynosi $U_{opt} = 0,15 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$.

Na rysunku 1 przedstawiony został rozkład punktowy grubości izolacji granicznej ścian budynków i grubości izolacji optymalnej ścian budynków. Wartości grubości granicznej izolacji poszczególnych ścian budynków rosną, natomiast wartości grubości optymalnej maleją z czasem, przy czym budynki, których optymalna grubość zawiera się w przedziale 0,15–0,2 m, nie posiadają granicznie opłacalnej grubości izolacji cieplnej.

Prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych obliczono dla grubości styropianu wynoszących 15 i 20 cm, przy różnicy oporu cieplnego rzędu $1,28 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pomiędzy tymi dwiema grubościami (tab. 2). Budynki od numeru 2 do 8 nie wykazują znaczących procentowych zmian pomiędzy długościami czasu SPBT dla ocieplania izolacją ze styropianu grubości 15 i 20 cm.

Obliczone wartości optymalnej grubości izolacji termicznej dla dachów (tab. 3) wyznaczają grupę budynków

TABELA 1. Zestawienie obliczonych z funkcji NPV wartości granicznej grubości izolacji (d), optymalnej grubości izolacji (d_{opt}) i optymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła (U_{opt}) dla ścian badanych budynków

TABLE 1. List of the values, calculated from the NPV function: limit insulation coat thickness (d), optimal insulation coat thickness (d_{opt}) optimal heat transfer coefficient (U_{opt}) – for the walls of the investigating buildings

Nr badanego budynku No of investigated building	Rok budowy Year of construction	Opór R_0 [m ² ·K·W ⁻¹] Resistance R_0	Graniczna grubość izolacji d [m] limit insulation coat thickness	Opór (po ociepleniu) R_T [m ² ·K·W ⁻¹] Resistance after warm insulation	Optymalna grubość izolacji termicznej d_{opt} [m] optimal insulation coat thickness	Optymalny współczynnik przenikania ciepła U_{opt} [W·(m ² ·K) ⁻¹] optimal heat transfer coefficient
1	1958	0,462	0,00698	0,64	0,24	
2	1961	0,673	0,01831	1,17	0,23	
3	1964	0,767	0,02674	1,52	0,23	
4	1967	0,674	0,01838	1,17	0,23	
5	1975	0,725	0,0226	1,35	0,23	
6	1979	0,768	0,0269	1,52	0,23	
7	1983	0,962	0,0588	2,47	0,22	
8	1988	0,943	0,0542	2,33	0,22	
9	1990	1,261	–	–	0,21	
10	1993	2,141	–	–	0,17	
11	1998	1,894	–	–	0,18	
12	2006	2,611	–	–	0,16	
						0,15

TABELA 2. Zestawienie obliczonych wartości SPBT dla założonych grubości izolacji cieplnej styropianu dla ścian badanych budynków

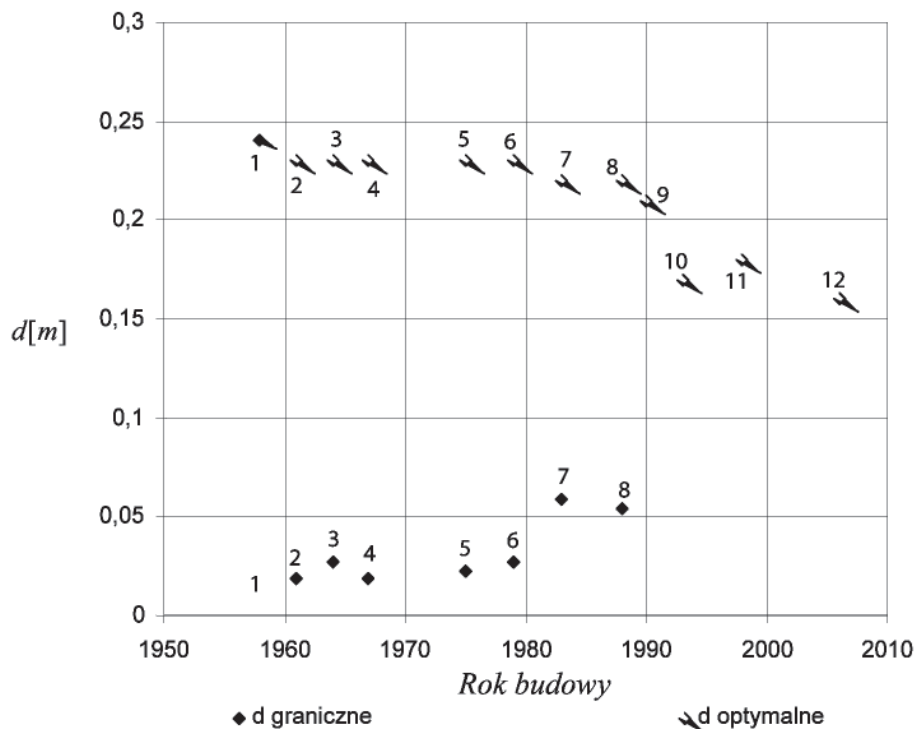
TABLE 2. List of the calculated SPBT values for the assumed thickness of Styro-foam insulation coat for the walls of the investigating buildings

Nr budynku No of investigated building	U_k [$W \cdot (m^{-2} \cdot K)^{-1}$]	SPBT dla grubości styropianu [lat] SPBT index for Styro-foam thickness [years]		Grubość izolacji termicznej [m] spełniająca wymagania normowe $U_{kmax} = 0,50 W \cdot (m^{-2} \cdot K)^{-1}$ Thermal insulation thickness [m] for $U_{kmax} = 0,50 W \cdot (m^{-2} \cdot K)^{-1}$ (fulfilling the norm requirements)	Prosty czas zwrotu dla grubości izolacji z kolumny 5 [lat] Simple depreciation time for the insulation coat thickness from Col. 5 [years]	Procentowy wzrost SPBT pomiędzy kolumnami 3 i 4 [%] Percentage difference of SPBT index between the times from the Cols. 3 and 4
		0,15 m	0,2 m			
1	2	3	4	5	6	7
1	2,165	8,5	8,7	0,06	9,1	2,4
2	1,486	13	13,1	0,05	15,5	0,8
3	1,303	15,2	15,2	0,05	18,5	0
4	1,483	13,1	13,1	0,05	15,5	0
5	1,38	14,2	14,2	0,05	17,1	0
6	1,303	15,2	15,2	0,05	18,5	0
7	1,04	19,8	19,6	0,04	27,8	-1
8	1,061	19,3	19,2	0,04	27	-0,5
9	0,793	27,6	27	0,03	49,2	-2,2
10	0,467	54,9	52,2	0	0	-4,9
11	0,528	46,6	44,6	0	0	-4,3
12	0,383	73,7	65,2	0	0	-11,5

TABELA 3. Zestawienie obliczonych z funkcji NPV wartości granicznej grubości izolacji (d), optymalnej grubości izolacji (d_{opt}) i optymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła (U_{opt}) dla dachów badanych budynków

TABLE 3. List of the values, calculated from the NPV function: limit insulation coat thickness (d), optimal insulation coat thickness (d_{opt}), optimal heat transfer coefficient (U_{opt}) – for the roofs of the investigating buildings

Nr badanego budynku No of investigated building	Rok budowy Year of construction	Opór R_0 [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] Resistance	Graniczna grubość izolacji d [m] limit insulation coat thickness d	Opór (po ociepleniu) R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] Resistance after warm insulation	Optymalna grubość izolacji termicznej d_{opt} [m] optimal insulation coat thickness	Optymalny współczynnik przenikania ciepła U_{opt} [$W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$] optimal heat transfer coefficient
1	1958	0,3	0,0056	0,45	0,15	
2	1961	0,25	0,0036	0,35	0,15	
3	1964	0,367	0,0095	0,62	0,14	
4	1967	0,395	0,0117	0,7	0,14	
5	1975	0,182	0,00172	0,23	0,15	
6	1979	0,672	–	–	0,13	
7	1983	0,42	0,014	0,79	0,14	
8	1988	0,319	0,0066	0,49	0,14	
9	1990	1,774	–	–	0,09	
10	1993	2,104	–	–	0,08	
11	1998	4,664	–	–	-0,02	
12	2006	6,146	–	–	-0,08	
						0,24



RYSUNEK 1. Wykres przedstawiający rozkład punktowy wartości granicznej i optymalnej grubości izolacji cieplnej ze styropianu w skali czasu budowy poszczególnych badanych budynków
 FIGURE 1. Graph of the point distribution of the limit and optimal value of a Styro-foam insulation coat thickness in the dependence of the establishing time for each of the investigated buildings

o numerach 1–8, dla których d_{opt} zawiera się w przedziale 0,13–0,15 m, grupę dwóch budynków 9–10, dla których $d_{opt} = 0,08–0,09$ m, oraz budynki 11 i 12 dla których optymalna grubość izolacji z wełny mineralnej dla dachu budynków przyjmuje wartości ujemne, co oznacza, że ocieplanie jest całkowicie nieopłacalne. Wartość optymalnego współczynnika przenikania jest stała dla wszystkich badanych dachów budynków i wynosi $U_{opt} = 0,24 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$.

Prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych obliczono dla grubości wełny mineralnej wynoszących 15 i 25 cm, przy różnicy oporu cieplnego rzędu $2,63 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pomiędzy tymi dwiema

grubościami (tab. 4). Budynki 1–8 charakteryzują się relatywnie małą wartością SPBT o maksymalnej wartości 10 lat. Reszta badanych połaci dachowych budynków wykazuje daleko większy czas SPBT – w granicach od 30 lat i dłużej, oraz skrócenie czasu przy zwiększeniu grubości izolacji cieplnej.

Podsumowanie i wnioski

Obliczenia opłacalności ocieplania zostały przeprowadzone na możliwie największej liczbie założeń o jednakowym poziomie dla wszystkich budynków. Zmiennymi w obliczeniach była

TABELA 4. Zestawienie obliczonych wartości SPBT dla grubości izolacji cieplnej z wełny mineralnej dla połaci dachowych badanych budynków
 TABLE 4. List of the calculated SPBT values for the assumed thickness of mineral wool insulation coat for the roof slopes of the investigating buildings

Nr budynku No of investigated building	U_k [$W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$]	SPBT dla grubości wełny mineralnej [lat] SPBT index for Styro-foam thickness [years]		Grubość izolacji termicznej [m] spełniająca wymagania normowe $U_{kmax} = 0,30$ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ Thermal insulation thickness [m] for $U_{kmax} = 0,50$ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ (fulfilling the norm requirements)	Prosty czas zwrotu dla grubości izolacji z kolumny 5 [lat] Simple depreciation time for the insulation coat thickness from Col. 5 [years]	Procentowy wzrost SPBT pomiędzy kolumnami 3 i 4 [%] Percentage difference of SPBT index between the times from the Cols. 3 and 4
		0,15 m	0,25 m			
1	2	3	4	5	6	7
1	3,3346	3,9	4,3	0,12	3,9	10,3
2	3,9929	3,2	3,5	0,12	3,2	9,4
3	2,7241	4,9	5,3	0,11	4,8	8,2
4	2,5302	5,3	5,7	0,11	5,2	7,5
5	5,4848	2,3	2,6	0,12	2,3	13
6	1,487	9,6	10,1	0,1	9,7	5,2
7	2,3822	5,7	6,1	0,11	5,6	7
8	3,1335	4,2	4,6	0,11	4,1	9,5
9	0,5636	31,4	30,7	0,06	41,1	-2,2
10	0,4753	39,3	37,8	0,05	58,9	-3,8
11	0,2144	124	108,5	0	0	-12,5
12	0,1627	191,6	161,8	0	0	-15,6

grubość dodatkowej izolacji termicznej d , której wartość przy $NPV = 0$ wyznaczała granicę opłacalności ocieplania, oraz liczba lat korzystania z inwestycji przyjęta na poziomie 10 lat dla ocieplania dachów i 30 lat dla ocieplania ścian.

Badaniom poddane zostały przegrody zewnętrzne budynków z lat 1958–2006, wśród których najmniejszy obliczeniowy opór cieplny po skorygowaniu o poprawki zawarte w normie PN EN-ISO 6646:1999 ($R_0 = 0,485 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) wykazywała ściana budynku najstarsza i dach budynku nr 5 ($R_0 = 0,182 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$). Najwyższe parametry cieplne posiadały ściana i dach budynku najnowocześniejszego o oporach cieplnych odpowiednio 2,61 i 6,148 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Ściany zewnętrzne i dach są najbardziej niewralgicznymi częściami budynku pod względem utraty ciepła. W starszych budynkach przenikać przez nie może nawet ponad 2/3 sumarycznej ilości ciepła. Ten fakt, jak również wprowadzenie certyfikatów budynków określających ich właściwości cieplne będą sprzyjać podejmowaniu decyzji o termomodernizacji budynków niespełniających dotychczasowych wymagań normowych dotyczących ochrony cieplnej budynków.
2. Wskaźnik opłacalności NPV, mimo bardziej skomplikowanych procedur obliczania, powinien ze względu na dokładność i możliwość dodatkowego szacowania wyników być traktowany w dokumentach prawnych na równi z powszechnie używanym w celu określenia wariantów termomodernizacyjnych wskaźnikiem SPBT.
3. Częstotliwości zmian polskich norm dotyczących ochrony cieplnej budynków, oraz poziom wymagań normowych w krajach sąsiednich, dotyczące w szczególności granicznej wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło, wskazują na to, że prawdopodobne jest w najbliższym czasie zaostrezenie wymagań cieplnych, które będą musiały spełniać przegrody zewnętrzne i budynki.
4. Zastosowanie optymalnej grubości izolacji zarówno ze styropianu na ścianach, jak i z wełny mineralnej na dachach budynków we wszystkich przypadkach gwarantuje spełnienie obecnych wymagań normowych dotyczących izolacyjności cieplnej przegród budynków.
5. Biorąc pod uwagę wyniki badań grubości izolacji wynikającej z wartości funkcji NPV oraz wyliczone wartości SPBT, można przyjąć, że inwestycję w izolację przegrody można uznać za opłacalną, gdy wartość prostego czasu zwrotu nie przekracza 20 lat dla ocieplania ścian i 10 lat dla ocieplania dachów. Wynika to z dużej rozbieżności wartości SPTB pomiędzy przegrodami budynków określonymi we wcześniejszych obliczeniach NPV jako opłacalne i nieopłacalne w przypadku inwestycji termoizolacyjnej. Grubość izolacji termicznej przegrody przy SPBT uznanym za opłacalne gwarantuje spełnienie wymagań normowych dotyczących wymagań ochrony cieplnej przegród jedynie w przypadku izolacji dachów. Dla izolacji ścian istnieją wyjątkowe przypadki, dla których warunek ten nie jest spełniony.

6. W przypadku budynków, dla których nie osiągnięto progu rentowności, możliwość zaistnienia opłacalności inwestycji jest uwarunkowana wydłużeniem okresu korzystania z jej efektów, zmniejsza to jednak prawdopodobieństwo racjonalności przyjętych na ten okres wartości odpowiednich współczynników ekonomicznych. Sposobem na poprawę opłacalności inwestycji w przypadku nowych budynków jest włączenie działań ociepleniowych w szersze przedsięwzięcie termomodernizacyjne.

Literatura

- Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków, 2002. Instrukcja ITB nr 334/2002. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- Budownictwo ogólne. T. 2. Fizyka budowli, 2007. Red. P. Klemm. Arkady, Warszawa.
- Budownictwo ogólne. T. 1. Materiały i wyroby budowlane, 2005. Red. B. Stefańczyk. Arkady, Warszawa.
- GÓRZYŃSKI J. 2000: Audyting energetyczny. Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa.
- PŁOŃSKI W. 1987: Buduję ciepły dom. Arkady, Warszawa.
- PN-64/B-03404 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
- PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- PN-B 20132:2004 Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie – zastosowania.
- PN-EN ISO 6946:2004 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- POGORZELSKI J.A. 1988: Opłacalna grubość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych. *Materiały Budowlane* 1.
- POGORZELSKI J.A. 1997: Opłacalna grubość izolacji cieplnej. *Murator* 8.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich sytuowanie. (DzU nr 75, poz. 690).
- Source Book for Energy Auditors. International Energy Agency, April 1987.
- ŻENCZYKOWSKI W., DZIARNOWSKI Z. 1990: Budownictwo ogólne. T. 2. Elementy i konstrukcje budowlane. Arkady, Warszawa.

Summary

Analisis of thermal insulation profitability of relected individual houses (single family houses). The paper presents the analysis of the warm insulation profitability of existing single-family buildings. The investigations embedded the external baffles of the buildings from years 1958–2006. The analysis shows that external walls and a roof are the most crucial parts of building if considering a heat loss. As for a profitability index NPV, due to its accuracy and the possibility of an additional estimation of results as well as despite the more complicated calculation procedures, this index should be treated in legal documents with the same importance as the SPBT index, being commonly used to determine variants of thermo-modernization. Moreover, the highest profitability is shown by the investments with an additional warm-insulating coat in the buildings from years 1958–1979. The use of the insulation of optimal thickness, on walls – made of Styro-foam, whereas on roofs – of mineral wool, guarantees that the current norm requirements considering the warm insulation of building baffles are fulfilled in every cases.

Author's address:

Gabriela Rutkowska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Budownictwa i Geodezji
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland