

ANALIZA WARIANTÓW TERMOMODERNIZACJI BUDYNKU MIESZKALNEGO W KONTEKŚCIE OPTYMALNEGO ZAPOTRZEBOWANIA ENERGETYCZNEGO

Gabriela Rutkowska¹, Damian Wojnowski

¹ Katedra Inżynierii Budowlanej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: gabriela_rutkowska@sggw.pl

STRESZCZENIE

Energia jest podstawowym czynnikiem i budulcem świata - jest wszechobecna. W porównaniu do innych krajów europejskich, w Polsce wciąż zużywa się zbyt wiele energii do ogrzewania budynków, które w większości zbudowano bez dbania o aspekty ekologiczne i ekonomiczne ze względu na zużycie ciepła. Dlatego coraz więcej właścicieli budynków decyduje się na ich termomodernizację ze względu na oszczędność energii i zwiększenie komfortu użytkownika. W artykule przedstawiono analizę wariantów termomodernizacji istniejącego budynku mieszkalnego ze względu na optymalne zapotrzebowanie energetyczne. Określono korzystną grubość ściennych i dachowych warstw izolacji w różnych konfiguracjach. Przeprowadzono obliczenia opłacalności inwestycji z wykorzystaniem wskaźnika NPV dla izolacji o różnych grubościach oraz bez izolacji.

Słowa kluczowe: termomodernizacja, zapotrzebowanie energetyczne, dom mieszkalny.

ANALYSIS OF VARIANTS THERMOMODERNIZATION OF A DWELLING HOUSE FROM A POINT OF VIEW OF OPTIMAL ENERGETIC DEMANDS

ABSTRACT

Energy is the basic element and building block of the world – it is pervasive. In comparison to other European countries, Poland allots still too much quantities of energy for heating of buildings which mostly had been built without concern for ecological and economical aspect of heat consumption. Therefore more and more investors decide to thermomodernize their buildings because of the energy savings and increase of the comfort of use of the building. The paper presents the analysis of thermomodernisation variants of an existing dwelling house from the point of view of the optimal adjustment for energetic supply. There was defined the optimal thickness of insulation for a vertical baffle and roof for various configurations of layers. The calculations of cost-effectiveness were carried out for the investment with the use of the NPV index for various thicknesses of the insulation, including the case without insulation.

Keywords: thermomodernisation, energetic demand, dwelling house.

WSTĘP

Polska w porównaniu do innych krajów europejskich nadal zbyt duże ilości energii przeznaczana na ogrzewanie budynków mieszkalnych, których większość powstało bez troski o ekologiczny, jak i ekonomiczny aspekt zużycia ciepła. Dopiero pojawiające się w budownictwie nowe technologie związane z bezpieczeństwem cieplnym budowli, a także zaostrenie wymagań normowych i wzrost cen energii sprawiły, że popularnym zjawiskiem w naszym kraju stała się termomodernizacja istniejących budynków. Coraz więcej inwestorów decyduje się na ciepłą odnowę budynków, nie tylko ze względu na średniookresowe oszczędności z tym związane, ale także ze względu na podwyższenie komfortu użytkowania budynku i wzrost wartości nieruchomości [1, 2].

Termomodernizację (zwaną dawniej termorenowacją) określa się jako: dostosowanie budynku do nowych wymagań ochrony cieplnej i oszczędności energii, przy czym termomodernizacja dotyczy tylko właściwości przegród zewnętrznych i instalacji, zwłaszcza centralnego ogrzewania [3].

Zgodnie z Dyrektywą WE 89/106/EWG obowiązujące przepisy w Polsce – określają tzw. wymagania podstawowe mówiące o obowiązku projektowania i wykonania obiektów tak, aby zapewnić oszczędność energii. W domach jednorodzinnych straty ciepła zależą od wielkości i miejsca położenia budynku, sprawności wentylacji, a przede wszystkim od stopnia izolacyjności przegród.

CEL I METODA ANALIZY

Celem przeprowadzonych badań była analiza wariantów termomodernizacji wybranego budynku mieszkalnego w kierunku optymalnego zapotrzebowania energetycznego, polegającego na określeniu optymalnej grubości warstwy ociepleniowej dla przegrody pionowej i dachu, przy różnych konfiguracjach warstw.

Analizowany obiekt to dom jednorodzinny, parterowy z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczony, wybudowany w 2013 r. położony w południowej części Polski, w miejscowości Konopiska w III strefie klimatycznej.

Ściany zewnętrzne wykonane z cegły Porotherm 30 P+W murowane na zaprawie cementowo-wapiennej marki „M3” ocieplone styropianem o grubości 15 cm. Ściany działowe mają grubości 6 i 12 cm i wykonane są z cegły dziurawki na zaprawie cementowo-wapiennej. Stropodach stanowi dach drewniany trzyspadowy kryty dachówką ceramiczną, ocieplony wełną mineralną o grubości 20 cm.

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano wskaźnik z dziedziny rachunku efektywności ekonomicznej: – NPV (Net Present Value) na podstawie „Instrukcji ITB nr 334/2002 – bezspoinowy system ocieplania ścian budynków” oraz program Aquatherm Polska OZC 4.0 do obliczeń wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło zgodnie z normą PN-B 20132:2004. Rozpatrywanych było sześć przypadków, dla których wyznaczone zostały wartości: wskaźnika NPV, optymalne grubości warstw



Rys. 1. Fotografia analizowanego obiektu - elewacja ogrodowa [fot. Autora]
Fig. 1. Photograph of the analysed object – garden elevation [by Author]

izolacji oraz optymalne wartości współczynnika przenikania ciepła dla poszczególnych grubości izolacji, a także bez izolacji.

W tabeli 1 przedstawiono klasyfikację budynków ze względu na wartość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Tabela 1. Klasyfikacja energetyczna budynków według Stowarzyszenia na rzecz Zrównoważonego Rozwoju [6]

Table 1. Energetic classification of buildings according to the Association of Sustainable Development [6]

Klasa energetyczna	Ocena energetyczna	Wskaźnik EA [kWh·(m ² ·rok) ⁻¹]	Okres budowy
A+	Pasywny	do 15	–
A	Niskoenergetyczny	15–45	–
B	Energooszczędny	45–80	–
C	Średnio energooszczędny	80–100	–
D	Średnio energochłonny (spełniający aktualne wymagania normowe)	100–150	od 1999 roku
E	Energochłonny	150–250	od 1998 roku
F	Wysoko energochłonny	ponad 250	od 1982 roku

Wartość bieżąca netto (NPV – Net Present Value) jest wyrażana, jako różnica między wartością przychodów i kosztów inwestycji zdyskontowanych, czyli sprostowanych przy pomocy współczynnika dyskonta na dany moment w czasie, a także przy określonej stopie dyskonta. Wskaźnik ten wyrażany jest wzorem:

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^n \Delta E_i [zł \cdot m^{-2}] \quad (1)$$

gdzie: I_0 – nakład inwestycyjny, [zł·m⁻²]

ΔE_i – korzyść z realizacji inwestycji w i-tym roku, [zł]

n – zakładana liczba lat korzystania z efektów inwestycji [5].

Korzyść z realizacji inwestycji w i-tym roku wyrazimy przy pomocy wzoru:

$$\Delta E_i = \Delta E_0 \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [\text{zł} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2)$$

gdzie: ΔE_0 – korzyść z realizacji inwestycji w cenach roku realizacji, [zł·m⁻²]

r – stopa dyskontowa, [%]

s – stopa wzrostu kosztu ogrzewania ponad stopę spadku wartości pieniądza w czasie [%] [5].

Nakład inwestycyjny poniesiony w wyniku przeprowadzenia termomodernizacji wyrażany w zł/m² przegrody wyrażony zostanie za pomocą wzoru:

$$I_0 = S + Kd \quad (3)$$

gdzie: S – koszt operacji niezależnych od grubości izolacji (wykonanie warstwy zbrojonej, klejenie izolacji, wykonanie dekoracyjnej warstwy fakturowej),

K – koszt materiału izolacji dostarczonej na teren budowy [zł/m³],

d – grubość warstw izolacji cieplnej [m].

Korzyści wynikające z zastosowania izolacji cieplnej można opisać wzorem:

$$\Delta E_0 = 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot S_d \cdot G \cdot \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_0 + \frac{d}{\lambda}} \right) \quad (4)$$

gdzie: R_0 – opór cieplny innych warstw przegrody poza izolacją cieplną (podłóże) wraz z oporami przejmowania ciepła na powierzchniach przegród,

λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału podstawowej izolacji cieplnej,

S_d – liczba stopniodni ogrzewania,

G – koszt energii, zł/GJ,

24 – liczba godzin w dobie,

3600 – liczba sekund w godzinie [5].

Liczbę stopniodni ogrzewania obliczona zostanie z zależności:

$$S_d = \sum_m [t_i - t_s(m)] \cdot L_d(m), d \cdot K/ \quad (5)$$

gdzie: t_1 – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, °C,

$t_s(m)$ – średnia wieloletnia temperatura m-tego miesiąc, wg PN-B-02025:2001, °C,

$L_d(m)$ – liczba dni ogrzewania w miesiącu m, określona wg PN-B-02025:2001.

Wyznaczając ekstremum funkcji NPV:

$$\frac{dNPV}{dd} = 0 \quad (6)$$

otrzymuje się wzór na optymalną grubość warstwy izolacji:

$$d_{opt} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot S_d \cdot G \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}}{\lambda \cdot K}} - R_0 \cdot \lambda \quad (7)$$

a, także wzór na optymalną wartość współczynnika przenikania ciepła:

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot K}{10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot S_d \cdot G \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}}} \quad (8)$$

ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ

Zgodnie z Urzędem Ochrony Konkurencji i Konsumentów stopa dyskonta (r) na dzień 1.07.2013 wynosiła 4,18%. Stopę wzrostu ogrzewania (s) ponad stopę spadku wartości pieniądza przyjęto na poziomie 2,5%. Wartość sumy $\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$ jest wartością stałą dla określonej liczby lat. W tabeli poniżej zestawiono wyniki w zależności od ilości lat, przy założeniu powyższych wartości s i r.

Tabela 2. Zestawianie wartości sumy $\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$ w zależności od ilości lat (i)

Table 2. Values of the sum $\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$ in dependence on number of years

i	$\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [-]$	i	$\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [-]$	i	$\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [-]$	i	$\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [-]$	i	$\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i} [-]$
1	0,9851	7	6,5939	13	11,7183	19	16,4001	25	20,6775
2	1,9554	8	7,4804	14	12,5282	20	17,1401	26	21,3536
3	2,9112	9	8,3537	15	13,3261	21	17,8690	27	22,0195
4	3,8528	10	9,2139	16	14,1120	22	18,5871	28	22,6756
5	4,7803	11	10,0613	17	14,8862	23	19,2944	29	23,3218
6	5,6939	12	10,8960	18	15,6488	24	19,9911	30	23,9584

W rozpatrywanych przypadkach przyjęto, że czas użytkowania izolacji przegrody dachu wynosi 10 lat, zaś czas użytkowania przegrody pionowej (ścian zewnętrznych) wynosi 30 lat. W związku z tym przyjęto następujące wartości:

- 9,2139 dla warstwy dachu ocieplanego wełną mineralną,
- 23,9584 dla warstwy ściany ocieplanej styropianem.

Do obliczeń liczby stopniogodzin przyjęto dane dla stacji meteorologicznej 5: Częstochowa. Przyjęta obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego wynosi 20°C. Poniżej w tabeli przedstawiono obliczenia liczby stopniogodzin ogrzewania.

Tabela 3. Zestawienie obliczeń liczby stopniodni ogrzewania**Table 3.** Calculations of number of degree of heating

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t_e [°C]	-2,7	-2,3	1,3	6,5	11,7	16	17	17	13,1	8,4	3,5	-0,4
L_d d/m	31	28	31	30	5	0	0	0	5	31	30	31
t_i [°C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$t_e - t_i$ [°C]	22,7	22,3	18,7	13,5	8,3	4	2,8	3,2	6,9	11,6	16,5	20,4
$(t_i - t_e) \cdot L_d$ [d·K/m]	703,7	624,4	579,7	405	41,5	0	0	0	34,5	359,6	495	632,4
S_d [(d·K)/a]	3876											

W procesie modernizacji wykorzystywany został styropian grafitowy o współczynniku $\lambda = 0,032$ W/(m·K) i koszcie $K_s = 199,30$ zł/m³, oraz wełna mineralna o współczynniku $\lambda = 0,035$ W/(m·K) i koszcie $K_d = 139,80$ zł/m³. Koszt energii odczytany z taryfy Fortum Power and Heat Polska Sp. z o.o. z dnia 16 listopada 2012 r. wyniósł 23,29 zł/GJ.

CHARAKTERYSTYKA WARIANTOWA TERMOMODERNIZACJI BUDYNKU

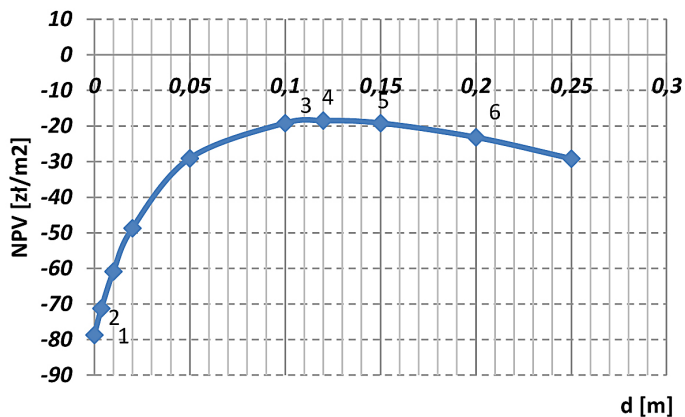
W każdym przypadku obliczono optymalne grubości izolacji, wartości NPV, oraz EA dla określonych grubości izolacji, przy danej konfiguracji rozpatrywanych przegród. Przyjęto zasadę, że dla zmieniającej się grubości izolacji jednej z przegród, druga przegroda ma stałą wartość grubości izolacji i jest to grubość optymalna.

Wariant 1

Ściana zewnętrzna jest to mur z cegły Porotherm 30 P+W. Do ocieplenia ściany wykorzystany będzie styropian o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,032$ W/mK. Warstwą wykończeniową dachu jest dachówka ceramiczna. Do ocieplenia dachu wykorzystano płyty z wełny mineralnej, których współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,035$ W/mK.

Tabela 4. Wartości NPV w zależności od grubości izolacji dla ściany – wariant 1**Table 4.** NPV values in dependence on wall insulation thickness – variant 1

	1	2	3	4	5	6
d [m]	0	0,05	0,1	0,13	0,15	0,2
NPV [zł/m ²]	-78,7	-18,1203	-6,28091	-5,16693	-5,6384	-9,33016
EA [kWh/m ² ·rok]	167,9	130,0	118,4	114,7	112,9	109,7



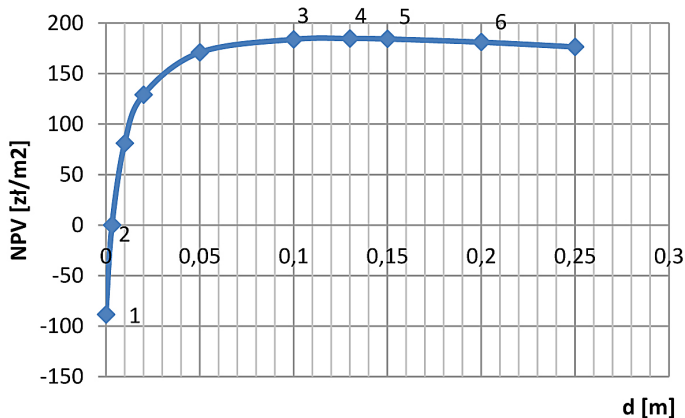
Rys. 2. Wykres funkcji NPV dla ściany dla wariantu 1

Fig. 2. Wykres funkcji NPV dla ściany dla wariantu 1

Tabela 5. Wartości NPV w zależności od grubości izolacji dla dachu – wariant 1

Table 5. NPV values in dependence on roof insulation thickness – variant 1

	1	2	3	4	5	6
d [m]	0	0,003705	0,1	0,13	0,15	0,2
NPV [zł/m²]	-88,6	0,0001	168,7561	169,5799	169,0741	165,8877
EA [kWh/m²·rok]	555,3	–	122,6	114,7	111,1	105,2



Rys. 3. Wykres funkcji NPV dla dachu dla wariantu 1

Fig. 3. Graph of NPV function for the roof of the variant 1

Wariant 2

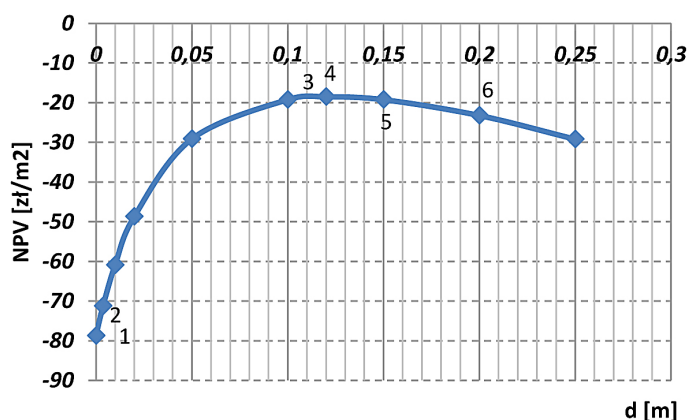
Ściana została wykonana z gazobetonu o odmianie 600 o grubości 24 cm. Jak w poprzednich przypadkach ocieplenie będzie stanowił styropian o współczynniku

przewodzenia ciepła $\lambda = 0,032$ W/mK. Warstwą wykończeniową dachu jest blacha trapezowa, a ociepleniem płyty z wełny mineralnej, których współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,035$ W/mK.

Tabela 6. Wartości NPV w zależności od grubości izolacji dla ściany – wariant 2

Table 6. NPV values in dependence on wall insulation thickness – variant 2

	1	2	3	4	5	6
d [m]	0	0,05	0,1	0,12	0,15	0,2
NPV [zł/m ²]	-78,7	-71,2329	-19,2083	-18,5129	-19,2241	-23,2173
EA [kWh/m ² -rok]	158,1	126,0	115,5	113,0	110,3	107,2



Rys. 4. Wykres funkcji NPV dla ściany dla wariantu 2

Fig. 4. Graph of NPV function for the wall of the variant 2

Tabela 7. Wartości NPV w zależności od grubości izolacji dla dachu – wariant 2

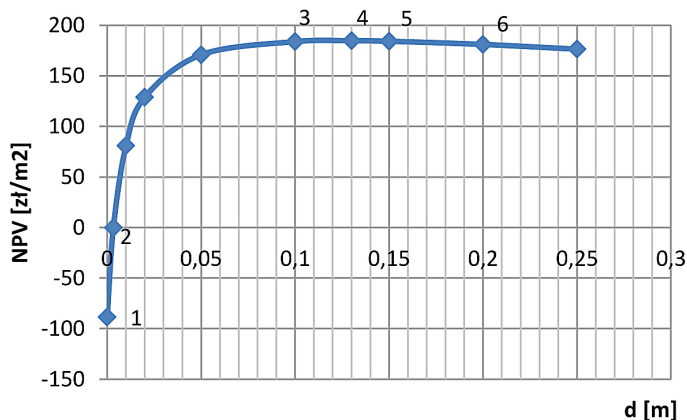
Table 7. NPV values in dependence on roof insulation thickness – variant 2

	1	2	3	4	5	6
d [m]	0	0,003277	0,1	0,13	0,15	0,2
NPV [zł/m ²]	-88,6	0,000451	183,8993	184,7579	184,2651	181,0965
EA [kWh/m ² -rok]	573,5	–	120,9	113,0	109,5	103,6

ANALIZA OBLICZEŃ

Analiza została przeprowadzona dla wszystkich sześciu przypadków. Tabela 8 i 9 przedstawia zestawienie otrzymanych wyników.

Optymalną grubość warstwy izolacji dla ścian, dla której inwestycja jest najbardziej opłacalna można wyznaczyć dla wszystkich wariantów. Zawiera się ona w



Rys. 5. Wykres funkcji NPV dla dachu dla wariantu 2
 Fig. 5. Graph of NPV function for the roof of the variant 2

Tabela 8. Zestawienie obliczonych wartości funkcji NPV w zależności od grubości izolacji dla dachu badanego budynku

Table 8. Values of the NPV function in dependence on the roof insulation thickness for the tested building

Wariant	Grubość muru [m]	Optymalna grubość izolacji d_{opt} [m]	Opór cieplny R [m²K/W]	Obliczenie NPV w zależności od grubości izolacji						
				d [m]	0	0,003	0,100	0,130	0,150	0,200
1	0,315	0,130	0,244	NPV [zł/m²]	-88,60	0,0001	168,756	169,579	169,074	165,887
				EA [kWh/m²rok]	555,3	-	122,6	114,7	111,1	105,2
				d [m]	0	0,003	0,100	0,130	0,150	0,200
2	0,315	0,130	0,232	NPV [zł/m²]	-88,6	0,000	183,899	184,759	184,265	181,096
				EA [kWh/m²rok]	573,5	-	120,9	113,0	109,5	103,6
				d [m]	0	0,003	0,100	0,130	0,150	0,200
3	0,315	0,130	0,242	NPV [zł/m²]	-88,6	-0,0009	171,175	172,004	171,501	168,317
				EA [kWh/m²rok]	558,5	-	120,0	112,3	108,7	102,7
				d [m]	0	0,003	0,100	0,130	0,150	0,200

przedziale od 12 do 16 cm. Wykresy zależności NPV od grubości izolacji są w górnej części wypłaszczone, co może świadczyć o tym, że nieznaczne odchylenia od wartości optymalnej izolacji nie zmieniają znacząco opłacalności inwestycji. Nie we wszystkich przypadkach można wyznaczyć granicę opłacalności wykonania warstwy izolacyjnej

Tabela 9. Zestawienie obliczonych wartości NPV w zależności od grubości izolacji dla ścian zewnętrznych badanego budynku**Table 9.** Values of the NPV function in dependence on the insulation thickness of external wall for the tested building

Wariant	Grubość muru [m]	Optymalna grubość izolacji d_{opt} [m]	Opór cieplny R [m ² K/W]	Obliczenie NPV w zależności od grubości izolacji						
				d [m]	0	0,05	0,10	0,13	0,15	0,20
1	0,315	0,130	1,298	NPV [zł/m ²]	-78,70	-18,12	-6,280	-5,166	-5,638	-9,330
				EA [kWh/m ² rok]	167,9	130,0	118,4	114,7	112,9	109,7
				d [m]	0	0,05	0,10	0,13	0,15	0,20
2	0,265	0,120	1,567	NPV [zł/m ²]	-78,70	-71,23	-19,20	-18,51	-19,22	-23,21
				EA [kWh/m ² rok]	158,1	126,0	115,5	113,0	110,3	107,2
				d [m]	0	0,05	0,10	0,13	0,15	0,20
3	0,265	0,150	0,761	NPV [zł/m ²]	-78,7	-0,001	-98,829	102,196	102,654	100,332
				EA [kWh/m ² rok]	228,7	184,6	122,0	117,1	112,5	110,8
				d [m]	0	0,012	0,10	0,13	0,15	0,20
4	0,260	0,160	0,560	NPV [zł/m ²]	-78,8	-0,0001	184,340	189,474	189,482	187,679
				EA [kWh/m ² rok]	274,6	231,1	121,3	113,3	112,3	109,1
				d [m]	0	0,0056	0,10	0,15	0,16	0,20
5	0,320	0,150	0,860	NPV [zł/m ²]	-78,7	-0,0001	71,758	74,709	75,000	72,437
				EA [kWh/m ² rok]	210,9	166,5	119,2	114,5	112,3	108,5
				d [m]	0	0,016	0,10	0,13	0,15	0,20
6	0,320	0,160	0,513	NPV [zł/m ²]	-78,7	-0,0002	214,256	219,723	219,767	218,059
				EA [kWh/m ² rok]	291,1	247,7	121,6	113,4	112,4	109,1
				d [m]	0	0,004	0,10	0,15	0,16	0,20

przegrody pionowej. W przypadku 1 i 2 krzywa przedstawiona na wykresie nie osiąga wartości NPV = 0, przez co graniczna wartość opłacalności inwestycji nie występuje.

Dla dachu przeciwieństwo do ściany zewnętrznej w każdym przypadku można wyznaczyć graniczne wartości izolacji. We wszystkich przypadkach optymalna grubość izolacji jest taka sama i wynosi 13 cm.

Wartości wskaźnika NPV dla optymalnej grubości izolacji ścian w dwóch przypadkach jest wartością ujemną co wskazuje na nieopłacalność danej inwestycji.

W pozostałych przypadkach wartości dodatnie wskazują na opłacalność wykonania inwestycji.

W przypadku wykonywania ocieplenia dachu wszystkie przedstawione wartości NPV, dla każdej konfiguracji tej przegrody, nie tylko osiągają wartość 0, ale znacznie ją przewyższają, co świadczy o tym, iż w każdym przypadku inwestycja jest opłacalna.

Zgodnie z klasyfikacją energetyczną budynków według Stowarzyszenia na rzecz Zrównoważonego Rozwoju można zauważyć, że wszystkie przedstawione przypadki, dla optymalnych grubości warstw izolacji, zarówno dla przegrody pionowej, jak i dachu można zakwalifikować jako budynki średnio energochłonne. Wraz ze wzrostem grubości izolacji zmniejsz się wartość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Została również wyznaczona optymalna wartość współczynnika przenikania ciepła U_{opt} , zarówno dla przegrody pionowej jak i dla dachu. Jest to wartość stała dla wszystkich analizowanych przypadków. Dla ściany zewnętrznej optymalna wartość współczynnika przenikania ciepła $U_{opt} = 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ i jest to wartość mniejsza od maksymalnej dla takiego rodzaju przegrody, gdyż U_{max} dla ściany zewnętrznej przy temperaturze obliczeniowej w pomieszczeniu $t_i > 16 \text{ }^\circ\text{C}$ wynosi 0,30. Optymalna wartość współczynnika przenikania ciepła dla dachu wynosi $U_{opt} = 0,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ i jest nieznacznie większa od wartości wymaganej, gdyż $U_{max} = 0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Może to wynikać z tego, iż przyjęto dość krótki czas użytkowania tej przegrody, bo tylko 10 lat. Jeżeli jednak czas użytkowania zwiększy się o rok to wartość $\sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$ wzrośnie z 9,2139 do 10,0613, co pozwoli zwiększyć wartość U_{opt} do wartości wymaganej $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Są to wartości teoretyczne, które mogą zmienić się w przypadku, gdy zmianie ulegną założone wartości.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy można wyciągnąć następując wnioskami:

1. 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 izolacji cieplnej przegród budynku.
2. Biorąc pod uwagę wyniki badań grubości izolacji wynikającej z wartości funkcji NPV można przyjąć, że inwestycję w izolację przegrody można uznać za opłacalną, gdy wartość prostego czasu zwrotu nie przekracza 20 lat dla ocieplenia ścian i 10 lat dla dachu.
3. 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 termomodernizacji wskaźnikiem SPBT (Simple Pay Back Time).

4. Inwestycja termomodernizacji nie zawsze musi być opłacalna. Dodatnie wartości NPV świadczą o opłacalności inwestycji. Przy wykonaniu izolacji przegrody pionowej, inwestycja nigdy się nie zwróci, gdyż NPV nigdy nie osiąga wartości dodatniej. Mimo iż można wyznaczyć optymalną grubość izolacji, nie oznacza, że jest to wartość, która przyniesie nam największe zyski. W tym przypadku ta wartość oznacza najmniejsze straty wynikające z wykonania inwestycji.
5. We wszystkich przypadkach, w których występuje dodatnia wartość NPV możliwe jest wyznaczenie granicy opłacalności inwestycji.
6. Obliczenia wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło dla optymalnej grubości izolacji zarówno ściany zewnętrznej jak i dachu pokazują, że budynek we wszystkich przypadkach można zaklasyfikować, jako budynek klasy energetycznej D, a więc średnio energochłonny.
7. Wyznaczona optymalna wartość współczynnika przenikania ciepła dla przegrody pionowej dla przyjętych założeń nie tylko spełnia wymogi stawiane w normach, ale znacznie je przewyższa.

LITERATURA

1. Górecka M.: Standardy budynków niskoenergetycznych małego domu mieszkalnego, Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 2009.
2. Grudziński Z.: Koszty środowiskowe wynikające z użytkowania węgla kamiennego w energetyce zawodowej, Rocznik Ochrona Środowiska, Tom 15, Rok 2013, Część 3.
3. Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
4. Klemm P. (red.): Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2010.
5. Stefańczyk B. (red.): Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane, wydawnictwo Arkady, Warszawa 2005.
6. Pogorzelski A.J.: Opłacalna grubość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych, Materiały budowlane, nr 1, 1998.
7. Rydz Z., Pogorzelski A.J., Wójtowicz M.: Instrukcja ITB nr. 334/2002. Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2002.
8. Żurawski J.: Dlaczego energooszczędność?, Izolacje nr 1, 2008.
9. PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia.
10. PN-B 20132:2004 Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie – zastosowania.
11. PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
12. PN-EN ISO 6946:2007 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczenia.
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.