

dr inż. Adam Święcicki*

Dobór grubości izolacji cieplnej przegród

Selection of insulation thickness for walls

Streszczenie. W artykule przedstawiono metody doboru odpowiedniej grubości izolacji cieplnej w kontekście uwarunkowań prawnych oraz ekonomicznych, na przykładzie ścian zewnętrznych oddzielających część ogrzewaną budynku od środowiska zewnętrznego. Porównanie rezultatów wykorzystania przywołanych procedur w różnych kombinacjach rodzaju materiału termoizolacyjnego i nośnika energii pozwala ocenić różnice w wynikach optymalizacji grubości docieplenia w zależności od założonych celów zapewnienia właściwej izolacyjności cieplnej przegród.

Słowa kluczowe: ochrona cieplna budynków, wymagania ochrony cieplnej, izolacyjność cieplna przegród budynków.

Abstract. This paper presents methods of selecting the appropriate insulation thickness in the context of the legal and economic conditions, on the example of external walls separating the heated part of the building from the outside environment. Comparison of the results of use of the procedures mentioned in various combinations of insulating material and an energy source, allows to evaluate the differences in the results of the optimization of insulation thickness depending on the intended purposes of ensuring proper thermal insulation of baffles.

Keywords: thermal protection of buildings, requirements for thermal protection, thermal insulation in the building.

Obowiązujące w Polsce przepisy ochrony cieplnej budynków zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wraz z późniejszymi zmianami [1, 2], określają wymagania, jakie winien spełniać budynek, jego przegrody oraz instalacje wewnętrzne, aby racjonalnie gospodarować energią cieplną. Należy zaznaczyć, że oba kryteria przewidziane przepisami WT, czyli $U \leq U_{dop}$ oraz $EP \leq EP_{dop}$ nie są skorelowane. Abstrahując od braku powiązania przyjętych w przepisach formuł, spełnienie wymagań oszczędności energii wymaga zapewnienia odpowiedniej izolacyjności przegród budynku. Grubość izolacji cieplnej, jaką należy zastosować w konstrukcji przegrody, możemy określić z zależności:

$$d_{izol} \geq \lambda_{izol} \cdot (U_{max}^{-1} - R_0) \quad (1)$$

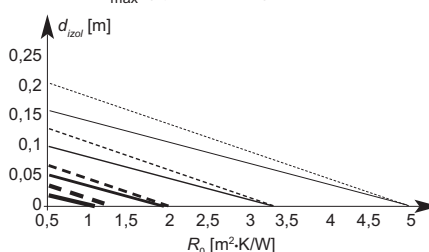
gdzie:

U_{max} – założona, dopuszczalna wartość współczynnika przenikania ciepła np. wg WT [$W/m^2 \cdot K$];

λ_{izol} – współczynnik przewodzenia ciepła przewidzianego do wbudowania materiału termoizolacyjnego [$W/m \cdot K$];

R_0 – opór cieplny warstw konstrukcyjnych i osłonowych (bez izolacji cieplnej) z uwzględnieniem oporów przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody [$m^2 \cdot K/W$].

Grubość izolacji cieplnej warunkowana jest właściwościami izolacyjnymi przewidzianego materiału termoizolacyjnego, wyjściowym oporem cieplnym pozostałych warstw docieplanej przegrody oraz docelową wartością współczynnika przenikania ciepła U_{max} (rysunek 1).



- $U_{max} = 0,2 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,04 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,3 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,04 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,5 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,04 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,8 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,04 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,2 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,045 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,3 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,045 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,5 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,045 W/m \cdot K$
- $U_{max} = 0,8 W/m^2 \cdot K$ przy $\lambda = 0,045 W/m \cdot K$

Rys. 1. Grubość izolacji cieplnej d_{izol} w funkcji wyjściowego oporu cieplnego przegrody oraz U_{max} , oporu wyjściowego przegrody R_0 oraz współczynnika przewodzenia ciepła termoizolacji λ_{izol} .

Grubość izolacji a ryzyko powierzchniowej kondensacji wilgoci

§ 321 ust. 1 warunków technicznych [1] mówi, iż: *Na wewnętrznej powierzchni nieprzezroczystej przegrody zewnętrznej nie może występować kondensacja*

pary wodnej umożliwiająca rozwój grzybów pleśniowych. W celu spełnienia tego warunku [2]: *...rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym f_{Rsi} o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni...*

Wymaganą izolacyjność cieplną przegrody z uwagi na ryzyko kondensacji powierzchniowej można wyrazić zależnością:

$$R_T \geq \frac{R_{si}}{1 - f_{Rsi, kryt}} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (2)$$

gdzie:

R_{si} – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody zewnętrznej przyjmowany wg PN-EN ISO 13788 [$m^2 \cdot K/W$];

$f_{Rsi, kryt}$ – krytyczna wartość czynnika temperaturowego określana zgodnie z procedurą zawartą w wymienionej normie.

W większości rozwiązań przekrojów przegród już sama warstwa konstrukcyjna charakteryzuje się oporem przewodzenia ciepła większym niż wartość określona wzorem (2), tym bardziej że punkt 2.2.2 załącznika 2 WT zezwala na przyjęcie krytycznego czynnika temperaturowego równego 0,72 [2]. Oznacza to, iż już przy oporze cieplnym przegrody = 0,89 $m^2 \cdot K/W$ nie zachodzi ryzyko kondensacji powierzchniowej. W przypadku budynków o intensywnej

* Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

produkcji wilgoci (klasa 4 i 5 wilgotności wewnętrznej) [3] oraz materiałów warstw konstrukcyjnych o słabych właściwościach termoizolacyjnych odpowiedzialność za zapewnienie wymaganego oporu cieplnego przegrody, pod kątem kondensacji powierzchniowej, przejmuje warstwa izolacyjna. Należy wówczas zaprojektować izolację przegrody grubości d_{izol} nie mniejszej niż określona wzorem:

$$d_{izol} \geq \left(\frac{R_{si}}{1 - f_{Rsi, kryt}} - R_0 \right) \cdot \lambda_{izol} \quad [m] \quad (3)$$

Optimalizacja grubości izolacji cieplnej z wykorzystaniem metod oceny efektywności ekonomicznej

Bazą doboru optymalnej grubości docieplenia może być wskaźnik *SPBT* (*Simply Pay Back Time*), zaliczany do metod statycznych analizy ekonomicznej inwestycji. *SPBT* jest definiowane jako czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację danego przedsięwzięcia i opisany zależnością [4]:

$$SPBT = \frac{N_u}{\sum_n \Delta O_{ru}} \quad [lata] \quad (4)$$

gdzie:

N_u – nakłady inwestycyjne [zł];
 ΔO_{ru} – roczna oszczędność kosztów energii [zł].

Za grubość optymalną docieplenia przyjmuje się tę, która charakteryzuje się minimalnym *SPBT*, a więc zbilansuje się inwestorowi w najkrótszym czasie.

Nakłady całkowite N_c stanowią sumę części stałej W oraz zmiennej K kosztów wykonania docieplenia wg zależności [5]:

$$N_c = A \cdot (W + d \cdot K) \quad [zł] \quad (5)$$

gdzie:

A – pole docieplanej powierzchni przegrody [m^2];
 W – jednostkowe koszty stałe inwestycji [zł/ m^2];
 d – grubość warstwy docieplenia [m];
 K – jednostkowe koszty zmienne [zł/ m^3].

Roczne zmniejszenie kosztów energii określane jest jako różnica w opłatach za energię przed i po realizacji inwestycji termomodernizacyjnej, zgodnie z wzorem [4]:

$$\Delta O_{ru} = (x_0 \cdot Q_{ou} \cdot O_{oz} - x_1 \cdot Q_{1u} \cdot O_{1z}) + 12 \cdot (y_0 \cdot q_{ou} \cdot O_{om} - y_1 \cdot q_{1u} \cdot O_{1m}) + 12 \cdot (Ab_0 - Ab_1) \quad [zł/r.] \quad (6)$$

gdzie:

x_0, x_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na ciepło przed i po wykonaniu ulepszenia termomodernizacyjnego;

Q_0, Q_1 – roczne zapotrzebowanie na ciepło na pokrycie strat przenikania ciepła przed i po termomodernizacji [GJ/r.];

O_{0z}, O_{1z} – opłata zmienna związana z dystrybucją i przesyłem jednostki energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po termomodernizacji dla n -tego źródła [zł/GJ];

y_0, y_1 – udział n -tego źródła w zapotrzebowaniu na moc cieplną przed i po termomodernizacji;

q_0, q_1 – roczne zapotrzebowanie na moc cieplną na pokrycie strat przenikania ciepła przed i po wykonaniu termomodernizacji [MW];

O_{0m}, O_{1m} – stała opłata miesięczna związana z dystrybucją i przesyłem energii wykorzystywanej do ogrzewania przed i po termomodernizacji dla n -tego źródła [zł/(MW·m·c)];

Ab_0, Ab_1 – miesięczna opłata abonamentowa przed i po termomodernizacji dla n -tego źródła [zł/m·c].

Efekt energetyczny realizacji przedsięwzięcia jest różnicą pomiędzy stratami energii cieplnej przed Q_{0u} i po wykonaniu zabiegu Q_{1u} , określanych z zależności [4]:

$$Q_{0u}, Q_{1u} = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot Sd \cdot A/R \quad [Gj/r.] \quad (7)$$

gdzie:

Sd – liczba stopniodni [K·dzień/r.];
 A – powierzchnia całkowita izolowanej przegrody przed i po termomodernizacji [m^2];
 R – całkowity opór cieplny ocenianej przegrody budowlanej przed i po termomodernizacji [$m^2 \cdot K/W$].

Procedura optymalizacji inwestycji termomodernizacyjnych zaproponowana w rozporządzeniu [4] z powodzeniem może być wykorzystana przy doborze grubości izolacji cieplnej budynków nowo projektowanych. W takim przypadku za opór wyjściowy R_0 przyjmuje się opór warstwy konstrukcyjnej oraz warstw osłonowych i/lub wykończeniowych wraz z oporami przejmowania ciepła.

Z symulacji optymalnej grubości izolacji w funkcji rodzaju nośnika energii (tabela 1), przeprowadzonej na przegrodzie o $R_0 = 0,99 \text{ m}^2 \cdot K/W$ budynku zlokalizowanego w Białymstoku ($Sd = 4 \text{ 095,4 K} \cdot \text{dzień/r.}$ [4, 7]), przy wykorzystaniu materiału izolacyj-

nego o $\lambda = 0,04 \text{ W/m} \cdot K$ jako docieplenia oraz kosztach stałych $W = 120 \text{ zł/m}^2$ i zmiennych $K = 220 \text{ zł/m}^3$ nie wynika takowa zależność – dla wszystkich rodzajów nośników optymalna grubość wynosi 15 cm (tabela 2). Zauważalna jest natomiast znaczna różnica okresu zwrotu kosztów wbudowania ocieplenia o charakterze odwrotnym do wzrostu kosztów energii (odpowiednio 21,3; 11,4; 8,9; 5,4 oraz 3,5 roku).

Optimalizacja grubości docieplenia może być również przeprowadzona z wykorzystaniem metody dynamicznej oceny inwestycji, której przykładem jest wskaźnik *NPV* (Net Present Value) opisany zależnością [5, 8]:

$$NPV = -N_u + \sum_{t=1}^n \Delta O_{ru} \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \quad [zł] \quad (8)$$

gdzie:

N_u – nakłady inwestycyjne [zł];
 ΔO_{ru} – roczna oszczędność kosztów energii [zł];
 t – założona liczba lat eksploatacji projektowanej izolacji cieplnej;
 r – stopa dyskonta [%];
 s – stopa wzrostu kosztu ogrzewania ponad stopę inflacji [%].

Analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych związanych z wbudowaniem w przegrodę efektywnej izolacji cieplnej może posłużyć wyznaczeniu jej optymalnej grubości wg wzoru [8]:

$$d_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{8,64 \cdot 10^{-5} \cdot Sd \cdot O_z \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t}}{\lambda_{izol} \cdot K}} - R_0 \cdot \lambda_{izol} \quad (9)$$

gdzie:

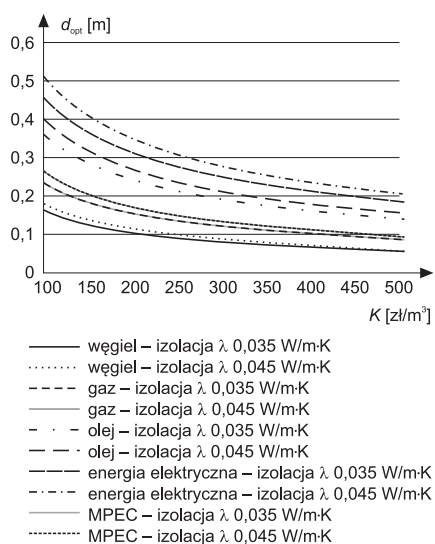
Sd – stopniodni;
 O_z – opłata zmienna za jednostkę energii [zł/GJ];
 λ_{izol} – współczynnik przewodzenia ciepła materiału termoizolacyjnego [W/m·K];
 R_0 – opór cieplny przegrody [$m^2 \cdot K/W$].

Zależność grubości optymalnej docieplenia d_{izol} w funkcji kosztów zmiennych K , współczynnika przewodzenia ciepła oraz rodzaju nośnika energii przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 1. Jednostkowe koszty nośników energii dla Białegostoku [6]

Rodzaj nośnika	Opłata zmienna O_z [zł/GJ]	Opłata stała O_m [zł/(MW·m·c)]	Opłata abonamentowa Ab [zł/m·c]
Węgiel kamienny	27,94	0	0
Olej opałowy	109,55	0	0
Gaz ziemny wysokomet. (W-3.6)	52,19	0	69,5
Sieć miejska (MPEC-B2)	52,28	10.104,38	0
Energia elektryczna (G11)	172,71	0	6,85

Ceny zawierają podatek VAT w wysokości 23%.

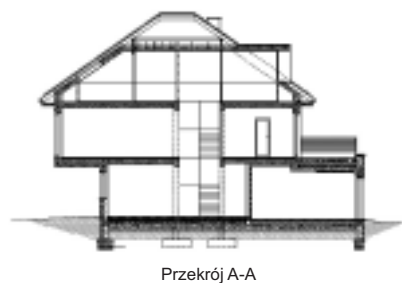


Rys. 2. Grubość d_{opt} izolacji cieplnej ściany zewnętrznej o $R_0 = 0,99 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ budynku (lokalizacja Białystok – $Sd = 4 \text{ 095,4 K} \cdot \text{dzień}/\text{r.}$) przy $r = 4\%$ i $s = 1\%$ w funkcji kosztu materiału termoizolacyjnego K i jego współczynnika przewodzenia ciepła λ i w różnych wariantach zasilania w energię do ogrzewania

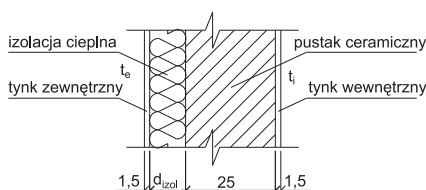
Grubość izolacji cieplnej ściany zewnętrznej na przykładzie jednorodzinnego budynku mieszkalnego

Na przykładzie ściany zewnętrznej jednorodzinnego budynku mieszkalnego (rysunek 3) przedstawiono, jak w praktyce wykorzystać przywołane metody doboru grubości izolacji termicznej (S/WBiŚ/2/2013). Z rozważań wykluczono kryterium odnoszące się do powierzchniowej kondensacji wilgoci, gdyż wyjściowy opór cieplny warstw konstrukcyjnych przegrody ($R_0 = 0,99 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) jest większy niż wartość wymagana dla $f_{Rsi, kryt} = 0,72$ [3].

Ściany zewnętrzne zaprojektowano jako dwuwarstwowe (rysunek 4), gdzie konstrukcję nośną stanowią pustaki szczelinowe. Lokalizacja obiektu na terenie Białegostoku warunkowała dobór



Rys. 3. Schemat przyjętego do rozważań jednorodzinnego budynku mieszkalnego



Rys. 4. Schemat przekroju poprzecznego ściany zewnętrznej

danych klimatycznych, cen nośników energii dystrybutorów operujących na rynku lokalnym oraz obowiązujące w regionie koszty wykonania docieplenia.

Zaplanowane docieplenie ścian zewnętrznych metodą BSO rozważono w dwóch wariantach materiałowych: styropian oraz wełna mineralna. Oceny efektu zastosowania materiału termoizolacyjnego w konstrukcji przegrody dokonano na podstawie następujących danych odpowiednio dla styropianu (I) oraz wełny mineralnej (II):

- współczynnik przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]: 0,04 oraz 0,042;
- jednostkowy koszt stały W [$\text{zł}/\text{m}^2$]: w obu przypadkach 120,00 [$\text{zł}/\text{m}^2$];
- jednostkowy koszt materiału termoizolacyjnego K [$\text{zł}/\text{m}^3$]: 220,00 oraz 450,00.

Stosownie do przyjętych założeń wyznaczono grubość docieplenia trzema metodami, w alternatywnych wersjach termoizolacji oraz w zależności od nośnika energii wg rodzaju i stawek podanych w tabeli 1. Optymalizację metodą dynamiczną przeprowadzono dla okresu $t = 15$ lat oraz $r = 4\%$ i $s = 1\%$. Powierzchnia ścian zewnętrznych, przez które generowane są straty ciepła, wynosi 250,54 m^2 , natomiast powierzchnia do docieplenia została powiększona o 10% w związku z koniecznością wykonania dodatkowych prac, np. wyrobieniem ościeży okiennych i drzwiowych, izolacją cokołów itp. Uzyskane w toku obliczeń

Tabela 2. Grubość izolacji termicznej [m] ścian zewnętrznych wynikająca z: przepisów WT; kryterium SPBT oraz kryterium NPV

Rodzaj nośnika	d_{izol} [m]					
	WT		SPBT		NPV	
	I	II	I	II	I	II
Węgiel kamienny					0,11 ²⁾	0,06 ²⁾
Olej opałowy					0,25	0,17
Gaz ziemny wysokometanowy (W-3.6)	0,13	0,13	0,15 ¹⁾	0,10 ¹⁾	0,16 ²⁾	0,10 ²⁾
Sieć miejska (MPEC-B2)					0,16	0,10
Energia elektryczna (G11)					0,33	0,22

¹⁾ Przy ogrzewaniu węglem SPBT optymalnej grubości docieplenia przekracza 15 lat; ²⁾ NPV charakteryzuje się wartością ujemną.

grubości izolacji cieplnej zestawiono w tabeli 2.

Uwzględniając wyniki optymalizacji izolacji termicznej ścian zewnętrznych, wyznaczono zapotrzebowanie na energię użytkową i moc cieplną budynku za pomocą programu Audytor OZC w wersji 4.8 Pro zgodnie z obowiązującą metodologią [9, 10, 11, 12]. Charakterystykę energetyczną analizowanego domu w każdym z wariantów grubości docieplenia przedstawiono w tabeli 3. Wbudowanie izolacji cieplnej w konstrukcję ścian zewnętrznych przekłada się na konkretny efekt finansowy w postaci zmniejszenia opłat za energię cieplną do ogrzewania w sezonie grzewczym (tabela 4).

Podsumowanie

Zalecana do wbudowania grubość izolacji cieplnej (tabela 2) jest zależna od wielu czynników, w tym przyjętego priorytetu, którym mogą być:

- założony poziom izolacyjności przegrody;
- najkrótszy czas zwrotu poniesionych nakładów;
- maksymalizacja efektu finansowego;
- ryzyko powierzchniowej i wgłębnej kondensacji wilgoci;
- uwarunkowania techniczne wbudowania izolacji.

W ramach tych kryteriów możemy uzyskiwać różne wartości grubości izolacji termicznej, tak jak ma to miejsce np. przy ogrzewaniu rozpatrywanego budynku olejem opałowym (13-15-25 cm styropianu) lub energią elektryczną (13-15-32 cm styropianu). Pewnym ograniczeniem mogą się okazać względy techniczne wbudowania docieplenia, które są w stanie skutecznie ograniczyć górny zakres grubości izolacji. Wśród uzyskanych grubości dociepleń problematyczne mogłyby się okazać zastosowanie 32 cm. Kierując się zyskiem,

Tabela 3. Charakterystyka energetyczna budynku przy izolacji ścian zewnętrznych wynikającej z obliczeń d_{izol} .

Wariant materiałowy	Grubość termoizolacji [m]	U [W/(m ² K)]	Zapotrzebowanie na energię użytkową (redukcja %) [GJ/r.]	Obciążenie cieplne (redukcja %) [kW]
Brak izolacji ścian zewnętrznych	–	1,01	152,06	23,63
Styropian	0,11	0,27	88,23 (42,0)	16,04 (32,1)
	0,13	0,24	87,62 (42,4)	15,92 (32,6)
	0,15	0,21	82,24 (45,9)	15,40 (34,8)
	0,16	0,20	81,33 (46,5)	15,29 (35,3)
	0,25	0,14	76,01 (50,0)	14,60 (38,2)
	0,32	0,11	72,94 (52,0)	14,09 (40,4)
Wełna mineralna	0,06	0,41	99,71 (34,4)	17,51 (25,9)
	0,10	0,30	89,60 (41,1)	16,30 (31,0)
	0,13	0,24	86,23 (43,3)	15,79 (33,2)
	0,17	0,20	81,33 (46,5)	15,29 (35,3)
	0,22	0,16	78,13 (48,6)	14,84 (37,2)

Tabela 4. Koszty energii użytkowej budynku przy izolacji ścian zewnętrznych wynikającej z obliczeń d_{izol} .

Wariant materiałowy	Grubość termoizolacji [m]	Koszt energii [zł/sezon]				
		Węgiel	Olej	Gaz	Sieć miejska	Energia elektryczna
Brak izolacji	–	4 249	16 658	8 770	10 815	26 344
Styropian	0,11	2 465 ³⁾	–	–	–	–
	0,13	2 448 ¹⁾	9 599 ¹⁾	5 407 ¹⁾	6 511 ¹⁾	15 215 ¹⁾
	0,15	2 298 ²⁾	9 009 ²⁾	5 126 ²⁾	6 167 ²⁾	14 286 ²⁾
	0,16	–	–	5 079 ³⁾	6 106 ³⁾	–
	0,25	–	8 327 ³⁾	–	–	–
	0,32	–	–	–	–	12 680 ³⁾
Wełna mineralna	0,06	2 786 ³⁾	–	–	–	–
	0,10	2 503 ²⁾	9 816 ²⁾	5 510 ²⁾³⁾	6 661 ²⁾³⁾	15 557 ²⁾
	0,13	2 409 ¹⁾	9 446 ¹⁾	5 334 ¹⁾	6 423 ¹⁾	14 975 ¹⁾
	0,17	–	8 910 ³⁾	–	–	–
	0,22	–	–	–	–	13 576 ³⁾

¹⁾ grubość wynikająca z kryterium WT; ²⁾ grubość wynikająca z kryterium SPBT; ³⁾ grubość wynikająca z kryterium NPV

należałoby zmniejszyć grubość izolacji cieplnej, przyjmując maksymalną możliwą do wbudowania warstwę legitymującą się dodatnim NPV.

Co ciekawe, w przypadku optymalizacji docieplenia wg SPBT nieistotne okazują się koszty energii cieplnej, a o grubości docieplenia d_{izol} decyduje wyjściowy opór cieplny przegrody oraz parametry i koszt wbudowania docieplenia. W analizowanym zestawie rodzajów nośników energii zalecaną wartością dla styropianu byłoby 15 cm oraz 10 cm w odniesieniu do wełny mineralnej. Przy doborze grubości docieplenia należy pamiętać o kwestii kondensacji wilgoci na powierzchni wewnętrznej ścian zewnętrznych oraz kondensacji międzywarstwowej. W uzyskanym zbiorze wariantów docieplenia nie zachodzi żadne z tych niebezpieczeństw. Liczona meto-

dą dokładną [3] krytyczna wartość czynnika temperaturowego w normalnych warunkach eksploatacji budynku (3 klasa wilgotności wewnętrznej), dla lokalizacji w Białymstoku, występuje w grudniu i wynosi $f_{Rsi} = 0,775$ wobec wartości 0,898 odpowiadającej izolacji przegrody 6 cm warstwą wełny mineralnej, co świadczy o braku ryzyka kondensacji powierzchniowej. W przypadku kondensacji wgłębnej, w żadnym z wariantów grubości docieplenia styropianem lub wełną mineralną nie ma niebezpieczeństwa wytrącenia kondensatu wewnątrz przegrody.

Ostatecznie to inwestor w porozumieniu z projektantem decyduje, który z celów jest dla niego najistotniejszy. Powinien być to jednak wybór przemyślany, poparty racjonalnymi argumentami uzasadniającymi przyjęcie tej,

a nie innej grubości izolacji cieplnej. Dokonując wyboru grubości izolacji, należy jednak przede wszystkim pamiętać o wypełnieniu obowiązujących przepisów, czyli bezwzględny spełnieniu kryterium izolacyjności $U \leq U_{dop}$, jednostkowego zapotrzebowania na energię EP oraz wyeliminowaniu ryzyka kondensacji wilgoci. Metody optymalizacji są bowiem jedynie uzupełnieniem podstawowych zasad kształtowania charakterystyk cieplnych przegród z zachowaniem priorytetu obowiązujących wymagań ochrony cieplnej.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wraz z późniejszymi zmianami.
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [3] PN-EN ISO 13788:2013-05E Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.
- [5] H. Manteuffel-Szoego, Wybrane zagadnienia ekonomiki budownictwa, Warszawa: SGGW, 2006.
- [6] Stawki za nośniki energii dla regionu miasta Białegostoku.
- [7] Strona internetowa Ministerstwa Infrastruktury – baza danych klimatycznych.
- [8] E. Rudczyk-Malijewska, Optymalizacja izolacji cieplnej przegród budowlanych w aspekcie efektywności ekonomicznej, Białystok: Politechnika Białostocka, 2000.
- [9] PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.
- [10] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [11] PN-EN ISO 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.