

Efektywność kosztowa termoizolacji budynku

Dr Robert Dylewski, dr inż. Janusz Adamczyk, Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Zagadnienie termoizolacji budynków w obecnych czasach jest zorientowane przede wszystkim na minimalizację kosztów związanych ze stratami ciepła w budynkach, zaś aspekty związane ze zmniejszeniem oddziaływania na środowisko z reguły nie są formułowane wprost. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że historycznie, cel ekonomiczny stosowania termoizolacji nie zawsze był najważniejszy. Ochrona cieplna budynków w Polsce datuje się na 1968 rok. W ówczesnych czasach przesłanką do wprowadzenia termoizolacji były przede wszystkim wymagania praktyczne (techniczne), takie jak:

- przeciwdziałanie wykraplaniu się pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych,
- przeciwdziałanie podtapianiu śniegu na górnej powierzchni stropodachów [4].

Materiały do izolacji cieplnej, to grupa materiałów, które służą zmniejszaniu strat ciepła w budynkach, w przewodach (np. c.o.) i w różnych urządzeniach. Pod względem pochodzenia, materiały te dzielą się na dwie grupy:

- organiczne,
- nieorganiczne.

Te grupy natomiast dzielą się na różne rodzaje materiałów służących termoizolacji, które posiadają określone właściwości fizyczne czy też chemiczne. Istotnym aspektem zastosowania tych materiałów, obok ekonomicznego (możliwie niska cena zakupu przy jak najniższej wartości współczynnika przewodzenia ciepła), jest aspekt ekologiczny. Aspekt ten jest postrzegany poprzez dwie płaszczyzny. Po pierwsze, samo zastosowanie materiału termoizolacyjnego w przegrodzie budowlanej wpływa na zmniejszenie oddziaływania na środowisko, poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię budynku i zmniejszoną emisję zanieczyszczeń do atmosfery w wyniku redukcji ilości spalanego paliwa. Po drugie, obecnie poszukuje się rozwiązań „optymalnie ekologicznych”, tzn. materiałów termoizolacyjnych, które mogą być poddane recyklingowi po okresie użytkowania, czy też same są produktem z recyklingu (np. włókna celulozowe – ekofiber). Zastępują one na szczególną uwagę

i w nawiązaniu do paradygmatu zrównoważonego rozwoju, powinny być stosowane w budownictwie.

Wymagania ochrony cieplnej budynków w Polsce na przestrzeni prawie półwiecza, ulegały ciągłym modyfikacjom w kierunku zwiększania wymagań termoizolacyjnych. Od 1 stycznia 2009 roku zostały one określone na poziomie $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}^1$ (U – współczynnik przenikania ciepła) dla przegród zewnętrznych budowlanych niezależnie od rodzaju przegrody.

2. Koszty termoizolacji

Zależność między współczynnikiem przenikania ciepła dla przegrody bez warstwy termoizolacyjnej a współczynnikiem przenikania ciepła przegrody z warstwą termoizolacji opisuje wzór [3]:

$$U = \left(R_o + \frac{d}{\lambda} \right)^{-1} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

gdzie:

U – współczynnik przenikania ciepła przegrody z warstwą termoizolacji [$\text{W/m}^2\text{K}$],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału stanowiącego izolację termiczną [W/mK],

R_o – opór cieplny przenikania przez przegrodę bez warstwy termoizolacyjnej [$\text{m}^2\text{K/W}$],

$U_o = 1/R_o$ – współczynnik przenikania ciepła przegrody bez warstwy termoizolacyjnej [$\text{W/m}^2\text{K}$],

d – grubość warstwy izolacyjnej [m].

Dla określonego materiału termoizolacyjnego o znanym λ i określonej przegrodzie o znanym U_o , grubość warstwy termoizolacji potrzebną do uzyskania współczynnika przenikania ciepła U można zatem wyznaczyć ze wzoru:

$$d = \lambda \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{U_o} \right) \text{ [m]} \quad (1)$$

Przeprowadzono obliczenia dla dwóch przykładowych rodzajów materiałów konstrukcyjnych używanych do budowy przegrody zewnętrznej:

– bloczki z betonu komórkowego (gęstości 400 kg/m^3) o grubości 24 cm i oporze cieplnym $R_o = 2,326 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$);

– pustaki ceramiczne MAX o grubości 29 cm i oporze cieplnym $R_o = 1,381 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Do wykonania termoizolacji wybrano następujące materiały izolacyjne:

– styropian, $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$, $K_m = 164,70 \text{ zł/m}^3$ (dla grubości 10 cm);

– wełna mineralna, $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$, $K_m = 172,30 \text{ zł/m}^3$ (dla grubości 10 cm);

– ekofiber, $\lambda = 0,041 \text{ W/mK}$, $K_m = 150,00 \text{ zł/m}^3$;

– pianka PIR, $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$, $K_m = 983,90 \text{ zł/m}^3$ (dla grubości 10 cm).

Dane dotyczące materiałów izolacyjnych uzyskano z [7] i [6].

Korzystając ze wzoru (1) otrzymujemy grubości termoizolacji (tab. 1), przy których przegroda z warstwą termoizolacyjną posiada współczynnik przenikania ciepła $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 1. Obliczeniowe grubości termoizolacji

d [m]	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Przegroda $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,040	0,035	0,041	0,028
Przegroda $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,078	0,068	0,080	0,055

Źródło: opracowanie własne

Koszty termoizolacji K przegrody zewnętrznej budynku związane są przede wszystkim z kosztami zakupu materiału termoizolacyjnego i kosztami wykonania termoizolacji.

Koszty termoizolacji dla całego budynku wynoszą:

$$K = (K_m \cdot d + K_s) p \quad [\text{zł}] \quad (2)$$

gdzie:

K_m – koszt 1 m^3 użytego materiału termoizolacyjnego [zł/m^3],

K_s – koszty wykonania termoizolacji 1 m^2 powierzchni przegrody budowlanej [zł/m^2],

p – powierzchnia przegród zewnętrznych dla całego budynku [m^2].

Korzystając ze wzoru (2) wyznaczono koszty termoizolacji K całego budynku (tab. 2), w zależności od rodzaju przegrody i materiału termoizolacyjnego, dla grubości warstwy izolacyjnej z tabeli 1. Koszty wykonania termoizolacji przyjęto $K_s = 30 \text{ zł/m}^2$. Powierzchnia przegród zewnętrznych w badanym budynku wynosi $p = 153,5 \text{ m}^2$ (opis budynku przedstawiony jest w punkcie 3).

Tabela 2. Koszty zakupu i wykonania termoizolacji

K [zł]	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Przegroda $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	5 623,67	5 537,47	5 555,95	8 864,81
Przegroda $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	6 579,31	6 412,24	6 448,05	12 861,03

Źródło: opracowanie własne

Zauważmy, że cena K_m najdroższego materiału izolacyjnego jest około 6,6 razy większa od najtańszego, natomiast koszt termoizolacji K jest już tylko 1,6 razy większy przy przegrodzie z $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ i 2 razy większy przy przegrodzie z $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Wynika to z tego, że najdroższy materiał izolacyjny ma dużo lepszy współczynnik przewodzenia ciepła od najtańszego, ponadto na koszt termoizolacji istotny wpływ ma też koszt wykonania termoizolacji K_s .

3. Korzyści środowiskowe termoizolacji

Realizacja założeń paradygmatu zrównoważonego rozwoju polega na równoważeniu trzech celów: ekonomicznego, ekologicznego i społecznego. Powyżej przedstawiono analizę realizacji celu ekonomicznego zastosowania termoizolacji w budynku. Do analizy realizacji celu ekologicznego wykorzystano instrument środowiskowy, jakim jest ocena cyklu życia (Life Cycle Assessment – LCA). Cel społeczny jest realizowany poprzez budowę mieszkań, miejsca schronienia i odpoczynku.

Badaniu poddano budynek mieszkalny z garażem położony w okolicy Zielonej Góry o powierzchni użytkowej 137,1 m^2 oraz o powierzchni przegród zewnętrznych równych 153,5 m^2 . Do potrzeb badania przeprowadzono analizę dla trzech wartości współczynnika przenikania ciepła przegrody zewnętrznej. Dwie wartości współczynnika przenikania ciepła ($U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ oraz $U = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$) są wartościami, które są niezgodne z wymaganiami (zbyt wysoka wartość współczynnika U^2), ale są konieczne do przeprowadzenia analizy ekonomiczno-środowiskowej termoizolacji budynku. Do wyznaczenia wartości zapotrzebowania budynku na ciepło wykorzystano program komputerowy Herz OZC wersja 3.0. Do oceny oddziaływania na środowisko produkowanych materiałów termoizolacyjnych oraz obciążenia środowiska związanego z wytworzeniem ciepła na potrzeby c.o. wykorzystano program SimaPro 7.1. oraz metodę oceny Ekowskażnik 99.

W tabeli 3 przedstawiono wartości analizy LCA dla czterech rodzajów materiałów izolacyjnych w ekopunktach [Pt^3] na jeden metr sześcienny tego materiału. Wartość ujemna, dla ekofibru, świadczy o generowaniu korzyści środowiskowych w wyniku wykorzystania do produkcji tego materiału gazów z recyklingu [1]. Największym oddziaływaniem na środowisko charakteryzuje się pianka PIR (16,1 Pt).

Tabela 3. Wynik analizy LCA materiałów termoizolacyjnych

	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Wynik LCA [Pt/m^3]	4,88	6,08	-0,83	16,1

Źródło: opracowanie własne

Korzystając z informacji z tabeli 1 i 3 można wyznaczyć wpływ na środowisko E_i użycia danego wariantu izolacji do ocieplenia budynku:

$$E_i = d \cdot p \cdot LCA_i \text{ [Pt]} \quad (3)$$

gdzie: LCA_i – LCA w Pt dla m^3 materiału termoizolacyjnego (tab. 3). Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wpływ na środowisko materiałów izolacyjnych użytych do termoizolacji budynku

E_i [Pt]	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Przegroda $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	30,18	32,90	-5,26	69,71
Przegroda $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	58,50	63,77	-10,20	135,10

Źródło: opracowanie własne

Dla wariantu termoizolacji z ekofibru uzyskano wartości ujemne w Pt, co oznacza generowanie korzyści środowiskowych.

Wyniki analizy LCA termicznej fazy użytkowania budynku w okresie 30 lat dla trzech rozważanych przypadków przedstawiono w tabeli 5. Należy zaznaczyć, że do potrzeb obliczenia zapotrzebowania na ciepło w budynku „wymieniano” tylko i wyłącznie przegrodę zewnętrzną pionową (ściany). Pozostałe przegrody (dach, podłoga na gruncie) charakteryzowały się tą samą wartością współczynnika przenikania ciepła. Różnica w ekopunktach między przegrodą (bez termoizolacji) z najwyższym współczynnikiem przenikania ciepła a przegrodą z termoizolacją wynosi aż 2230 Pt.

Tabela 5. Wynik analizy LCA termicznej fazy użytkowania budynku w okresie 30 lat

	Przegroda budowlana zewnętrzna $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ (bez termoizolacji)	Przegroda budowlana zewnętrzna $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ (bez termoizolacji)	Przegroda budowlana zewnętrzna $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ (z termoizolacją)
Wynik LCA [Pt/30 lat]	7920	9450	7220

Źródło: opracowanie własne

W konsekwencji, w fazie użytkowania budynku, w wyniku termoizolacji, wpływ na środowisko zmniejszy się dla przegrody z $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ o $dE_u = 700 \text{ Pt}$, a dla przegrody z $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ o $dE_u = 2230 \text{ Pt}$.

Zmniejszenie obciążenia środowiska w Pt w wyniku termoizolacji będzie zatem wynosić:

$$E = dE_u - E_i \text{ [Pt]} \quad (4)$$

W tabeli 6 wyznaczono zmniejszenie obciążenia środowiska (ze wzoru 4) w wyniku wykonania termoizolacji budynku.

Dla ustalonej przegrody największe zmniejszenie obciążenia środowiska E (tab. 6) uzyskujemy dla termoizolacji z ekofibru, ponieważ produkcja ekofibru generuje korzyść środowiskową (tab. 3).

Tabela 6. Zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji budynku

E [Pt]	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Przegroda $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	669,82	667,10	705,26	630,29
Przegroda $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	2171,50	2166,23	2240,20	2094,90

Źródło: opracowanie własne

4. Efektywność kosztowa termoizolacji

Dla projektów inwestycyjnych przy wyborze wariantu do realizacji wykorzystuje się analizę efektywności kosztowej (CEA). Stosuje się ją wtedy, gdy mierzenie korzyści odbywa się w jednostkach innych niż pieniężne (np. ekopunkty). Analizę CEA przeprowadza się za pomocą tzw. wskaźnika dynamicznego kosztu jednostkowego (DGC). Wskaźnik ten informuje o tym jaki jest koszt uzyskania jednostki zamierzonego rezultatu. Jest zatem dobrym narzędziem do porównywania jednorodnych pod względem rezultatu projektów inwestycyjnych [5].

Dla inwestycji polegającej na termoizolacji zewnętrznych przegród budowlanych w budynku efektywność kosztową termoizolacji (wskaźnik DGC) można określić jako koszt (w złotych) zmniejszenia obciążenia środowiska o 1 Pt w wyniku wykonania termoizolacji:

$$DGC = K / E \text{ [zł/Pt]} \quad (5)$$

gdzie: K to koszty termoizolacji w zł (wzór 2 i tab. 2), natomiast E to wielkość zmniejszenia obciążenia środowiska w Pt uzyskana w wyniku wykonania termoizolacji (wzór 4 i tab. 6).

W tabeli 7 wyznaczono efektywność kosztową termoizolacji dla badanych wariantów (ze wzoru 5).

Tabela 7. Efektywność kosztowa termoizolacji

DGC [zł / Pt]	Styropian	Wełna mineralna	Ekofiber	Pianka PIR
Przegroda $U_o = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	8,40	8,30	7,88	14,06
Przegroda $U_o = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$	3,03	2,96	2,88	6,14

Źródło: opracowanie własne

Zauważmy, że najmniejszy koszt zmniejszenia obciążenia środowiska o 1 Pt (dla obydwu przegród) uzyskujemy przy wykorzystaniu do termoizolacji ekofibru. Dla przegrody o większym współczynnikiem przenikania ciepła (przed dołożeniem warstwy termoizolacyjnej) koszt uzyskania 1 Pt jest mniejszy niż dla drugiej przegrody.

5. Podsumowanie

Termoizolacja zewnętrznych przegród budowlanych może być korzystna ze względów ekonomicznych dla inwestora, gdyż następuje zmniejszenie kosztów ogrzewania budynku [2]. W wyniku termoizolacji uzyskujemy też istotną korzyść ze zmniejszenia negatywnego wpływu budynku na środowisko. Wprawdzie wyprodukowanie potrzebnego do termoizolacji materiału izolacyjne-

go zwiększa negatywny wpływ budynku na środowisko (poza ekofibrem), ale dużo większy pozytywny wpływ na środowisko uzyskujemy z powodu zmniejszenia zapotrzebowania na energię cieplną w termicznej fazie użytkowania budynku. Zauważmy też, że im gorsze (większe) jest U_o dla przegrody bez termoizolacji, tym większą korzyść środowiskową przynosi termoizolacja. Ponadto mamy mniejszy koszt zmniejszenia obciążenia środowiska przypadający na 1 Pt. Ze względów ekologicznych „opłacalne” jest zaizolowanie przegród zewnętrznych budynków wcześniej wybudowanych, dla których współczynnik przenikania ciepła ma wartość większą niż aktualnie wymagana $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Analiza problemu oddziaływania fazy energetycznej na środowisko została przeprowadzona tylko dla jednego budynku jednorodzinny. Zważywszy jednak na skalę tego problemu, budynków jednorodzinnych w Polsce są setki tysięcy, kolejne tysiące stanowią budynki wielorodzinne, zastosowanie termoizolacji w nowych budynkach czy też termomodernizacji starych zasobów budowlanych przyniosłoby duże korzyści środowiskowe.

Zagadnienie termoizolacji budynków powinno stać się jednym z zadań priorytetowych w gospodarce, gdyż niedużym nakładem finansowym (około 3 zł) można uzyskać wysoki efekt środowiskowy (1 Pt).

Powyższa analiza pokazuje również, że w sektorze budownictwa (i nie tylko) powinny być stosowane materiały budowlane (np. ekofiber), które wytwarzane są z surowców pochodzących z recyklingu, a po okresie użytkowania można je również poddać recyklingowi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczyk J., Dylewski R., Optymalizacja ekonomiczno-środowiskowa budynku na przykładzie zewnętrznej przegrody budowlanej. Przegląd Budowlany 1/2009
- [2] Dylewski R., Adamczyk J., Wpływ kosztów ogrzewania na dobór termoizolacji. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2008, nr 6, s. 20–23
- [3] Laskowski L., Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Of. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [4] Łubkowska J., Aspekt ekologiczności wyrobów do izolacji cieplnej w budownictwie, w: Ekologia a budownictwo, XVI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna, Bielsko-Biała, 2004
- [5] Minister Rozwoju Regionalnego: Narodowe Strategiczne Ramy Odniesienia 2007–2013. Wytyczne w zakresie wybranych zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód, Warszawa, 19.09.2007
- [6] Imarket – materiały budowlane (www.icmarket.pl) (25.09.2009)
- [7] Informator budowlany (www.informatorbudowlany.pl) (25.09.2009)

PRZYPISY

- ¹ Rozporządzenie ministra infrastruktury z 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2008 nr 201, poz. 1238)
- ² Rozporządzenie ministra infrastruktury z 6 listopada 2008 r. Dz. U. 2008 nr 201, poz. 1238)
- ³ Wartość 1 Pt odpowiada 10^3 jednostek rocznego ładunku środowiskowego przypadającego na jednego mieszkańca Europy

**Farbe –
Ausbau & Fassade
24.–27. 3. 2010**

Nowe Tereny Targowe w Monachium
www.faf-munich.com



Profesjoniści spotkają się w Monachium!

Wiodące europejskie targi malarzy i lakierników, sztukatorów, dekoratorów wnętrz oraz parkieciarzy. Innowacje w zakresie farb, lakierów, tynków, stiuku, izolacji, architektury wnętrz i ochrony budynków.

Kontakt:
Biuro Targów Monachijskich w Polsce
ul. Biała 4
00-895 Warszawa
tel. 022 620 44 15
e-mail: info@targiwmonachium.pl

