Wpływ termoizolacji na energooszczędność budynku

Izolacyjność termiczna przegród zewnętrznych budynku ma duży wpływ na jego zapotrzebowanie na ciepło. W bilansie energetycznym budynku straty ciepła przez przegrody zewnętrzne mogą stanowić nawet do 70% zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania obiektu. Wielkość tych strat zależy od wielu czynników, m.in.: od obecnego stanu izolacyjności przegród, temperatury utrzymywanej w pomieszczeniach ogrzewanych, klimatu zewnętrznego, a nawet sprawności instalacji c.o. i źródła ciepła. Aby zminimalizować straty energii, a tym samym ograniczyć emisję szkodliwych związków powstałych ze spalania paliw, zaostrzono przepisy dotyczące maks. współczynnika przenikania ciepła U przegród w budynkach.

Wymagania ochrony cieplnej budynków

Wymagania ochrony cieplnej budynków zmieniały się na przestrzeni lat. Początek ich datuje się na 1964 rok. Wynikały one wówczas wyłącznie z przesłanek technicznych, których celem była likwidacja niekorzystnych zjawisk takich jak: kondensacja pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych oraz topnienie śniegu na powierzchniach stropodachów. Energia cieplna do lat 70. była relatywnie tania, dlatego przy projektowaniu budynków nie zwracano uwagi na ich wysokie zapotrzebowanie na ciepło. Termomodernizacja starych budynków może przynieść bardzo duże oszczędności energii. Szacuje się, że wielkość redukcji emisji gazów cieplarnianych do roku 2030 tylko z sektora budownictwa stanowić może aż 13% potencjału redukcji ze wszystkich sektorów polskiej gospodarki łącznie.

Czynniki wpływające na energooszczędność budynku

Energooszczędność budynku zależy od wielu czynników, do których zaliczyć można m.in.: izolacyjność cieplną przegród i sprawność instalacji wewnętrznych służących dostarczaniu od zastosowanego materiału izolacji termicznej, różnicy temperatur po obu stronach przegrody oraz kosztu energii cieplnej. Dlatego też przy określaniu opłacalnej ekonomicznie (efektywnej) grubości izolacji termicznej przegród w budynkach, należy brać pod uwagę te czynniki.

Efektywną grubość izolacji termicznej wyznacza się kilkoma metodami, do których można zaliczyć stosowany w rozporządzeniu wykonawczym do Ustawy termomodernizacyjnej prosty okres zwrotu SPBT oraz zaktualizowaną wartość netto NPV, stosowaną wcześniej przy ocenie efektywności wariantów termomodernizacyjnych. Aby zobrazować wpływ niektórych czynników na efektywną grubość izolacji, od której zależy energooszczędność budynku, w dalszej części zamieszczono wyniki obliczeń jej doboru dla ściany zewnętrznej i dachu budynku jednorodzinnego.

Analiza przykładowego budynku

Na potrzeby analizy posłużono się przykładowym jednorodzinnym budynkiem mieszkalnym. Został on wykonany w latach 70. w technologii tradycyjnej. Położony jest w województwie podlaskim w pobliżu Białegostoku. Jest to dom parterowy z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczony. Ściany zewnętrzne są murowane z cegły pełnej o grubości 38 cm na zaprawie cementowo-wapiennej. Stolarka okienna i drzwiowa jest drewniana, a okna dwuszybowe. Powierzchnia użytkowa obiektu wynosi 175,5 m^2.

Rzeczywiste współczynniki przenikania ciepła U przegród zewnętrznych budynku wynoszą:

- ściany zewnętrzne U = 1,43 $W/(m^2K)$
- dach U = 0,32 $W/(m^2K)$
- okna U = 3,0 $W/(m^2K)$
- podłoga na gruncie $U_{equiv,bf}$ = 0,23 $W/(m^2K)$.

Przegrody zewnętrzne nie spełniają obecnych wymagań stawianych współczynnikom przenikania ciepła U według obowiązującego rozporządzenia [1] dotyczącego warunków technicznych. Ponadto zgodnie z ww. rozporządzeniem budynkom jednorodzinnym stawia się wymagania odnośnie wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną. W przedmiotowym budynku wskaźnik EP_{H+W} wynosi 234,67 $kWh/(m^2rok)$ i wynika z bardzo niskiej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych.

Ciepło do ogrzewania domu dostarczane jest z kotłowni węglowej, zlokalizowanej w jego piwnicy. Po modernizacji kotłowni możliwe jest również zastosowanie innych nośników energii takich jak: biomasa (drewno), olej opałowy, gaz ziemny oraz prąd elektryczny (ogrzewanie podłogowe lub grzejniki).
Do wyboru efektywnej grubości izolacji termicznej przyjęto dwie najczęściej stosowane w Polsce metody oceny efektywności inwestycji: metodę prostego czasu zwrotu nakładów SPBT i metodę wartości bieżącej netto NPV. Pierwsza z nich należy do metod prostych i jest stosowana np. w rozporządzeniach wykonawczych do Ustawy termomodernizacyjnej, druga jest metodą dyskontową oceniającą przedsięwzięcie w całym okresie jego funkcjonowania.

Prosty czas zwrotu nakładów SPBT (Simple Payback Time) określany jest jako czas niezbędny do odzyskania poniesionych kosztów inwestycji i można go obliczyć na podstawie poniższego wzoru:

$$\mathrm{SPBT} = \frac{N_U}{\Delta O_{r\,c.o.}} \text{ [lata]}$$

gdzie:
N_U – planowane koszty robót związanych ze zmniejszeniem strat ciepła przez przenikanie dla wybranej przegrody [zł]
$\Delta O_{r\,c.o.}$ – roczna oszczędność kosztów energii, wynikająca z zastosowania usprawnienia termomodernizacyjnego [zł/rok].

Metoda prostego czasu zwrotu nakładów opisuje opłacalność inwestycji w sposób uproszczony, ponieważ nie uwzględnia całego okresu funkcjonowania przedsięwzięcia, a zawęża się jedynie do czasu, w którym przedsięwzięcie ulegnie zwrotowi. Dlatego metoda służy do wykonywania wstępnych ocen efektywności ekonomicznej. Stosując to kryterium podjęcie decyzji polega na wyborze rozwiązania zapewniającego jak najszybsze odzyskanie początkowych nakładów. Metoda ta kładzie główny nacisk na szybki zwrot nakładów, pomijając efekty powstające w wyniku funkcjonowania przedsięwzięcia po czasie jego zwrotu.

Bardziej precyzyjną metodą wyboru grubości izolacji, jest ocena według wartości bieżącej netto NPV (Net Present Value). Uwzględnia ona w przeciwieństwie do metod prostych, cały okres funkcjonowania projektu np. trwałość docieplenia. Obliczana jest poprzez ustalenie różnicy pomiędzy wydatkami na realizację ocenianego przedsięwzięcia i późniejszymi oszczędnościami eksploatacyjnymi z uwzględnieniem spadku siły nabywczej pieniądza w odleglejszych okresach czasu tzw. technika dyskonta. Miernik ten określa zatem wielkość korzyści lub straty (ujemna wartość wskaźnika), jakie może przynieść rozpatrywane przedsięwzięcie inwestycyjne w całym okresie objętym rachunkiem. W uproszczeniu, gdy koszty inwestycji ponoszone są w całości na jej początku wskaźnik ten można obliczyć posługując się wzorem:

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\Delta O_{r\,c.o.t}}{(1+r)^t} - N_U \text{ [zł]}$$

gdzie:
$\Delta O_{r\,c.o.t}$ – oszczędność kosztów energii w roku t [zł]
N_U – nakłady inwestycyjne [zł]
r – stopa dyskontowa [%]
n – całkowity okres eksploatacji [lata].

Jeżeli NPV > 0, to realizacja przedsięwzięcia jest opłacalna. Przy NPV = 0 stopa dyskontowa jest równa minimalnej stopie granicznej, a więc efekty (oszczędności z przeprowadzonej termomodernizacji) jedynie pokrywają wydatki na realizację przedsięwzięcia. Jeżeli NPV < 0, to przedsięwzięcie będzie przynosić straty. Przy opracowywaniu wielu wariantów przedsięwzięć modernizacyjnych należy realizować te, dla których NPV przyjmuje wartość maksymalną.

Do analiz efektywności przy wykorzystaniu techniki dyskonta przyjęto jego wielkość na podstawie wzoru na tzw. realną stopę dyskontową, uwzględniającą inflację i koszt kredytu na termomodernizację

$$i = \frac{i_{kred} + i_{inf}}{1 + i_{inf}} \quad [\%]$$

gdzie:

i_{kred} – oprocentowanie kredytu długoterminowego [%]

i_{inf} – stopa inflacji [%].

Przy założeniu oprocentowania kredytów termomodernizacyjnych średnio na poziomie 11% i średniej przewidywanej stopy inflacji na poziomie ok. 1,5% rocznie, obliczona realna stopa dyskonta wynosi 9,4%. Taką stopę dyskonta przyjęto dalej do określenia efektywnej grubości izolacji przy pomocy metody dyskontowej.

Aby poszerzyć analizę efektywnej grubości izolacji termicznej przegród do obliczeń oszczędności eksploatacyjnych wprowadzono różne nośniki energii, takie jak: drewno (biomasa), węgiel, olej opałowy, gaz ziemny i prąd elektryczny.

Obliczenia oszczędności energii i efektywnych grubości izolacji

Po określeniu zapotrzebowania na ciepło budynku przed i po docieplenia ścian zewnętrznych oraz dachu, uwzględniając ceny danego nośnika ciepła, obliczono roczną oszczędność kosztów ogrzewania. Po ustaleniu wysokości nakładów na termomodernizację określono wartości SPBT i NPV dla wybranych grubości docieplenia (tab. 1, 2).

W tablicach 1 i 2 wyróżnione zostały wartości najbardziej efektywne ekonomicznie według kryterium SPBT i NPV, odpowiadające określonym grubościom izolacji.

Tablica 1. Wartości SPBT i NPV przy docieplenia ścian zewnętrznych

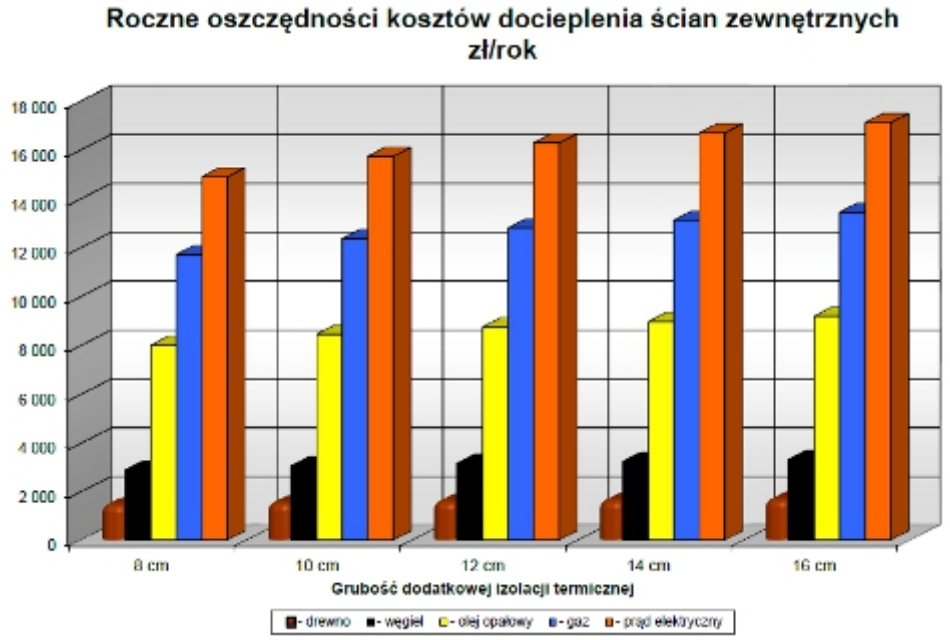
Grubość docieplenia [cm]	Nośnik energii				
	drewno (biomasa)	węgiel	olej opałowy	gaz	energia elektryczna
SPBT					
8	17,49	8,95	3,25	2,23	1,75
10	17,46	8,93	3,25	2,22	1,75
12	**17,37**	**8,88**	**3,23**	**2,21**	**1,74**
14	19,12	9,78	3,56	2,43	1,91
16	19,72	10,09	3,67	2,51	1,97
NPV					
8	**-14 307**	**-3 073**	37 161	66 423	91 562
10	-15 067	-3 204	39 266	70 157	96 699
12	-15 439	-3 161	**40 800**	72 775	100 256
14	-18 753	-6 165	38 907	71 690	99 870
16	-20 245	-7 344	38 840	**72 434**	**101 319**

Tablica 2. Wartości SPBT i NPV przy docieplenia dachu

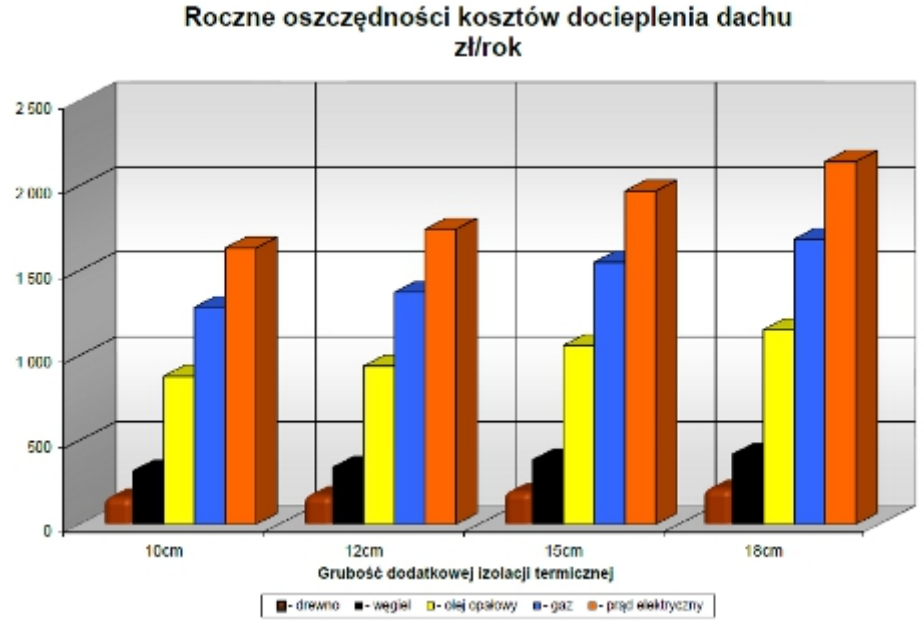
Grubość docieplenia [cm]	Nośnik energii				
	drewno (biomasa)	węgiel	olej opałowy	gaz	energia elektryczna
SPBT					
10	87,09	44,55	16,789	11,09	8,72
12	85,45	43,72	15,92	10,88	8,56
15	78,74	40,29	14,66	10,02	7,89
18	**77,66**	**39,74**	**14,45**	**9,88**	**7,78**
NPV					
10	**-12 954**	**-11 721**	-7 313	-4 106	-1 354
12	-13 555	12,098	-7 529	-4 102	-1 162
15	-13 979	-12 493	**-7 172**	**-3 302**	8
18	-14 970	-13 354	-7 565	-3 354	**248**

W przypadku zastosowania kryterium NPV, przy dociepleniu dachu można zauważyć zróżnicowanie efektywnych grubości izolacji. Stosując kryterium SPBT otrzymano jednakową wartość efektywnej grubości dodatkowej izolacji termicznej, niezależnie od stosowanego paliwa. Jedynie przy najdroższym nośniku energii (prąd elektryczny) i niskim współczynniku przenikania ciepła dla dachu (U = 0,32 W/(m^2K)) obydwie metody dają jednakową efektywną grubość izolacji termicznej równą 18 cm.
Różnica w efektywnych grubościach dodatkowej izolacji wynika z faktu, iż metody dyskontowe przy ocenie obejmują cały okres funkcjonowania przedsięwzięcia, a nie zawężają się tylko do czasu zwrotu nakładów jak to ma miejsce przy wskaźniku SPBT.
W przypadku docieplenia dachu, gdy do ogrzewania budynku zastosowany został olej, gaz i prąd, posługując się metodą SPBT można uznać, że opłacalność jest jeszcze zadowalająca, natomiast metoda NPV wskazuje jedynie na opłacalność docieplenia dachu grubością 18 cm izolacji przy ogrzewaniu energią elektryczną (NPV > 0). Kryterium decyzyjne dotyczące realizacji inwestycji przy metodzie SPBT (okres zwrotu) jest dosyć płynne i zależy od inwestora, natomiast przy metodzie NPV jest jednoznaczne – zysk/strata.

Rys. 1. Zależność oszczędności kosztów energii od grubości izolacji ścian zewnętrznych dla różnych nośników energii



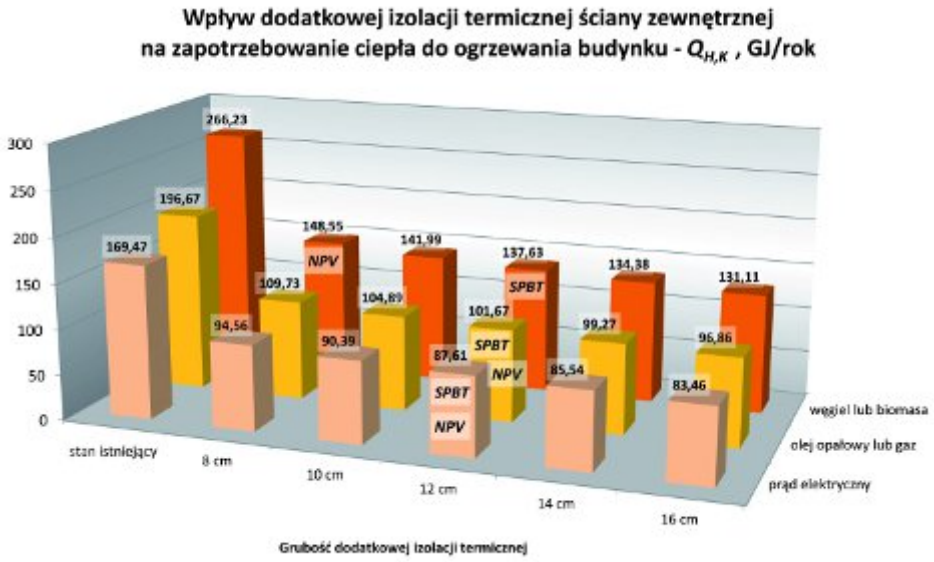
Rys. 2. Zależność oszczędności kosztów energii od grubości izolacji dachu dla różnych nośników energii



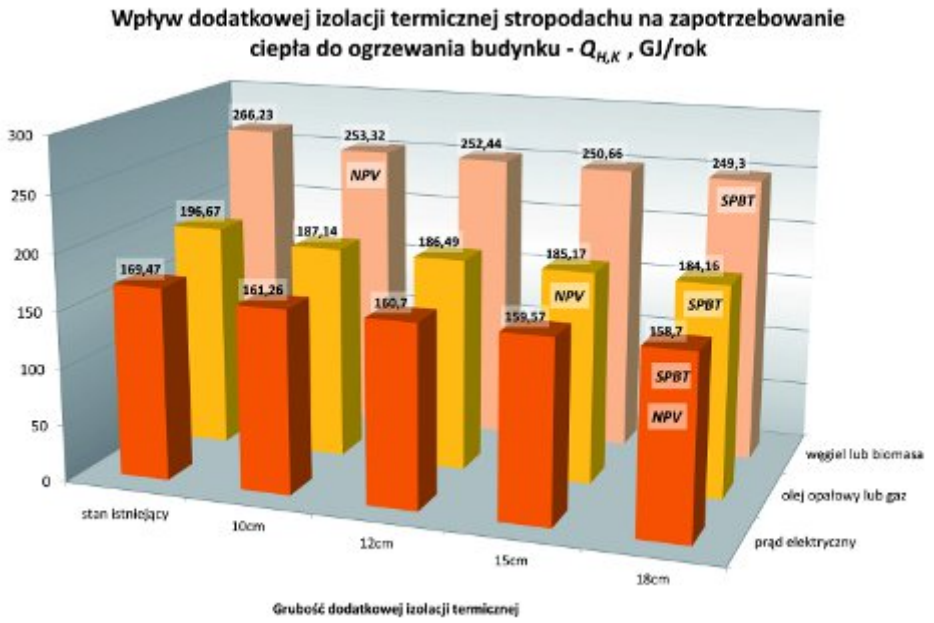
Wpływ termoizolacji na energooszczędność analizowanego budynku

Dla rozpatrywanych grubości dodatkowej izolacji termicznej wykonano obliczenia symulacyjne zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku. W obliczeniach uwzględniono również wpływ sprawności instalacji ogrzewania budynku dla różnych typów nośników energii, co przekładało się na zapotrzebowanie energii końcowej. Analizując obliczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku można zauważyć, że największy skok w oszczędności energii cieplnej uzyskujemy przy niskiej izolacyjności przegrody w stanie istniejącym (rys. 3). Spowodowane jest to tym, iż już niewielka grubość dodatkowej izolacji powoduje znaczny spadek strat ciepła przez przegrodę, a w konsekwencji zapotrzebowania na energię budynku. W przegrodzie o większej izolacyjności nawet duży przyrost grubości dodatkowej izolacji termicznej (rys. 4) nie zmienia znacząco zapotrzebowania na ciepło budynku, a tym samym nie polepsza jego energooszczędności.

Rys. 3. Zależności zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku od grubości izolacji ścian zewnętrznych o współczynniku przenikania ciepła U = 1,43 W/(m^{2}K)



Rys. 4. Zależności zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku od grubości izolacji dachu o współczynniku przenikania ciepła U = 0,32 W/(m^{2}K)



Podsumowanie

Energooszczędność budynku zależy od wielu czynników, do których na pewno należy zaliczyć stan izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych oraz efektywność wykorzystania ciepła do jego ogrzewania. Wymagania izolacyjności termicznej stale ulegają zaostrzeniu i idą w parze ze wzrostem cen energii wymuszając na projektantach coraz większe grubości izolacji termicznej. Jednak w budynkach istniejących, mających dużą izolacyjność przegród zewnętrznych nie zawsze docieplenie jest efektywne ekonomicznie. W takich przypadkach należy rozważyć indywidualnie czy poziom izolacyjności, cena energii i możliwości techniczne uzasadniają dodatkowe docieplenie. Efektywną grubość izolacji można obliczać również przy projektowaniu nowej przegrody, ustalając relację jej kosztu do oszczędności kosztów energii. Za przegrodę odniesienia można wówczas przyjąć przegrodę bez izolacji. Następnie obliczyć jej efektywną grubość, która musi jednocześnie spełnić obecne wymagania techniczne dotyczące izolacyjności termicznej.

Do oceny efektywnej grubości izolacji termicznej, która wpływa bezpośrednio na energooszczędność budynku najlepiej stosować metody dyskontowe, np. wartość bieżącą netto NPV, która jest bardziej obiektywna niż metoda prostego czasu zwrotu SPBT.

dr inż. Robert Stachniewicz
Politechnika Białostocka

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2013, poz. 926)
2. Behrens W., Hawranek P.M., *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*, UNIDO 1991
3. Ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych z dnia 18 grudnia 1998 roku (z późniejszymi zmianami)
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 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 (Dz.U. nr 43, poz. 346)
5. Sierpińska M., Jachna T., *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014