

METODY OCENY EFEKTYWNEJ GRUBOŚCI DOCIEPLANIA ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Robert STACHNIEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Dużą rolę przy określaniu efektywnej grubości izolacji termicznej ma przyjęta metoda oceny. Najczęściej spotykana prosta metoda oceny, na przykład *SPBT*, wskazuje na inne efektywne grubości niż metody wykorzystujące technikę dyskonta, na przykład *NPV*. Rozbieżności w efektywnej grubości wynikają przede wszystkim z faktu, iż metoda prosta *SPBT* zawęża okres rachunku do czasu zwrotu nakładów, natomiast metody dyskontowe obejmują rachunkiem ekonomicznym cały okres funkcjonowania inwestycji. Ponadto w artykule przeanalizowano wpływ cen 5 nośników energii na efektywną grubość izolacji termicznej w przykładowym domu jednorodzinnym. Efektywną grubość izolacji termicznej określono stosując prosty czas zwrotu *SPBT* i zaktualizowaną wartość netto *NPV*.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, termomodernizacja, efektywność inwestycji.

1. Wprowadzenie

Użytkowanie budynków jest nierozdzielnie związane ze zużyciem energii potrzebnej przede wszystkim do ich ogrzewania, ale również do normalnej eksploatacji. Stale wzrasta zapotrzebowanie na energię w budownictwie. Nie dotyczy to jedynie wznoszenia nowych budynków, ale przede wszystkim eksploatacji istniejących zasobów. Obecnie ze względu na zagrożenie wyczerpywania się zasobów naturalnych dąży się do oszczędności tej energii. Związane to jest głównie z aspektem ekonomicznym. Stale rosnące ceny surowców energetycznych powodują konieczność minimalizowania energii potrzebnej do ogrzewania budynków.

Wielkość konsumpcji energii w sektorze komunalno-bytowym zależy między innymi od wielkości i standardu energetycznego zasobów budowlanych. Chcąc polepszyć standard energetyczny istniejących zasobów konieczna jest ich termomodernizacja. Ponieważ wiąże się ona z poniesieniem kosztów finansowych, które dopiero w przyszłości będą przynosić efekty w postaci oszczędności eksploatacyjnych, dobrze jest aby była ona prawidłowo zaplanowana i wykonana. Temu celowi służyć może audyt energetyczny budynku, w którym oprócz analizy energetycznej stanu istniejącego wykonywana jest szczegółowa analiza efektywności możliwych do wykonania zabiegów termomodernizacyjnych, w tym docieplenia przegród zewnętrznych. W chwili obecnej analizy efektywności

wykonywane w audytach energetycznych oparte są na prostej metodzie oceny stosującej jako kryterium wyboru minimalizację wartości prostego czasu zwrotu *SPBT* według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 roku 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 z 2009 r., poz. 346). Metoda ta, choć prosta w interpretacji nie jest jedyną metodą oceny efektywności zastosowanych przedsięwzięć termomodernizacyjnych. Jedną z często stosowanych metod oceny efektywności jest metoda oparta na kryterium wartości bieżącej netto *NPV*, która wykorzystuje technikę dyskonta.

W artykule przeanalizowano czy i w jakim stopniu zmieniają się efektywne grubości docieplenia przegród zewnętrznych w przykładowym jednorodzinnym budynku mieszkalnym w zależności od przyjętej metody oceny.

2. Wpływ przyjętej metody oceny opłacalności inwestycji na efektywną grubość izolacji termicznej w przykładowym budynku jednorodzinnym

2.1. Opis budynku poddawanego analizie

Na potrzeby analizy efektywnej grubość izolacji termicznej w zależności od przyjętej metody oceny,

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: r.stachniewicz@pb.edu.pl

posłużono się jednorodnym budynkiem mieszkalnym, wykonanym w latach 70, położonym w Białymstoku. Jest to budynek parterowy z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczony. Ściany zewnętrzne są murowane z cegły pełnej grubości 38 cm na zaprawie cementowo-wapiennej. Stolarka okienna i drzwiowa jest drewniana – okna dwuszybowe. Więźba dachowa jest drewniana z dachem dwuspadowym. Powierzchnia użytkowa budynku wynosi 175,5 m².

Współczynniki przenikania ciepła U przegród zewnętrznych w budynku wynoszą:

- ściany – 1,43 W/(m²·K),
- dach – 0,32 W/(m²·K),
- okna – 3,0 W/(m²·K),
- podłoga na gruncie – 0,27 W/(m²·K) dla I strefy i 0,21 W/(m²·K) dla II strefy.

Przegrody zewnętrzne nie spełniają obecnych wymagań stawianych współczynnikiem przenikania ciepła U według rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku dotyczącego warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75 z 2008r., poz. 690 z późn. zm.).

Zgodnie z wyżej wymienionym rozporządzeniem budynkom jednorodnym stawia się alternatywnie wymagania odnośnie wskaźników zapotrzebowania na energię pierwotną. W przedmiotowym budynku wskaźnik ten wynosi 234,67 kWh/(m²·rok) i wynika z niedostatecznej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych.

Ciepło do ogrzewania budynku dostarczane jest z kotła węglowego o mocy 25 kW, jednakże możliwe jest zastosowanie (po modernizacji kotłowni) innych nośników energii takich jak biomasa (drewno), olej opałowy, gaz ziemny GZ-50 oraz prąd elektryczny.

2.2. Przyjęte metody oceny efektywnej grubości izolacji termicznej

Przy ocenie efektywności (opłacalności) inwestycji modernizacyjnych można posłużyć się metodami prostymi, dyskontowymi lub wielokryterialnymi nie opartymi na wysokości nakładów inwestycyjnych. Do metod prostych można zaliczyć między innymi stopę zwrotu nakładów ROI (*Return on the Investment*), przeciętną stopę zwrotu ARR (*Accounting Rate of Return*) lub najczęściej stosowaną metodę prostego czasu zwrotu $SPBT$ (*Simple Pay Back Time*). Ogólnie w metodach tych wykorzystywana jest prosta relacja zysku lub możliwych oszczędności, które powstają na skutek realizacji przedsięwzięcia i nakładów potrzebnych do jego wykonania. W metodach dyskontowych takich jak wartość bieżąca netto NPV (*Net Present Value*) czy wewnętrzna stopa zwrotu IRR (*Internal Rate of Return*) lub też metodzie optymalnego kosztu globalnego (Behrens i Hawranek, 1991; Sierpińska i Jachna, 2007; Rogowski, 2008; Dziennik Urzędowy UE Nr L 81), które uwzględniają wpływ czasu na opłacalność zabiegów.

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 na przykład w rozporządzeniach wykonawczych do Ustawy termomodernizacyjnej (Dz. U. nr 43 z 2009 r., poz. 346), druga jest metodą dyskontową oceniającą przedsięwzięcie (projekt inwestycyjny) w całym okresie jego funkcjonowania.

Prosty czas zwrotu nakładów $SPBT$ jest nieskomplikowaną metodą statyczną. Określany jest jako czas niezbędny do odzyskania nakładów początkowych, poniesionych na realizację przedsięwzięcia.

Wartość $SPBT$ określa się na podstawie poniższego wzoru:

$$SPBT = \frac{N_U}{\Delta O_{r.c.o.}} \text{ [lata]} \quad (1)$$

gdzie: N_U jest planowanym kosztem robót związanych ze zmniejszeniem strat ciepła przez przenikanie dla całkowitej powierzchni wybranej przegrody wyrażone w zł, a $\Delta O_{r.c.o.}$ jest roczną oszczędnością kosztów energii wynikającą z zastosowania usprawnienia termomodernizacyjnego wyrażona w zł/rok.

Metoda prostego czasu zwrotu nakładów opisuje opłacalność inwestycji w sposób uproszczony, ponieważ nie uwzględnia całego okresu funkcjonowania przedsięwzięcia. Dlatego metoda ta służy raczej do wykonywania wstępnych ocen efektywności ekonomicznej rozpatrywanych przedsięwzięć, głównie na etapie studiów przedrealizacyjnych. Stosując to kryterium oceny 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.

Najbardziej precyzyjnym narzędziem oceny efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych są metody oparte na technice dyskonta. Uwzględniają one, w przeciwieństwie do prostych metod oceny, rozłożenie w czasie przewidywanych wpływów i wydatków związanych z badaną inwestycją. Służy temu wykorzystanie tak zwane dyskonta, które pozwala sprowadzić do porównywalności nakłady i efekty realizowane w różnych okresach czasu przy określonej stopie dyskonta i . Określenie ich wartości bieżącej, to jest zaktualizowanej na moment przeprowadzenia oceny, stanowi podstawę dalszego wnioskowania.

Podstawową metodą wykorzystującą dyskonto jest wartość bieżąca netto NPV . Pozwala ona określić różnicę pomiędzy obecną wartością wpływów i wydatków finansowych związanych z realizacją ocenianego przedsięwzięcia. Wyraża ona zatem, zaktualizowaną na moment dokonywania oceny, wielkość korzyści, jakie może przynieść rozpatrywane przedsięwzięcie inwestycyjne. NPV określa się jako sumę zdyskontowanych oddzielnie dla każdego roku przepływów pieniężnych netto zrealizowanych w całym

okresie objętym rachunkiem, przy stałym poziomie stopy dyskontowej według wzoru:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Delta O_{r.c.o.t}}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{n_1} \frac{J_t}{(1+i)^t} \quad [\text{zł}] \quad (2)$$

gdzie: $\Delta O_{r.c.o.t}$ jest oszczędnością kosztów energii w roku t wyrażona w zł, J_t jest nakładem inwestycyjnym wyrażonym w zł, i jest stopą dyskontową, n jest okresem eksploatacji budynku, a n_1 okresem ponoszonych nakładów inwestycyjnych.

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.

2.3. Przyjęte założenia

Do analiz efektywności przy wykorzystaniu techniki dyskonta przyjęto jego wielkość na podstawie wzoru (3) na tak zwaną realną stopę dyskontową, uzależnioną od średniej rocznej stopy inflacji oraz średniej stopy oprocentowania kredytów termomodernizacyjnych.

$$i = \frac{i_{kred} - i_{inf}}{1 + i_{inf}} \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie: i_{kred} jest oprocentowaniem kredytu długoterminowego, a i_{inf} jest stopą inflacji.

Przyjęty w obliczeniach okres oceny efektywności docieplenia n i n_1 wynosi 15 lat. Zakładany okres jest zalecany do rozpatrywania inwestycji termomodernizacyjnych.

Przy założeniu oprocentowania kredytów długoterminowych (na przykład kredyty termomodernizacyjne) na poziomie 8% i średniej stopy inflacji na poziomie średnio 4% rocznie, obliczona realna stopa dyskonta wynosi 3,85%. Taką stopę dyskonta przyjęto w dalszej części referatu do określenia efektywnej grubości izolacji przy pomocy metody dyskontowej NPV .

Aby poszerzyć analizę efektywnej grubości izolacji do obliczeń oszczędności eksploatacyjnych wprowadzono różne nośniki energii, które mogą być użyte po modernizacji kotłowni: drewno (biomasa), węgiel, olej opałowy, gaz ziemny i prąd elektryczny.

Ilość ciepła potrzebna do ogrzewania analizowanego domu jednorodzinnego w standardowym sezonie grzewczym obliczona została programem Arcadia-termo. Ciepło do ogrzewania z uwzględnieniem sprawności składowych systemu grzewczego obliczono ze wzoru (4).

$$Q_{0,1co} = w_{t0,1} \cdot w_{d0,1} \cdot Q_{0,1netto} / \eta_{0,1} \quad [\text{GJ/rok}] \quad (4)$$

gdzie: $Q_{0,1co}$ jest zapotrzebowaniem na energię cieplną brutto, przed (indeks „0”) i po (indeks „1”) usprawnieniu termomodernizacyjnym wyrażoną w GJ/rok, $\eta_{0,1}$ jest

całkowitą sprawnością systemu grzewczego przed i po modernizacji, $w_{t0,1}$ to współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie tygodnia, które przyjmuje się z rozporządzenia (Dz. U. nr 43 z 2009 r., poz. 346), $w_{d0,1}$ to współczynniki uwzględniające przerwy w ogrzewaniu w okresie doby przyjmuje się z rozporządzenia, a $Q_{0,1netto}$ jest zapotrzebowaniem netto na ciepło do ogrzewania przed i po usprawnieniu termomodernizacyjnym w GJ/rok.

Przyjęta sprawność systemu grzewczego η jest różna w zależności od źródła ciepła i nośników energii (tab. 1).

Tab. 1. Sprawności systemu grzewczego w zależności od nośnika ciepła

Rodzaje nośników energii	η_w	η_p	η_r	η_e	η_0, η_1	$w_{t0,1}, w_{d0,1}$
drewno (biomasa)	0,65	0,95	0,95	0,95	0,557	1,0
węgiel	0,65	0,95	0,95	0,95	0,557	1,0
olej opałowy	0,88	0,95	0,95	0,95	0,754	1,0
gaz	0,88	0,95	0,95	0,95	0,754	1,0
prąd elektryczny	0,97	0,95	1,0	0,95	0,875	1,0

Po określeniu zapotrzebowania na ciepło w budynku, przy uwzględnieniu cen O_z danego nośnika ciepła, obliczono roczną oszczędność kosztów ogrzewania po dociepleniu ścian zewnętrznych i dachu (dla każdego z osobna) posługując się wzorem (5).

$$\Delta O_{r.c.o.} = \frac{w_{t0} \cdot w_{d0} \cdot Q_{0c.o.}}{\eta_0 - w_{t1} \cdot w_{d1} \cdot Q_{1c.o.}} \cdot O_z \quad [\text{zł/rok}] \quad (5)$$

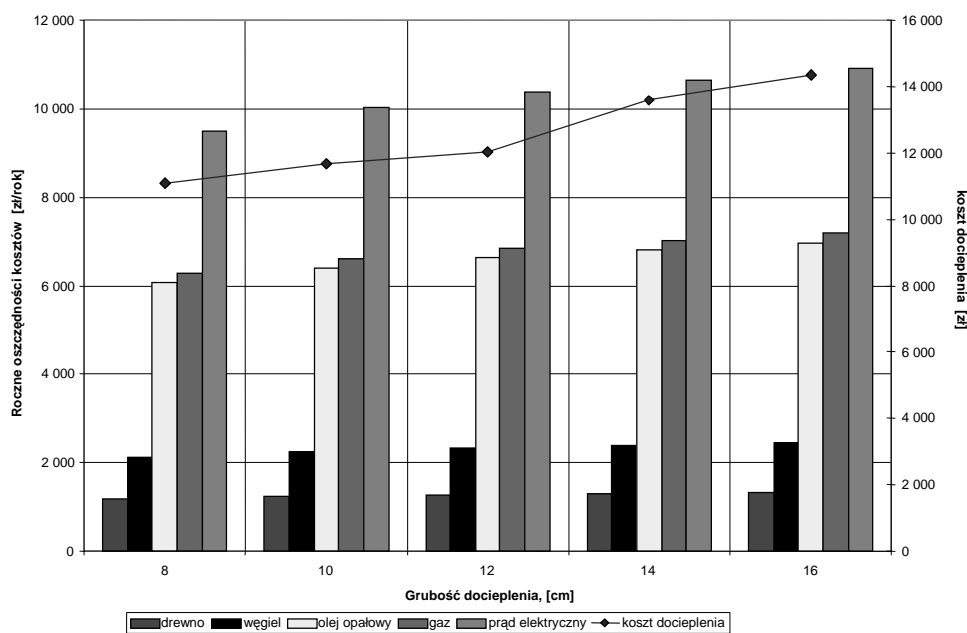
Następnie z zależności (6) określone zostały koszty docieplenia ścian zewnętrznych (metoda BSO tak zwana „lekka-mokra” przy użyciu płyt ze styropianu Knauf EPS 70-040 Fasada, gęstość objętościowa 15 kg/m³, 150 zł/m³, koszt stały) i dachu budynku (ocieplenie wełną mineralną ISOVER, gęstość objętościowa 20 kg/m³, 120 zł/m³).

$$N_U = A \cdot (d \cdot m + w) \quad [\text{zł}] \quad (6)$$

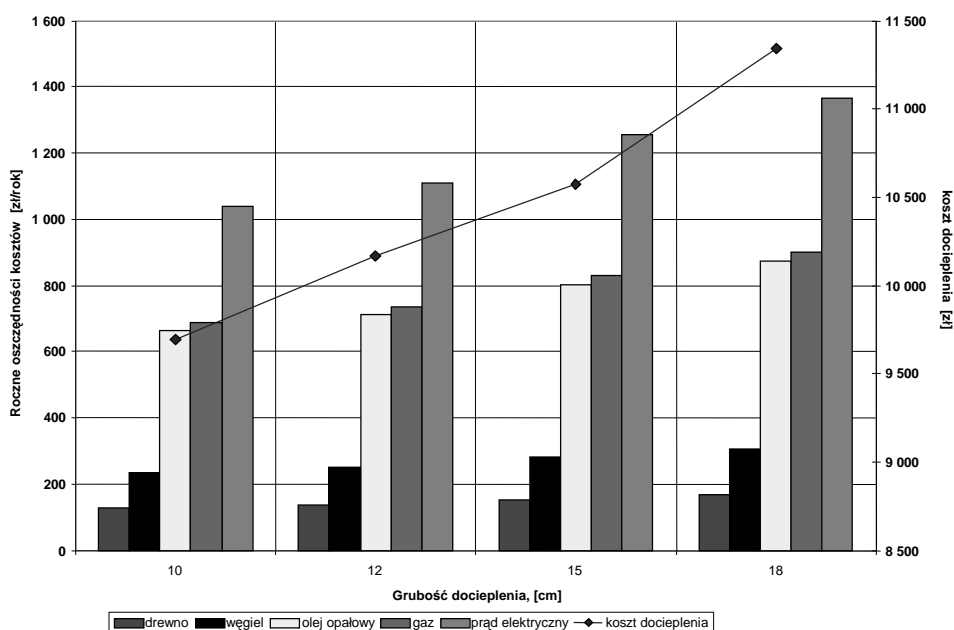
gdzie: m jest kosztem materiału użytego do termomodernizacji w zł/m³, d jest grubością docieplenia w m, w jest kosztem wykonania docieplenia w zł/m² (ściana – 80 zł/m², dach – 40 zł/m²), a A jest powierzchnią docieplaną przegrody wyrażoną w m².

2.4. Wyniki obliczeń i analiza

Wyniki obliczeń oszczędności eksploatacyjnych otrzymanych przy zastosowaniu równania (5) oraz wielkości nakładów eksploatacyjnych według wzoru (6) zamieszczono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Oszczędność kosztów ogrzewania dla różnych nośników ciepła przy dociepleniu ścian zewnętrznych metodą BSO (lekka-mokra)



Rys. 2. Oszczędność kosztów ogrzewania dla różnych nośników ciepła przy dociepleniu dachu

Po obliczeniu oszczędności kosztów ogrzewania budynku po dociepleniu ścian zewnętrznych i dociepleniu dachu oraz ustaleniu nakładów na termomodernizację tych przegród, korzystając ze wzorów (1) i (2) określono wartości *SPBT* i *NPV* dla wybranych grubości docieplenia.

W tablicach 2 i 3 wyłuszczone zostały wartości najbardziej efektywne ekonomicznie według kryterium *SPBT* i *NPV* odpowiadające określonym grubościom izolacji. Można zauważyć, zróżnicowanie efektywnych grubości izolacji w przypadku stosowania przy ocenie kryterium *NPV* (szczególnie przy dociepleniu dachu). Stosując kryterium *SPBT* otrzymujemy jedną wartość

efektywnej grubości dodatkowej izolacji termicznej, niezależnie nawet od stosowanego nośnika energii. Różnica w efektywnych grubościach dodatkowej izolacji wynika z faktu, iż metoda dyskontowa *NPV* obejmuje przy ocenie cały okres funkcjonowania przedsięwzięcia, a nie zawęża się tylko do czasu zwrotu nakładów jak to ma miejsce w metodzie *SPBT*. Jedynie przy najdroższym nośniku energii (prąd elektryczny) i niskim współczynniku przenikania ciepła dla dachu ($U = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) obydwie metody dają jednakową efektywną grubość izolacji termicznej równą 18 cm.

Tab. 2 Wartości *SPBT* i *NPV* przy dociepleniu ścian zewnętrznych

Grubość docieplenia d [cm]	Nośnik energii				
	drewno (biomasa)	węgiel	olej opałowy	gaz	energia elektryczna
<i>SPBT</i>					
8	9,61	5,23	1,83	1,78	1,17
10	9,45	5,14	1,802	1,746	1,152
12	9,46	5,15	1,805	1,748	1,154
14	9,55	5,20	1,82	1,76	1,16
16	9,63	5,24	1,84	1,78	1,18
<i>NPV</i>					
8	971	11104	52305	54367	88083
10	1225	11924	55416	57593	93189
12	1254	12328	57345	59599	96451
14	1168	12521	58677	60987	98774
16	1085	12720	60014	62382	101111

Tab. 3. Wartości *SPBT* i *NPV* przy dociepleniu dachu

Grubość docieplenia d [cm]	Nośnik energii				
	drewno (biomasa)	węgiel	olej opałowy	gaz	energia elektryczna
<i>SPBT</i>					
10	76,35	41,54	14,57	14,11	9,32
12	74,91	40,77	14,30	13,85	9,15
15	69,03	37,57	13,17	12,76	8,43
18	68,08	37,06	12,99	12,58	8,31
<i>NPV</i>					
10	-8369	-7257	-2743	-2517	1176
12	-8747	-7560	-2737	-2496	1449
15	-8974	-7634	-2185	-1912	2534
18	-9602	-8144	-2215	-1919	2920

Poza tym obydwie metody nie dają jednakowych wniosków, co do opłacalności inwestycji. 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 na opłacalność docieplenia dachu grubością 18 cm izolacji jedynie przy ogrzewaniu energią elektryczną ($NPV > 0$).

3. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych powyżej rozważań można stwierdzić, że:

- metody dyskontowe dają bardziej realne wyniki, ponieważ obejmują cały okres funkcjonowania inwestycji termomodernizacyjnej, co wpływa na występowanie w budynku różnicy w efektywnych grubościach izolacji termicznej (ściany 10 cm do 12 i 16 cm);

- oprócz cen nośnika energii duże znaczenie dla efektywności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego odgrywa również wartość początkowa współczynnika przenikania ciepła U przegrody; efektywność ta jest tym większa, im większa jest wartość współczynnika przenikania ciepła U docieplanej przegrody.

Literatura

- Behrens W., Hawranek P. M. (1991). Manual for the preparation of industrial feasibility studies Newly revised and expanded edition. *UNIDO United Nations Industrial Development Organization*. Vienna.
- Rogowski W. (2008). Rachunek efektywności inwestycji. *Oficyna ekonomiczna Wolters Kluwer Polska*. Warszawa.
- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących

charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków. *Dziennik Urzędowy UE Nr L 81*.
Sierpiska M., Jachna T. (2007). Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.

METHODS OF ESTIMATION OF THE EFFECTIVE THICKNESS OF INSULATING OUTER WALLS

Abstract: The applied method of the judgement plays a vital role in case of the determination of effective thickness of thermal isolation. Simple methods (such as *SPBT - Simple Pay Back Time*) point at other effective thicknesses than the methods

making use of the discount technique (for example *NPV – Net Present Value*). The effective thickness of thermal isolation calculated with the simple method (*SPBT*) will be different from the second one, calculated with the method *NPV*. It results from the fact that the calculations making use of the *SPBT* method include solely the period of the expenses refund. On the other hand the calculations making use of the discount technique involve the whole period of the investment duration. Additionally in the report the influence of five kinds of fuel on effective thickness of thermal insulation in the hypothetical cottage has been analysed. The effective thickness of thermal insulation was determined applying the criterion simple payback time *SPBT* and net present value *NPV*.