

# AUDYT EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ TERMOMODERNIZACJI BUDYNKU MIESZKALNEGO JEDNORODZINNEGO

Streszczenie

*Dla przykładowego budynku mieszkalnego, który został poddany termomodernizacji wyznaczono charakterystykę techniczno-ekonomiczną, zgodnie z zapisami rozporządzenia ministra gospodarki dotyczącego audytu efektywności energetycznej. Obliczeniami objęto wszystkie przegrody budynku, które zostały poddane działaniom termomodernizacyjnym. Na podstawie obliczeń oszacowano, że na skutek podjętych zabiegów modernizacyjnych sezonowa oszczędność energii cieplnej może wynieść ok. 48% w stosunku do stanu, jaki był przed termomodernizacją. Przeprowadzona analiza ekonomiczna wykazała, że poniesione nakłady inwestycyjne na termomodernizację obiektu zwrócą się po 15 latach eksploatacji, a zatem podjęte działania są ekonomicznie uzasadnione.*

**Słowa kluczowe:** budynek mieszkalny, termomodernizacja, audyt efektywności energetycznej

## Wprowadzenie

Zgodnie z ustawą z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej [10], określenie efektywności energetycznej oznacza stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu.

Na podstawie art. 28 ust. 6 ww. ustawy w dniu 10 sierpnia 2012 r. weszło w życie rozporządzenie ministra gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii [5].

W myśl rozporządzenia sporządzony audyt przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej, obejmuje:

1. Wskazanie dopuszczalnych, ze względów technicznych i ekonomicznie uzasadnionych rodzajów i wariantów realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej, z uwzględnieniem zastosowania różnych technologii.
2. Szczegółowy opis planowanych usprawnień w ramach poszczególnych rodzajów i wariantów realizacji przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej.
3. Wskazanie możliwej do uzyskania oszczędności energii, wraz z oceną opłacalności ekonomicznej każdego z możliwych do zrealizowania przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej, w szczególności:
  - przyjęte założenia i źródła danych zastosowanych do obliczeń oszczędności energii,
  - sposób wykonania analiz danych, metod obliczeniowych i zastosowanych modeli matematycznych oraz szczegółowy opis wzorów, wskaźników i współczynników użytych w tych obliczeniach,
  - ocenę opłacalności ekonomicznej poszczególnych rodzajów i wariantów realizacji przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej, zawierającą w szczególności: rodzaje kosztów inwestycyjnych, przyjętych aktualnych i prognozowanych cen paliw lub energii oraz przewidywany okres zwrotu inwestycji.

W załączniku do rozporządzenia wskazano przedsię-

wzięcia służące poprawie efektywności energetycznej, dla których może być sporządzany audyt efektywności energetycznej w sposób uproszczony - są nimi m.in.: działania termomodernizacyjne budynków mieszkalnych (jedno- i wielorodzinnych) oraz użyteczności publicznej. W załączniku zamieszczono formuły umożliwiające obliczenie oszczędności energii dla modernizacji przegród budowlanych takich jak: ocieplenie ściany zewnętrznej, dachu lub stropodachu, ocieplenie stropu pod nieogrzewanym poddaszem, ocieplenie stropu nad piwnicą oraz modernizacji lub wymiany stolarki okiennej. Obliczenia cieplne wykonane na podstawie tych formuł pozwolą określić potencjał oszczędności energii oraz stanowią podstawę do analizy opłacalności ekonomicznej przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Dlatego celem pracy było sporządzenie audytu efektywności energetycznej termomodernizacji dla przykładowego budynku jednorodzinnego zlokalizowanego na obszarach wiejskich, zgodnie z wytycznymi zawartymi w rozporządzeniu oraz wykonanie analizy ekonomicznej opłacalności zastosowania poszczególnych wariantów ocieplenia, takich jak modernizacja przegród zewnętrznych, stropu pod poddaszem, stropu nad piwnicami oraz wymiana okien.

## Przedmiot badań

Przedmiotem badań był wolnostojący jednorodzinny budynek mieszkalny (rys. 1) oddany do użytkowania w 1973 roku, który zlokalizowany jest w Małopolsce na terenie powiatu krakowskiego (III strefa klimatyczna). Budynek posiada wentylację naturalną i ogrzewany jest systemem centralnego ogrzewania (obieg grawitacyjny) z kotłem komorowym - rusztowym (z nadmuchem) na paliwo stałe. Ciepło do pomieszczeń jest przekazywane za pośrednictwem grzejników ogniowych żeliwnych (z regulacją ręczną), a przewody rozprowadzające są dobrze izolowane. Sezonowe zużycie opału (węgiel orzech II) wynosiło średnio ok. 8,5 Mg ± 0,5 Mg oraz ok. 0,5 m<sup>3</sup> drewna. Na tej podstawie obliczono zużycie energii (przyjmując wartość opałową węgla Wu = 25 GJ/Mg oraz dla drewna Wu = 15 GJ/Mg), które wynosiło ok. 216 GJ/rok. Obliczone sezonowe zużycie energii zgodnie z [2] dla warunków sezonu standardowego (stacja klimatyczna Kraków Balice) wynosi 232 GJ/rok. Podstawowe dane obiektu zamieszczono w tab. 1.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Analizowany budynek mieszkalny jednorodzinny przed i po termomodernizacji  
Fig. 1. Residential building before and after thermal modernization

Tab. 1. Wymiary charakterystyczne analizowanego obiektu  
Table 1. The characteristic dimensions of the analyzed object

Powierzchnia ogrzewana $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Kubatura ogrzewanej części budynku $V$ [m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik zwartości budynku $A/V$ [-]	Powierzchnia ścian zewnętrznych $A_{psc}$ [m <sup>2</sup> ]	Powierzchnia stropu pod nieogrzewanym poddaszem $A_{p_{pod}}$ [m <sup>2</sup> ]	Powierzchnia stropu nad piwnicą $A_{p_{piw}}$ [m <sup>2</sup> ]	Powierzchnia okien $A_{ok}$ [m <sup>2</sup> ]
150,4	391	1,1	238,02	60,8	110,41	18,87

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Tab. 2. Współczynniki przenikania ciepła przed i po termomodernizacji budynku  
Table 2. Heat transfer coefficients before and after thermal modernization of the building

Wyszczególnienie	Współczynnik przenikania ciepła [W/m <sup>2</sup> ·K]			
	Ściana zewnętrzna	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Okna
Stan przed termomodernizacją $U_0$	0,67	1,12	1,17	1,8
Stan po termomodernizacji $U_1$	0,25	0,18	0,46	1,3

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Budynek został poddany kompleksowej termomodernizacji w roku 2015. Termomodernizacja polegała na dociepleniu ścian zewnętrznych metodą lekką moką (styropian o grubości 10 cm, współczynnik przewodności cieplnej materiału izolacyjnego  $\lambda = 0,04$  W/m·K), dociepleniu stropu pod poddaszem (wełna mineralna o grubości 20 cm, współczynnik przewodności cieplnej materiału izolacyjnego  $\lambda = 0,042$  W/m·K), dociepleniu stropu nad piwnicą (styropian o grubości 5 cm, współczynnik przewodności cieplnej materiału izolacyjnego  $\lambda = 0,038$  W/m·K) oraz wymianie okien (okna PVC z szybą zespoloną o całkowitym współczynniku przenikania ciepła  $U = 1,3$  W/m<sup>2</sup>·K). Grubości warstw materiałów izolacyjnych dobrano w ten sposób, aby wartości współczynnika przenikania ciepła dla przegród (oraz okien) spełniały warunek  $U_{max}$  zgodnie z zapisami zawartymi w WT2014 [6]. Wyniki obliczeń

współczynników przenikania ciepła przed i po termomodernizacji wyliczonego zgodnie z PN-EN ISO 6946 [4] zestawiono w tab.1 i 2.

### Ocena potencjału zaoszczędzonej energii

Dane zawarte w tab. 1 i 2 posłużyły do oszacowania ilości zaoszczędzonej energii, którą dla modernizacji ściany zewnętrznej, stropu pod nieogrzewanym poddaszem oraz stropu nad nieogrzewaną piwnicą obliczono wg wzoru 1, natomiast w przypadku wymiany stolarki okiennej posłużono się wzorem 2. Współczynniki przeliczeniowe oraz korekcyjne przyjęto zgodnie z zapisami zawartymi w [5]. Wyniki obliczeń ilości zaoszczędzonej energii finalnej dla poszczególnych przegród zestawiono w tab. 3.

Tab. 3. Ilość zaoszczędzonej energii finalnej  
Table 3. The amount of saved final energy

Wyszczególnienie	Ilość zaoszczędzonej energii finalnej $\Delta Q_n$ [GJ/rok]				
	Ściana zewnętrzna	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Okna	Razem
Typ przegrody	49,5	21,5	16,5	20,6	108,1
Udział %	46	20	15	19	100

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

$$\Delta Q_0 = \frac{W_i \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot A_p \cdot \left( U_0 - \frac{1}{\frac{1}{U_0} + \frac{1}{d}} \right)}{\eta_t}, \quad (1)$$

$$\Delta Q_{0k} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot A_{ok} \cdot [0,336 \cdot (U_{0ok} - U_{1ok}) + 0,57]}{\eta_t}, \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta Q_0, \Delta Q_{0k}$  - ilość zaoszczędzonej energii finalnej, [GJ/rok],

$W_i$  - współczynnik przeliczeniowy [5]: 0,3356 - ocieplenie ściany zewnętrznej, dachu lub stropodachu, 0,2517 - ocieplenie stropu pod nieogrzewanym poddaszem, 0,1426 - ocieplenie stropu nad piwnicą,

$k_1$  - współczynnik ostrości klimatu,  $k_1=0,97$  [5],

$k_2$  - współczynnik korekcyjny w zależności od wielkości średniej temperatury pomieszczenia ogrzewanego,  $k_2=0,1$  [5],

$k_3$  - współczynnik zmniejszający ze względu na korektę rzeczywistych warunków klimatycznych,  $k_3=0,90$  [5],

$A_p$  - powierzchnia ocieplonej przegrody (ściany zewnętrznej) przed wykonaniem ocieplenia, [m<sup>2</sup>],

$A_{ok}$  - powierzchnia okien poddawanych termomodernizacji, [m<sup>2</sup>],

$U_0$  - współczynnik przenikania ciepła w stanie istniejącym, [W/m<sup>2</sup>·K] wg [4],

$U_{0ok}$  - współczynnik przenikania ciepła okna zewnętrznego w stanie istniejącym, [W/m<sup>2</sup>·K],

$U_{1ok}$  - współczynnik przenikania ciepła okna zewnętrznego po modernizacji, [W/m<sup>2</sup>·K],

$d$  - grubość dodatkowej warstwy ocieplenia, [m],

$\lambda$  - współczynnik przewodności cieplnej materiału izolacyjnego, [W/m·K] wg [3],

$\eta_t$  - całkowita sprawność systemu grzewczego (kotłownia z kotłem na paliwo stałe  $\eta_t=0,59$ ) [5].

### Wskaźniki efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

Ocena konkretnego rozwiązania powinna opierać się na obiektywnych kryteriach. Powszechnie uważa się, że takim kryterium jest nadwyżka efektów nad nakładami [7, 8]. Analizę ekonomiczną wykonano w oparciu o złożone metody oceny inwestycji rzeczowych, oparte na stopie procentowej (dyskontowej), uwzględniające zmianę wartości pieniądza w czasie. Metodami tymi są:

- koszt zaoszczędzonej energii CCE (*Cost of Conserved Energy*).

Jeżeli koszt zaoszczędzonej energii jest mniejszy lub równy cenie płaconej za energię, istnieją przesłanki, że inwestycja jest opłacalna.

$$CCE = \frac{NI \cdot \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}}{\Delta Q_0} \quad [\text{zł/GJ}], \quad (3)$$

- dyskontowany okres zwrotu nakładów PBP (*pay-back period*).

Tab. 4. Zestawienie danych wejściowych do obliczeń ekonomicznych

Table 4. Specification of the input data to economic calculations

Wyszczególnienie	Ściana zewnętrzna	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Okna	Razem
Jednostkowy koszt wykonania termomodernizacji (brutto) [zł/m <sup>2</sup> ]	85	72	63	418	-
NI [tys. zł]	20,2	4,4	69	7,8	39,3
WRK [tys. zł]	1,51	0,65	0,51	0,62	3,29

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Okres czasu, w którym dyskontowane przepływy pieniężne pokrywają poniesione nakłady inwestycyjne. Dyskontowany okres zwrotu nakładów uwzględnia zmienną wartość zainwestowanej kwoty w czasie:

$$PBP = \frac{\ln \left[ \frac{1}{1 - \left( \frac{NI}{WRK} \right) \cdot i} \right]}{\ln(1+i)} \quad [\text{lata}], \quad (4)$$

gdzie:

NI - nakłady inwestycyjne (koszt wykonania termomodernizacji materiał plus robocizna) [tys. zł],

t - kolejny rok użytkowania,

i - stopa dyskonta 3% [9],

n - 1..25 kolejny rok kosztów (n=25 zakładana ilość lat cyklu życia),

WRK - wartość rocznych korzyści [tys. zł],

$\Delta Q_0$  - roczna oszczędność energii [GJ].

Wielkość nakładów inwestycyjnych (NI) została oszacowana na podstawie faktur VAT za wykonane prace, które zostały udostępnione przez inwestora. Na tej podstawie określono koszty jednostkowe termomodernizacji poszczególnych elementów budynku. Wartość rocznych korzyści (WRK) obliczono jako iloczyn kosztu jednostki energii wykorzystanej do ogrzewania  $c_e$  (30,5 zł/GJ [1]) i rocznej oszczędności energii  $\Delta Q_0$  (obliczonej wg wzorów 1 i 2). Otrzymane wartości zestawiono w tab. 4. Całkowite nakłady inwestycyjne na termomodernizację analizowanego budynku wyniosły ok. 39 tys. zł, a wartość rocznych korzyści związanych z ograniczeniem zużycia energii na ogrzewanie mogą wynieść ok. 3,3 tys. zł rocznie.

Przeprowadzone obliczenia w oparciu o wskaźniki oceny ekonomicznej pozwoliły określić opłacalność poszczególnych zabiegów termomodernizacyjnych służących poprawie efektywności energetycznej budynku. Wyniki przeprowadzonych analiz ekonomicznych dla poszczególnych przegród budynku, które zostały poddane termomodernizacji zestawiono w tab. 5.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że podjęte działania termomodernizacyjne są uzasadnione ekonomicznie świadczą o tym pozytywne wartości wskaźników oceny. Największą oszczędność uzyskano w wyniku docieplenia stropu pod nieogrzewanym poddaszem - w tym przypadku koszt zaoszczędzonej energii jest najniższy i wynosi ok. 12 zł/GJ, a nakłady poniesione na modernizację stropu zwrócą się po 8 latach. Nakłady inwestycyjne poniesione na ocieplenie pozostałych przegród zwrócą się w ciągu 16-18 lat. Analizując termomodernizację budynku jako działanie kompleksowe można stwierdzić, że koszt poniesiony na zaoszczędzenie energii (CCE) wynosi ok. 21 zł/GJ, a poniesione nakłady zwrócą się (PBP) już po 15 latach eksploatacji.



Tab. 5. Wyniki analizy ekonomicznej  
Table 5. The results of the economic analysis

Wyszczególnienie	Ściana zewnętrzna	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Okna	Budynek liczony jako całość
CCE [zł/GJ]	23,47	11,69	24,21	21,99	20,88
PBP [lata]	17	8	18	16	15

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

## Podsumowanie

Dla przykładowego budynku mieszkalnego jednorodzinnego wykonano audyt efektywności energetycznej wykonanej termomodernizacji. Audyt obejmował obliczenie ilości zaoszczędzonej energii, jak również analizę opłacalności ekonomicznej podjętych działań zgodnie z wytycznymi zawartymi w rozporządzeniu ministra gospodarki o efektywności energetycznej. Obliczeniami objęto poszczególne przegrody takie jak: ściany zewnętrzne, stropy (pod poddaszem i nad piwnicami) oraz okna, które zostały poddane działaniom termomodernizacyjnym. Szacuje się, że na skutek podjętych zabiegów modernizacyjnych sezonowa oszczędność energii może wynieść ok. 108 GJ (co daje oszczędność ok. 48% w stosunku do stanu przed termomodernizacją). Przeprowadzona analiza ekonomiczna wykazała, że podjęte działania są opłacalne, o czym świadczy zarówno wartość wskaźnika CCE - kosztu zaoszczędzonej energii wynoszącego ok. 21 zł/GJ (a zatem niższym od kosztu energii, który wynosi 30,5 zł/GJ), jak również wskaźnika PBP, który wykazał, że poniesione nakłady inwestycyjne na termomodernizację obiektu zwrócą się po 15 latach eksploatacji.

## Bibliografia

- [1] Dworecki Z., Adamski M., Pilarski K., Pilarska A., Rybacki P.: Koszty energii z różnych źródeł wykorzystywanej do ogrzewania i napędu pojazdów. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2015, 5, 3-5.
- [2] PN-EN ISO 13790:2008 Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia.
- [3] PN-EN ISO 10456:2009 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.
- [4] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii. (Dz.U. z 2012 r. Poz. 962).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (z późn. zm.) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. WT 2014. (Dz.U. z 2013 r. poz. 926).
- [7] Szul T.: Wyniki badań eksploatacyjnych i ocena opłacalności ekonomicznej instalacji solarnej w gospodarstwie domowym. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2015, 5, 8-11.
- [8] Szul T.: Prosumer Energy - a Benefit or Loss for Beneficiaries in the Light of the Act on Renewable Sources of Energy. Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy, 2015, 13, 101-106.
- [9] UOKIK - Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów. Wysokość stopy dyskonta w roku 2015. [https://uokik.gov.pl/stopa\\_referencyjna\\_i\\_archiwum.php](https://uokik.gov.pl/stopa_referencyjna_i_archiwum.php).
- [10] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. Nr 94, poz. 551 oraz z 2012 r. poz. 951).

## THE AUDIT OF ENERGY EFFICIENCY OF THERMAL MODERNIZATION OF SINGLE-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING

### Summary

For the model residential building subjected to thermal modernization the technical and economical characteristics were determined, according to provisions of the regulation of the minister of the economy concerning the audit of the energy efficiency. Calculations included all the building envelope, which have undergone thermo-modernization. On the basis of calculations it was estimated that as a result of undertaken modernization seasonal thermal energy saving could amount to approx. 48% compared to the state before modernization. Conducted economic analysis showed that the amount of investment costs for thermal modernization of object will return after 15 years of operation and, therefore, the measures are economically justified.

**Key words:** residential building, thermal modernization, audit of energy efficiency



## A DICTIONARY OF AGRICULTURAL ENGINEERING IN SIX LANGUAGES

Jest pierwszym tego typu słownikiem wydanym w Polsce.

Zawiera on ponad 13.350 wiodących angielskich terminów podanych w układzie alfabetycznym z odpowiednikami w języku polskim, niemieckim, francuskim, włoskim i rosyjskim.

Wydawca: PIMR Poznań.