

# OCENA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I EKONOMICZNEJ PRZY DOBORZE ŹRÓDŁA CIEPŁA DLA BUDYNKU MIESZKALNEGO

Streszczenie

Wyznaczono charakterystykę energetyczną budynku mieszkalnego w oparciu o dwa źródła ciepła tj. pompę ciepła typu woda/woda oraz kocioł gazowy kondensacyjny. Zużycie energii końcowej przy zastosowaniu pompy ciepła jest trzykrotnie niższe niż w przypadku wykorzystania kotła gazowego. Następnie przeprowadzono analizę ekonomiczną systemu ogrzewania w oparciu o metodę LCC, dzięki której udało się określić całkowite koszty poniesione w całym cyklu życia instalacji. Zastosowanie pompy ciepła jest korzystniejsze jedynie w przypadku, gdy sprężarka oraz urządzenia pomocnicze pracują w oparciu o taryfę G12e. Pozwala to w 20-letnim okresie eksploatacji zaoszczędzić ok. 11 tys. zł w porównaniu z ogrzewaniem bazującym na kotle gazowym. Natomiast gdy korzystamy z „tradycyjnej” taryfy G11 lepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie kotła gazowego.

Zapewnienie komfortu cieplnego w okresie grzewczym wymaga odpowiednich nakładów finansowych na ogrzewanie. Wybór paliwa lub nośnika energii, którym będzie zasilany system ogrzewania, to jedna z najważniejszych decyzji. Przy wyborze źródła ciepła należy zatem kierować się względami ekonomicznymi i ekologicznymi.

Celem pracy była analiza porównawcza systemu ogrzewania (ogrzewanie podłogowe wraz z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej w systemie z zasobnikiem) w wolno stojącym budynku mieszkalnym wykorzystującym jako źródło ciepła sprężarkową pompę ciepła typu woda/woda oraz kocioł gazowy kondensacyjny.

Zakres pracy obejmuje również obliczenia zapotrzebowania na moc do ogrzewania budynku, do przygotowania ciepłej wody użytkowej, dobór zasobnika ciepłej wody użytkowej oraz obliczenie rocznego zużycia energii końcowej w obiekcie.

## Obiekt badań

Obiektem badań symulacyjnych jest wolno stojący jednorodzinny budynek mieszkalny o powierzchni użytkowej 157 m<sup>2</sup>, kubaturze 625 m<sup>3</sup> z wentylacją naturalną, zamieszkiwany przez cztery osoby, zlokalizowany w III strefie klimatycznej. Wskaźnik zwartości budynku A/V<sub>e</sub> wynosi 0,65 [1/m]. Średni współczynnik przenikania ciepła osłony budynku U = 0,47 [W/m<sup>2</sup>K]. W oparciu o normę PN-EN 12831 [2] obliczono zapotrzebowanie na moc grzewczą budynku, która wynosi 10,9 kW. Moc urządzenia do przygotowania ciepłej wody użytkowej (cwu) w systemie zasobnikowym obliczona według normy PN-92/B-01 706 [4] jest równa 3 kW. Obliczona według literatury [5] pojemność zasobnika cwu to 250 dm<sup>3</sup>. Do analizy dobrano pompę ciepła o mocy 14 kW i sezonowym współczynniku efektywności COP = 2,8 [8] oraz kocioł gazowy kondensacyjny o mocy 3,3-14,2 kW o sezonowej sprawności 0,86 [7]. Sprawności instalacji centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej przyjęto zgodnie z zapisami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury Dz.U. nr 201 poz. 1240 [7].

Wartości jednostkowego zapotrzebowania na energię końcową [kWh/m<sup>2</sup>rok] w obiekcie, wyznaczone na podstawie normy PN-EN 13790 [3,6,7] w zależności od zastosowanego źródła ciepła, zestawiono w tab. 1.

Sumaryczne roczne zapotrzebowanie na energię końcową w standardowym sezonie grzewczym w przypadku ogrzewania

pompą ciepła wynosi 9 144 kWh i jest blisko trzykrotnie niższe niż przy zastosowaniu kotła gazowego kondensacyjnego, w przypadku którego zużycie energii końcowej kształtuje się na poziomie 25 847 kWh.

## Ocena ekonomiczna systemu ogrzewania oparta na metodzie LCC

Ważnym kryterium przy wyborze danego rodzaju źródła ciepła pracującego w systemie ogrzewania dla analizowanego budynku jest ocena techniczno-ekonomiczna. Rachunek ekonomiczny przeprowadzono za pomocą metody LCC (Life Cycle Cost) [1]. Metoda ta pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w rozważanym cyklu jego życia w oparciu o zależność (1):

$$LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=20} \frac{Ke,o \cdot (1+re)^n}{(1+i)^n} \quad [\text{tys. zł}], \quad (1)$$

gdzie:

$Kp$  - koszty początkowe (koszt zakupu i uruchomienia instalacji),

$Ke,o$  - roczne koszty użytkowania instalacji (koszty energii, koszty przeglądów i napraw),

$t$  - kolejny rok użytkowania instalacji,

$re$  - stopa wzrostu cen energii,

$n$  - 1...20 kolejny rok kosztów ( $n = 20$  zakładana ilość lat cyklu życia instalacji).

Na potrzeby analizy szacowania kosztów cyklu życia systemu ogrzewania dla analizowanego budynku, ograniczono się do określenia kosztów zakupu wraz z uruchomieniem instalacji  $Kp$  i kosztów użytkowania, jako kosztu gazu zużywanego przez kocioł gazowy, energii elektrycznej pobranej przez pompę ciepła oraz urządzenia pomocnicze systemu grzewczego, a także koszty poniesione na cele serwisowe w okresie eksploatacji tego systemu  $Ke,o$ . W przypadku eksploatacji pompy ciepła do rozważań przyjęto dwa warianty zasilania wynikające z zastosowanej taryfy dla energii elektrycznej. W wariantcie pierwszym przyjęto, że pompa ciepła zużywa energię elektryczną według taryfy G11 (całodobowej), w wariantcie drugim pompa ciepła pracuje według taryfy G12e (Eko-premium o przedłużonej strefie czasowej nocnej) w godzinach obowiązywania strefy nocnej [8]. W tab. 2 zawarto podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych.

Tab. 1. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową  
Table 1. Value of annual demand for energy

Wyszczególnienie		Ogrzewanie	Ciepła woda	Urządzenia pomocnicze	Suma
Pompa ciepła typu woda/woda	Wartość [kWh/m <sup>2</sup> rok]	43,12	10,61	4,51	58,24
	Udział [%]	74,02	18,21	7,77	100
Kocioł gazowy kondensacyjny	Wartość [kWh/m <sup>2</sup> rok]	128,44	34,97	1,22	164,63
	Udział [%]	78,02	21,24	0,74	100

Tab. 2. Podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych  
Table 2. Basic assumptions for the economic calculations

Wyszczególnienie	Wartość		
	Pompa ciepła	Kocioł gazowy	
$K_p$ - koszty początkowe, [tys. zł]	37	8*	
$n$ - całkowita liczba lat eksploatacji	20 lat		
$o$ - koszty obsługi i napraw	1% kosztów inwestycyjnych (rocznie)		
cena jednostkowa (brutto) energii wg taryf operatorów	gaz GZ 50 taryfa W-3 (2 zł/m <sup>3</sup> ) en. elektryczna taryfa G11 (0,4 zł/kWh) en. elektryczna taryfa G12e (0,34 zł/kWh)		
$re$ - stopa wzrostu cen energii	4,5%		
$i$ - stopa dyskonta	5,5%		
$K_{e,o}$ - roczne koszty użytkowania instalacji, [tys. zł]	Pompa ciepła taryfa G11	Pompa ciepła taryfa G12e	Kocioł gazowy
	4,01	3,42	5,65

\* w przypadku kotła gazowego uwzględniono również koszt wykonania przyłącza gazowego do budynku

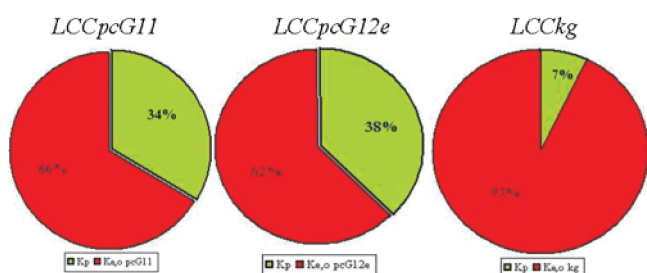
Koszty cyklu życia systemu grzewczego LCC obliczone wg zależności (1) zestawiono w tab. 3. Całkowity koszt poniesiony w całym cyklu życia (20 lat) systemu grzewczego jest najwyższy dla kotła gazowego, najniższy zaś dla pompy ciepła pracującej w oparciu o taryfę G12e.

Tab. 3. Całkowity koszt poniesiony w całym cyklu życia systemu grzewczego

Table 3. The total cost incurred during the life cycle of the heating system

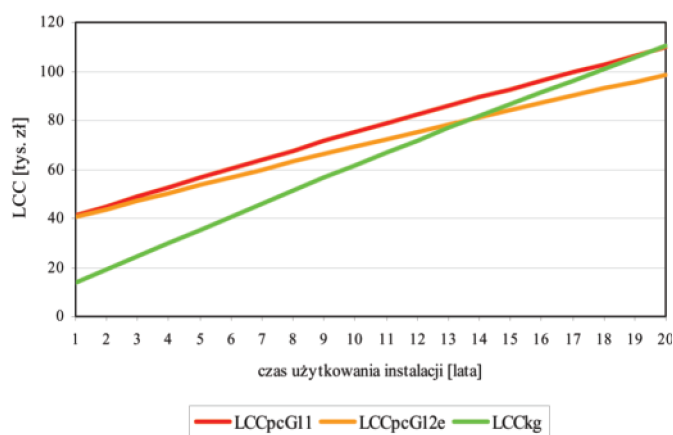
Wyszczególnienie	Pompa ciepła taryfa G11	Pompa ciepła taryfa G12e	Kocioł gazowy
LCC [tys. zł]	109,7	98,6	110,4

Na rys. 1 przedstawiono strukturę kosztów dla poszczególnych wariantów ogrzewania. W okresie 20 lat użytkowania systemu ogrzewania opartego na pompie ciepła, koszty inwestycyjne stanowią średnio 36% kosztów LCC. W przypadku systemu opartego na kotle gazowym koszty początkowe wynoszą zaledwie 7% kosztów całkowitych.



Rys. 1. Udział składników kosztów LCC systemu ogrzewania dla poszczególnych wariantów  
Fig. 1. The percentage of the cost of a heating system for the individual variants

Porównanie kosztów cyklu życia zaproponowanych systemów przedstawiono na rys. 2. Linia oznaczona kolorem zielonym przedstawia sumę kosztów ponoszonych przy eksploatacji kotła gazowego. Ponad nią znajdują się proste odzwierciedlające system ogrzewania wyposażony w pompę ciepła w zależności od przyjętej taryfy dla energii elektrycznej. Jak można zauważyć całkowite koszty cyklu życia dla pompy ciepła pracującej w oparciu o taryfę G11 są praktycznie przez cały okres użytkowania instalacji wyższe niż koszty dla kotła gazowego. Lepsza sytuacja jest, gdy do porównania z kotłem gazowym weźmiemy pompę ciepła pracującą według taryfy G12e. Wprowadzie koszty LCC dla pompy ciepła przez blisko dwie trzecie czasu eksploatacji są wyższe, jednak w ostatnich latach eksploatacji generowane są oszczędności w porównaniu z ogrzewaniem przy użyciu kotła gazowego.



Rys. 2. Porównanie kosztów cyklu życia LCC zaproponowanych systemów ogrzewania  
Fig. 2. Comparison of life cycle costs of proposed heating systems

Czas  $t$  wyrównania kosztów cyklu życia systemu wyposażonego w pompę ciepła  $LCC_{pc}$  (w dwóch wariantach) w odniesieniu do systemu porównawczego z kotłem gazowym kondensacyjnym  $LCC_{kg}$  w latach można wyliczyć z równania (2).

$$LCC_{pc}(t) = LCC_{kg}(t) \quad [\text{lata}] \quad (2)$$

Czas  $t$ , to wynik przecięcia charakterystyki  $LCC_{pcG11}(t)$  oraz  $LCC_{pcG12e}(t)$  z charakterystyką  $LCC_{kg}(t)$  w funkcji czasu użytkowania  $t$ . Aby wyznaczyć ten czas w sposób analityczny, należało funkcje tych charakterystyk porównać do siebie otrzymując dla poszczególnych wariantów porównawczych następujące równania (3). Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 4.

$$t_A = \frac{Kp_{kg} - Kp_{pc}}{Ke, o_{pcG11} - Ke, o_{kg}} \quad [\text{lata}], \quad (3)$$

$$t_B = \frac{Kp_{kg} - Kp_{pc}}{Ke, o_{pcG12e} - Ke, o_{kg}} \quad [\text{lata}],$$

gdzie:

$t_A$  - oznacza czas wyrównania kosztów cyklu życia przy porównaniu kotła gazowego kondensacyjnego z pompą ciepła pracującą w taryfie G11 (wariant A),

$t_B$  - oznacza czas wyrównania kosztów cyklu życia przy porównaniu kotła gazowego kondensacyjnego z pompą ciepła pracującą w taryfie G12e (wariant B).

Tab. 4. Czas wyrównania kosztów cyklu życia dla analizowanych wariantów

Table 4. Time of compensation of life cycle costs for analyzed variants

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B
Czas (t) wyrównania kosztów [lata]	18	13

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wynika, że korzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie pompy ciepła pracującej w oparciu o taryfę G12e. Wyposażona w pompę ciepła instalacja zacznie przynosić korzyści po 13 latach eksploatacji. W przypadku korzystania z taryfy G11 przedwidywany czas zwrotu wydłuża się co najmniej do 18 lat.

Bilans ekonomiczny  $BE$  zaproponowanego systemu ogrzewania opartego na pompie ciepła w odniesieniu do systemu porównawczego dla analizowanego budynku można wyliczyć z zależności (4). Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 5.

$$B_{EA} = LCC_{kg} - LCC_{pcG11} \quad [\text{tys. zł}], \quad (4)$$

$$B_{EB} = LCC_{kg} - LCC_{pcG12e} \quad [\text{tys. zł}],$$

gdzie:

$B_{EA}$  - bilans ekonomiczny przy porównaniu kotła gazowego kondensacyjnego z pompą ciepła pracującą w taryfie G11 (wariant A),  
 $B_{EB}$  - bilans ekonomiczny przy porównaniu kotła gazowego kondensacyjnego z pompą ciepła pracującą w taryfie G12e (wariant B).

Tab. 5. Bilans ekonomiczny przyjętych rozwiązań  
 Table 5. The balance of costs of admitted solutions

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B
$B_E$ [tys. zł]	0,7	11,08

Analizując wyniki bilansu kosztów można stwierdzić, że również w tym przypadku lepszym rozwiązaniem jest przyjęcie wariantu z pompą ciepła pracującą w oparciu o taryfę G12e. W 20-letnim okresie eksploatacji może ona przynieść ok. 11 tys. zł oszczędności w porównaniu z ogrzewaniem kotłem gazowym. W przypadku gdy pompa ciepła pracowałaby w taryfie G11 oszczędności rzędu kilkuset złotych skłaniają do zastosowania kotła gazowego jako źródła ciepła.

## Podsumowanie

Budynek mieszkalny, którego sumaryczne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej wynosi 14 kW, charakteryzuje się rocznym zużyciem energii końcowej wynoszącym w zależności od zastosowanego źródła ciepła od 9,1 MWh w przypadku pompy ciepła typu woda/woda do 25,8 MWh dla kotła gazowego kondensacyjnego. Przeprowadzona analiza ekonomiczna oparta na metodzie LCC (*Life Cycle Cost*) pozwoliła określić koszt poniesiony w całym cyklu życia (20 lat) systemu grzewczego, który jest najwyższy dla kotła gazowego (110,4 tys. zł), najniższy zaś dla pompy ciepła pracującej w oparciu o taryfę G12e (98,6 tys. zł). Instalacja grzewcza wyposażona w pompę ciepła, która wykorzystuje taryfę G12e zacznie przynosić korzyści po 13 latach eksploatacji. W dwudziestoletnim okresie użytkowania może ona przynieść ok. 11 tys. zł oszczędności w porównaniu z ogrzewaniem kotłem gazowym. Jednak w przypadku gdy pompa ciepła pracowałaby w taryfie G11, wówczas czas wyrównania kosztów w porównaniu do kotła gazowego wydłuży się do co najmniej 18 lat, a wygenerowane oszczędności na poziomie kilkuset złotych wskazują, że lepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie jako źródła ciepła kotła gazowego kondensacyjnego, którego dodatkowym atutem są stosunkowo niewielkie koszty początkowe, wynoszące 7% kosztów całkowitych w okresie eksploatacji. Dla porównania koszty inwestycyjne przy zastosowaniu pompy ciepła stanowią ok. 36% kosztów LCC.

## Literatura

- [1] Pasierb S. [red.]: Efektywne wykorzystanie energii w firmie. PARP, Warszawa, 2009.
- [2] PN-EN 12831 : 2008 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [3] PN-EN ISO 13790 : 2008 Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia.
- [4] PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.
- [5] Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E.: Ogrzewanie i klimatyzacja. EWFE, Gdańsk, 1994.
- [6] Robakiewicz M.: Metodyka sporządzania świadectw energetycznych budynków i mieszkań. Fundacja Poszanowania Energii. Warszawa, 2009.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 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. Dziennik Ustaw nr 201, poz. 1240.
- [8] Szul T., Knaga J.: Usługa B+R. Analiza możliwości poprawy efektywności pomp ciepła w układzie woda-woda celem zapewnienia ciągłości dostaw ciepła w sezonie grzewczym. Transfer wiedzy, 2011. <http://www.klaster-energetyczny.pl>.

## EVALUATION OF ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY IN THE CHOICE OF THE BOILER TO HEAT A RESIDENTIAL BUILDING

### Summary

The energy performance of residential building based on two sources of heat such as a heat pump type water / water and condensing gas boiler has been determined. Final energy consumption by using a heat pump was three times lower than for the gas boiler. Then an economic analysis of the heating system has been performed based on the method by which the LCC was able to determine the total costs incurred throughout the life cycle of the installation. Application of heat pump is advantageous only if the compressor and auxiliary equipment work on the basis of tariff G12e. It allows in 20-year period of operation to economize about 11 thousand PLN compared with heating based on gas boiler. However, when the "traditional" fare G11 is used, the gas boiler is a better solution.