

# ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA POMP CIEPŁA NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO OBIEKTU

Zbigniew KARMOWSKI, Piotr RYNKOWSKI\*

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

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę techniczno-ekonomiczną wykorzystania sprężarkowych pomp ciepła w systemach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla wybranego wolno stojącego budynku mieszkalnego. Analizę przeprowadzono dla wybranych wariantów systemów grzewczych i porównano z wybranymi konwencjonalnymi źródłami ciepła. Dla każdego z układów wyznaczono koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz koszty poniesione w całym cyklu życia produktu.

*Słowa kluczowe:* analiza techniczno-ekonomiczna, pompy ciepła.

## 1. Wprowadzenie

Pompy ciepła cieszą się coraz większym zainteresowaniem właścicieli domów jednorodzinnych. Z badań sondażowych przeprowadzonych przez Wydawnictwo Budujemy Dom (Karmowski, 2010) wynika, że około 40% inwestorów rozważa możliwość zastosowania pompy ciepła we własnym domu. Jednocześnie istnieje duża świadomość stosunkowo wyższych kosztów na etapie inwestycyjnym w przypadku systemów grzewczych z wykorzystaniem pomp ciepła, przy relatywnie niższych kosztach eksploatacji tych układów. Wobec ciągle rosnących kosztów nośników energii, umiejętność wykonania analizy techniczno-ekonomicznej wykorzystania pomp ciepła w budownictwie w stosunku do konwencjonalnych źródeł ciepła ma duże znaczenie praktyczne, które przekłada się bezpośrednio w kosztach za energię cieplną na potrzeby grzewcze i ciepłej wody użytkowej.

Celem artykułu jest wykonanie analizy techniczno-ekonomicznej dla powyższego zagadnienia.

## 2. Rachunek ekonomiczny

Podstawowym kryterium wyboru konkretnego systemu ogrzewania jest rachunek ekonomiczny. W pracy wykorzystano metodę LCC (*Life Cycle Cost*) (Świdorski, 2003). Metoda ta pozwala określić szacunkowe, całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w przyjętym cyklu jego życia. Opiera się ona na porównaniu nakładów inwestycyjnych na proponowane rozwiązanie systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynku mieszkalnego oraz kosztów

eksploatacyjnych wzrastających wraz z upływem okresu użytkowania systemu.

W artykule, w celu przeprowadzenia analizy techniczno-ekonomicznej zastosowania pomp ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u. dla wolno stojących budynków mieszkalnych, wytypowany został rzeczywisty budynek zlokalizowany na osiedlu domów rezydencyjnych w Elblągu. Dla tego budynku została wykonana wariantowa analiza techniczno-ekonomiczna przy zastosowaniu sprężarkowej pompy ciepła w różnych konfiguracjach dolnego źródła oraz kotłowni olejowej, gazowej i kotłowni na eko-groszek.

## 3. Ocena techniczno-ekonomiczna systemów ogrzewania wolno stojącego budynku mieszkalnego oparta o metodę LCC (*Life Cycle Cost*)

### 3.1. Metoda LCC (*Life Cycle Cost*)

Metoda LCC pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu grzewczego w rozważanym cyklu jego życia w oparciu o zależność:

$$LCC = IC + \sum_{t=1}^n \frac{COF_t}{(1+s)^t} \quad [zł] \quad (1)$$

gdzie IC jest kosztem zakupu i uruchomienia systemu w zł, COF jest roczne koszty użytkowania systemu w zł, n jest zakładaną liczbą lat cyklu życia systemu (20 lat), t jest kolejny rokiem „życia” systemu, s jest realną stopą oprocentowania (dyskontową),

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: rynkowski@pb.edu.pl

$$s = \frac{i-p}{1-p} \quad (2)$$

gdzie  $i$  jest nominalną stopą oprocentowania (dyskontową),  $p$  jest stopą inflacji,

Rachunek kosztów cyklu życia systemu według zależności (1) zależy w dużej mierze od realnej stopy oprocentowania, która uzależniona jest od stopy inflacji i nominalnej stopy oprocentowania (2). W zależności od tych stóp, realna stopa procentowa przyjmuje wartości dodatnie bądź ujemne. Skutkiem tego jest poniesienie większych (przy  $s < 0$ ), bądź mniejszych (przy  $s > 0$ ) kosztów cyklu życia systemu grzewczego. Według danych NBP, stopa ta ulegała znacznej zmianie na przestrzeni lat. Z powodu trudności w precyzyjnym prognozowaniu realnej stopy oprocentowania, metoda LCC zostanie przeprowadzona w oparciu o ceny stałe.

### 3.2. Czas wyrównania kosztów cyklu życia analizowanych systemów grzewczych SPBT

Czas wyrównania kosztów cyklu życia SPBT rozpatrywanych systemów opartych na sprężarkowych pompach ciepła w odniesieniu do systemu porównawczego zostanie określony z zależności,

$$SPBT = \frac{IC_{SPC} - IC_{SP}}{COF_{SP} - COF_{SPC}} [\text{lata}] \quad (3)$$

gdzie  $IC_{SPC}$  jest kosztem zakupu i uruchomienia systemu opartego na pompie ciepła w zł,  $IC_{SP}$  jest kosztem zakupu i uruchomienia systemu porównawczego w zł,  $COF_{SPC}$  jest rocznym kosztem eksploatacji systemu opartego na pompie ciepła w skali roku w zł,  $COF_{SP}$  jest rocznym kosztem eksploatacji systemu porównawczego w skali roku w zł,

Jako systemy porównawcze zostaną rozpatrzone:

- pompa ciepła–gaz ziemny;
- pompa ciepła–olej opałowy;
- pompa ciepła–eko-groszek.

### 3.3. Założenia analizy techniczno-ekonomicznej

Założenia do wykonania analizy techniczno-ekonomicznej:

- ocena przeprowadzona będzie dla rzeczywistego budynku jednorodzinne;
- dla budynku zostaną wyznaczone wskaźniki energetyczne określające wielkości zapotrzebowania budynku na energię cieplną na cele c.o. i c.w.u.;
- ocena będzie dotyczyć kosztów inwestycyjnych niezbędnych dla wykonania kotłowni oraz kosztów związanych z eksploatacją systemu;
- instalacja grzewcza w budynku została wykonana w systemie podłogowym;
- analiza techniczno-ekonomiczna dla systemów grzewczych wykonanych w oparciu o sprężarkowe pompy ciepła zostanie przeprowadzona dla pomp ciepła wybranej firmy.

### 3.4. Analizowane warianty systemów grzewczych

W artykule przedstawiono analizę dla następujących wariantów systemów grzewczych (Lewandowski, 2007; Rubik, 1999; Rubik, 1996):

- wariant 1 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest gruntowy kolektor płaski lub spiralny;
- wariant 2 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest pionowy wymiennik gruntowy (sondy pionowe);
- wariant 3 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest układ dwóch studni (czerpalna i zrutowa);
- wariant 4 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest układ bezpośredniego parowania;
- wariant 5 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest powietrze zewnętrzne (układ biwalentny) z kotłem gazowym;
- wariant 6 – kotłownia wykonana w oparciu o kocioł olejowy;
- wariant 7 – kotłownia wykonana w oparciu o kocioł gazowy;
- wariant 8 – kotłownia wykonana w oparciu o eko-groszek.

## 4. Koszty inwestycyjne (według materiałów i katalogów firm inwestycyjnych)

### 4.1. Koszty inwestycyjne układów z pompą ciepła

W tab. 1-4 przedstawiono zestawienie nakładów inwestycyjnych dla wariantów 1-4. W wariantach 5-8 koszty inwestycyjne systemów grzewczych z pompą ciepła wyznaczono analogicznie. Zestawienie nakładów inwestycyjnych w poszczególnych przedsięwzięciach przedstawia tab. 5.

Tab. 1. Koszty inwestycyjne – wariant 1

l.p.	Wyszczególnienie	Koszty całkowite brutto [zł]
1	Pompa ciepła (solanka – woda)	38 864
2	Sterownik	3 447
3	Zbiornik buforowy	3 601
4	Przyłącze	913
5	Kolektor gruntowy płaski lub spiralny (8 sekcji)	13 110
6	Studnia zbiorcza	3 073
7	Pompa ciepła do c.w.u. (powietrze – woda)	11 899
8	Pompa obiegowa dla instalacji c.o.	951
9	Pompa cyrkulacyjna dla instalacji c.w.u.	845
10	Naczynie zbiorcze do c.o.	222
11	Naczynie przeponowe do c.w.u.	190
12	Koszty kanałów wentylacyjnych, armatura odcinająca, zabezp., izolacja, instalacja elektryczna	5 500
Sumaryczne koszty urządzeń		82 615
Montaż, prace ziemne, uruchomienie systemu – 10% nakładów inwest.		8 261
Łączne koszty inwestycyjne		90 875

Tab. 3. Koszty inwestycyjne – wariant 3

l.p.	Wyszczególnienie	Koszty całkowite brutto [zł]
1	Pompa ciepła Ochsner (woda-woda)	33 972
2	Sterownik	3 447
3	Zbiornik buforowy	3 601
4	Przyłącza elastyczne	913
5	Czujnik natężenia przepływu źródła dolnego	1 401
6	Pompa głębinowa z zaworem zwrotnym	2 396
7	Filtr do dolnego źródła	756
8	Odwierty dla dolnego źródła 48 mb z wykonaniem studni – czerpalnej i zrzutowej	8 784
9	Zawór trójdrogowy do ciepłej wody użytkowej	793
10	Zasobnik ciepłej wody użytkowej	1 329
11	Wymiennik ciepłej wody użytkowej	1 041
12	Pompa obiegowa dla instalacji c.o.	951
13	Pompa ładująca zasobnik c.w.u.	845
14	Pompa cyrkulacyjna dla instalacji c.w.u.	845
15	Naczynie zbiorcze do c.o.	222
16	Naczynie przeponowe do c.w.u.	190
17	Koszty kanałów wentylacyjnych, armatura odcinająca, zabezp., izolacja, instalacja elektryczna	5 790
Sumaryczne koszty urządzeń		67 276
Montaż, prace ziemne, uruchomienie systemu – 10% nakładów inwest.		56 727
Łączne koszty inwestycyjne		74 003

Tab. 2. Koszty inwestycyjne – wariant 2

l.p.	Wyszczególnienie	Koszty całkowite brutto [zł]
1	Pompa ciepła (solanka – woda)	38 864
2	Sterownik	3 447
3	Zbiornik buforowy	3 601
4	Przyłącze	913
5	Dwie sondy pionowe po 133 mb każda, 1mb - 100 zł.	32 452
6	Pompa ciepła do c.w.u. (powietrze-woda)	11 899
7	Pompa obiegowa dla instalacji c.o.	951
8	Pompa cyrkulacyjna dla instalacji c.w.u.	845
9	Naczynie zbiorcze do c.o.	222
10	Naczynie przeponowe do c.w.u.	190
11	Koszty kanałów wentylacyjnych, armatura odcinająca, zabezpieczająca, izolacja, instalacja elektryczna	5 500
Sumaryczne koszty urządzeń		98 884
Montaż, prace ziemne, uruchomienie systemu – 5% nakładów inwest.		4 944
Łączne koszty inwestycyjne		103 828

Tab. 4. Koszty inwestycyjne – wariant 4

l.p.	Wyszczególnienie	Koszty całkowite brutto [zł]
1	Pompa ciepła (bezpośrednie odparowanie)	30 678
2	Sterownik	3 447
3	Zbiornik buforowy	3 601
4	Przyłącze	913
5	Kolektor poziomy (10 sekcji po 75 mb każdy)	18 885
6	Studnia zbiorcza	1 830
7	Pompa ciepła do c.w.u. (powietrze-woda)	11 899
8	Pompa obiegowa dla instalacji c.o.	951
9	Pompa cyrkulacyjna dla instalacji c.w.u.	845
10	Naczynie zbiorcze do c.o.	222
11	Naczynie przeponowe do c.w.u.	190
12	Koszty kanałów wentylacyjnych, armatura odcinająca, zabezp., izolacja, instalacja elektryczna	5 500
Sumaryczne koszty urządzeń		78 961
Montaż, prace ziemne, uruchomienie systemu – 10% nakładów inwest.		7 896
Łączne koszty inwestycyjne		86 857

Tab. 5. Zestawienia nakładów dla poszczególnych systemów grzewczych

L.p.	System grzewczy, numer wariantu	Koszty inwestycyjne [zł]
1	wariant nr 1	90 875
2	wariant nr 2	103 828
3	wariant nr 3	74 003
4	wariant nr 4	86 857
5	wariant nr 5	72 894
6	wariant nr 6	31 083
7	wariant nr 7	35 522
8	wariant nr 8	26 046

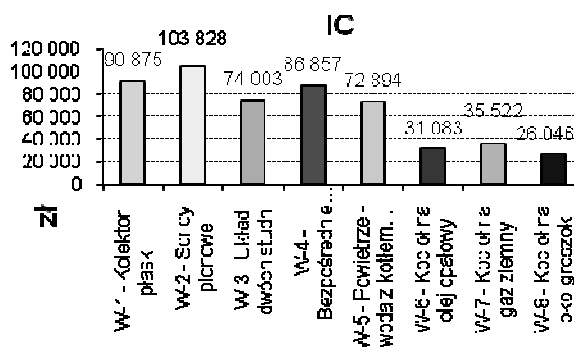
## 5. Koszty eksploatacyjne

Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną dla układów z pompą ciepła wyznaczono dzieląc sezonowe zapotrzebowanie na ciepło budynku oraz zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej przez współczynnik efektywności każdej z pomp ciepła. Uwzględniając koszt wytworzenia energii cieplnej dla każdego z układów, który jest wielkością znaną, można wyznaczyć średnie koszty eksploatacyjne w ciągu roku dla każdego z układów. Zestawienie kosztów wytworzenia 1 GJ energii cieplnej oraz roczne koszty ogrzewania i podgrzewu ciepłej wody użytkowej przedstawia tab. 6 (Karmowski, 2010).

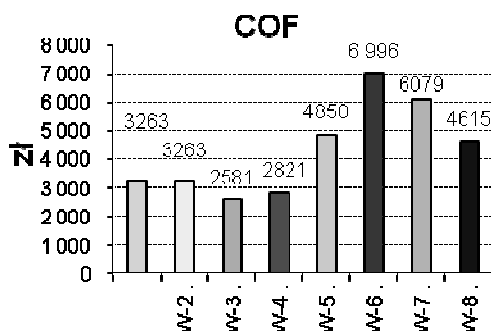
Tab. 6. Zestawienia rocznych kosztów ogrzewania dla poszczególnych systemów grzewczych

Wariant	Koszt 1 GJ energii [zł/GJ]	Roczne koszty eksploatacyjne [zł/rok]
1	24,59	3 263
2	24,59	3 263
3	19,20	2 580
4	21,10	2 671
5	36,97	4 850
6	53,29	6 996
7	46,05	6 079
8	34,88	4 615

Na rys. 1 pokazano zestawienie kosztów inwestycyjnych dla poszczególnych systemów grzewczych, a na rys. 2 przedstawiono interpretację graficzną rocznych kosztów eksploatacji dla analizowanych układów.



Rys. 1. Zestawienia nakładów dla poszczególnych systemów grzewczych



Rys. 2. Zestawienia rocznych kosztów eksploatacji dla poszczególnych systemów grzewczych

Z rys. 1-2 wynika, że koszt inwestycyjny systemów grzewczych opartych na pompie ciepła jest dużo wyższy w porównaniu do systemów grzewczych opartych na źródle konwencjonalnym. Dla kotłowni wykonanej w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest pionowy wymiennik gruntowy (sondy pionowe), w stosunku do kotłowni na eko-groszek koszt inwestycyjny jest czterokrotnie większy. Jednak poniesione wyższe nakłady inwestycyjne w przypadku pomp ciepła charakteryzują się niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Jednak mimo powyższej wiedzy nie jesteśmy w stanie jednoznacznie określić, który system grzewczy będzie najbardziej optymalny.

## 6. Wybór optymalnego systemu grzewczego

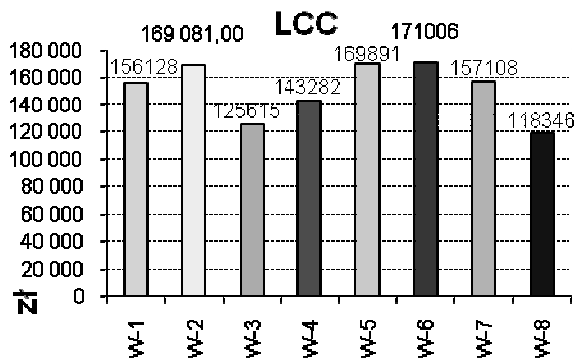
W celu wyznaczenia i wyboru optymalnego wariantu systemu grzewczego posłużono się metodą LCC (pkt. 2). System, dla którego całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne w przyjętym cyklu życia systemu grzewczego będą najniższe (dla przyjętych danych) można będzie uważać za najbardziej optymalny. Składniki LCC dla rozpatrywanych systemów ogrzewania jednorodzinne budynku mieszkalnego zostały przedstawione w tab. 7, natomiast ich interpretacja graficzna została przedstawiona na rys. 3.

Tab. 7. Składniki LCC dla poszczególnych systemów grzewczych

Wariant	IC [zł]	COF [zł]	LCC [zł]
1	90 875	3 263	156 128
2	103 828	3 263	169 081
3	74 003	2 580	125 615
4	86 857	2 671	143 282
5	72 894	4 850	169 891
6	31 083	6 996	171 006
7	35 522	6 079	157 108
8	26 046	4 615	118 346

Z analizy danych wynika, że najniższą wartość LCC w wysokości 118 346 zł posiada system grzewczy oparty na kotłowni na eko-groszek. Wartość ta wynika z niskiej wartości inwestycyjnej tego typu systemu grzewczego o stosunkowo niskich kosztach eksploatacyjnych. Jednak poza aspektem finansowym warto zwrócić uwagę, że układ z pompą ciepła jest układem bezobsługowym. W przypadku kotłowni na eko-groszek należy uwzględnić koszt obsługi, który jest wartością trudną do oszacowania a także żywotność samego kotła.

Dla pozostałych przypadków najniższą wartością LCC charakteryzuje się wariant 2 – kotłownia wykonana w oparciu o sprężarkową pompę ciepła, dla której dolnym źródłem jest pionowy wymiennik gruntowy (sondy pionowe). Najwyższą wartością LCC charakteryzuje się kotłownia olejowa.



Rys. 3. Interpretacja graficzna całkowitych kosztów rozpatrywanych wariantów systemów grzewczych

## 7. Podsumowanie

Na podstawie analizy ekonomicznej można stwierdzić, iż mimo stosunkowo wysokich kosztów inwestycyjnych systemów grzewczych opartych na sprężarkowych pompach ciepła we wszystkich przypadkach koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej jest niższy w porównaniu do eko-groszku, gazu ziemnego i oleju opałowego. Pamiętając o aspektach jak: czystość powietrza wewnętrznego, brak zbiorników na olej opałowy, gaz ziemny, czy brak dodatkowych kosztów na etapie budowy związanych z kominem, pompy ciepła stanowią bardzo atrakcyjny sposób pozyskiwania energii cieplnej. Barięą ograniczającą powszechność stosowania pomp ciepła jest niewątpliwie wysoki koszt inwestycyjny. Jednak przypadku wyczerpywania się źródeł tradycyjnych, w przyszłości mogą stać się podstawowym źródłem energii.

## Literatura

- Karmowski Z. (2010). Analiza techniczno-ekonomiczna wykorzystania sprężarkowych pomp ciepła w systemach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla wybranego, wolnostojącego budynku mieszkalnego. *Praca Dyplomowa Magisterska*, Politechnika Białostocka.
- Lewandowski W. (2007). Proekologiczne odnawialne źródła energii. *WNT*, Warszawa.
- Marcinkowski W. (2008). Pompy Ciepła. *Wydawnictwo Budujemy Dom*, 6/2008, 191-202.
- Rubik M. (1999). Pompy ciepła - poradnik. *Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”*, Warszawa.
- Rubik M. (1996). Pompy ciepła - poradnik. *BOINT Instal*, Warszawa.
- Świdzki M. (2003). Analiza LCC narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z technika pompową. W: *IX FORUM Użytkowników Pomp*, Szczyrk 2003.
- Materiały i katalogi firm instalacyjnych.

## ECONOMICAL AND TECHNICAL ANALYSIS OF HEAT PUMP USAGE FOR SELECTED OBJECT

**Abstract:** The economic-technical analysis usage of heat pumps in central heating and hot water systems for selected object are presented in the paper. The analysis was done for chosen variants of heat systems and was compared with chosen conventional systems of heat source. For each systems the capital and the operating cost was calculated. Moreover using Life Cycle Cost method (LCC) the value of LCC was calculated.

