

Tomasz SZUL

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków
e-mail: Tomasz.Szul@ur.krakow.pl

EVALUATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC SOURCES FOR THE PREPARATION OF HOT WATER

Summary

The paper presents a comparative analysis of five systems for hot water for a family of four. To select the best possible final energy consumption was calculated for the hot water and then carried out technical and economic analysis based on dynamic methods, such as LCC, PBP, NPV and IRR. As a result of the calculations it has been selected the system, which in the perspective of admitted 20-year period of use is characterized by the best economic indicators. Total costs of hot water for this system are the lowest. The best solution is to use a gas hot water heater capacitance, for which the index values are the best, and most importantly, this investment will return after 4 years. Application of heat pumps and solar set with flat collectors is a good solution, however, investment in these devices will return only after 13-14 years.

OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ŹRÓDEŁ CIEPŁA DO PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę porównawczą pięciu systemów do przygotowania c.w.u. dla czteroosobowej rodziny. Są nimi, elektryczny podgrzewacz pojemnościowy, gazowy podgrzewacz pojemnościowy, pompa ciepła typu powietrze-woda oraz dwa zestawy solarne z kolektorem płaskim oraz próżniowym. Aby móc wybrać najkorzystniejszy obliczono zużycie energii końcowej do przygotowania ciepłej wody użytkowej a następnie przeprowadzono analizę techniczno-ekonomiczną w oparciu o metody dynamiczne takie jak LCC, PBP, NPV oraz IRR. W wyniku przeprowadzonych obliczeń wyłoniono system, który w perspektywie założonego 20-letniego okresu eksploatacji cechuje się najlepszymi wskaźnikami ekonomicznymi, a więc całkowite koszty przygotowania ciepłej wody użytkowej dla tego systemu będą najniższe. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie gazowego pojemnościowego ogrzewacza c.w.u., dla którego wartości wskaźników są najkorzystniejsze, a co najważniejsze inwestycja ta zwróci się po 4 latach. Zastosowanie pompy ciepła i zestawu solarnego z kolektorami płaskimi jest również dobrym rozwiązaniem jednak inwestycja w te urządzenia zwróci się dopiero po upływie 13-14 lat.

1. Wprowadzenie

W typowym przypadku rodziny czteroosobowej zamieszkującej dom o powierzchni 150-200 m², na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) potrzeba zaledwie 10-20% energii zużywanej na centralne ogrzewanie (c.o.) [9] i chociaż zaopatrzenie domu w c.w.u. jest problemem mniejszej wagi ekonomicznej niż c.o., to jednak właściwe jego rozwiązanie ma duży wpływ na komfort życia. Wybór paliwa lub nośnika energii, którym będzie zasilany system przygotowania c.w.u., to jedna z najważniejszych decyzji podejmowanych przez inwestora. Podstawowym kryterium warunkującym instalację konkretnego systemu grzewczego w budynku jest rachunek ekonomiczny. Analiza energetyczna nie może być w praktyce czynnikiem decydującym o wyborze danego źródła ciepła. Potencjalny użytkownik powinien ocenić zarówno aspekty techniczne jak i ekonomiczne każdego z rozpatrywanych systemów i wybrać ten, który w perspektywie całkowitego okresu eksploatacji będzie najbardziej korzystny [1].

Celem pracy była analiza techniczno-ekonomiczna zasobnikowych systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) dla czteroosobowej rodziny w wolnostojącym budynku mieszkalnym.

Do analizy porównawczej przyjęto pięć systemów:

- elektryczny podgrzewacz pojemnościowy (Enel),
- gazowy podgrzewacz pojemnościowy (Gaz),
- pompę ciepła typu powietrze-woda z zasobnikiem (PC),
- zestaw solarny z 2 kolektorami płaskimi (Zsol_Kpł),

- zestaw solarny z 2 kolektorami próżniowymi (Zsol_Kpr).

Zakres pracy obejmuje również obliczenia zapotrzebowania na moc do przygotowania c.w.u., dobór zasobnika oraz obliczenie rocznego zużycia energii końcowej. W przypadku zestawów solarnych określono również stopień rocznego pokrycia potrzeb ciepłych (c.w.u.) przez instalację.

2. Wyniki obliczeń

Moc urządzenia do przygotowania c.w.u. w systemie zasobnikowym dla czteroosobowej rodziny obliczona według normy PN-92/B-01706 [5] wynosi 3 kW. Obliczona wg [6] pojemność zasobnika c.w.u. to 200 dm³. Roczne pokrycie potrzeb ciepłych na przygotowanie c.w.u. przez instalację solarną (dla Krakowa) obliczono przy użyciu programu komputerowego KOLEKTOREK 2.0. W przypadku instalacji z kolektorami próżniowymi wynosi ono 75%, natomiast z kolektorami płaskimi 68%. Pozostała część energii ciepłej jest produkowana przy wykorzystaniu wbudowanej w zasobnik (o pojemności 300 dm³) grzałki elektrycznej o mocy 1,7 kW. W przypadku pompy ciepła typu powietrze-woda (o mocy grzejnej 6 kW) przyjęto, że ze względu na możliwość wystąpienia zjawiska szronienia parownika, pracować ona będzie w systemie bivalentnym, to znaczy, że sprężarka włączać się będzie przy temperaturze powietrza zewnętrznego powyżej 4°C (co pozwoli na 68% pokrycie potrzeb ciepłych w skali roku), natomiast w temperaturach niższych woda w zasobniku będzie podgrzewana przez wbudowaną grzałkę elektryczną o mocy 3 kW.

Roczne zużycie energii końcowej dla poszczególnych systemów przygotowania c.w.u. obliczono zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku Dz.U. nr 201 poz. 1240 [8]. Sprawności wytworzenia, przesyłu i akumulacji przyjęto na podstawie [2, 8]. Zgodnie z metodologią do obliczeń przyjęto jednostkowe zużycie ciepłej wody użytkowej wynoszące 35 dm³/osobę.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla poszczególnych systemów określono roczne zużycie energii końcowej EK na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (obejmujące również zużycie energii przez urządzenia pomocnicze), wyniki obliczeń zestawiono w tab. 1.

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

L.p.	Wyszczególnienie	EK c.w.u. [MWh/rok]
1	elektryczny podgrzewacz pojemnościowy (Enel)	3,48
2	gazowy podgrzewacz pojemnościowy (Gaz)	4,10
3	pompa ciepła typu powietrze-woda z zasobnikiem (PC)	2,04
4	zestaw solarny z kolektorami płaskimi (Zsol_Kpł)	1,14
5	zestaw solarny z kolektorami próżniowymi (Zsol_Kpr)	0,91

Najniższym zużyciem energii charakteryzują się systemy solarne, dla których zużycie energii końcowej kształtuje się na poziomie 1 MWh rocznie. Jest ono dwu krotnie niższe w porównaniu do pompy ciepła i czterokrotnie mniejsze niż w podgrzewaczu gazowym.

3. Ocena ekonomiczna systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej

Wybór konkretnego systemu zaopatrzenia w ciepłą wodę użytkową powinien opierać się na obiektywnych kryteriach wyboru. Powszechnie uważa się, że takim kryterium jest nadwyżka efektów nad nakładami [1, 4]. Analizę techniczno-ekonomiczną wykonano w oparciu o złożone metody oceny inwestycji rzeczowych, oparte na stopie procentowej (dyskontowej), uwzględniające zmianę wartości pieniądza w czasie, ryzyko oraz inflację.

Metodami tymi są:

1. Analiza kosztów cyklu życia LCC (Life Cycle Cost).

Metoda ta pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w rozważanym cyklu jego życia (1):

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

2. Dyskontowany okres zwrotu nakładów PBP (pay-back period).

Jest to okres czasu, w którym dyskontowane przepływy pieniężne pokrywają poniesione nakłady inwestycyjne. Dyskontowany okres zwrotu nakładów uwzględnia zmienną wartość zainwestowanej kwoty w czasie (2):

$$PBP = \frac{\ln \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{NI}{WRK} \right) \cdot i} \right]}{\ln(1 + i)} \quad [\text{lata}] \quad (2)$$

3. Wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia NPV (net present value).

Jest to suma wszystkich przyszłych przychodów dla okresu życia inwestycji sprowadzonych do roku bieżącego i pomniejszona o poniesione nakłady inwestycyjne (3):

$$NPV = \sum_{n=1}^{n=t} \frac{WRK_n}{(1 + i)^n} - NI \quad [\text{tys. zł}] \quad (3)$$

4. Wewnętrzna stopa zwrotu IRR (internal rate of return).

Jest obliczana z rachunku przepływów pieniężnych, jest to taka wartość stopy dyskonta, przy której wartość bieżąca netto NPV (Net Present Value) jest równa zero (4):

$$\sum_{n=1}^{n=t} \frac{WRK_n}{(1 + IRR)^n} - NI = 0 \quad [\%], \quad (4)$$

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 (przyjęto 4,5%),

i – stopa dyskonta (przyjęto 5,5%),

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

NI – nakłady inwestycyjne [tys. zł],

WRK – wartość rocznych korzyści [tys. zł].

Na potrzeby analizy szacowania kosztów cyklu życia zaproponowanych systemów, ograniczono się do określenia kosztów zakupu wraz uruchomieniem instalacji Kp i kosztów użytkowania. Kosztami użytkowania są koszty gazu (2 zł/m³) zużywanego przez podgrzewacz gazowy oraz energia elektryczna pobrana przez grzałki elektryczne, sprzężarkę pompy ciepła, a także urządzenia pomocnicze systemu grzewczego. Uwzględniono również koszty poniesione na cele serwisowe w okresie eksploatacji Ke, o . W przypadku eksploatacji podgrzewacza elektrycznego oraz pompy ciepła do rozważań przyjęto dwa warianty zasilania wynikające z zastosowanej taryfy dla energii elektrycznej. W wariantcie pierwszym przyjęto, że urządzenia zużywają energię elektryczną według taryfy G11 (0,4 zł/kWh), w wariantcie drugim urządzenia pracują według taryfy G12e (0,32 zł/kWh) w godzinach obowiązywania strefy nocnej. Na rys. 1 przedstawiono koszty początkowe Kp dla poszczególnych systemów przygotowania c.w.u. Z uwagi na to, że zakup zestawów solarnych jest dotowany przez Państwo, koszty początkowe dla zestawów solarnych uwzględniają dotację z NFOŚiGW (Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), co stanowi 14% kosztów inwestycyjnych tych systemów [3].

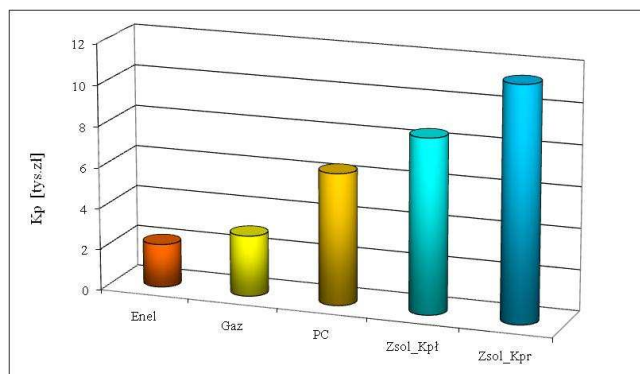
Koszty początkowe zawierają się w przedziale 2,1 do 11,4 tys. zł. Najniższymi kosztami charakteryzuje się elektryczny podgrzewacz pojemnościowy. Są one trzykrotnie niższe w porównaniu z systemem wykorzystującym pompę ciepła i ponad pięciokrotnie w odniesieniu do zestawu solarnego z kolektorami próżniowymi.

Rys. 2 przedstawia porównanie kosztów użytkowania instalacji Ke, o . W tym przypadku roczne koszty dla poszczególnych systemów wahają się od 0,36 do 1,39 tys. zł.

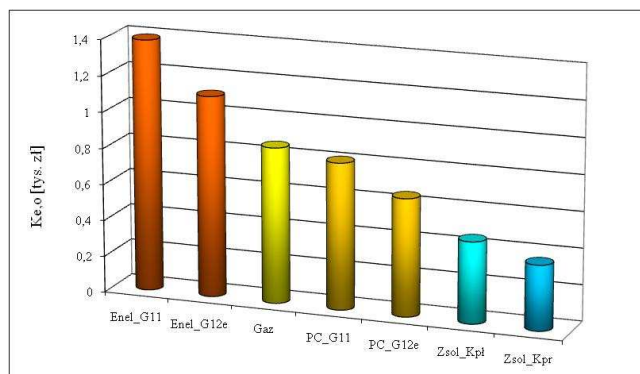
Najniższymi kosztami eksploatacyjnymi charakteryzują się zestawy solarne, które w zależności od zastosowanych kolektorów wynoszą od 0,36 do 0,45 tys. zł. Natomiast

najwyższy koszt przygotowania c.w.u. występuje w przypadku gdy woda jest podgrzewana w elektrycznym podgrzewaczu pojemnościowym. W zależności od zastosowanej taryfy wynosi on od 1,1 do 1,4 tys. zł.

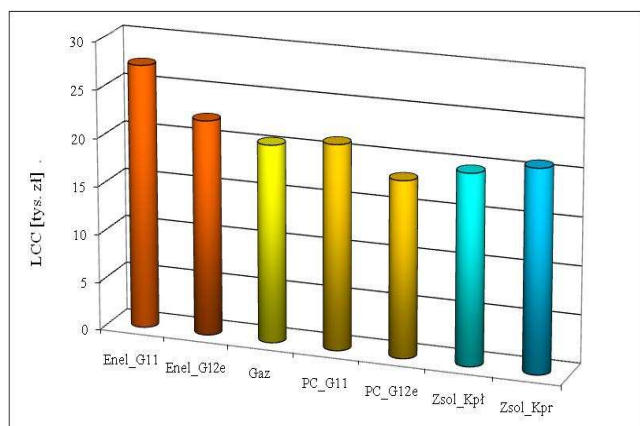
W oparciu o metodę LCC wyznaczono całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne analizowanych systemów dla dwudziesto letniego okresu ich eksploatacji. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku nr 3. Wartość LCC w zależności od zastosowanego systemu kształtuje się w przedziale 18 tys. zł dla zestawu solarnego z kolektorami płaskimi do 27 tys. zł dla elektrycznego podgrzewacza wody.



Rys. 1. Koszty początkowe dla poszczególnych systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej
Fig. 1. Initial costs for particular systems of usable water heating



Rys. 2. Koszty użytkowania dla poszczególnych systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej
Fig. 2. Operating costs for particular systems of usable water heating



Rys. 3. Porównanie kosztów cyklu życia LCC zaproponowanych systemów ogrzewania
Fig. 3 Comparison of life cycle costs of proposed heating systems

Analizując wyniki bilansu kosztów dla elektrycznego podgrzewacza można stwierdzić, że w przypadku gdy wykorzystuje on energię elektryczną według taryfy G12e wielkość kosztów cyklu życia LCC jest nieznacznie wyższa w porównaniu z pozostałymi urządzeniami. Dlatego do dalszej analizy porównawczej systemów przygotowania c.w.u. przyjęto cztery najbardziej korzystne warianty. Jako poziom odniesienia wzięto elektryczny podgrzewacz pojemnościowy pracujący w taryfie G12e i kolejno porównano go z ogrzewaczem gazowym (wariant A), pompą ciepła pracującą w taryfie G12e (wariant B), zestawem solarnym z kolektorami płaskimi (wariant C), oraz zestawem solarnym z kolektorami próżniowymi.

Dla poszczególnych wariantów obliczono nakłady inwestycyjne NI jako różnicę między kosztami początkowymi porównywanych systemów oraz wartość rocznych korzyści WRK będącą różnicą między kosztami użytkowania dla poszczególnych wariantów. Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 2.

Aby wybrać wariant, który jest najbardziej korzystny przeprowadzono analizę ekonomiczną w oparciu o metody *PBP*, *NPV* oraz *IRR*. W tab. 3 zestawiono wyniki obliczeń.

Tab. 2. Wskaźniki porównawcze dla poszczególnych wariantów
Table 2. Comparative indices for different variants

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B	Wariant C	Wariant D
NI [tys. zł]	0,85	4,3	6,4	9,3
WRK [tys. zł]	0,25	0,46	0,66	0,75

Tab. 3. Wyniki analizy ekonomicznej dla poszczególnych wariantów
Table 3. Economic analysis for different variants

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B	Wariant C	Wariant D
PBP [lata]	4	13	14	20
NPV [tys. zł]	2,23	1,19	1,47	-0,33
IRR [%]	28	8	8	5

Analizując wyniki analizy można stwierdzić, że najlepszym wariantem jest zastosowanie gazowego podgrzewacza pojemnościowego. Koszty poniesione na zakup tego urządzenia (w porównaniu z ogrzewaczem elektrycznym) zwróć się po 4 latach, również pozostałe wskaźniki oceny ekonomicznej są najbardziej korzystne. W przypadku gdyby inwestor nie chciałby instalować urządzenia gazowego ma do dyspozycji dwa porównywalne warianty – B i C. Zastosowanie pompy ciepła typu powietrze-woda zwróci się po 13 latach natomiast zestawu solarnego z kolektorami płaskimi po 14. Mimo, iż wskaźnik *NPV* dla instalacji solarnej jest wyższy (a więc bardziej korzystny) niż dla pompy ciepła to wskaźniki *IRR* są takie same. Niekorzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie zestawu solarnego z kolektorami próżniowymi. Okres zwrotu dla tego rozwiązania wynosi 20 lat, a wartość wskaźnika *NPV* jest ujemna. W tym przypadku lepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie elektrycznego ogrzewacza pojemnościowego pracującego w taryfie G12e.

4. Podsumowanie

Zużycie energii końcowej dla analizowanych pojemnościowych systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej dla czteroosobowej rodziny waha się od 0,9 MWh dla zestawu solarnego z kolektorami próżniowymi do 4,1 MWh dla gazowego podgrzewacza pojemnościowego. Aby wybrać konkretne rozwiązanie przeprowadzono analizę ekonomiczną w oparciu o dynamiczne wskaźniki oceny takie jak: *LCC*, *PBP*, *NPV*, *IRR*. Przeprowadzona analiza *LCC* pozwoliła określić całkowite koszty ponoszone w czasie eksploatacji poszczególnych systemów. Stwierdzono, że koszty cyklu życia liczone we metody *LCC* dla elektrycznego ogrzewacza pojemnościowego pracującego wg taryfy G12e niewiele odbiegają od kosztów ponoszonych przy wykorzystaniu pozostałych urządzeń. Aby wybrać najkorzystniejsze rozwiązanie przeprowadzono dalszą analizę dla czterech wariantów, w których elektryczny ogrzewacz pojemnościowy był porównywany kolejno z gazowym, pompą ciepła oraz dwoma zestawami solarnymi. Na podstawie obliczeń wskaźników *PBP*, *NPV* oraz *IRR* wyłoniono rozwiązania, które są najbardziej korzystne dla inwestora. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie gazowego pojemnościowego ogrzewacza c.w.u. dla którego wartości wskaźników są najkorzystniejsze, a co najważniejsze inwestycja ta zwróci się po 4 latach. Zastosowanie pompy ciepła i zestawu solarnego z kolektorami płaskimi jest również dobrym rozwiązaniem jednak inwestycja w te urządzenia zwróci się dopiero po upływie 13-14 lat. Zestaw solarny z kolektorami próżniowymi, mimo że jego koszty

utrzymania są najniższe, to ze względu na wysokie koszty początkowe jest inwestycją nieopłacalną i w tym przypadku lepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie elektrycznego ogrzewacza pojemnościowego pracującego w taryfie G12e.

5. Literatura

- [1] Bławat F.: Analiza Ekonomiczna. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2001.
- [2] Knaga J.: Efektywność sprężarkowej pompy ciepła powietrze-woda po modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła. Inżynieria Rolnicza, 2009, R. 13, nr 6, s. 141-147.
- [3] Marciniak W.: Dotacje do kredytów na kolektory słoneczne. 2010, <http://www.budujemydom.pl>
- [4] Pasierb S. (red): Efektywne wykorzystanie energii w firmie. PARP, Warszawa, 2009.
- [5] PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe Wymagania w projektowaniu.
- [6] Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E.: Ogrzewanie i klimatyzacja. EWFE, Gdańsk, 1994.
- [7] Robakiewicz M.: Metodyka sporządzania świadectw energetycznych budynków i mieszkań. Warszawa: Fundacja Poszanowania Energii, 2009.
- [8] 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).
- [9] Trojanowska M., Szul T.: Modelling of energy demand for heating buildings, heating tap water and cooking in rural households. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. Lublin, 2006, Vol. Via, s. 184-190.