

OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA SYSTEMÓW GRZEWCZYCH WYKORZYSTUJĄCYCH ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

Streszczenie

Dla przykładowego budynku obliczono zużycie energii końcowej do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Do analizy porównawczej przyjęto trzy systemy grzewcze wykorzystujące energię elektryczną. Aby wybrać najbardziej korzystny przeprowadzono analizę techniczno-ekonomiczną w oparciu o metody dynamiczne założone jak LCC, PBP oraz NPV. W wyniku przeprowadzonych obliczeń wyłoniono system grzewczy, który w perspektywie założonego 20-letniego okresu eksploatacji cechuje się najlepszymi wskaźnikami ekonomicznymi, a więc całkowite koszty ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej będą najniższe - jest nim system oparty na pompie ciepła typu powietrze-woda.

Słowa kluczowe: zużycie energii końcowej na ogrzewanie budynku, piece akumulacyjne, pompy ciepła, analiza ekonomiczna

Wprowadzenie

Na obszarach, na których zwłaszcza w sezonie grzewczym pogarsza się jakość powietrza (np. pojawia się smog) można podejmować działania zmierzające do jego poprawy. Ma to szczególne znaczenie w gminach sąsiadujących z dużymi miastami takimi jak Kraków, gdzie występuje zjawisko smogu. Szacuje się, że gminy sąsiadujące z Krakowem (zlokalizowane na obszarze powiatu krakowskiego) są odpowiedzialne za 15% powstającego smogu [12]. Na mocy znowelizowanej ustawy Prawo ochrony środowiska [14] samorząd województwa może wprowadzić zakaz ogrzewania domów węglem, albo jego najgorszymi gatunkami, takimi jak muł lub flot węglowy. Dodatkowo na mocy przyjętego w 2013 roku programu ochrony powietrza dla Małopolski [13] gminy są zobligowane do działań na rzecz poprawy stanu powietrza, w ramach którego określono działania, jakie należy podjąć w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Już w chwili obecnej gminy stosują te przepisy zwłaszcza przy wydawaniu pozwoleń na budowę, gdzie określają, jakim paliwem może być ogrzewany nowo powstały budynek. Według danych zawartych w Banku Danych Regionalnych Głównego Urzędu Statystycznego na obszarach wiejskich powiatu krakowskiego (w latach 2010-2014) corocznie buduje się ok. 1000 nowych budynków jednorodzinnych, których średnia powierzchnia ogrzewania wynosi ok. 150 m². W większości gmin powiatu krakowskiego systemy grzewcze w nowo powstałych budynkach nie mogą być wyposażone w węglowe źródło ciepła. Kolejnym ograniczeniem przy wyborze nośnika energii na analizowanych obszarze jest częściowo ograniczony dostęp do sieci gazowej, zatem potencjalny inwestor ma do wyboru systemy grzewcze bazujące na energii elektrycznej.

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]. Dlatego celem pracy była analiza porównawcza systemów grzewczych (ogrzewanie oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej) wykorzystujących energię elektryczną.

Do analizy porównawczej przyjęto trzy systemy:

- dynamiczne piece akumulacyjne (c.o.) + elektryczny podgrzewacz pojemnościowy (c.w.u.),
 - z pompą ciepła typu powietrze-woda z zasobnikiem (c.o. + c.w.u.),
 - z pompą ciepła typu woda-woda z zasobnikiem (c.o. + c.w.u.).
- Zakres pracy obejmuje również obliczenia zapotrzebowania na moc do ogrzewania i przygotowania c.w.u., dobór zasobnika oraz obliczenie rocznego zużycia energii końcowej w obiekcie, a także ocenę ekonomiczną systemów grzewczych.

Obiekt badań

Obiektem badań symulacyjnych jest wolnostojący jednorodzinny budynek mieszkalny o powierzchni użytkowej 153 m², kubaturze ogrzewanej 560 m³, zlokalizowany w III strefie klimatycznej (stacja klimatyczna Kraków Balice) z wentylacją naturalną, zamieszkiwany przez cztery osoby. Wskaźnik zwartości budynku A/V_e wynosi 0,96 [1·m⁻¹]. Przegrody zewnętrzne budynku wykonane są zgodnie z wytycznymi dotyczącymi maksymalnych wartości współczynnika przenikania ciepła U_{max} zawartymi w WT2014 [11]. W oparciu o normę PN-EN 12831 [7] obliczono zapotrzebowanie na moc grzewczą budynku, która wynosi 9,3 kW (obliczono również moc źródeł przekazujących ciepło w poszczególnych pomieszczeniach ogrzewanych). Moc urządzenia do przygotowania c.w.u. w systemie zasobnikowym obliczona według normy PN-92/B-01706 [6] jest równa 3 kW. Obliczona według [9] pojemność zasobnika c.w.u. to 250 dm³. Ciepła woda użytkowa w budynku będzie rozprowadzana do punktów czerpalnych w systemie cyrkulacyjnym. Do analizy dobrano pompy ciepła o mocy ok. 12 kW i sezonowym współczynnikiem efektywności COP = 2,6 (pompa ciepła powietrze-woda 55/45) oraz COP = 3,6 (pompa ciepła woda-woda 55/45) [10]. W każdym wariancie pompy ciepła będą pracowały w systemie rozdzielaczowym centralnego ogrzewania z grzejnikami członowymi (pracującymi w temperaturze 55/45°C). Z uwagi, że dynamiczne piece akumulacyjne są tak zaprojektowane, aby pracowały (magazynowały ciepło) w czasie niskiej taryfy, ich moc musi być dwukrotnie wyższa od obliczeniowej [8]. W związku z tym dobrano urządzenia (do każdego z pomieszczeń) o sumarycznej mocy 18 kW i sprawności 0,99 [10]. Ostatnim etapem analizy technicznej było obliczenie zużycia energii końcowej w budynku w standar-

Tab. 1. Wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową dla poszczególnych wariantów
Table 1. An index value of demand for final energy for different variants

Wyszczególnienie		Ogrzewanie	Ciepła woda	Urządzenia pomocnicze	Suma
dynamiczne piece akumulacyjne + bojler elektryczny c.w.u.	Wartość [kWh/(m ² ·rok)]	80,37	42,22	1,32	123,91
	Udział [%]	65	34	1	100
pompa ciepła typu powietrze-woda	Wartość [kWh/(m ² ·rok)]	33,63	13,48	3,31	50,42
	Udział [%]	67	26	7	100
pompa ciepła typu woda-woda	Wartość [kWh/(m ² ·rok)]	24,28	11,68	6,42	42,38
	Udział [%]	57	27	16	100

Źródło: obliczenia własne / Source: own calculations

dowym sezonie grzewczym (obejmujące zużycie energii na ogrzewanie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej oraz napęd urządzeń pomocniczych systemu grzewczego) dla trzech wersji systemów grzewczych. Obliczenia symulacyjne wykonano zgodnie z metodyką zawartą w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [10]. W tab. 1 zestawiono wartości jednostkowego wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową w kWh/(m²·rok) dla trzech typów systemów grzewczych.

Sumaryczne roczne zapotrzebowanie na energię końcową w standardowym sezonie grzewczym w przypadku ogrzewania budynku pompami ciepła wynosi odpowiednio: 6,48 MWh dla systemu grzewczego z pompą ciepła typu woda-woda; 7,71 MWh dla systemu grzewczego z pompą ciepła typu powietrze-woda, a zatem jest blisko trzykrotnie niższe niż przy zastosowaniu systemu grzewczego opartego na dynamicznych piecach akumulacyjnych oraz bojlerze elektrycznym (c.w.u.), w przypadku którego zużycie energii końcowej kształtuje się na poziomie 18,95 MWh.

Ocena ekonomiczna analizowanych systemów grzewczych

Wybór konkretnego systemu ogrzewania i przygotowania c.w.u., oprócz kwestii technicznych, powinien opierać się na obiektywnych kryteriach wyboru. Powszechnie uważa się, że takim kryterium jest nadwyżka efektów nad nakładami [1]. Analizę 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 [5]:

- analiza kosztów cyklu życia *LCC* (*life cycle cost*); metoda ta pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w rozważanym cyklu jego życia:

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

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

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

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

- wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia *NPV* (*net present value*);

jest to suma wszystkich przyszłych przychodów dla okresu

życia inwestycji sprowadzonych do roku bieżącego, pomniejszona o poniesione nakłady inwestycyjne:

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

gdzie:

K_p - koszty początkowe (koszt zakupu i uruchomienia instalacji),

K_{e,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).

ΔNI - nakłady inwestycyjne [tys. zł],

WRK - wartość rocznych korzyści [tys. zł].

Na potrzeby analizy szacowania kosztów cyklu życia dla poszczególnych typów systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej w badanym budynku oszacowano koszty zakupu i montażu instalacji (źródło ciepła oraz wewnętrzna instalacja grzewcza) wraz z jej uruchomieniem *K_p*. Określono również koszty użytkowania *K_{e,o}*, jako koszt energii elektrycznej pobranej przez źródła ciepła oraz urządzenia pomocnicze systemu grzewczego, a także koszty poniesione na cele serwisowe w okresie eksploatacji tego systemu. Koszty inwestycyjne (zakup, montaż systemu c.o. + c.w.u.) wyznaczono jako wartości średnie systemów grzewczych dostępnych na rynku [3, 4].

Przyjęto, że gospodarstwa domowe, w których zainstalowano elektryczne systemy grzewcze, rozliczają się w oparciu o taryfę G12e (Eko-premium o przedłużonej strefie czasowej nocnej).

Na analizowanym obszarze operatorem sieci rozdzielczej jest firma TAURON Dystrybucja S.A. Zgodnie z taryfą dla energii elektrycznej w roku 2015, cena jednostkowa brutto za 1 kWh energii elektrycznej wynosi w taryfie „nocnej” 0,41 zł, natomiast w taryfie „dziennej” 0,95 zł. W przypadku eksploatacji systemu grzewczego opartego na dynamicznych piecach akumulacyjnych przyjęto, że będą one pracowały wyłącznie w godzinach obowiązywania taryfy „nocnej”.

Na podstawie badań eksploatacyjnych [2] przyjęto, że pompy ciepła (niezależnie od wariantu) będą pracowały 70% czasu w okresie obowiązywania taryfy „nocnej”, a w pozostałym czasie w oparciu o taryfę „dzienną”. W tab. 2 zawarto podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych dla poszczególnych wariantów.

Koszty cyklu życia systemu grzewczego *LCC* obliczone według zależności (1) zestawiono w tab. 3. Całkowity koszt poniesiony w całym cyklu życia (20 lat) systemu grzewczego jest najwyższy dla ogrzewania akumulacyjnego, najniższy zaś dla pompy ciepła typu woda-woda.

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

Wyszczególnienie	Wartość		
K_p - koszty początkowe, [tys. zł]	dynamiczne piece akumulacyjne + bojler elektryczny	pompa ciepła typu powietrze-woda	pompa ciepła typu woda-woda
	22,1	41,5	55,5
n - całkowita liczba lat eksploatacji	20 lat		
o - koszty obsługi i napraw	1% kosztów inwestycyjnych (rocznie)		
cena jednostkowa (brutto) energii wg taryf operatorów	en. elektryczna taryfa G12e (0,41 zł/kWh), en. elektryczna taryfa G12e (stosunek taryfy „nocnej”/”dziennej” 70/30 (0,57 zł/kWh)		
re - stopa wzrostu cen energii	4,5%		
i - stopa dyskonta	5,5%		
$K_{e,o}$ - roczne koszty użytkowania instalacji [tys. zł]	ogrzewanie akumulacyjne + bojler elektryczny	pompa ciepła powietrze-woda	pompa ciepła woda-woda
	7,7	3,9	3,3

ródło: obliczenia własne / Source: own calculations

Tab. 3. Koszty cyklu życia w założonym okresie eksploatacji
Table 3. Life cycle costs in a given period of operation

Wyszczególnienie	dynamiczne piece akumulacyjne + elektryczny podgrzewacz pojemnościowy	pompa ciepła powietrze-woda	pompa ciepła woda-woda
LCC [tys. zł]	157,5	122,4	124,3

ródło: obliczenia własne / Source: own calculations

Analizując wyniki bilansu kosztów dla systemów opartych na pompach ciepła można stwierdzić, że wartość kosztów cyklu życia LCC jest zbliżona dla obu systemów. Dlatego do dalszej analizy porównawczej przyjęto dwa warianty - jako poziom odniesienia wzięto system oparty na dynamicznych piecach akumulacyjnych (wraz z elektrycznym podgrzewaczem pojemnościowym) i kolejno porównano go z systemem współpracującym z pompą ciepła typu powietrze-woda (wariant A) oraz z systemem współpracującym z pompą ciepła typu woda-woda (wariant B). Dla poszczególnych wariantów obliczono nakłady inwestycyjne ΔNI jako różnicę między kosztami początkowymi porównywanych systemów oraz wartości rocznych korzyści WRK , będącą różnicą między kosztami użytkowania dla poszczególnych wariantów. Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 4.

Tab. 4. Wskaźniki porównawcze dla poszczególnych wariantów

Table 4. Comparative indices for different variants

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B
ΔNI [tys. zł]	19,4	33,4
WRK [tys. zł]	3,8	4,4

Źródło: obliczenia własne / Source: own calculations

Aby wybrać wariant, który jest najbardziej korzystny, przeprowadzono analizę ekonomiczną w oparciu o metody PBP oraz NPV . W tab. 5 zestawiono wyniki obliczeń.

Tab. 5. Wyniki analizy ekonomicznej dla poszczególnych wariantów

Table 5. Results of economic analysis for different variants

Wyszczególnienie	Wariant A	Wariant B
PBP [lata]	6	10
NPV [tys. zł]	26	19

Źródło: obliczenia własne / Source: own calculations

Analizując wyniki można stwierdzić, że lepszym wariantem (co zostało wstępnie potwierdzone w metodzie LCC) jest zastosowanie systemu grzewczego z pompą ciepła typu powietrze-woda. Koszty poniesione na zakup tego urządzenia zwrócą się po 6 latach. Po tym czasie instalacja może przynieść 26 tys. zł oszczędności (w porównaniu z systemem grzewczym opartym na dynamicznych piecach akumulacyjnych oraz bojlerze elektrycznym). System grzewczy oparty na pompie ciepła typu woda-woda, mimo że charakteryzuje się najlepszym współczynnikiem efektywności wykorzystania energii ($COP = 3,6$), z uwagi na wysokie koszty początkowe zwróci się po 10 latach eksploatacji. W kolejnych latach może przynieść ok. 19 tys. zł oszczędności.

Podsumowanie

Dla przykładowego budynku mieszkalnego jednorodzinne, którego powierzchnia użytkowa jest zbliżona do średniej powierzchni nowo powstałych budynków na obszarach wiejskich powiatu krakowskiego, wykonano obliczenia symulacyjne zużycia energii końcowej oraz całkowitych kosztów poniesionych na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Zaproponowano trzy rodzaje systemów grzewczych, które wykorzystują energię elektryczną: dynamiczne piece akumulacyjne, pompa ciepła typu powietrze-woda oraz pompa ciepła typu woda-woda. Aby wybrać konkretne rozwiązanie przeprowadzono analizę ekonomiczną w oparciu o dynamiczne wskaźniki oceny, takie jak: LCC , PBP oraz NPV . Przeprowadzona analiza LCC pozwoliła określić całkowite koszty ponoszone w dwudziestoletnim okresie eksploatacji poszczególnych systemów. Najwyższymi kosztami charakteryzował się system oparty na dynamicznych piecach akumulacyjnych. Ponadto stwierdzono, że koszty cyklu życia liczone według metody LCC dla systemów grzewczych opartych na pompach ciepła niewiele

odbiegają od siebie. Aby wybrać najkorzystniejsze rozwiązanie przeprowadzono dalszą analizę dwóch wariantów, w których system oparty o dynamiczne piece akumulacyjne (plus elektryczny ogrzewacz pojemnościowy) był porównywany kolejno z pompą ciepła typu powietrze-woda oraz pompą ciepła typu woda-woda. Na podstawie obliczeń wskaźników *PBP* oraz *NPV* wyłoniono rozwiązanie, które jest najbardziej korzystne dla inwestora chcącego ogrzewać budynek wykorzystując energię elektryczną. Najlepszym wariantem jest zastosowanie systemu grzewczego, w którym źródłem ciepła będzie pompa ciepła typu powietrze-woda, dla którego wartości wskaźników są najkorzystniejsze, a co najważniejsze inwestycja ta zwróci się po 6 latach. Natomiast dla systemu opartego o pompę ciepła typu woda-woda okres zwrotu kosztów wyniesie 10 lat.

Bibliografia

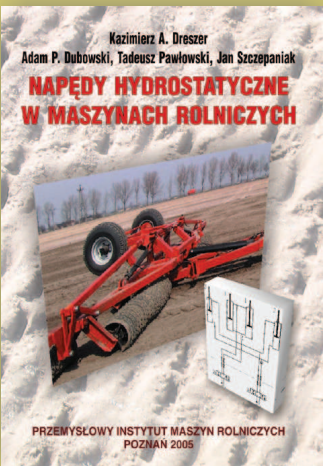
1. Bławat F. 2001. *Analiza Ekonomiczna*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
2. Knaga J., Szul T. 2001. „Analysis of water-water type heat pump operation in a building object”. Teza Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. Tom 11C : 100-108.
3. Leszczyński P. Pompy ciepła (powietrze-woda) - porównanie cen i kosztów 16 urzędzeń. <http://www.poradnik.sunage.pl/wp-zawartosc/uploads/2014/01/Pe%C5%82na-tabela-nr-11.pdf> (dostęp 30.12.2015).
4. Marciniak W. Pompa ciepła - koszty inwestycji i eksploatacji. <http://ekobudowanie.pl/pompy-ciepla/562-pompa-ciepla-koszty-inwestycji-i-eksploatacji> (dostęp 30.12.2015).
5. Pasierb S. (red). 2009. *Efektywne wykorzystanie energii w firmie*. Warszawa: PARP.
6. PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.
7. PN-EN ISO 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach - Metoda obliczania obciążenia cieplnego.
8. PN-EN 15316-4-2 Instalacje grzewcze w budynkach - Metoda obliczania zapotrzebowania na energię instalacji i sprawności instalacji - Część 4-2: • ródła ciepła do ogrzewania miejscowego, instalacje z pompami ciepła.
9. Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E. 1994. *Ogrzewanie i klimatyzacja*. Gdańsk: EWFE.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 27 lutego 2015 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. (Dz. U. 2015., poz. 376).
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 lipca 2015 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2015 r., poz. 1422).
12. Serafin D. Sąsiedzi zatrująją Kraków. Gazeta Krakowska. <http://www.gazetakrakowska.pl/artykul/9110986,sasiedzi-zatrujaja-krakow,id,t.html> (dostęp 23.11.2015).
13. Uchwała Nr XLII/662/13 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 30 września 2013 r. Program ochrony powietrza dla województwa małopolskiego. <http://bip.malopolska.pl/umwm/Download/getArchive/id,746826.html>.
14. Ustawa z 10 września 2015 r. o zmianie ustawy - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 12 października 2015 r., poz. 1593).

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF THE HEATING SYSTEMS USING ELECTRIC ENERGY

Summary

For the model building a final power consumption to heat and prepare warm functional water was calculated. For the comparative analysis three heating systems using the electric energy were adopted. To select the most favorable one a technical and economic analysis was carried out based on dynamic methods, such as LCC, PBP, and NPV. As a result of the calculations a system was selected, which in the assumed 20-year operation period is characterized by the best economic indicators, thus overall costs of heating and preparing warm functional water will be lowest - it is the system based on the heat pump air-water.

Key words: final energy consumption for heating the building, storage heater, heat pumps, economic analysis



Kazimierz A. Dreszer
Adam P. Dubowski, Tadeusz Pawłowski, Jan Szczepaniak

NAPĘDY HYDROSTATYCZNE
W MASZYNACH ROLNICZYCH

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH
POZNAŃ 2005

NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>