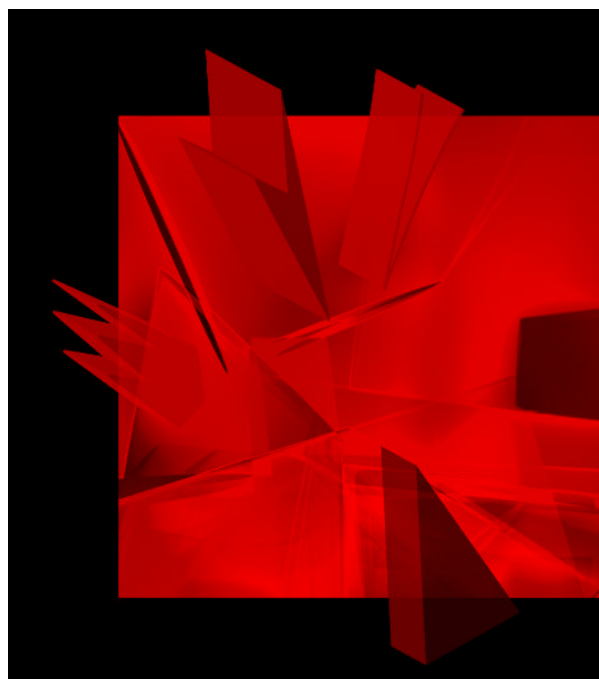


NAUKI INŻYNIERSKIE I TECHNOLOGIE ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3(6) • 2012



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2012

Redaktor Wydawnictwa: Barbara Majewska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Czasopismo „Nauki Inżynierskie i Technologie” stanowi kontynuację Prac Naukowych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu pt. „Nauki Inżynierskie i Technologie”

Praca dofinansowana przez Ministra Edukacji i Szkolnictwa Wyższego

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com

Czasopismo jest indeksowane w bazie AGRO <http://agro.icm.edu.pl>

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie

wymaga pisemnej zgody Wydawnictwa

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

Wrocław 2012

ISSN 2080-5985

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Nakład: 150 egz.

Spis treści

Wstęp	7
Fabian Dajnowiec, Paweł Banaszczyk, Lidia Zander, Maria Soral-Śmietana, Małgorzata Wronkowska , Wykorzystanie membran poliamidowych do otrzymywania koncentratu serwatki kwasowej	11
Agnieszka Drożdżyńska, Joanna Pawlicka, Katarzyna Czaczyk , Charakterystyka i perspektywy wykorzystania <i>Citrobacter</i> spp	22
Ewelina Dziągiewska, Marek Adamczak , Zastosowanie produktów ubocznych i odpadów w syntezie soforolipidów przez <i>Candida bombicola</i>	37
Jarosław Frączek, Tomasz Hebda, Bogusława Łapczyńska-Kordon , Ocena możliwości wykorzystania bioodpadów na cele energetyczne	49
Tomasz Hebda, Jarosław Frączek, Bogusława Łapczyńska-Kordon , Wpływ czasu przechowywania na wybrane cechy jakościowe korzenia selera	65
Władysław Leśniak, Małgorzata Janczar-Smuga, Waldemar Podgórski, Marcin Klinkowski , Pompy ciepła – ekologiczne źródło energii odnawialnej.....	78
Marta Marcinkiewicz, Piotr Juszczyk, Anita Rywińska, Waldemar Ry-mowicz , Wpływ warunków hodowli drożdży <i>Yarrowia lipolytica</i> na wydajność syntezy erytrytolu z glicerolu	90
Joanna Piepiórka-Stepuk, Sylwia Mierzejewska , Wykorzystanie nefelometrów w identyfikacji procesu mycia w przepływie	99
Monika Sterczyńska, Mariusz S. Kubiak, Michał Starzycki , Wpływ fermentacji alkoholowej na zmiany NNKT w pestkach z czarnej porzeczki jako surowcu odpadowym	110
Magdalena Świątek, Małgorzata Lewandowska, Karolina Świątek, Włodzimierz Bednarski , Wpływ parametrów obróbki ciśnieniowej na efektywność hydrolizy polisacharydów surowca lignocelulozowego.....	117

Summaries

Fabian Dajnowiec, Paweł Banaszczyk, Lidia Zander, Maria Soral-Śmietana, Małgorzata Wronkowska , Application of polyamide membranes to produce acid whey concentrate.....	21
Agnieszka Drożdżyńska, Joanna Pawlicka, Katarzyna Czaczyk , Characteristics and applicative potential of <i>Citrobacter</i> spp	36

Ewelina Dzięgielewska, Marek Adamczak , The application of by-products and waste for synthesis of sophorolipids by <i>Candida bombicola</i>	48
Jarosław Frączek, Tomasz Hebda, Bogusława Łapczyńska-Kordon , The assessment of use of agricultural waste for energy purposes	64
Tomasz Hebda, Jarosław Frączek, Bogusława Łapczyńska-Kordon , Influence of storing time on some of qualitative properties of celery root	77
Władysław Leśniak, Małgorzata Janczar-Smuga, Waldemar Podgórski, Marcin Klinkowski , Heat pumps – organic source of renewable energy .	89
Marta Marcinkiewicz, Piotr Juszczyk, Anita Rywińska, Waldemar Ry-mowicz , The effect of culture conditions on erythritol synthesis yield by <i>Yarrowia lipolytica</i> from glycerol.....	98
Joanna Piepiórka-Stepuk, Sylwia Mierzejewska , Applications of nefelometers to identify cleaning process in the flow.....	109
Monika Sterczyńska, Mariusz S. Kubiak, Michał Starzycki , Effect of changes alcoholic fermentation in EFA the seeds of blackcurrant of the by-products	116
Magdalena Świątek, Małgorzata Lewandowska, Karolina Świątek, Włodzimierz Bednarski , The effect of parameters of pressure treatment on the effectiveness of hydrolysis of lignocellulosic substrate polysaccharides.....	126

**Władysław Leśniak¹, Małgorzata Janczar-Smuga²,
Waldemar Podgórski², Marcin Klinkowski¹**

¹ Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy

² Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: wladyslaw.lesniak@ue.wroc.pl

**POMPY CIEPŁA – EKOLOGICZNE ŹRÓDŁO
ENERGII ODNAWIALNEJ**

Streszczenie: Intensywny rozwój przemysłu, równoznaczny zarówno ze wzrostem zapotrzebowania na paliwa kopalne, jak i ze zwiększeniem ilości zanieczyszczeń spowodowanych eksploatacją tych paliw, zmusił ludzkość do poszukiwania nowych, mniej uciążliwych dla środowiska źródeł energii. Pompy ciepła to zdaniem wielu ekspertów technika przyszłości. Pompy ciepła wykorzystują ogromne ilości energii cieplnej, które utrzymują się w naturalnych pokładach. Ich konstrukcja umożliwia pozyskanie energii cieplnej z różnych źródeł, np. ziemi, powietrza i wody. Źródła te, z racji niskiej temperatury, nie nadają się do bezpośredniego wykorzystania, ale właśnie dzięki pompie ciepła możliwe jest pozyskanie energii w sposób ekonomicznie opłacalny. W pracy przedstawiono pompy ciepła i ich rodzaje oraz przeprowadzono analizę ekonomicznej opłacalności ich stosowania.

Słowa kluczowe: pompy ciepła, energia odnawialna, ekologia.

1. Wstęp

Postęp cywilizacyjny i wzrost poziomu życia mieszkańców globu powoduje ciągły wzrost zapotrzebowania na energię. Zasoby paliw kopalnych ulegają wyczerpaniu, a ich eksploatacja wpływa negatywnie na środowisko. Zasoby ropy naftowej, szacowane na około 150 mld ton, przy obecnym tempie ich eksploatacji wystarczą na około 40-50 lat. Zasoby gazu ziemnego według przewidywań wystarczą na około 70 lat [Sadowski i in. 2008]. Około 75% światowej produkcji energii pochodzi z surowców nieodnawialnych – węgla, ropy i gazu. Problemy energetyczne świata można rozwiązać poprzez racjonalne gospodarowanie energią oraz pozyskiwanie jej ze źródeł odnawialnych.

Do niekonwencjonalnych (odnawialnych) źródeł energii zalicza się głównie energię wody oraz wiatru, energię słoneczną, geotermalną oraz otrzymywaną z biomasy. Około 20% produkowanej na świecie energii pochodzi ze źródeł odnawialnych, podczas gdy w Unii Europejskiej tylko ok. 7%. W związku z tym postano-

wiono zwiększyć w UE udział energii odnawialnej w bilansie energii do ok. 20% w roku 2020.

Obecnie najważniejszym źródłem energii odnawialnej jest energetyka wodna oraz biomasa, ale największym rocznym przyrostem charakteryzuje się energetyka słoneczna i wiatrowa. W najbliższych latach należy się spodziewać dalszego szybkiego wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Wzrost ich udziału w bilansie paliwowo-energetycznym świata i Europy przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów energetycznych, poprawy stanu środowiska poprzez redukcję zanieczyszczeń atmosfery oraz zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów.

Jednym ze źródeł energii odnawialnej, które wzbudza najwięcej kontrowersji w przypadku zastosowania przez odbiorców indywidualnych, są pompy ciepła wykorzystywane do ekologicznego ogrzewania różnych obiektów, np. domów, warsztatów, suszarni, basenów itp.

Celem pracy jest przedstawienie rodzajów oraz krótkiej charakterystyki pomp ciepła, a także udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy inwestycja w pompy ciepłne jest opłacalna.

2. Pompy ciepła i ich rodzaje

W przyrodzie ciepło jest przenoszone z obiektów o temperaturze wyższej do obiektów o temperaturze niższej. Do przenoszenia ciepła w odwrotnym kierunku – czyli z zimniejszego otoczenia do cieplejszego – służą pompy ciepła. Przepływ ciepła w kierunku odwrotnym do naturalnego możliwy jest dzięki dostarczeniu do układu przenoszącego energię zewnętrznej oraz wykorzystaniu kilku zjawisk fizycznych.

Można w uproszczeniu przyjąć, że zasada działania pompy ciepła jest podobna do zasady działania chłodziarek domowych. Chłodziarka odbiera ciepło z obiektu o niższej temperaturze (z wnętrza chłodziarki) i oddaje je do cieplejszego otoczenia (pomieszczenia, w którym się znajduje, np. kuchni). Podobnie pompa ciepła odbiera ciepło z zimniejszego otoczenia (wody, gruntu, powietrza) i dostarcza je do cieplejszego obiektu (zbiornika wody, mieszkania).

Ze względu na zasadę działania rozróżnia się kilka rodzajów pomp ciepła, ale najczęściej stosowane są pompy sprężarkowe oraz absorpcyjne.

W sprężarkowej pompie ciepła funkcjonują trzy obiegi:

- dolnego źródła ciepła,
- termodynamiczny,
- górnego źródła ciepła.

Podstawowymi elementami pompy sprężarkowej są: sprężarka, zawór rozprężny i wymienniki ciepła – parownik oraz skraplacz.

Obieg dolnego źródła ciepła jest obiegiem niskotemperaturowym. Odbiera on ciepło z ośrodka będącego źródłem ciepła (wody, gruntu, powietrza) i ogrzewa w parowniku zimny czynnik termodynamiczny z drugiego obiegu. Ogrzany czynnik ter-

modynamiczny w skraplaczu przekazuje energię czynnikowi roboczemu, który jest już wykorzystywany do ogrzewania. Jest to możliwe dzięki cyklicznym zmianom stanu czynnika termodynamicznego – parowaniu, sprężaniu, skraplaniu i rozprężaniu. Odbywa się to dzięki doprowadzonej do układu energii elektrycznej zasilającej sprężarkę.

Podstawowymi parametrami takich pomp ciepła są: moc grzewcza oddawana do układu oraz moc elektryczna niezbędna do napędu sprężarki. Stosunek tych mocy, zwany współczynnikiem efektywności pompy ciepła, oznaczony jest jako COP (*Coefficient of Performance*). Jest on relatywnie wysoki i wynosi 3,5-6, co sprawia, że pompy ciepła charakteryzują się najefektywniejszym wykorzystaniem energii [Szlachta (red.) 1999].

Głównym kryterium podziału pomp ciepła jest sposób pozyskiwania energii z dolnego źródła ciepła. Ciepło może być pobierane bezpośrednio z otoczenia (powietrza), ze zbiorników wodnych lub wód gruntowych, ale najczęściej jest pobierane z gruntu, poniżej strefy przemarzania (1-1,5 m), przy czym duże znaczenie ma tutaj struktura gruntu. Grunty mokre i gliniaste lepiej magazynują ciepło, natomiast ziemia sucha i piaszczysta – słabiej.

Aby ciepło mogło być doprowadzone przez czynnik roboczy do parownika musi być pobrane z gruntu w kolektorze. Korzystanie z ciepła gruntu wymaga zatem instalacji dodatkowego wymiennika ciepła – kolektora gruntowego.

Wymienione metody odzysku ciepła ze środowiska określają cztery podstawowe rodzaje pomp ciepła:

1. P/W – powietrze/woda (czasami oznaczane jako A/W),
2. W/W – woda/woda,
3. S/W – solanka/woda,
4. BP/W – bezpośrednio parowanie/woda.

Pierwszy człon odnosi się do metody poboru ciepła ze środowiska w dolnym źródle ciepła. Bezpośrednio pobierane jest ciepło z powietrza i wody. Solanka określa potoczną nazwę czynnika niezamarzającego, np. roztworu glikolu propylenowego z wodą. Roztwór ten przepływa przez kolektor i odbiera ciepło z gruntu. W przypadku, gdy kolektor jest jednocześnie parownikiem, występuje bezpośrednio parowanie i jest to czwarty rodzaj pomp ciepła.

Drugi człon określa rodzaj czynnika grzewczego w górnym źródle ciepła i najczęściej jest nim woda.

W pompach typu BP/W (bepośrednie parowanie/woda) dzięki eliminacji pośredniego czynnika (solanki) uzyskuje się większą wydajność grzewczą. Podstawowymi czynnikami wpływającymi na opłacalność zastosowania pompy ciepła jest jej dobór, rzeczywista sprawność oraz czas zwrotu nakładów inwestycyjnych. Dobór odpowiedniej dla danego obiektu pompy ciepła to najistotniejsza i najtrudniejsza część projektu ogrzewania. W przypadku doboru zbyt słabej pompy ciepła nie będzie ona w stanie ogrzać obiektu w zimniejsze dni, a wybór pompy o zbyt dużej

mocy będzie skutkował jej częstymi przestojami, co w efekcie skróci żywotność pompy, a przez to całego systemu grzewczego.

W celu prawidłowego doboru urządzeń i instalacji dla wybranego obiektu należałoby przeprowadzić audyt energetyczny. Audyt uwzględnia warunki środowiskowe oraz energetyczne i przedstawia dane dotyczące zapotrzebowania obiektu na moc grzewczą, ewentualnych modernizacji ocieplenia, możliwości wykorzystania pompy do ogrzewania oraz wskazuje rodzaj kolektora odpowiedniego dla danych warunków.

Ze względu na koszty audytu energetycznego w przypadku domów jednorodzinnych jest on rzadko przeprowadzany. W takiej sytuacji można obliczyć zapotrzebowanie na moc grzewczą, wykorzystując współczynnik zapotrzebowania ciepła dla różnego typu budynków (tabela 1).

Tabela 1. Porównanie wartości współczynnika zapotrzebowania ciepła w zależności od rodzaju i stanu ogrzewanego obiektu

Rodzaj i stan budynku	Współczynnik zapotrzebowania ciepła k_c [W/m ²]
Stare budownictwo bez ocieplenia	100-150
Budynki stare słabo ocieplone	75-100
Budynki słabo ocieplone (do 5 cm styropianu lub wełny mineralnej)	65-75
Budynki o średnim ociepleniu (do 10 cm styropianu lub wełny mineralnej)	45-55
Budynki nowe bardzo dobrze ocieplone (co najmniej 20 cm styropianu lub wełny mineralnej)	35-45

Źródło: [Buczek, Telejko 2008].

Jeżeli w projekcie jest uwzględniany zbiornik CWU (cieplej wody użytkowej), to trzeba również w bilansie cieplnym uwzględnić zapas mocy na ogrzewanie wody.

Największą zaletą pompy ciepła jest jej wysoka sprawność. Zależy ona w głównej mierze od różnicy temperatur pomiędzy dolnym a górnym źródłem ciepła. Zależność tę dla temperatury wody grzewczej 35°C przedstawiono w tabeli 2.

Jest to zależność teoretyczna, którą w praktyce jest bardzo trudno osiągnąć, gdyż zależy ona również od wielu innych parametrów pracy pompy.

Badania eksperymentalne wykazały, że dla temperatury górnego źródła 50°C, a dolnego źródła ciepła na poziomie 10°C współczynnik wydajności grzewczej pompy ciepła wyniósł 3,54, a dla temperatury dolnego źródła 3°C wyniósł 3,48 [www.eko-energia...]

Obecnie producenci pomp ciepła starają się produkować pompy uniwersalne, tj. pracujące w szerokim zakresie temperatur górnego i dolnego źródła ciepła.

Tabela 2. Zależność efektywności energetycznej pompy ciepła od temperatury dolnego źródła ciepła

Temperatura źródła ciepła	Różnica temperatur temp. c.o. – temp. źródła	Efektywność energetyczna	Zakresy stosowania różnych pomp ciepła		
°C	K	–			
20	15	7			
26	19	6,5			
12	23	6	W/W	S/W	P/W
8	27	5,5			
5	30	5			
0	35	4,5			
–5	40	3,5			
–11	46	2,5			
–16	51	2			
–20	55	1,5			

Źródło: [Oszczak 2005].

3. Analiza ekonomicznej opłacalności pompy ciepła

Aby odpowiedzieć na pytanie: czy opłaca się inwestować w pompy ciepła, trzeba porównać koszty inwestycyjne i eksploatacyjne różnych systemów ogrzewania w możliwie długim czasie. Analiza ekonomiczna zastosowania pompy ciepła do ogrzewania domu jednorodzinnego powinna być prowadzona praktycznie dla każdego obiektu z osobna, gdyż nie ma możliwości znalezienia kilku identycznych obiektów i zainstalowania w każdym z nich innego systemu grzewczego celem porównania kosztów w ciągu kilku bądź kilkunastu lat. Z tego powodu porównanie można przeprowadzić na podstawie przykładów. Do analizy wybrano cztery domy jednorodzinne – dwa teoretyczne i dwa praktyczne o powierzchni użytkowej 200 m²:

- Przykład 1: stary dom bez ocieplenia.
- Przykład 2: nowy dom dobrze ocieplony.
- Przykład 3: rzeczywisty obiekt z pompą ciepła Viessmann – Vitocal 300.
- Przykład 4: rzeczywisty obiekt z pompą ciepła Neuratherm Pro D 7/14 Wi.

Ze względu na dużą ilość czynników wpływających na koszty instalacji i eksploatacji różnych systemów grzewczych w obliczeniach zastosowano następujące uproszczenia:

- nie brano pod uwagę kosztów wewnętrznej instalacji grzewczej, gdyż każdy dom musi zawierać taką instalację niezależnie od systemu ogrzewania;

- nie uwzględniono ogrzewania za pomocą pompy ciepłej wody użytkowej;
- pominięto ewentualne zmiany cen paliw;
- do obliczeń kosztów ogrzewania węglem przyjęto sprawność kotła 65%, a ekogroszkiem – 85%.

Przykład 1: stary dom bez ocieplenia.

Na podstawie danych z tabeli 1 przyjęto średnie zapotrzebowanie ciepła dla takiego budynku $Q = 27,5$ kW. Założono, że sezon grzewczy trwa od 1 października do 30 kwietnia, czyli 212 dni w roku, i przyjmując czas pracy pompy na poziomie 60%, okres pracy pompy określono na 3000 h/rok. Zapotrzebowanie ciepła w sezonie wyniesie zatem $Q = 27,5 \cdot 3000 = 82\,500$ kWh. Roczny koszt ogrzewania budynku z przykładu 1 dla różnych źródeł energii przedstawiono w tabeli 3.

W przykładzie 1 wybrano pompę ciepła typu S/W (solanka/woda), model Bjorn 30 kW firmy Vikersonn, o parametrach: COP = 4, cena = 32 400 zł, koszt dolnego źródła = 49 000 zł [Klinkowski 2011].

Tabela 3. Roczny koszt ogrzewania domu (przykład 1)

Paliwo	Cena jedn. [zł/kWh]	Koszt [zł]	
Węgiel kamienny	0,09	11 423,08	
Ekogroszek	0,12	11 647,06	
Olej opałowy	0,41	33 825,00	
Gaz ziemny	0,19	15 675,00	
Propan-butan	0,41	33 825,00	PC (COP = 4)
Energia elektryczna	0,28	23 100,00	5 775,00
	0,63	51 975,00	12 993,75
	0,54	44 550,00	11 137,50

Źródło: opracowanie własne.

Analiza kosztów eksploatacji pompy ciepła na przestrzeni 25 lat wykazała, że inwestycja w nią, w porównaniu z gazem ziemnym, zamortyzuje się już po 10 latach w przypadku korzystania z dwutaryfowego rozliczenia energii elektrycznej oraz po 16 latach w przypadku jednej taryfy.

Biorąc pod uwagę węgiel czy ekogroszek zwrot nakładów inwestycyjnych nastąpi po około 25 latach – w przypadku dwóch taryf oraz po około 100 latach – w przypadku jednej taryfy.

Przykład 2: nowy dom jednorodzinny z dobrą izolacją cieplną o powierzchni 200 m²

Współczynnik zapotrzebowania na energię dla takiego domu określono na podstawie tabeli 1 na poziomie 40 W/m², czyli zapotrzebowanie na energię wyniesie $Q = 8000$ W.

Na tej podstawie przyjęto pompę ciepła typu S/W, model Björn 8 kW firmy Vikersonn, o parametrach: COP = 4, cena = 18 400 zł, koszt dolnego źródła = 13 000 zł [Klinkowski 2011].

Sezonowe zapotrzebowanie na energię (Q_s) wynosi:

$$Q_s = 8000 \text{ W} \cdot 3000 \text{ h} = 24\,000 \text{ kWh.}$$

W tabeli 4 przedstawiono roczny koszt ogrzewania budynku za pomocą różnych źródeł energii.

Tabela 4. Roczny koszt ogrzewania domu (przykład 2)

Paliwo	Cena jedn. [zł/kWh]	Koszt [zł]	
Węgiel kamienny	0,09	3 323	
Ekogroszek	0,12	3 388	
Olej opałowy	0,41	9 840	
Gaz ziemny	0,19	4 560	
Propan-butan	0,41	9 840	
Energia elektryczna	0,28	6 720	PC (COP) = 4 1 680
	0,63	15 120	3 780
	0,54	12 960	3 240

Źródło: opracowanie własne

Z przedstawionych danych wynika, że roczny koszt ogrzewania budynku pompą ciepła jest zbliżony do kosztów ogrzewania budynku za pomocą węgla kamiennego lub ekogroszku przy stosowaniu normalnej taryfy elektrycznej, a o połowę niższy przy stosowaniu do napędu pompy ciepła ulgowej taryfy elektrycznej.

Obliczenia kosztów eksploatacji pompy ciepła w okresie 25 lat wykazały, że inwestycja w pompę ciepła w porównaniu z gazem ziemnym zwróci się po około 18 latach w przypadku korzystania z ulgowej taryfy za prąd elektryczny oraz po około 23 latach w przypadku taryfy normalnej. Wynika z tego, że dwutaryfowy system korzystania z energii elektrycznej daje w przypadku pomp ciepła znaczne korzyści ekonomiczne.

Przykład 3: dom jednorodzinny o powierzchni 200 m² zlokalizowany pod Opolem.

Zastosowano w nim system grzewczy z pompą ciepła Viessmann Vitocal 300. Producent pompy i realizator inwestycji umożliwił podgląd pracy całego układu grzewczego przez sieć Internet. Instalacja obejmuje pompę ciepła S/W z dwoma pionowymi wymiennikami o głębokości 91 m, stanowiącymi dolne źródło ciepła. Pompa służy do ogrzewania podłogowego domu oraz ciepłej wody użytkowej (CWU).

Odczytane wybrane parametry pracy pompy (temperatura) były następujące:

- solanki na wejściu do pompy ciepła – 4,3°C,
- solanki na wyjściu z pompy ciepła – 0,2°C,
- wewnątrz budynku – 21°C,
- na wejściu ogrzewania podłogowego – 32°C.

Podsumowanie rocznego okresu pracy pompy od 1.10.2010 r. do 30.09.2011 r. COP pompy ciepła: 3,73.

Energia cieplna wytworzona przez pompę ciepła: 16 474 kWh.

Zużycie energii elektrycznej w taryfie dziennej: 486,9 kWh.

Zużycie energii elektrycznej w taryfie nocnej: 4552 kWh.

Koszt energii zużytej w taryfie G12g: 1581,30 zł.

Koszty otrzymania energii wytworzonej przez pompę ciepła (16 474 kWh) przy użyciu innych paliw oraz pompy ciepła przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Roczny koszty ogrzewania domu (przykład 3)

Paliwo		Cena jedn. [zł/kWh]	Koszt [zł]	
Węgiel kamienny		0,09	2 281	
Ekogroszek		0,12	2 326	
Olej opałowy		0,41	6 754	
Gaz ziemny		0,19	3 130	
Propan-butan		0,41	6 754	PC (COP) = 3,73
Energia elektryczna	Taryfa N	0,28	4 613	1 411
	Taryfa D	0,63	10 379	3 175
	I Taryfa	0,54	8 896	2 721

Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z tabeli 5, koszt wytworzenia tej ilości energii, najniższy w przypadku węgla kamiennego i ekogroszku, jest jednak o ponad 50% wyższy aniżeli w przypadku pompy ciepła. Oczywiście nie bez znaczenia jest tutaj korzystna taryfa energii elektrycznej, gdyż dla taryfy normalnej koszty uzyskania tej ilości energii z węgla i groszku są niższe. System sterowania pompą ciepła jest jednak tak zaprogramowany, aby maksymalnie wykorzystał dwutaryfowy system rozliczenia energii elektrycznej. Ponieważ w tym przykładzie nie został podany koszt całej inwestycji w pompę ciepła, nie można tutaj obliczyć okresu zwrotu nakładów związanych z eksploatacją pompy ciepła.

Przykład 4: dom jednorodzinny o pow. 200 m² położony w miejscowości Jarośławice oddalony około 20 km od Wrocławia.

Przykład dotyczy rzeczywistych kosztów poniesionych na zainstalowanie i eksploatację pompy ciepła. Zapotrzebowanie ciepła dla budynku obliczono na 10 kW.

Podstawowe parametry systemu grzewczego:

Typ pompy ciepła do ogrzewania Neuratherm Pro-D-7/14 Wi.

Koszt pompy ciepła Neuratherm – 16 000 zł.

Instalacja do pompy ciepła – 6000 zł.

Dolne źródło ciepła: kolektor gruntowy o pow. 330 m², głębokość 180 cm, długość rurek około 500 m.

Koszt dolnego źródła ciepła – 27 300 zł.

Koszt górnego źródła ciepła: ogrzewanie podłogowe – 20 000 zł.

Suma kosztów poniesionych na inwestycję – 67 000 zł.

W latach 2008-2012 średnie zużycie energii elektrycznej do ogrzewania wyniosło 19 800 kWh, czyli średnio w roku 3960 kWh.

Koszt energii elektrycznej przy dwutaryfowym rozliczeniu energii:

Zużycie energii w taryfie ulgowej – 3720 kWh.

Zużycie energii w taryfie normalnej – 240 kWh.

Koszt zużytej energii – 1171 zł.

Koszty wytworzenia energii przez pompę ciepła (21 780 kWh) przy użyciu różnych paliw oraz pompy ciepła przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Roczny koszt ogrzewania domu (przykład 4)

Paliwo	Cena jedn. [zł/kWh]	Koszt [zł]	
Węgiel kamienny	0,09	1 960	PC (COP) = 5,5
Ekogroszek	0,12	2 614	
Olej opałowy	0,41	8 930	
Gaz ziemny	0,19	4 138	
Propan-butan	0,41	8 930	
Energia elektryczna	0,28	6 098	1109
	0,54	11 761	2139

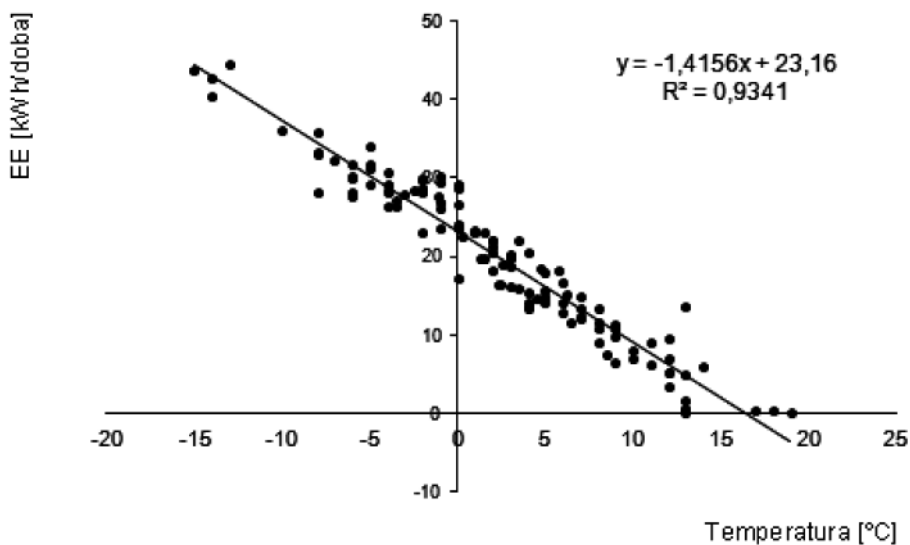
Źródło: opracowanie własne

Dane przedstawione w tabeli 6 wskazują, że koszt wytworzenia energii dostarczonej przez pompę ciepła, najniższy dla węgla kamiennego i ekogroszku, jest jednak znacznie wyższy aniżeli w przypadku pompy ciepła. Oczywiście dla innych nośników energii koszty te były kilkakrotnie wyższe. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w obliczeniu okresu zwrotu poniesionych nakładów, który dla gazu ziemnego wynosi 15,5 roku, a dla oleju opałowego i gazu propan-butan tylko 6 lat. Biorąc pod uwagę fakt, że w miejscowości Jarosławice nie ma gazu ziemnego, inwestycję w pompę ciepła należy uznać za w pełni opłacalną.

Pomiary wykonywane dla tej pompy ciepła w latach 2008-2012 wykazały, że zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarki pompy ciepła jest ściśle uzależnione od temperatury panującej na zewnątrz budynku (rys. 1). Z wykresu wynika, że przy temperaturze zewnętrznej 0°C średnie zużycie energii do napędu pompy ciepła wynosi 24 kWh/dobę, a przy temperaturze zewnętrznej 17°C pompa ciepła przestaje pracować.

Zależność ta znalazła swoje odzwierciedlenie na rysunku 2, na którym przedstawiono dobowe oraz średniomiesięczne zużycie energii elektrycznej do napędu pompy ciepła w latach 2008-2012.

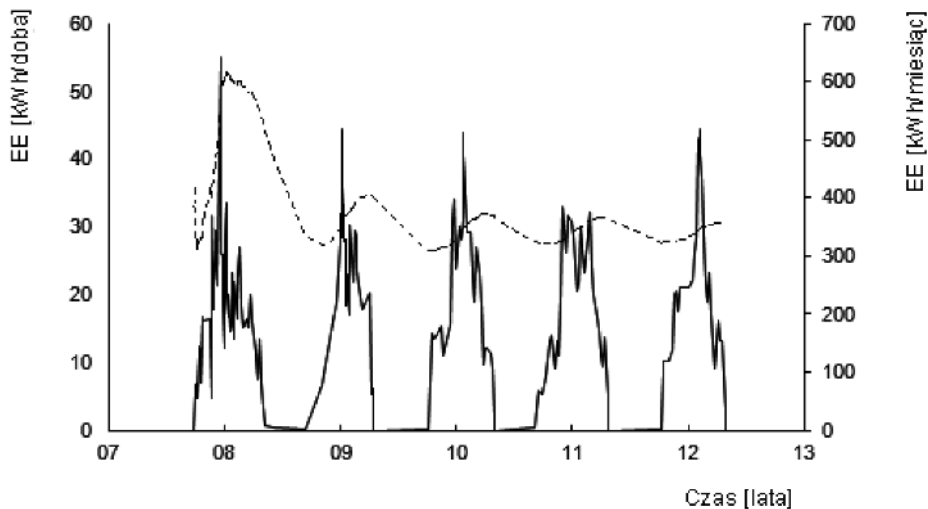
Wynika z niego, że maksymalne dobowe zużycie energii elektrycznej wynosiło: w miesiącach zimowych około 50 kWh, a zużycie średniomiesięczne dla całego roku w badanym okresie – około 350 kWh. Są to wielkości nieporównywalne z zadnym innym systemem ogrzewania.



- wartości rzeczywiste

Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej (EE) do napędu pompy ciepła w zależności od temperatury zewnętrznej.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Dobowe oraz średniomiesięczne zużycie energii elektrycznej (EE) do napędu pompy ciepła w latach 2008-2012

Źródło: opracowanie własne.

4. Podsumowanie

Analiza doboru pompy ciepła dla domu jednorodzinnego wskazuje, że koszty instalacji pompy są rzędu kilkudziesięciu tysięcy złotych. Zatem dla prawidłowego funkcjonowania systemu grzewczego z pompą ciepła niezbędny jest właściwy jej dobór, uwzględniający zarówno stan budynku, jak i warunki otoczenia. Konieczne jest tu dokonanie szeregu obliczeń, dlatego zadanie to najlepiej jest powierzyć wyspecjalizowanym firmom, które zajmują się projektowaniem i instalacją pomp ciepła.

W ocenie ekonomicznej należy odnieść się do analizowanych przykładów zastosowania pompy ciepła do ogrzewania domu. Wynika z nich, że pompa ciepła zapewnia najniższe koszty energii cieplnej w stosunku do konwencjonalnych źródeł energii. W porównaniu z olejem opałowym, gazem propan-butan czy ogrzewaniem energią elektryczną zwrot nakładów na pompę ciepła nastąpiłby po kilku latach. Stosunkowo dłuższy, bo wynoszący około 10-15 lat, jest średni okres zwrotu nakładów w przypadku gazu ziemnego. Jedynie węgiel kamienny stanowił konkurencję dla pompy ciepła. W omawianych przykładach okres zwrotu nakładów wynosił w przypadku węgla około 20 lat. Wziąwszy pod uwagę fakt, że trwałość systemu grzewczego z pompą ciepła wynosi – w zależności od różnych czynników – 20-50 lat, może się okazać, że nie jest to inwestycja w pełni opłacalna. Jednakże uwzględniając trudności związane ze stosowaniem węgla (transport, kotłownia, palenie w piecu itp.), należy stwierdzić, że pompy ciepła są najbardziej opłacalnym źródłem energii, zwłaszcza w miejscowościach, w których nie można stosować gazu ziemnego.

Pompy ciepła najefektywniej jest stosować w nowo projektowanych budynkach, co wiąże się z rodzajem wewnętrznej instalacji ciepłowniczej. Ze względu na niższe temperatury medium grzejącego jest to najczęściej ogrzewanie podłogowe lub ściennie o dużej powierzchni wymiany ciepła. Jednocześnie, projektując pompę ciepła, nie trzeba budować kotłowni ani komina, gdyż pompę ciepła można umieścić w dowolnym miejscu, np. w kuchni.

Reasumując należy stwierdzić, że pompy ciepła, będące ekologicznym źródłem energii odnawialnej, w obliczu ciągle rosnących cen paliw konwencjonalnych (węgiel, gaz, ropy) są dobrą inwestycją przyszłościową.

Literatura

- Brodowicz K., Dyakowski T., *Pompy ciepła*, PWN, Warszawa 1990.
- Buczek A., Telejko T., *Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii. Poradnik – pompy ciepła*, Tarbonus Sp. z o.o., Kraków-Tarnobrzeg 2008.
- Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- Klinkowski M., *Analiza ekonomiczna zastosowania pompy ciepła do ogrzewania domku jednorodzinnego*. Praca magisterska PWSZ im. Witelona w Legnicy, Legnica 2011.
- Zawadzki M. (red.), *Kolektory słoneczne, pompy ciepła – na tak* Polska Ekologia, Warszawa 2003.

- Lewandowski W.M., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
- Szlachta J. (red.), *Niekonwencjonalne źródła energii*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1999.
- Oszczak W., *Jak taniej ogrzać dom*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Sp. z o. o., Warszawa 2005.
- Rubik M., *Pompy ciepła – poradnik*, Wydawnictwo Instal, Warszawa 1996.
- Sadowski T., Świdorski G., Lewandowski W., *Wykorzystanie odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii w Polsce i krajach UE*, Energetyka i Ekologia 2008, 4.

Źródła internetowe

- www.salon.viessmann.com.pl/kalkulatory/ogrzewanie (5.09.2011).
- www.vikersonn.pl (16.11.2011).
- www.ceneo.pl (3.12.2011).
- www.ekoenergia.polska-droga.pl (9.12.2011).
- www.gieldaweglowa.pl (12.12.2011).
- www.sklep.piece.pl (10.12.2011).
- www.viessmann.pl/pl/dom-jednorodzinny/Ogrzewanie/pompy-ciepła/wizualizacja.html (10.12.2011).
- www.wegielkamienny-katowice.pl (9.12.2011).

HEAT PUMPS – ORGANIC SOURCE OF RENEWABLE ENERGY

Summary: Intensive development of industry, coinciding with increasing demand for fossil fuels, their exploitation and contamination which cause, prompted the search for new energy sources, less harmful to the environment. According to many experts, heat pumps are technology of the future, available today at affordable prices. Anyone who decides to apply a heat pump, chooses eco solution, cheap to operate and reliable. Heat pumps use a huge amount of energy that are found in the natural seams. The design of heat pumps allows to gain the thermal energy from various sources, such as land, air and water. These sources, due to low temperature, are not suitable for direct use, but because of the heat pumps it is possible to obtain this energy in an economically viable. The paper presents the heat pumps, their forms and the analysis of their economic viability.

Keywords: heat pumps, renewable energy, ecology.