

CHEMIA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CHEMISTRY

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-Ch/2009

ZESZYT 4

ROK 106

ISSUE 4

YEAR 106

JOANNA SKONECZNA, WŁODZIMIERZ CIESIELCZYK*

ANALIZA PRACY POMP CIEPŁA Z CZYNNIKIEM ROBOCZYM R407C

OPERATION ANALYSIS OF HEAT PUMPS WITH R407C REFRIGERANT

Streszczenie

W niniejszym artykule scharakteryzowano podstawowe rodzaje pomp ciepła. Przedstawiono wyniki badań efektywności pracy sprężarkowej pompy ciepła firmy OCHSNER z czynnikiem roboczym R407C.

Słowa kluczowe: pompa ciepła, czynnik roboczy, czynnik chłodniczy

Abstract

The basic kinds of heat pumps were described. The investigation results of operation efficiency of compressor heat pump of OCHSNER firm with R407C refrigerant, were presented.

Keywords: heat pump, refrigerant

* Mgr inż. Joanna Skoneczna, dr hab. inż. Włodzimierz Ciesielczyk, prof. PK, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Obecnie głównym źródłem energii są procesy spalania paliw, takich jak: węgiel kamienny i brunatny, olej opałowy, gaz. Paliwa te zalicza się do naturalnych (konwencjonalnych, nieodnawialnych) źródeł energii. Zasoby tych paliw są na wyczerpaniu. Jednak możliwość całkowitego wyczerpania zasobów paliw konwencjonalnych nie jest największym zagrożeniem dla ludzkości. Stanowi je skażenie środowiska produktami spalania [1]. Kraje uczestniczące w Światowym Szczycie Ekologicznym „Ziemia 2000” w Rio de Janeiro w 1992 r. zobowiązały się m.in. do 2050 r. zredukować o połowę emisję CO₂ w porównaniu ze stanem z 1987 r. Zmusza to do bardziej racjonalnego zużycia energii oraz szerszego wykorzystania innych, niekonwencjonalnych jej źródeł. Należą do nich źródła energii odnawialnej, takie jak promieniowanie słoneczne, wiatr, cieki wodne, źródła geotermiczne, biomasa, a także energia odpadowa. Członkostwo w Unii Europejskiej zobowiązuje Polskę do znacznego zwiększenia udziału energii pozyskiwanych ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii, co zawarte jest w ramach tzw. pakietu klimatycznego UE (3x20). Pakiet ten to grupa czterech kluczowych dyrektyw i decyzji Rady UE, które mają spowodować, że do 2020 r. UE jako całość będzie emitować o 20% ditienu węgla mniej, efektywność zużycia prądu wzrośnie o 20%, a udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym wyniesie również 20% [11–13].

Wykorzystanie pomp ciepła do celów grzewczych jest jednym ze sposobów skutecznego pozyskania energii odnawialnej ze środowiska naturalnego. Pompa ciepła jest urządzeniem wykorzystującym ciepło niskotemperaturowe naturalne i odpadowe do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). W powietrzu, wodzie i gruncie zawarte są bardzo duże ilości energii cieplnej, która jest bezużyteczna tylko z tego względu, że znajduje się na za niskim dla określonego celu poziomie temperatury. Energia ta może być jednak wykorzystana, jeżeli podniesie się jej potencjał energetyczny na wyższy poziom temperatury. Pompa ciepła jest właściwie jedynym znanym urządzeniem umożliwiającym wykorzystanie energii cieplnej źródeł o niskich temperaturach, a więc o małej egzergii. Jej podstawowa rola polega na pobieraniu ciepła ze źródła o niższej temperaturze (dolnego) i przekazywaniu go do źródła o temperaturze wyższej (górnego). Proces ten wymaga doprowadzenia energii z zewnątrz [6, 15–17].

Istotny wpływ na efektywność pracy pompy ciepła odgrywa czynnik roboczy. Dobór odpowiedniego nośnika ma zasadnicze znaczenie ze względu na wskaźniki pracy urządzenia, jak i na oddziaływanie na środowisko. Analiza efektywności pracy pompy ciepła firmy OCHSNER z czynnikiem roboczym R407C jest przedmiotem niniejszego artykułu.

1.1. Zastosowanie pomp ciepła

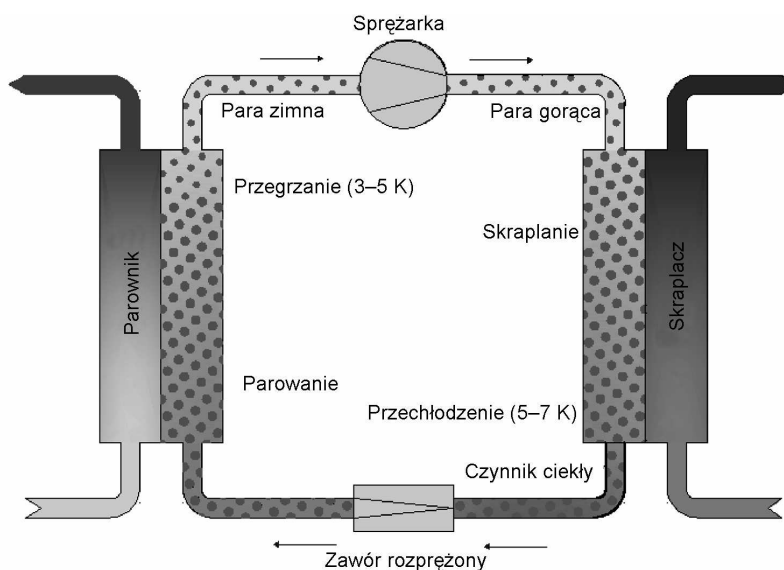
Pompa ciepła może służyć do wytwarzania ciepła potrzebnego na ogrzewanie domów jednorodzinnych, budynków użyteczności publicznej, biur, hal magazynowych oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ta sama pompa ciepła może latem pracować w układzie klimatyzacji, zwiększając komfort cieplny wewnątrz pomieszczeń bez dodatkowych kosztów ponoszonych w wypadku budowy tradycyjnej instalacji klimatyzacyjnej. Przeważnie są to urządzenia sprężarkowe wykorzystujące ciepło pochodzące z wody lub gruntu [1, 6, 7].

Pompy ciepła wykorzystuje się również do procesów odparowania roztworów i zagęszczania soków, mleka, farmaceutyków. Omawiane urządzenia stosowane są również w instalacjach destylacyjnych przeznaczonych do otrzymywania wody pitnej [1].

Sz szczególnie sprzyjające warunki wykorzystania pomp ciepła mają miejsce, gdy [3]:

- istnieje źródło ciepła o niskiej temperaturze, ale wyższej niż otoczenie,
- przez zastosowanie pompy ciepła możliwe jest zawrócenie strumienia energii przepływającego przez jakieś urządzenie (jak np. w klimatyzatorach),
- istnieje zapotrzebowanie zarówno na ciepło, jak i zimno,
- energia cieplna przekazywana jest na znaczne odległości i zastosowanie pompy ciepła w miejscu poboru energii zmniejsza straty inwestycyjne.

Przepływ energii w sprężarkowej pompie ciepła odbywa się pomiędzy źródłem ciepła o niskiej temperaturze, tzw. dolnym źródłem ciepła (w zakresie od -15°C do $+15^{\circ}\text{C}$), a źródłem ciepła o wysokiej temperaturze, tzw. górnym źródłem ciepła (od $+35^{\circ}\text{C}$ do $+60^{\circ}\text{C}$). W pompach ciepła transformacja ciepła odbywa się za pomocą ekologicznego czynnika ziębniczego, który krążąc w zespole urządzeń, wykonuje obieg termodynamiczny. Działanie pompy ciepła, co pokazano na rys. 1, polega na wykorzystaniu ciepła przegrzania i ciepła skraplania czynnika roboczego do podgrzania wody instalacyjnej znajdującej się w obiegu instalacji centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej (w sposób pośredni) lub ciepłej wody technologicznej [4].



Rys. 1. Obieg termodynamiczny w sprężarkowej pompie ciepła

Fig. 1. Thermodynamic cycle in compressor heat pump

Współczynnik wydajności cieplnej ε (COP – Coefficient of Performance) jest miarą doskonałości pompy ciepła i umożliwia jej ocenę termodynamiczną. Zdefiniowany jest jako stosunek energii cieplnej oddanej dla ogrzewania Q_k do energii napędowej L [4]

$$\varepsilon_p = \frac{Q_k}{L} = \frac{\dot{Q}_k}{N} \quad (1)$$

gdzie:

\dot{Q}_k – wydajność cieplna,

N – moc napędowa.

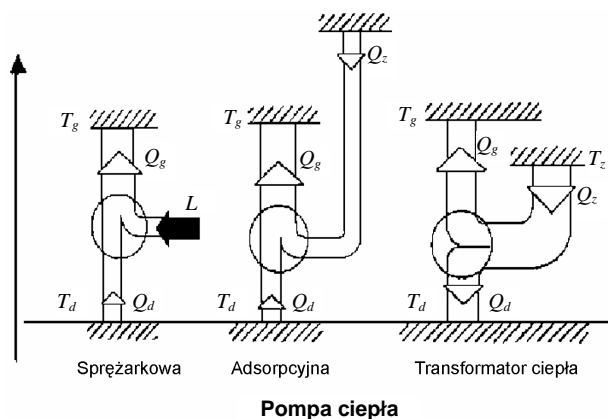
Współczynnik sprawności pompy określa, ile kWh ciepła uzyskuje się z 1 kWh energii elektrycznej potrzebnej na pracę sprężarki; urządzenie o współczynniku 4 może z 25 kWh energii elektrycznej uzyskać 100 kWh energii cieplnej, czyli wytworzy czterokrotnie więcej energii niż jej pobierze [10].

Pożądane jest, aby współczynnik ten miał jak najwyższą wartość. Współczynnik COP jest tym wyższy, im niższa jest różnica temperatur pomiędzy źródłami. W celu ekonomicznej eksploatacji pompy ciepła należy dążyć do tego, aby dolne źródło ciepła miało jak najwyższą temperaturę, a górne jak najniższą [3].

Przy wyborze rodzaju dolnego źródła ciepła należy uwzględnić lokalne warunki, mając na uwadze to, aby dolne źródło ciepła miało jak najwyższą temperaturę, było możliwie tanie, a przede wszystkim należy sprawdzić, czy jest możliwość wykonania instalacji i jej długoletniej pracy [3].

1.2. Podział pomp ciepła

Istnieją różne sposoby podziału pomp ciepła [3]. Najczęściej podstawą podziału jest zastosowanie, wydajność cieplna lub rodzaj dolnego i górnego źródła ciepła. Najistotniejszym podziałem pomp ciepła jest rodzaj użytej energii napędowej – może nią być praca lub ciepło. Urządzenia sprężarkowe wykorzystujące obieg parowy są napędzane energią mechaniczną, dostarczaną bezpośrednio na wał sprężarki. Natomiast sorpcyjne pompy ciepła napędzane są energią cieplną, która musi być zamieniona na pracę, zanim zostanie wykorzystana do sprężania czynnika roboczego. Na rysunku 2 przedstawiono ideę działania ważniejszych pomp ciepła [1, 6].



Rys. 2. Idea działania ważniejszych pomp ciepła [1]

Fig. 2. The operation idea of various heat pumps types [1]

W zależności od rodzaju źródeł ciepła rozróżnia się pompy ciepła typu [6]:

- powietrze–woda,
- powietrze–powietrze,
- woda–woda,
- woda–powietrze.

Jest to klasyfikacja uproszczona, a określenie „woda” oznacza dowolny, ciekły nośnik ciepła, np. wodny roztwór glikolu pośredniczący w wymianie ciepła między gruntowym wymiennikiem ciepła a czynnikiem roboczym wrzącym w parowniku. Określenie „powietrze” może oznaczać ogólnie gazy, jak np.: opary, spaliny, gazy odlotowe.

Jeśli chodzi o dolne źródło ciepła, może ono być naturalne (odnawialne), jak powietrze zewnętrzne, wody powierzchniowe i podziemne, grunt, promieniowanie słoneczne, lub odpadowe, jak np. ciepło pochodzące z procesów technologicznych, ciepło powietrza usuwanego z pomieszczeń klimatyzowanych.

2. Czynniki robocze i jego właściwości

Czynnikami roboczym (chłodniczym) nazywany jest czynnik termodynamiczny, który bierze udział w wymianie ciepła między dolnym i górnym źródłem ciepła w obiegu pompy ciepła [2]. Idealny czynnik roboczy stosowany w pompie ciepła powinien charakteryzować się następującymi właściwościami [1, 5, 6]:

- niska normalna temperatura wrzenia,
- stabilne właściwości w całym zakresie pracy urządzenia,
- niska jednostkowa teoretyczna praca sprężania,
- wysoki współczynnik przejmowania ciepła,
- obojętny chemicznie wobec materiałów konstrukcyjnych,
- nie powinien tworzyć z powietrzem mieszaniny wybuchowej,
- mała objętość właściwa,
- mała masa cząsteczkowa,
- nisko położony punkt krzepnięcia,
- wysoko położony punkt krytyczny,
- stosunkowo niskie ciśnienie nasycenia,
- nietoksyczny,
- nie powinien wchodzić w reakcje z olejami smarnymi,
- mała wartość współczynnika lepkości,
- ekologiczny,
- niska cena.

Dotychczas nie znaleziono czynnika, który spełniałby wszystkie te wymagania, zatem dobór czynnika jest kompromisem. W zależności od różnorodnych kryteriów: wielkości urządzenia, jego typu, zakresu pracy – dobiera się odpowiedni płyn chłodniczy [1, 5].

2.1. Aktualne tendencje w stosowaniu czynników chłodniczych

Wyniki badań wpływu freonów na zjawisko dziury ozonowej i efektu cieplarnianego spowodowały podjęcie gwałtownych działań o zasięgu światowym w celu wyeliminowania tych czynników ze wszelkich zastosowań. Protokół Montrealski zdecydowanie stawia

kwestię eliminacji z zastosowań gospodarczych związków grupy CFC, a w późniejszym czasie także HCFC. Istnieje kilka dróg, którymi może się odbyć proces eliminacji tych związków, są to [2, 5]:

- wprowadzenie zupełnie nowych substancji syntetycznych,
- stosowanie substancji przejściowych typu HCFC lub mieszanin opartych na związkach HCFC i HFC,
- wprowadzenie rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających zawartość czynnika w układzie oraz eliminujących możliwość jego ucieczki,
- powrót do czynników naturalnych.

Nowe czynniki chłodnicze powinny spełniać takie same podstawowe kryteria co wycofywane freony, jak również muszą być bezpieczne dla środowiska. Bardzo ważnym zagadnieniem jest rozpuszczalność czynnika z olejem. Czynniki, w których cząsteczki pozbawione są chloru, nie tworzą roztworów z olejami mineralnymi [5].

Poszukiwania bezpiecznych dla środowiska czynników chłodniczych rozważane jest tak dla urządzeń nowych, jak i dla obecnie używanych. W wypadku nowych urządzeń poszukiwane są długoterminowe substytuty dotychczas stosowanych czynników, takich jak: R11, R12, R13, R502 oraz R22 – substancji o dłuższym okresie wycofywania. Dla urządzeń już eksploatowanych istnieją dwa typy substancji: pierwszy przeznaczony jest do uzupełniania czynnika w instalacji bez jej przeróbki (typ *drop-in*), drugi typ to czynniki zamienne, przeznaczone do wymiany czynnika w instalacji przy pewnych jej modyfikacjach (*retrofit*) [2, 5].

W tabeli 1 podano wartości wskaźników ekologicznych oraz żywotność stosowanych dotychczas czynników.

Tabela 1

Wskaźniki ekologiczne dotychczas stosowanych czynników [2]

Czynnik roboczy		Wskaźnik ekologiczny			Żywotność
oznaczenie	grupa	GWP	ODP	HGWP	lata
R744	CO ₂	1	0,0	0,0	–
R12	CFC	7300	1,0	3,0	120
R502	CFC	4300	0,33	3,75	400
R22	HCFC	1500	0,05	0,34	15,3

gdzie:

- GWP** (*Global Warming Potential*) – globalny potencjał efektu cieplarnianego odniesiony do dwutlenku węgla CO₂, dla którego GWP = 1,
- ODP** (*Ozone Depletion Potential*) – potencjał niszczenia ozonu odniesiony do freonu R11, dla którego przyjęto ODP = 1,
- HGWP** (*Halocarbon Global Warming*) – potencjał zdolności do tworzenia efektu cieplarnianego odniesiony do freonu R11, dla którego HGWP = 1.

2.2. Regulacje prawne

Agenda ONZ – UNEP doprowadziła do podpisania w 1985 r. Konwencji Wiedeńskiej o Ochronie Warstwy Ozonowej. Na podstawie tej konwencji w celu uregulowania kolejności i terminów wycofywania z użycia szkodliwych freonów 24 państwa podpisały tzw.

Protokół Montrealski. Jest to umowa międzynarodowa, podpisana 16 września 1987 r., zobowiązująca strony do zaprzestania produkcji i stosowania związków niszczących stratosferyczną warstwę ozonową. W 1991 roku Protokół ratyfikowało 68 państw, a w 1995 r. 142 państwa. Protokół podlegał wielu modyfikacjom dotyczącym zmian zaleceń już obowiązujących, a także uzupełniany był o poprawki wprowadzające nowe zobowiązania. Ze względu na pogłębiającą się destrukcję środowiska postanowiono zaostrzyć warunki redukcji zużycia szkodliwych substancji. Zgodnie z protokołem związku grupy CFC ze względu na wysoką zawartość chloru zostały wycofane ze stosowania w nowych urządzeniach z końcem 1995 r. (w krajach Wspólnoty Europejskiej z końcem 1994 r.), natomiast jeśli chodzi o związki grupy HCFC, dopuszczono ich stosowanie do 2030 r., przy stopniowych ograniczeniach począwszy od 2004 r. Do 2000 r. R12 musiał być całkowicie usunięty z instalacji chłodniczych. W Polsce obowiązuje zakaz importu związków z grupy CFC, a więc np. freonów R12 i R502, co wymusiło wymianę czynnika chłodniczego w starszych instalacjach. W Niemczech już od połowy 1997 r. wszystkie instalacje zawierające powyżej 1 kg freonu R12 musiały być przerobione na inny czynnik chłodniczy dopuszczony do stosowania [5, 6].

Polska jest Stroną Protokołu Montrealskiego od 11.10.1990 r., od 31.12.1996 r. jest również Stroną Poprawek Londyńskich i Kopenhaskich, a od 5.03.2000 r. Stroną Poprawek Montrealskich [15].

Akty prawne obowiązujące w Polsce w zakresie użytkowania czynników chłodniczych zawarte są w pozycji [5].

Terminy całkowitego wycofania zubożających warstwę ozonową czynników z grupy HCFC są znane już od września 2000 r. Wówczas Parlament Europejski uchwalił Rozporządzenie nr 2037/2000, które z dniem 1.01.2010 r. zabrania używania nowego czynnika R22 do serwisu urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych. Ten akt prawny obowiązuje Polskę bezpośrednio od chwili wstąpienia Polski do UE [14].

2.3. Czynnik R407C (ZEO – HCF)

R407C jest to czynnik bezchlorowy o zbliżonych do R22 właściwościach termodynamicznych i dlatego przewidziany jest jako jego zamiennik. Jest stosowany w chłodnictwie średnich i wysokich temperatur. Przedział użytkowych temperatur parowania tego czynnika wynosi od ok. -35°C do $+10^{\circ}\text{C}$. Czynnik ten znalazł szerokie zastosowanie w domowych i handlowych urządzeniach klimatyzacyjnych oraz pompach ciepła. R407C jest syntetyczną mieszaniną zeotropową, składającą się z trzech składników z grupy HFC R-32/125/134a w stosunkach wagowych 23/25/52 [1, 5, 8].

Właściwości fizykochemiczne R407C są następujące:

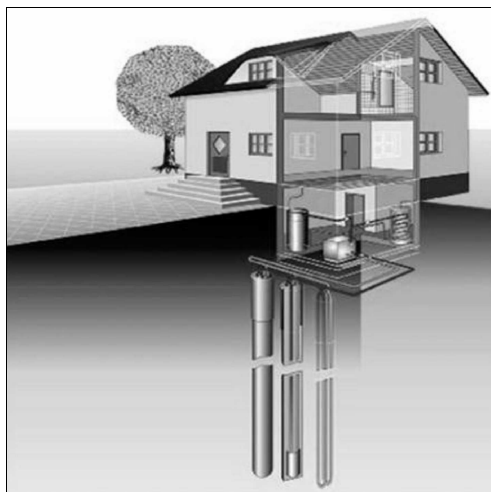
Masa cząsteczkowa	86,2 kg/kmol
Indywidualna stała gazowa	0,09645 kJ/kgK
Temperatura krytyczna	86,7°C
Ciśnienie krytyczne	46,2 bar
Gęstość krytyczna	506,8 kg/m ³
Normalna temperatura wrzenia	-43,3°C
Temperatura krzepnięcia	<-100°C
Poślizg temperatury przy 1,013 bar	7,4 K
Potencjał niszczenia warstwy ozonowej	0 ODP
Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego	1526 GWP

Inne wielkości podane są dla temperatury +25°C:

Gęstość cieczy	1136 kg/m ³
Gęstość pary	43,8 kg/m ³
Entalpia parowania	246,1 kJ/kg
Współczynnik przewodności cieplnej cieczy	0,08241 W/mK
Współczynnik przewodności cieplnej pary	0,0112 W/mK
Lepkość dynamiczna cieczy	158 μPa s
Lepkość dynamiczna pary	12,8 μPa s
Ciepło właściwe cieczy	1,537 kJ/kgK
Ciepło właściwe pary	0,829 kJ/kgK
Napięcie powierzchniowe cieczy	6,512 mN/m
Wykładnik izentropy przy 1,013 bar	1,1859

3. Badania doświadczalne

Celem badań była analiza pracy sprężarkowych pomp ciepła na podstawie przeprowadzonych pomiarów. Pomiary prowadzone były w Katedrze Techniki i Ochrony Środowiska AGH. Z użyciem zainstalowanej aparatury kontrolno-pomiarowej badano dwie sprężarkowe pompy ciepła firmy OCHSNER. Pompy pobierały ciepło z ziemi poprzez kolektory gruntowe. Pierwsza pompa współpracowała z 2 kolektorami pionowymi o długości 30 m typu rura w rurze, a druga z 5 pionowymi kolektorami po 6 m, o średnicy 5/4". Zasadę działania pompy ciepła z kolektorami pionowymi pokazano na rys. 3. W obiegu dolnego źródła ciepła krążył roztwór glikolu, natomiast termodynamicznym czynnikiem roboczym był R407C. Pompy ciepła służyły do ogrzewania hali laboratoryjnej w sezonie grzewczym.



Rys. 3. Pompa ciepła z kolektorami pionowymi [9]

Fig. 3. Heat pump with perpendicular collectors [9]

Do pomiaru temperatury skonstruowano układ pomiarowy, który mierzył temperatury dla każdej pompy ciepła w punktach:

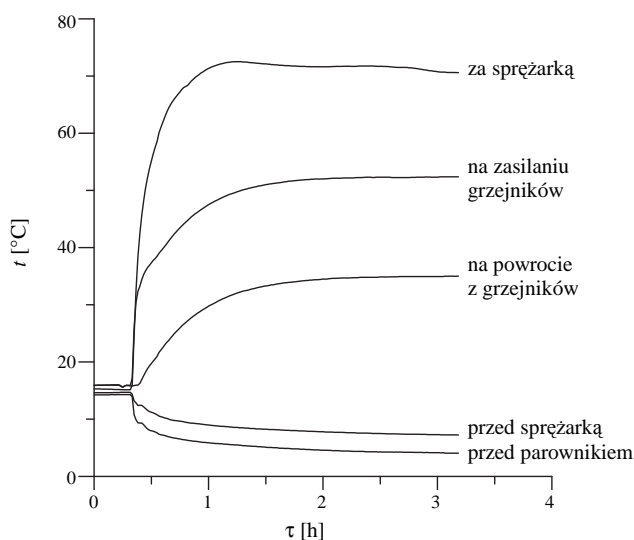
- przed sprężarką,
- za sprężarką,
- na zasilaniu grzejników,
- na powrocie z grzejników,
- przed parownikiem.

Przed uruchomieniem pompy ciepła wykonano pomiar ciśnienia skraplania i parowania czynnika roboczego odpowiednio wyskalowanym manometrem. Niskie ciśnienie wynosiło 4,2 bara, natomiast wysokie 18 barów. W trakcie pracy pompy pomiar powtórzono, wtedy niskie ciśnienie wyniosło 4,2 bara, a wysokie 20 barów. Wykonano również pomiary ciepła pobranego przez grzejniki i zużytej energii elektrycznej przez sprężarkę i pompy obiegowe.

Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów. Na rysunkach 4 i 5 pokazano początek pracy pompy ciepła (dynamiczny), natomiast na rys. 6 i 7 zilustrowano pracę pomp ciepła w ciągu miesiąca.

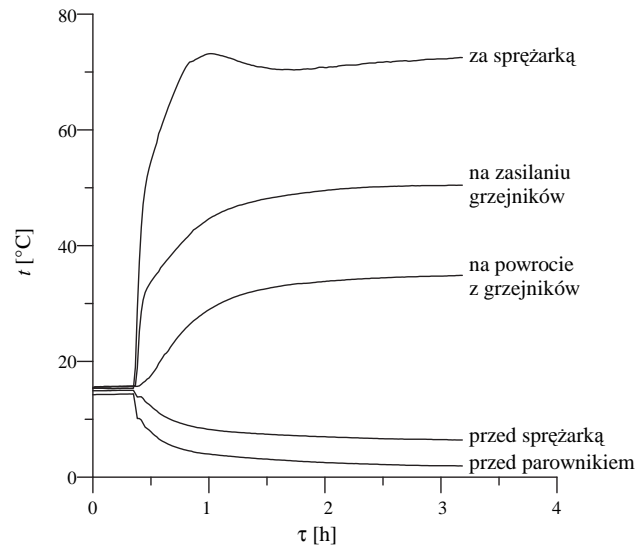
Praca pompy ciepła nr 1 – jak widać na rys. 6 – jest bardzo niestabilna, jest to spowodowane niedoborem czynnika roboczego powstałym w wyniku serwisowania pompy.

Na rysunku 8 pokazano zmianę wartości współczynnika COP w czasie dla obydwu pomp, natomiast na rys. 9 zobrazowano ciepło oddane na grzejniki, energię zużyta przez sprężarkę oraz energię zużyta przez pompę obiegową w czasie trwania pomiaru dla pompy ciepła nr 1.



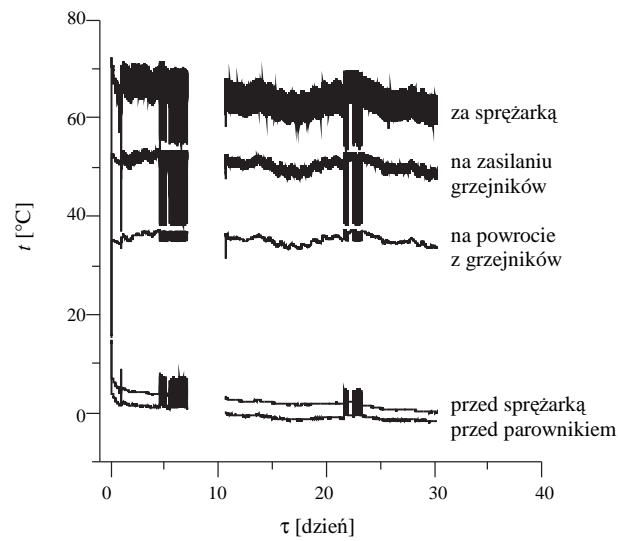
Rys. 4. Początkowy okres pracy pompy ciepła nr 1. Zależność mierzonych temperatur od czasu

Fig. 4. The initial period of No. 1 heat pump operation. The relationship of the measured temperatures versus time



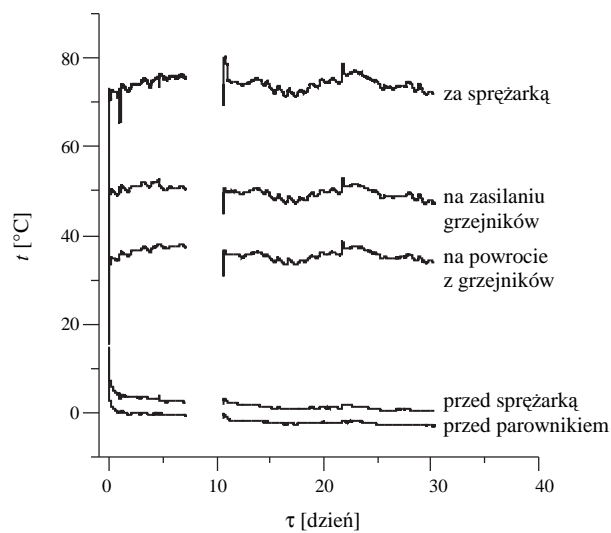
Rys. 5. Początkowy okres pracy pompy ciepła nr 2. Zależność mierzonych temperatur od czasu

Fig. 5. The initial period of No. 2 heat pump operation. The relationship of the measured temperatures versus time



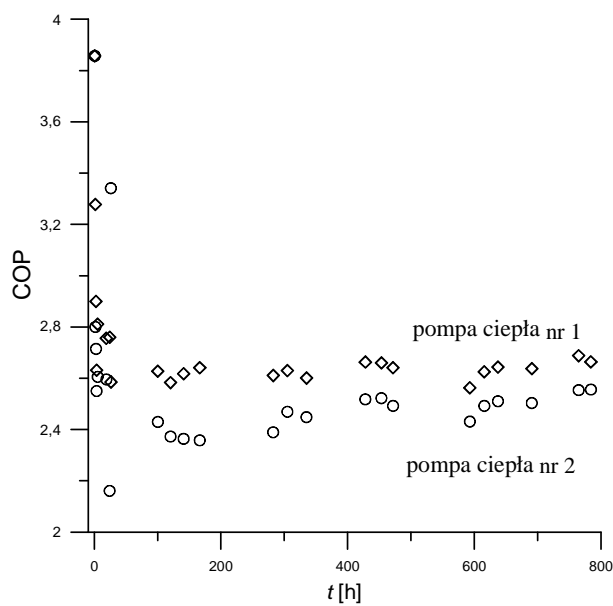
Rys. 6. Praca pompy ciepła nr 1. Zależność mierzonych temperatur od numeru dnia

Fig. 6. The operation of No. 1 heat pump. The relationship of the measured temperatures versus day number



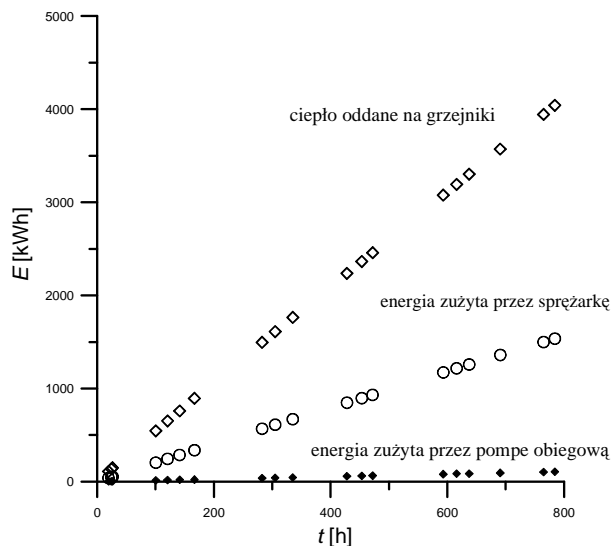
Rys. 7. Praca pompy ciepła nr 2. Zależność mierzonych temperatur od numeru dnia

Fig. 7. The operation of No. 2 heat pump. The relationship of the measured temperatures versus day number



Rys. 8. Zależność wartości współczynnika COP od czasu

Fig. 8. The relationship of COP coefficient values versus time



Rys. 9. Ciepło oddane na grzejniki, energia zużyta przez sprężarkę i pompę obiegową

Fig. 9. Heat transferred to radiators, energy consumed by compressor and circulating pump

Tabela 2 zawiera zestawienie pomiarów dla obydwu pomp ciepła w całym okresie grzewczym, wraz z wyznaczonymi współczynnikami wydajności ciepłej pompy ciepła.

Tabela 2

Zestawienie wyników pomiarów za cały sezon grzewczy

	Ciepło oddane przez grzejniki [kWh]	Ilość czynnika [m ³]	Energia sprężarki [kWh]	Energia pompy obiegowej [kWh]	COP	COP*
Pompa ciepła 1	14178,1	927,2	5414,8	389,9	2,62	2,44
Pompa ciepła 2	14425,2	953,3	5744,8	153,6	2,51	2,45

COP* – uwzględnia zużytą energię elektryczną przez pompy obiegowe.

4. Podsumowanie

- Z analizy pomiarów wynika, że pompa ciepła nr 1, która współpracowała z dwoma kolektorami pionowymi o długości 30 m typu rura w rurze, miała wyższy współczynnik COP w porównaniu z pompą ciepła nr 2, która współpracowała z 5 pionowymi kolektorami po 6 m, o średnicy 5/4". W całym okresie grzewczym układ pompy ciepła nr 1 pobrał większą ilość energii elektrycznej niż układ pompy ciepła nr 2, potrzebnej do zasilania pomp obiegowych, co niekorzystnie wpłynęło na ogólną wydajność pompy ciepła.

- Czynnik R407C jest teoretycznie bardzo dobrym zamiennikiem wycofywanego R22, ale że jest to mieszanina zeotropowa trójskładnikowa, to z powodu nieszczelności podczas serwisowania po pewnym czasie dochodzi do zmiany stężeń poszczególnych składników, czynnik traci swoje parametry techniczne, czego skutkiem jest niestabilna praca pompy ciepła.
- Z powodu problemów wynikających ze stosowania czynnika R407C w pompach ciepła należy zastanowić się nad innym wyborem. Przykładem może być czynnik R404A, który jest mieszaniną bliskoazeotropową, więc nie będzie aż tak zmieniał składu podczas serwisowania co R407C.
- Uzasadnione jest dalsze prowadzenie badań pod kątem poszukiwania czynnika roboczego spełniającego optymalne wymagania zarówno ekonomiczne, jak i ekologiczne.

Literatura

- [1] Zalewski W., *Pompy ciepła – sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne*, IPPU MASTA, Gdańsk 2001.
- [2] Bohdal T., Charun H., Czapp M., *Urządzenia chłodnicze sprężarkowe parowe*, PWN, 2003.
- [3] Brodowicz K., Dyakowski T., *Pompy ciepła*, PWN, Warszawa 1990.
- [4] *Wytyczne projektowe dla pomp ciepła VATRA*.
- [5] Bonca Z., Butrymowicz D., Tragarowski W., Hajduk T., *Poradnik. Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła*, IPPU MASTA, Gdańsk 2004.
- [6] Rubik M., *Pompy ciepła – poradnik*, WNN, Warszawa 1999.
- [7] Zawadzki M., *Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak*, Polska Ekologia, 2003.
- [8] Parsons R., *Ashrae Handbook: Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA 2001.
- [9] www.kolektory.biz/static/pompy-ciepła-dolne-zrodlo.php (strona dostępna w dniu 26.03.09).
- [10] <http://www.budujemydom.pl/> (strona dostępna w dniu 5.04.09).
- [11] www.ekoproblemy.webpark.pl/indeks.htm (strona dostępna w dniu 29.05.07).
- [12] <http://www.polskiklubekologiczny.org/doce/promocja.pdf> (strona dostępna w dniu 3.04.09).
- [13] http://www.wwf.pl/informacje/publikacje/klimat/cop14_w_pigulce.pdf (strona dostępna w dniu 5.04.09).
- [14] http://www.chlodnictwo.biz/index.php?id=ar2&id_a=2835&page=&q=pompach&id_back=ar1 (strona dostępna w dniu 5.04.09).
- [15] http://www.hibernatus.eu/index.php?id=p_artykul01&lang=pl (strona dostępna w dniu 5.04.09).
- [16] Zator S., Moczko-Król J., Król A., *Ogrzewanie z pompą ciepła*, Rynek Instalacyjny, 11, 2006, 68-72.
- [17] Laskowski P., *Energia za darmo? Niekonwencjonalne źródła energii*, Murator (262) 2006, 21-33.
- [18] Skoneczna J., *Porównanie pracy pomp ciepła pracujących z różnymi czynnikami roboczymi*, praca magisterska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2007.