

# BADANIE SPRĘŻARKOWEJ POMPY CIEPŁA

**Zenon Bonca, Waldemar Targański**

W rozdziale skrótowo omówiono teoretyczne podstawy działania parowej sprężarkowej pompy ciepła w zakresie niezbędnym do osiągnięcia celu ćwiczenia, jakim jest sporządzenie bilansu energetycznego urządzenia i wyznaczenia jego współczynnika wydajności grzejnej. Podano sposób opracowania wyników pomiarów.

## 1. Wprowadzenie

Pompa ciepła jest urządzeniem grzewczym, którego zadaniem jest przekazywanie ciepła do środowiska ogrzewanego zwanego **górnym źródłem ciepła** (np. do powietrza w pomieszczeniu, bądź do ciepłej wody użytkowej).

W tradycyjnych układach wykorzystywanych w ogrzewnictwie, doprowadzona do nich energia (np. w postaci energii chemicznej zawartej w paliwie, albo energii elektrycznej) jest z pewną sprawnością zamieniana na ciepło do ogrzewania. Natomiast pompa ciepła, dzięki dostarczeniu energii napędowej, umożliwia transport ciepła z niższego poziomu temperaturowego na wyższy.

Transport ciepła w sprężarkowej pompie ciepła jest możliwy dzięki realizacji lewobieżnego, parowego **obiegu Lindego**. Zasada działania tego urządzenia jest więc identyczna, jak w przypadku każdego sprężarkowego urządzenia chłodniczego. Analogiczna jest też budowa układu (rys. 1).

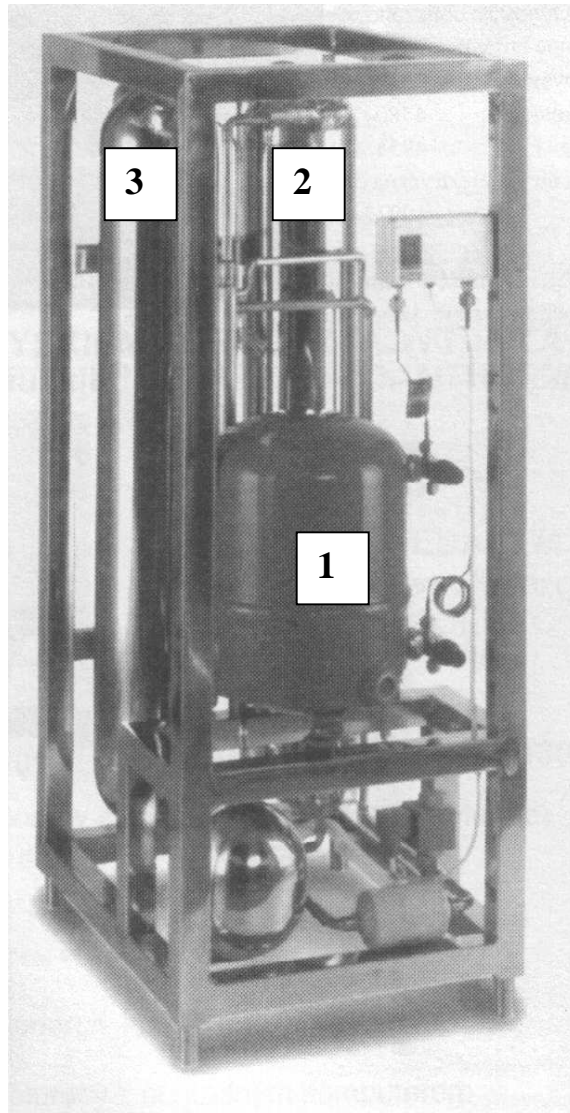
Na strumień ciepła przekazywany ze skraplacza do górnego źródła ciepła składa się strumień ciepła odebrany przez czynnik chłodniczy w parowniku ze źródła dolnego, powiększony o cieplny ekwiwalent mocy napędowej niezbędnej do pracy urządzenia. W przypadku **sprężarkowej pompy ciepła**, moc napędowa  $P$  jest dostarczana do silnika sprężarki pod postacią strumienia energii elektrycznej.

Miarą efektywności działania pompy ciepła jest **współczynnik wydajności grzejnej**. Definiuje się go jako proporcję energetycznego efektu pracy urządzenia do nakładu energetycznego niezbędnego dla funkcjonowania układu:

$$\varepsilon_G = \frac{\dot{Q}_K}{P} \quad (1)$$

gdzie:  $\varepsilon_G$  - współczynnik wydajności grzejnej;  
 $\dot{Q}_K$  - wydajność cieplna pompy ciepła [W];  
 $P$  - moc napędowa urządzenia [W].

Warto zauważyć, że wydajność cieplna pompy ciepła zawsze przewyższa moc niezbędną do jej napędu (por. bilans energetyczny). Zatem współczynnik wydajności grzejnej zawsze ma wartość większą od jedności (dla typowych konstrukcji pomp ciepła najczęściej w przedziale od ok. 2 do ok. 4 - zależnie od parametrów pracy i wielkości strat ciepła).



Rys. 1. Przykład sprężarkowej pompy ciepła [6].  
Widoczne m.in.: agregat sprężarkowy (1), parownik (2) i skraplacz (3).

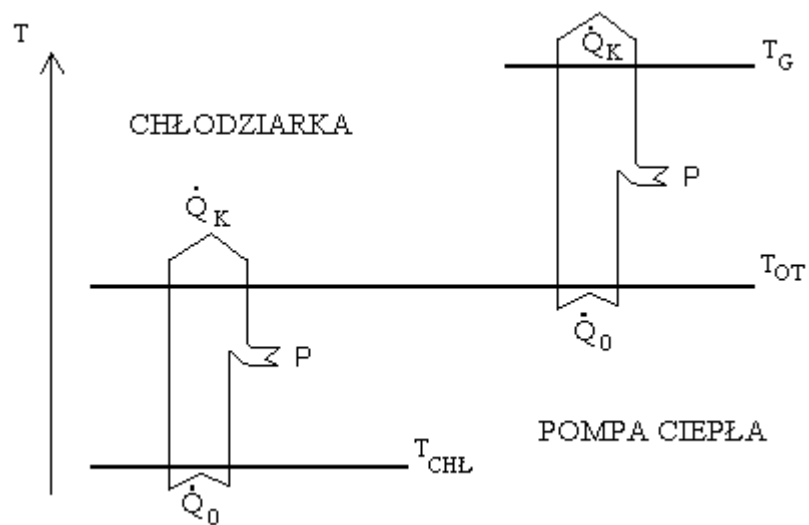
## 2. Wykorzystanie pomp ciepła. Dolne źródła ciepła

Działanie pompy ciepła, podobnie jak każdego urządzenia chłodniczego, opiera się na transporcie ciepła ze źródła o temperaturze niższej na poziom wyższej temperatury. Podczas gdy zadaniem chłodziarki jest utrzymywanie obniżonej (w odniesieniu do otoczenia) temperatury środowiska chłodzonego, a górnym źródłem ciepła jest zazwyczaj otoczenie (powietrze atmosferyczne, bądź woda chłodząca), to od pompy ciepła oczekuje się ogrzewania górnego źródła ponad temperaturę otoczenia, a rolę źródła dolnego pełni zazwyczaj właśnie otoczenie (rys. 2). Transport ciepła odbywa się więc w przypadku obu tych urządzeń pomiędzy różnymi poziomami temperatur.

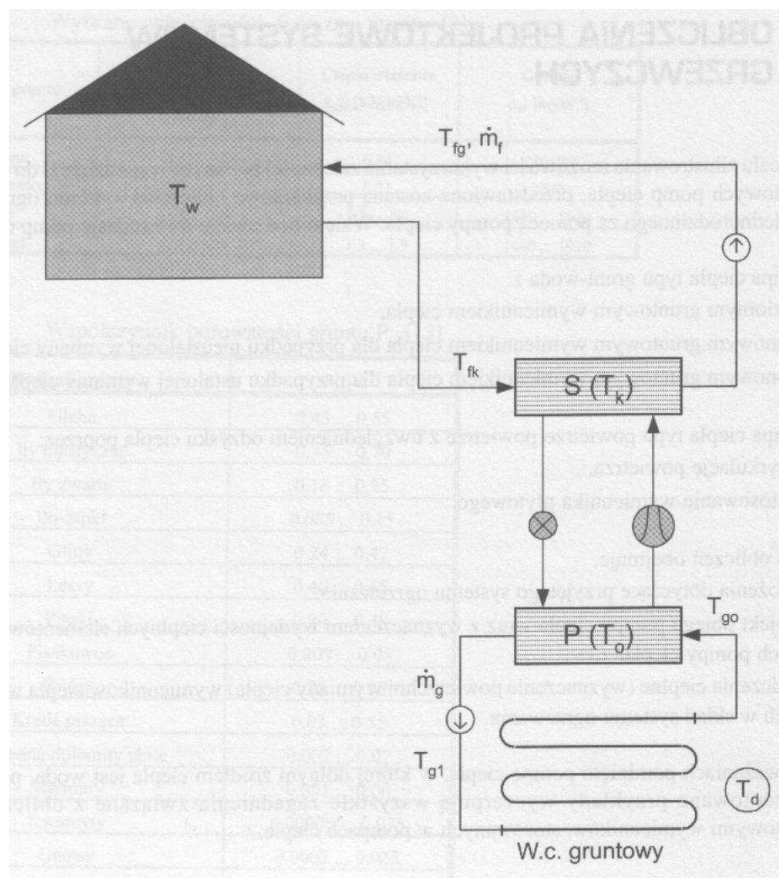
Pompy ciepła wykorzystuje się najczęściej do ogrzewania pomieszczeń (rys. 3), podgrzewania ciepłej wody użytkowej, jak również w przemyśle do dostarczania ciepła na potrzeby procesów technologicznych. W każdym przypadku bardzo ważny dla prawidłowego i efektywnego działania tych urządzeń jest wybór optymalnego dolnego źródła ciepła. Powinno ono cechować się:

- możliwie wysoką i stałą w czasie temperaturą,
- dużą pojemnością cieplną,
- dobrą koherentnością, czyli zgodnością wydolności z zapotrzebowaniem na ciepło,

- łatwą dostępnością,
- małą korozyjnością,
- niskimi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.



Rys. 2. Chłodziarka i pompa ciepła pracują przy różnych poziomach temperatury źródła dolnego i górnego.



Rys. 3. Schemat idealowy systemu grzewczego ze sprężarkową pompą ciepła [4]:  
W.c. – wymiennik gruntowy (dolne źródło ciepła), P – parownik, S - skraplacz.

Pompa ciepła może pobierać ciepło z powietrza atmosferycznego, wody, gruntu, albo wykorzystywać ciepło odpadowe z procesów technologicznych, bądź z układów wentylacji. W tab. 1 przedstawiono zasadnicze zalety i wady wspomnianych rozwiązań.

Tab. 1. Porównanie własności wybranych dolnych źródeł ciepła dla pompy ciepła.

| Dolne źródło ciepła                         | Zalety  | Wady   |
|---|---|--|
| powietrze atmosferyczne                     | powszechna dostępność   | niski współczynnik przejmowania ciepła, duże wahania temperatury |
| powietrze wylotowe z układów wentylacji     | niewielkie wahania temperatury  | niski współczynnik przejmowania ciepła                           |
| woda z sieci wodociągowej                   | stałość temperatury, lepszy współczynnik przejmowania ciepła              | duży koszt   |
| wody powierzchniowe                         | -    -  | brak powszechnego dostępu  |
| wody podskórne                              | -    -  | duży koszt inwestycyjny  |
| oczyszczone ścieki                          | -    -  | brak powszechnego dostępu  |
| grunt                                       | niewielka zmienność temperatury, dostępność (poza terenem zurbanizowanym) | duży koszt inwestycyjny  |
| ciepło odpadowe z procesów technologicznych | stała, relatywnie wysoka temperatura                                      | niewielka dostępność   |

Pompa ciepła jest urządzeniem drogim, chociaż oferuje możliwość znacznego zaoszczędzenia energii (wysoki współczynnik wydajności grzejnej). Opłacalność jej stosowania zależy w dużej mierze od wysokości opłat za użytkowanie dolnego źródła ciepła oraz od okresu amortyzacji tej inwestycji. Wykorzystanie pompy ciepła bardzo często jest zasadne w przypadku skojarzonych układów energetycznych.

### 3. Badane urządzenie

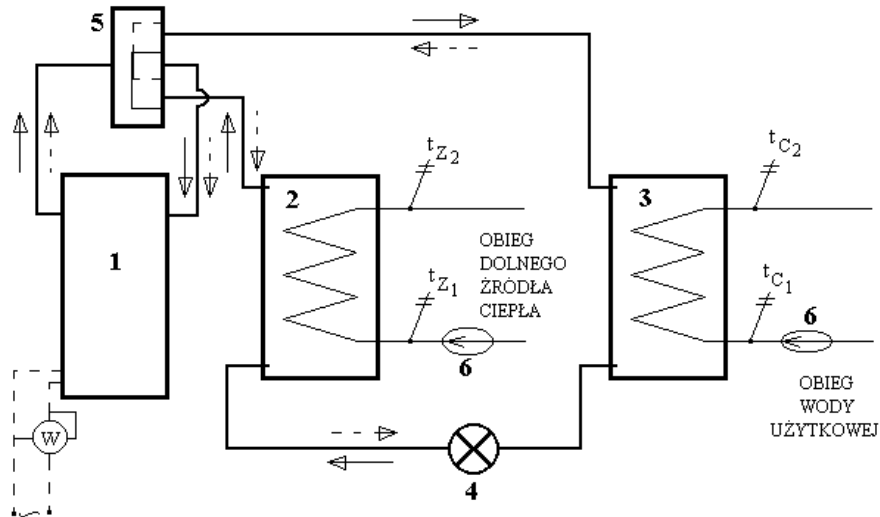
W Laboratorium Maszynowym Katedry Techniki Ciepłej znajduje się typowa sprężarkowa pompa ciepła wykonana jako produkt seryjny i przeznaczona np. dla układów ogrzewania domków jednorodzinnych, czy też dla systemów klimatyzacyjnych. Schemat ideowy tego urządzenia przedstawiono na rys. 4. Zarówno dolnym, jak i górnym źródłem ciepła jest w tym przypadku woda krążąca w obiegach zamkniętych. Oprzyrządowanie stanowiska umożliwi pomiar temperatury obu strumieni wody na wlocie i wylocie z wymienników pompy ciepła oraz natężenie ich przepływu. Zestaw przyrządów pomiarowych uzupełnia watomierz włączony w obwód zasilania agregatu sprężarkowego.

Aby umożliwić badanie urządzenia w stanie ustalonym w czasie, woda opuszczająca skraplacz powinna być chłodzona poza pompą ciepła, zanim powtórnie dotrze do tego wymiennika ciepła. Podobnie woda, od której wrzący czynnik roboczy odbiera ciepło w parowniku musi być ogrzewana. W przypadku opisywanego stanowiska, procesy te zachodzą w centralach klimatyzacyjnych, pomiędzy które włączono pompę ciepła. W jednej z central woda z górnego źródła ciepła przekazuje ciepło do przepływającego powietrza, zaś w drugiej schłodzona w parowniku pompy ciepła woda jest ogrzewana - także za pomocą strumienia powietrza.

Płynem roboczym w omawianej pompie ciepła jest powszechnie stosowany w chłodnictwie jednorodny czynnik R 22 należący do grupy substancji popularnie nazywanej "freonami".

Badane urządzenie posiada możliwość pracy rewersyjnej. Zawór czterodrogowy włączony w obieg płynu roboczego pompy ciepła umożliwia zmianę kierunku jego cyrkulacji w części instalacji.

W wyniku tego, wymienniki ciepła zamieniają się funkcjami i skraplacz, który do tej pory ogrzewał wodę staje się parownikiem wodę tą ochładzającym. Biorąc pod uwagę fakt, że w typowej konfiguracji jeden z obiegów wody stanowi instalację użytkową, urządzenie może spełniać funkcję grzejnej pompy ciepła, bądź chłodziarki - w zależności od ustawienia zaworu czterodrogowego.



Rys. 4. Schemat ideowy stanowiska badawczego sprężarkowej pompy ciepła: 1 - sprężarka; 2 - parownik; 3 - skraplacz; 4 - zawór dławiący; 5 - zawór czterodrogowy; 6 - przepływomierz;  $t_{C1}$ ,  $t_{C2}$ ,  $t_{Z1}$ ,  $t_{Z2}$  - punkty pomiaru temperatury; W - watomierz. Strzałki ciągłe wskazują kierunek przepływu czynnika roboczego, gdy urządzenie pracuje jako pompa ciepła; strzałki przerywane dotyczą opcji chłodzenia "wody użytkowej" (zawór 5 w położeniu zaznaczonym linią przerywaną, wymienniki ciepła 2 i 3 zamieniają się funkcjami).

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

Pomiar natężenia przepływu wody w obu obiegach oraz różnic jej temperatury na wlocie i wylocie z wymienników ciepła pozwala wyznaczyć strumień ciepła w nich przekazywane według zależności:

$$\dot{Q}_K = c_w \dot{m}_C (t_{C2} - t_{C1}) \text{ [kW]} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_0 = c_w \dot{m}_Z (t_{Z1} - t_{Z2}) \text{ [kW]} \quad (3)$$

gdzie:  $\dot{Q}_K$  - wydajność cieplna rozumiana jako strumień ciepła przejęty przez wodę ogrzewaną [W],

$\dot{Q}_0$  - wydajność chłodnicza wyznaczona jako strumień ciepła oddany przez wodę ochładzaną [W],

$c_w$  - ciepło właściwe wody,

$\dot{m}_C$  - strumień masy wody ogrzewanej w skraplaczu [kg/s],

$\dot{m}_Z$  - strumień masy wody ochładzanej w parowniku [kg/s],

$t_{C2}$ ,  $t_{C1}$  - temperatura wody "cieplej" za i przed skraplaczem [°C],

$t_{Z1}$ ,  $t_{Z2}$  - temperatura wody "zimnej" przed i za parownikiem [°C].

Strumień masy wody w obu obiegach wynika z pomiaru objętościowych natężeń przepływu  $\dot{V}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]:

$$\dot{m}_{c,z} = \rho_w \dot{V}_{c,z} \quad (4)$$

gdzie:  $\rho_w$  - gęstość wody.

Współczynnik wydajności grzejnej należy wyliczyć według wzoru (1).

### **Literatura:**

- [1] Ullrich H.J.: Technika chłodnicza – Poradnik. Tom I. Wyd. MASTA, Gdańsk, 1998.
- [2] Ullrich H.J.: Technika chłodnicza – Poradnik. Tom II. Wyd. MASTA, Gdańsk, 1999.
- [3] Rubik M.: Pompy ciepła - Poradnik. Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej „Instal”, Warszawa 1996.
- [4] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Wyd. MASTA, Gdańsk, 2001.
- [5] Paliwoda A.: Miejsce pompy ciepła w układach energetycznych. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, tom III, 1996, nr 1.
- [6] Zagłaniczny H.: Pompy ciepła - za i przeciw. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, tom V, 1998, nr 1.