



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ CHEMICZNY

**LABORATORIUM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII**  
**Katedra Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego**  
**Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej**

# **INSTRUKCJA LABORATORYJNA NR 7-PC**

## **POMPA CIEPŁA**



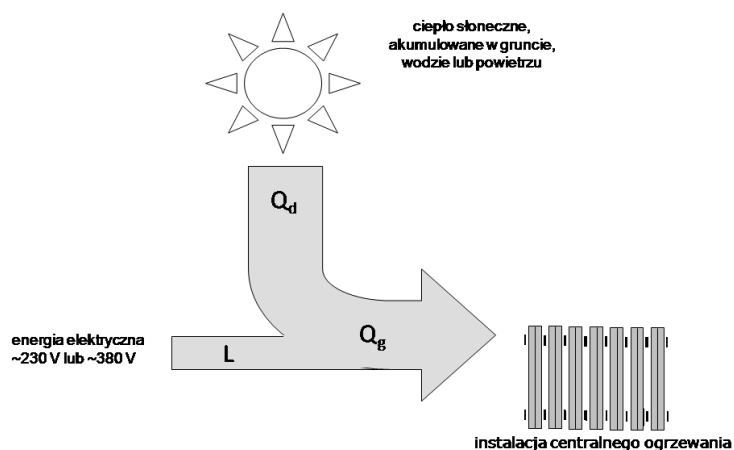
### **1. Cel i zakres ćwiczenia**

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z następującymi zagadnieniami:

- Zasada działania pompy ciepła typu powietrze-powietrze.
- Zasada działania pompy ciepła typu powietrze-woda.
- Obliczenie wartości strumienia ciepła w górnym i dolnym źródle oraz efektywności pracy pompy ciepła.
- Obliczenie wartości strumienia ciepła odebranego przez wodę w pompie ciepła typu powietrze woda.

## 2. Tematyka ćwiczenia

Zasada działania pompy ciepła polega na odebraniu ciepła  $Q_d$  z tzw. dolnego źródła o niskiej temperaturze ( $-15^{\circ}\text{C}$  do  $+30^{\circ}\text{C}$ ) i przekazaniu ciepła  $Q_g$  do górnego źródła o wysokiej temperaturze (instalacja c.o. i c.w.u.). Proces ten odbywa się kosztem doprowadzonej do napędu sprężarki energii elektrycznej  $L$  (Rys.1.).



Rys. 1. Zasada działania pompy ciepła

W nazewnictwie praktycznym  $Q_d$  to moc chłodnicza pompy ciepła,  $Q_g$  jest to moc grzewcza pompy ciepła. W układach z pompą ciepła możliwe jest wykorzystanie zarówno strony ciepłej (górne źródło) np. do celów grzewczych, jak i strony zimnej (dolne źródło) np. w klimatyzacji lub chłodnictwie. W zależności od sposobu wykorzystania pompy ciepła należy dobierać ją ze względu na zapotrzebowanie na moc grzewczą lub moc chłodniczą.

W praktyce wykorzystuje się następujące rodzaje dolnych źródeł ciepła:

- Poziomy wymiennik ciepła - to rury PE położone pod powierzchnią gruntu. Wewnątrz rur pompowana jest ciecz niezamarzająca o temperaturze niższej od temperatury gruntu, która odbiera ciepło z gruntu i przekazuje je do pompy ciepła.
- Pionowy gruntowy wymiennik ciepła - jest podobny do wymiennika poziomego, ale w tym przypadku rury są umieszczone w gruncie pionowo. Podobnie jak w wymienniku poziomym wewnątrz rur przepływa w obiegu zamkniętym ciecz niezamarzająca. Zajmuje mniejszą powierzchnię gruntu niż wymiennik poziomy.
- Ujęcie wody systemem dwóch studni - woda pompowana jest z jednej studni i po przejściu przez pompę ciepła, ochłodzona, zrzucana jest do drugiej.
- Procesy chłodnicze (komory chłodnicze, wytwarzanie wody lodowej, klimatyzacja).
- Powietrze. Najlepsze efekty uzyskuje się przy wykorzystaniu powietrza o stałej temperaturze np. z wentylacji.

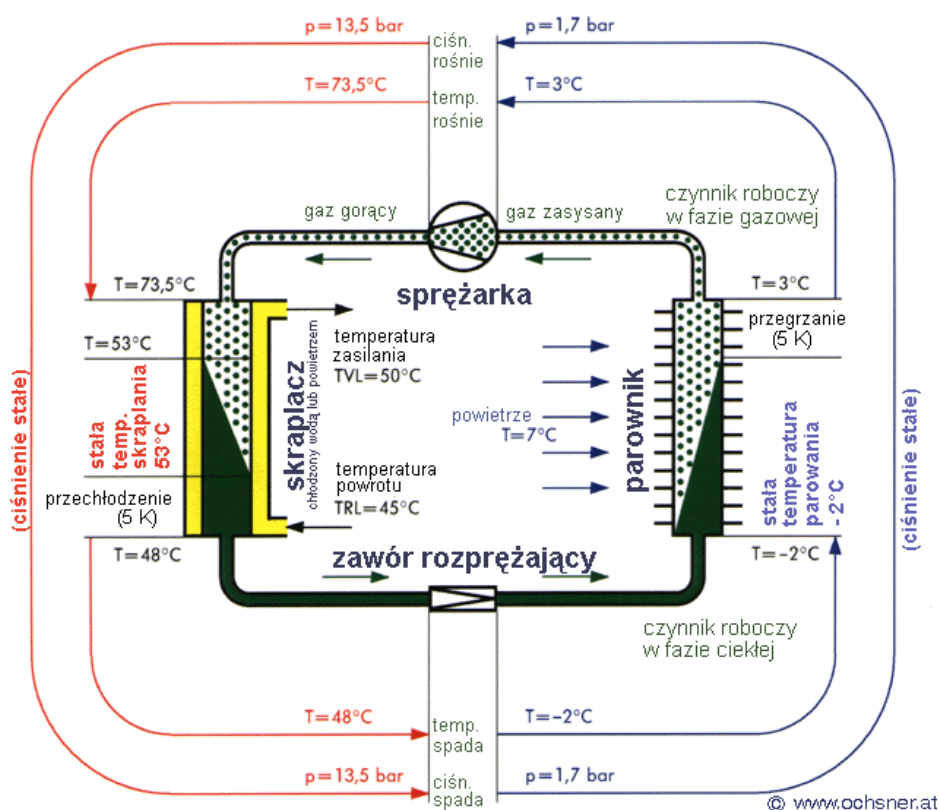
Podstawowe elementy instalacji to (Rys.2):

- parownik (wymiennik ciepła źródła dolnego),
- skraplacz (wymiennik ciepła źródła górnego),
- sprężarka,
- zawór rozprężny.

Górne źródło ciepła to najczęściej ciepła woda wykorzystywana w instalacjach centralnego ogrzewania. Dla pomp ciepła temperatura docelowa wynosi do 100°C (pompa ciepła jest najsprawniejsza kiedy temperatury górnego źródła są niższe, w praktyce wynoszą 35÷55°C). Dolne źródło tworzą sondy ciepła (wymenniki ciepła, umieszczone w gruncie), które w zależności od głębokości położenia dzieli się na: przypowierzchniowe sondy ciepła, głębokie sondy ciepła. Przypowierzchniowe sondy ciepła umieszcza się poziomo na niewielkiej głębokości lub pionowo i nazywa się je wówczas kolektorami ziemnymi.

**Tabela 1.** Dobór przypowierzchniowych kolektorów poziomych i pionowych

Wielkość	Kolektory poziome	Kolektory pionowe
Głębokość [m]	1÷2	150÷200
Jednostkowa długość rur [m/kW]	28÷50	15÷32
Typowe średnice rur	1/4" ÷ 2"	3/4" ÷ 2"



**Rys. 2.** Schemat pompy ciepła

Jako czynnik obiegowy w sondach stosuje się solankę (25÷30%) lub czynnik chłodniczy. Ponieważ temperatura wody na wyjściu z pompy nie powinna przekraczać 55°C, dlatego najbardziej odpowiednim systemem ogrzewania jest system niskotemperaturowy do którego zalicza się np. ogrzewanie podłogowe. Tego typu ogrzewanie, pozwala na uzyskanie komfortu grzewczego, zasilając układ grzewczy czynnikiem o temperaturze 30÷40°C.

Studnie głębinowe pozwalają na pozyskanie energii z wód głębinowych. W odróżnieniu od kolektorów pionowych i poziomych (układ w tych systemach jest zamknięty) układ ten jest układem otwartym.

W przypadku wyżej wymienionych systemów istotna jest głębokość na jakiej znajdują się rury, z uwagi na temperaturę dolnego źródła (jakim jest grunt). W głębszych warstwach - od 20 metrów - energia jest akumulowana z wnętrza ziemi oraz od promieniowania słonecznego. Na głębokości około 10 m temperatura jest stała i dla średniej strefy klimatycznej wynosi około 10 stopni Celsjusza. Na głębokości około od 1,5 do 2 metrów temperatura zmienia się sinusoidalnie w granicach od 6 do 15 stopni.

Połączenie ogrzewania podłogowego ze ściennym jest najlepszą formą ogrzewania nowoczesnego domu energooszczędnego.

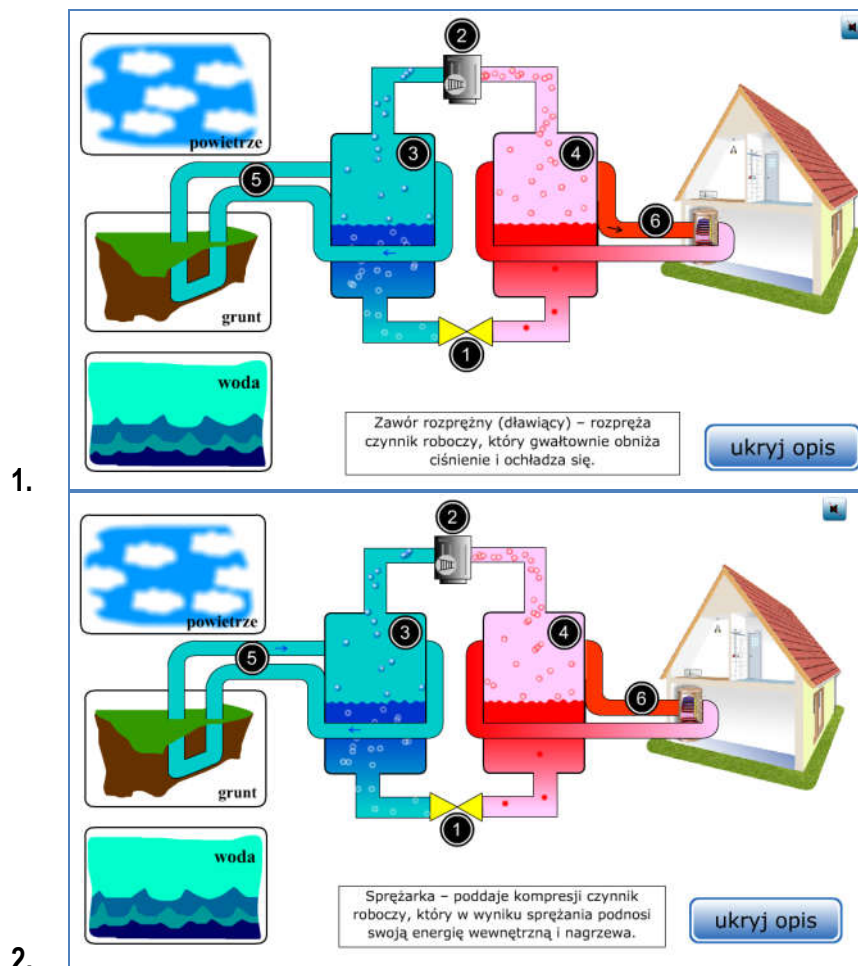
Efekt energetyczny działania pompy ciepła określa wartość wskaźnika efektywności energetycznej (COP- Coefficient Of Performance):

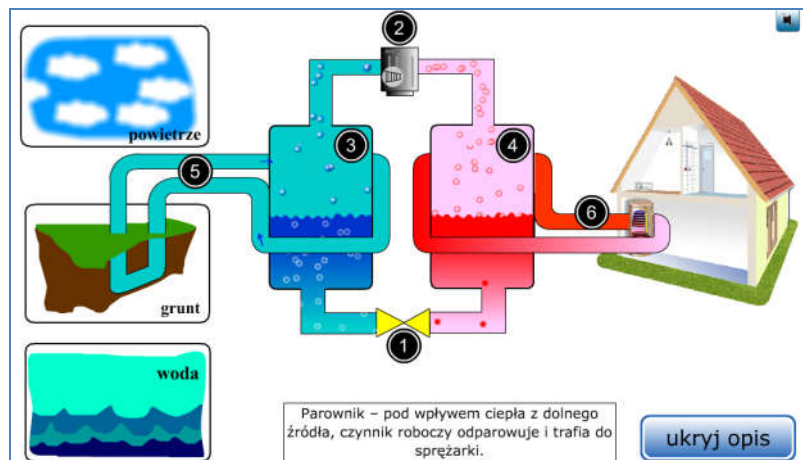
$$\varepsilon = \frac{Q_g}{|N_e|} > 1,$$

gdzie  $Q_g$  jest strumieniem ciepła przekazany ciału ogrzewanemu,

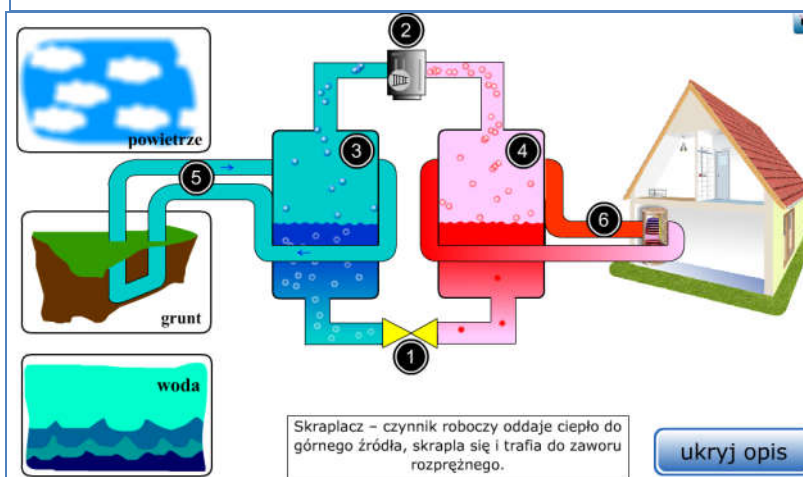
natomiast  $N_e$  jest mocą napędową, doprowadzoną do pompy.

Układ pompy ciepła wraz z opisem poszczególnych elementów i ich funkcji przedstawia Rys. 3. punkty 1÷6.

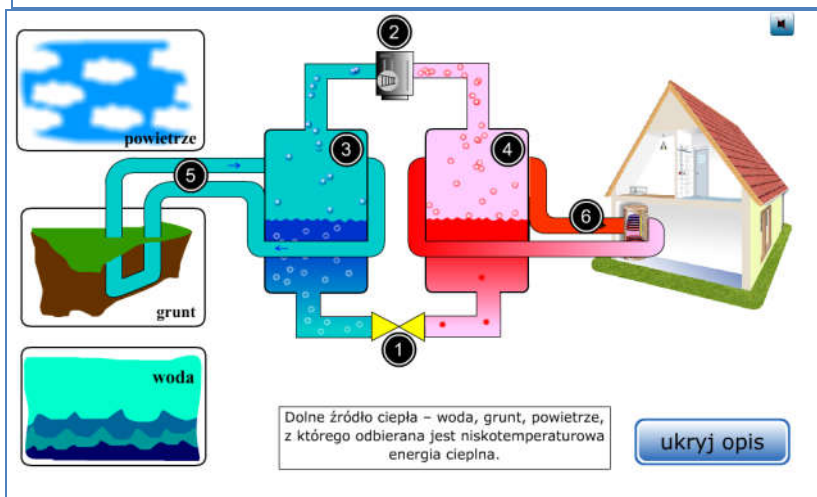




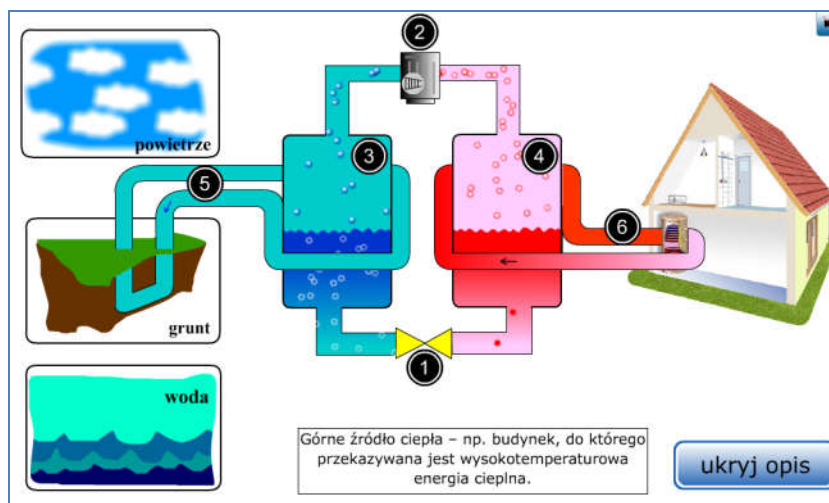
3.



4.



5.



6.

**Rys. 3.** Układ pompy ciepła wraz z opisem poszczególnych elementów i ich funkcji: 1 - zawór rozprężny, 2 - sprężarka, 3 - parownik, 4 - skraplacz, 5 - dolne źródło ciepła, 6 - górne źródło ciepła

**Zestaw eksperymentów do wykonania w ramach ćwiczenia:**

- A. Obliczenie wartości strumienia ciepła i efektywności dla pompy ciepła typu powietrze-powietrze.
- B. Obliczenie wartości strumienia ciepła, efektywności i strumienia ciepła odebranego przez wodę w pompie ciepła typu powietrze-woda.

### 3. Opis stanowiska

Zadaniem układu chłodniczego i pompy ciepłej jest przeniesienie energii cieplnej przy niskim poziomie temperatur na wysoki poziom temperatury. Zgodnie z prawami termodynamiki, ten proces nie może się odbyć bez wysiłku. Różnicą pomiędzy pompą ciepła, a instalacją chłodniczą jest to, że w układzie chłodzenia używa się strony zimnej (parownik), a w pompie ciepła stronę ciepłą (kondensator). Cykle termodynamiczne są całkowicie identyczne.

#### 3A. Wymienniki Ciepła

Urządzenie jest w pełni funkcjonalnym systemem chłodzenia lub pompą ciepła. System pozwala na użycie różnych parowników i skraplaczy, by porównać je ze sobą. System posiada łącznie 4 wymienniki ciepła:

- 3 wymienniki ciepła chłodzone powietrzem;



- 1 wymiennik ciepła chłodzony wodą (W4).

Wymiennik ciepła chłodzony wodą (W4), może działać jako skraplacz i jako parownik. Odnosi się to także do jednego z wymienników ciepła chłodzonych powietrzem (W3).

#### 3B. Sprężarka

Układ wyposażony jest w hermetyczną sprężarkę tłokową. Silnik i sprężarka znajdują się w zaplombowanej, szczelnie zaspawanej obudowie metalowej. Chłodzenie silnika odbywa się za pomocą zasysanej pary czynnika chłodniczego. W tym przypadku mamy do czynienia ze sprężarką o chłodzeniu ssawnym. Prędkość silnika dla tej sprężarki wynosi w przybliżeniu  $2900 \text{ min}^{-1}$  przy częstotliwości w sieci 50 Hz. Granica temperatury pacy sprężarki wynosi  $120^\circ\text{C}$ .

#### 3C. Termostatyczne zawory rozprężne (TEV)

Celem zaworu rozprężnego jest dekompresja czynnika chłodniczego oraz utrzymanie stałej wartości przegrzania na wylocie parownika. Każdy z wymienników ciepła posiada swój zawór rozprężny co daje 4 zawory w całej instalacji. Przegrzanie czynnika chłodniczego można regulować przy pomocy śruby nastawnej zaworu.

#### 3D. Elementy sterownicze

Aparaturę można skonfigurować w 19 różnych trybach pracy, pozwalając na analizę kilku typowych przypadków użycia. Przykłady obejmują czynniki wpływające na zachowanie operacyjne pompy ciepła. System jest wyposażony w duże ilości oprzyrządowania pomiarowego, umożliwiając jakościową i ilościową ocenę procesu wymiany ciepła.



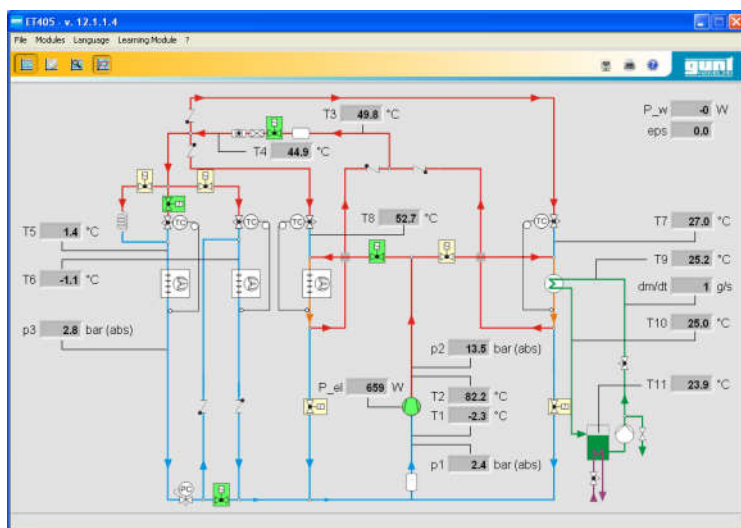
**Tabela 2.** Tryby pracy parowników W1 i W2 jednostki chłodniczej.

Pozycja przełącznika	Tryb pracy	V1	V2	V3	V4
1	Brak parownika	0	0	0	0
2	Chłodzenie standardowe W1	0	1	1	0
3	Mrożenie W2	0	0	0	1
4	Tryb równoległy W1 i W2 z zaworem rozprężnym	0	1	1	1
5	Tryb równoległy W1 i W2 z rurką włoskową	1	0	0	0

**Tabela 3.** Tryby pracy wymienników ciepłych W3 i W4.

Pozycja przełącznika	Tryb pracy	V5	V6	V7	V8	V9
1	Brak W4, skraplacz chłodzony powietrzem W3	1	0	0	0	1
2	Zimna woda W4, skraplacz chłodzony powietrzem W3	1	0	0	1	1
3	Ciepła woda W4, skraplacz chłodzony powietrzem W3	0	1	1	0	1
4	Ciepła woda W4, brak W3	0	1	0	0	1

### 3E. Oprogramowanie



Oprogramowanie pozwala na odczyt wyników i obserwację wykresów oraz kontrolę warunków prowadzenia procesu. Ikony, którymi przełączamy funkcje programowe:



**Wykres zmian temperatury i ciśnienia w czasie**



**Rejestrator danych**



**Przeglądarka danych**



**Diagram log p-h**



#### 4. Przebieg ćwiczenia

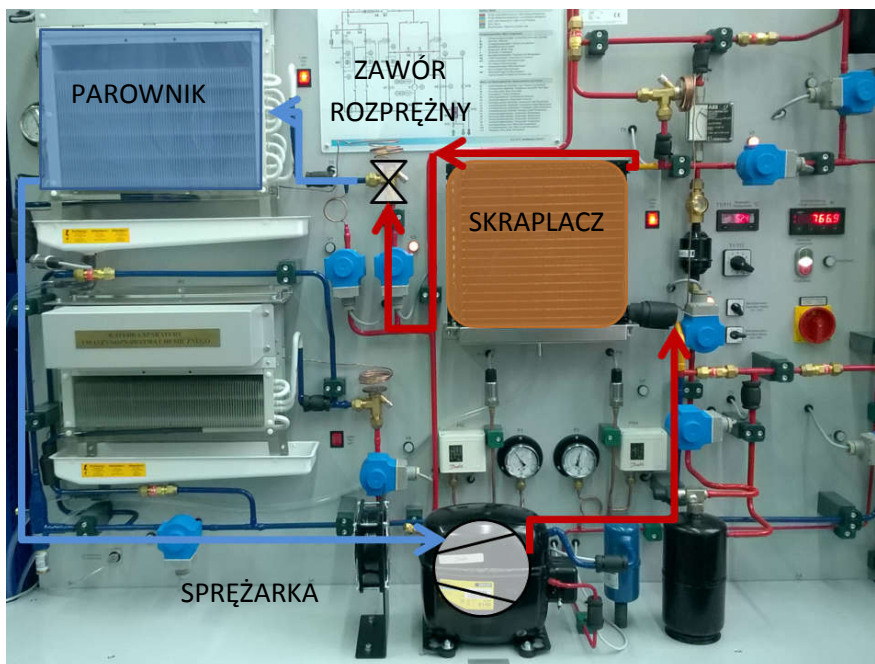
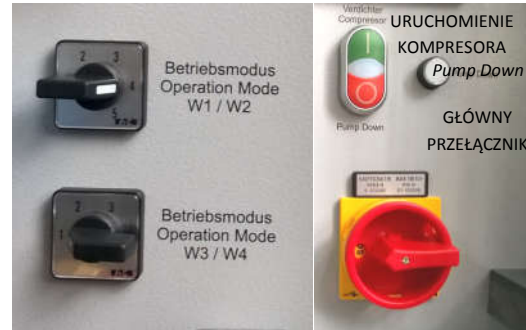
A. Obliczenie wartości strumieni ciepła i efektywności dla pompy ciepła typu powietrze-powietrze.

**A1. Uruchomić system głównym przełącznikiem.**

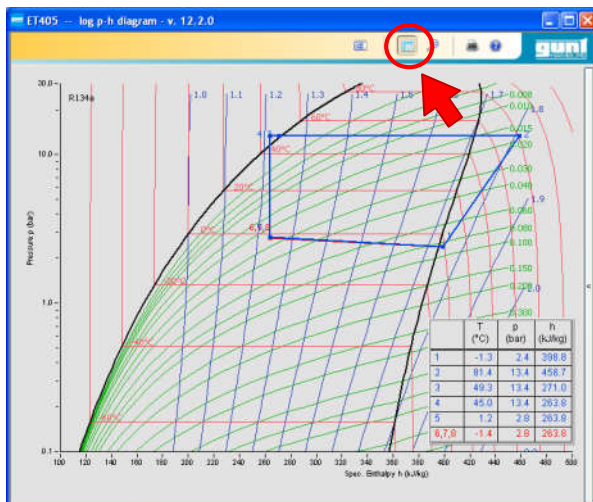
A2. Uruchomić wiatrak przy parowniku **W1** i skraplaczu **W3**. Następnie ustawić przełącznik **W1/W2** w pozycji 2, a przełącznik **W3/W4** w pozycji 1.

**A3. Uruchomić kompresor.**

A4. Po ustawieniu odpowiednich przełączników rozpocząć pomiar.



Po osiągnięciu stanu równowagi (ciśnienie na wlocie kompresora pozostaje stałe) przejść w zakładkę Diagram log  $p$ - $h$ , a następnie otworzyć Tabelę z danymi.



A5. Spisać wszystkie wartości niezbędne do stworzenia wykresu log  $p$ - $h$  oraz wykonania obliczeń (Tabela 1).

A6. Odczytać również na przepływomierzu (F1) objętościowe natężenie przepływu czynnika ( $V_R$ ).

**A7. Wcisnąć przycisk Pump Down i odczekać na odpompowanie czynnika chłodniczego z układu.**



A8. Wykonać obliczenia Wartości strumienia ciepła dolnego źródła ( $\dot{Q}_d$ ) jako iloczyn strumienia masy czynnika chłodniczego i różnicy entalpii na parowniku.

$$\dot{Q}_d = \dot{m}_R \cdot (h_1 - h_5)$$

Wartości strumienia ciepła górnego źródła ( $\dot{Q}_g$ ) poprzez iloczyn strumienia masy czynnika chłodniczego ( $\dot{m}_R$ ) i różnicy entalpii na skraplaczu, przy założeniu, że gęstość jest stała i  $\rho_R=1,12 \text{ kg/L}$ .

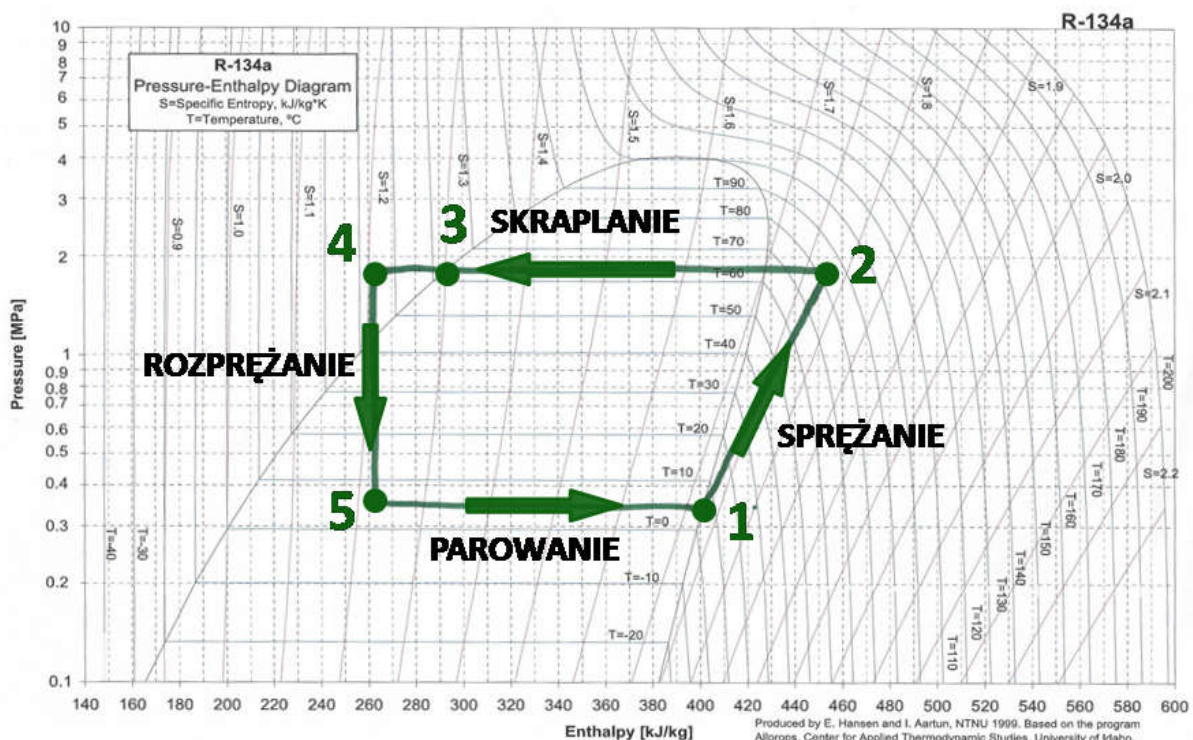
$$\dot{Q}_g = \dot{m}_R \cdot (h_2 - h_4)$$

$$\dot{m}_R = \rho_R \cdot \dot{V}_R$$

Obliczyć również efektywność pracy pompy ciepła ( $\varepsilon_{RS}$ ) w przedstawionym układzie jako iloraz strumienia ciepła z górnego źródła do mocy elektrycznej zużytej przez kompresor ( $P_{el}$ ).

$$\varepsilon_{RS} = \frac{\dot{Q}_g}{P_{el}}$$

A9. Na diagram dołączony do instrukcji nanieść punkty od 1-5.



Proces termodynamiczny to następujące po sobie przemiany:

- 1-2 – sprężanie czynnika roboczego w sprężarce;
- 2-3,4 – oddanie ciepła w górnym źródle (skraplanie czynnika);

- 4-5 – rozprężanie czynnika na zaworze rozprężnym;
- 5-1 – pobranie ciepła w dolnym źródle (odparowanie czynnika).

**B. Obliczenie wartości strumienia ciepła, efektywności i strumienia ciepła odebranego przez wodę w pompie ciepła typu powietrze-woda.**

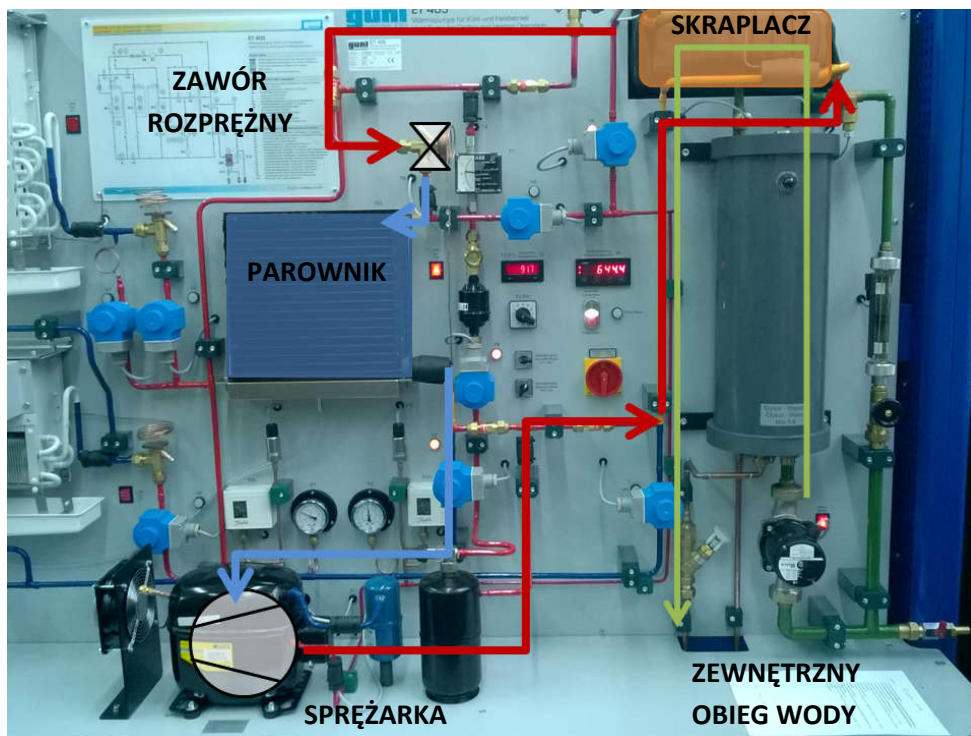
**B1. Uruchomić system głównym przełącznikiem.**

B2. Uruchomić wiatrak przy parowniku **W3**. Następnie ustaw przełącznik **W1/W2** w pozycji 1, a przełącznik **W3/W4** w pozycji 3.

**B3. Uruchomić pompę.**

B4. Przepływ wody przez wymiennik ciepła (**V10**) ( $\dot{m}_w$ ) nastawić na 30 g/s, natomiast natężenie przepływu dla zewnętrznego obiegu wody na 8 L/min na zaworze kontrolnym (**V11**).

**B5. Uruchomić kompresor.**



B6. Po ustawieniu odpowiednich przełączników rozpocząć pomiar.

B7. Po osiągnięciu stanu równowagi (ciśnienie na wlocie kompresora pozostaje stałe) spisać wszystkie wartości niezbędne do stworzenia wykresu log  $p-h$  oraz wykonania obliczeń (tabela 2). Odczytać również na przepływomierzu (**F1**) objętościowe natężenie przepływu czynnika, analogicznie jak w ćw. A.

**B8. Wcisnąć przycisk Pump Down i odczekać na odpompowanie czynnika chłodniczego z układu.**

B9. Wykonać obliczenia wartości strumienia ciepła górnego źródła poprzez iloczyn strumienia masy czynnika chłodniczego i różnicy entalpii na skraplaczu, przy założeniu, że gęstość jest stała i  $\rho_R=1,12$  kg/dm<sup>3</sup>.

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_R \cdot (h_2 - h_4)$$

$$\dot{m}_R = \rho_R \cdot \dot{V}_R$$

Obliczyć również efektywność pracy pompy ciepła w przedstawionym układzie jako iloraz strumienia ciepła z górnego źródła do mocy elektrycznej zużytej przez kompresor.

$$\varepsilon_{RS} = \frac{\dot{Q}_g}{P_{el}}$$

Na koniec obliczyć ilość ciepła odebranego przez wodę ( $\dot{Q}_{CW}$ ) w przedstawionym układzie powietrze-woda jako iloczyn strumienia masy wody ( $\dot{m}_W$ ), ciepła właściwego wody ( $C_{PW}$ ) i różnicy temperatur na wymienniku wodnym ( $\Delta T_W$ ).

$$\dot{Q}_{CW} = \Delta T_W \cdot \dot{m}_W \cdot C_{PW}$$

B10. Na diagram dołączony do instrukcji nanieść punkty od 1-5, analogicznie jak w ćw. A.

## 5. Literatura

- [1] Ewa Klugmann-Radziemska, Odnawialne źródła energii - przykłady obliczeniowe, Wydanie V, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2015
- [2] ET 405 Heat Pump for Cooling and Heating Operation, G.U.N.T. Gerätebau, Barsbüttel, Germany 2015