

## Ćwiczenie 5

### Badanie sprężarkowej pompy ciepła

#### Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko do wyznaczania współczynnika wydajności ciepłej pompy ciepła składa się z:

- pompy ciepła CRD 100,
- 10 – kanałowego rejestratora temperatury,
- manometrów do pomiaru ciśnienia czynnika obiegowego w instalacji.

#### Wiadomości teoretyczne

Z definicji II zasady termodynamiki wynika, że ciepło może samorzutnie przepływać tylko od wyższego do niższego poziomu temperatury. W otoczeniu (powietrzu, wodzie, gruncie) znajdują się naturalne źródła energii o niskiej temperaturze. Źródła te mogą być wykorzystane, na przykład do ogrzewania pomieszczeń, jeżeli ich potencjał energetyczny przeniesiemy, poprzez dostarczenie dodatkowej energii, na wyższy poziom temperatury. Analogicznie do pompy cieczy, która pompuje wodę z niższego poziomu na wyższy, pompa ciepła transportuje energię cieplną z niższego poziomu temperatury na wyższy.

Pompy ciepła są to urządzenia, które jak wskazuje nazwa, pompują (przenoszą) ciepło z jednego ośrodka do drugiego. Odbywa się to kosztem pracy mechanicznej (pompy sprężarkowe), ciepła (pompy absorpcyjne) lub energii elektrycznej (pompy termoelektryczne). Urządzenia te pełnią jednocześnie dwie funkcje tzn. grzeją i chłodzą. Jeżeli głównym celem jest chłodzenie, mówi się o chłodziarkach, lodówkach czy klimatyzatorach. Jeżeli zadaniem maszyny jest ogrzewanie, wtedy nazywa się ją pompą ciepła. Należy pamiętać, że niezależnie od nazwy mówimy o tym samym urządzeniu.

Historia pomp ciepła ma już ponad 100 lat. Pierwsze lodówki powstały w drugiej połowie XIX wieku. Pierwsza instalacja bazująca na amoniakowym urządzeniu sprężarkowym, służąca do ogrzewania budynku została skonstruowana w 1928 r. przez angiłka T.G. Haldane. Zachowały się informacje o tym, że w 1931 r. zainstalowano pompę ciepła o mocy ok. 1 MW do ogrzewania biurowca w Los Angeles a w roku 1938 urządzenie o mocy 175 kW do ogrzewania ratusza w Zurychu. Podczas II Wojny Światowej urządzenia te były natomiast wykorzystywane na łodziach podwodnych.

Do pomp ciepła można zaliczyć:

- sprężarkowe: najbardziej rozpowszechniona grupa urządzeń. Wykorzystują sprężarkę mechaniczną, jako urządzenie dostarczające pracę do układu. Do zalet tego typu rozwiązań zaliczyć należy względną prostotę konstrukcji, wysoką efektywność energetyczną oraz mobilność. Wadą jest uzależnienie od dostaw energii elektrycznej oraz zużywanie się elementów mechanicznych w sprężarce,
- absorpcyjne: wykorzystują tzw. sprężarkę termiczną, która napędzana jest ciepłem. Pompy absorpcyjne znajdują, więc zastosowanie wszędzie tam, gdzie dostępne jest tanie źródło ciepła lub niedostępna jest energia elektryczna. Urządzeń tych zdecydowanie częściej używa się do chłodzenia. Posiadają niższy niż sprężarkowe współczynnik efektywności cieplnej, ale działają praktycznie bez żadnych elementów mechanicznych, co gwarantuje niewielką awaryjność,

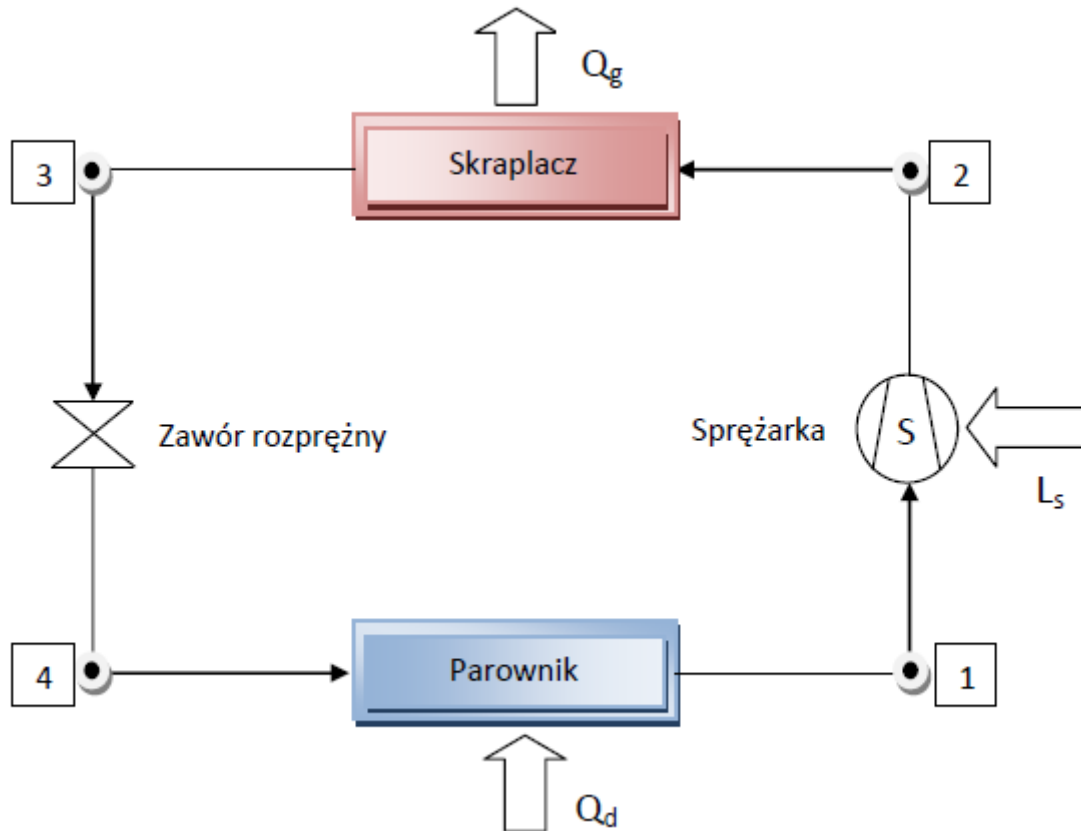
- termoelektryczne: wykorzystują zjawisko Seebecka. Są najslabiej rozpowszechnione ze względu na bardzo małą efektywność. Posiadają jednak szereg zalet, które sprawiają, że te urządzenia są niezastąpione w pewnych sytuacjach. Należy do nich mała waga, praca niezależnie od położenia, możliwość miniaturyzacji, brak hałasu.

Zimniejszym źródłem, tak zwanym dolnym, z którego jest odbierane ciepło, może być grunt, woda, a nawet powietrze. Źródłem górnym, do którego ciepło jest dostarczane, jest ogrzewana przez pompę woda (rzadziej powietrze), która krąży w instalacji grzewczej. A zatem pompa nie wytwarza ciepła, poza pewną ilość będącą efektem ubocznym działania jej sprężarki, tylko je przekazuje z dolnego do górnego źródła. Jest kilka źródeł, z których pompa może pozyskiwać ciepło. Wybór pompy będzie zależał od rozmiaru działki i gruntu, jaki na niej występuje, a także strefy klimatycznej, w jakiej mieszkamy. Najłatwiej zainstalować pompę ciepła, której dolnym źródłem jest powietrze. Jednak jej efektywność zdecydowanie maleje, gdy na dworze robi się zimno, czyli wtedy, gdy potrzeba najwięcej ciepła do ogrzewania domu. Im niższa temperatura powietrza, tym pompa zużywa więcej energii elektrycznej do wytwarzania tej samej ilości ciepła, a w czasie dużego mrozu w ogóle nie może pracować i wówczas uruchamia się wbudowana w nią elektryczna grzałka. Gdy temperatura powietrza jest umiarkowana, czyli przez zdecydowanie większą część sezonu grzewczego, powietrzna pompa ciepła pracuje ekonomicznie. Można przyjąć, że uśrednione dla całego sezonu grzewczego koszty ogrzewania będą mniej więcej o połowę niższe niż ogrzewania grzejnikami elektrycznymi.

Konstrukcja pompy ciepła składa się z czterech głównych elementów:

- wymiennika do pozyskiwania ciepła z otoczenia,
- sprężarki,
- wymiennika do oddawania ciepła do instalacji,
- zaworu rozprężnego.

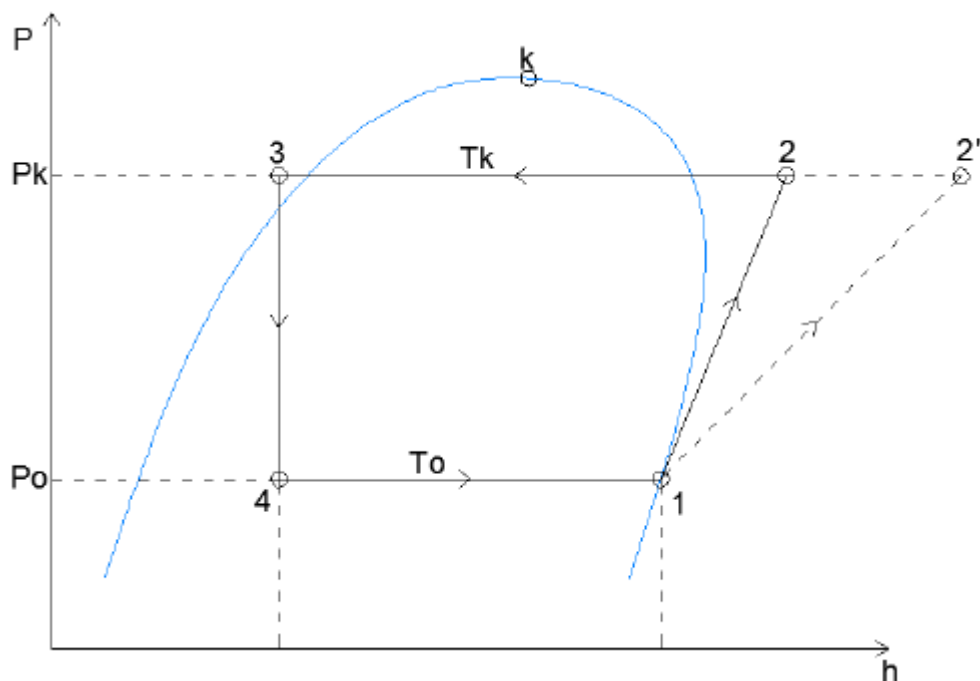
Elementy te tworzą zamknięty układ wyposażony w czynnik chłodniczy, który ma niską temperaturę parowania, a jego zadaniem jest przekazywanie ciepła. Ciepło z otoczenia pobierane jest w parowniku pompy ciepła, w której za pośrednictwem czynnika chłodniczego dochodzi do wrzenia i parowania, także w temperaturach ujemnych. Na rysunku 1 przedstawiono zamknięty obieg funkcjonowania pompy ciepła.



Rys. 1. Zamknięty obieg funkcjonowania pompy ciepła

Na powyższym rysunku przedstawiono ideę działania pompy ciepła. Czynnikiem roboczym jest substancja chemiczna, której normalna temperatura wrzenia zawiera się w granicach od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $+10^{\circ}\text{C}$ , tzw. czynnik chłodniczy (ziębniczy). Dlatego pompy ciepła mogą działać nawet przy mocno ujemnych temperaturach, potrzeba tylko, żeby ilość energii dostarczana w dolnym źródle ciepła była wystarczająca do odparowania czynnika chłodniczego (proces ten prowadzi do ochłodzenia dolnego źródła ciepła, co jest zjawiskiem wykorzystywanym w chłodziarkach). Substancja znajdująca się w obszarze pary przegrzanej zostaje doprowadzona do sprężarki, gdzie kosztem pracy mechanicznej zostaje podniesione jej ciśnienie oraz temperatura. Następnie czynnik przechodzi do skraplacza, gdzie kontaktuje się z tzw. górnym źródłem ciepła. Jest to najczęściej woda w obiegu centralnego ogrzewania. Ponieważ ma ona niższą temperaturę, następuje oddawanie ciepła przez czynnik chłodniczy z równoczesnym wykraplaniem wilgoci. Cały proces przebiega przy stałej temperaturze czynnika roboczego (jednocześnie następuje wzrost temperatury wody w obiegu c.o. tzn. centralnego ogrzewania). Ochłodzona substancja trafia następnie do osuszacza a potem do zaworu rozprężnego, gdzie jej stan powraca do parametrów wyjściowych ciśnienia i temperatury.

Jako podstawowy obieg porównawczy dla urządzeń chłodniczych i pomp ciepła przyjmuje się tzw. obieg Lindego (obieg lewobrzeżny). Uwzględnia on właściwości rzeczywistego czynnika chłodniczego. Linią niebieską oznaczono krzywą nasycenia, wewnątrz której znajduje się obszar pary mokrej. Na rysunku 2 przedstawiono lewobrzeżny obieg Lindego czyli charakterystykę ciśnienia w funkcji entalpii  $P = f(h)$ .



Rys. 2. Charakterystyka ciśnienia w funkcji entalpii  $P = f(h)$

### Gruntowa pompa ciepła (pompa typu solanka-woda)

Węzeł grzewczy oparty o gruntową pompę ciepła pobiera ciepło, które zakumulowane jest pod ziemią. Nawet w polskim klimacie temperatura gruntu jest stała niezależnie od pory roku i na głębokości około 15 m wynosi mniej więcej  $10^{\circ}\text{C}$ . Im wyżej powierzchni, tym chłodniej; jednak nie na tyle, żeby nie można było tam zainstalować instalacji źródła dolnego. Istnieją dwa rodzaje instalacji, która pobiera ciepło z ziemi na potrzeby pompy ciepła: poprzez sondy pionowe inaczej głębinowe i kolektory poziome czyli powierzchniowe. W obu przypadkach są to rury wypełnione glikolem, który pod ziemią utrzymuje stałą temperaturę od  $-2^{\circ}\text{C}$  do  $+5^{\circ}\text{C}$ . Mieszanekę wody z glikolem określa się potocznie, jako solankę (odporna na zamarzanie), stąd popularna nazwa pompy gruntowej – pompa ciepła typu solanka/woda. Te pierwsze zajmują nieco mniej powierzchni poziomej, jednak wymagają wykonania odwiertów na głębokość od 80 m do 150 m. W tym wypadku mamy gwarancję stabilności ciepła. Kolektory poziome to kilkaset metrów rury PE o średnicy 1 cala, ułożonej płasko lub spiralnie na głębokości od 1,5 m do 2 m pod powierzchnią ziemi (czyli poniżej granicy zamarzania ziemi). Powierzchnia kolektora powinna zajmować kilkakrotnie większą przestrzeń niż zajmuje powierzchnia domu (co najmniej 2-krotnie).

Wybór typu kolektora (powierzchniowy czy głębinowy) zależy przede wszystkim od rodzaju gleby, na której znajduje się działka. Największą wydajnością charakteryzują się wilgotne i gliniaste gleby, mniej korzystne są suche i piaszczyste. Na rysunku 3 zilustrowano zasadę działania pompy powierzchniowej typu solanka-woda. Na rysunku 4 zaprezentowano zasadę działania pompy gruntowej typu solanka-woda.

Do zalet kolektora pionowego można zaliczyć:

- działanie niezależne od pogody,
- wysoka wydajność wymaga niedużej powierzchni,
- tworzone są małe opory hydrauliczne, dzięki czemu koszt pompowania glikolu jest mały.

Do wad kolektora pionowego można zaliczyć:

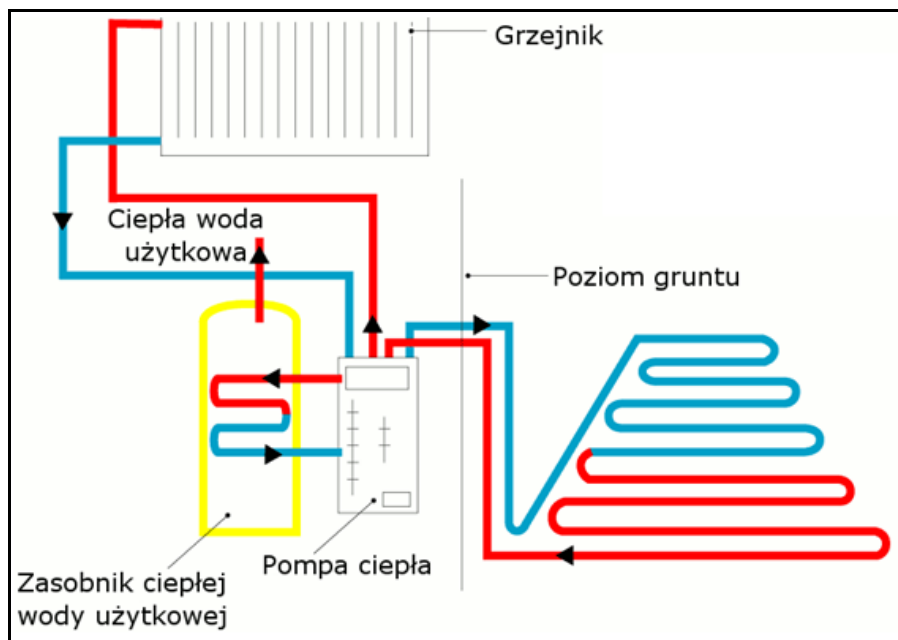
- wymagany jest specjalistyczny sprzęt,
- dla kolektorów o głębokości większej od 30 m potrzebne są zezwolenia wodnoprawne.

Do zalet kolektora poziomego można zaliczyć:

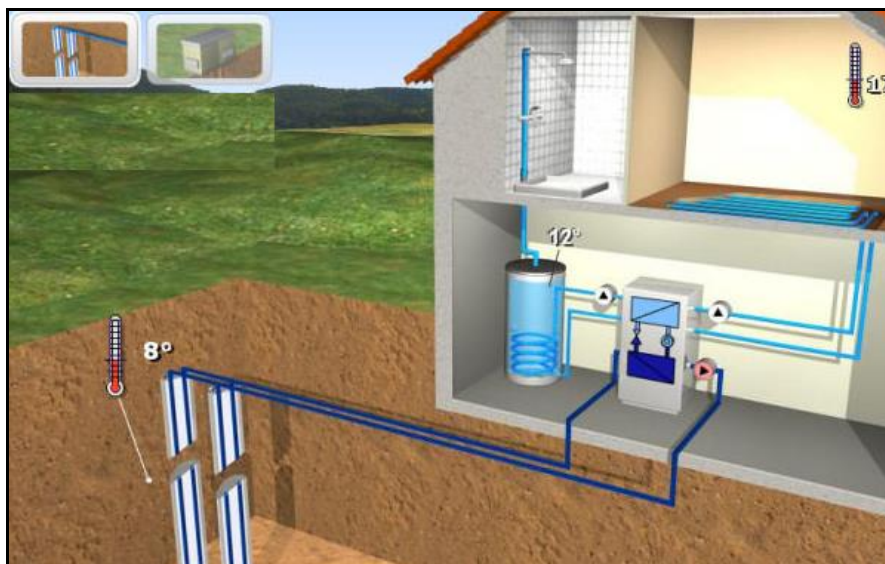
- prosta konstrukcja, która nie wymaga użycia specjalistycznego sprzętu,
- działanie niezależne od warunków meteorologicznych.

Do wad kolektora poziomego można zaliczyć:

- wymaga dużej powierzchni,
- rośliny znajdujące się bezpośrednio nad kolektorem krócej wegetują,
- występują opory hydrauliczne, przez co koszt pompowania glikolu jest wyższy,
- czynnik roboczy jest cieczą o niskiej temperaturze, ale o wysokim ciśnieniu,
- niska efektywność.



Rys. 3. Zasada działania pompy powierzchniowej typu solanka-woda



Rys. 4. Zasada działania pompy gruntowej typu solanka-woda

### **Powietrzna pompa ciepła (pompa typu powietrze-woda)**

Z instalacyjnego punktu widzenia najwygodniejsza jest powietrzna pompa ciepła, ponieważ nie wymaga większych ingerencji na poziomie fundamentów budowlanych. Powietrzna pompa ciepła jest najtańsza. Taka pompa ciepła działa przy użyciu wymiennika lamelowego, który wykorzystuje ciepłe powietrze zewnętrzne. Wewnątrz obiektu znajdują się zasobniki z wodą. Ciepło z powietrza jest wdmuchiwane do pomieszczenia poprzez nawiewy podobne do klimatyzacji lub przekazywane do instalacji wodnej (kaloryfery, klimakonwektory, ogrzewanie podłogowe). Niestety większość pomp tego typu działa bez wspomagania jedynie do około:  $-15/-20^{\circ}\text{C}$ . Poniżej tej temperatury pompa musi działać razem z dodatkową grzałką elektryczną czy nawet zewnętrznym kotłem grzewczym, ponieważ spada jej wydajność. Kiedy temperatura obniży się jeszcze bardziej to urządzenia wspomagające całkowicie zastępują pracę pompy ciepła typu powietrze-woda, która automatycznie się wyłącza.

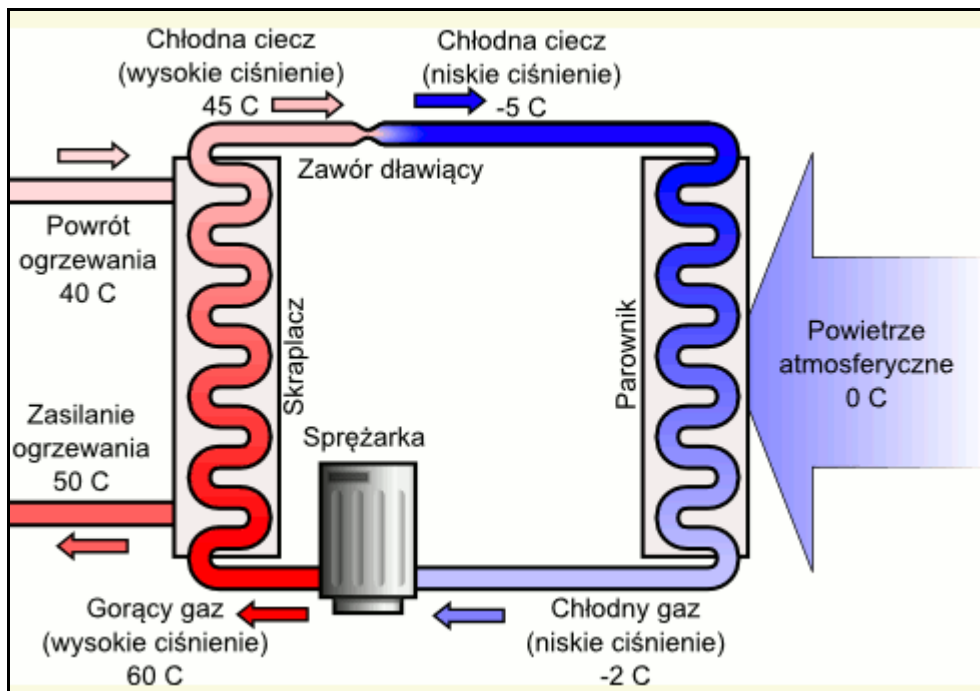
Do zalet pomp ciepła typu powietrze-woda można zaliczyć:

- szybkość montażu,
- niska cena.

Do wad pomp ciepła typu powietrze-woda można zaliczyć:

- duży wpływ warunków meteorologicznych na ich pracę,
- niska efektywność.

Czynnik chłodzący w pompie ciepła przepływa przez parownik i dzięki zmianie stanu odbiera ciepło zawarte w powietrzu. Następnie ciepło oddawane jest do wody, a czynnik ciepła będący w stanie gazowym, ponownie przechodzi w stan ciekły. Na rysunku 5 przedstawiono zasadę działania pompy ciepła typu powietrze-woda.



Rys. 5. Zasada działania pompy ciepła typu powietrze-woda

### Pompa ciepła typu woda-woda

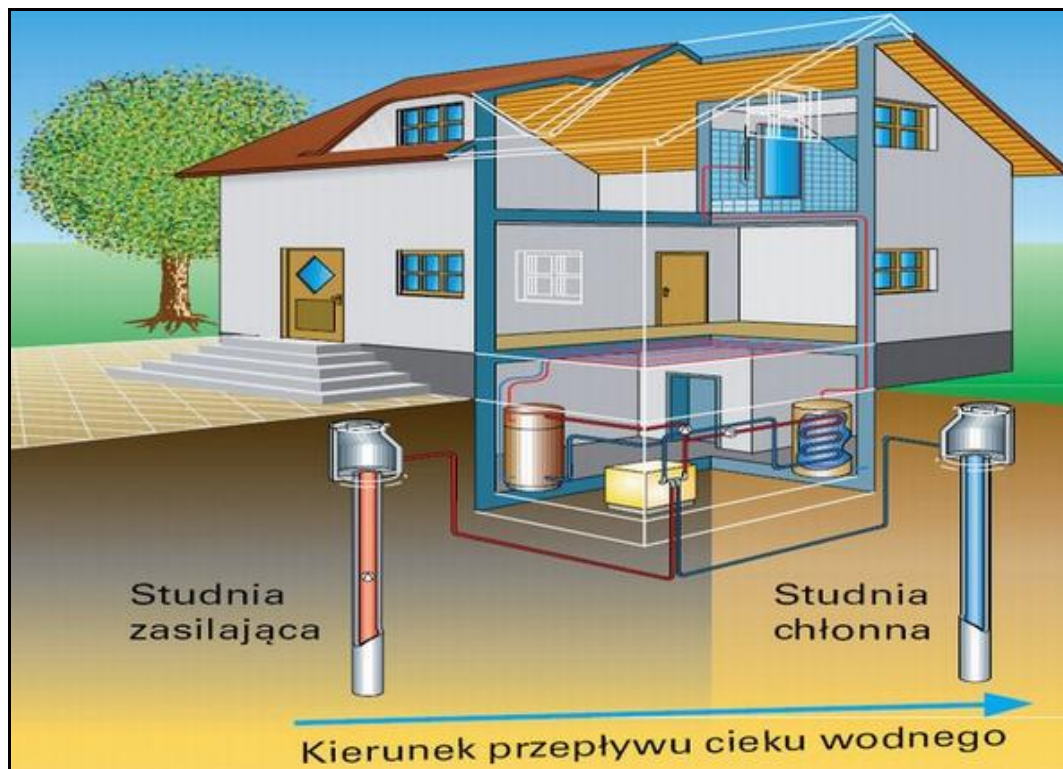
Pompa typu woda-woda, to taka, której dolne źródło stanowi woda gruntowa. Najczęściej ciepło z wody jest uzyskiwane przy pomocy systemu studni (w zależności od zapotrzebowania na ciepło dwóch lub więcej). Jedna ze studni jest zbiornikiem ciepłej wody czerpalnej, natomiast pozostałe studnie mają charakter "zrzutowy", czyli magazynują wodę schłodzoną. Odstępy pomiędzy studniami muszą wynosić kilkanaście metrów, by wody nie mieszały się. Woda gruntowa jest dosyć wymagającym dolnym źródłem dla pompy ciepła, ze względów geologicznych, nie każdy grunt posiada wody gruntowe na wymaganej głębokości (od 6 m do 30 m). Przeciętna studnia ma głębokość od 6 m do 30 m (w przypadku głębokości większej od 30 m wymagane są dodatkowe zezwolenia wodno-prawne). Jeśli mamy dostęp do stawu lub innego zbiornika wodnego, nie musimy wiercić studni. Zimą temperatura wody na dnie stawu nie spada poniżej 8°C, więc można liczyć na sprawne działanie pompy wykorzystującej jej ciepło. Na rysunku 6 przedstawiono zasadę działania pompy ciepła typu woda-woda.

Do zalet pomp ciepła typu woda-woda można zaliczyć:

- mały wpływ warunków meteorologicznych na ich pracę,
- wymagają małej powierzchni,
- niewielki koszt dolnego źródła przy zasobach wodnych.

Do wad pomp ciepła typu woda-woda można zaliczyć:

- woda musi mieć odpowiednią jakość (zawartość pierwiastków oraz jej twardość),
- koszt wykopu studni, możliwość wyeksploatowania studni po 15-20 latach.



Rys. 6. Zasada działania pompy ciepła typu woda-woda

Współczynnik wydajności cieplnej (COP) jest wyrażeniem sprawności pompy ciepła. Kiedy obliczamy COP dla pompy ciepła, ilość ciepła ze skraplacza ( $Q$ ) jest porównywana z dostarczoną energią do kompresora ( $W$ ). Innymi słowy jest to stosunek mocy grzewczej do mocy elektrycznej dostarczonej do urządzenia.

Do obliczenia COP może być zastosowana zależność:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

COP jest definiowany jako zależność pomiędzy mocą (kW), która jest uzyskana w pompie ciepła jako chłód lub ciepło, a mocą (kW) która jest dostarczona do kompresora. **Im mniejsza różnica temperatur dolnego i górnego źródła ciepła, tym lepsza, większa efektywność urządzeń.** Jednak temperatura górnego źródła ciepła nie może być zbyt wysoka, ze względu na stosowany w sprężarkach mechanicznych olej. COP przedstawiany jest bez jednostek. Z tego powodu wyprodukowane ciepło i dostarczona moc wymagają wyrażenia w tych samych jednostkach do wyliczenia COP.

Współczynnik wydajności chłodniczej EER (ang. *European Energy Ratio*) jest to stosunek mocy chłodniczej urządzenia do ilości energii elektrycznej niezbędnej do jej osiągnięcia.

$$EER = \frac{Q_{chl.}}{W}$$

Współczynniki EER i COP są wartościami zmiennymi i zależą od temperatury otoczenia. Im wyższe są współczynniki EER i COP tym wyższa jest efektywność energetyczna urządzenia.



Klimatyzatory klasyfikowane są w 7 kategoriach (od A do G) w zależności od zużycia energii. Najbardziej efektywne jednostki o wskaźniku  $EER > 3,2$  znajdują zastosowanie w kategorii A, najmniej efektywne o wskaźniku  $EER < 2,2$  w kategorii G. W tabeli 1 przedstawiono klasy efektywności energetycznej klimatyzatorów.

Tabela 1. Klasy efektywności energetycznej klimatyzatorów

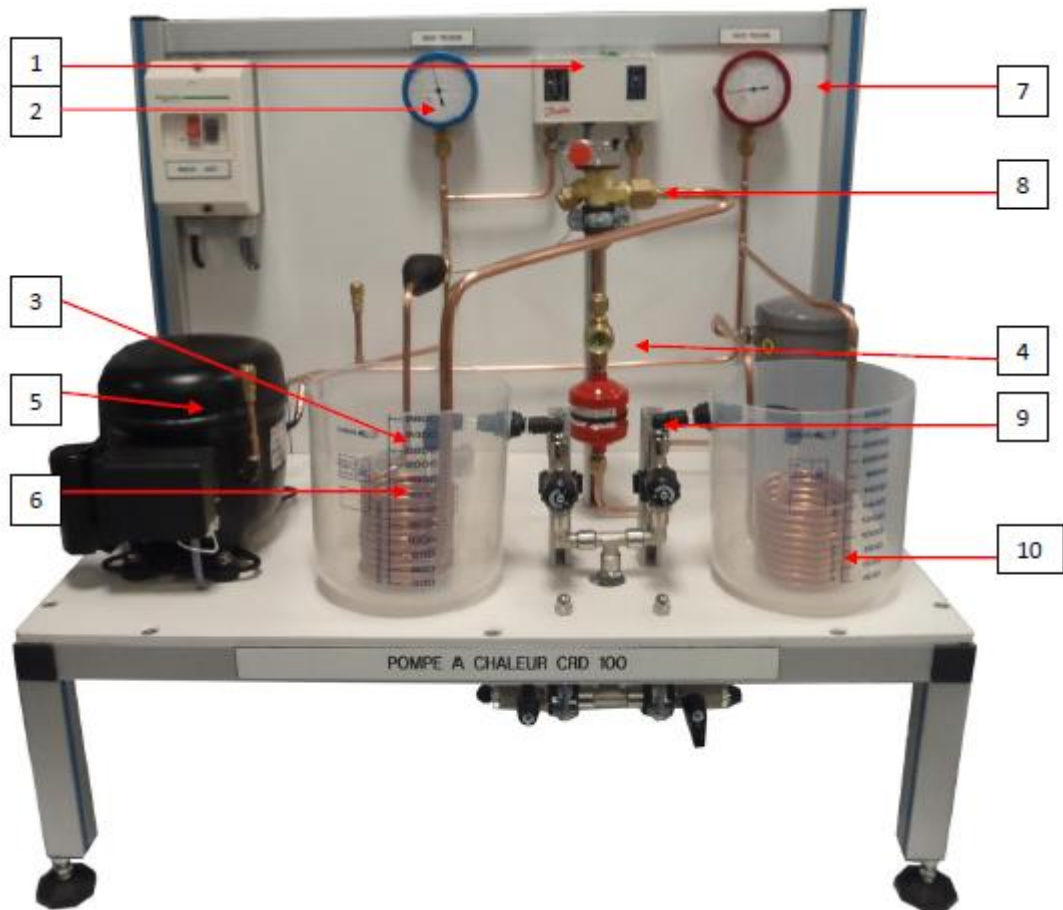
Klasa efektywności energetycznej	Urządzenia typu split i multisplit	Urządzenia monoblokowe
A	$3,2 < EER$	$3,0 < EER$
B	$3,2 \geq EER > 3,0$	$3,0 \geq EER > 2,8$
C	$3,0 \geq EER > 2,8$	$2,8 \geq EER > 2,6$
D	$2,8 \geq EER > 2,6$	$2,6 \geq EER > 2,4$
E	$2,6 \geq EER > 2,4$	$2,4 \geq EER > 2,2$
F	$2,4 \geq EER > 2,2$	$2,2 \geq EER > 2,0$
G	$2,2 \geq EER$	$2,0 \geq EER$

Instalacja klimatyzacji typu Split zbudowana jest z jednostki wewnętrznej (klimatyzatora wewnętrznego) wyposażonej w parownik oraz wentylator. Za pomocą przewodów połączona jest z jednostką zewnętrzną (klimatyzatorem zewnętrznym). Klimatyzator umieszczony na zewnątrz budynku wyposażony jest w skraplacz, wentylator oraz sprężarkę. W przewodach łączących obydwie jednostki znajdują się czynniki chłodnicze, freon (najczęściej stosowany jest czynnik R410A). Klimatyzatory typu Split mają jedną zasadniczą wadę, jest nią brak dopływu świeżego powietrza do urządzenia. Klimatyzator pobiera powietrze z pomieszczenia, w którym się znajduje, schładza je a następnie znowu do niego nawiewa.

## Przebieg ćwiczenia

### Zadanie 1

Wykorzystując dostępne urządzenie do demonstracji sprężarkowego obiegu czynnika chłodniczego w instalacji dokonać identyfikacji poszczególnych elementów (tabela 2). Określić funkcję każdego elementu (tabela 3). Na rysunkach 7 i 9 zaprezentowano widok stanowiska pomiarowego do badania pompy ciepła.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego do badania pompy ciepła

Tabela 2. Budowa sprężarkowej pompy ciepła

nr elementu	nazwa elementu
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabela 3. Funkcje elementów sprężarkowej pompy ciepła

nr elementu	funkcja elementu
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

10	
----	--

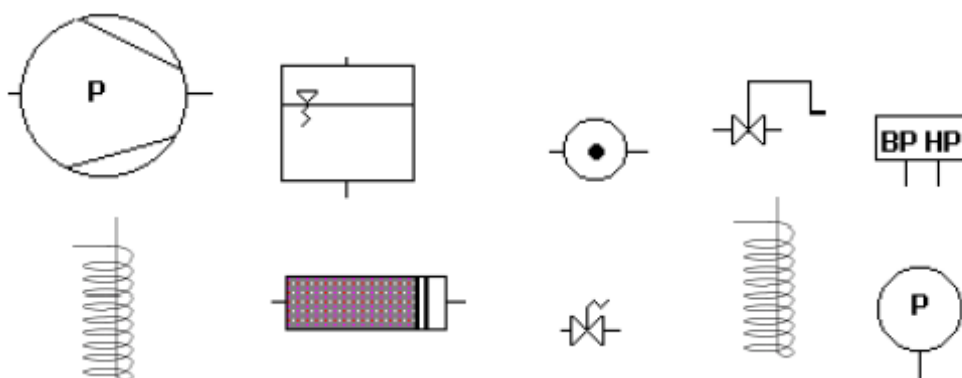
### Zadanie 2

Należy uzupełnić poniższe definicje poprzez wpisanie nazwy każdego opisanego elementu:

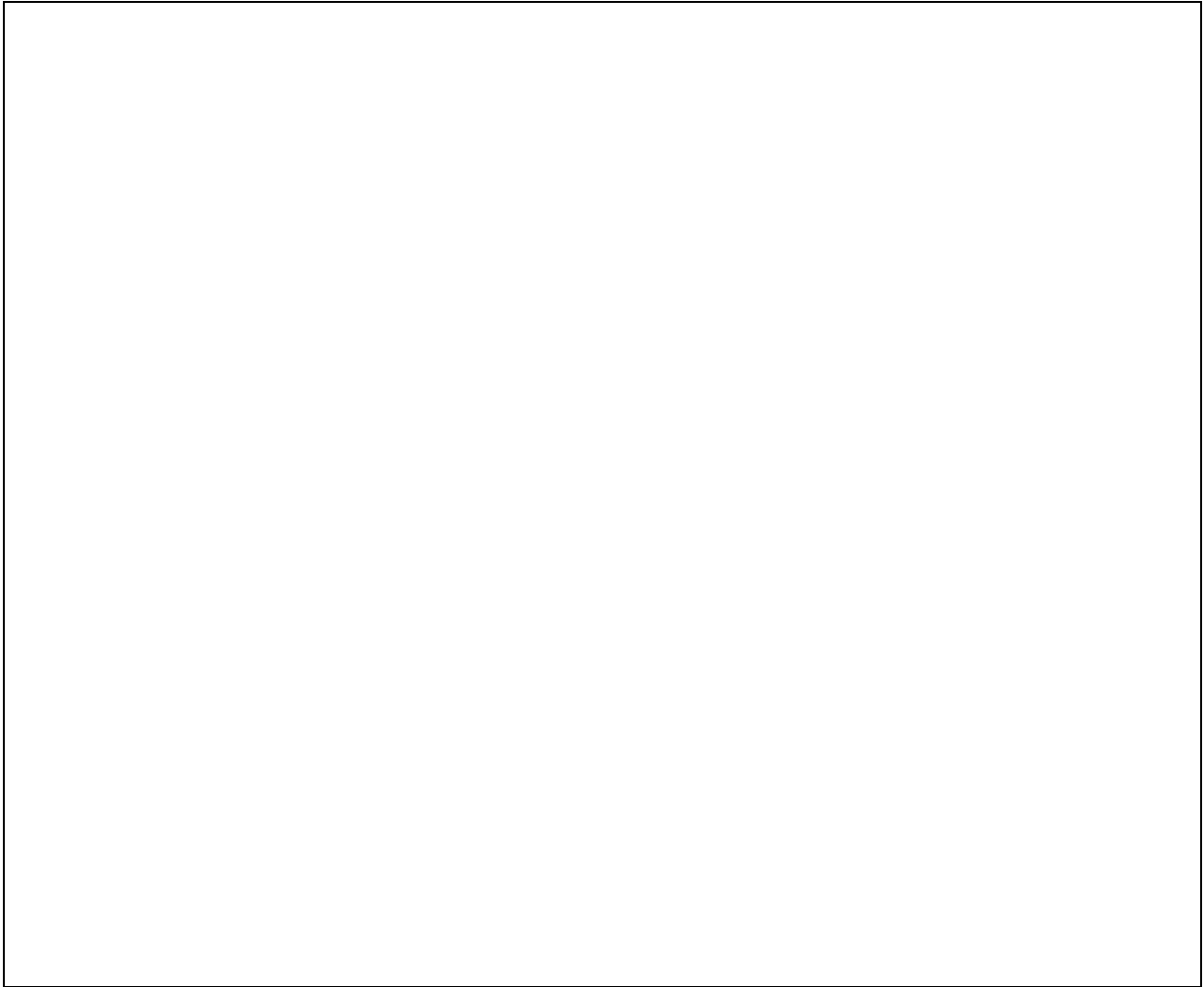
- ..... zasysa/przejmuję czynnik chłodniczy wydostający się z parownika w formie pary. Zapewnia kompresję czynnika chłodniczego (roboczego) w zakresie od niskiego do wysokiego ciśnienia i odprowadza czynnik chłodniczy do skraplacza.
- ..... przekazuje ciepło z czynnika chłodniczego do obiegu wody grzewczej.
- ..... zmniejsza ciśnienie czynnika chłodniczego przy pomocy rozprężenia laminarnego i kontroluje przepływ czynnika do parownika.
- ..... przekazuje ciepło ze źródła ciepła do czynnika chłodniczego.
- ..... umożliwia kontrolę stopnia zawilgocenia czynnika roboczego w instalacji.

### Zadanie 3

Używając przedstawionych symboli, narysować prosty schemat instalacji. Na wykonanym przez siebie wykresie zaznaczyć obieg czynnika chłodniczego. Zaznaczyć na **czerwono** część obiegu wysokiego ciśnienia a na **niebiesko** niskiego ciśnienia. Na rysunku 8 zilustrowano symbole przeznaczone do projektowania schematu instalacji z pompą ciepła.



Rys. 8. Symbole przeznaczone do projektowania schematu instalacji z pompą ciepła



**Zadanie 4**

Na poniższym zdjęciu wskaż miejsca instalacji, w których zachodzą wymienione procesy i znajdują się następujące części zestawu :

(1) ssanie sprężarki, (2) opróżnianie sprężarki, (3) wyjście skraplacza, (4) wejście zaworu rozprężnego, (5) wyjście parownika.



Rys. 9. Widok stanowiska pomiarowego do badania pompy ciepła

### Zadanie 5

Wykonaj serię pomiarów parametrów temperaturowo-ciśnieniowych oraz wypełnij poniższą tabelę.

Tabela 4. Pomiary parametrów temperaturowo-ciśnieniowych pompy ciepła

Pomiar numer	1	2	3	4	5	6
Temperatura ssania (wejście sprężarki) $\Theta_{ss}$						
Temperatura na wyjściu sprężarki						
Temperatura na wejściu zaworu rozprężnego $\Theta_{zaw.rozp}$						
Ciśnienie skraplania [bar]						
Ciśnienie parowania [bar]						
Temperatura parowania $\Theta_{par.}$						
Temperatura skraplania $\Theta_{skr.}$						

Po wykonaniu pomiarów dokonaj obliczeń całkowitego przegrzania (SC) i dochłodzenia (SR) (ang. *total superheating and total under cooling*):

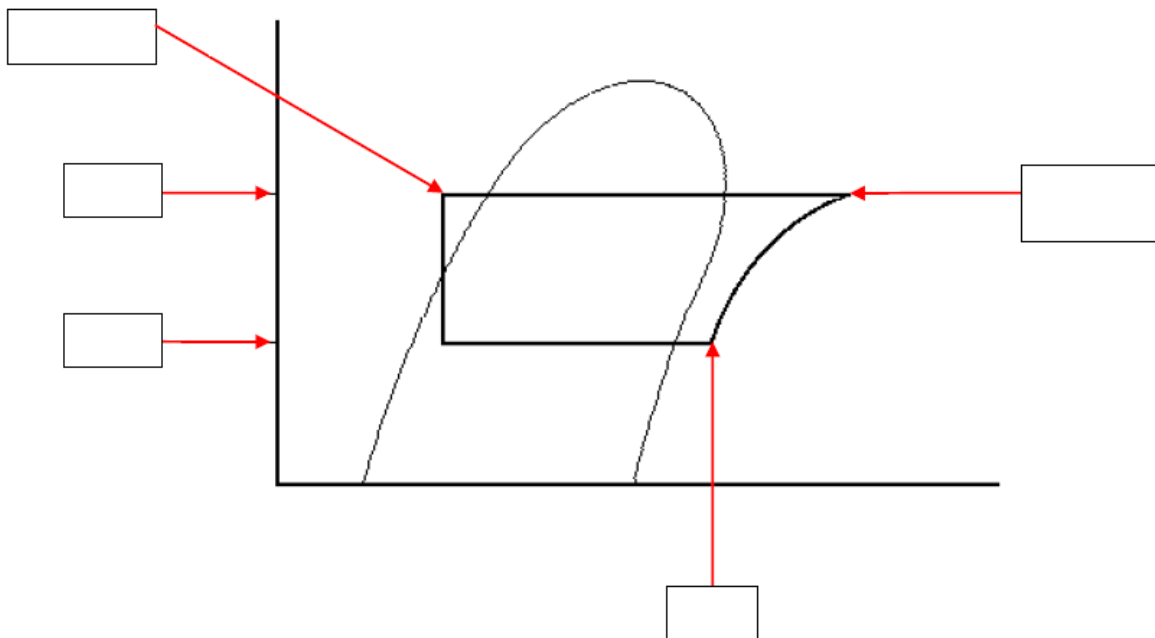
$$SC = \Theta_{ss} - \Theta_{par.} =$$

$$SR = \Theta_{skr.} - \Theta_{zaw.rozp} =$$

Jak należy rozumieć obliczone wartości całkowitego przegrzania i dochłodzenia?

Wskaż na poniższym wykresie wielkości zmierzone powyżej:

Uwaga: Wartości ciśnień odczytane z manometrów są wartościami ...względny... Aby zamieścić pomiary na wykresie p-h należy przekształcić je do wartości ..bezwzględnych.. Na rysunku 10 przedstawiono charakterystykę ciśnienia w funkcji entalpii  $P = f(h)$  do uzupełnienia.



Rys. 10. Charakterystyka ciśnienia w funkcji entalpii  $P = f(h)$  do uzupełnienia

### Zadanie 6

Na podstawie wykonanych pomiarów narysuj obieg termodynamiczny na wykresie entalpii. Zaznacz obszary, w których czynnik roboczy jest w stanie cieczy, pary wilgotnej i pary przegrzanej. Obieg termodynamiczny narysować dla zaznaczonych wartości (kolor pomarańczowy). Dokonaj przeliczenia wartości ciśnień dla strony niskiego i wysokiego ciśnienia do wartości bezwzględnych. Nazwij wszystkie narysowane etapy. Zaznacz obszar, w którym czynnik występuje w postaci cieczy, pary, przegrzanej pary mokrej.

### Zadanie 7

Na podstawie narysowanego obiegu dokonaj obliczenia:

- entalpii dla procesu parowania

$$h_1 - h_4 =$$

- entalpii do procesu skraplania

$$h_2 - h_3 =$$

- entalpii dla sprężania

$$h_1 - h_2 =$$

- entalpii do rozprężania

$$h_3 - h_4 =$$

- współczynnika wydajności cieplnej pompy COP na podstawie temperatur dolnego i górnego źródła. **Uwaga!** Wartości temperatur podać w skali bezwzględnej

$$COP = \frac{T_{skr}}{T_{skr} - T_{par}} \cdot \eta$$

- współczynnika wydajności cieplnej pompy COP na podstawie entalpii odczytanych z wykresu  $p(h)$

$$COP = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

### Zadanie 8

Jaki wpływ na wydajność pompy ciepła ma różnica temperatur między dolnym i górnym źródłem? Przedstaw zależność w postaci graficznej dla trzech przypadków: małej różnicy, dużej różnicy i sytuacji, gdy różnica temperatur wynosi 20 K. We wszystkich przypadkach temperatura górnego źródła jest stała i wynosi 323 K.

### Zadanie 9

Jaka jest budowa i zasada działania zaworu rozprężnego?

### Zadanie 10

Posługując się dokumentacją producenta oraz wykorzystując wiedzę na temat cyklu termodynamicznego, wrysuj wykres obiegu chłodzenia na wykresie entalpii. Odczytaj wartości entalpii na wejściu i wyjściu parownika.



**Parametry z dokumentacji producenta:**

Moc chłodnicza  $P$ : 0,131 kW

Oblicz teoretyczny strumień masowy przepływu:

[kg/h]  $Q_m = P / (\Delta h \text{ parownika})$

$Q_m =$

Oblicz moc skraplacza :

[W]  $P_{skr.} = Q_m * (\Delta h \text{ skraplacza})$

$P_{skr.} =$

Oblicz moc parownika :

[W]  $P_{par.} = Q_m * (\Delta h \text{ parownika})$

$P_{par.} =$

Oblicz moc sprężarki ( $\cos\phi = 0,85$ ):

[W]  $P_{spr.} =$

COP ciepła i ERR chłodu dla instalacji:

COP ciepła =  $P_{skr.} / P_{spr.}$

COP ciepła =

EER chłodu =  $P_{par.} / P_{spr.}$

EER chłodu =

**Jak należy rozumieć wartości uzyskanych współczynników: COP i EER?**

## Literatura

- [1] Jastrzębska G. 2009. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wyd. II. Warszawa Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [2] Lewandowski W. M. 2010. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydanie IV. Warszawa Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [3] Zawadzki M. 2003. Kolektory słoneczne, pompy ciepła – na tak. Warszawa: Wydawnictwo Zawadzki, Polska Ekologia.
- [4] Klugman-Radziemska E. 2011. Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe. Wyd. IV. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [5] Ullrich H.J.: Technika chłodnicza – Poradnik. Tom I. Wyd. MASTA, Gdańsk, 1998.
- [6] Ullrich H.J.: Technika chłodnicza – Poradnik. Tom II. Wyd. MASTA, Gdańsk, 1999.
- [7] Rubik M.: Pompy ciepła - Poradnik. Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej „Instal”, Warszawa 1996.
- [8] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Wyd. MASTA, Gdańsk, 2001.
- [9] Paliwoda A.: Miejsce pompy ciepła w układach energetycznych. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, tom III, 1996, nr 1.
- [10] Zagłaniczny H.: Pompy ciepła - za i przeciw. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, tom V, 1998, nr 1.
- [11] Chochowski A., Czekalski D. 2005. Badania eksploatacyjne hybrydowego systemu zasilania energią z wykorzystaniem układu archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych. Inżynieria Rolnicza. Nr 14(74). Kraków. s. 45-53.
- [12] Knaga J. 2008. Energy efficiency of small compressor assisted air-water type heat pumps. TEKA VIII. S. 99-106.
- [13] Kubski P., Lewandowski W.M., Buzuk M. 1994. Zastosowanie pomp ciepła w zintegrowanym systemie energetycznym oczyszczalni ścieków. Technika Chłodnicza i Klimatyzacja. Nr 6. s. 210-213.
- [14] Lewandowski W.M. 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydanie trzecie zmienione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa. ISBN 83-204-3112-3.
- [15] Wołoszyn M. 1991. Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa. ISBN 83-204-2103-4.
- [16] <https://www.ashrae.org>
- [17] <https://www.euobserv-er.org>
- [18] <https://www.eea.europa.eu>
- [19] <https://www.egec.org>
- [20] <https://www.egec.org>
- [21] <https://www.erec.org>
- [22] <http://www.globalcarbonproject.org>
- [23] <https://www.iea.org>
- [24] <https://www.kape.gov.pl>
- [25] <http://www.nfosigw>
- [26] <https://www.ren21.net>

R134a Ref. D.P. Wilson & E.S. Barr, ASHRAE Transactions 1988, Vol. 94 part 2.

DTU, Department of Energy Engineering  
 $\rho$  in [kg/m<sup>3</sup>],  $v$  in [m<sup>3</sup>/kg],  $T$  in [°C]  
M.J. Shewry & H.J.E. Kvanen, 03-03-04

