

## Instrukcja stanowiska ET 102

### /sprężarkowa pompa ciepła typu powietrze-woda/

Przed rozpoczęciem eksploatacji urządzenia:

- ✓ Zapoznać się z instrukcją.
- ✓ Wszyscy użytkownicy muszą być poinformowani o sposobie obsługi urządzenia oraz niezbędnych środkach ostrożności.

## Wprowadzenie

Urządzenie ET 102 firmy G.U.N.T. Hamburg jest stanowiskiem pomiarowym do badania pompy ciepła z możliwością zapisu wyników.

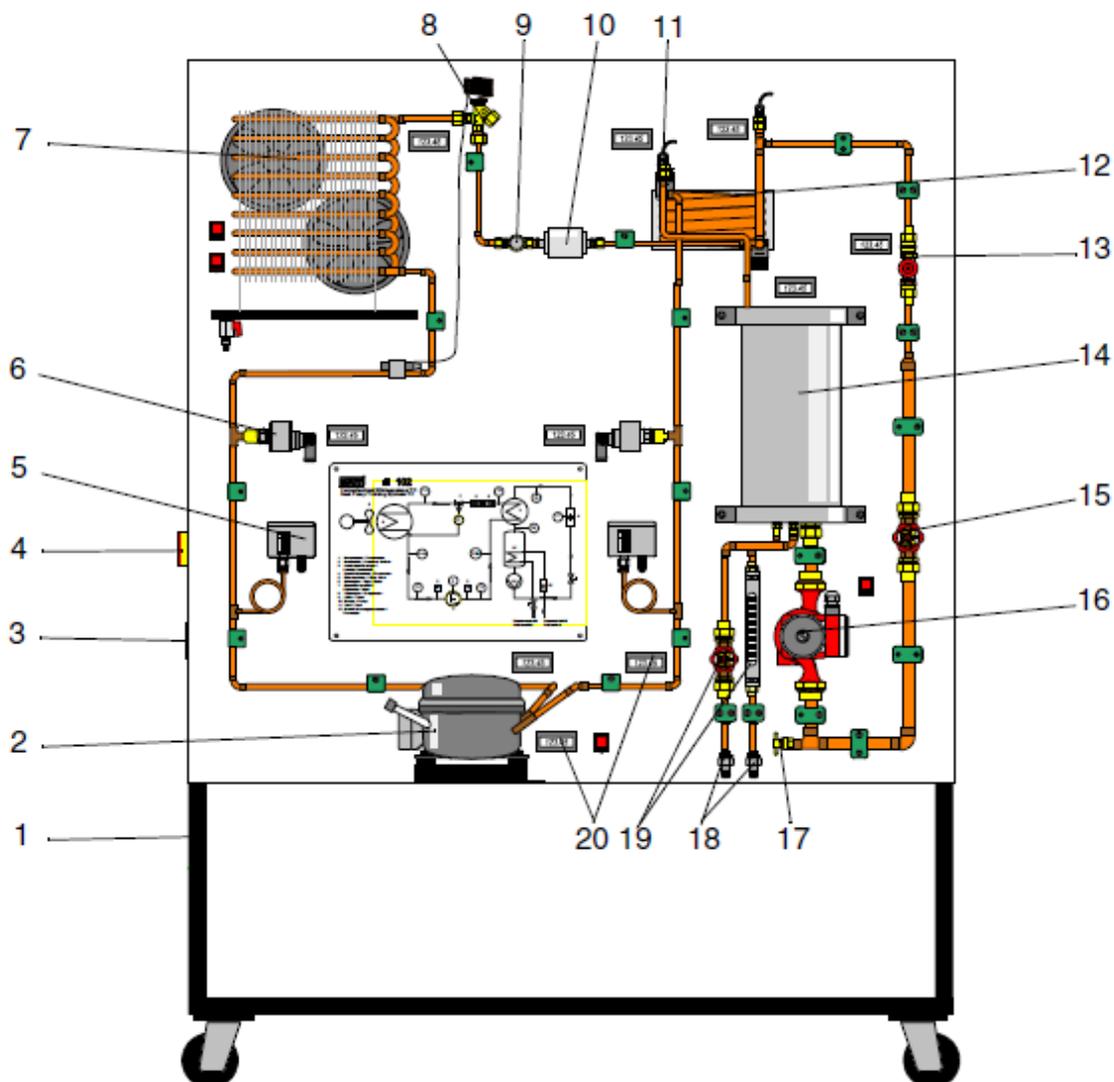
System szkolenia zawiera kompletny model funkcjonalny pompy ciepła typu powietrze woda. Stanowisko zawiera dobrze zorganizowany i przestronny układ komponentów, schematy budowy, oraz elektroniczne wyświetlacze parametrów pracy. Stworzone jest w celu ułatwienia zrozumienia budowy pompy ciepła.

Wszystkie elementy systemu są powszechnie stosowane w inżynierii grzewczo-chłodniczej. Są one więc uznane w tej dziedzinie i sprawiają, że zbliżone jest do praktyki, co niewątpliwie jest ważne przy nauce przyszłych specjalistów.

W systemie zainstalowane są liczne czujniki: ciśnienia, temperatury i prędkości przepływu czynnika. Zmierzone wartości są wyświetlane, umożliwia to studentom bezpośrednie badanie procesów zachodzących w pompie ciepła. Pomiary są jednocześnie przetwarzane i zapisywane na komputerze. Oprócz analizy działania pompy ciepła do celów grzewczych, można zbadać przy użyciu tego systemu szkolenia podstawy chłodzenia.

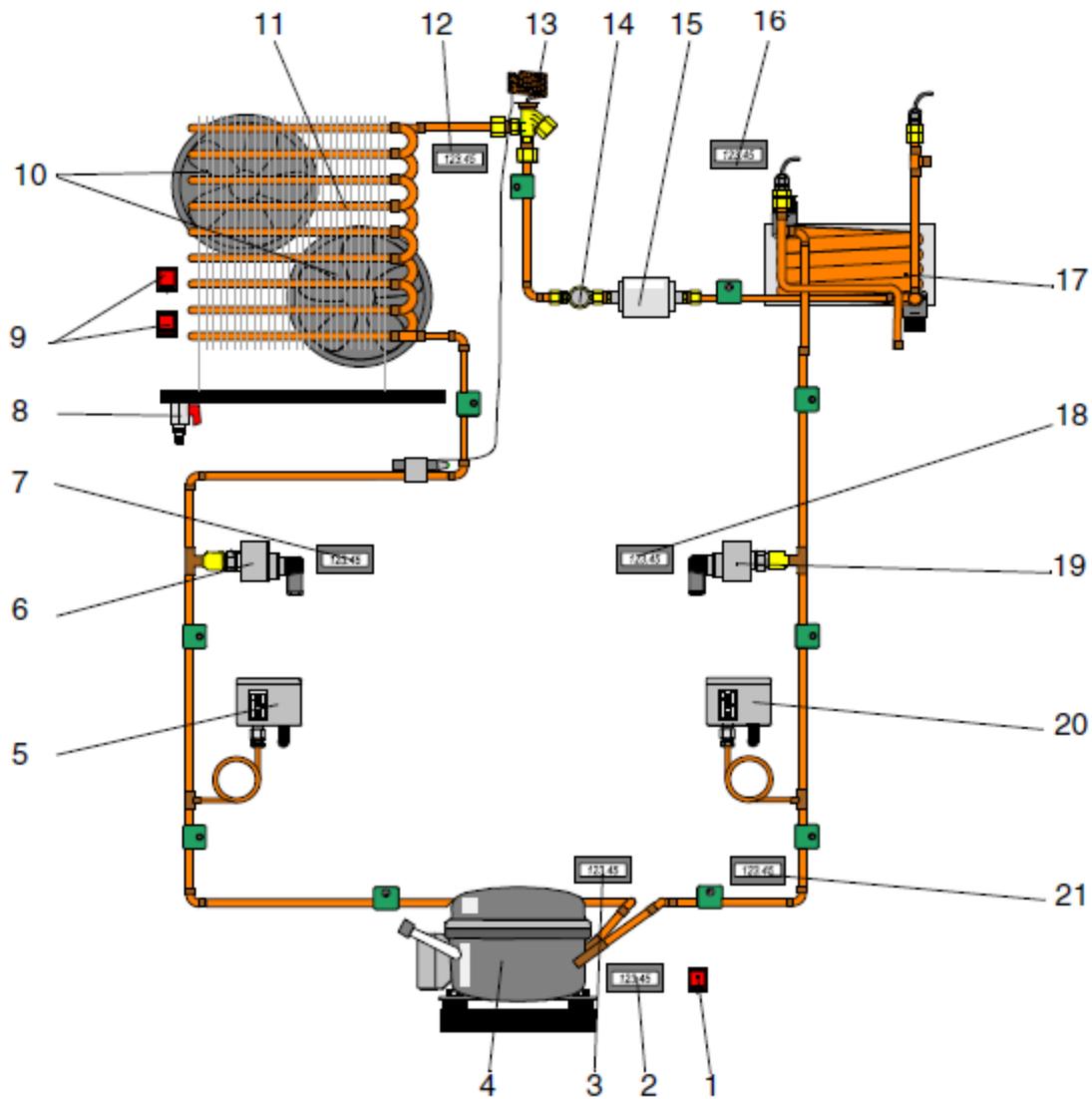
Pompa ciepła pracuje cyklicznie wykorzystując przemiany termodynamiczne w związku z czym stanowisko może być używane do ich demonstracji i teoretycznego zilustrowania podstawowych procesów zachodzących w urządzeniu.

Cały system



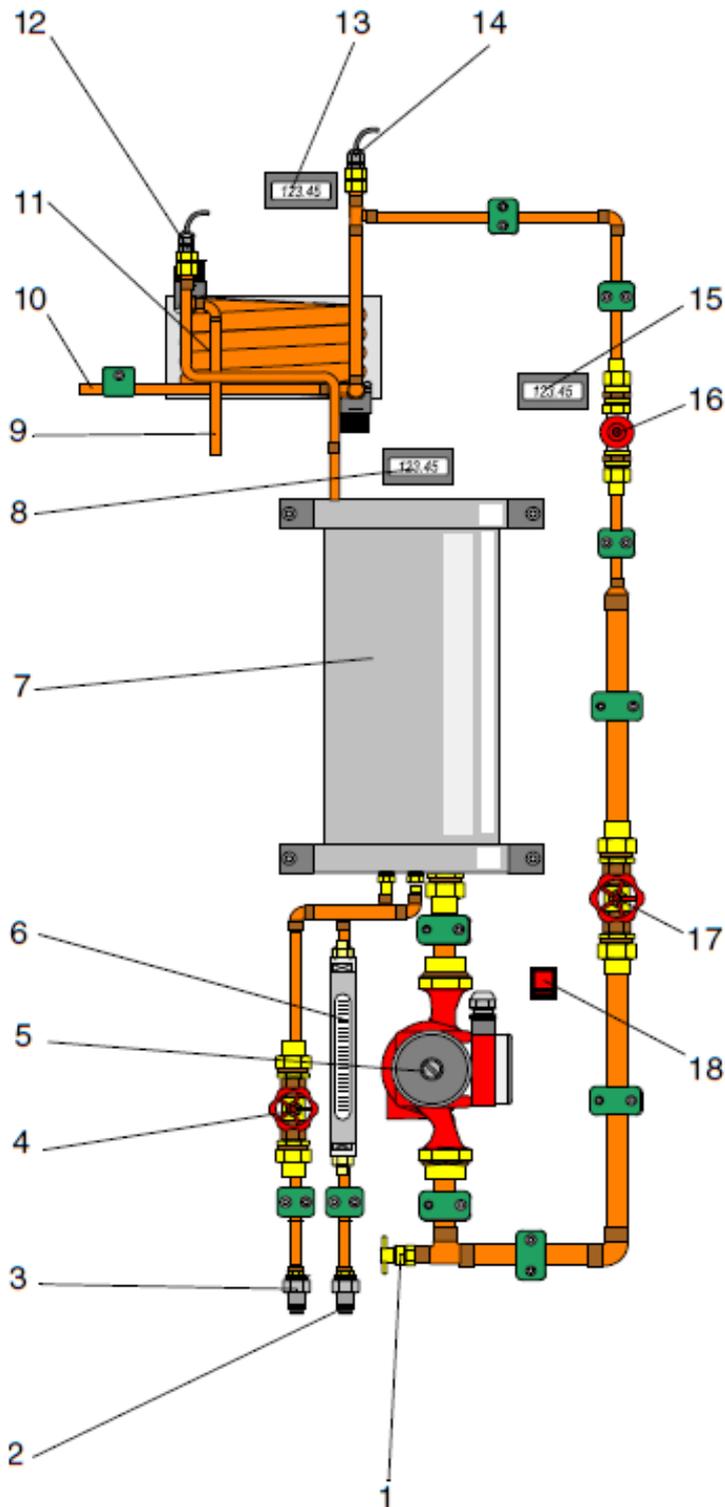
1	Obudowa z kółkami	11	Czujnik temperatury
2	Kompresor	12	Skrapłacz
3	Gniazdo przekazywania danych	13	Przepływomierz (wody)
4	Główny włącznik	14	Zbiornik na wodę z węzownicą
5	Presostat	15	Zawór regulacyjny
6	Czujnik ciśnienia	16	Pompa obiegowa
7	Parownik z wiatrakami	17	Zawór spustowy
8	Zawór rozprężny	18	Podłączenia wody odbierającej ciepło
9	Wziernik (na czynnik chłodniczy)	19	Zawór regulacyjny i przepływomierz
10	Filtr/osuszacz	20	Wyświetlacz cyfrowy

## Obieg czynnika chłodniczego



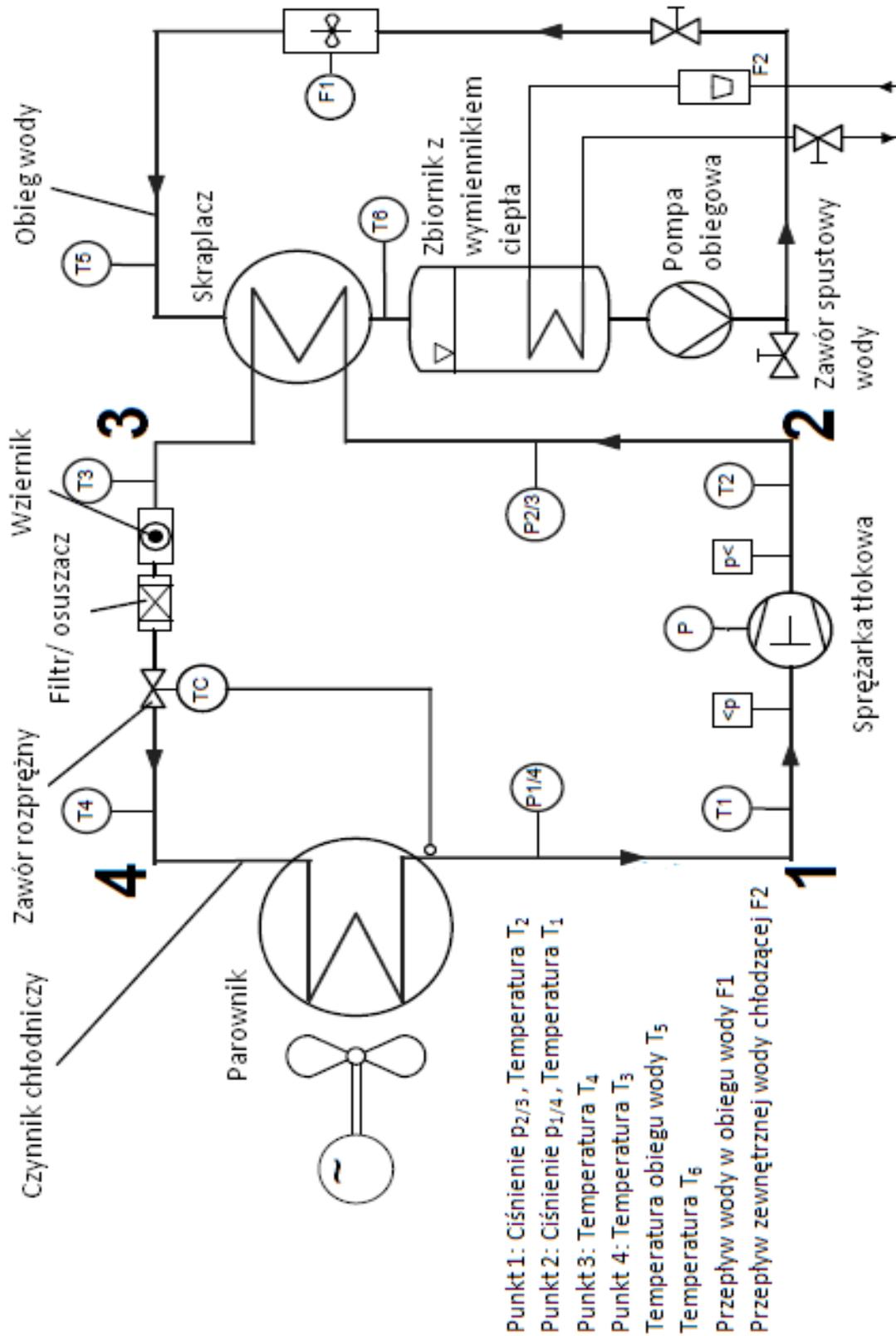
1	Wyłącznik sprężarki	12	Temperatura czynnika przed parow-
2	Wyświetlacz poboru mocy	13	Zawór rozprężny
3	Wyświetlacz temperatury sprężarki	14	Wziernik na czynnik roboczy
4	Kompresor (sprężarka)	15	Filtr/osuszacz
5	Presostat po stronie podciśnienia	16	Temperatura na wyjściu z skraplacza
6	Czujnik ciśnienia	17	Skraplacz
7	Wyświetlacz ciśnienia (po stronie za-	18	Wyświetlacz ciśnienia (po stronie tło-
8	Spust kondensatu	19	Czujnik ciśnienia
9	Wyłączniki wiatraków	20	Presostat po stronie nadciśnienia
10	Wiatraki	21	Temperatura czynnika na wyjściu z
11	Parownik		

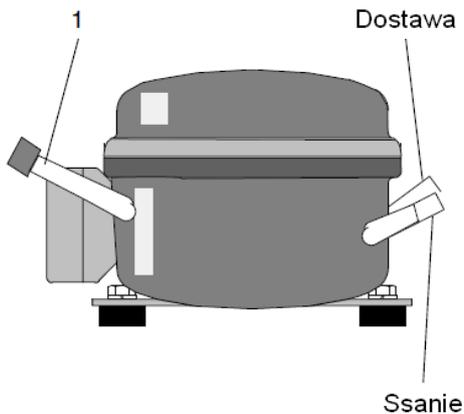
## Obieg wody



1	Zawór spustowy wody
2	Podłączenie wody wejście
3	Podłączenie wody wyjście
4	Zawór wody
5	Pompa obiegowa
6	Przepływomierz
7	Zbiornik wody z wężownicą
8	Temperatura na wyjściu z skraplacza
9	Wejście czynnika chłodniczego
10	Wyjście czynnika chłodniczego
11	Skraplacz
12	Czujnik temperatury wyjściowej wody z skraplacza
13	Temperatura na wejściu do skraplacza
14	Czujnik temperatury wejściowej wody do skraplacza
15	Wyświetlacz szybkości przepływu
16	Czujnik szybkości przepływu
17	Zawór
18	Wyłącznik pompy obiegowej

## Schemat systemu

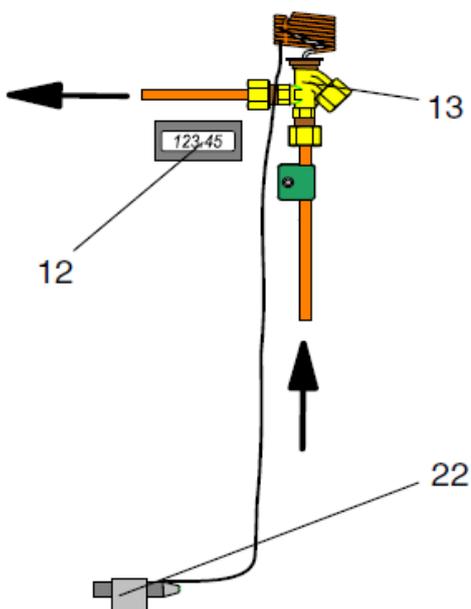
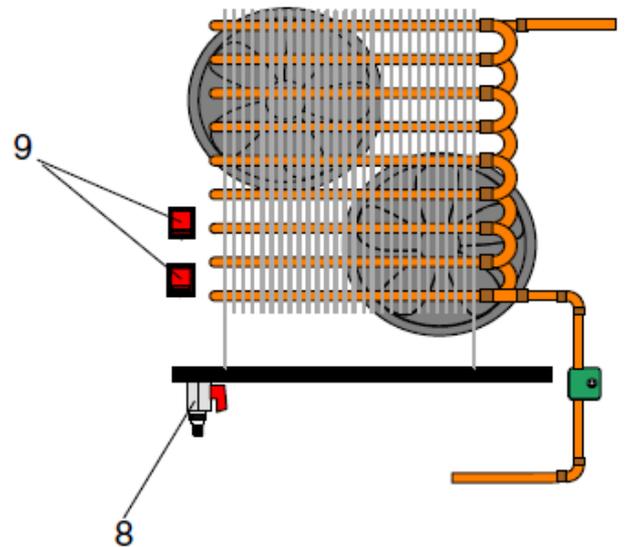




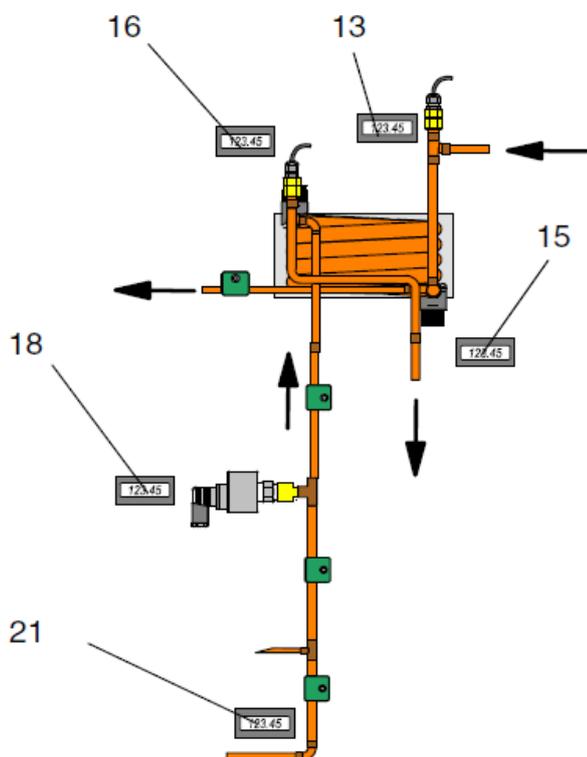
**Kompresor** jest w pełni hermetyczną sprężarkom tłokową przeznaczoną do zastosowania ze specjalnym czynnikiem chłodniczym. Sprężarka jest wyposażona w zabezpieczenie przed przeciążeniem, przyrząd uruchamia się jeśli kompresor się przegrzewa.

Jeżeli zajdzie potrzeba spuszczenia lub napełnienia systemu czynnikiem chłodzącym, należy dokonać tego w prawidłowy sposób z użyciem zaworu (1) w sprężarce.

**Parownik** jest wykonany z rurek żebrowanych tak by powierzchnia wymiany ciepła była jak największa. Czynnik chłodniczy przepływa wewnątrz parownika i przejmuje ciepło z powietrza opływającego parownik z zewnątrz. Pobór ciepła może być zwiększony przez uruchomienie dwóch wentylatorów, które zwiększają przepływ powietrza przez żeberka. Wiatraki uruchamiane są przyciskami (9). Czujniki umieszczone w rurach mierzą temperaturę czynnika na wlocie do i wylocie z parownika. Poniżej parownika jest rynienka zbiorcza i zawór spustowy (8) dla kondensatu.



Czynnik roboczy jest rozprężany w **zaworze rozprężnym** (13). W trakcie tego procesu spada jego temperatura. Spadek temperatury jest mierzony przez czujnik temperatury i pokazywany na wyświetlaczu (12). By czynnik chłodniczy opuścił parownik lekko podgrzany, zawór rozprężny reguluje jego przepływ na podstawie temperatury wyjściowej z parownika mierzonej przez czujnik temperatury (22).



**Skrapłacz** jest wymiennikiem ciepła pracującym przeciwprądowo.

Zbudowany jest z spirali rur współosiowych.

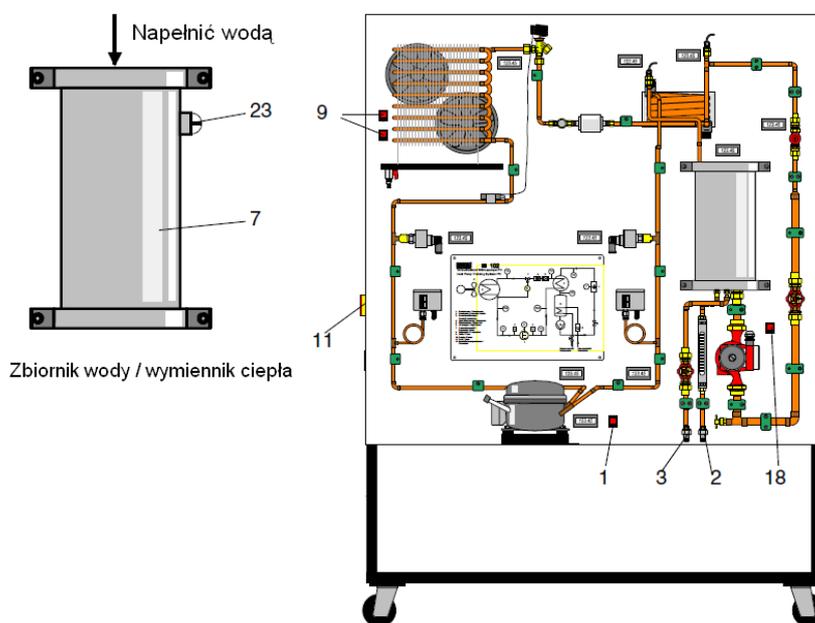
Ciepło wymieniane jest dzięki różnicy temperatur czynnika chłodzącego i wody której temperatura wyjścia z skraplacza jest niższa. Zapewnia to największą możliwą do uzyskania wydajność.

Temperatury czynnika chłodniczego na wlocie do i wylocie ze skraplacza mogą być odczytane na wyświetlaczach odpowiednio (16) i (21), wartości temperatury wody w obiegu widoczne są na wyświetlaczach cyfrowych (13) i (15). Wlot do skraplacza jest połączony z dostawczą częścią sprężarki tłokowej. Wartość ciśnienia w tym miejscu jest widoczna na wyświetlaczu (18).

## Uruchomienie systemu

Napełnić zbiornik (7) wodą przez otwór w górnej jego części, tak by poziom wody był widoczny w wzierniku (23).

Aby uruchomić pompę ciepła, system musi być podłączony do sieci zasilającej z włączonym głównym wyłącznikiem. Naciśnięcie przełącznika (1) uruchamia sprężarkę, zalecane jest również włączenie wiatraków przy parowniku poprzez przełączniki (9), ponieważ w przeciwnym razie system przymarznie i nie wyda żadnego ciepła.



Aby umożliwić pracę urządzenia przez dłuższy czas konieczne jest zewnętrzne chłodzenie zbiornika. W tym celu należy podłączyć źródło wody chłodzącej do rurek (2 i 3). By podgrzewana była woda w zbiorniku pompy należy włączyć przełącznik (18). System jest wyposażony w presostaty po stronie nadciśnienia (tłoczącej) i po stronie podciśnienia (zasysającej). Czujniki te wyłączają sprężarkę, gdy określone maksymalne ciśnienie zostanie przekroczone.

Pompa ciepła działa na podobnych zasadach jak system chłodzący. W obydwu przypadkach występują identyczne procesy. W związku z tym informacje podane na temat procesów zachodzących w pompie ciepła mają również zastosowanie dla systemu chłodzącego.

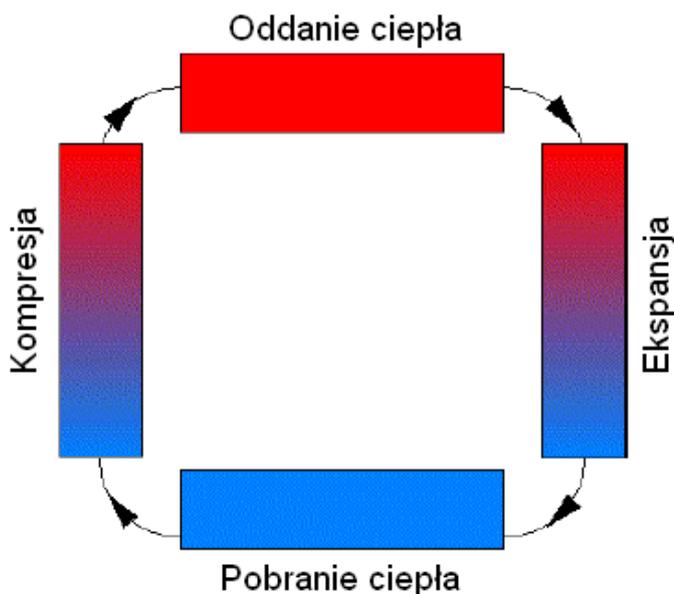
Podstawą działania pompy ciepła jest **cykliczny proces termodynamiczny**.

W procesie tym przepływający czynnik roboczy przechodzi szereg zmian parametrów stanu, które powtarzane są cyklicznie. W ten sposób wielokrotnie powraca do stanu początkowego, dlatego używamy określenia **proces cykliczny**.

Termin **zmiana stanu** odnosi się do kompresji, ekspansji, ogrzewania lub chłodzenia:

- ✓ **Kompresja** (zmniejszenie objętości) polega na **absorpcji** energii mechanicznej
- ✓ **Ekspansja** (zwiększenie objętości) jest to **uwolnienie** zgromadzonej energii mechanicznej
- ✓ **Ogrzewanie** polega na **pobieraniu** energii w postaci ciepła
- ✓ **Chłodzenie** polega na **oddaniu** energii cieplnej.

Podczas zmiany stanu, zmieniają wartość zmienne stanu: ciśnienie, objętość i temperatura czynnika roboczego. Jako czynnik roboczy używane są gazy lub ciecze które łatwo ulegają procesowi parowania. Czyste ciecze nie są odpowiednie, ponieważ są nie ściśliwe i nie mogą być sprężone. Dzięki starannie zaprojektowanej sekwencji zmian stanu, możliwe jest przekazywanie energii cieplnej za pośrednictwem czynnika roboczego i energii mechanicznej. Czynnik roboczy służy więc jako narzędzie do przesyłania energii.



Zmiany stanu nie zachodzą osobno, są ze sobą powiązane. Na przykład podczas kompresji wzrasta również temperatura.

Kompresja ogólnie obejmuje:

- ✓ Wzrost temperatury  $T$
- ✓ Wzrost ciśnienia  $p$
- ✓ Zmniejszenie objętości  $V$

Zależność między zmiennymi stanu opisuje równanie stanu **gazu doskonałego** (zwane również równaniem Clapeyrona), dla układu zamkniętego przyjmuje postać:

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$p$  – ciśnienie absolutne [Pa]

$v$  – objętość właściwa [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

$T$  – temperatura bezwzględna [K]

$R$  – indywidualna stała gazowa, [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]

Rozważając zmiany stanu gazu, porównujemy dwie wartości:

1 – Wartość zmiennej stanu gazu przed przemianą

2 – Wartość zmiennej stanu gazu po przemianie

Przypadki w których jedna zmienna stanu podczas procesu pozostaje stała (const.) mają szczególne znaczenie. Dlatego przemiany te mają swoje nazwy:

Nazwa przemiany:	Izobaryczna	Izochoryczna	Izotermiczna
Warunki:	$p = \text{constant}$	$v = \text{constant}$	$T = \text{constant}$
Równanie stanu:	$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$
	prawo Gay-Lussaca		prawo Boyle-Mariottea

Zmiana stanu bez odprowadzania ciepła do otoczenia jest nazywana **izentropową zmianą stanu**. Zmiana stanu bez wymiany ciepła z otoczeniem (ciepło nie jest ani pobierane ani oddawane) jest określana mianem **adiabaticznej zmiany stanu**.

W przypadku czystej kompresji lub ekspansji bez odprowadzania lub pochłaniania ciepła (odpowiednio izentropowej lub adiabaticznej), energia mechaniczna  $W_{1,2}$  konieczna do przejścia z stanu 1 do stanu 2 może być obliczona z wzorów:

$$W_{1,2} = m \cdot \frac{R}{\kappa-1} \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{lub} \quad W_{1,2} = m \cdot \frac{R}{\kappa-1} \cdot (p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2)$$

$\kappa$  – wykładnik izentropii [ - ]       $m$  – masa gazu [kg]

W przypadku izochorycznego ogrzewania lub chłodzenia (np. stała objętość, jednak zwiększenie lub zmniejszenie temperatury), ilość ciepła doprowadzona do układu lub przez niego oddana  $Q_{1,2}$  wynosi:

$$Q_{1,2} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$c_v$  – ciepło właściwe gazu przy stałej objętości [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]

W przypadku gazów, rozróżniamy dwa rodzaje ciepła właściwego:

**$c_v$  – ciepło właściwe gazu przy stałej objętości [J/(kg · K)]**

Ogrzewanie z  $T_1$  do  $T_2$  powoduje wzrost ciśnienia, objętość pozostaje stała

**$c_p$  – ciepło właściwe gazu przy stałym ciśnieniu [J/(kg · K)]**

Ogrzewanie powoduje wzrost objętości, ciśnienie pozostaje stałe

Wykładnik izentropii określany jest jako stosunek ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

W rzeczywistości gaz doskonały nie istnieje. Procesy zmian stanu czynników roboczych w powszechnie stosowanych systemach chłodniczych są znacznie bardziej złożone. Dlatego by dokładniej je opisać używane są dodatkowe zmienne stanu: entropia i entalpia. Dzięki **kalorycznemu równaniu stanu**, zostały stworzone dla każdego czynnika roboczego **wykresy p, i** (ciśnienie, entalpia) w formie graficznej o wiele łatwiejsze w użyciu od matematycznych równań.

Procesy zachodzące w konwencjonalnej elektrowni parowej wykorzystują przemianę energii cieplnej na mechaniczną.

Pompa ciepła pracuje na odmiennym zasadzie wykorzystuje zasadę **transportu ciepła**.

**Termin "pompa ciepła" można wyjaśnić w następujący sposób: Ciepło jest pompowane z obszaru o niskiej temperaturze do obszaru o temperaturze wyższej dzięki wykorzystaniu energii mechanicznej.**

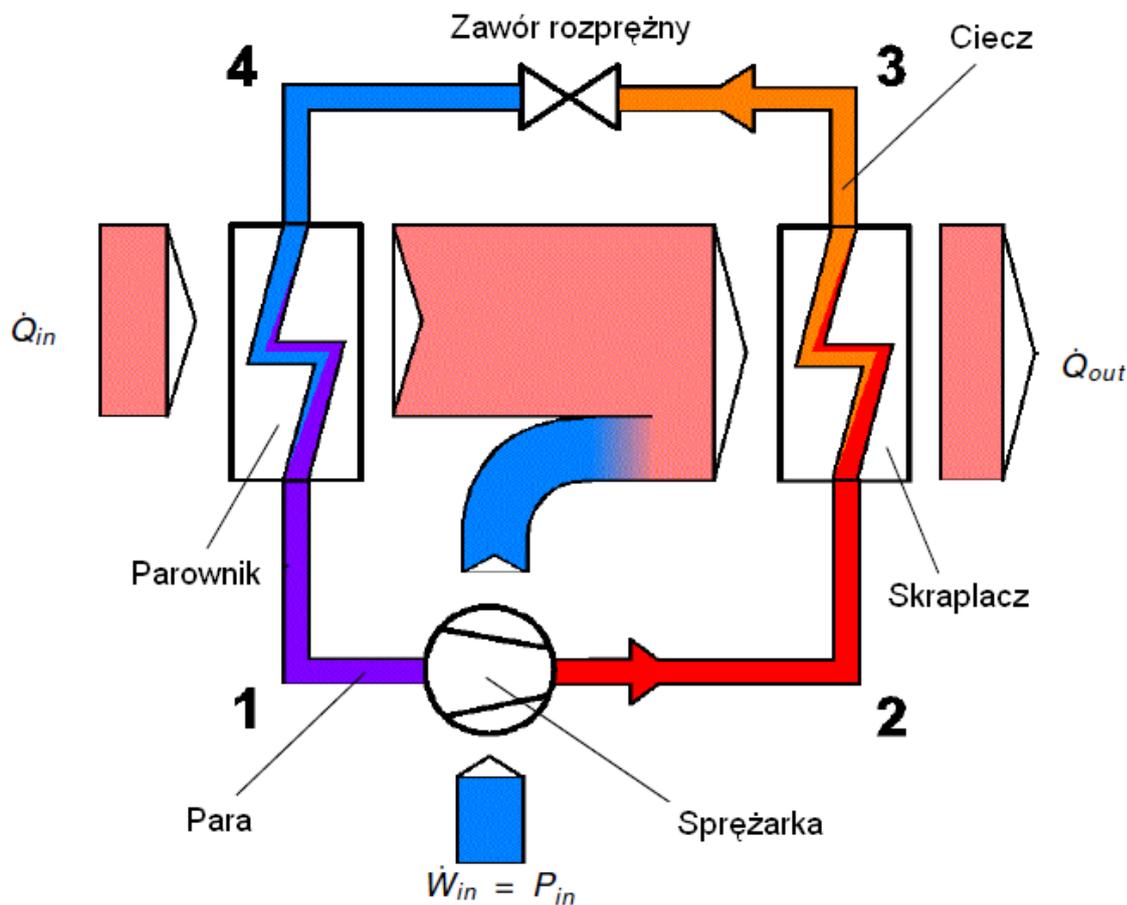
Doprowadzona energia mechaniczna nie jest tracona, ona również gromadzona jest w obszarze wyższej temperatury w postaci energii cieplnej. Procesy w konwencjonalnej elektrowni parowej są nieodwracalne.

W pompie ciepła lub instalacji chłodniczej kierunek przepływu ciepła może zostać odwrócony:

- ✓ **Kompresor** spręża gazowy czynnik roboczy, w tym procesie energia mechaniczna  $W_{in}$  jest wchłaniana.
- ✓ Ciepło  $Q_{out}$  jest od czynnika roboczego pobierane (przy stałej temperaturze) w **skraplaczu**, gaz ulega skropleniu.
- ✓ Ciekły czynnik roboczy rozpręża się w **zaworze rozprężnym**, w trakcie tego procesu czynnik roboczy ochładza się.
- ✓ Czynnik roboczy odparowuje w **parowniku** ciepło jest absorbowane w czasie tego procesu  $Q_{in}$ .
- ✓ Czynnik roboczy następnie jest podawany z powrotem do sprężarki i cykliczny proces rozpoczyna się ponownie.

Zasada działania pompy ciepła i lodówki jest taka sama. W systemie chłodzenia lodówki ciepło również jest pompowane z obszaru o niskiej energii 1 (z wnętrza lodówki) do obszaru o energii wysokiej 2 (otoczenia). W przypadku **pompy ciepła, użyteczne jest ciepło wydane  $\dot{Q}_{out}$** .

W przypadku **lodówki, użyteczne jest ciepło pochłonięte  $\dot{Q}_{in}$** . W obu przypadkach wymagane jest doprowadzenie energii mechanicznej  $W_{in}$ .



Zaletą procesów z użyciem odparowanej cieczy roboczej jest wysoka gęstość transportowanej energii.

Podczas parowania czynnika roboczego absorbuje on ciepło przy niskiej różnicy temperatur.

Przy skropleniu czynnik oddaje zgromadzone ciepło.

Ciepło odparowania czynnika roboczego jest dużo większe od ciepła które może przenosić para.

## Procesy w pompie ciepła na wykresie p-i

Zmiany stanu zachodzące w cyklicznym procesie mogą być przedstawione z dobrym skutkiem na wykresie p-i (ciśnienie, entalpia).

Na **wykresie p-i**, ciśnienie p jest przedstawione w zależności od entalpii i.

**Entalpia I** zdefiniowana jest by określić całkowitą ilość energii zawartej w gazie lub parze. Składa się z energii wewnętrznej U (miary energii cieplnej materiału), i pracy przetłaczania  $p \cdot V$

$$I = U + p \cdot V$$

z wyszczególnieniem energii wewnętrznej właściwej:

$$u = u_0 + c_v \cdot (T - T_0)$$

W tym miejscu warto zdefiniować kolejną ważną zmienną stanu, **entropia S**.

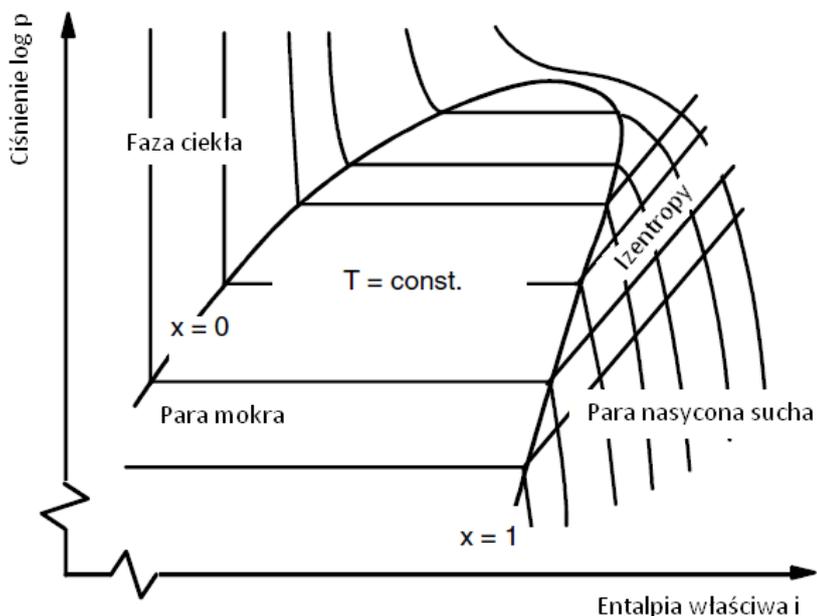
Dostępne są specjalne schematy p-i dla każdego rodzaju czynnika roboczego.

Dla fazy ciekłej, pary mokrej i pary nasyconej suchej. Wszystkie regiony są na tych wykresach zaznaczone. Mokra para oznacza, że czynnik roboczy jest w stanie mieszaniny pary i cieczy.

Temperatura regionu pary mokrej jest temperaturą wrzenia.

W regionie pary suchej czynnik jest obecny wyłącznie w postaci pary (przegrzanej), temperatura utrzymuje się zawsze powyżej punktu wrzenia.

Ponadto krzywe mogą być przedstawiane w stałej temperaturze T (izotermy), z stałym stopniem suchości pary x, stałą entropią s (izentropa) lub stałą objętością v.

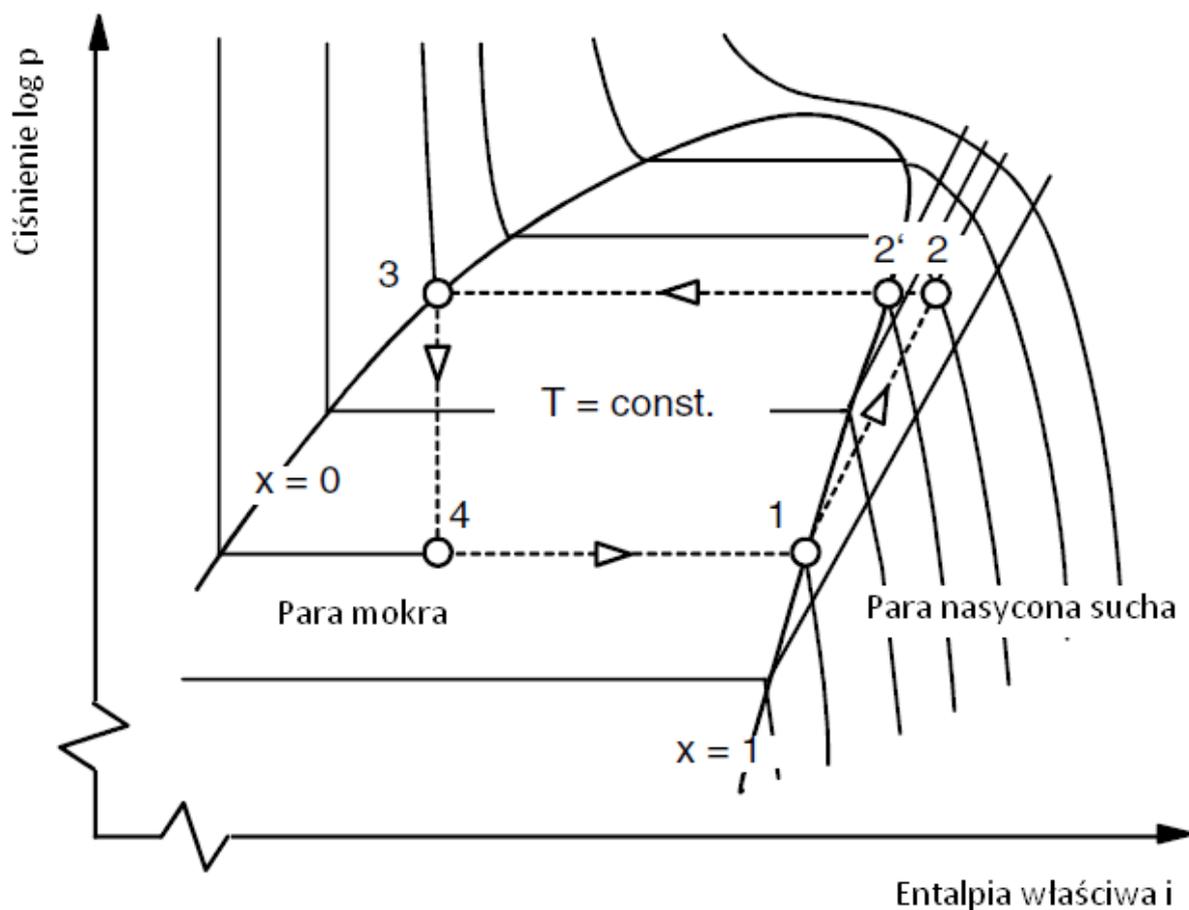


Krzywa  $x = 1$  (zawartość pary wodnej 100%) zawsze stanowi granicę między regionem pary mokrej a regionem pary suchej (pary nasyconej), krzywa  $x = 0$  (zawartość cieczy 100%, zawartości pary 0%) stanowi granicę pomiędzy fazą ciekłą a regionem pary mokrej.

## Idealny proces cykliczny

Zmiany stanu czynnika roboczego, zachodzące cyklicznie w pompie ciepła zostaną teraz przedstawione na wykresie p-i :

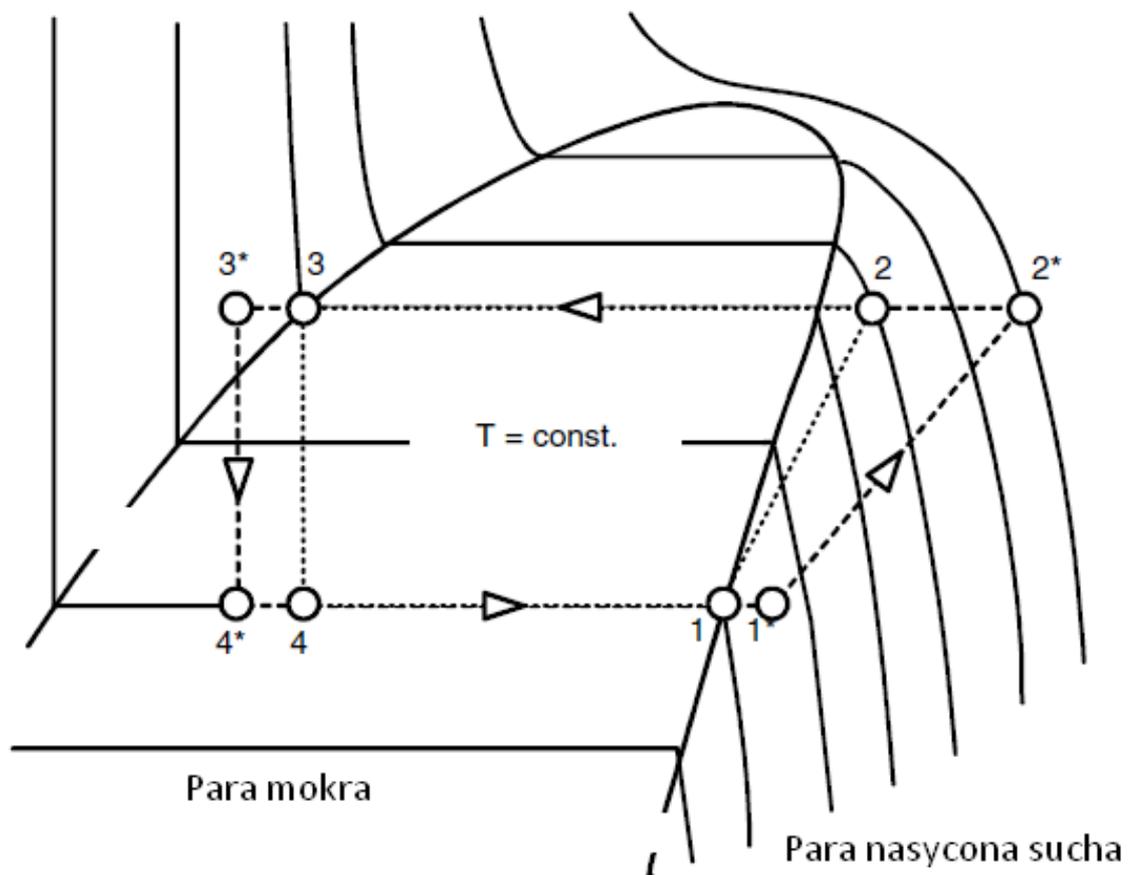
- ✓ 1-2 izentropowe sprężanie do ostatecznej temperatury kompresji z przegrzaniem czynnika roboczego, bez odprowadzania ciepła
- ✓ 2-2' izobaryczne chłodzenie do temperatury kondensacji (skroplenia), uwolnienie entalpii przegrzania i  $i_{2-2'}$
- ✓ 2'-3 izobaryczne skraplanie, uwolnienie entalpii przy wykonaniu kondensacji i  $i_{2'-3}$
- ✓ 3-4 Rozprężanie czynnika w regionie pary mokrej, żadna entalpia nie jest uwalniana, chłodzenie i częściowe odparowanie
- ✓ 4-1 izobaryczne odparowanie, absorpcja entalpii odparowania i  $i_{4-1}$



## Rzeczywisty proces cykliczny

Najważniejszą różnicą między rzeczywistym a idealnym procesem cyklicznym jest to, że:

- ✓ **Kompresja nie jest izentropowa (tzn. nie zachodzi bez strat ciepła);**
- ✓ **Pkt. 2 jest przesunięty do 2\* przez straty spowodowane tarciem odparowanego czynnika roboczego oraz straty ciepła nagrzewającej się sprężarki. Tak więc więcej pracy potrzebne jest na sprężanie by osiągnąć to samo ciśnienie końcowe.**
- ✓ **Ponadto przed kompresją niezbędne jest przegrzanie odparowanego czynnika roboczego, (z pkt. 1-1\*) by upewnić się, że do sprężarki nie ma możliwości dostać się ani kropla czynnika w postaci płynnej, gdyż mogło by to spowodować uszkodzenie sprężarki**
- ✓ **Objętość pary na wejściu do parownika jest zmniejszana przez chłodzenie cieczą, 3-3\*. W rezultacie może być zaabsorbowane więcej ciepła z pary.**



## Współczynnik wydajności pompy ciepła

By dokonać oceny efektywności pracy pompy ciepła używany jest współczynnik wydajności.

Jego wartość jest ilorazem energii wykorzystanej i doprowadzonej. Energia wykorzystana jest w postaci ciepła  $\dot{Q}_{out}$ , doprowadzana w postaci mocy pobranej  $\dot{P}_{in}$  lub pobranej energii mechanicznej  $\dot{W}_{in}$ .

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{W}_{in}} \qquad \varepsilon = \frac{\dot{Q}_{użyteczne}}{\dot{P}_{in}}$$

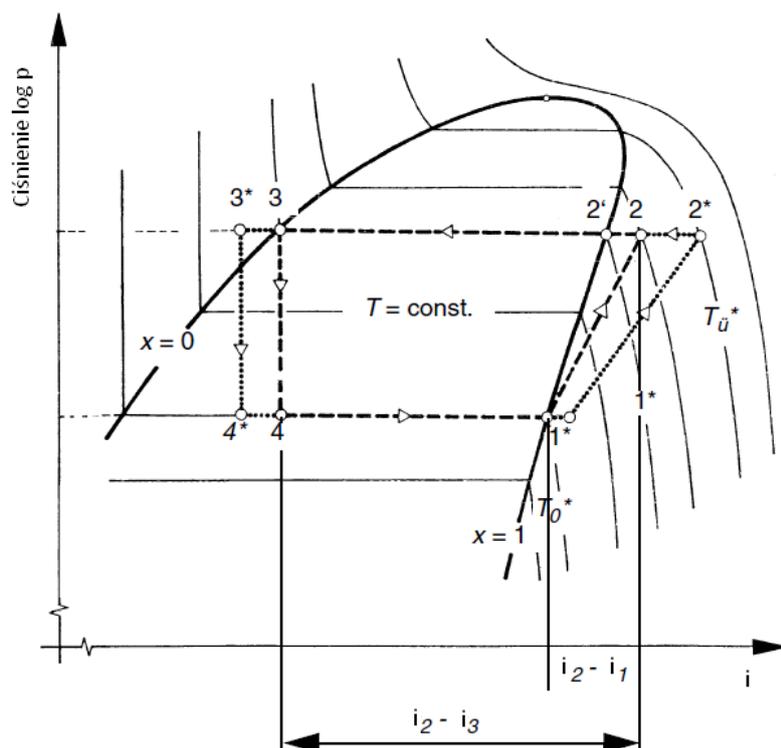
W przeciwieństwie do efektywności innych maszyn i systemów, współczynnik wydajności pompy ciepła jest na ogół większy niż 1. Współczynnik wydajności nie może być nazywany sprawnością.

*Sprawność większą niż 1 można osiągnąć jedynie dzięki **perpetuum mobile**, urządzeniu które zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki nie istnieje. Fakt że współczynnik wydajności pompy ciepła przyjmuje wartości większe niż 1 wynika z tego że ciepło  $\dot{Q}_{in}$  może być pobierane z otoczenia dowolnie, więc nie jest ono wytwarzane przez pracę.*

## Obliczanie współczynnika wydajności z wykresu p-i

Ilości energii przetwarzanej w cyklicznym procesie może być odczytywana bezpośrednio z wykresu p-i jako różnica entalpii. W ten sposób współczynnik wydajności dla idealnego procesu może być łatwo obliczony z poniższego wzoru:

$$\varepsilon_{ideal} = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{W}_{in}} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} \qquad \text{lub} \qquad \varepsilon_{real} = \frac{i_2^* - i_3^*}{i_2^* - i_1^*}$$



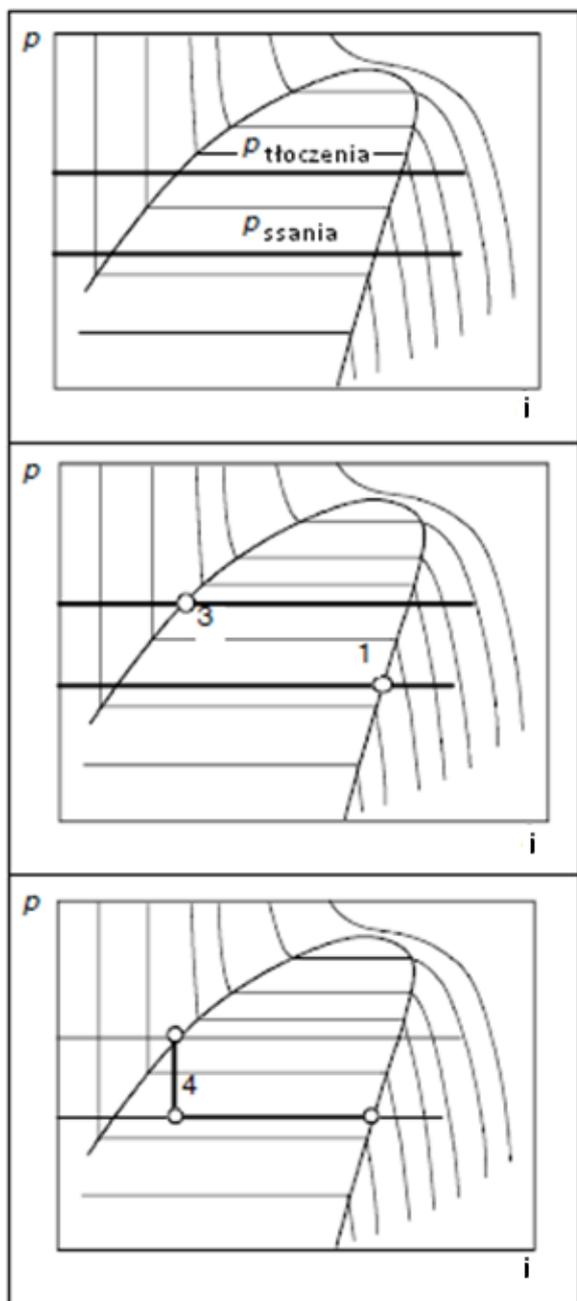
## Obliczanie współczynnika wydajności z poboru mocy i przyrostu ciepła

Współczynnik wydajności pompy ciepła może być również obliczony z rzeczywistej ilości ciepła odebranej przez obieg wody ze skraplacza i rzeczywistego poboru mocy przez sprężarkę. Tu wszystkie straty z powodu tarcia, promieniowania, przewodzenia ciepła, itp. Są również brane pod uwagę.

$$\epsilon_{\text{rzecz}} = \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{\dot{W}_{\text{in}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{uzyteczne}}}{\dot{P}_{\text{in}}}$$

Strumień ciepła użytecznego, jest obliczany z iloczynu strumienia przepływającej wody, ciepła właściwego wody (przy stałym ciśnieniu) i różnicy temperatur mierzonej na wlocie i wylocie.

$$\dot{Q}_{\text{uzyteczne}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

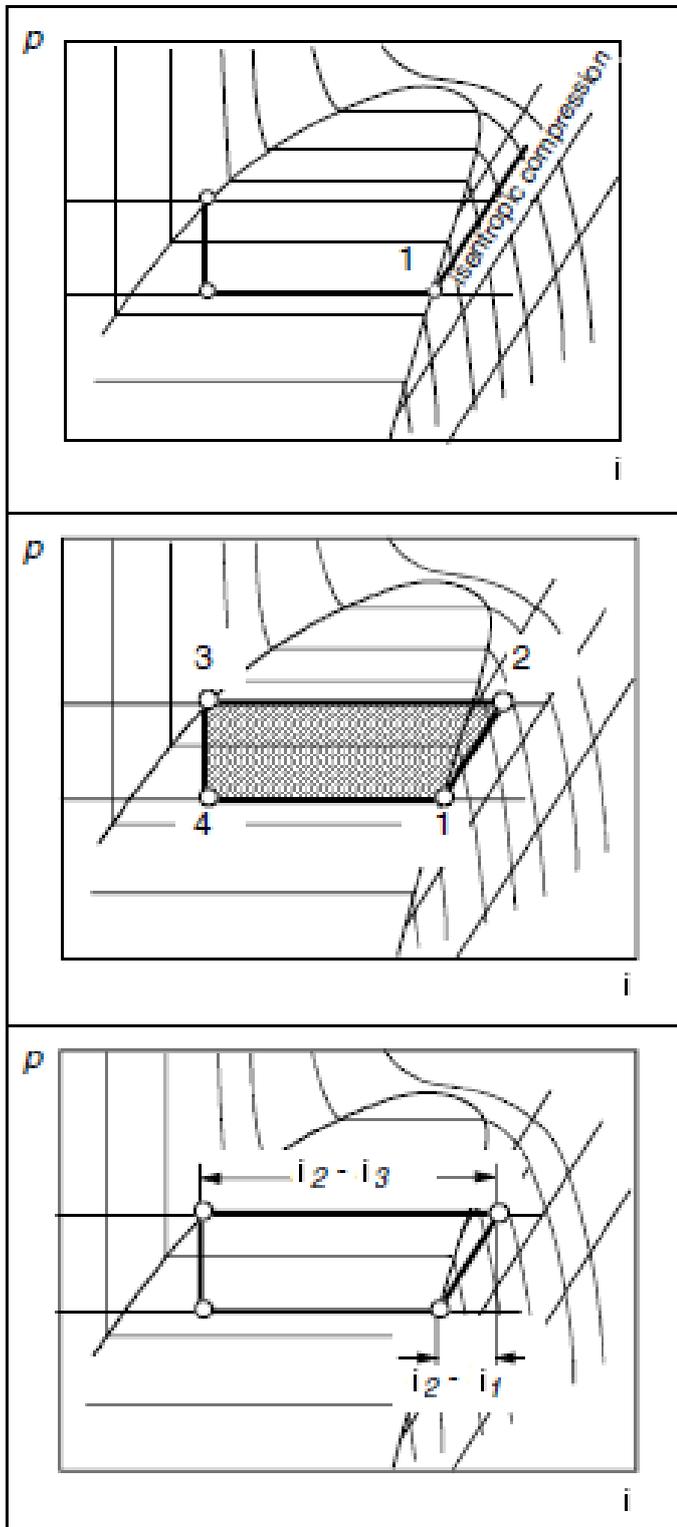


Etapy procesu cyklicznego przedstawione na wykresie p-h

- Ciśnienie po stronie ssania i tłoczenia wyznaczają izobary, tworzą one dolną i górną granicę cyklicznego procesu na wykresie p-i.

- Przecięcie izobary o mniejszym ciśnieniu i krzywej granicznej (między obszarem pary mokrej i suchej nasyconej ( $x = 1$ ) to pkt. 1 wyjście z parownika czynnika w cyklicznym procesie. Przecięcie górnej izobary i krzywej granicznej (między obszarem cieczy i pary mokrej ( $x = 0$ )) to pkt.3 czynnik jest na wyjściu z skraplacza.

- Punkt 4 (wejście czynnika do parownika) jest punktem przecięcia między izobarą ciśnienia ssania i pionową prostą przechodzącą przez pkt.3 (ekspansja w zaworze rozprężnym).



- Z punktu 1 (wyjście z parownika, wejście do sprężarki) odbywa się izentropowa kompresja.

- Punkt 2 (wyjście z sprężarki, wlot do skraplacza) jest przecięciem izentropy i górnej izobary. Dla idealnego procesu jest w pełni określony przez punkty od 1-4.

- Ilości energii przekształconej w cyklicznym procesie może być odczytana bezpośrednio z wykresu log p-i jako różnice w entalpii  $i_2 - i_1$  oraz  $i_2 - i_3$ . Współczynnik wydajności może dzięki temu być określony dla idealnego procesu cyklicznego w prosty sposób.

## Eksperymentalne ustalenie rzeczywistego współczynnika wydajności

Rzeczywisty współczynnik wydajności jest obliczany z ilości ciepła pobranej od czynnika przez obieg wody w skraplaczu i poboru mocy przez sprężarkę. Również wszystkie straty z powodu: promieniowania, przewodzenia ciepła, tarcia itp. są brane pod uwagę.

$$\epsilon_{\text{rzecz}} = \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{\dot{W}_{\text{in}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{uzyteczne}}}{\dot{P}_{\text{in}}}$$

Korzyści, to strumień ciepła użytecznego, jest obliczany z iloczynu strumienia przepływającej wody, ciepła właściwego wody (przy stałym ciśnieniu) i różnicy temperatur mierzonej na wlocie i wylocie ( $c_p = 4,19 \text{ kJ / kg K}$ ).

$$\epsilon_{\text{rzecz}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{\dot{P}_{\text{compr}}} = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{\dot{P}_{\text{compr}}}$$

$\dot{V}$  Przepływ wody w [ $\text{m}^3 / \text{s}$ ]

$\rho$  Gęstość w [ $\text{kg} / \text{m}^3$ ]

$\dot{P}_{\text{compr}}$  produkcja sprężarki w [ $\text{kJ} / \text{s}$ ], odpowiadających [ $\text{kW}$ ]

## Przeprowadzanie eksperymentu

Odczytać moc sprężarki na mierniku mocy.

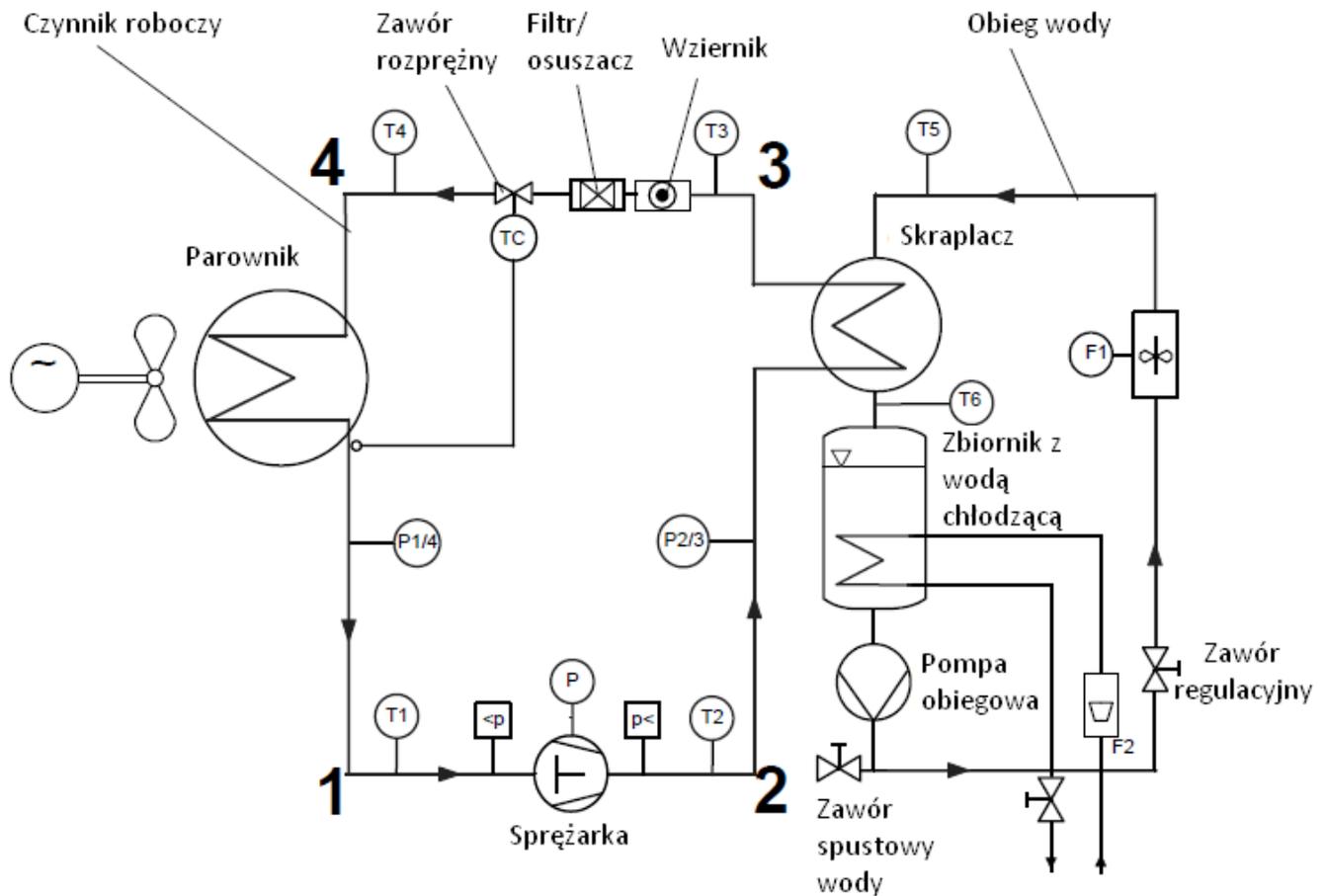
Odczytać wartość strumienia przepływu gorącej wody.

Odczytać temperaturę gorącej wody na wejściu i wyjściu.

Moc sprężarki $\dot{P}_{\text{compr}}$	[kW]
Strumień przepływu $\dot{V}$	[l / h]
Temperatura wejścia gorącej wody $T_{\text{in}}$	[° C]
Temperatura wyjścia gorącej wody $T_{\text{out}}$	[° C]

Współczynnik wydajności może teraz być obliczany  $\epsilon_{\text{rzecz}} = ???$

## Schemat systemu



Entalpia i [kJ/kg]

