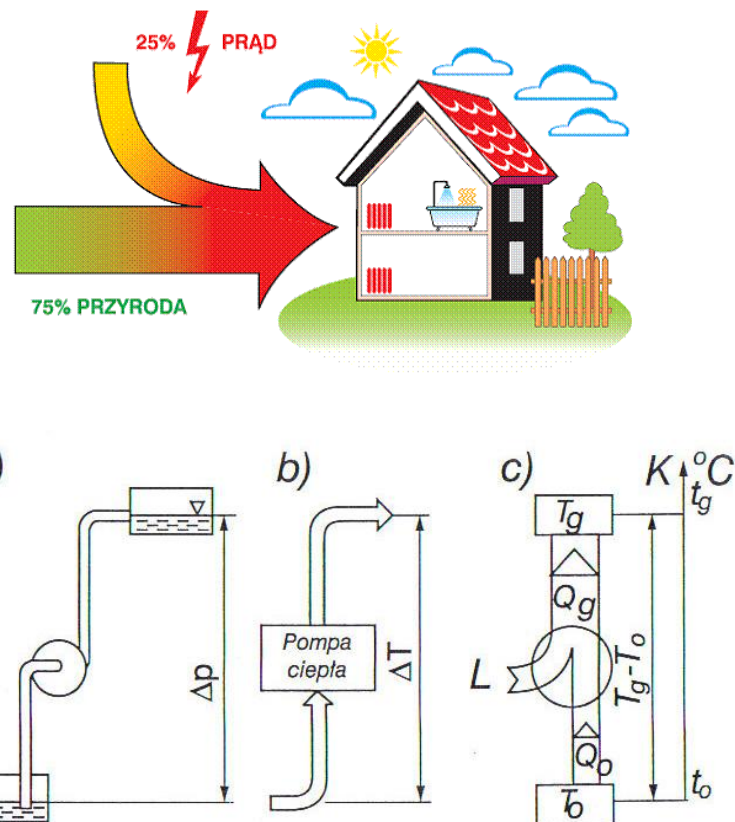


1. Teoretyczne podstawy działania pomp ciepła

Nazwa „pompa ciepła” nie jest poprawna pod względem formalnym; urządzenie to powinno być nazywane sprężarką grzejącą. Jednak używane będzie określenie - pompa ciepła z następujących powodów:

- jest to nazwa usankcjonowana obowiązującymi w Polsce normami przedmiotowymi i terminologicznymi,
- w innych krajach stosowane jest również określenie pompa ciepła.

W pompie ciepła zachodzi proces podnoszenia potencjału cieplnego, tj. proces pobierania ciepła ze źródła o temperaturze niższej T_0 i przekazywania go do źródła o temperaturze wyższej T (rysunek 1). A zatem pompa ciepła jest urządzeniem, które przekształca wykonaną na jego korzyść pracę w ciepło, przy czym stosunek skutku działania urządzenia do nakładu, który trzeba ponieść doprowadzając energię napędową jest, zgodnie z prawem zachowania energii, zawsze większy lub w granicy równy jedności.

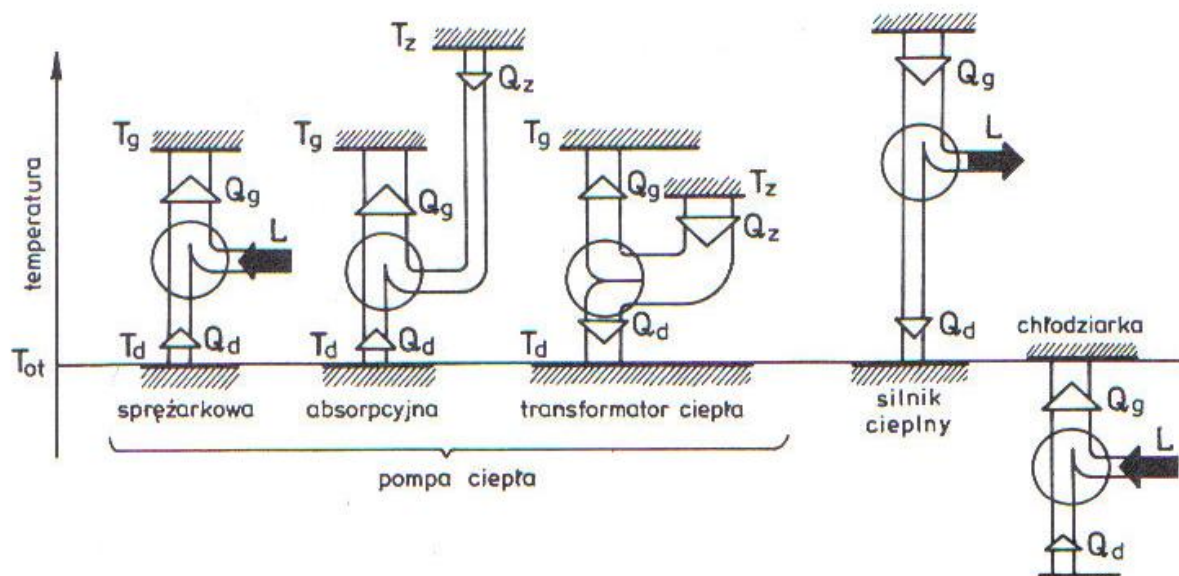


Rys. 1. Zasada działania pompy ciepła: a) pompa podnosząca ciecz, b) pompa ciepła, c) spiętrzenie temperatury czynnika roboczego w pompie ciepła

Ponieważ stosunek ciepła przejętego z otoczenia do ciepła powstającego z przekształcania energii napędowej jest tym większy, im temperatura T_0 bliższa jest temperaturze T (odbiorników ciepła użytkowego - instalacji co., c.w.u.), to pompa ciepła jest tym bardziej efektywna, im mniejsze są wymagania co do wartości temperatury T (odbiorników ciepła użytkowego - instalacji co., c.w.u.). Ponieważ w pobliżu temperatury otoczenia znajdują się prawie wszystkie potrzeby bytowe człowieka i wielu technologii przemysłowych, to zakres możliwych zastosowań pomp ciepła jest bardzo szeroki.

Podstawowe zadanie pompy ciepła, tj. przenoszenie ciepła ze źródła dolnego o niższej temperaturze do źródła górnego o wyższej temperaturze może być urzeczywistnione różnymi sposobami – co przedstawiono na rysunku 2.

Obecnie najczęściej w praktyce wykorzystywany jest do tego celu lewobieżny obieg parowy.



Rys. 2. Zasada działania różnych systemów pomp ciepła oraz ich porównanie z chłodziarką i silnikiem cieplnym [11].

Do transformacji ciepła mogą być wykorzystane również inne zjawiska, jak np. ciepło syntezy lub rozkładu substancji w reakcjach chemicznych oraz różnego rodzaju efekty, jak np. termoelektryczny, Ranque'a lub magnetyczny. Jednak znaczenie ich jest obecnie niewielkie i są one stosowane jedynie w szczególnych przypadkach.

1.2. Rodzaje pomp ciepła – budowa i zasada działania

1.2.1. Sprężarkowe pompy ciepła.

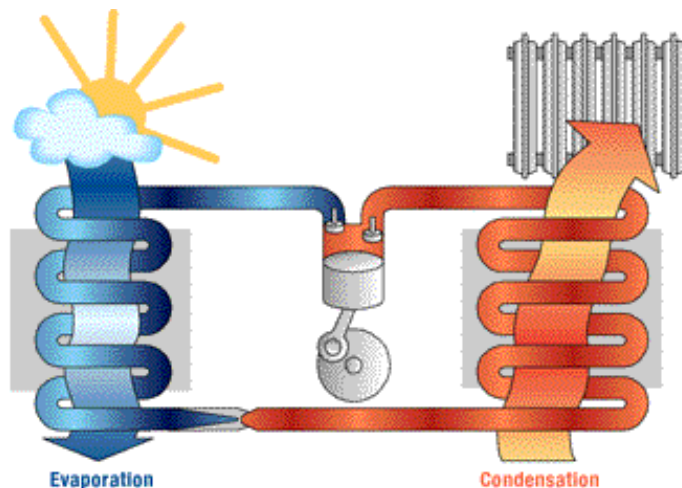
Sprężarkowe pompy ciepła, stosowane do ogrzewania budynków mieszkalnych, wykorzystują energię odnawialną pochodzenia słonecznego. Ziemia ogrzewana jest energią słoneczną przez cały rok. W Polsce najczęściej tej energii dociera od wiosny do jesieni. Powietrze, woda lub grunt są w stanie zakumulować energię słoneczną i zapewniają jej zapas na całą zimę. Wymienione nośniki stanowią doskonale niskotemperaturowe dolne źródła ciepła dla pomp ciepła.

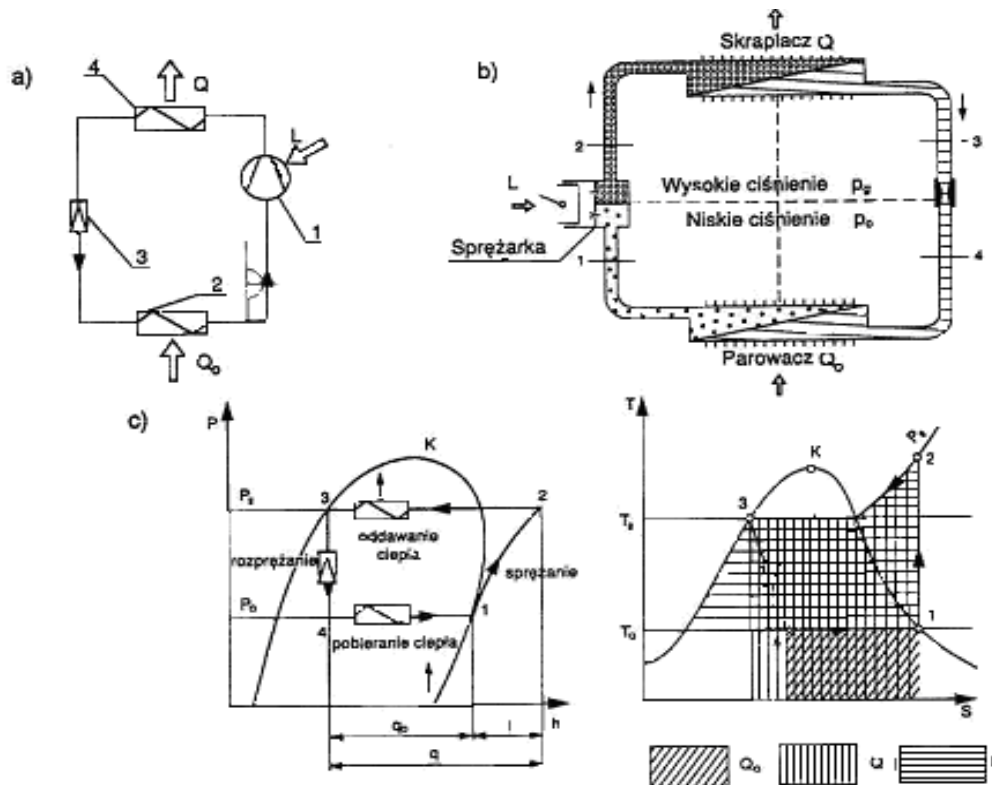
Przykładowo, jeśli ogrzewać zbiornik wody o pojemności 10 litrów przez 1 godzinę, za pomocą grzałki elektrycznej o mocy 1kW, to temperatura wody podniesie się o ok. 86°C . Woda w zbiorniku o pojemności 100l, ogrzewana taką samą grzałką także przez jedną godzinę, zwiększy swoją temperaturę zaledwie o $8,6^{\circ}\text{C}$. Do obydwu zbiorników dostarczono taką samą ilość energii – 1 kWh.

Powyższy przykład dowodzi, że temperatura dolnego źródła ciepła dla pompy ciepła nie musi być wysoka, aby mieć duży potencjał energetyczny.

Temperatura dolnego źródła ciepła nie może być jednak zbyt niska i nie powinna podlegać dużym wahaniom. Dolne źródło ciepła powinno być łatwo dostępne ze względu na koszty wykonania instalacji przeznaczonej do pozyskiwania i transportu ciepła. Dolne źródło ciepła nie może zanieczyszczać instalacji i powodować korozji jej elementów.

W sprężarkowej pompie ciepła transformacja ciepła urzeczywistniona jest za pomocą czynnika roboczego, który krążąc w zespole urządzeń (rys. 3a), wykonuje obieg Lindego (rys. 3c).





Rys. 3 Sprężarkowa pompa ciepła: a) ideowy schemat instalacji: 1 - agregat sprężarkowy, 2 - parowacz, 3 - zawór rozprężny, 4 - skraplacz, b) zmiany fazy czynnika roboczego w instalacji pompy ciepła, c) wykresy obiegu teoretycznego w układach współrzędnych: ciśnienie-entalpia właściwa p-h oraz temperatura-entropia właściwa T-s/ (punkty oznaczają stan czynnika wg rys. b) [10].

Skutek działania pompy ciepła polega na wykorzystaniu ciepła przegrzania i ciepła skraplania pary czynnika roboczego do podgrzania wody lub powietrza w instalacji co. lub c.w.u. Ciekły czynnik roboczy odpływający ze skraplacza zostaje następnie rozprężony od ciśnienia p_g panującego w skraplaczu do ciśnienia parowania p_0 . W parowaczu czynnik odparowuje w warunkach obniżonej temperatury T_0 . Ciepło potrzebne do zmiany fazy czynnika roboczego pobierane jest z dolnego źródła, np. otoczenia (powietrze atmosferyczne, woda gruntowa lub powierzchniowa, grunt lub powrotna woda sieciowa w systemie ciepłowniczym). Para czynnika roboczego odpływająca z parowacza zostaje sprężona w sprężarce (tłokowej, śrubowej, spiralnej lub przepływowej) do ciśnienia skraplania p_g (ciśnienia nasycenia odpowiadającego wymaganej temperaturze T) kosztem energii doprowadzanej z zewnątrz.

Energetyczny bilans pompy ciepła ma postać:

$$Q = Q_0 + L \quad (1)$$

a teoretyczny współczynnik wydajności grzejnej $\varphi_t = \varphi_L$ określa wzór:

$$\varphi_t = \varphi_L \frac{Q}{L} = \frac{Q_0 + L}{L} = 1 + \frac{Q_0}{L} \quad (2)$$

W normie PN-92/M-04613/01 współczynnik wydajności grzejnej określony jest jako efektywność grzewcza i oznaczony COP (skrót od Coefficient of Performance).



1.2.2. Straty energetyczne w sprężarkowych pompach ciepła i rzeczywisty współczynnik wydajności grzejnej

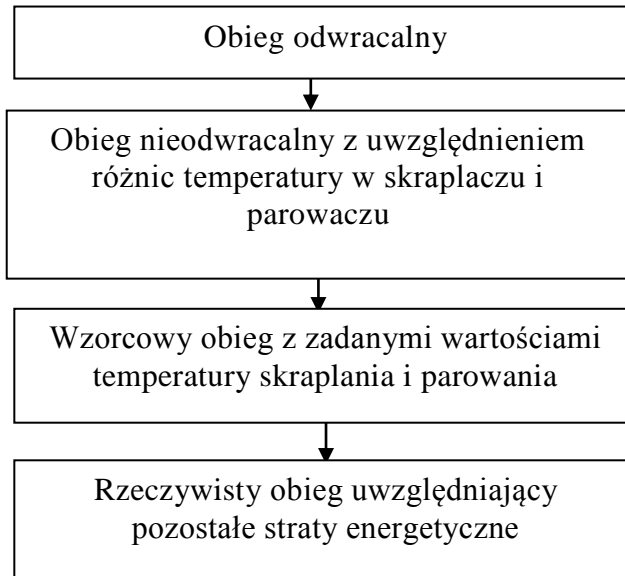
Sprężarkowa pompa ciepła stanowi zespół złożony z następujących elementów:

- hermetycznego lub półhermetycznego agregatu sprężarkowego (sprężarka grzejna) z elektrycznym silnikiem napędowym lub sprężarki dławnicowej napędzanej silnikiem gazowym lub spalinowym,
- wymienników ciepła: skraplacza, parowacza i ewentualnie wymiennika regeneracyjnego w układzie dochładzania ciekłego czynnika,
- sieci przewodów czynnika roboczego,
- urządzeń regulacyjno-zabezpieczających.

Rzeczywisty współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła jest mniejszy niż w obiegu Lindego (teoretycznym) z powodu strat występujących w poszczególnych elementach urządzenia. Główną przyczyną tych strat są nieodwracalne procesy wymiany ciepła zachodzące pomiędzy źródłami i czynnikiem roboczym, straty spowodowane oporami przepływu oraz straty zachodzące w rzeczywistym procesie sprężania.

Straty energetyczne spowodowane nieodwracalnością procesu wymiany ciepła w parowaczu oraz dławieniem czynnika w zaworze rozprężnym oraz przewodach, głównie ssawnym, są przyczyną zwiększenia pracy sprężarki (obiegu), przy czym nie powodują one zwiększenia wydajności cieplnej obiegu. Natomiast pozostałe straty występujące w obiegu częściowo lub w całości zwiększają jego wydajność cieplną.

Wyznaczenie rzeczywistego współczynnika wydajności grzejnej wymaga przyjęcia pewnej metodyki umożliwiającej przejście od porównywanego obiegu wzorcowego (odwracalnego obiegu Carnota) do obiegu rzeczywistego. W dalszych rozważaniach przyjęto następujący schemat: obieg odwracalny - obieg nieodwracalny z uwzględnieniem różnic temperatury w skraplaczu i parowaczu - obieg wzorcowy z zadanymi wartościami temperatury skraplania i parowania - rzeczywisty obieg z uwzględnieniem pozostałych strat energetycznych - co przedstawia rysunek 4.



Rys.4. Kaskada strat obiegu.

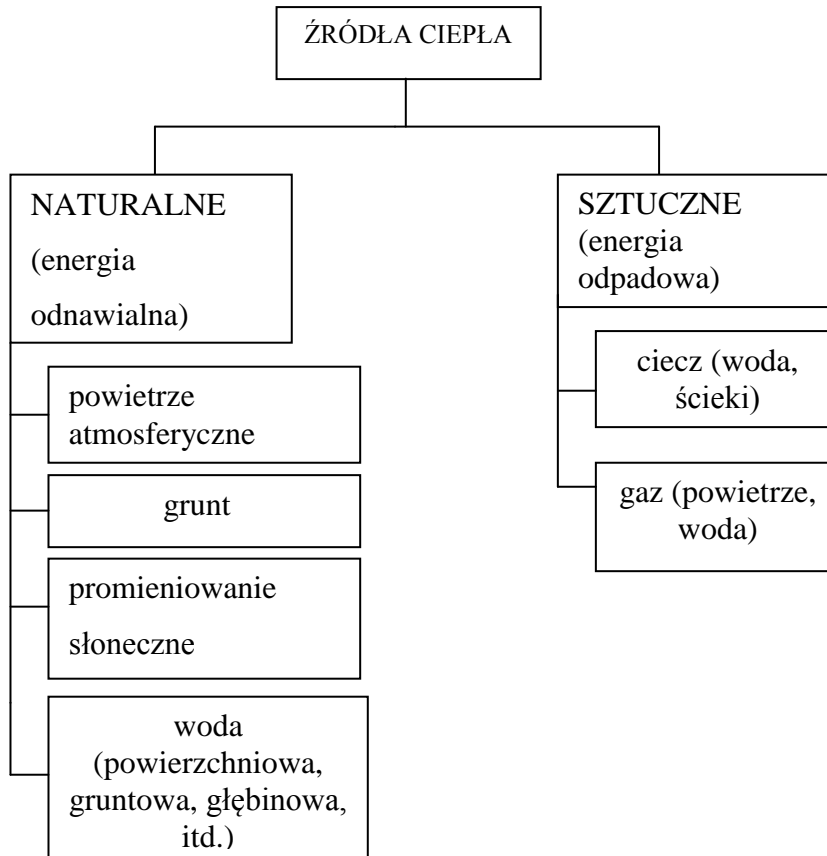
Rzeczywisty współczynnik wydajności grzejnej pomp ciepła zależy nie tylko od różnicy temperatury źródeł ciepła, lecz również i od właściwości czynnika roboczego pośredniczącego w przekazywaniu ciepła między tymi źródłami.

1.3. Źródła ciepła niskotemperaturowego i sposoby jego pozyskiwania

W obiegu pompy ciepła występują dwa źródła ciepła: dolne (niskotemperaturowe), z którego energia cieplna jest pobierana oraz górne (wysokotemperaturowe), do którego energia jest przekazywana.

Źródło górne określa efekt użyteczny pompy ciepła, natomiast źródło dolne dostarcza energię o niskiej egzergii „do przerobu” na energię o egzergii wyższej.

Rodzaj dolnego źródła ciepła nie tylko określa w istotny sposób pompę ciepła, ale również decyduje o jej zastosowaniu. Na rysunku 5 został przedstawiony podział niskotemperaturowych źródeł ciepła.



Rys. 5. Podział niskotemperaturowych źródeł ciepła

Źródło dostarczające ciepło niskotemperaturowe potrzebne do odparowania czynnika roboczego w parowaczu pompy ciepła powinno charakteryzować się następującymi cechami:

- dużą pojemnością cieplną,
- możliwie wysoką i stałą temperaturą,
- brakiem zanieczyszczeń powodujących korozję elementów instalacji lub powstawanie osadów, łatwą dostępnością i niskimi kosztami instalacji służącej do pozyskiwania i transportu ciepła.

Źródła te mogą być wykorzystywane pojedynczo (układy monowalentne) lub mogą być tworzone układy zasilane z wielu, przeważnie dwóch źródeł (układy biwalentne). Układy biwalentne stosowane są w warunkach, gdy jedno źródło ma niewystarczającą moc lub jego temperatura ulega zbyt dużym zmianom w czasie.

Ogólnie można stwierdzić, że temperatura źródła i jej zmiany są istotną cechą wpływającą na współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła. Im temperatura źródła wyższa, tym większa jest sprawność pompy ciepła.

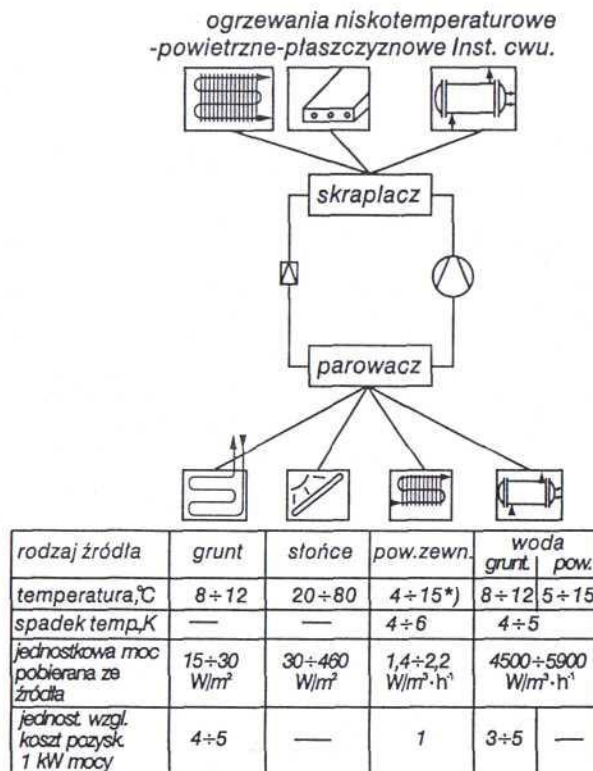
Temperatura źródeł naturalnych (odnawialnych) zależy zarówno od ich rodzaju, jak i pory roku. Natomiast temperatura ciepła odpadowego (źródła sztuczne) charakteryzuje się

wartością wynikającą z przebiegu procesu technologicznego i na ogół nie zależy ona od pory roku.

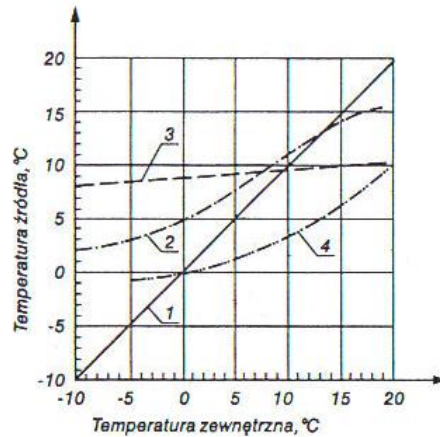
W przypadku pomp ciepła zasilających instalacje centralnego ogrzewania istotna jest kompatybilność temperatury źródła z konieczną mocą grzejną pompy ciepła. W sezonie grzewczym występuje zmienne zapotrzebowanie na ciepło, przy czym temperatura większości naturalnych źródeł ciepła niskotemperaturowego nie jest kompatybilna, tzn. przy szczytowym zapotrzebowaniu na moc cieplną do ogrzewania jest ona najniższa, co powoduje zmniejszenie efektywnej mocy pompy ciepła.

Najbardziej kompatybilnymi są wody podziemne, mniej grunt i wody powierzchniowe, a najmniej powietrze zewnętrzne.

Ogólna charakterystyka źródeł ciepła niskotemperaturowego, które są wykorzystane do zasilania parowaczy pomp ciepła przedstawiono na rys. 6, a na rys. 7 zmienność temperatury źródeł w zależności od temperatury zewnętrznej.



Rys.6. Ogólna charakterystyka źródeł ciepła niskotemperaturowego w pompach ciepła



Rys.7. Zmienność temperatury źródeł ciepła niskotemperaturowego w zależności od temperatury zewnętrznej:
1 - powietrze zewnętrzne, 2- wody powierzchniowe, 3 - wody gruntowe, 4 - grunt na głębokości 1,8 m

Moc cieplną Q_0 , którą należy pozyskać ze źródła ciepła niskotemperaturowego wyznacza się ze wzoru:

$$Q_0 = Q_g \frac{\varphi - 1}{\varphi} \quad (5)$$

gdzie:

Q_g - moc grzejna pompy ciepła (moc oddawana w skraplaczu), kW

φ - współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła podawany przez jej producenta.

1.3.1. Powietrze atmosferyczne

Powietrze atmosferyczne jest najłatwiej dostępnym źródłem energii odnawialnej i dlatego jest ono często stosowane do zasilania parowaczy pomp o małej i średniej mocy przeznaczonych do ogrzewania budynków jednorodzinnych lub przygotowania c.w.u. Do niekorzystnych cech powietrza jako źródła ciepła niskotemperaturowego należą małe wartości współczynników przejmowania ciepła, a zatem i współczynników przenikania ciepła w parowaczach pomp ciepła oraz duża zmienność temperatury powietrza w przekroju dobowym i sezonowym (rysunek 7). Średnia wartość współczynników przenikania ciepła w węzownicowych, ozebrowanych parowaczach freonowych pomp ciepła wynosi 35-50 W/(m²K). W przypadku ograniczonej możliwości powiększania pola powierzchni wymiany ciepła, a zatem i wymiarów parowacza, gęstość wymienionej mocy cieplnej zwiększana jest przez obniżenie temperatury parowania czynnika roboczego. Powoduje to z kolei zwiększenie koniecznego spiętrzenia temperatury czynnika roboczego (różnicy między temperaturą skraplania i parowania), a tym samym zmniejszenie współczynnika wydajności grzejnej pompy ciepła. Kolejną niekorzystną cechą jest powstawanie szronu na powierzchni parowacza w warunkach, gdy jej temperatura jest niższa niż 0°C. Warstwa szronu stanowi nie tylko dodatkowy opór cieplny, lecz w skrajnych warunkach może całkowicie uniemożliwić przepływ powietrza przez parowacz. Aby zapobiec temu zjawisku stosowane są urządzenia do odszraniania parowacza. Parowacz może być okresowo

odszeraniany za pomocą gorącej pary czynnika roboczego tłoczonego do parowacza zamiast do skraplacza, za pomocą elektrycznej nagrzewnicy przy czym sygnałem sterującym może być (w zależności od producenta pompy):

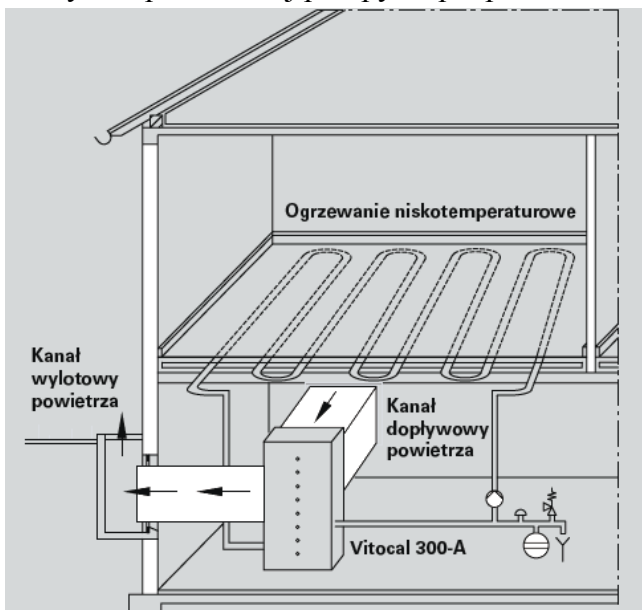
- czas (przełącznik czasowy),
- różnica temperatur między powietrzem a powierzchnią parowacza,
- ciśnienie w parowaczu,
- temperatura w parowaczu.

Powietrze ma małą pojemność cieplną; jest to przyczyna konieczności przetłaczania przez parowacz dużego strumienia masy powietrza i związanego z tym dodatkowego zużycia energii do napędu wentylatora. Wtórny skutkiem tej cechy jest zwiększenie poziomu hałasu towarzyszącego pracy pompy ciepła.

Obniżenie temperatury powietrza zewnętrznego powoduje zwiększenie zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzewania pomieszczeń. Występują zatem dwa przeciwstawne zjawiska: moc grzejna pompy ciepła zmniejsza się w warunkach, gdy rośnie zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania. Aby ograniczyć wpływ tego zjawiska w systemach ogrzewczych stosowane są dodatkowe źródła ciepła (układy biwalentne). Powietrze zewnętrzne jako źródło ciepła niskotemperaturowego dla parowacza pompy ciepła charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- użyteczny przedział temperatury 4-15°C (produkowane są pompy ciepła przystosowane do eksploatacji przy temperaturze powietrza zewnętrznego do -15°C, lecz praca ich w tych warunkach nie jest ekonomiczna i wymaga odszeraniania parowacza),
- spadek temperatury w parowaczu 4-6 K,
- jednostkowa ilość uzyskiwanego ciepła 1,4-2,2 Wh/m³.

Przykład powietrznej pompy ciepła przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Przykład pompy ciepła typu powietrze-powietrze firmy Viessmann.

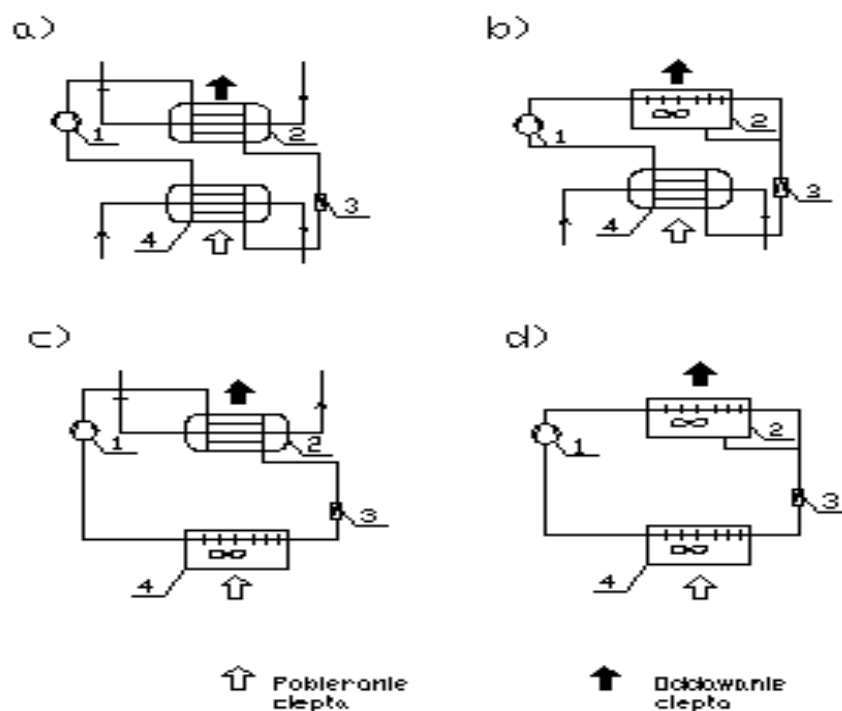
1.3.2. Wpływ rodzaju źródła ciepła niskotemperaturowego na rozwiązania konstrukcyjne pompy ciepła

Fizyczne właściwości nośnika ciepła wywierają istotny wpływ na konstrukcję elementów i parametry pracy pomp ciepła.

Konstrukcja głównego elementu sprężarkowej pompy ciepła - sprężarki w zasadzie nie zależy od rodzaju źródła ciepła niskotemperaturowego.

Natomiast konstrukcja wymienników ciepła - parowacza i skraplacza zależy w istotny sposób od rodzajów nośnika ciepła. W przypadku, gdy nośnikami ciepła niskotemperaturowego jest ciecz (woda, solanka lub wodny roztwór glikolu), a w skraplaczu podgrzewana jest woda, to zarówno parowacz, jak i skraplacz budowane są jako wymienniki płaszczowo-rurowe, spiralne lub płytowe. Natomiast, gdy nośnikiem ciepła w parowaczu i skraplaczu jest powietrze, to najczęściej parowacz i skraplacz wykonane są jako zespół równoległych węzownic połączonych kolektorami, przy czym węzownice od strony powietrza wyposażone są w żebra lamelowe lub nawijane.

Rodzaj nośnika ciepła nisko- i wysokotemperaturowego (podgrzewanego w skraplaczu) jest podstawą klasyfikacji rozwiązań pomp ciepła.

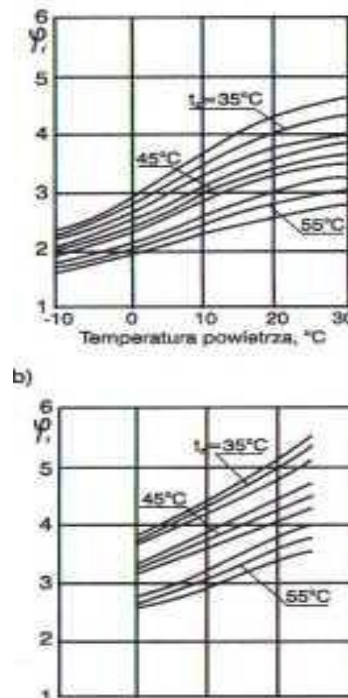


Rys. 9. Systemy sprężarkowych pomp ciepła; a) woda-woda (W-W), b) woda-powie c) powietrze-woda <P-W), d) powietrze-powietrze (P-P) 1 - sprężarka, 2 - skraplacz, 3 - zawór rozprężny, 4 - parowacz

Rozróżnia się następujące systemy pomp ciepła (rysunek 9): woda-woda (W-W), woda-powietrze (W-P), powietrze-woda (P-W), powietrze-powietrze (P-P).

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 parowaczu. Odnosi się to również do określenia „powietrze”, które może oznaczać ogólnie gazy, jak np. opary, gazy odlotowe, spaliny itp. Natomiast w normie niemieckiej DIN EN 255 oraz polskiej PN-92/M-04613/01 wyróżnia się te rodzaje nośnika ciepła i wprowadza dodatkowo dwa systemy pomp ciepła: solanka-woda (Sole/Wasser-Warme pumpe), solanka-powietrze (Sole/Luft-Warme pumpe), przy czym solanka oznacza również, wodny roztwór glikolu.

Rodzaj nośników ciepła, a głównie ich właściwości fizyczne, wywierają istotny wpływ na sprawność procesu transformacji ciepła z niższego na wyższy poziom. Na rysunku 10 pokazano wpływ temperatury czynnika grzejącego odpływającego ze skraplacza na wartość współczynników wydajności grzejnej różnych systemów pomp ciepła. Gdy nośnikiem ciepła niskotemperaturowego jest powietrze to, ze względu na jego ciepło właściwe i niewielkie spadki temperatury, przez parowacz trzeba przetłaczać duży strumień objętości nośnika ciepła. Wymaga to stosowania szybkoobrotowych, a więc hałaśliwych wentylatorów oraz przewodów o dużych przekrojach.



Rys. 10. Współczynniki wydajności cieplnej pomp ciepła: a) system P-W, b) system W-W, t_z - temperatura wody grzejącej odpływającej ze skraplacza

CEL ĆWICZENIA:

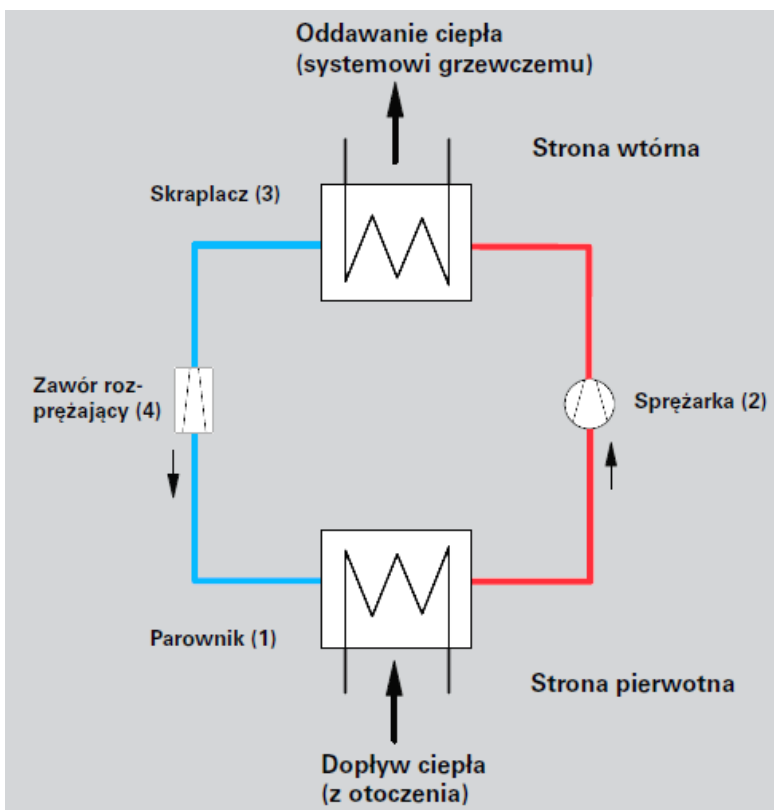
Celem ćwiczenia jest określenie wydajności i efektywności działania urządzenia oraz wybranych wskaźników charakteryzujących jego pracę.

2.1. Przykładowy cykl pracy sprężarkowej pompy ciepła.

Przy pobieraniu ciepła ze środowiska ciekły czynnik roboczy (czynnik chłodniczy) znajduje się pod niskim ciśnieniem po stronie pierwotnej (zimnej) w parowniku 1. Poziom temperatury w otoczeniu parownika przekracza temperaturę wrzenia czynnika roboczego, przy panującym w parowniku ciśnieniu, wskutek czego czynnik roboczy paruje kosztem ciepła pobranego z otoczenia. Poziom temperatur może być przy tym nawet niższy od 0°C. Sprężarka 2 zasysa odparowany czynnik roboczy z parownika i spręża go; przy tym wzrasta ciśnienie i temperatura par czynnika (podobnie jak powietrza w pompce przy pompowaniu opon).

Sprężarka przetłacza pary czynnika na stronę wtórną (gorącą) systemu, do skraplacza 3, który omywany jest wodą grzewczą. Temperatura skraplania czynnika roboczego w stanie gazowym (sprężona para) jest jednak wyższa od temperatury wody grzewczej, wskutek czego pary te schładzają się i ponownie skraplają. Ciepło pobrane w parowniku i dodatkowa energia doprowadzona podczas sprężania zostają przy tym oddane wodzie grzewczej.

Następnie skroplony czynnik poprzez zawór rozprężający 4 wraca do parownika. Na zaworze rozprężnym czynnik roboczy rozpręża się z wysokiego ciśnienia w skraplaczu do niskiego ciśnienia panującego w parowniku i obniża swoją temperaturę. W ten sposób obieg zamyka się.

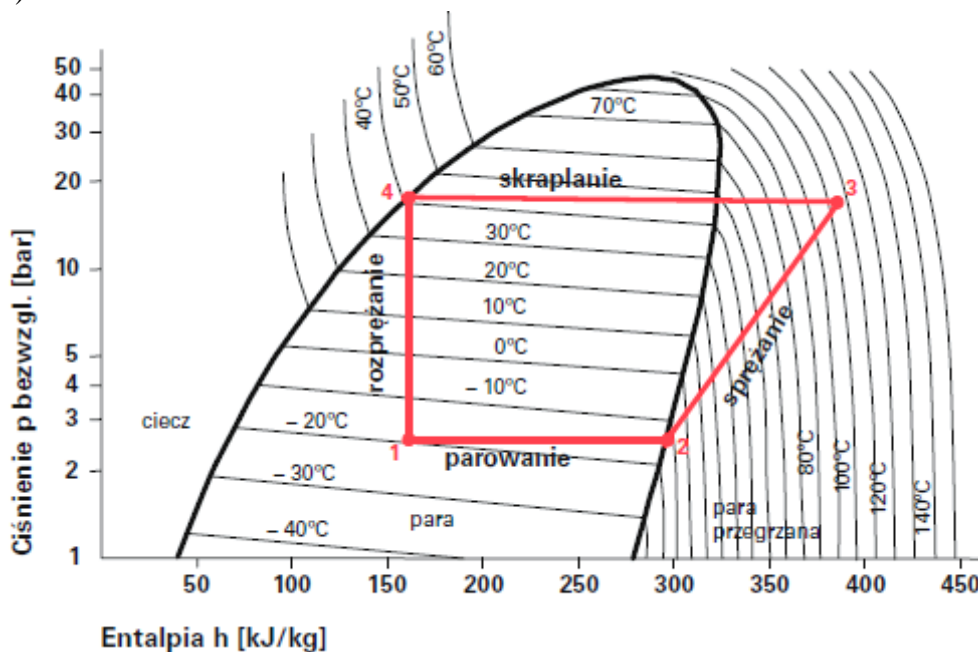


Rys. 11. Przykładowy obieg pompy ciepła

Wykres lg p-h dla pompy ciepła

Temperatury i ciśnienia obiegu termodynamicznego przedstawia się zazwyczaj na „wykresie lg p-h”. Dla „bazowego procesu pompy ciepła” można na nim przedstawić poszczególne fazy cyklu – odparowanie (1 – 2), sprężanie (2– 3), skraplanie (3 – 4) i rozprężanie (4 – 1) – jako odcinki (rys. 12).

Można ponadto wyznaczyć współczynnik efektywności: podaje on stosunek aktualnej oddawanej mocy cieplnej do pobieranej mocy elektrycznej. Przeważna część przekazywania ciepła systemowi grzewczemu następuje w obramowanym czerwono obszarze występowania par czynnika roboczego. Tak więc w pokazanym przykładzie maksymalny poziom temperaturowy wynosi ok. 45°C przy temperaturze wlotowej powietrza – 15°C. Teoretycznie można by osiągnąć wyższe temperatury przez wyższe sprężenie czynnika (przedłużenie fazy procesu 2– 3 poza punkt 3)



Rys. 12. Przykładowy wykres obiegu pompy ciepła w układzie Entalpia-Ciśnienie



LABORATORIUM TERMODYNAMIKI

POWIETRZNA SPRĘŻARKOWA POMPA CIEPŁA

Przebieg ćwiczenia:

- 1) Sprawdzić, czy zabezpieczenie jest w pozycji „OFF”.
- 2) Sprawdzić, czy termostat jest ustawiony na „0”.
- 3) Włączyć watomierz, sprawdzić baterie w urządzeniu.
- 4) Podłączyć stanowisko do sieci 230V.
- 5) Włączyć zabezpieczenie – włącznik w pozycję „ON”.
- 6) Sprawdzić, czy termometry działają.
- 7) Zapisać temperaturę otoczenia.
- 8) Spisać temperatury początkowe.
- 9) Nastawić pokrętko termostatu w pozycji 3.
- 10) Dokonywać pomiarów temperatury w komorze oraz na wlocie i wylocie z wymiennika ciepła w odstępach 30 sekundowych.
- 11) Pomiary zestawić w poniższej tabeli.
- 12) Po samoczynnym wyłączeniu się urządzenia ustawić pokrętko termostatu w pozycji „0”.
- 13) Zapisać najniższą temperaturę w komorze i czas po jakim to nastąpiło (urządzenie cechuje się pewną inercją, stąd po wyłączeniu sprężarki temperatura w komorze nadal jeszcze spada przez pewien czas).
- 14) Wykonać odpowiednie obliczenia:

1. Obliczanie ilości ciepła odebranego z komory.

Ilość ciepła odebrana z komory w czasie całego ćwiczenia:

$$Q_K = \int_{T_p}^{T_k} m C_p dT$$

gdzie:

Q – ilość odebranego ciepła [J],

m – masa powietrza w komorze [kg],

$$m = \rho V$$

ρ - średnia gęstość powietrza (1,2928 kg/m³)

V- objętość komory [m³]

C_p – ciepło właściwe powietrza [J/kgK] (1005 J/kgK)

T_p – temperatura początkowa [K],

T_k – temperatura końcowa [K].

$$1\text{kJ} = 0,000277778 \text{ kWh}$$

aby obliczyć moc pobraną z komory należy powyższe równanie podzielić przez czas trwania pomiaru w sekundach:

$$P = \frac{Q_K}{t}$$

P moc [J/s=W]

t – czas pomiaru [s]

$$1\text{kWh} = 3600 \text{ kJ}$$



LABORATORIUM TERMODYNAMIKI

POWIETRZNA SPRĘŻARKOWA POMPA CIEPŁA

2. Ilość energii elektrycznej dostarczonej przez sprężarkę:

$$Q_{el} = W \cdot t$$

W – średnia moc pobierana przez sprężarkę ze wskazania watomierza [$W=J/s$]
(średnią moc należy obliczyć jako średnią arytmetyczną odczytanych wskazań watomierza podczas trwania pomiaru)

t - czas trwania pomiaru [h]

Q_{el} – ilość energii dostarczonej przez sprężarkę [kWh]

3. Moc chwilowa powietrznego wymiennika ciepła

$$P = 0,278 \cdot \dot{q} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \quad [W]$$

gdzie:

q – przepływ powietrza w m^3/h – (dla zainstalowanego wentylatora z uwzględnieniem strat na nieuszczelnności należy przyjmować $q=59 m^3/h$)

c_p – ciepło właściwe powietrza – 1,005 kJ/kgK

ρ - gęstość powietrza – 1,205 kg/m³

ΔT – różnica temperatur na wejściu i wyjściu z wymiennika powietrznego [K]

4. Ilość ciepła dostarczonego przez powietrzny wymiennik ciepła

$$Q_w = P \cdot t \quad [J]$$

P – moc chwilowa [W]

t – czas jaki upłynął od początku pomiaru do chwili t, dla różnicy temperatur dla której liczona była moc chwilowa

5. Całkowity współczynnik wydajności układu dla całego pomiaru:

$$COP = \frac{P_{max}}{Q_{el}}$$

(ang. COP – coefficient of performance) – stosunek mocy grzewczej pompy do mocy zużytej przez sprężarkę

P_{max} – maksymalna moc uzyskana w powietrznym wymienniku ciepła [W]

Q_{el} – moc sprężarki [W]

6. Należy wykonać wykres zmian energii odebranej z komory w czasie trwania ćwiczenia

$$Q_K = m C_p \Delta T$$

$$\Delta T = T_i - T_p$$



LABORATORIUM TERMODYNAMIKI

POWIETRZNA SPRĘŻARKOWA POMPA CIEPŁA

7. Dodatkowo należy wykonać wykres zmiany współczynnika wydajności układu w każdym momencie wykonanego pomiaru – chwilowy COP.

$$Q_K = \frac{mC_p \Delta T}{t_i}$$

$$\Delta T = T_i - T_p$$

T_i – temperatura w chwili pomiaru [K]

T_p – temperatura początkowa [K]

t_i – czas i-tego pomiaru [s]

Sprawność chwilowa:

$$COP_i = \frac{P_i}{Q_{el i}} \cdot 100\%$$

$Q_{el i}$ – wartość mocy odczytana z watomierza w i-tym pomiarze

- 15) Podsumowaniem wykonanego ćwiczenia oprócz wykresów powinny być wnioski.

Literatura:

1. Rubik M., „Pompy ciepła. Poradnik.” Wydanie III rozszerzone. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2006
2. Brodowicz K., Dyakowski T. : Pompy ciepła. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Naukowe,1990.
3. Zalewski W.: Pompy ciepła, podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Wyd. 2 popr. i uzupeł. Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
4. WWW.danfoss.pl
5. WWW.viessmann.pl