



**FIRMA INNOWACYJNO
-WDROŻENIOWA**

Koszyce Małe, ul. Źródłana 8

33-111 Koszyce Wielkie

tel.: 0146210029, 0146360117, 608465631

fax.: 0146210029, 0146360117

mail: biuro@elbit.edu.pl

www.elbit.edu.pl

**STANOWISKO DO BADANIA
POMPY CIEPŁA
0266.0.0.0000**



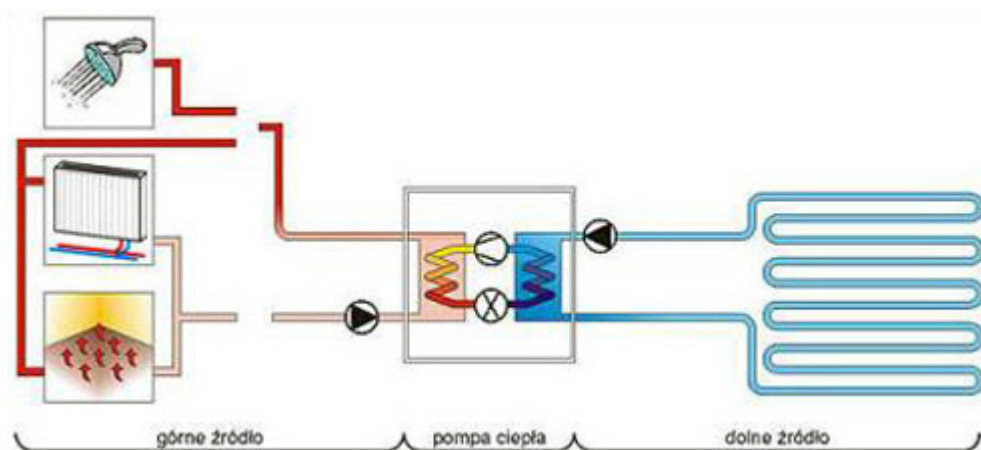
Spis treści

Spis treści	2
Pompy ciepła - teoria	3
Opis techniczny	10
Zalecenia eksploatacyjne	12
Działanie urządzenia	13
Sterowanie	18
Oprogramowanie	19
Dokumentacja towarzysząca	31

Pompy ciepła - teoria

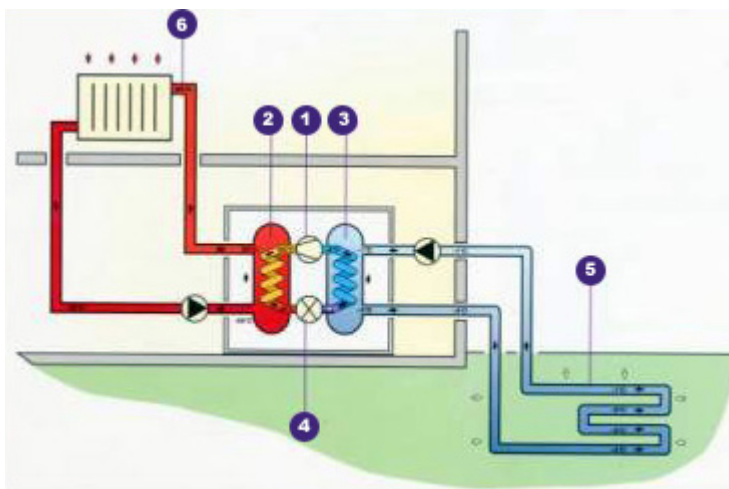
1. Zasada działania pompy ciepła

Pompa ciepła wykorzystuje klasyczną zasadę termodynamiki (tzw. cykl Carnota), pozwalającą na transport energii cieplnej z tzw. dolnego źródła do źródła wysokiego. Przedstawia to rysunek poniżej.



2. Budowa instalacji.

Podstawowe elementy instalacji pompy ciepła przedstawione zostały na rysunku.



Elementy instalacji pompy ciepła:

- 1 - sprężarka,
- 2 - skraplacz,
- 3 - parownik,
- 4 - zawór rozprężny,
- 5 - dolne źródło ciepła (grunt/woda/powietrze),

6 - górne źródło ciepła (ogrzewanie grzejnikowe lub podłogowe) .

Poszczególne elementy łączone są ze sobą rurkami miedzianymi zlutowanymi srebrem, tworząc wewnętrzny obieg pompy ciepła. Jest on wypełniony czynnikiem roboczym, który posiada właściwości pozwalające mu wrzeć w niskiej temperaturze, (np. 0°C). Czynnik przepływając przez parownik (3) pobiera ciepło z dolnego źródła (5) i zaczyna wrzeć stając się parą o niskim ciśnieniu oraz temperaturze. Zassany przez sprężarkę (1) ulega sprężeniu, co wiąże się z gwałtownym wzrostem jego temperatury. Gorący czynnik trafia do skraplacza (2) i oddaje w nim ciepło do górnego źródła (6). Podczas tego procesu skrapla się i w postaci cieczy trafia do zaworu rozprężnego (4), w którym zostaje zdławiony od ciśnienia skraplania do ciśnienia, jakie jest w parowniku. Proces rozpoczyna się ponownie.

3. Procesy termodynamiczne zachodzące w pompie ciepła.

Sprężarkowa pompa ciepła działa identycznie, jak klasyczne sprężarkowe urządzenia chłodnicze, czyli lodówka. W inny sposób zagospodarowuje się uzyskiwane ciepło. W pompie ciepła parownik służy do pozyskiwania przy niskiej temperaturze ciepła z otoczenia. W skraplaczu to samo ciepło oddawane jest, przy wyższej temperaturze, do ogrzewanego medium. Przepływ ciepła od niższej do wyższej temperatury realizowany jest w zamkniętym obiegu termodynamicznym, w którym krąży w sposób ciągły czynnik roboczy, będący nośnikiem energii cieplnej. Podlega on przemianom termodynamicznym, stanowiącym zamknięty lewobieżny obieg termodynamiczny. Przepływ ciepła odbywa się kosztem energii elektrycznej zużywanej przez sprężarkę. O efektywności transformacji ciepła decyduje różnica między temperaturami górnego i dolnego źródła. Mniejsza różnica powyższych temperatur daje wyższą efektywność pracy pompy ciepła. Z tego powodu pompa ciepła najefektywniej pracuje w układach grzewczych niskotemperaturowych np. z ogrzewaniem podłogowym. O efektywności pracy pompy ciepła mówi tzw. współczynnik efektywności lub wzmocnienia (COP), określający stosunek energii cieplnej uzyskanej do energii elektrycznej pobranej przez silnik sprężarki. Zasadę budowy i działania pompy ciepła obrazuje rysunek poniżej.



Procesy termodynamiczne zachodzące w pompie ciepła:

- 1 - Przegrzane pary czynnika chłodniczego o wysokim ciśnieniu,
- 2 - Skraplanie czynnika chłodniczego w wymienniku,
- 3 - Dochłodzona ciecz czynnika chłodniczego o wysokim ciśnieniu,
- 4 - Rozprężony czynnik chłodniczy o niskim ciśnieniu,
- 5 - Odparowanie czynnika chłodniczego w parowniku,
- 6 - Przegrzane pary czynnika chłodniczego o niskim ciśnieniu,
- 7 - Powrót wody z instalacji grzewczej,
- 8 - Podgrzewanie wody przez oddający ciepło skraplający się czynnik,
- 9 - Zasilanie instalacji podgrzaną w pompie ciepła wodą,
- 10 - "Ciepła" ciecz z obiegu dolnego źródła,
- 11 - Chłodzenie cieczy poprzez odparowujący czynnik chłodniczy,
- 12 - Schłodzona w pompie ciepła ciecz obiegu dolnego źródła.

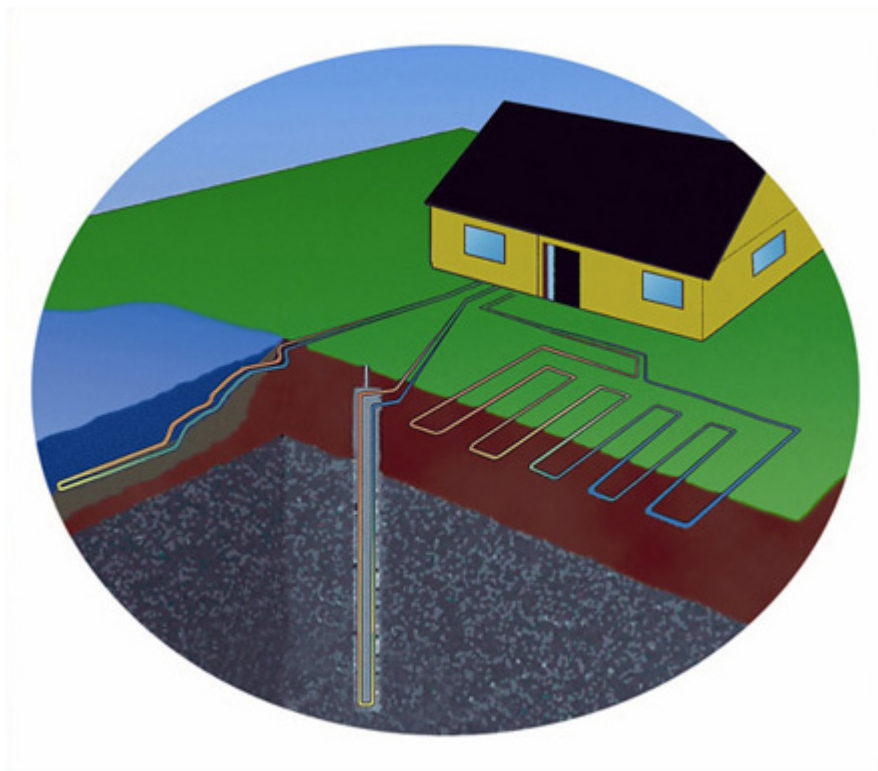
W obiegach sprężarkowych pomp ciepła główne straty termodynamiczne związane są z procesami dławienia i sprężania. Zmniejszając straty powoduje się wzrost współczynnika wydajności cieplnej i ziębniczej, czyli wzrost efektywności działania urządzenia. Sposobem na zmniejszenie tych strat jest stosowanie układów wielostopniowych, w których sprężanie i dławienie czynnika roboczego odbywa się wielostopniowo. Najczęściej stosowane są układy z dwustopniowym sprężaniem i jedno lub dwustopniowym dławieniem. Układy wielostopniowe są droższe od jednostopniowych, ale ich koszty eksploatacyjne są niższe. Istotnym czynnikiem jest również to, że wielostopniowa pompa ciepła pozwala na efektywniejsze wykorzystanie źródeł ciepła o niskiej temperaturze.

4. Dolne źródła ciepła

- **Wody powierzchniowe.** Energia zawarta w wodach powierzchniowych pochodzi z wymiany ciepła pomiędzy wodą, a powietrzem atmosferycznym i gruntem. Ponieważ temperaturę wody w rzece kształtuje wymiana ciepła z otoczeniem, poboru energii można dokonywać wielokrotnie na długości rzeki. Wadą wód powierzchniowych jako dolnego źródła są problemy z poborem energii w okresach niskich temperatur oraz przy minimalnych przepływach, a także występowanie oblodzenia. Z uwagi na zanieczyszczenie wód powierzchniowych z reguły wymagane jest stosowanie wymienników pośrednich i odpowiednich układów filtrujących, a to zmniejsza efektywność energetyczną pomp ciepła i podnosi koszty inwestycyjne.
- **Wody podziemne.** Stanowią źródło o dobrej koherentności i łatwej dostępności. Charakteryzują się małymi zmianami temperatur w ciągu roku i dla warunków klimatycznych Polski wynoszą przeważnie 5-12°C. Wody te mogą być kierowane bezpośrednio do parownika, a przy dużym zasoleniu może być zastosowany pośredni wymiennik ciepła. Wadę stanowi wysoki koszt inwestycyjny i eksploatacyjny ujęcia.

- **Grunt.** Może być użyty jako dolne źródło tylko dla pomp ciepła o stosunkowo niewielkich wydajnościach cieplnych. Energia cieplna jest akumulowana w około 10-cio metrowej warstwie gruntu. Przyjmuje się, że na tej głębokości temperatura jest równa średniorocznej temperaturze powietrza i wynosi dla naszych warunków klimatycznych ok. 7-8°C. Z uwagi na koszty inwestycyjne poziome wymienniki gruntowe układa się na głębokości 1-2 m. Na tym poziomie temperatura gruntu zmienia się sinusoidalnie w skali roku i wynosi ok. 11-17°C w lecie i 1-5°C w zimie.
- **Powietrze atmosferyczne.** Charakteryzuje się dużą zmiennością temperatur, zarówno w okresie dobowym, jak i w całym okresie grzewczym. W zakresie temperatur ujemnych występują problemy z oszranianiem i odtajaniem urządzeń. Natomiast koszty inwestycji są pomniejszone o koszty wykonania wymiennika dolnego źródła ciepła oraz występują korzystne temperatury powietrza.
- **Odpadowe ciepło technologiczne i komunalne** (np. chłodnie kominowe i wentylatorowe, układy wentylacyjne itp.)

5. Rodzaje kolektorów



- **Kolektor gruntowy poziomy.** Wykonywany jest z poziomo ułożonych rur wypełnionych wodnym roztworem glikolu, denaturatu. Rury układane są na głębokości 1,2-1,5m poniżej poziomu terenu w rozstawie 0,5-1m. Do jednego wykopu można włożyć do 4 rur, przy czym pionowy odstęp pomiędzy rurami nie powinien być mniejszy niż 30cm. Roztwór glikolu, który krąży w rurach ogrzewa się od gruntu i transportuje pobrane ciepło do pompy ciepła. W parowniku pompy ciepła następuje odebranie ciepła z roztworu glikolu - jego ochłodzenie. Jeżeli przyszły użytkownik dysponuje stawem lub jeziorem, można wykorzystać je jako źródło ciepła.

W znacznym stopniu minimalizuje się wówczas koszty inwestycji, w porównaniu z kosztami związanymi z robotami ziemnymi. Wężownicę z rur polietylenowych w prosty sposób można umieścić na dnie stawu lub jeziora. W większości wypadków wystarczają stawy o powierzchni 1000-2000m² i minimalnej głębokości 1,5-2,5m, rysunek 14.

- **Kolektor gruntowy spiralny.** Kolektor spiralny działa na podobnej zasadzie, jak kolektor płaski. Sekcje kolektora mają postać spiralnych zwojów ułożonych w rowach o długości 10-15mb. Kolektory spiralne stanowią alternatywę do kolektorów płaskich. Wykopanie szerokich rowów o długości kilkunastu metrów jest mniej kłopotliwe, niż kopanie wąskich rowków. Długość wykopów jest o 30% mniejsza. Odległość pomiędzy sekcjami nie powinna być mniejsza niż 4m. Długość przewodów dla kolektorów płaskich spiralnych trzeba zwiększyć o 30%, gdyż charakteryzują się mniejszym odbiorem jednostkowym z m² gruntu. Szerokość wykopu powinna umożliwić ułożenie płasko na dnie wykopu kręgów rur, z reguły to 1-1,2m szerokości na dnie. Zatem na 10mb wykopu wymagana ilość rur to 111mb. Z powodu oporów przepływu zaleca się, aby długość pojedynczej pętli nie przekraczała maksymalnie 200mb/pętlę. Przy tym rozwiązaniu zaleca się zastosowanie kolektorów słonecznych. Energia promieniowania słonecznego niewystarczająca do grzania wody użytkowej (powyżej 45°C) zostaje wykorzystana przez pompę ciepła podnosząc jej wskaźnik sprawności. Dodatkowym efektem jest szybka regeneracja energii gruntu pod koniec i po zakończeniu sezonu grzewczego, a przed sezonem grzewczym temperatura zasilania może być nawet o 3°C wyższa. Zalecana minimalna powierzchnia kolektorów słonecznych to 2m²/10kW mocy chłodniczej pompy (optymalnie 4m²/10kW).
- **Kolektor gruntowy pionowy.** Kolektor pionowy wykonany jest z pionowych odcinków rur umieszczonych w odwiertach i połączonych na dole U-kształtką. Poszczególne odwierty połączone są ze sobą szeregowo w pętlę. Odcinki poziome łączące odwierty muszą być umieszczone na głębokości 1,4-1,5m pod powierzchnią gruntu. Odległość pomiędzy odwiertami powinna wynosić 2,5-5m. Najczęściej głębokość odwiertów wynosi do 30m. Kolektor gruntowy pionowy wymaga znacznie mniej miejsca pod budowę niż kolektor poziomy.

6. Zasady doboru pompy ciepła

Pompa ciepła jest urządzeniem, które wymaga dość dokładnego doboru mocy grzewczej oraz dość starannego skojarzenia z innymi elementami instalacji. Dobór pompy o zbyt małej mocy nie będzie w stanie zapewnić komfortu cieplnego. Pompa o zbyt dużej mocy to z kolei niepotrzebne koszty początkowe, ale również droższa eksploatacja. A to może postawić opłacalność całej inwestycji pod znakiem zapytania. Podstawowym elementem każdej pompy jest sprężarka. Od niej zależy trwałość pompy. Można wybrać pompę ze sprężarką spiralną - typu "scroll" - lub tłokową. Te pierwsze mogą pracować około 100 tys. godzin, podczas gdy drugie - tylko około 20 tys. godzin; spiralne są nie tylko trwalsze, ale też bardziej ciche od tłokowych.

Podstawowym parametrem, jaki trzeba wyznaczyć, jest moc grzewcza pompy ciepła w danych warunkach jej pracy. Moc pompy można dobierać na trzy sposoby:

- wg mocy odpowiadającej dokładnie wielkości zapotrzebowania na ciepło w okresie największych spadków temperatury (najczęściej przyjmuje się -20°C);
- wg mocy mniejszej niż zapotrzebowanie szczytowe - wtedy z góry zakłada się, że brakujące ciepło będzie okresowo uzupełniane z innych źródeł, takich jak kolektor słoneczny, kominek;
- wg mocy większej niż obliczone zapotrzebowanie - wtedy pompy używa się tylko w okresie, gdy obowiązuje II taryfa opłat za energię elektryczną.

Aby wyznaczyć moc pompy konieczna jest znajomość zapotrzebowania ogrzewanego obiektu na ciepło. Idealnie jest, gdy dla budynku został wykonany audyt energetyczny. W praktyce jednak dla mniejszych obiektów budowlanych, takich jak prywatne domy mieszkalne, nie wykonuje się audytu ze względu na koszty z tym związane. W takim przypadku szacuje się zapotrzebowania na podstawie 1 m^2 ogrzewanej powierzchni, przeważnie dla jednorodzinnych domów mieszkalnych o pow. do 200m^2 . Przedziały wartości tych współczynników dla poszczególnych typów budynków przedstawia tabela.

Rodzaj ogrzewanego budynku	Wsp. zapotrzebow. kc [W/m ²]
Stare budownictwo bez ocieplenia	>80
Budynki nowe lub stare słabo ocieplone (do 5cm styropianu lub wełny mineralnej)	65÷75
Budynki nowego bud. o średnim ociepleniu (o grubości do 10cm)	45÷55
Budynki nowego bud. bardzo dobrze ocieplone (co najmniej 20cm ocieplenia)	35÷45

Zapotrzebowanie obiektu na ciepło potrzebne do ogrzania wynosi:

$$Q_{gb} = k_c * P,$$

gdzie P - powierzchnia ogrzewanego obiektu w m^2 .

W bilansie cieplnym budynku należy uwzględnić także zapotrzebowanie mocy na przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Jest to szczególnie ważne w hotelach, restauracjach, obiektach sportowych itp., gdzie zużycie CWU jest zazwyczaj dość wysokie. Szacunkowo przyjmuje się, że moc potrzebna do przygotowania CWU w budynku mieszkalnym wynosi od 100W do 300W na osobę. W przypadku budynków użyteczności publicznej wykonuje się dokładne obliczenia według obowiązujących norm. Reasumując, wymagana moc pompy ciepła wyniesie:

$$Q_w = Q_{gb} * k_b + Q_{cwu},$$

Współczynnik $k_b=1$, gdy pompa ciepła będzie pracowała w systemie monowalentnym (samodzielnie). Możliwa jest praca pompy ciepła w systemie biwalentnym, ze wspomaganie innym źródłem ciepła.

W takim przypadku współczynnik

$$k_b = 1 - Q_{biw} / Q_{gb},$$

gdzie Q_{biw} - moc źródła biwalentnego.

Znając wartość wymaganej mocy grzewczej Q_w , należy dobrać pompę ciepła o mocy większej lub równej tej mocy.

Opis techniczny

Podstawowe dane stanowiska:

Parametry ogólne

Ciśnienie maks w instalacjach wodnych	3 bary
Czas cyklu pracy	ciągły
Pojemność maksymalna zbiornika lewego	120l
Pojemność maksymalna zbiornika prawego	80l
Medium źródeł górnego i dolnego:	dowolne nieagresywne (woda, glikol)
Medium pompy ciepła	R407c
Waga stanowiska nienapełnionego wodą	ok. 160kg
Waga stanowiska napełnionego wodą	ok. 360kg.
Wymiary stanowiska (szer. x głęb. x wys.)	260 x 70 x 160 cm
Wymiary makiety ogrzewania podłogowego	127 x 166 x 10 cm

Instalacja elektryczna

Napięcie robocze	230 VAC
Zasilanie	jednofazowe
Długość kabla zasilającego	ok. 8m
Moc sprężarki	Ok. 1kW
Moc całkowita stanowiska	Ok. 4kW

Pomiary

Dokładność pomiaru temperatur	0.5
Maksymalna temperatura pracy czujników	100°C
Maksymalne ciśnienie za zaworem rozprężnym	10 bar
Maksymalne ciśnienie za sprężarką	30 bar
Zewnętrzna temperatura pracy:	0÷40°C
Wilgotność:	do 50%

W urządzeniu występują wysokie napięcia. Podczas pracy należy zachować szczególną ostrożność, a każdy przypadek niewłaściwego działania należy zgłaszać do producenta!

Podczas pomiarów należy obserwować temperatury dolnego i górnego źródła i nie dopuścić do zbytniego wychłodzenia pierwszego i zbytniego przegrzania drugiego.

Zalecenia eksploatacyjne

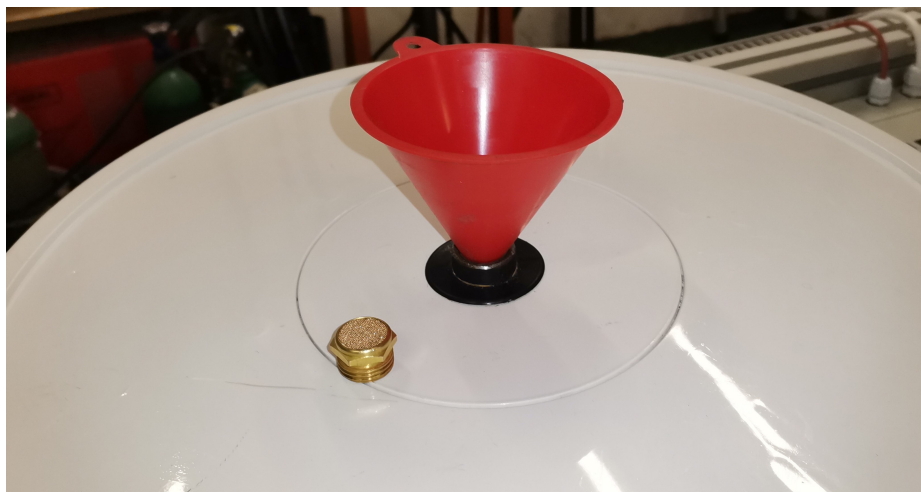
W stanowisku zamontowano kilka ręcznych odpowietrzników. Przy wymianie wody w zbiornikach lub po dłuższym okresie nieużywania zaleca się odpowietrzenie instalacji wodnej.

Odpowietrzniki zamontowano na obu wymiennikach powietrznych oraz wewnątrz szafy dla obu źródeł – zdjęcia poniżej.



Ponieważ w konstrukcji pompy ciepła i źródeł wykorzystano różne materiały (miedź, stal, stal nierdzewna, mosiądz) zaleca się dodawanie do zbiorników dolnego i górnego źródła inhibitora korozji w stężeniu 1:50. Np. Gliquid anti-kor lub podobnego.

Wlewa się go do każdego zbiornika po odkręceniu filtra powietrza znajdującego się w kanale odpowietrznika.



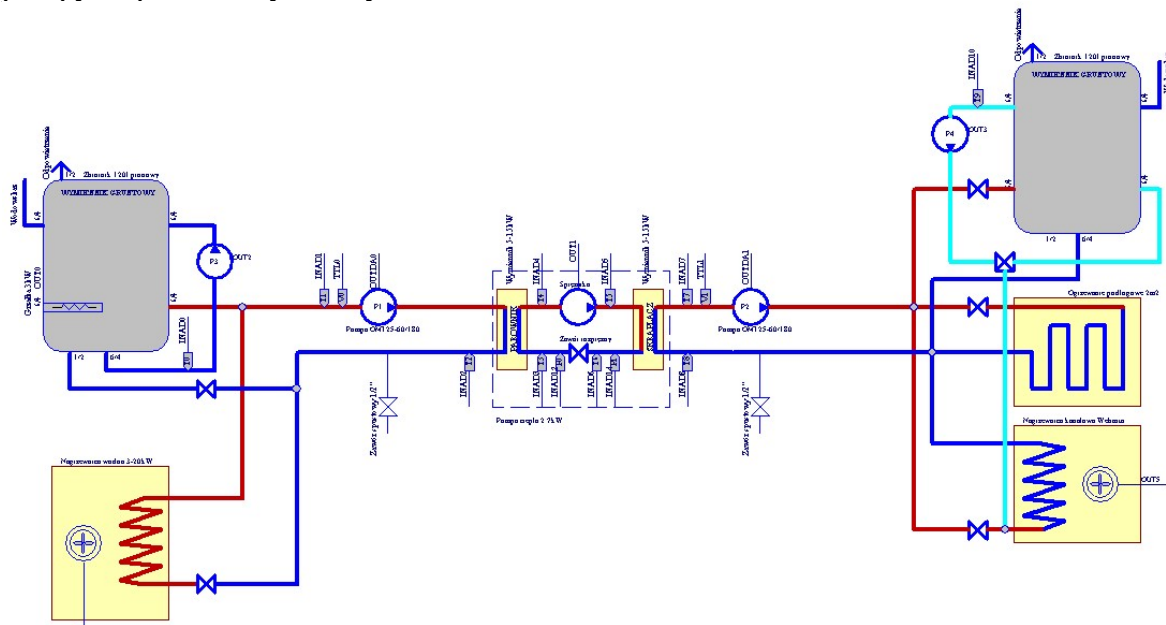
Do okresowego uzupełniania wody w obu źródłach, pod każdym zbiornikiem zamontowano zawory kulowe wraz z szybkozłączkami typu ogrodowego. Przyłącze to służy do napełniania jak i do spuszczenia wody.



Działanie urządzenia

Stanowisko służy do przeprowadzania doświadczeń związanych z różnymi rodzajami pomp ciepła.

Zgodnie z poniższym schematem blokowym stanowisko składa się ze sprężarki pompy ciepła oraz wymiennych źródeł.

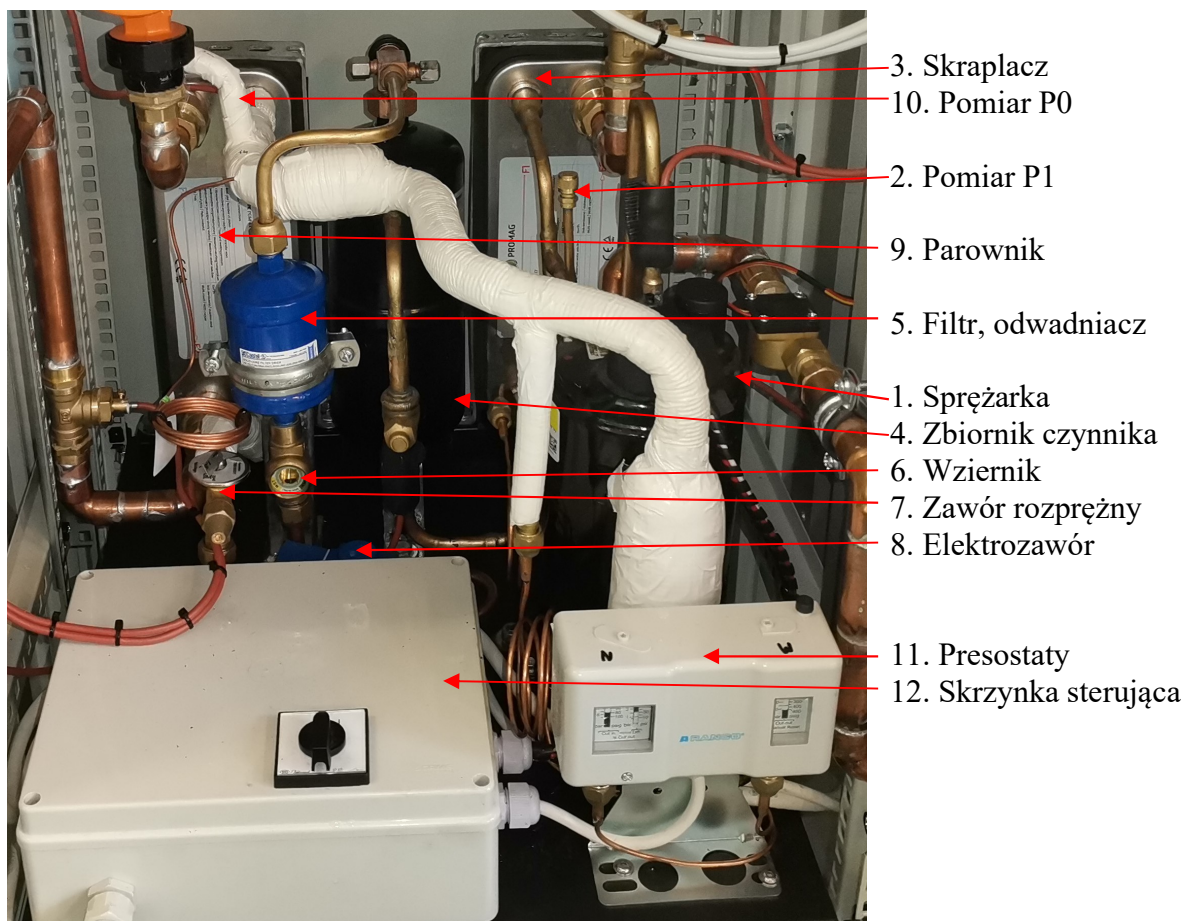


Wewnątrz szafy typu Rack zamontowano właściwą pompę ciepła oraz części instalacji wodnych wraz z pompami wodnymi i poszczególnymi czujnikami temperatury i przepływu. Zdjęcie obok.



Pompa ciepła

Na poniższym zdjęciu przedstawiono budowę pompy ciepła. Numeracja odpowiada kierunkowi obiegu czynnika chłodniczego.



1. Sprężarka Tecumseh RG5512W-FZ4A z czynnikiem R407C, Sprężarka rotacyjna mająca za zadanie sprężanie czynnika chłodniczego. Wewnątrz zamontowany wyłącznik termiczny, który załącza się przy temperaturze 120°C, zaś wyłącza przy 60°C.
2. Przyłącze pomiarowe czujnika ciśnienia P1. Czujnik o zakresie 0÷40bar.
3. Wymiennik ciepła – skraplacz. Zastosowano wymiennik ciepła przystosowany do budowy pomp ciepła (woda-gaz) o mocy do 3 kW. Wymiennik PGM-Rx-15u/1c-17 firmy Promag. Ciśnienie robocze do 45bar, powierzchnia wymiany 0.442m².
4. Zbiornik czynnika chłodniczego, Zbiornik chroni układ przed zmieniającym się zapotrzebowaniem na czynnik chłodniczy. Pozwala na dokonywanie serwisu urządzenia chłodniczego, bez konieczności ściągania czynnika.
5. Filtr, osuszacz. Element ten jest przeznaczony do zabezpieczania układów chłodniczych i klimatyzacyjnych przed kwasami, wilgocią i zanieczyszczeniami.
6. Wziernik. Służy do monitorowania przepływu czynnika chłodniczego, kontroli jego zabrudzenia. Wyposażony w kolorowy wskaźnik informujący o stopniu zawilgocenia czynnika.

7. Termostatyczny zawór rozprężny TMV firmy Honeywell. Zawór z wewnętrznym wyrównaniem ciśnienia, dla pojedynczego wtrysku ciekłego czynnika do parownika w instalacjach z jednym lub kilkoma obiegami chłodniczymi.
8. Elektrozawór zabezpieczający przed cofaniem się czynnika przy wyłączonej sprężarce. Włącza się tylko przy pracy sprężarki.
9. Wymiennik ciepła – parownik. Zastosowano wymiennik ciepła przystosowany do budowy pomp ciepła (woda-gaz) o mocy do 3 kW. Wymiennik PGM-Rx-15u/1c-17 firmy Promag. Ciśnienie robocze do 45bar, powierzchnia wymiany 0.442m².
10. Przyłącze pomiarowe czujnika ciśnienia P0. Czujnik o zakresie 0÷10bar.
11. Presostaty. Prosta automatyka sterowania sprężarką zabezpiecza ją przed zbyt niskim i zbyt wysokim ciśnieniem czynnika. Na presostatach ustawia się obie te wartości. **Czarny przycisk na skrzynce presostatów służy do resetowania zabezpieczenia w momencie gdy nastąpi ich zadziałanie.**
12. Skrzynka sterująca zawiera prostą automatykę sterującą sprężarką i elektrozaworem. Zamontowany na niej wyłącznik elektryczny pozwala na ręczne odłączenie zasilania pompy ciepła.

Wyniki wszystkich pomiarów są wyświetlane na sterowniku głównym na panelu LCD oraz transmitowane do załączonej do stanowiska aplikacji komputerowej.

Program ten opracowano specjalnie na potrzeby tego stanowiska. Jego głównym celem jest dydaktyczne zobrazowanie działania pomp ciepła oraz umożliwienie wykonania prostych rejestracji i pomiarów.

Dolne źródło (zdjęcie obok) składa się z dwóch elementów: symulatora wymiennika gruntowego oraz wymiennika powietrznego.

Jako symulator wymiennika gruntowego wykorzystano duży zbiornik CWU o pojemności 120l wyposażony dodatkowo w grzałkę z termostatem o mocy 3000W. Jeśli zachodzi potrzeba przeprowadzania dłuższych doświadczeń lub pokazów grzałkę należy włączyć, a termostat ustawić na temperaturę około 30°C w celu zapobieżenia zamarznięciu wody w wymiennikach.

Zastosowano zbiornik bez wężownicy.

W razie potrzeby można w każdej chwili wymienić wodę w zbiorniku. Służy do tego zawór spustowy w dolnej części zbiornika. Główna komora zbiornika wykonana została jako układ otwarty do atmosfery. W górnej części zbiornika zamontowano króciec przelewowy określający również maksymalny poziom napełnienia zbiornika.





Jako wymiennik powietrzny wykorzystano nagrzewnice wodną firmy Volcano 1-4-0101-0455 o mocy do 20kW – zdjęcie obok.

Wymiennik ten zawieszony jest na lewej ścianie pompy ciepła i wyposażony jest w wentylator do wymuszania obiegu powietrza. Wentylator ten włącza się przełącznikiem umieszczonym na panelu LCD lub w aplikacji komputerowej.

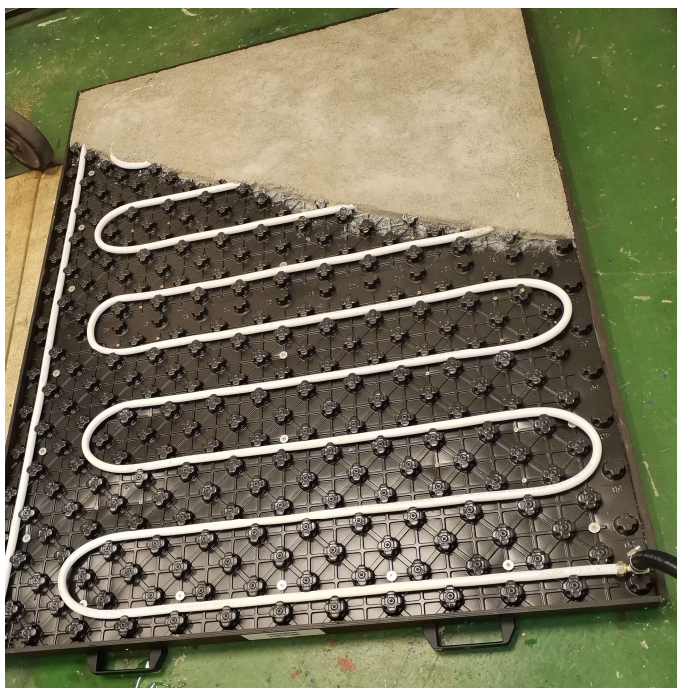


Górne źródło składa się z trzech niezależnych wymienników: powietrznego, wodnego (zbiornik ciepłej wody użytkowej) oraz ogrzewania podłogowego – zdjęcie obok.

Jako wymiennik powietrzny zainstalowano identyczną jak do dolnego źródła nagrzewnice wodną firmy Volcano 1-4-0101-0455 o mocy do 20kW. Nagrzewnica ta wyposażona jest w dmuchawę powietrzną wymuszającą obieg. Włączanie nagrzewnicy odbywa się przełącznikiem umieszczonym na panelu LCD lub w aplikacji komputerowej.

Jako górne źródło wodne zainstalowano oryginalny wymiennik CWU firmy Galmet. W każdej chwili można wymienić wodę w tym zbiorniku. Służy do tego zawór spustowy i napełniający w dolnej części zbiornika. Główna komora zbiornika wykonana została jako układ

otwarty do atmosfery.



W górnej części zbiornika zamontowano króciec przelewowy określający również maksymalny poziom napełnienia zbiornika.

Trzecim źródłem jest niewielki fragment ogrzewania podłogowego.

Wykonano go na oryginalnych rurkach i złączkach typu PEX.

Rurki umieszczono na folii oraz twardym styropianie tak jak się

wykonuje instalacje ogrzewania podłogowego.

Na kawałku powierzchni wykonano wylewkę obrazującą rzeczywistą pracę takiego ogrzewania. Ponieważ pojemność cieplna tego źródła jest niewielka – próby przeprowadzane z ogrzewaniem podłogowym nie mogą trwać dłużej niż kilka minut.

Przełączanie źródeł następuje poprzez odpowiednie otwarcie zaworów.

Dla górnych źródeł są to trzy zawory wylotowe z prawej strony stanowiska, zaś dla dolnych źródeł są to dwa zawory wylotowe umieszczone z lewej strony (zdjęcia poniżej). Powroty ze wszystkich źródeł podłączone są bezpośrednio do zbiorników, przełącza się tylko wyloty z pompy ciepła.



Sterowanie

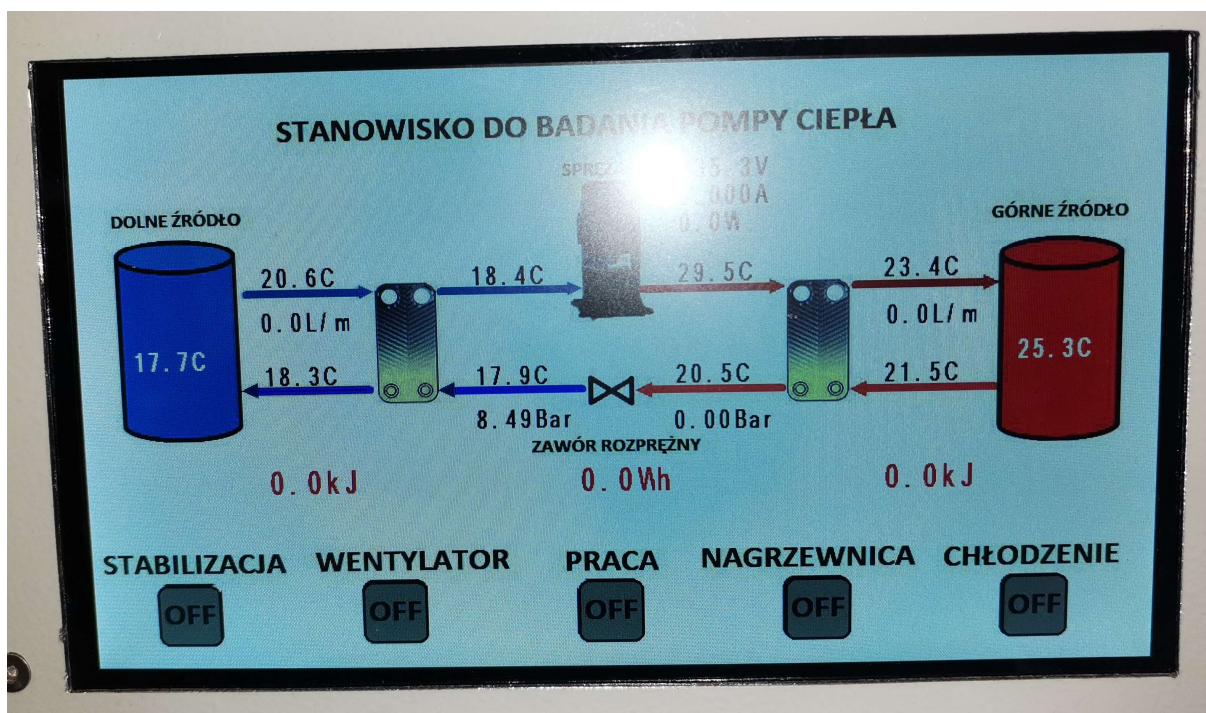
Na zdjęciu obok przedstawiona jest płyta czołowa sterownika pompy ciepła.

Po włączeniu zasilania przełącznikiem krzywkowymieszczonym w dolnej części skrzynki uaktywnia się wyświetlacz LCD ze wszystkimi mierzonymi wartościami.

Trzy podświetlane zielone przyciski: STABILIZACJA, PRACA i CHŁODZENIE odpowiadają odpowiednim trybom pracy stanowiska opisanym w opisie oprogramowania. Czerwona kontrolka awaria włącza się przy wystąpieniu któregośkolwiek ze stanów awaryjnych również tam opisanych.



Na dotykowym wyświetlaczu LCD (zdjęcie poniżej) umieszczono wszystkie wartości mierzone oraz przyciski sterujące pracą stanowiska. Działanie tych przycisków jest identyczne z działaniem przycisków w oprogramowaniu i jak powyżej opisane zostały w rozdziale „Sterowanie pracą stanowiska”.



Oprogramowanie

W lewej dolnej części skrzynki rozdzielczej znajduje się złącze USB służące podłączeniu do komputera. Po podłączeniu przewodu zakończonego konwerterem do komputera program automatycznie rozpoznaje takie zdarzenie i ustanawia dwustronną komunikację. Proces skomunikowania sygnalizowany jest kolorem kontrolki KOMUNIKACJA na ekranie. Przyjęto następującą konwencję: kolor czerwony – brak komunikacji, kolor zielony – komunikacja poprawna.

Druga z kontrolerek informują o wystąpieniu stanów awaryjnych mogących wystąpić w stanowisku.

Stany awaryjne, są to sytuacje które mogą się pojawić w stanowisku, a które mogą doprowadzić do uszkodzenia sprężarki. Wystąpienie któregośkolwiek z nich uniemożliwia włączenie sprężarki.

Przewidziano następujące sytuacje awaryjne:

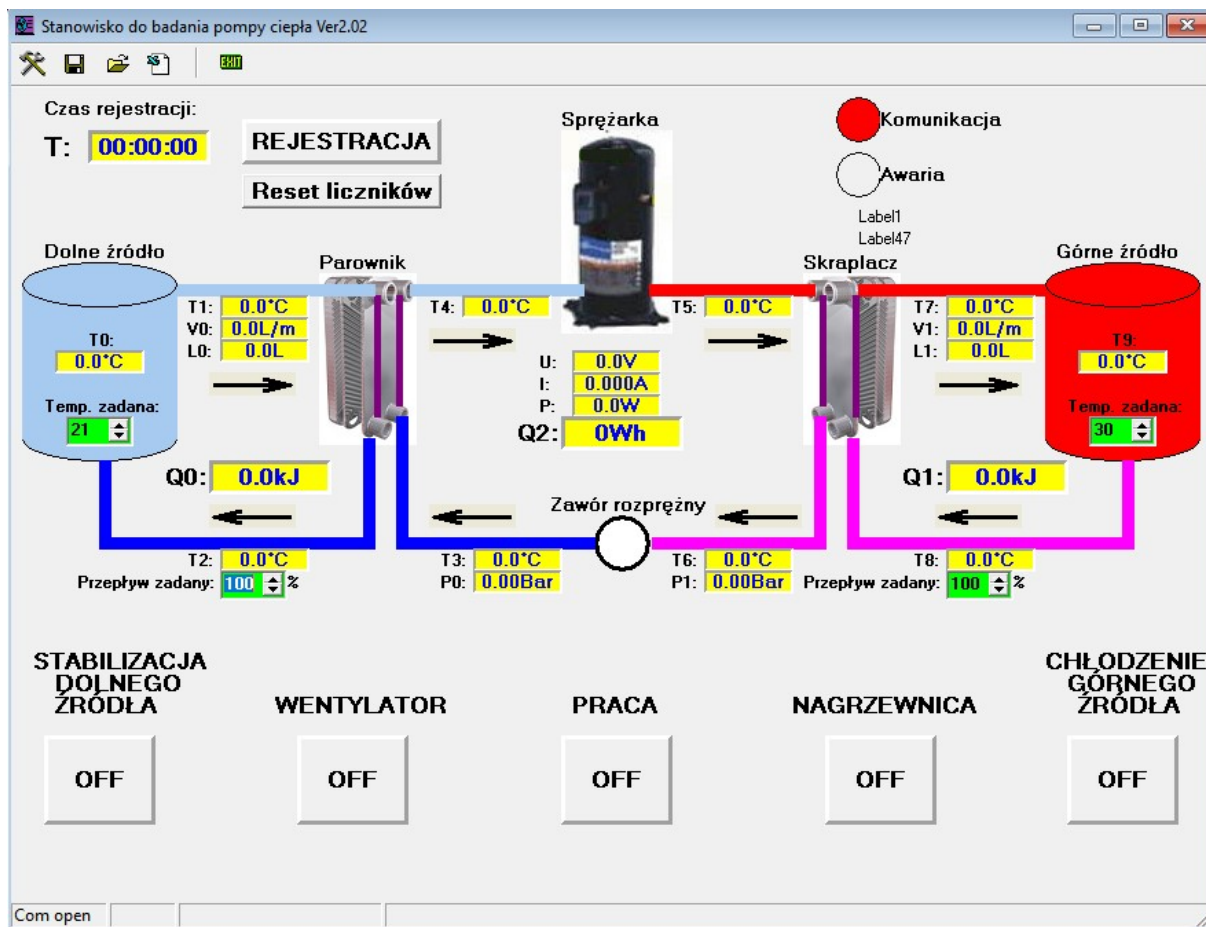
- $P_0 < 2\text{bar}$ – ciśnienie za zaworem rozprężnym czynnika jest mniejsze niż 2 bary;
- $P_1 < 6\text{bar}$ – ciśnienie przed zaworem rozprężnym jest mniejsze niż 6 barów;
- $T_5 > 100\text{ }^\circ\text{C}$ – temperatura T_5 , czyli temperatura za sprężarką jest większa niż $100\text{ }^\circ\text{C}$;
- $T_2 < 4\text{ }^\circ\text{C}$ – temperatura za parownikiem jest mniejsza niż $4\text{ }^\circ\text{C}$.

W stanowisku umożliwiono pełne sterowanie elementami wykonawczymi oraz odczyty i rejestrację poszczególnych wartości mierzonych.

Na ekranie przedstawiony jest schemat blokowy stanowiska wraz z aktualizowanymi co 0.25s odpowiednimi wartościami pomiarów.

Wszystkie te pomiary są rejestrowane przez program. W każdej chwili można te zarejestrowane pomiary zapisać na dysk.

Przykładowy wygląd ekranu:



W górnej części okna głównego znajduje się pasek ikon. Ikony te mają następujące znaczenie:

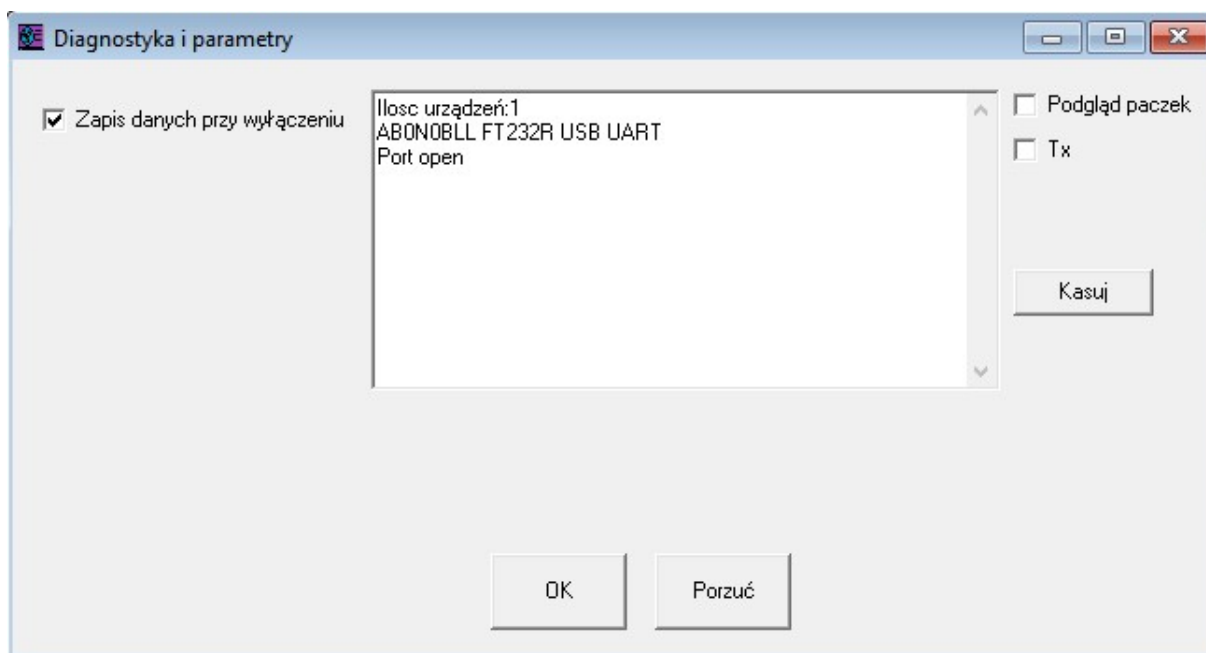
- diagnostyka i parametry;
- zapis danych;
- odczyt danych;
- eksport danych do Excela;
- wyjście z programu.



Diagnostyka i parametry.

Okno to jest oknem serwisowym i służy do podglądu komunikacji między sterownikiem stanowiska a programem.

Okno parametrów wygląda jak na rysunku poniżej:



W parametrach ogólnych zgrupowano funkcje przełączające:

Zapis danych przy wyłączeniu – włącza lub wyłącza funkcje automatycznego zapisu danych na dysk przy wyłączeniu pracy stanowiska.



Zapis danych.

Po naciśnięciu tej ikonki wszystkie zarejestrowane dane są zapisywane na plik dyskowy o nazwie „daneyymmddhhnn.txt”. Gdzie yy oznacza rok zapisu, mm miesiąc, dd dzień, hh godzinę i nn minutę zapisu.

Zapis następuje bez kontroli nadpisywania, tzn. że po każdym zapisie należy zmienić nazwę pliku z danymi. Pliki są zapisywane w katalogu, z którego został uruchomiony program PC. Przykładowo plik o nazwie Dane1010091345.txt został zarejestrowany o godz. 13.45 09.10.2010r.

Pierwszy wiersz zawiera opis poszczególnych wartości a następnie zapisywane są zmierzone dane z interwałem czasowym 1s.

Przykładowa rejestracja przedstawiona jest poniżej:

Nr	Czas	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P0	P1	V0	V1	U	I	P	Q0	Q1	Q2	L0	L1	Rez	Rez
1	2	21.3	21.5	19.3	13.1	17.6	33.6	26.9	30.9	26.5	26.7	5.10	0.00	18.6	19.1	238.4	4.130	754.5	25.5	53.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3	21.2	21.5	19.3	13.1	17.7	33.7	27.0	30.9	26.5	26.7	5.10	0.00	18.4	19.0	238.4	4.130	754.5	27.9	57.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	4	21.2	21.5	19.3	13.0	17.7	33.8	27.0	31.1	26.5	26.7	5.09	0.00	18.5	19.1	238.3	4.130	753.8	30.2	62.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	5	21.3	21.5	19.3	13.0	17.7	33.9	27.1	31.1	26.5	26.7	5.10	0.00	18.6	19.0	238.2	4.120	753.5	32.6	67.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	6	21.2	21.5	19.3	13.0	17.7	34.0	27.1	31.0	26.5	26.7	5.11	0.00	18.5	19.1	238.3	4.130	753.9	35.0	72.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	7	21.2	21.5	19.3	12.9	17.7	34.1	27.2	31.1	26.5	26.7	5.11	0.00	18.5	19.1	238.1	4.120	752.4	37.4	77.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	8	21.2	21.5	19.3	12.9	17.7	34.2	27.2	31.2	26.6	26.7	5.10	0.00	18.6	18.9	238.1	4.120	752.4	39.7	82.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Pierwsza kolumna to numer rekordu danych, druga to sekunda rejestracji, a następne to odpowiednio: T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, V0, V1, P0, P1.



Odczyt danych.

Funkcja umożliwia wczytanie danych uprzednio zapisanych na dysku.



Eksport danych do Excela.

Po naciśnięciu tej ikonki generowany jest plik danych w formacie CSV, do wczytania w programie Excel.

Za każdym naciśnięciem przycisku generowany jest nowy plik o nazwie „daneyymmddhhnn.csv”. Gdzie yy oznacza rok zapisu, mm miesiąc, dd dzień, hh godzinę i nn minutę zapisu. Po utworzeniu pliku program próbuje automatycznie otworzyć go w programie Excel. Przykładowy plik przedstawiono na poniższym skanie.

W pierwszym wierszu umieszczono opis poszczególnych pól:

- nr próbki (index);
- czas [s];
- temperatury T0 ÷ T9 [°C];
- ciśnienia P0, P1 [bar];
- przepływy V0, V1 [Litry/min];
- napięcie sprężarki U [V];
- prąd sprężarki I [A];
- moc sprężarki P [W];
- energia cieplna Q0, Q1 [kJ];
- energia elektryczna Q2 [Wh];
- sumaryczny przepływ wody L0, L1 [litry];
- pola rezerwowe – do wykorzystania w przyszłości

W drugim wierszu umieszczono jednostki w jakich są podawane pomiary.

A następnie umieszczane są poszczególne rekordy danych.

W programie umożliwiono zapis wartości pomiarowych tylko z częstotliwością 1Hz.

Poniższy przykład jest wynikiem działania takiego eksportu danych.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Index	Czas	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P0	P1	V0
2	1	1	21,3	21,6	19,3	13,2	17,7	33,5	26,9	31	26,5	26,7	5,09	0	
3	2	2	21,3	21,5	19,3	13,1	17,6	33,6	26,9	30,9	26,5	26,7	5,1	0	
4	3	3	21,2	21,5	19,3	13,1	17,7	33,7	27	30,9	26,5	26,7	5,1	0	
5	4	4	21,2	21,5	19,3	13	17,7	33,8	27	31,1	26,5	26,7	5,09	0	
6	5	5	21,3	21,5	19,3	13	17,7	33,9	27,1	31,1	26,5	26,7	5,1	0	
7	6	6	21,2	21,5	19,3	13	17,7	34	27,1	31	26,5	26,7	5,11	0	
8	7	7	21,2	21,5	19,3	12,9	17,7	34,1	27,2	31,1	26,5	26,7	5,11	0	
9	8	8	21,2	21,5	19,3	12,9	17,7	34,2	27,2	31,2	26,6	26,7	5,1	0	
10	9	9	21,3	21,5	19,2	12,8	17,7	34,3	27,2	31,1	26,6	26,7	5,1	0	
11	10	10	21,2	21,5	19,2	12,8	17,7	34,4	27,3	31	26,6	26,8	5,1	0	
12	11	11	21,2	21,5	19,2	12,8	17,7	34,4	27,4	31,2	26,6	26,8	5,08	0	
13	12	12	21,2	21,5	19,2	12,7	17,7	34,5	27,4	31,2	26,6	26,8	5,09	0	
14	13	13	21,3	21,4	19,2	12,7	17,7	34,6	27,5	31,1	26,6	26,8	5,1	0	
15	14	14	21,2	21,4	19,2	12,6	17,7	34,7	27,5	31,1	26,6	26,8	5,09	0	
16	15	15	21,2	21,4	19,2	12,6	17,7	34,8	27,6	31,2	26,6	26,8	5,1	0	
17	16	16	21,2	21,4	19,2	12,6	17,7	34,9	27,7	31,3	26,6	26,8	5,1	0	
18	17	17	21,3	21,4	19,1	12,5	17,7	34,9	27,7	31,2	26,6	26,8	5,1	0	
19	18	18	21,2	21,4	19,1	12,5	17,7	35	27,7	31,1	26,6	26,8	5,09	0	
20	19	19	21,1	21,4	19,1	12,5	17,7	35,1	27,7	31,3	26,6	26,8	5,1	0	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Wyjście.

Funkcja zatrzymuje ewentualną pracę stanowiska, bezpiecznie wyłącza elementy wykonawcze i wychodzi z programu.

Rejestrator danych.

Program PC wyposażono w rejestrator danych o pojemności 10800 rekordów. Przyjęto, że zapisy dokonywane są zawsze co jedną sekundę. Przyjęta pojemność tablicy pozwala więc na rejestrację do trzech godzin.

Rejestrowane są wszystkie pomiary oraz niektóre wyliczane na ich podstawie wartości np. ciepło.

Funkcja rejestracji włączana jest w dowolnym momencie przyciskiem w programie. Działanie sygnalizowane jest podświetleniem przycisku. Powtórne przyciśnięcie wyłącza rejestrację. Przy każdym włączeniu poprzednie dane są kasowane bez żadnych komunikatów ostrzegawczych – należy pamiętać o zapisie danych na dysk lub eksporcie do Excela przed ponownym włączeniu przycisku.



Obok przycisku aktywującego rejestrację umieszczono licznik czasu, który informuje jak długo trwa rejestracja.

W stanowisku wyliczane są na bieżąco pewne wartości, które mają charakter całkowity, jak np. całkowita ilość wody przepompowanej przez wymienniki, czy ilość ciepła pobranego z dolnego oraz oddanego do górnego źródła, czy też całkowita energia elektryczna pobrana przez sprężarkę. Wszystkie te wartości można wyzerować jednym przyciskiem o nazwie RESET LICZNIKÓW.

Rozwiązanie takie umożliwia obsłudze dowolne wybranie interesującego odcinka czasu do badania z pominięciem stanów nieustalonych stanowiska bezpośrednio po włączeniu pracy. Oprócz sterowania rejestracją z przycisku dodatkowo ustawiono automatyczne wyłączenie rejestracji po wyłączeniu pracy stanowiska.

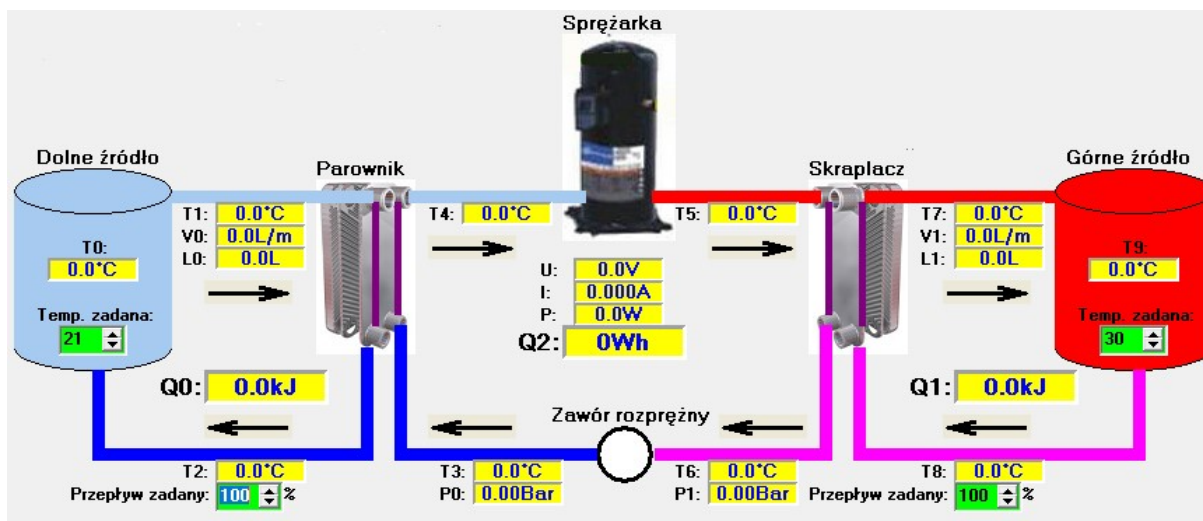
W zależności od ustawienia parametru: „Zapis danych przy wyłączeniu” w oknie diagnostyki program będzie też automatycznie zapisywał dane na dysk.

Główne okno programu.

W centralnej części ekranu umieszczono schematyczną strukturę stanowiska z zaznaczonymi punktami pomiarowymi i elementami sterującymi (rys. poniżej). Jak widać nie ma rozróżnienia na rodzaj dolnego i górnego źródła. Poszczególne źródła włącza się poprzez zawory dławiące na ściankach stanowiska.

Na schemacie tym z lewej strony umieszczono dolne źródło z rurkami doprowadzającymi czynnik do pompy ciepła, w środkowej części narysowana jest pompa ciepła składająca się ze sprężarki, zaworu rozprężnego i dwóch wymienników nazwanych skraplacz i parownik. Z prawej strony umieszczono górne źródło z rurkami doprowadzającymi. Przy normalnej pracy stanowiska ciepło powinno być transportowane z dolnego źródła do pompy ciepła

i dalej z pompy do górnego źródła. Strzałki na schemacie obrazują kierunek przepływu czynnika – w tym przypadku wody.



Na schemacie zaznaczono wszystkie przetworniki pomiarowe zamontowane w stanowisku.

T0 – temperatura lewego zbiornika. Punkt pomiarowy został umieszczony na rurce układu mieszającego wodę w zbiorniku. Pomiar ten służy tylko do stabilizacji wody w zbiorniku. Należy pamiętać, że gdy pompa mieszacza jest wyłączona temperatura ta będzie odbiegać od temperatury wody w zbiorniku.

T1 – temperatura wody na wlocie do pompy ciepła od strony dolnego źródła. W zależności od ustawienia zaworów wodnych może to być wlot ze zbiornika 120L lub z wymiennika powietrznego.

T2 – temperatura wody na wylocie z pompy ciepła. Różnica temperatur T2-T1 określa spadek temperatury wody na wymienniku dolnego źródła (parowniku).

T3 – temperatura czynnika chłodniczego za zaworem rozprężnym, a przed parownikiem.

T4 – temperatura czynnika chłodniczego za parownikiem a przed sprężarką.

T5 – temperatura czynnika chłodniczego za sprężarką a przed skraplaczem.

T6 – temperatura czynnika chłodniczego za skraplaczem a przed zaworem rozprężnym.

T7 – temperatura wody na wylocie z pompy ciepła od strony górnego źródła. W zależności od ustawienia zaworów wodnych może to być wylot do zbiornika 120L, nagrzewnicy powietrznej lub instalacji ogrzewania podłogowego.

T8 – temperatura wody na wlocie do pompy ciepła od strony górnego źródła. Różnica temperatur T7-T8 określa wzrost temperatury wody na wymienniku górnego źródła (skraplaczu).

T9 – temperatura prawego zbiornika. Punkt pomiarowy został umieszczony na rurce układu mieszającego wodę w zbiorniku. Pomiar ten służy do sterowania włączaniem pompy ciepła. Sterowanie dwustanowe ON/OFF. Należy pamiętać, że gdy pompa mieszacza jest wyłączona temperatura ta będzie odbiegać od temperatury wody w zbiorniku.

V0 – przepływ wody w obiegu dolnego źródła. Podawany jest w litrach na minutę. Służy do liczenia ciepła pobranego z dolnego źródła. Przepływem wody można sterować w dwojaki sposób – albo poprzez skokową zmianę wydajności pompy wodnej albo płynnie poprzez zakres wysterowania pompy.

V1 – przepływ wody w obiegu górnego źródła. Podawany jest w litrach na minutę. Służy do liczenia ciepła oddanego do górnego źródła. Przepływem wody można sterować w dwojaki sposób – albo poprzez skokową zmianę wydajności pompy wodnej albo płynnie poprzez zakres wysterowania pompy.

L0 – sumaryczna ilość przepompowanej wody w obiegu dolnego źródła. Podawana jest w litrach. Wartość ta wyliczana jest przez całkowanie sygnału V0. W każdej chwili można wyzerować ta zmienną przez wciśnięcie przycisku RESET LICZNIKÓW.

L1 – sumaryczna ilość przepompowanej wody w obiegu górnego źródła. Podawana jest w litrach. Wartość ta wyliczana jest przez całkowanie sygnału V1. W każdej chwili można wyzerować ta zmienną przez wciśnięcie przycisku RESET LICZNIKÓW.

P0 – ciśnienie czynnika chłodniczego za zaworem rozprężnym. Podawane w barach.

P1 – ciśnienie czynnika chłodniczego przed zaworem rozprężnym. Podawane w barach.

Q0 – sumaryczna ilość ciepła pobranego z dolnego źródła. Podawana w kJ. Wartość ta wyliczana jest co jedną sekundę ze wzoru:

$$Q0 = m C_w (T1 - T2)$$

gdzie

m – masa wody jaka przepłynęła przez parownik w ciągu 1s. Przyjęto uproszczenie polegające na nieuwzględnianiu zmiany masy wody w zależności od temperatury. Czyli m jest równe ilości litrów jaka przepłynęła przez parownik w ciągu 1s;

C_w – ciepło właściwe wody – stała 4.2 kJ/(kg*K)

T₂-T₁ – spadek temperatury wody w parowniku.

Podawana wartość Q0 jest wartością sumaryczną, czyli chwilowe wartości ciepła są sumowane obrazując całkowite ciepło pobrane. W każdej chwili można wyzerować ta zmienną przez wciśnięcie przycisku RESET LICZNIKÓW.

Q1 – sumaryczna ilość ciepła oddanego do górnego źródła. Podawana w kJ. Wartość ta wyliczana jest co jedną sekundę ze wzoru:

$$Q1 = m C_w (T7 - T8)$$

gdzie

m – masa wody jaka przepłynęła przez skraplacz w ciągu 1s. Przyjęto uproszczenie polegające na nieuwzględnianiu zmiany masy wody w zależności od temperatury. Czyli m jest równe ilości litrów jaka przepłynęła przez skraplacz w ciągu 1s;

C_w – ciepło właściwe wody – stała 4.2 kJ/(kg*K)

T₇-T₈ – spadek temperatury wody w skraplaczu.

Podawana wartość $Q1$ jest wartością sumaryczną, czyli chwilowe wartości ciepła są sumowane obrazując całkowite ciepło oddane. W każdej chwili można wyzerować ta zmienną przez wciśnięcie przycisku RESET LICZNIKÓW.

U – napięcie przemienne zasilające sprężarkę. Wartość podawana w V.

I – prąd przemienny pobierany przez sprężarkę. Wartość podawana w A.

P – moc elektryczna czynna pobierana przez sprężarkę. Wartość podawana w W. Należy pamiętać, że moc czynna dla prądu przemiennego jest wyliczana ze wzoru $P=U * I * \cos(\varphi)$.

$Q2$ – praca lub energia prądu pobrana przez sprężarkę. Wartość podawana w Wh. Należy pamiętać, że 1Wh odpowiada 3.6kJ.

Na pulpicie komputera umożliwiono zmianę niektórych parametrów sterujących. Przyjęto konwencję, że wartości które można zmieniać podświetlone są na kolor zielony.

Mamy tu więc:

- **temperatura zadana dolnego źródła** (tylko zbiornik 120L). Żeby przeciwdziałać zbytniemu wychłodzeniu zbiornika, w jego dolnej części wstawiono grzałkę o mocy 3kW i zaimplementowano procedurę grzania wody do wartości zadanej. Zakres możliwych ustawień wynosi $0 \div 100$ °C. Procedurę podgrzewania włącza się przyciskiem STABILIZACJA DOLNEGO ŹRÓDŁA. Podczas pracy sprężarki procedura ta włączana jest obligatoryjnie.

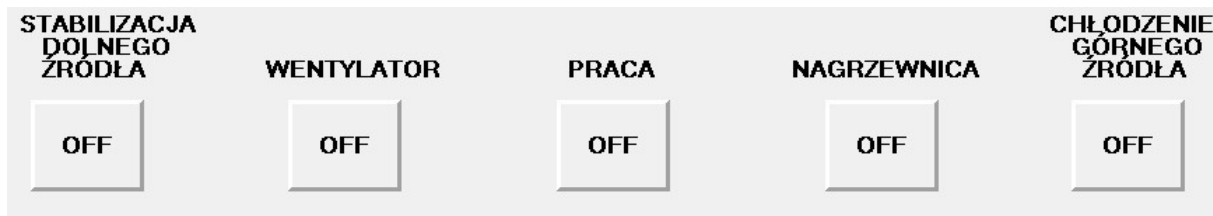
- **temperatura zadana górnego źródła** (tylko zbiornik 80L). Praca stanowiska polega na transporcie ciepła z dolnego do górnego źródła. Jeśli górnym źródłem jest zbiornik wodny odpowiada to rzeczywistej pracy pompy ciepła ze zbiornikiem CWU, gdzie po osiągnięciu zadanej temperatury pompa ciepła jest wyłączana. Zakres możliwych ustawień tej temperatury wynosi $0 \div 100$ °C.

- **przepływ zadany dolnego źródła**. Przepływem wody w dolnym źródle można sterować w dwojaki sposób – albo poprzez skokową zmianę wydajności pompy wodnej (przełącznik na pompie) albo płynnie poprzez zakres wysterowania pompy. Przepływ zadany w % odpowiada właśnie temu wysterowaniu. Zakres $0 \div 100\%$. Należy pamiętać, że przepływ wody w zależności od wysterowania nie jest liniowy w całym zakresie, tj. zmiana wysterowania o 50% nie odpowiada zmianie przepływu o 50% - należy obserwować wartość $V0$ i tak wyregulować wysterowanie aby osiągnąć właściwą wartość.

- **przepływ zadany górnego źródła**. Jak uprzednio przepływem wody w górnym źródle można sterować w dwojaki sposób – albo poprzez skokową zmianę wydajności pompy wodnej (przełącznik na pompie) albo płynnie poprzez zakres wysterowania pompy. Przepływ zadany w % odpowiada właśnie temu wysterowaniu. Zakres $0 \div 100\%$.

Sterowanie pracą stanowiska.

W dolnej części ekranu umieszczono przyciski sterujące pracą stanowiska – rys. poniżej.



Każdy z nich włącza lub modyfikuje działanie stanowiska.

Praca

Klawisz ten włącza lub wyłącza pompę ciepła. Należy pamiętać, że wystąpienie jakiegokolwiek stanu awaryjnego, sygnalizowanego kontrolką uniemożliwia uruchomienie pracy pompy. Po włączeniu trybu pracy, automatycznie resetowane są liczniki: ciepła energii elektrycznej, i wody. Po włączeniu obligatoryjnie włączana jest procedura stabilizacji dolnego źródła. Praca stanowiska polega na dwustanowym sterowaniu pompą ciepła. Jeśli temperatura w zbiorniku górnego (T9) źródła przekroczy wartość zadaną (temp. zadana górnego źródła) sprężarka zostanie wyłączona, zaś po zmniejszeniu T9 włączy się ponownie. Histereza tego procesu została ustawiona na $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Podczas pracy włączane są pompy obiegowe dolnego i górnego źródła, oraz dodatkowe pompy wyrównujące rozkład temperatur w obu zbiornikach.

Pompy obiegowe włączają się z zadaniem i ustawianymysterowaniem.

Stabilizacja dolnego źródła

Klawisz ten włącza programowy termostat dolnego źródła. Zbyt długa praca stanowiska bez tej procedury mogłaby doprowadzić do zamrożenia parownika. W zbiorniku 120L zamontowano grzałkę 3kW. Włącza się ona podczas pracy termostatycznej gdy temperatura T0 spadnie poniżej temperatury zadanej dolnego źródła. Tryb ten można włączyć niezależnie od innych procedur. Podczas włączenia pracy stabilizacja jest włączana automatycznie. Jednocześnie ze sterowaniem grzałką włącza się pompa wyrównująca rozkład temperatur w lewym zbiorniku.

Chłodzenie górnego źródła

Praca pompy ciepła polega na transportowaniu ciepła do górnego źródła. W przypadku gdy temperatura tego źródła wzrośnie nadmiernie uniemożliwiając dalszą pracę, można ją ochłodzić albo przez wymianę wody w zbiorniku 80L, albo przez włączenie procedury chłodzenia. Polega ona na wykorzystaniu pompy wyrównującej rozkład temperatur w zbiorniku do wymuszenia obiegu przez wentylator nagrzewnicy. Wykonuje się to poprzez przestawienie zaworu trójdrożnego w położenie chłodzenie. W trybie tym włączone są pompa obiegowa i wentylator. W programie wprowadzono ograniczenie możliwości włączenia równoczesnego pracy i chłodzenia.

Wentylator

Tryb ten włącza wymiennik powietrzny dolnego źródła. Nie ma ograniczeń włączenia tego trybu z innymi procedurami. Wykorzystuje się go do przełączania pompy ciepła jako pompy

powietrzną. W tym przypadku należy pamiętać, żeby zamknąć zawór wodny wylotu do zbiornika, a otworzyć wylot do wymiennika powietrznego.

Nagrzewnica

Tryb ten włącza wymiennik powietrzny górnego źródła czyli nagrzewnicę powietrzną. Nie ma ograniczeń włączenia tego trybu z innymi procedurami. Wykorzystuje się go do przełączania pompy ciepła jako pompę powietrzną. W tym przypadku należy pamiętać, żeby zamknąć zawory wodne wylotu do zbiornika i podłógówki, a otworzyć wylot do nagrzewnicy.

Przykładowe próby ze stanowiskiem.**Bilans cieplny całego układu i współczynnik COP.**

Na stanowisku możliwe jest określenie pełnego bilansu cieplnego w różnych konfiguracjach dolnych i górnych źródeł oraz przy różnych punktach pracy (temperaturach).

Index	Czas	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P0	P1	V0	V1	U	I	P	Q0	Q1	Q2	L0	L1
299	300	18,3	17,7	15,4	8,3	15,8	47,7	28,6	29,6	25	25,5	5,5	15	6,9	7,1	222,5	3,46	648,1	357,9	692,8	52	35,6	36,8

Dla powyższych danych (obliczenia dla 300 sekundy pomiaru):

- ciepło pobrane z dolnego źródła:

$$Q_d = m \cdot C_w (T_1 - T_2) = V_0 / 60 \cdot C_w (T_1 - T_2)$$

$$Q_d = 0.115 \text{ Litra} \cdot 4.2 \text{ kJ} \cdot (17.7^\circ\text{C} - 15.4^\circ\text{C}) = 1.11 \text{ kJ}$$

- ciepło oddane do górnego źródła:

$$Q_g = m \cdot C_w (T_7 - T_8) = V_1 / 60 \cdot C_w (T_7 - T_8)$$

$$Q_g = 0.118 \text{ Litra} \cdot 4.2 \text{ kJ} \cdot (29.6^\circ\text{C} - 25.0^\circ\text{C}) = 2.28 \text{ kJ}$$

- energia elektryczna pobrana przez sprężarkę:

$$Q_e = P \cdot t$$

$$Q_e = 648.1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 648.1 \text{ Ws} = 0.180 \text{ Wh} = 0.65 \text{ kJ}$$

- COP (coefficient of performance):

$$\text{COP} = Q_g / Q_e$$

$$\text{COP} = 3.501$$

- bilans cieplny:

W idealnej pompie prawdziwa jest zależność:

$$Q_d + Q_e = Q_g$$

W stanowisku bilans zakłócają pompy obiegowe, które wprowadzają dodatkową energię do układu (przy 100% wystawienia jest to 100Ws) oraz brak izolacji termicznej czyli straty ciepła.

Obieg Carnota

Obieg termodynamiczny pomp ciepła odbywa się w zasadzie w odwrotnym cyklu Carnota.

Stanowisko umożliwia odczyt wszystkich temperatur i ciśnień w pompie.

Poszczególne punkty charakterystyczne:

1 – w parowniku, czynnik chłodniczy odparowuje w niskich temperaturach - pochłania ciepło [przemiana izobaryczna]. Temperatura T4, ciśnienie P0.

2 – sprężanie (kompresja) podnosi temperaturę i ciśnienie pary czynnika chłodniczego [przemiana izentropowa]. Temperatura T5, ciśnienie P1.

3 – w skraplaczu, dzięki kondensacji para czynnika chłodniczego oddaje ciepło [przemiana izobaryczna]. Temperatura T6, ciśnienie P1.

4 – zawór rozprężny - czynnik chłodniczy jest rozprężany, osiąga ciśnienie i temperaturę wyjściową [przemiana izentalpowa]. Temperatura T3, ciśnienie P0.

Dla powyższego przykładu:

Punkt 1: T4=15.8°C, P0=5,5bar;

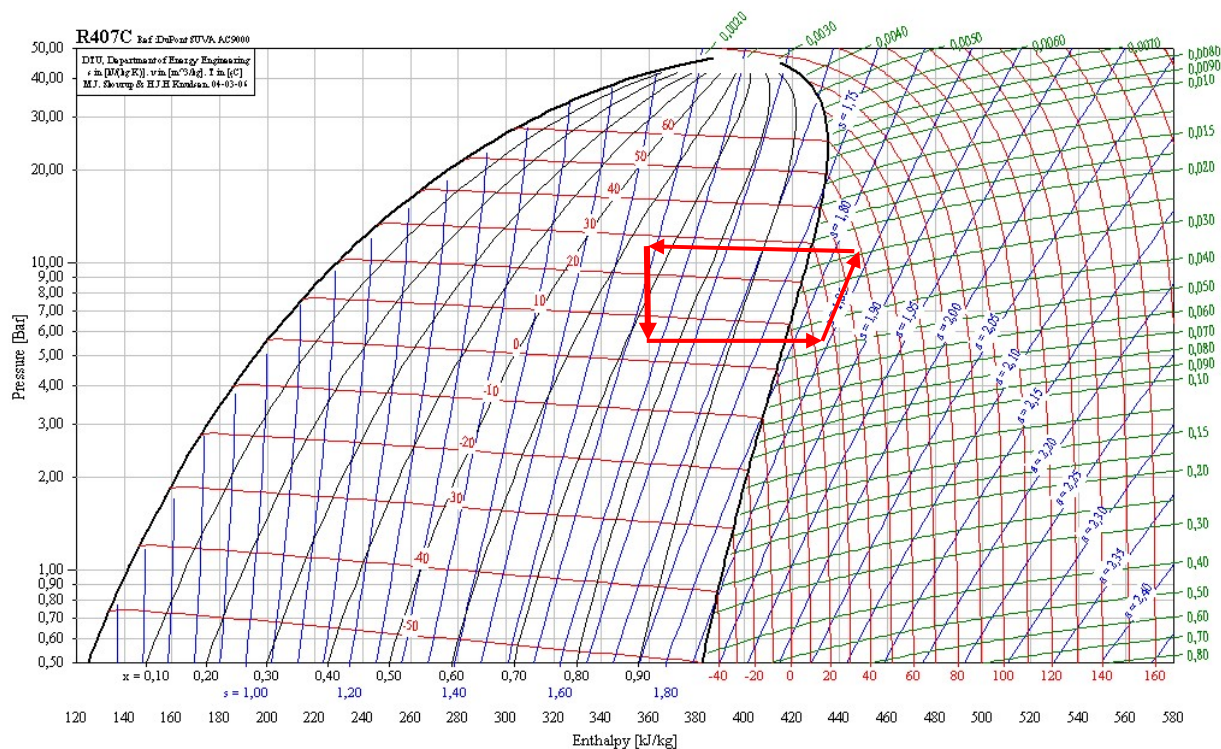
Punkt 2: T5=47.7°C, P1=15,0bar;

Punkt 3: T6=28.6°C, P1=15,0bar;

Punkt 4: $T_3=8.3^{\circ}\text{C}$, $P_0=5,5\text{bar}$;

Wykres fazowe dla czynnika R407C pobrane ze strony:

http://www.softdis.pl/addins/tablice/wykresy_freonow.htm



Dokumentacja towarzysząca

Spis załączonych rysunków:

0266.0.2.0000	SCHEMAT BLOKOWY
0266.0.2.0001	INSTALACJA ELEKTRYCZNA
0266.0.2.0002	UKŁAD STEROWANIA

Gwarancje i dokumentacje techniczno-ruchowe ważniejszych zainstalowanych w stanowisku podzespołów.