



Politechnika Wrocławska
Wydział Techniczno-Przyrodniczy

MD-581L

Badanie pompy energii termicznej

Stanowisko 2

Spis treści

1. Charakterystyka stanowiska.....	3
1.1. Funkcje dydaktyczne stanowiska:.....	3
1.2. Wyposażenie stanowiska:.....	3
1.3. Parametry sprężarki Embraco Aspera NEK6170Z:.....	5
1.4. Schemat elektryczny instalacji pompy ciepła.....	6
2. Pompa ciepła – podstawy teoretyczne.....	7
2.1. Pompa ciepła.....	7
2.2. Sprężarkowa pompa ciepła.....	7
2.3. Moc i efektywność sprężarkowej pompy ciepła.....	9
2.4. Rodzaje sprężarkowych pomp ciepła.....	9
3. BHP na stanowisku dydaktycznym	12
3.1. Wskazówki ogólne.....	12
3.2. Praca z instalacją pompy ciepła – zalecenia eksploatacyjne.....	12
3.3. Praca z instalacją pompy ciepła – czynnik chłodniczy R134a [4,5].....	12
3.4. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi.....	14
3.5. Konserwacja i przechowywanie stanowiska.....	14
3.6. Oprogramowanie.....	15
4. Oprogramowanie MD-Lab: MD-581LL.....	16
4.1. Opis interfejsu.....	16
4.2. Uruchomienie programu.....	17
5. Ćwiczenia.....	19
5.1. Cel ćwiczenia.....	19
5.2. Program.....	19
6. Bibliografia.....	21

1. Charakterystyka stanowiska

Stanowisko dydaktyczne MD-581L służy do demonstracji podstawowych zagadnień związanych z termodynamiką oraz Odnawialnymi Źródłami Energii (OZE).

Stanowisko przeznaczone jest do pracy w laboratorium/pracowni.

1.1. Funkcje dydaktyczne stanowiska:

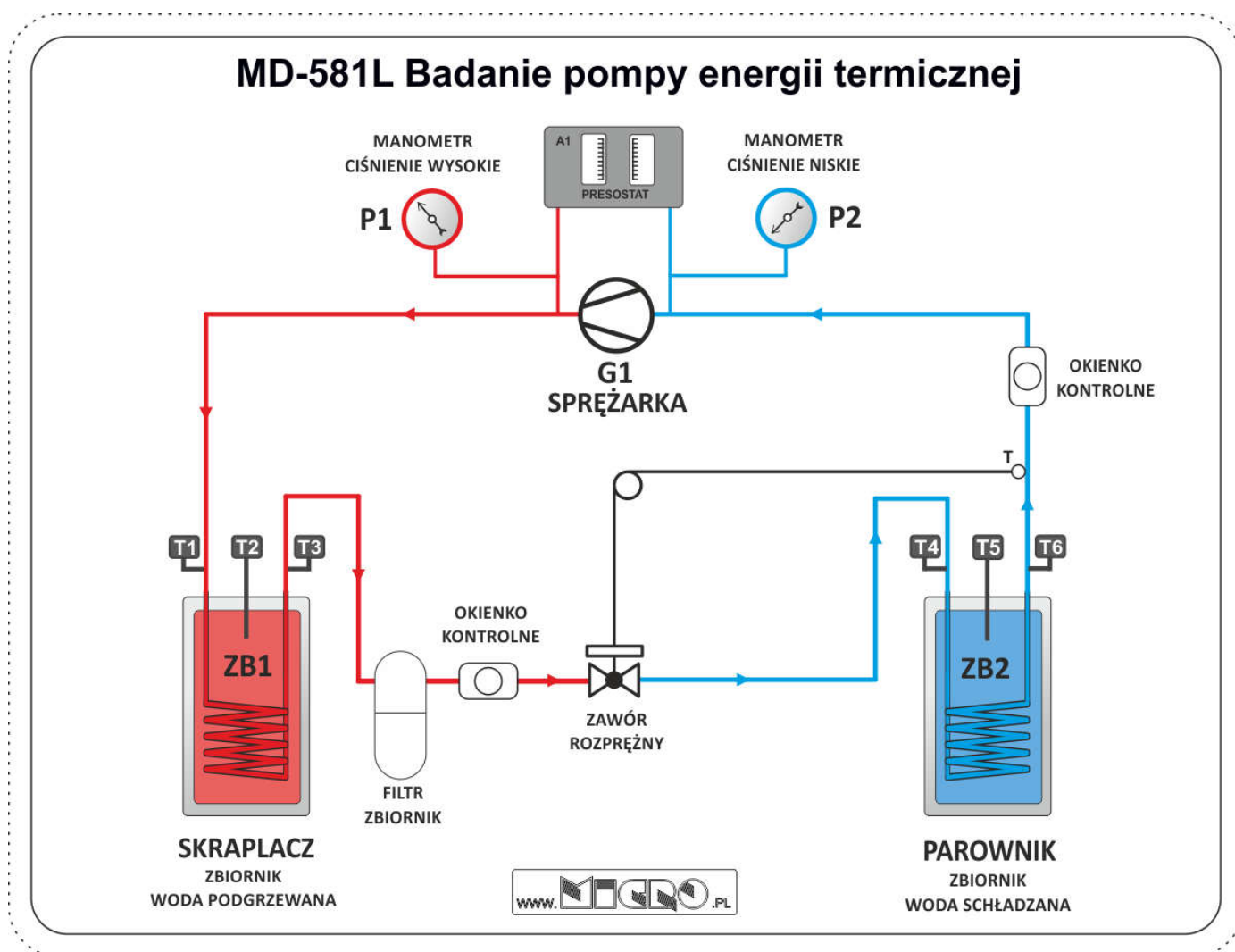
- poznanie zjawisk fizycznych towarzyszących pracy pompy ciepła,
- podstawy termodynamiki,
- identyfikacja elementów składowych pompy-ciepła,
- poznanie zasady działania sprężarkowej pompy ciepła powietrze-woda,
- pomiar efektywności pompy ciepła i badanie jej zależności od temperatury dolnego źródła ciepła.

1.2. Wyposażenie stanowiska:

- Sprężarka małej mocy Embraco Aspera NEK6170Z -1 szt.:
- Czynnik chłodniczy: R134a
- Instalacja elektryczna – 1 kpl.
- Model instalacji rurowej – 1 kpl.
- Skraplacz : spiralny, ilość zwojów: 8, wykonany z miedzi – 1 szt.:
- Parownik: spiralny, Ilość zwojów: 12, wykonany z miedzi – 1 szt.
- Zawór rozprężny – 1 szt.
- Presostat – 1 szt.
- Okienko inspekcyjne – 2 szt.
- Zbiornik badawczy ciepłej wody: poj. 3 l, z podstawką z tworzywa sztucznego – 1 szt.
- Zbiornik badawczy zimnej wody: poj. 3 l, z podstawką z tworzywa sztucznego – 1 szt.
- Schemat stanowiska – 1 szt.
- Zakresy pomiarowe:
- Temperatura: 0-100°C (6 punktów pomiarowych T1-T6)
- Ciśnienie niskie: do 250 psi
- Ciśnienie wysokie: do 500 psi
- Elementy konstrukcyjne i wykonawcze niezbędne do prawidłowej i bezawaryjnej pracy stanowiska badawczego

- Konstrukcja stanowiska z profili aluminiowych, umożliwiającą umieszczenie stanowiska na biurku/stoliku szkolnym
- Zasilanie stanowiska: sieciowe 1-fazowe, 230 V AC, 50 Hz
- **Wyposażenie uzupełniające:**
- Termometr – 2 szt.
- Licznik energii elektrycznej – 1 szt.
- Stoper – 1 szt.

Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1: Schemat stanowiska

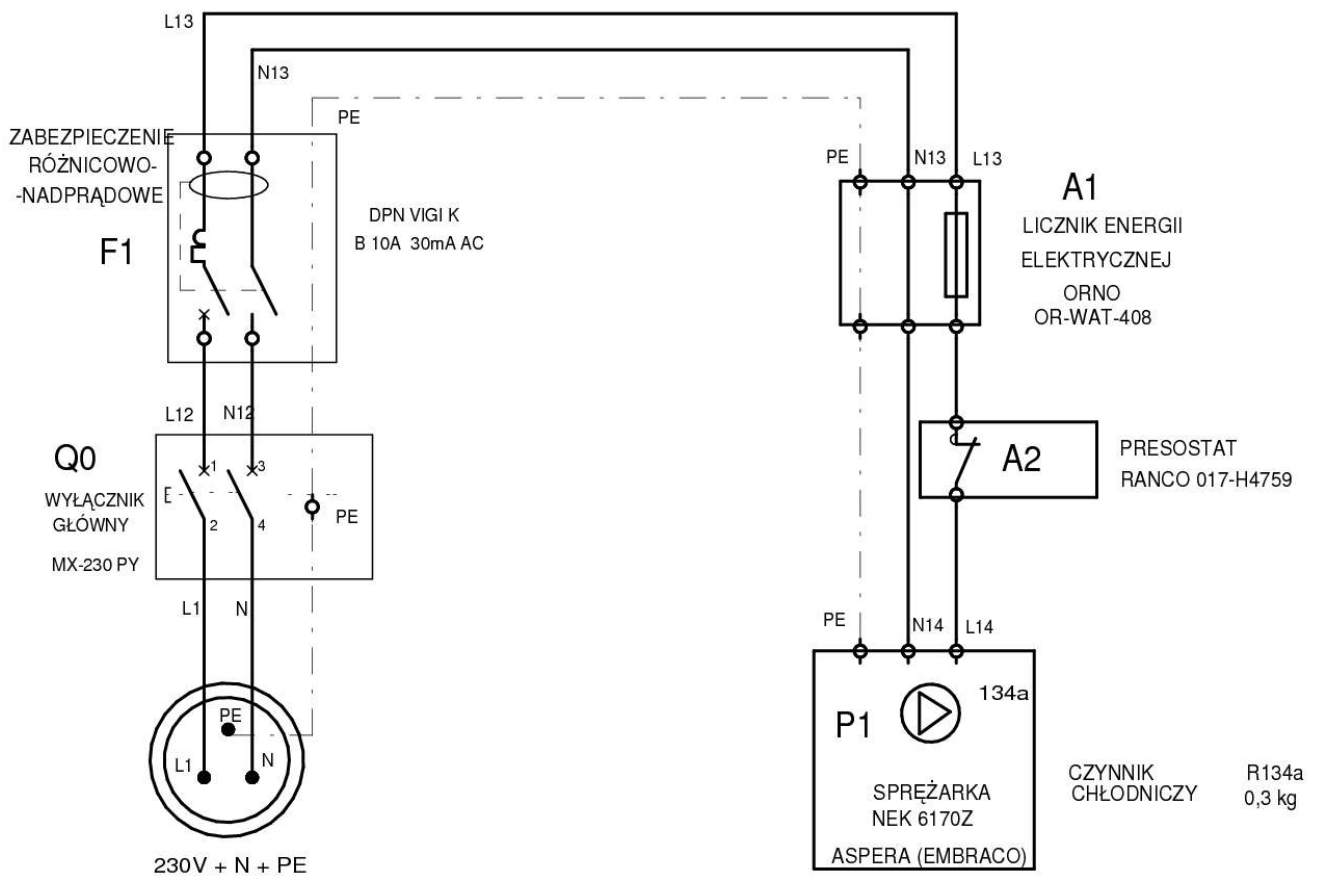
1.3. Parametry sprężarki Embraco Aspera NEK6170Z:



*Rys. 2: Sprężarka Embraco Aspera
NEK6170Z (Źródło: www.embraco.com)*

- Wydajność chłodnicza: 366W
- Czynnik chłodniczy: R134A
- Zakres HBP: -15 ÷ +10; C/V
- Zasilanie: 230/50Hz
- Pojemność skokowa: 8,39 cm³
- Typ silnika: CSIR
- Waga: 8kg
- Prąd rozruchowy: 16,5A

1.4. Schemat elektryczny instalacji pompy ciepła



Rys. 3: Schemat elektryczny stanowiska

2. Pompa ciepła – podstawy teoretyczne

2.1. Pompa ciepła

Pompa ciepła jest urządzeniem, które wykorzystuje różne zjawiska fizyczne w celu przekazania energii cieplnej ze środowiska o niskiej temperaturze do środowiska o temperaturze wyższej. Operacja ta wymaga wykonania pewnej pracy, co wynika z II zasady termodynamiki. W przypadku pompy ciepła użytej w na stanowisku pracę tę wykonuje elektryczna sprężarka.

Ze względu na sposób wykonywania pracy (rodzaj napędu), pompy ciepła możemy podzielić na trzy podstawowe grupy [1]:

- pompy ciepła absorpcyjne (z napędem cieplnym)
- pompy termoelektryczne – ogniwa Peltiera;
- pompy sprężarkowe – z silnikiem elektrycznym.

2.2. Sprężarkowa pompa ciepła

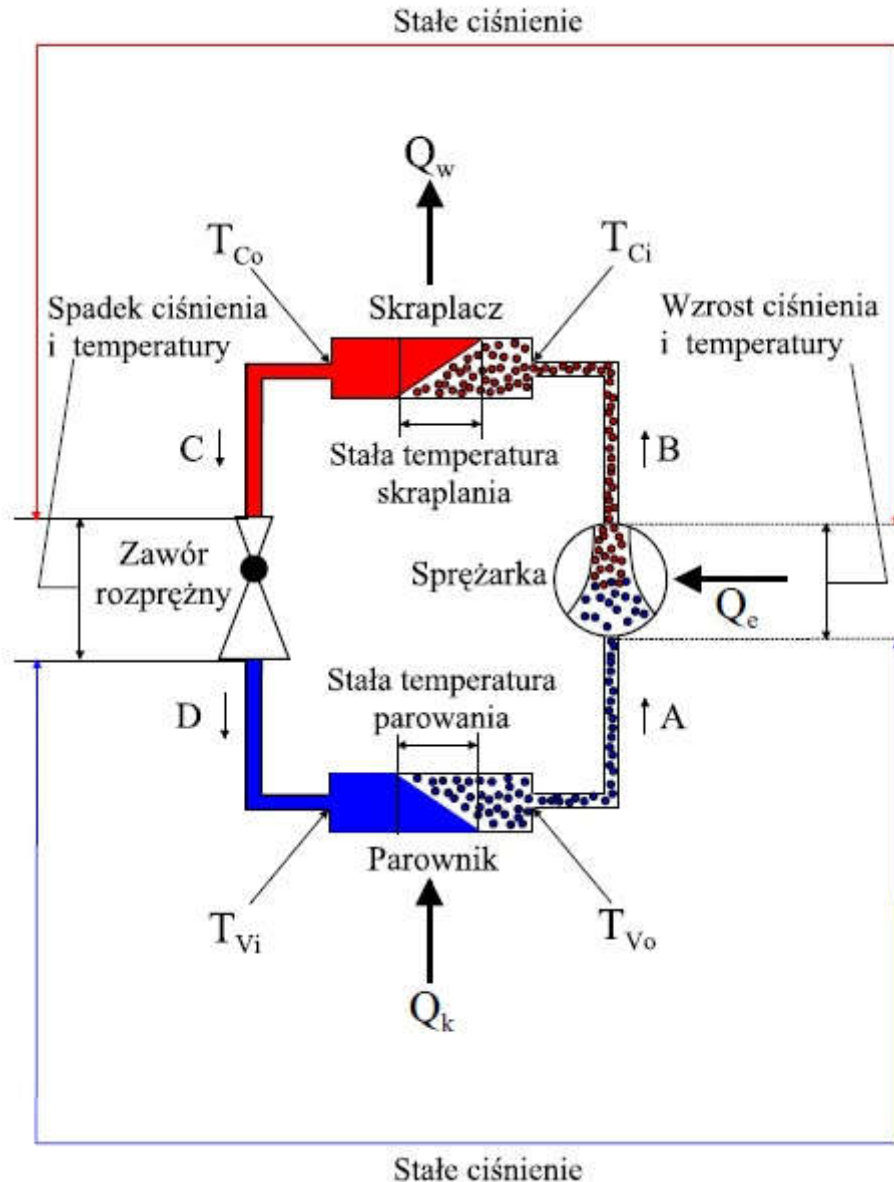
Sprężarkową pompę ciepła, w najprostszym ujęciu, tworzą dwa wymienniki – skraplacz i parownik, sprężarka elektryczna oraz zawór rozprężny połączone instalacją z czynnikiem roboczym (czynnikiem termodynamicznym). Układ ten, zwany obiegiem termodynamicznym, współpracuje z dwoma obiegami – obiegiem dolnego źródła ciepła i obiegiem górnego źródła ciepła.

Obieg dolnego źródła ciepła jest połączony z obiegiem termodynamicznym za pomocą parownika. Jego rolą jest odbieranie ciepła ze źródła niskotemperaturowego (dolnego źródła ciepła) np. otoczenia budynku – wody, gruntu, powietrza i przekazania go do strony pierwotnej parownika. Do wtórej strony parownika doprowadzony jest zimny czynnik termodynamiczny.

Obieg górnego źródła ciepła łączy się z obiegiem termodynamicznym przez skraplacz. Jego zadaniem jest przekazywanie ciepła od gorącego czynnika termodynamicznego do wysokotemperaturowego źródła ciepła (górnego źródła ciepła) np. budynku lub pomieszczenia. Do pierwotnej strony skraplacza doprowadzony jest czynnik termodynamiczny, natomiast do wtórej – czynnik roboczy górnego źródła ciepła np. woda grzewcza.

Pompa ciepła wykorzystuje dodatkowo odmienne właściwości fizyczne dolnego i górnego źródła ciepła: dzięki dużej pojemności cieplnej dolnego źródła ciepła praktycznie nie następuje jego wychłodzenie, natomiast pojemność cieplna górnego źródła ciepła jest relatywnie mała, w związku z czym przekazana energia wystarcza do jego ogrzania [2].

Na rys. 4 przedstawiono schemat ideowy sprężarkowej pompy ciepła.



Rys. 4. Schemat sprężarkowej pompy ciepła: ciepła: Q_k – ciepło pobrane ze środowiska zimnego, Q_w – ciepło dostarczone do środowiska ciepłego, Q_e – praca sprężarki [2]

W **obiegu termodynamicznym** następuje cykliczna zmiana stanu fizycznego czynnika roboczego – sprężanie, skraplanie, rozprężanie, parowanie.

Jednoskładnikowa para czynnika roboczego (A) zostaje sprężona za pomocą sprężarki, co należy rozumieć jako zwiększenie ciśnienia i temperatury czynnika roboczego.

Czynnik roboczy w stanie (B) trafia do skraplacza, gdzie ulega skropleniu przy stałym ciśnieniu i temperaturze. W trakcie kondensacji w skraplaczu wydziela się ciepło, dostarczane do górnego źródła ciepła.

Po opuszczeniu skraplacza czynnik w stanie (C) trafia do zaopatrzonego w termostat zaworu rozprężnego, w którym zostaje rozprężony od ciśnienia skraplania do ciśnienia parowania, osiągając stan (D).

Znajdująca się w stanie (D) mieszanina para – ciecz trafia do parownika, gdzie następuje jej odparowanie. W trakcie odparowania, w warunkach stałego ciśnienia i temperatury, czynnik roboczy pobiera ciepło z dolnego źródła ciepła. Po opuszczeniu parownika, w postaci pary o stanie (A), czynnik trafia ponownie do sprężarki.

2.3. Moc i efektywność sprężarkowej pompy ciepła

Parametrem pompy ciepła, pozwalającym na określenie jej sprawności (a pośrednio definiującym także cenę urządzenia) jest współczynnik efektywności cieplnej ε , inaczej zwany też COP (ang. *Coefficient of Performance*). Współczynnik efektywności ε to stosunek mocy grzewczej pompy ciepła do mocy pobranej z sieci:

$$\varepsilon (COP) = \frac{P_{grzewcza}}{P_{sieć}} .$$

Współczynnik efektywności sprężarkowej pompy ciepła w typowych instalacjach jest tym wyższy, im mniejsza jest różnica pomiędzy dolnym a górnym źródłem ciepła. Zazwyczaj osiąga wartość on wartość od 3 do 4,5.

2.4. Rodzaje sprężarkowych pomp ciepła

Podstawowym kryterium podziału sprężarkowych pomp ciepła jest rodzaj dolnego źródła, którym może być powietrze, woda lub grunt. Rozróżniamy cztery podstawowe typy sprężarkowych pomp ciepła [1]:

- powietrze – woda (P/W);
- woda – woda (W/W);
- solanka – woda (S/W);
- bezpośrednie parowanie – woda (BP/W).

Najprostszym źródłem ciepła dla pompy jest powietrze pobierane bezpośrednio z otoczenia. Niestety zimą temperatura spada poniżej -15°C i wówczas eksploatacja pompy ciepła jest nieopłacalna.

Często dolnym źródłem ciepła jest woda z otwartych zbiorników lub cieków wodnych. W strefie klimatu umiarkowanego ciężko jest znaleźć niezamarzający zbiornik wodny, dlatego bardzo często wykorzystuje się przypowierzchniowe wody gruntowe.

O ile woda i powietrze mogą być bezpośrednio wykorzystane przez pompę ciepła, pobieranie ciepła z gruntu wymaga dodatkowego wymiennika w postaci kolektora gruntowego z czynnikiem roboczym. Czynnik roboczy – tzw. solanka (mieszanina glikolu propylenowego z wodą) pobiera ciepło w kolektorze gruntowym, a następnie oddaje je w parowniku pompy ciepła.

Rozwiązaniem alternatywnym jest wykorzystanie jako parownik kolektora gruntowego z rur miedzianych wypełnionych czynnikiem termodynamicznym (pompa ciepła z bezpośrednim parowaniem).

Pompy ciepła powietrze-woda

Pompy ciepła powietrze-woda wykorzystują powietrze atmosferyczne jako dolne źródło ciepła. Korzystnym ekonomicznie źródłem powietrza dla pomp ciepła jest zużyte powietrze z urządzeń wentylacyjnych w budynkach mieszkalnych, obiektach przemysłowych czy rekreacyjnych.

W pompach typu powietrze-woda (rys. 5) powietrze jest doprowadzane do parownika za pomocą wentylatora. Instalacja pompy ciepła tego typu należy do tańszych i prostszych rozwiązań.



Rys. 5: Przykład komercyjnej pompy powietrze-woda - Galmet Easy Air Small 2GT [3]

Wyróżniamy trzy podstawowe typy pomp ciepła powietrze-woda [1]:

- zewnętrzne pompy P/W – kompaktowe urządzenia umieszczane poza budynkiem, z wentylatorem doprowadzającym powietrze bezpośrednio do parownika, wymagające dodatkowego zabezpieczenia przed trudnymi warunkami atmosferycznymi;

- wewnętrzne pompy P/W – kompaktowe urządzenia umieszczane w budynkach, do których powietrze jest doprowadzane kanałami z blachy ocynkowanej, rękawami powietrznymi lub tzw. rurą energetyczną¹);
- rozdzielone pompy P/W (tzw. pompy typu *split*) – z zewnętrznym parownikiem, który umieszczony jest poza urządzeniem głównym; elementy obiegu termodynamicznego są połączone rurociągami.

Moc grzewcza danego modelu pompy ciepła P/W jest zazwyczaj podawana dla kilku wartości powietrza dopływającego do parownika np. +10°C, +2°C, -7°C. Im niższa temperatura powietrza, tym moc pompy i współczynnik jej efektywności (ϵ) są mniejsze. Jednocześnie producenci pomp ciepła podają najniższą dopuszczalną temperaturę dolnego źródła ciepła.

Pompy ciepła woda-woda

Pompy ciepła woda-woda jako dolne źródło ciepła wykorzystują wodę pochodzącą z środowiska naturalnego lub wodę odpadową z procesów technologicznych.

Temperatura wody zasilającej nie może być niższa niż 7°C, dlatego w przypadku wód naturalnych wykorzystuje się:

- wody głębinowe -wysoki koszt odwiertu oraz energii elektrycznej zasilającej pompy głębinowe,
- wody gruntowe (podpowierzchniowe) - zalegające do 20 m pod powierzchnią gruntu, nie mogą to być wody stojące.

Woda musi spełniać określone parametry fizykochemiczne, aby nie powodować korozji elementów instalacji. Jeśli parametry wody są niekorzystne, stosuje się elementy pośrednie w postaci wymienników ciepła.

Pompy ciepła W/W małej mocy (od 10 do 15 kW) wymagają dostarczenia od 1,5 do 2,5 m³ wody na godzinę. Współczynnik COP dochodzi do 5,5.

¹Rura energetyczna zbudowana jest z porowatych kręgów betonowych o średnicy około 0,5 m, ułożonych zazwyczaj wokół budynku. Powietrze po przejściu około 50 m odcinka rury energetycznej jest osuszone, a jego temperatura wzrasta nawet o 10°C.

3. BHP na stanowisku dydaktycznym

3.1. Wskazówki ogólne

1. Zapoznać się z budową stanowiska dydaktycznego oraz rolą jego poszczególnych elementów.
2. Nie włączać i nie wyłączać zasilania urządzeń bez polecenia osoby prowadzącej zajęcia dydaktyczne.
3. Nie wolno zmieniać ustawień roboczych stanowiska bez instruktażu i zezwolenia osoby prowadzącej zajęcia dydaktyczne.
4. Nie manipulować przy pracujących urządzeniach.
5. Nie wolno demontować urządzeń, ich części oraz osłon, ani wykonywać innych czynności zagrażających bezpieczeństwu własnemu oraz innych osób przebywających w pracowni.
6. Wszelkie zauważone nieprawidłowości (np. uszkodzenia urządzeń, uszkodzenie izolacji elektrycznej, wyciek czynnika chłodniczego itp.) należy natychmiast zgłaszać osobie prowadzącej zajęcia.
7. Należy uważać, aby maszyny, przyrządy i aparatura pomiarowa nie uległy uszkodzeniom.
8. Nie wolno ustawiać urządzenia na zewnątrz budynku, w pomieszczeniach narażonych na zamrażanie, w pomieszczeniach narażonych na kurz, gazy lub łatwopalne pary.
9. Po skończonych zajęciach należy wyłączyć stanowisko oraz opróżnić zbiorniki pomiarowe.

3.2. Praca z instalacją pompy ciepła – zalecenia eksploatacyjne

1. Jednorazowy czas prowadzenia eksperymentu należy ograniczyć do 20 minut.
2. Podczas prowadzenia eksperymentów należy mieszać wodę w obu zbiornikach.
3. Podczas pracy pompy nie wolno dopuszczać do zalodzenia parownika.
4. Instalacja pompy ciepła jest wypełniona czynnikiem chłodniczym R134a.

3.3. Praca z instalacją pompy ciepła – czynnik chłodniczy R134a [4,5]

Czynnik chłodniczy R134a nie został sklasyfikowany jako niebezpieczny w myśl obowiązujących przepisów.

Pierwsza pomoc – uwagi ogólne

Wdychanie:

- W wysokich stężeniach działa dusząco. Powoduje utratę zdolności poruszania się i świadomości. Objawy to zawroty i bóle głowy, mdłości i zakłócenia koordynacji ruchu. Brak zauważalnych objawów duszenia się.
- W niskich stężeniach wykazuje działanie odurzające.
- Osobę poszkodowaną usunąć ze skażonego środowiska, samemu zabezpieczając się w urządzenie chroniące drogi oddechowe. Zapewnić ciepło i spokój, w razie potrzeby zastosować sztuczne oddychanie i zapewnić pomoc lekarską.

Kontakt ze skórą:

- Miejsce kontaktu natychmiast przemyć dużą ilością wody.
- Natychmiast zdjąć skażone ubranie.

Kontakt z oczami:

- W przypadku kontaktu z oczami przemywać oczy przez co najmniej 15 minut dużą ilością wody.
- Zapewnić pomoc lekarską.

Spożycie:

- Nie ma możliwości zaistnienia.

Postępowanie w przypadku pożaru

Gaz niepalny. Pod wpływem ognia lub wysokiej temperatury butle z gazem mogą pękać i wybuchać.

Niebezpieczne produkty spalania:

- W wyniku termicznego rozkładu mogą tworzyć się toksyczne i żrące opary fluorowodoru.

Środki gaśnicze:

- Można stosować wszelkie dostępne środki gaśnicze.

Sposób postępowania:

- Jeżeli to możliwe bez narażenia zdrowia i życia, usunąć pojemniki z zagrożonego obszaru lub je intensywnie chłodzić wodą z bezpiecznego miejsca.
- Jeśli możliwe zatrzymać wypływ gazu.
- Zawiadomić Straż Pożarną.

Środki ochronny indywidualnej dla strażaków:

- Założyć sprzęt do oddychania z obiegiem zamkniętym i odzież ochronną.
- Strażacy muszą mieć osobiste środki ochrony odporne na działanie ognia
- Nosić narzutkę odporną na chemikalia
- Chronić ekipę ratowniczą rozpylonym strumieniem wody po osiągnięciu strefy ognia.

- Dokładnie czyścić skażone powierzchnie.

3.4. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi

1. Zasilanie stanowiska dydaktycznego: 230 V AC,
2. Należy przestrzegać ogólnych przepisów użytkowania instalacji oraz szczegółowych zaleceń eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych.
3. Napięcie bezpieczne (robocze i dotyku) w zależności od warunków środowiskowych wynosi:
 - a) dla prądu przemiennego:
 - 50 V (pomieszczenia suche),
 - 25 V (pomieszczenia mokre i gorące);
 - b) dla prądu stałego:
 - 120 V (pomieszczenia suche),
 - 60 V (pomieszczenia mokre i gorące).
4. Skutki oddziaływania prądu przemiennego na człowieka:
 - $I > 25$ mA – początek skurczów mięśni;
 - $I > 70$ mA – początek migotania komórek sercowych;
 - $I > 200$ mA – migotanie komórek serca (skurcz mięśni sercowych – ograniczenie krążenia krwi);
 - $I > 3$ A – paraliż i zatrzymanie pracy serca;
 - $I > 5$ A – zwęglenie tkanek organizmu.
5. **Osobie, która uległa porażeniu prądem elektrycznym, należy bezzwłocznie udzielić pierwszej pomocy!**

3.5. Konserwacja i przechowywanie stanowiska

1. Stanowisko należy przechowywać w pomieszczeniu zamkniętym.
2. Nie wolno bez wyraźnej potrzeby dotykać powierzchni ogniw fotowoltaicznych ze względu na powstawanie zabrudzeń.
3. Powierzchnie ogniw fotowoltaicznych czyścić roztworem alkoholu izopropylowego.
4. W celu zabezpieczenia stanowiska przed nadmiernym zabrudzeniem, należy regularnie przecierać konstrukcję delikatnie zwilżoną szmatką/gąbką lub przedmuchiwać sprężonym powietrzem.

3.6. Oprogramowanie

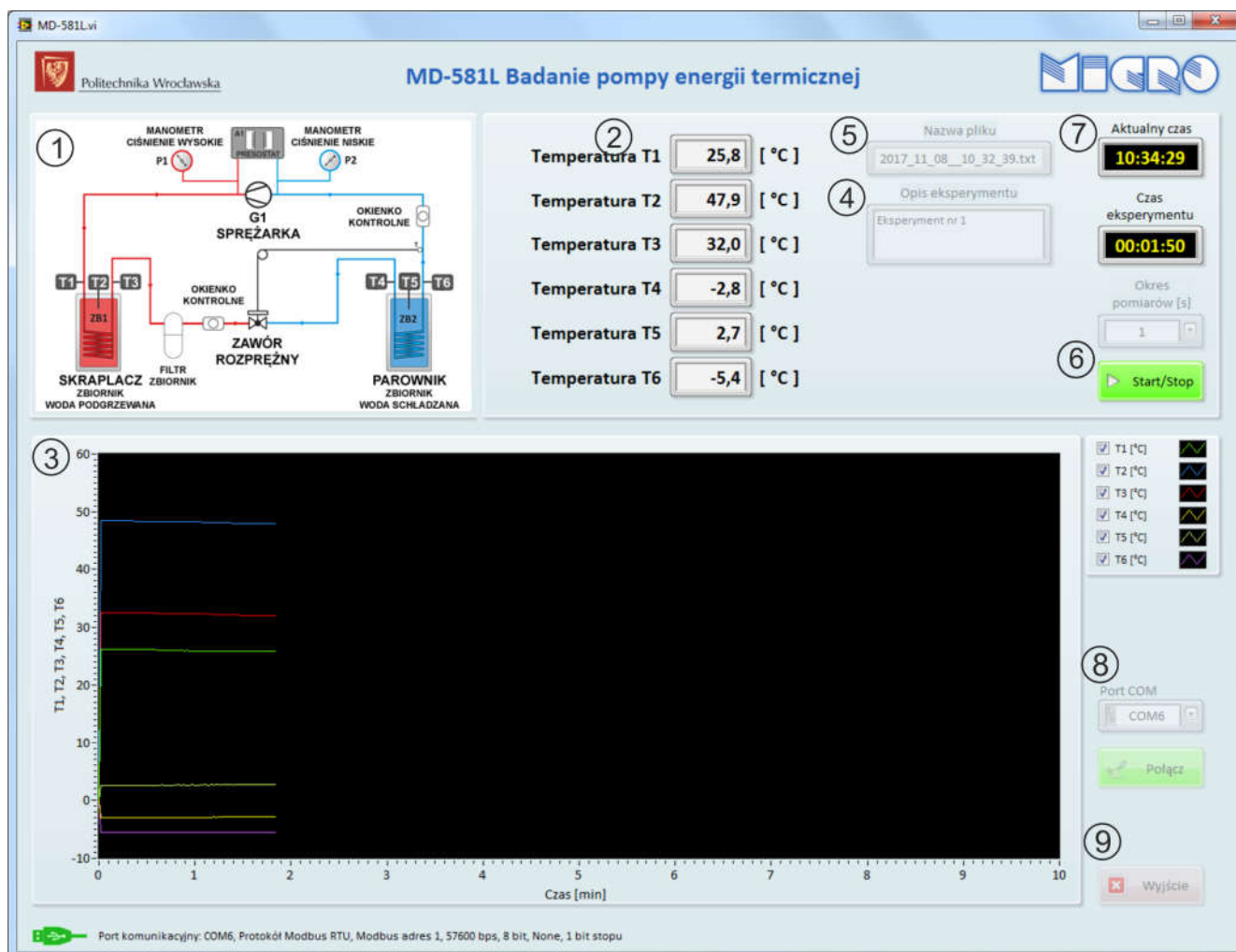
1. Do pracy na stanowisku MD-581LL wymagane jest oprogramowanie MD-581LL.
2. Do stanowiska MD-581LL **nie wolno podłączać innego oprogramowania** niż MD-581LL. Niespełnienie tego warunku grozi uszkodzeniem stanowiska.
3. Wymagania sprzętowe: komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows 7 lub nowszym, monitor o rozdzielczości min. 1600 x 900.
4. Wymagania pozostałe: zainstalowane bezpłatne środowisko uruchomieniowe *LabVIEW Run-Time Engine* oraz *NI-VISA Run-Time Engine*, dostarczone razem ze stanowiskiem (oprogramowanie jest także dostępne do pobrania na stronie producenta: <http://www.ni.com>).

Ważne!

Do stanowiska MD-581LL nie wolno podłączać oprogramowania innego niż przeznaczone.

4. Oprogramowanie MD-Lab: MD-581LL

4.1. Opis interfejsu



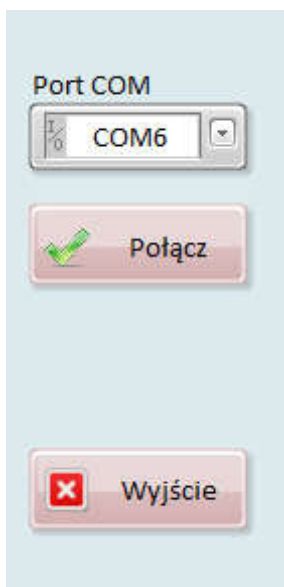
Rys. 6: Okno startowe programu MD-Lab dla stanowiska MD-581LL

Lp.	Nazwa	Opis
1.	Schemat	Schemat układu pomiarowego
2.	Pomiary	Prezentacja liczbowa danych pomiarowych ze stanowiska
3.	Wykres i legenda	Graficzna prezentacja danych pomiarowych
4.	Opis eksperymentu	Umożliwia dodanie komentarza użytkownika do pliku z danymi pomiarowymi
5.	Nazwa pliku	Nazwa pliku – generowana automatycznie – zawiera datę i

		godzinę
6.	Przycisk Start/Stop	Rozpoczęcie/zakończenie pomiaru
7.	Czas eksperymentu, aktualny czas, Okres pomiarów	Informacje o czasie trwania eksperymentu i okresie próbkowania
8.	Ustawienia komunikacji	Opcje wyboru portu COM.
8.	Przycisk Połącz	Nawiązuje połączenie między programem sterującym a regulatorem.
9.	Przycisk Zakończ	Zamyka program.

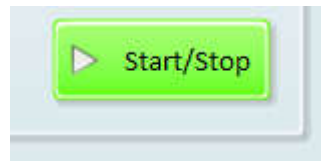
4.2. Uruchomienie programu

1. Uruchomić aplikację MD-581LL.
2. Program domyślnie uruchamia się w trybie oczekiwania, bez nawiązywania połączenia ze stanowiskiem.
3. Wybrać odpowiedni **port COM** (Rys.7), a następnie nawiązać połączenie z regulatorem używając przycisku **Połącz** (Rys.8).



Rys. 7: Ustawienia komunikacji

Po nawiązaniu komunikacji należy uruchomić zapis do pliku przyciskiem Start/Stop (Rys.8), który po rozpoczęciu zapisu będzie podświetlony na zielono.



Rys. 8: Zapis do pliku

5. Ćwiczenia

5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika efektywności pompy ciepła typu woda-woda.

5.2. Program

1. Sprawdzić kompletność wyposażenia stanowiska. Ewentualne braki zgłosić prowadzącemu.
2. Przy pomocy zlewki z miarką nalać po 2 l wody wodociągowej i napęlnić każdy ze zbiorników badawczych.
3. Należy pamiętać, że spirale wymienników ciepła muszą być całkowicie zanurzone w wodzie, a woda w zbiorniku skraplacza (zbiornik lewy) nie może być chłodniejsza niż woda w zbiorniku parownika (zbiornik prawy).
4. Dokładnie wymieszać wodę w zbiornikach.
5. Umieścić termometry w zbiornikach badawczych.
6. Dokonać następujących pomiarów.
 - ciśnienia za skraplaczem p_1 ,
 - ciśnienia za parownikiem p_2 ;
 - temperatury wody w zbiorniku skraplacza T_1 oraz temperatury wody w zbiorniku parownika T_2 ;
7. Włączyć zasilanie stanowiska.
8. Włączyć stoper.
9. Podczas doświadczenia ciepła należy przez cały czas intensywnie mieszać wodę w zbiornikach, posługując się mieszadłkami.
10. Pomiaru należy notować w Tabeli 1 co około 2 minuty:
 - termometrów (T_1 , T_2),
 - manometrów (p_1, p_2),
 - watomierza P.
11. Po około max. 20 minutach należy zakończyć pomiar.
12. Wyłączyć pompę ciepła.
13. Po zakończeniu pomiarów należy wyłączyć zasilanie stanowiska, a następnie opróżnić zbiorniki badawcze.
14. Sporządzić wykresy zależności temperatury T_1 i T_2 od czasu t .

15. Sporządzić wykresy zależności temperatury p_1 i p_2 od czasu t .
16. Obliczyć średnią moc Q_w [W] pobieraną przez wodę w zbiorniku skraplacza w kolejnych przedziałach czasu korzystając z przybliżonego wzoru:

$$Q_w = c_w m_w \frac{\Delta T_1}{\Delta t}$$

gdzie

$$c_w \left[\frac{J}{kg K} \right] \text{ - ciepło właściwe wody } c_w = 4189,9 \frac{J}{kg K}$$

m_w [kg] - masa wody w zbiorniku,

$\frac{\Delta T_1}{\Delta t} \left[\frac{K}{s} \right]$ - przyrost temperatury wody w zbiorniku w jednostce czasu,

Należy zwrócić uwagę na jednostki wielkości fizycznych.

17. Obliczyć współczynnik efektywności pompy ciepła ε w kolejnych przedziałach czasu korzystając ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{Q_w}{P}$$

gdzie

P [W] – moc napędowa sprężarki,

Q_w [W] – średnia moc pobierana przez wodę w zbiorniku skraplacza

Wzór tabeli pomiarowej:

Tabela 1. Wyniki pomiarów								
t [min]	0	2	4	6	8	10	12	16
T ₁ [°C]								
T ₂ [°C]								
p ₁ [bar]								
p ₂ [bar]								
P [W]								

6. Bibliografia

- [1] M. Zawadzki, *Kolektory słoneczne, pompy ciepła na tak*, Wyd. Polska Ekologia 2003
- [2] P. Grygiel, H. Sodolski, *Laboratorium Konwersji Energii*, skrypt, Politechnika Gdańska 2006
- [3] BHP i małoskalowe instalacje solarne, praca zbiorowa, Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy, <http://osha.europa.eu>
- [4, 5] Karty charakterystyki czynnika roboczego R134a.