

## Ćwiczenie Nr 558

### Temat: Pomiar efektywności pompy ciepła.

#### I. Zagadnienia teoretyczne:

1. Parowanie i skraplanie, entropia, pierwsza i druga zasada termodynamiki, przemiana termodynamiczna, przemiany odwracalne i nieodwracalne, przemiana izotermiczna, przemiana izobaryczna, przemiana adiabatyczna
2. Zasada działania i zastosowanie pompy ciepła, obieg sprężarkowej pompy ciepła, współczynnik efektywności pompy ciepła.

#### II. Literatura:

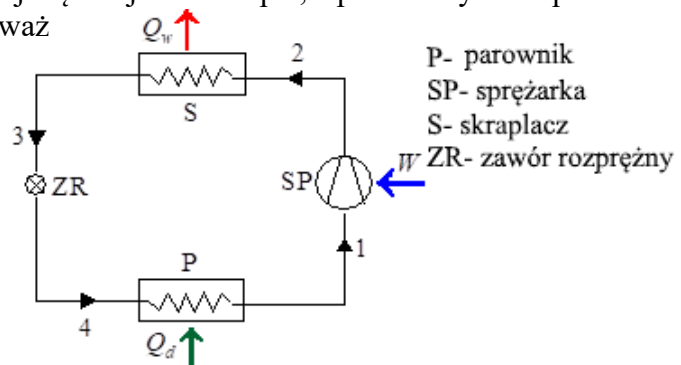
1. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, część II. Praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk i J. Typka (str. 53, 126)
2. Praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice”, PWN, W-wa 1978 i następne wydania..
2. <http://pga.org.pl/biblioteka/multimedia/prezentacje/pompy%20ciepla.pdf>.
3. [https://www.youtube.com/watch?v=Hr\\_qrZSGEpA](https://www.youtube.com/watch?v=Hr_qrZSGEpA)
4. <http://ogrzewanie.drewnozamiastbenzyny.pl/jak-dzialaja-pompy-ciepla/>

#### III. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania pompy ciepła, pomiar efektywności pompy ciepła i zbadanie efektywności pompy ciepła w zależności od temperatury źródła o niższej temperaturze.

#### IV. Zasada działania:

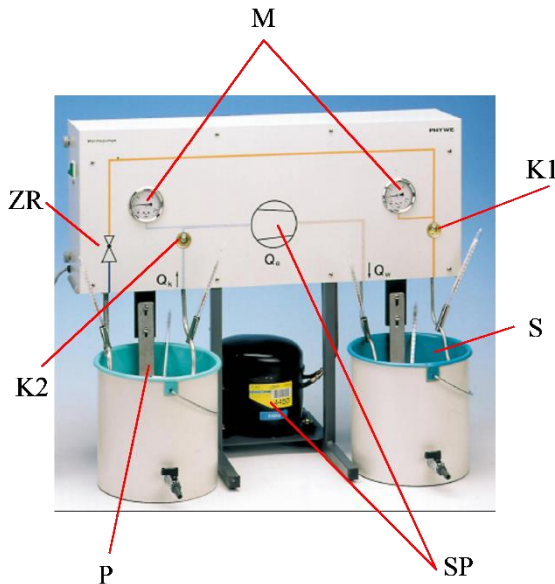
Pompa ciepła, podobnie jak domowa lodówka, transportuje ciepło z obszaru chłodniejszego do obszaru o wyższej temperaturze. O ile jednak w lodówce zainteresowani jesteśmy głównie odprowadzeniem ciepła z wnętrza i nie interesuje nas specjalnie co się dzieje z ciepłem odprowadzonym na zewnątrz, to w przypadku pompy ciepła zależy nam głównie na dostarczeniu do wnętrza jak największej ilości ciepła, a pobieramy to ciepło z jakiegoś dość odległego otoczenia. Ponieważ zgodnie z II zasadą termodynamiki bezpośredni przepływ ciepła możliwy jest tylko od ciała o wyższej temperaturze do ciała o temperaturze niższej, w pompie ciepła wykorzystujemy określone przemiany termodynamiczne pozwalające obejść tę trudność. Ponieważ zależy nam na pobraniu ciepła z miejsca o niskiej temperaturze musimy na samym początku obiegu posiadać ciecz, której temperatura jest niższa niż temperatura miejsca, z którego pobieramy ciepło. Rysunek obok ilustruje sposób działania pompy ciepła.



Wykorzystuje się tu właściwości czynnika roboczego - specjalnego płynu<sup>(\*)</sup> wypełniającego instalację

wewnętrznej pompy ciepła. Czynnik roboczy przepływający przez wymiennik ciepła tzw. parownik ogrzewa się pobierając ciepło  $Q_d$  z *dolnego źródła ciepła* (czyli z chłodniejszego otoczenia) i parując zamienia się w gaz. Czynnik roboczy w postaci gazowej trafia do sprężarki, gdzie w wyniku kompresji znacznie

wzrasta jego temperatura i ciśnienie. Następnie przegrzana para ochładza się i skrapla w wymienniku ciepła, tzw. skraplaczu, podczas oddawania ciepła  $Q_w$  do **górnego źródła ciepła**, czyli np. centralnego ogrzewania, zbiornika ciepłej wody użytkowej itp.. Po zredukowaniu wysokiego ciśnienia w zaworze rozprężnym, czynnik roboczy wraca do parownika i cały proces rozpoczyna się ponownie.



Elementy badanej pompy ciepła (P - parownik, SP – sprężarka, S - skraplacz, ZR - zawór rozprężny K1, K2 - okienka kontrolne, M – manometry)

Przewód prowadzący do sprężarki przedstawiony jest w formie niebieskich punktów (zimna para), podczas gdy przewód wychodzący ze sprężarki oznaczony jest punktami czerwonymi (ciepła para). W okienku kontrolnym K1, umieszczonym za skraplaczem można zaobserwować czynnik roboczy w postaci płynu, który może zawierać pęcherzyki pary. Przewód wychodzący ze skraplacza oznaczony jest ciągłą czerwoną linią (ciepła ciecz). W okienku kontrolnym K2 umieszczonym za parowaczem można zobaczyć przepływający gaz lub parującą ciecz.

## V. Metoda pomiarowa:

Należy podkreślić, że pompa ciepła nie wytwarza ciepła, a jedynie przenosi je. Aby to było możliwe niezbędne jest wykonanie pewnej pracy. Z pompy ciepła otrzymujemy kilka razy więcej ciepła niż włożyliśmy do niej energii elektrycznej zużytej do pracy sprężarki.

Określa to tzw. Współczynnik efektywności pompy ciepła

$$\varepsilon = \frac{|Q_w|}{|W|} = \frac{\text{Ciepło oddane w skraplaczu}}{\text{Praca}}$$

Ciepło  $Q_w$  to nie tylko ciepło pobrane z **dolnego źródła ciepła**, lecz także ciepło uzyskane wskutek pracy  $W$  sprężarki:

$$Q_w = Q_d + W$$

Doskonałość rzeczywistego urządzenia oceniamy przez porównanie jego współczynnika efektywności z maksymalną wydajnością określoną przez II zasadę termodynamiki. Po kilku przekształceniach (Lit. 1), uzyskamy wzór:

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_B}{T_B - T_A}; \quad (1)$$

$T_A, T_B$  – temperatury odpowiednio źródła dolnego i źródła górnego

Uwaga:

**Temperatura  $T_B$  w liczniku tego wyrażenia musi być wyrażona w kelwinach (natomiast różnica  $T_B - T_A$  w mianowniku jest w obu skalach Kelwina i Celsjusza taka sama)**

W naszym doświadczeniu współczynnik efektywności wyznaczymy mierząc moc pobraną przez wodę  $P_1$  (źródło górne) w stosunku do pobranej mocy elektrycznej  $P$ .

Moc pobrana przez wodę obliczymy jako stosunek pobranego przez wodę ciepła, do czasu w którym to nastąpiło, czyli :

$$\varepsilon = \frac{P_1}{P} = \frac{Q_w / \Delta t}{P}$$

$Q_w$  obliczymy ze znanego wzoru:

$$Q_w = m_w \cdot c_w \cdot \Delta T_B$$

$m_w$ - masa wody w zbiorniku;  $c_w$ - ciepło właściwe wody

Ostatecznie:

$$P_1 = m_w \cdot c_w \cdot \frac{\Delta T_B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = \frac{m_w \cdot c_w \cdot \frac{\Delta T_B}{\Delta t}}{P}; \quad (2)$$

-----  
(\* W pierwszych urządzeniach stosowano jako czynnik roboczy freon. Obecnie stosuje się płyny o specjalnie dobranych właściwościach i nie zagrażających bezpośrednio środowisku. W stosownym u nas urządzeniu czynnikiem roboczym jest Solkane, a jego własności zebrane są w tabeli (Lit. 1).

## VI. Wykonanie ćwiczenia:

*Termometry, licząc od lewej oznaczają odpowiednio  $T_1, T_2, T_A$ - temperatury na wejściu i na wyjściu wymiennika dolnego oraz temperaturę źródła dolnego  
 $T_3, T_4, T_B$ - temperatury na wejściu i na wyjściu wymiennika górnego i temperaturę źródła górnego.*

*Kreską oznaczyłem poziom odpowiadający objętości 4 l. Jest to sposób wygodny i przy uważnym napełnianiu wiaderk dający niepewność pomiaru objętości nie gorszą niż 0,1 l.*

1. Za pomocą podłączonego do kranu węża napełnić oba wiaderka wodą do poziomu zaznaczonego kreską na uchwycie wężownic.
2. W pierwszym rzędzie tabeli (czas 0 min.) zapisać wskazania termometrów i manometrów.
3. Uruchomić miernik mocy. Lewy wyświetlacz ( jeśli nie dokonamy żadnych zmian na przednim panelu urządzenia) wskaże nam, po włączeniu pompy ciepła, moc pobieraną z sieci.
4. Uruchomić pompę ciepła i włączyć stoper.
5. Chwilę przed upływem 2 minut intensywnie zamieszać wodę w obu wiaderkach posługując się szklanymi prętami.
6. Gdy miną 2 minuty zapisać wartości temperatur, ciśnień i pobieranej mocy. Ponieważ odczyty i notowanie tych wartości zajmuje nieco czasu w pierwszej kolejności proszę zapisywać wartości temperatur  $T_A$  i  $T_B$ , gdyż tylko te temperatury posłużą nam do obliczeń. Nie wyłączać stopera.
7. Po upływie każdych kolejnych 2 minut powtarzać czynności opisane w
8. punktach 5 i 6.
9. Urządzenie samoczynnie wyłącza się po 16 minutach.
10. Opróżnić zbiorniki wody do zlewu za pomocą węży spustowych podłączonych do wiaderk.

## V. Opracowanie wyników pomiarów.

- Sporządzić wykresy zależności:
  - Temperatury od czasu po stronie parownika:  
Na jednym wykresie umieścić trzy krzywe  $T_1(t)$ ,  $T_2(t)$ ,  $T_A(t)$
  - Temperatury od czasu po stronie skraplacza:  
Na jednym wykresie umieścić trzy krzywe  $T_3(t)$ ,  $T_4(t)$ ,  $T_B(t)$ .
  - Ciśnienia czynnika roboczego  $p_1$  i  $p_2$  w funkcji czasu.
- Na oddzielnym wykresie ponownie nanieść zależność  $T_B(t)$  i za pomocą regresji liniowej wyznaczyć współczynnik kierunkowy  $a$  prostej najlepiej dopasowanej do wyników pomiarów i jego niepewność  $u(a)$ . Współczynnik ten  $a = \frac{\Delta T_B}{\Delta t}$  określa przyrost temperatury wody w zbiorniku w funkcji czasu.
- Korzystając z przybliżonego wzoru:

$$P_1 = m_w \cdot c_w \cdot \frac{\Delta T_B}{\Delta t}$$

$m_w$ - masa wody w zbiorniku;  $c_w=4190 \text{ J/kgK}$  - ciepło właściwe wody

obliczyć średnią moc pobieraną przez wodę w skraplaczu w czasie pomiaru i jej niepewność (niepewność ciepła właściwego pomijamy):

$$u(P_1) = \sqrt{\left(\frac{\partial P_1}{\partial m} u(m)\right)^2 + \left(\frac{\partial P_1}{\partial a} u(a)\right)^2} = P_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(a)}{a}\right)^2}$$

$a$  oraz  $u(a)$  opisano w punkcie 2;

$m$  oraz  $u(m)$  to masa 4 l wody i masa 0,1 l wody (patrz uwagi powyżej)

- Na podstawie danych w tabeli pomiarowej obliczyć średnią moc  $P$  sprężarki podczas eksperymentu.
- Obliczyć efektywność pompy ciepła:

$$\varepsilon = \frac{P_1}{P}$$

- Obliczyć maksymalną, teoretyczną efektywność badanej pompy ciepła:

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_B}{T_B - T_A};$$

Temperatura  $T_B$  w liczniku tego wyrażenia musi być wyrażona w kelwinach  
(natomiast różnica  $T_B - T_A$  w mianowniku jest w obu skalach Kelwina i Celsjusza taka sama)  
Temperatury  $T_B$  i  $T_A$  proszę wziąć z ostatniej serii pomiarów

- Porównać efektywność badanej pompy ciepła z efektywnością teoretyczną i odpowiedzieć na pytanie jakie czynniki w sposób decydujący wpływają na tę efektywność.

