

Ćwiczenie Nr 508

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:

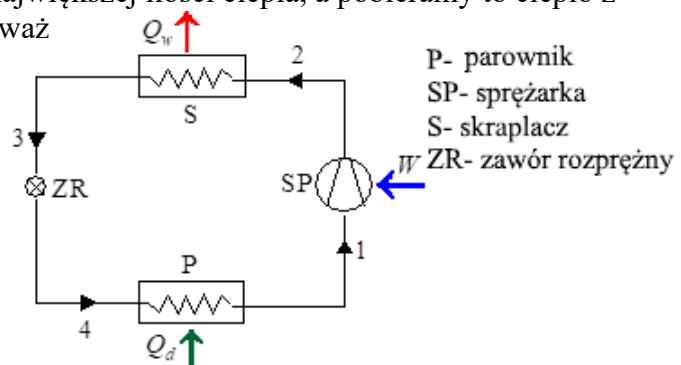
1. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, część II. Praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk i J. Typka (str. 53, 126)
2. Praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice”, PWN, W-wa 1978 i następne wydania..
3. <http://pga.org.pl/biblioteka/multimedia/prezentacje/pompy%20ciepla.pdf>.
4. 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:

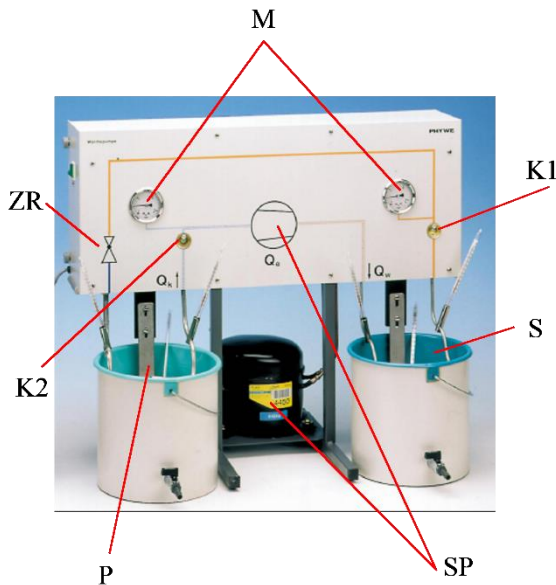
Pompa ciepła, podobnie jak domowa lodówka, transportuje ciepło z obszaru chłodniejszego do obszaru o wyższej temperaturze. O ile jednak w lodówce zainteresowani jesteśmy głównie odprowadzeniem ciepła z wnętrza i nie interesuje nas specjalnie co się dzieje z ciepłem odprowadzonym na zewnątrz, to w przypadku 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 ciec, 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^(*) 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. Zamknąć kraniki do spuszczenia wody w obu wiaderkach.
2. Za pomocą podłączonego do kranu węża napełnić oba wiaderka wodą do poziomu zaznaczonego kreską na uchwycie wężownicy.
3. W pierwszym rzędzie tabeli (czas 0 min.) zapisać wskazania termometrów i manometrów. Przy tym pierwszym pomiarze nie zapisywać mocy pobranej (gdyż na tym etapie moc pobrana wynosi 0).
4. Uruchomić miernik mocy (wyłącznik na tylnej ściance przyrządu). Lewy wyświetlacz (jeśli nie dokonamy żadnych zmian na przednim panelu urządzenia) wskaże nam, po włączeniu pompy ciepła, moc pobieraną z sieci.
5. Uruchomić pompę ciepła i włączyć stoper.
6. Chwilę przed upływem 2 minut intensywnie zamieszać wodę w obu wiaderkach posługując się szklanymi prętami.
7. Gdy miną 2 minuty zapisać wartości temperatur, ciśnień i pobieranej mocy. Ponieważ odczyty i notowanie tych wartości zajmują nieco czasu, w pierwszej kolejności proszę zapisywać wartości temperatur T_A i T_B , gdyż tylko te temperatury posłużą nam do obliczeń. Dla ułatwienia (jeśli masz aparat) można zrobić zdjęcie przedniego panelu pompy i spokojnie, w ciągu dwóch minut do następnego pomiaru, przepisać do tabeli wskazania termometrów i manometrów. Nie wyłączać stopera.
8. Po upływie każdego kolejnych 2 minut powtarzać czynności opisane w punktach 6 i 7.
9. Urządzenie samoczynnie wyłącza się po ok. 16 minutach.
10. **Wyłączyć miernik mocy i pompę ciepła (zielony przycisk).**
11. Opróżnić zbiorniki wody do zlewu za pomocą węży spustowych podłączonych do wiaderk.

V. Opracowanie wyników pomiarów.

1. Sporządzić wykresy zależności:
 - a) Temperatury od czasu po stronie parownika:
Na jednym wykresie umieścić trzy krzywe $T_1(t)$, $T_2(t)$, $T_A(t)$
 - b) Temperatury od czasu po stronie skraplacza:
Na jednym wykresie umieścić trzy krzywe $T_3(t)$, $T_4(t)$, $T_B(t)$.
 - c) Ciśnienia czynnika roboczego p_1 i p_2 w funkcji czasu.
2. 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. Na tym wykresie czas powinien być wyrażony w sekundach (aby moc P_1 wyrażona była w watach).
3. Korzystając z przybliżonego wzoru:

$$P_1 = m_w \cdot c_w \cdot a$$

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)

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

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

6. 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

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

