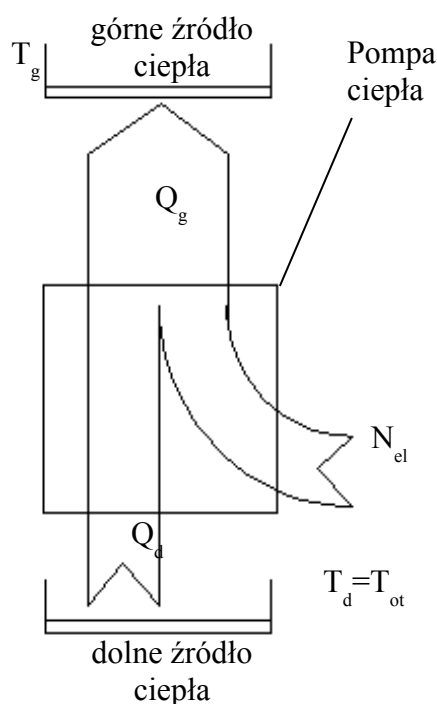


**Katedra Silników Spalinowych
i Pojazdów ATH
ZAKŁAD TERMODYNAMIKI**

Badanie pompy ciepła

Wstęp teoretyczny

Pompa ciepła jest urządzeniem energetycznym, które realizuje przepływ ciepła w kierunku wzrostu temperatury. Pobiera ciepło z tzw. dolnego źródła ciepła, którym jest otoczenie i przekazuje ciepło do źródła górnego o wyższej temperaturze. Taki kierunek przepływu ciepła nie może zachodzić samorzutnie lecz jest wymuszony dodatkowym nakładem energii, W sprężarkowych pompach ciepła energią napędową może być praca wykonana przez silnik elektryczny.



Rys.1. Schemat działania pompy ciepła.

Termodynamicznie, pompa ciepła nie różni się od ziębiarki. Inny jest jednak cel użyteczny stosowania tych urządzeń. W przypadku pompy ciepła celem użytecznym jest strumień ciepła grzewczego \dot{Q}_g , jakie pompa wytwarza. Wskaźnikiem ilościowym jest dla pompy ciepła jej efektywność, którą określa stosunek efektu użytecznego do nakładu energetycznego.

$$\eta_{PC} = \frac{\dot{Q}_g}{N_{el}}$$

Z bilansu energii dla pompy ciepła

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_d + N_{el}$$

wynika, że efektywność pompy ciepła wyraża się zawsze liczbą większą od jedności. Zgodnie z II zasadą termodynamiki przyrost strumienia entropii zjawiska nie może być ujemny i dla pompy ciepła działającej w warunkach ustalonych:

$$\dot{\Pi} = \frac{\dot{Q}_d}{T_d} + \frac{\dot{Q}_g}{T_g} \geq 0$$

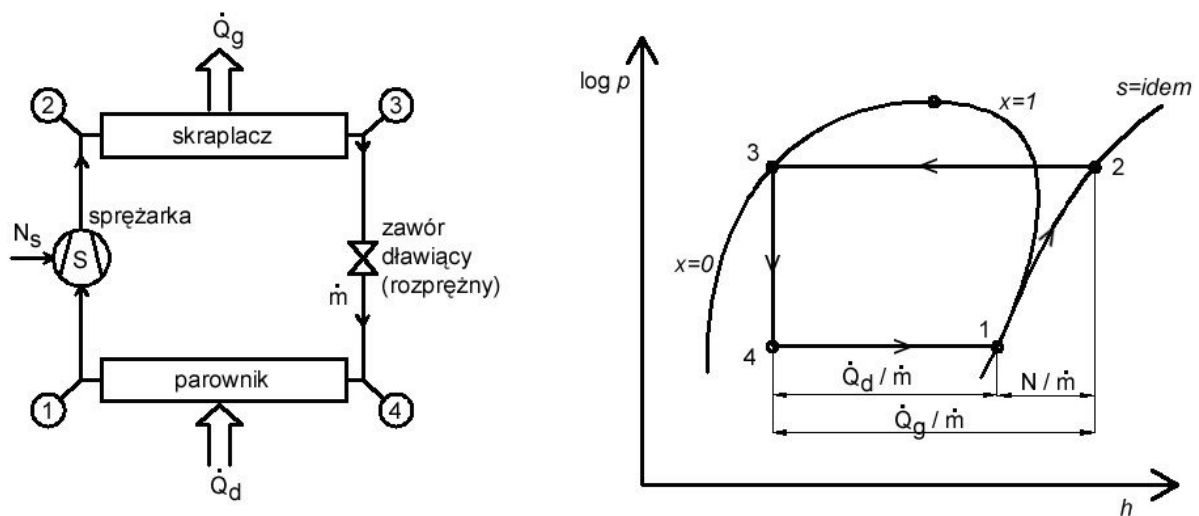
co prowadzi do zależności, jaka obowiązuje dla efektywności pompy ciepła:

$$\eta_{PC} = \frac{\dot{Q}_g}{N_{el}} \leq \frac{T_g}{T_g - T_d} = \eta_{PC \max}$$

Maksymalną efektywność $\eta_{PC \max}$ wykaże urządzenie pracujące odwracalnie ($\dot{\Pi} = 0$)

Efektywność pompy ciepła maleje dla wyższych temperatur górnego źródła ciepła, natomiast rośnie, gdy temperatura dolnego źródła ciepła jest wyższa.

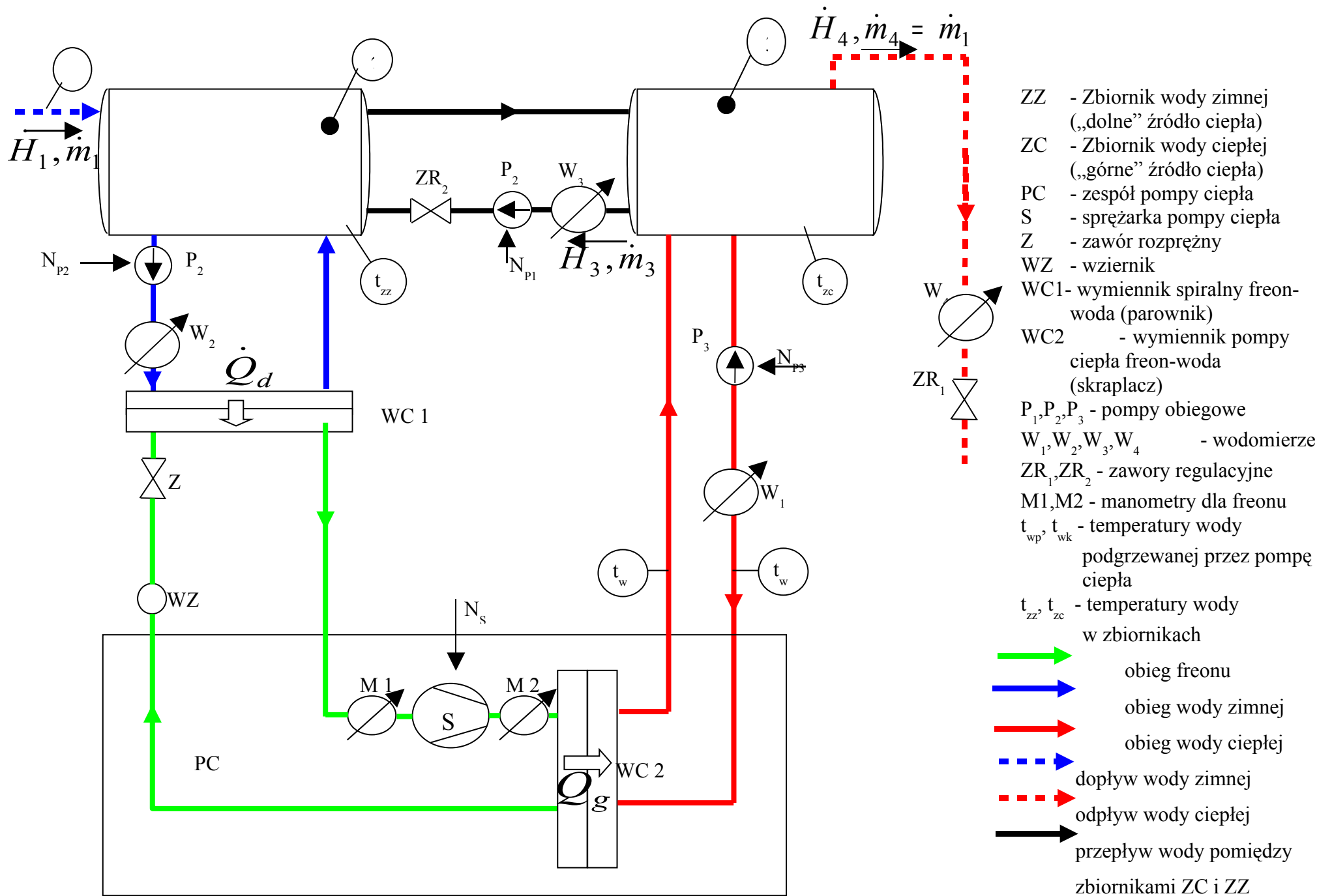
W praktyce najczęściej spotyka się sprężarkowe parowe pompy ciepła (zwłaszcza o mocy grzewczej do kilkunastu kW). Realizowany w nich jest lewobieżny, parowy obieg termodynamiczny zwany obiegiem Lindego. Czynnikiem obiegowym w pompie ciepła jest odpowiedni rodzaj freonu dobierany zależnie od temperatury źródeł ciepła. Podstawowy układ urządzeń realizujących obieg Lindego przedstawiono na rys. 2.



Rys.2 Obieg Lindego i tworzące go przemiany na wykresie log p-h

Schemat stanowiska pomiarowego.

Stanowisko składa się z badanej pompy ciepła, dwóch zbiorników, które symulują dolne i górne źródło ciepła, spiralnego wymiennika ciepła (po stronie dolnego źródła ciepła), wodnych pomp obiegowych, armatury łączącej urządzenia oraz urządzeń pomiarowych. Schemat stanowiska przedstawiono na rys.3.



Rys. 3 Schemat stanowiska pompy ciepła

Dolnym źródłem ciepła dla pompy ciepła jest woda wypełniająca zbiornik (ZZ), natomiast górnym źródłem ciepła zasilanym przez pompę ciepła, jest woda w zbiorniku (ZC). Przepływy wody pomiędzy tymi zbiornikami a wymiennikami ciepła freon-woda zapewniają pompy obiegowe (P2) i (P3). Wymiennik ciepła po stronie dolnego źródła ciepła (WC1) jest wymiennikiem typu rura w rurze uformowanym w kształcie spirali. W przestrzeni pierścieniowej tego wymiennika przepływa woda, natomiast miedzianą rurą wewnętrzną przepływa czynnik chłodniczy (freon), który po zdławieniu w zaworze rozprężnym (Z) odparowuje w wymienniku ciepła i pobiera strumień ciepła \dot{Q}_d od wody. Pary czynnika obiegowego wypływające z tego wymiennika są zasysane przez sprężarkę pompy ciepła (S). Po sprężeniu są kierowane do skraplacza umieszczonego wewnątrz obudowy pompy ciepła, gdzie przekazują ciepło \dot{Q}_g do wody cyrkulującej pomiędzy tym skraplaczem (WC2) a zbiornikiem wody ciepłej (ZC).

Całe stanowisko jest zasilane wodą z sieci wodociągowej, której natężenie przepływu można regulować zaworem (ZR1) umieszczonym na rurociągu odpływowym. Zawór ten umożliwia regulację temperatury wody ciepłej w zbiorniku (ZC).

Pomiędzy zbiornikami (ZZ) i (ZC) zapewniony jest regulowany przepływ wody. Stopień otwarcia zaworu regulacyjnego (ZR2) wpływa na różnicę temperatury wody w obu zbiornikach.

Dzięki takiemu rozwiązaniu układu przepływowego możliwe staje się przeprowadzenie badań efektywności pompy ciepła dla różnych wartości temperatur wody w zbiornikach (ZZ) i (ZC), gdyż temperatury te można utrzymywać za założonym poziomie regulując stopnie otwarcia zaworów (ZR1) i (ZR2).

Pomiar bilansowy instalacji.

Strumienie ciepła \dot{Q}_d oraz \dot{Q}_g wyznacza się metodą pośrednią - bilansową dla stanu ustalonego.

Bilans energii dla układu obejmującego zbiornik (ZZ), pompy obiegowe (P1) oraz (P2), i którego częścią osłony bilansowej jest powierzchnia wymiany ciepła wymiennika (WC1) ma postać:

$$\dot{H}_1 + \dot{H}_3 + N_{P1} + N_{P2} = \dot{Q}_d + \dot{H}_2 \quad (1)$$

Bilans energii dla układu obejmującego zbiornik wody ciepłej (ZC), pompę obiegową (P3) i dla osłony poprowadzonej na powierzchni wymiany ciepła wymiennika (WC2) wyraża wzór:

$$\dot{H}_2 + \dot{Q}_g + N_{P3} = \dot{H}_3 + \dot{H}_4 \quad (2)$$

W równaniach bilansowych (1) i (2) nie uwzględnia się strat ciepła (zysków) z powierzchni zbiorników i rurociągów.

Strumienie entalpii wody w poszczególnych przekrojach kontrolnych instalacji oblicza się ze wzoru:

$$\dot{H} = \dot{m} \cdot c_w \cdot t$$

gdzie:

\dot{m} masowe natężenie przepływu wody.

c_w ciepło właściwe wody

t temperatura [°C]

Z analizy pracy instalacji wynikają następujące związki pomiędzy strumieniami masowymi:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 + \dot{m}_3$$

Obejmując całą instalację osłoną bilansowa otrzymujemy:

$$\dot{H}_1 + N_s + N_{p1} + N_{p2} + N_{p3} = \dot{H}_4 \quad (3)$$

Równanie to umożliwia obliczenie strumienia wody $\dot{m}_4 = \dot{m}_1$ dla założonej temperatury wody w zbiorniku (ZC) i dla znanych: mocy elektrycznej pompy ciepła, mocy pomp obiegowych i znanej temperatury wody zasilającej.

Masowe natężenie przepływu wody oblicza się ze wzoru:

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \frac{\Delta V}{\Delta \tau} \cdot \rho$$

gdzie:

\dot{V} strumień objętościowy wody;

ΔV przyrost wskazania wodomierza w czasie pomiaru;

$\Delta \tau$ czas pomiaru;

ρ oznacza gęstość wody (jest ona funkcją temperatury).

Moc elektryczną (napędową) pompy ciepła N_s oblicza się odnosząc zmierzona pobraną energię elektryczną do czasu pomiaru.

Przebieg ćwiczenia.

Stanowisko uruchamia się po otwarciu przepływu wody (zawór ZR1) i po uruchomieniu pomp cyrkulacyjnych.

- Natężenie przepływu wody przez instalację ustala się zaworem (ZR1) w taki sposób, aby przepływomierz wskazał właściwe natężenie przepływu wody w zależności od zadanej temperatury wody w zbiorniku (ZC). Natężenie przepływu wody należy uprzednio obliczyć ze wzoru (3).

- Uruchamia się sprężarkę pompy ciepła i zaworem (ZR2) ustala się temperaturę w zbiorniku (ZZ).
- Po osiągnięciu stanu ustalonego odczytuje się wskazania termometrów i przepływomierzy (W3) i (W4),
- Z równań (1) i (2) oblicza się strumienie ciepła \dot{Q}_d oraz \dot{Q}_g a następnie wyznacza efektywność pompy ciepła.