

Badanie wpływu zakłóceń po stronie przepływu powietrza przez chłodnicę na parametry pracy obiegu ziębienia. Wpływ na efektywność. Pomiar wydajności chłodnicy powietrza na podstawie pomiarów.

### Prerekwizyty

Student przed przystąpieniem do ćwiczenia powinien mieć wiedzę na temat budowy wykresu logP-h (przebieg izoterm, izobar, izentalp itp.), zasady działania podstawowego obiegu Lindego (schemat blokowy + przemiany na wykresie logP-h) oraz pomiaru wydajności wymiennika lamelowego.

### Cel ćwiczenia

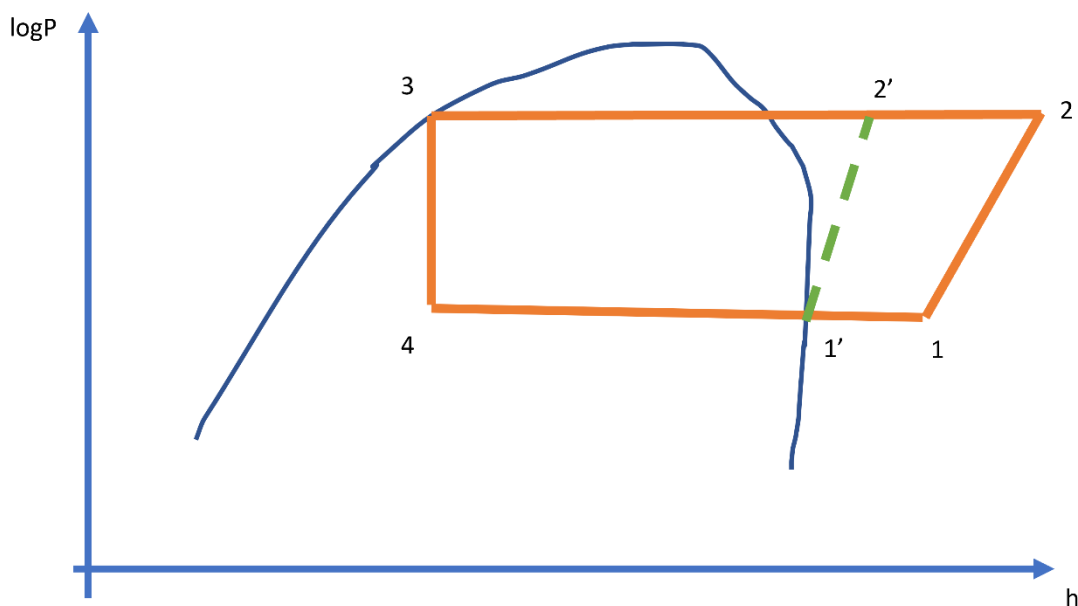
Celem ćwiczenia jest sprawdzenie wpływu zmiany powierzchni wymiany ciepła parowacza na parametry pracy oraz efektywność obiegu ziębienia.

Dodatkowym celem ćwiczenia jest odwzorowanie obiegu ziębienia z uwzględnieniem przegrzewu i dochłodzenia oraz sprawności izentropowej sprężarki.

### Wstęp teoretyczny

#### Przegrzew i dochłodzenie

W rzeczywistych instalacjach chłodniczych czynnik opuszczający parowacz nie jest w stanie nasycenia a jest parą przegrzaną. Przegrzew rozumiany jest jako różnica temperatur między temperaturą nasycenia  $T_1'$  a rzeczywistą temperaturą czynnika opuszczającego parowacz  $T_1$  (Rysunek 1). Typowy przegrzew wynosi ok. 10 - 11 K. Przegrzew w instalacji stosowany jest w celu ochrony sprężarki przed dostaniem się do niej czynnika w postaci ciekłej. Czynnik w postaci ciekłej jest niebezpieczny ponieważ może uszkodzić zawory ssawny i tłoczny sprężarki.



Rysunek 1. Obieg z przegrzewem. Linią przerywaną zaznaczono sprężanie bez przegrzewu.



Jak zastosowanie przegrzewu przełoży się na właściwe ciepła parowania ( $q_0$ ) oraz właściwą pracę obiegu ( $l_{ob}$ )? Co się stanie z współczynnikiem efektywności chłodniczej?

Użyj programu CoolPack. Sprawdź dla wybranych przez siebie ciśnienia parowania i skraplania oraz czynnika jak dodanie przegrzewu wpłynie na powyższe parametry obiegu.

Podobnie czynnik opuszczający skraplacz zazwyczaj nie jest cieczą nasyconą a przeschłodzoną. Przechłodzenie rozumiane jako różnica między temperaturą nasyconej cieczy  $T_{3'}$  a rzeczywistej temperatury czynnika opuszczającego skraplacz  $T_3$  (Rysunek 2). Typowo przechłodzenie wynosi ok. 3 K. Przechłodzenie ma na celu zapewnienie, że na wlocie do elementu dławiącego czynnik będzie tylko w postaci ciekłej. Obecność pary zakłóciłaby działanie elementu dławiącego.

#### Ciekawe czemu...

... obecność pary zakłóciłaby działanie elementu dławiącego?

Dławienie izentalpowe charakteryzuje się tym, że entalpia na początku i końcu procesu jest taka sama:

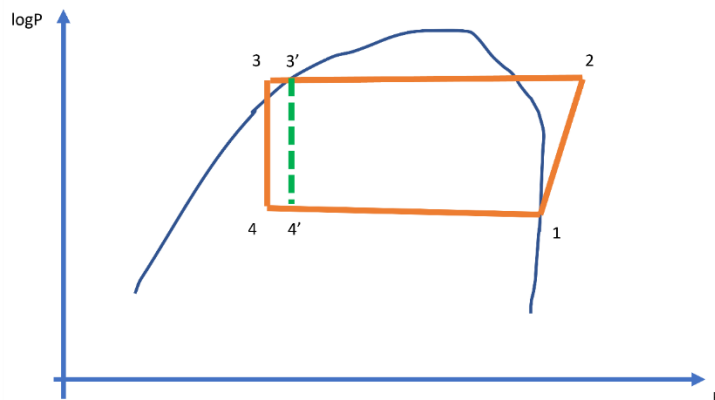
$$h_3 = h_4$$

Jeśli traktować parę jako gaz doskonały, to dla gazu doskonałego entalpia dana jest wzorem  $h=c_pT$ , gdzie  $c_p$  to ciepło właściwe a  $T$  to temperatura. W konsekwencji:

$$c_p T_3 = c_p T_4$$

$$T_3 = T_4$$

Czy to jest dobre ze względu na efekt jaki chcemy uzyskać poprzez zastosowanie elementu dławiącego?



Rysunek 2. Obieg chłodniczy z dochłodzeniem. Linia przerywaną zaznaczono dławienie bez dochłodzenia.



Jak zastosowanie dochłodzenia przełoży się na właściwe ciepło parowania ( $q_0$ ) oraz właściwą pracę obiegu ( $lob$ )? Co się stanie z współczynnikiem efektywności chłodniczej?



Jak na wykresie logP-h będzie wyglądał obieg zarówno z przegrzewem jak i dochłodzeniem?

### Sprężanie

W rzeczywistości proces sprężania też nie jest procesem izentropowym (przebiegającym bez wymiany ciepła z otoczeniem oraz bez tarcia) a politropowym (i to takim gdzie ma miejsce zarówno wymiana ciepła z otoczeniem jak i tarcie). Ogólny wzór na przemianę politropową przyjmuje postać:

$$pv^n = idem$$

gdzie  $p$  to ciśnienie,  $v$  to objętość właściwa a  $n$  to wykładnik politropy.

Przyjmując, że sprężane pary czynnika można traktować jak gaz doskonały i korzystając z równania gazu doskonałego:

$$pv = RT$$

gdzie  $R$  to indywidualna stała gazowa (inna dla każdego czynnika) a  $T$  to temperatura, można wyprowadzić wzór na wykładnik politropy:

$$\frac{1-n}{n} = \log_{\frac{p_1}{p_2}} \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

oraz na pracę przemiany politropowej:

$$w = \frac{np_1v_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

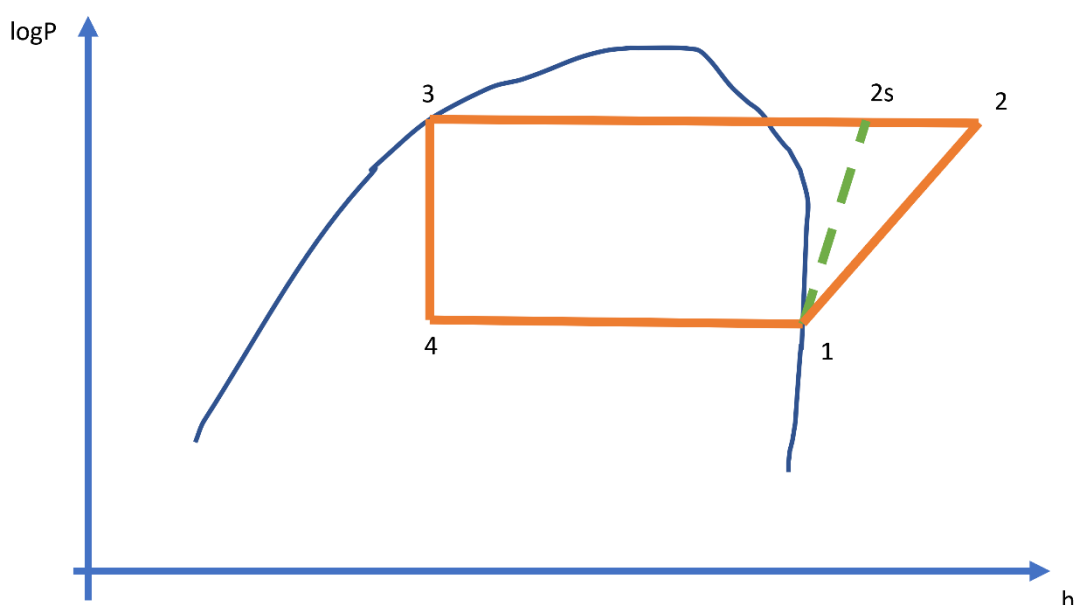


Do obliczenia wykładnika i pracy przemiany politropowej niezbędna jest znajomość  $p$ ,  $T$  i  $v$  na początku i końcu procesu. Które z tych parametrów możemy zmierzyć na laboratorium? Skąd weźmiemy pozostałe?

Często spotykaną miarą niedoskonałości sprężarki jest jej sprawność izentropowa definiowana jako:

$$\eta = \frac{w_t}{w_{rz}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

gdzie  $w_t$  to teoretyczna praca właściwa sprężania wykonana na czynniku chłodniczym,  $w_{rz}$  to rzeczywista praca właściwa sprężania wykonana na czynniku chłodniczym,  $h_1$  – entalpia czynnika na początku sprężania,  $h_2$  – entalpia czynnika na końcu rzeczywistego procesu sprężania,  $h_{2s}$  – entalpia czynnika na końcu teoretycznego (izentropowego) procesu sprężania. Typowa wartość sprawności izentropowej dla sprężarek hermetycznych tłokowych to ok. 60-70%. Sposób zaznaczania rzeczywistego i teoretycznego procesu sprężania na wykresie logP-h przedstawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3. Sprężanie rzeczywiste (linia ciągła) oraz izentropowe (linia przerywana).



Jak na wykresie logP-h będzie wyglądał obieg z przegrzewem, dochłodzeniem oraz sprężaniem rzeczywistym?

Znając ilość energii elektrycznej pobieranej przez sprężarkę  $w_{el}$  możliwe jest wyznaczenie sprawności efektywnej sprężarki:

$$\eta_e = \frac{w_t}{w_{el}}$$

Wpływ zmiany powierzchni parowacza

Punktem wyjścia dla analizy wpływu zmiany powierzchni parowacza jest wzór Pecleta:

$$\dot{Q}_w = k \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

gdzie  $k$  to współczynnik przenikania ciepła w  $W/m^2K$  (zależy od prędkości i rodzaju medium po stronie gorącej i zimnej jak i geometrii oraz materiału ścianki oddzielającej te media),  $A$  to pole powierzchni wymiany ciepła wymiennika w  $m^2$ , a  $\Delta T_{lm}$  to średnia logarytmiczna różnica temperatur czynników w wymienniku w K. Dana jest ona następującym wzorem:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$\Delta T_1$  to różnica temperatur między medium gorącym i zimnym na wlocie wymiennika w K a  $\Delta T_2$  to różnica temperatur między medium gorącym i zimnym na wylocie wymiennika w K (Pamiętaj o Rysunku 4 z poprzedniej instrukcji!).



Głównym celem wymiennika jest przekazanie „powierzonej mu” ilości ciepła  $\dot{Q}_w$ .

Co się więc stanie z  $\Delta T_{lm}$  jeśli zmniejszyć powierzchnię wymiany ciepła  $A$ ?

Co się stanie z temperaturą (ciśnieniem) odparowania przy założeniu, że temperatura dolnego źródła jest stała?

Zmiana temperatury (ciśnienia) parowania przekłada się na zmianę gęstości zasysanych przez sprężarkę par czynnika. Jej wzrost powoduje wzrost gęstości.



Komorę roboczą sprężarki można traktować jak zbiornik o stałej objętości. Jak zmiana temperatury (ciśnienia) parowania wpłynie na ilość czynnika (w kg/s) sprężanego przez sprężarkę?

W czasie zajęć sprawdzimy jak zmiana powierzchni parowacza wpłynie na parametry pracy instalacji (ciśnienia parowania i skraplania) oraz współczynnik efektywności chłodniczej. Porównamy otrzymane wyniki z danymi z poprzedniego ćwiczenia, gdzie zmienialiśmy powierzchnię czołową skraplacza. Na tej podstawie odpowiemy na pytanie co ma większy wpływ na działanie instalacji: zmiana powierzchni parowacza czy skraplacza?

Dodatkowo porównamy współczynnik efektywności chłodniczej obliczony na podstawie samych ciśnień parowania i skraplania z obliczonym z uwzględnieniem przegrzewu, dochłodzenia oraz niedoskonałością sprężarki.

W czasie ćwiczenia:

1. Prezentacja sprężarki + prezentacja przy pomocy strzykawek i wody.
2. Pomiar bez zasłaniania. Same ciśnienia + czynnik. Obliczenie COP.
3. Pomiar bez zasłaniania. Przegrzew, dochłodzenie + sprawność izentropowa sprężarki. Obliczenie COP.
4. Zasłaniany na pół. Same ciśnienia. Obliczenie COP.
5. Zasłaniany całkowicie. Obliczenie COP.
6. Porównanie, które procentowo jest gorsze (skraplacz czy parowacz).

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \quad P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \quad \frac{P_1}{P_2}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^k = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1-k} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \frac{V_2}{V_1} = \frac{RT_2}{P_2} \cdot \frac{P_1}{RT_1}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{1-k}{k} = \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$