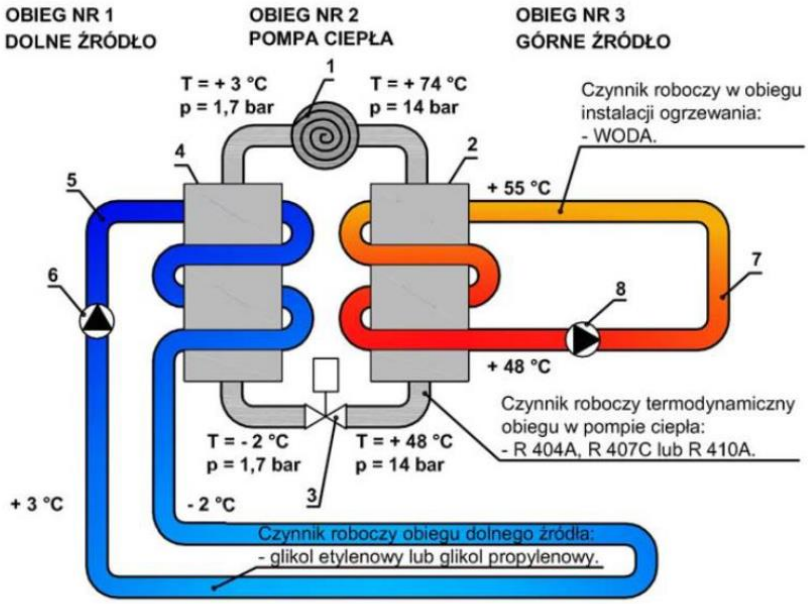
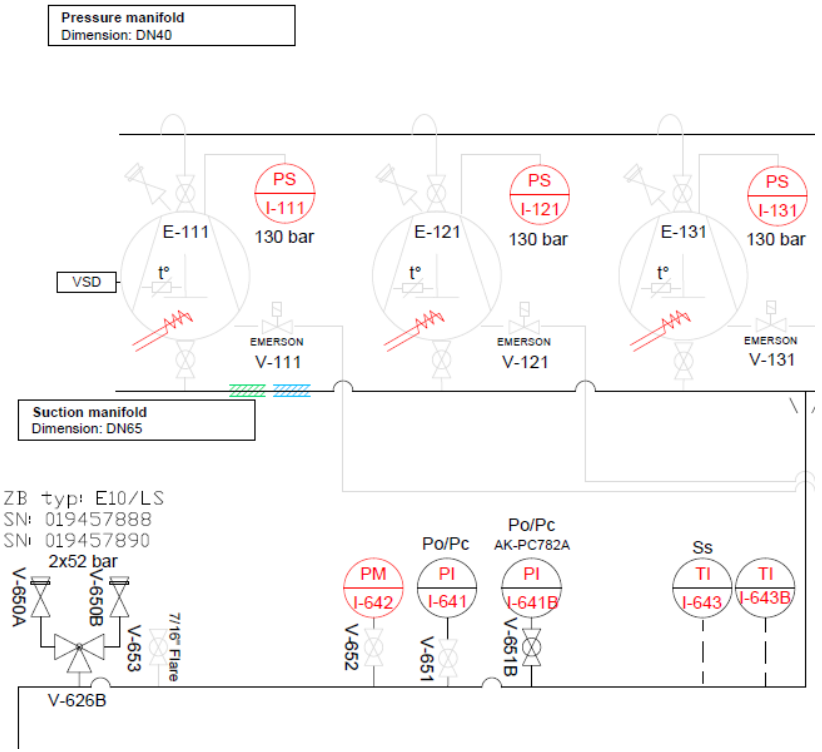
Wprowadzenie do chłodnictwa, pomp ciepła i klimatyzacji. Część 1.



Pompa ciepła zasada działania



mgr inż. Grzegorz Toczek

20.10.2022r.

Literatura

1) Hans-Jurgen Urlich: Technika chłodnicza. Poradnik, Tom 1

2) Hans-Jurgen Urlich: Technika chłodnicza. Poradnik, Tom 2

3) Kazimierz M. Gutkowski: Chłodnictwo i klimatyzacja

4) Marian Rubik: Chłodnictwo

5) W. Zalewski: Projektowanie i eksploatacja układów ziębniczych

6) Bonca Z., Butrymowicz D., i inni: Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła

Literatura

Normy określające zasady projektowania , montażu i obsługi instalacji chłodniczych:

- **PN-EN 378**-1:2010 Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria wyboru.
- **PN-EN 378**-2+A1:2010 - Projektowanie, wykonywanie, sprawdzanie, znakowanie i dokumentowanie.
- **PN-EN 378**-3:2010 - Usytuowanie instalacji i ochrona osobista

  PN-EN 378-4:2010 - Obsługa, konserwacja, naprawa i odzysk
- **PN-EN 1861-2001P** - Instalacje ziębnicze i pompy ciepła - schematy ideowe

Plan zajęć

UKŁADY ZIĘBNICZE

1. Wprowadzenie i podstawy
2. Obiegi ziębnicze sprężarkowe
3. Czynniki ziębnicze i chłodziwa
4. Sprężarki chłodnicze
5. Wymienniki ciepła (parowniki, skraplacze)
6. Automatyka chłodnicza
7. Przewody chłodnicze

1. Wprowadzenie i podstawy

Chłodzeniem - nazywamy proces fizyczny polegający na odbieraniu energii termicznej z ciała lub ośrodka w celu obniżenia lub utrzymania jego temperatury.

Proces chłodzenia może być realizowany w sposób:

- ***Naturalny*** – przez wykorzystywanie chłodziwa o temperaturze niższej od temperatury otoczenia. Chłodziwem tym może być woda ze studni głębinowych, naturalny lód wodny lub wodny roztwór soli.
- ***Sztuczny*** – polega na wykorzystaniu czynnika chłodniczego podlegającego procesom termodynamicznym zamkniętym dzięki którym możliwe jest uzyskanie niskich temperatur.

Sztuczny proces chłodzenia nazywany jest inaczej ***ziębieniem*** a czynnik uczestniczący w tym procesie ***ziębnikiem***.

1. Wprowadzenie i podstawy

Podstawę działania urządzeń chłodniczych i pomp ciepła stanowią dwie pierwsze zasady termodynamiki.

Pierwsza zasada termodynamiki

Układ ziębniczy (jako całe urządzenie) jest układem zamkniętym do którego nie dopływa ani nie odpływa czynnik roboczy.

Pierwsza zasada termodynamiki sprowadza się dla takiego przypadku do bilansu dostarczonych oraz odebranych mocy cieplnych, elektrycznych oraz mechanicznych.

$$Q_k = Q_o + P$$

1. Wprowadzenie i podstawy

Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki przekazanie energii cieplnej ze źródła o temperaturze niższej do źródła o temperaturze wyższej wymaga doprowadzenia pewnej ilości energii napędowej – potrzebnej do wykonywania obiegu ziębniczego.

W urządzeniach ziębniczych sprężarkowych jest dostarczana praca zewnętrzna, natomiast w urządzeniach absorpcyjnych ciepło napędowe.

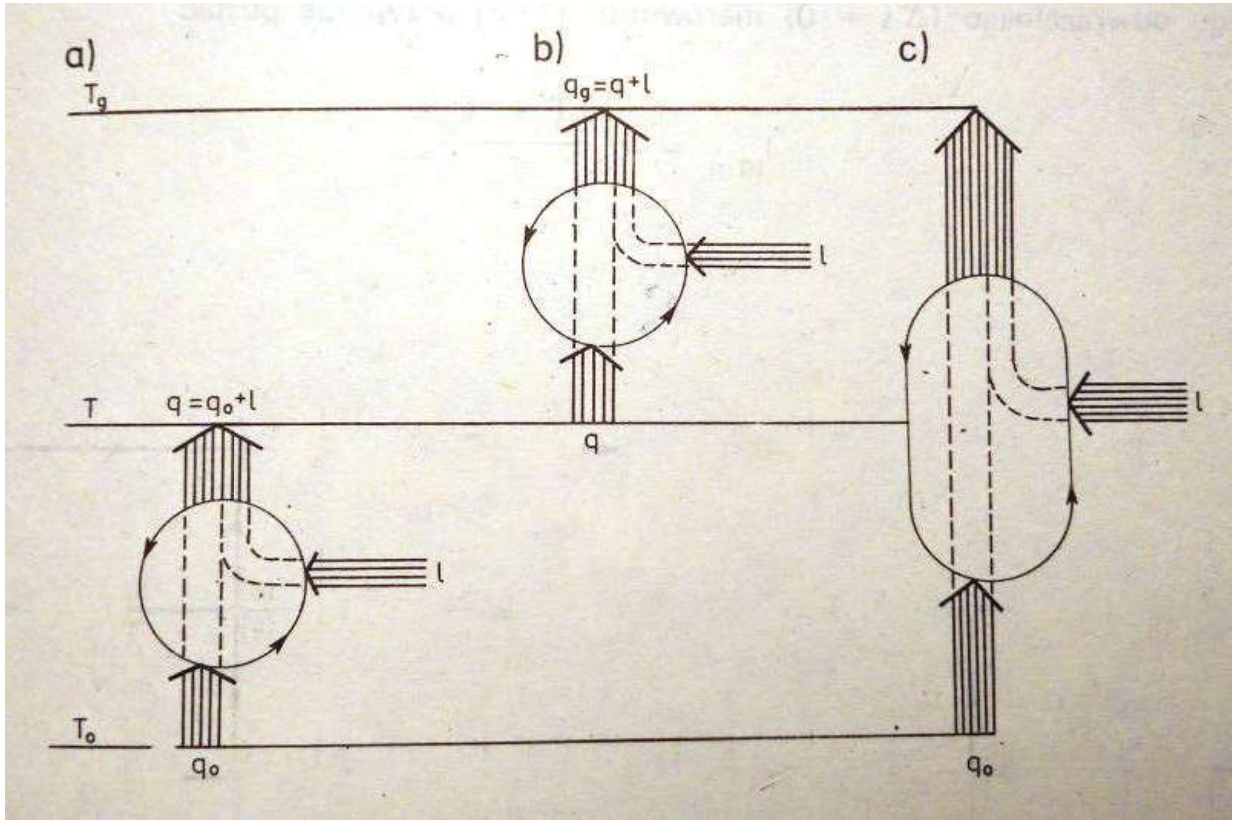
Proces podnoszenia potencjału cieplnego klasyfikuje się w zależności od wartości temperatur:

T_o - temperatura źródła dolnego

T - temperatura otoczenia

T_g - temperatura źródła górnego

1. Wprowadzenie i podstawy



a) obieg chłodniczy

b) obieg grzejny (pompa ciepła)

c) skojarzony obieg grzajno-chłodzący

1. Podstawy teoretyczne

Podstawowe własności fizyczne substancji

Temperatura – określa stan termiczny i jest miarą zdolności do wymiany ciepła. *Temperaturę absolutną* oznaczmy symbolem ***T*** i mierzymy w kelwinach [K]. *Temperaturę względną* oznaczmy symbolem ***t*** i mierzymy w stopniach Celcjusza [°C].

Ciśnienie – jest siłą normalną działającą na płyn, odniesioną do jednostki pola powierzchni, na którą ta siła działa. Ciśnienie oznaczamy symbolem ***p*** a jego jednostką jest paskal [Pa]. *Nadciśnienie* jest zawsze mierzone w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego. Jednostką pomocniczą często spotykaną w technice ziębniczej 1 bar = 10^5 Pa

Gęstość – jest masą substancji odniesioną do jednostki objętości przez nią zajmowanej. Oznaczana symbolem ***ρ*** jej jednostką jest [kg/m^3]. Odwrotnością gęstości jest *objętość właściwa* oznaczana ***v***.

1. Podstawy teoretyczne

Podstawowe własności termodynamiczne:

Ciepło właściwe – c_p jest ilością ciepła, które należy dostarczyć do jednostki masy ciała, aby zwiększyć jego temperaturę o 1 K. Jego jednostką jest [J/(kg·K)].

Entalpia właściwa – h jest sumą energii wewnętrznej substancji (U) oraz tzw. energii przetłaczania (pV). Entalpię można w uproszczeniu nazwać „zawartością energetyczną" danej substancji. Jednostką entalpii jest [J/kg].

Entropia właściwa – s jest wielkością charakteryzującą odwracalność procesów termodynamicznych. Mierzy się ją w [J/(kg·K)]. Wszystkie zjawiska nieodwracalne wiążą się ze stratami pracy i wzrostem entropii. Entropia jest funkcją termodynamiczną, która w układach adiabatycznych podczas przemian odwracalnych nie zmienia się.

„właściwa" - odniesiona do 1kg kilograma czynnika

1. Podstawy teoretyczne

Sposoby doprowadzania lub odprowadzania energii z lub do układu:

- wraz z przepływem czynnika roboczego
- na sposób pracy
- na sposób ciepła

Sposoby wymiany ciepła:

przewodzenie – polega na przekazywaniu energii cieplnej przez nieruchome ośrodki, np. przez ścianki rur lub przez ściany pomieszczenia.

konwekcja – polega na przekazywaniu energii cieplnej na skutek ruchu czynnika. W zależności od charakteru ruchu rozróżnia się:

- Konwekcje swobodną
- Konwekcje wymuszoną

promieniowanie – polega na przekazywaniu energii cieplnej w postaci fal elektromagnetycznych (emisji i absorpcji promieniowania).

1. Podstawy teoretyczne

Stany skupienia materii:

- Stały
- Ciekły
- Lotny

Cała materia zgromadzona wokół nas znajduje się w jednym z trzech powyższych stanów.

Występowanie substancji w danym stanie skupienia zależy od warunków termodynamicznych - czyli od ciśnienia i temperatury.

np. woda pod ciśnieniem normalnym w temperaturze poniżej 0 °C jest ciałem stałym, w temperaturach od 0 do 100 °C jest cieczą, a powyżej 100 °C staje się gazem.

1. Podstawy teoretyczne

Zmiana ciśnienia i temperatury może doprowadzić do zmiany fazy danej substancji.

Przemiany fazowe:

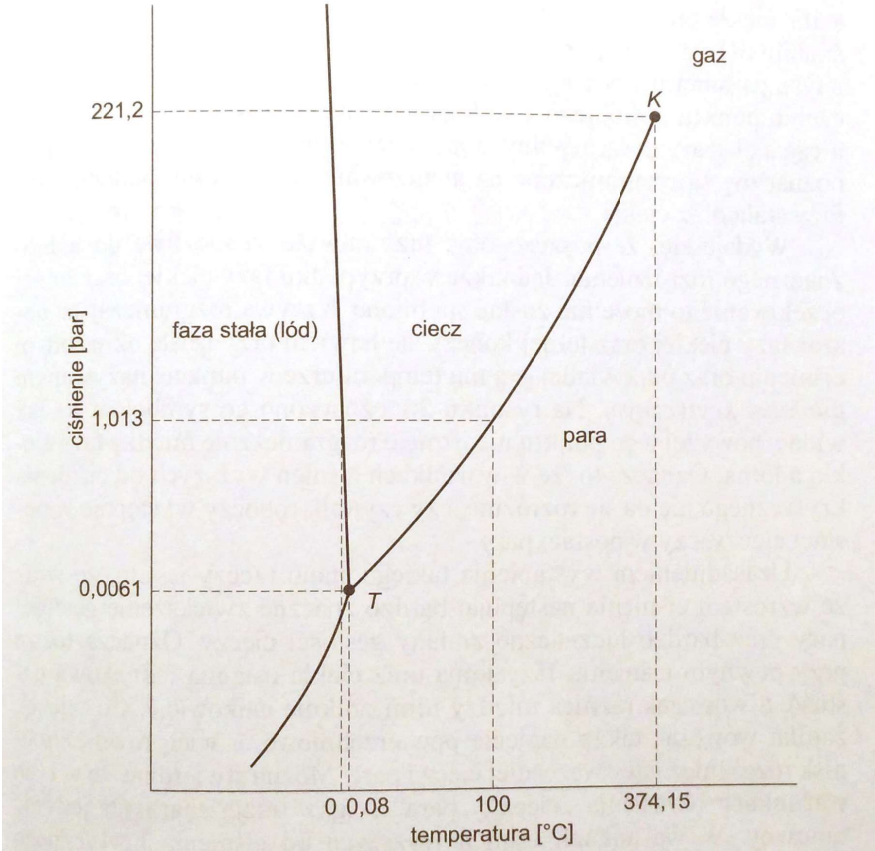
- Wrzenie / Skraplania
- Topnienie / Zamarzanie
- Sublimacja / Resublimacja

Przemiany fazowe zachodzą w stałej temperaturze.

Zmianie stanu skupienia towarzyszy zawsze przyrost lub utrata ciepła.

np. woda pod ciśnieniem normalnym wrze w stałej temperaturze równej 100 °C.

1. Podstawy teoretyczne



Rys. 2.1. Przemiany fazowe czynnika w układzie współrzędnych ciśnienie–temperatura dla wody

Przemiany fazowe w układzie ciśnienie-temperatura dla wody

1. Podstawy teoretyczne

Zasadnicze znaczenie w funkcjonowaniu urządzeń ziębniczych mają procesy wrzenia oraz skraplania - ze względu na to, że zachodzą w stałej temperaturze.

Mamy do dyspozycji różne substancje które parują w temperaturze niższej niż woda.

- Alkohol etylowy +78°C
- Izobutan (R600a) -12°C
- R134a -26°C
- Propan -42°C
- R23 -82°C

1. Podstawa działania

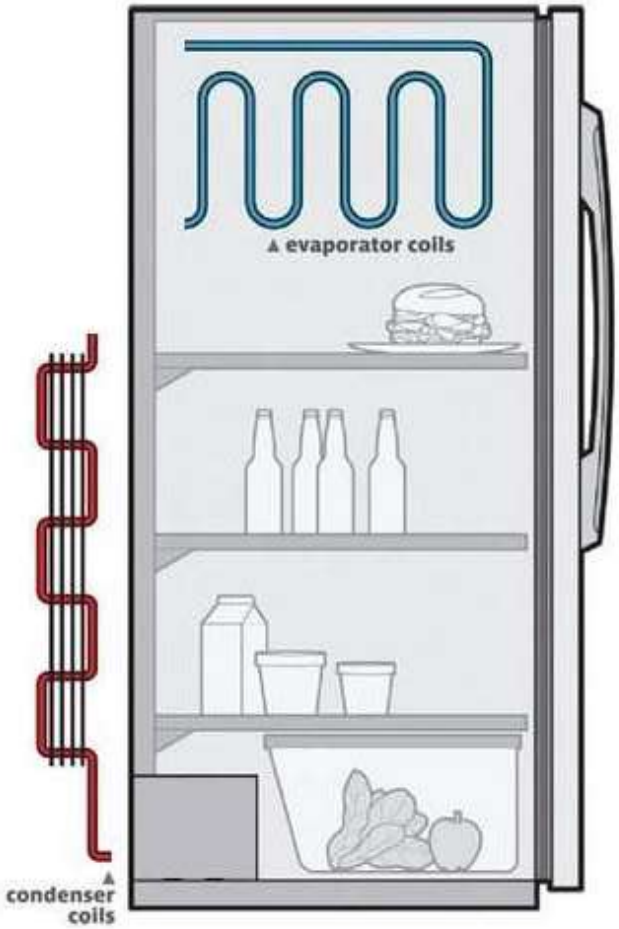
LODÓWKA
DOMOWA

1. Podstawa działania

PAROWNIK

Zadaniem parownika jest pozyskanie ciepła ze źródła niskotemperaturowego i przekazanie go do wrzącego czynnika ziębniczego (roboczego).

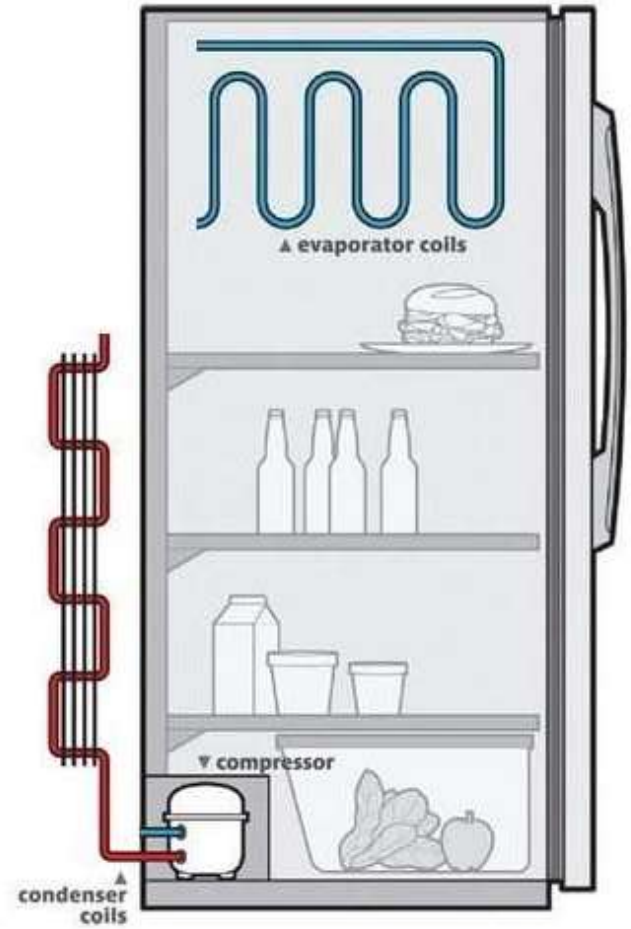
1. Podstawa działania



SKRAPLACZ

Zadaniem skraplacza jest oddawanie ciepła przegrzania i skraplania z czynnika ziębniczego (roboczego) do otoczenia (lub do nośnika ciepła).

1. Podstawa działania

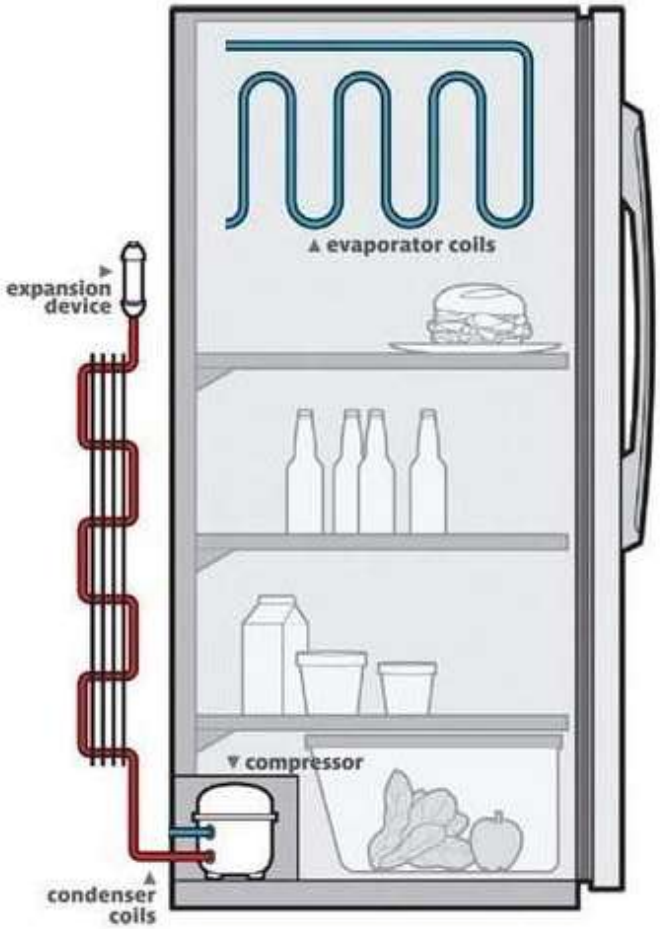


SPRĘŻARKA

Spełnia w obiegu dwie funkcje:

- wywołuje krążenie czynnika ziębiącego,
- podnosi czynnik ziębiący z niższego poziomu ciśnień i temperatur na wyższy (kosztem wykonanej pracy mechanicznej)

1. Podstawa działania

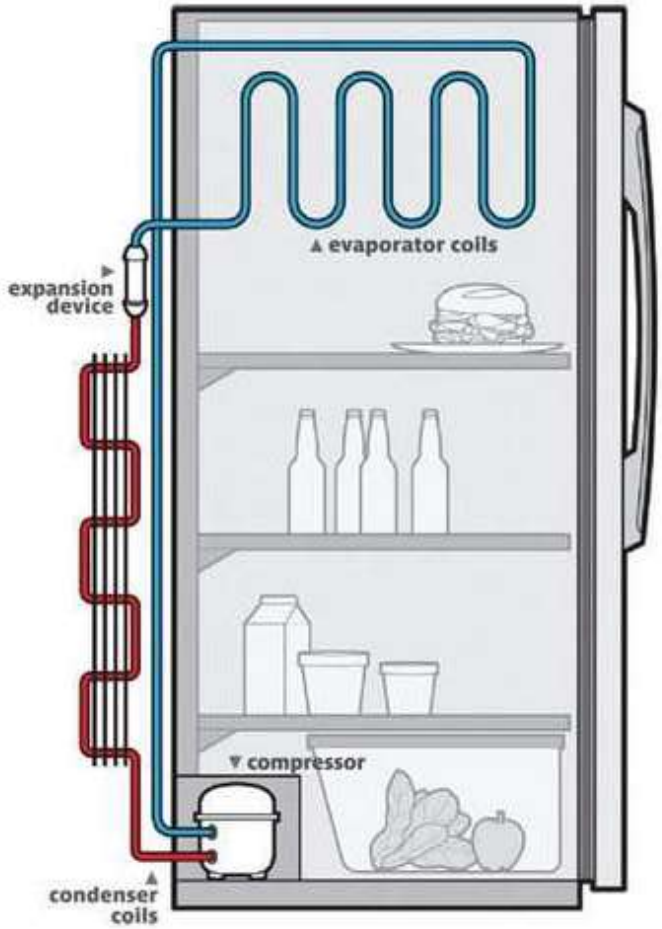


URZĄDZENIE OBNIŻAJĄCE CIŚNIENIE

W instalacji pełnią funkcje:

- obniżenie ciśnienia ziębnika od ciśnienia skraplania do ciśnienia parowania
- regulacja strumienia masy czynnika dopływającego do parownika w zależności od obciążenia cieplnego

1. Podstawa działania



RUROCIĄGI

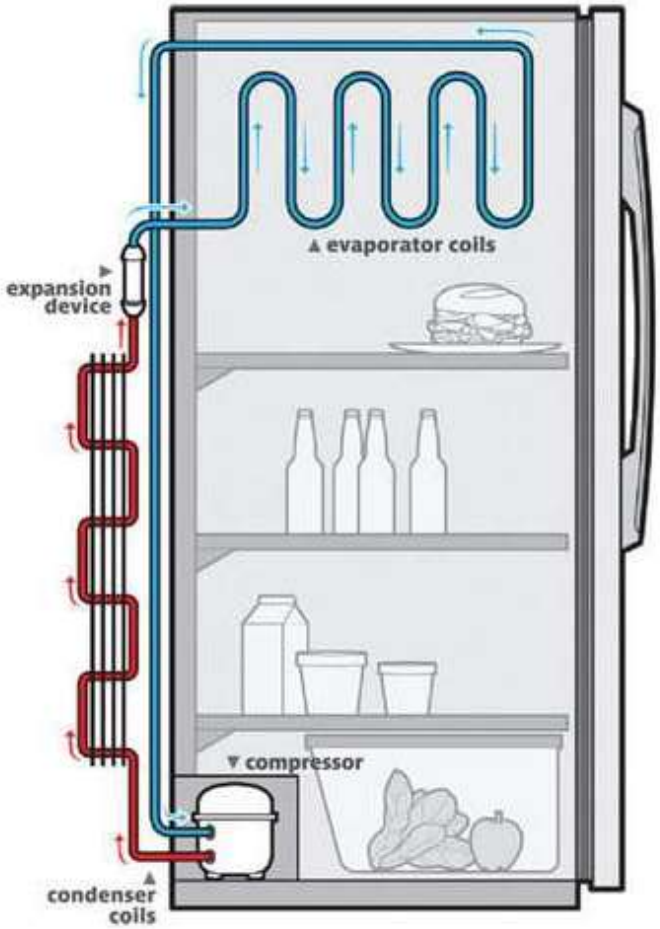
Przewód cieczowy wysokiego ciśnienia
(przewód łączący skraplacz z zaworem rozprężnym)

Przewód cieczowy niskiego ciśnienia
(przewód łączący zawór rozprężny z parownikiem)

Przewód parowy wysokiego ciśnienia
– przewód tłoczny
(przewód łączący sprężarkę ze skraplaczem)

Przewód parowy niskiego ciśnienia
- przewód ssawny
(przewód łączący parownik ze sprężarką)

1. Podstawa działania



OBIEG TERMODYNAMICZNY

Zespół cyklicznie po sobie następujących przemian stanu ziębnika podczas których ciepło przenoszone jest od źródła o niższej temperaturze do źródła o temperaturze wyższej kosztem energii sprężania (praca zewnętrzna)

1. Podstawy teoretyczne

Termodynamiczny obieg chłodniczy - to zespół cyklicznie po sobie następujących przemian stanu ziębnika podczas których ciepło przenoszone jest od źródła o niższej temperaturze do źródła o temperaturze wyższej kosztem energii sprężania (praca zewnętrzna) lub energii cieplnej doprowadzonej do ziębnika. Stan ziębnika po zakończeniu ostatniej przemiany pokrywa się ze stanem z początku cyklu.

Przemiany można zobrazować w wybranym dwuwymiarowym układzie współrzędnych - najchętniej stosowanym w praktyce inżynierskiej jest wykres w układzie współrzędnych ciśnienie-entalpia (p-h) i do niego najczęściej będzie odwołanie podczas zajęć.

1. Podstawy teoretyczne

Instalacja ziębnicza

Zespół wzajemnie ze sobą połączonych części składowych, napełnionych czynnikiem ziębniczym, tworzących jeden zamknięty obieg, w którym krąży czynnik ziębniczy w celu przejmowania i oddawania ciepła (tj. oziębiania, ogrzewania)

Czynnik ziębniczy

Płyn do przekazywania ciepła, stosowany wewnątrz instalacji ziębniczej, przejmujący ciepło w niskiej temperaturze i pod niskim ciśnieniem oraz przekazujący ciepło w wyższej temperaturze i pod wyższym ciśnieniem, przy zachodzącej (zazwyczaj) zmianie jego stanu skupienia

1. Podstawy teoretyczne

System bezpośredni

Parowacz lub skraplacz instalacji ziębniczej znajduje się w bezpośrednim kontakcie z powietrzem lub substancją, która ma być ziębiona lub grzana. (Do systemów bezpośrednich należą również systemy natryskowe lub kanałowe)

System pośredni

Parowacz oziębia lub skraplacz ogrzewa czynnik pośredniczący przenoszący ciepło, który przepływa w obiegu zamkniętym obejmującym wymiennik ciepła pozostające w bezpośrednim kontakcie z substancją, która ma być oziębiana lub ogrzewana.

1. Podstawy teoretyczne

Czynnik pośredniczący

Płyn przenoszący ciepło bez zmiany swojego stanu skupienia (np. woda, solanka, powietrze) lub ze zmianą stanu skupienia lecz bez zmiany ciśnienia (np. CO2).

Strona wysokiego ciśnienia

Część instalacji ziębniczej, która działa pod ciśnieniem równym w przybliżeniu ciśnieniu w skraplaczu lub chłodnicy gazu sprężonego

Strona niskiego ciśnienia

Część instalacji ziębniczej, która działa pod ciśnieniem równym w przybliżeniu ciśnieniu w parowaczu

1. Podstawy teoretyczne

Przewód cieczowy wysokiego ciśnienia
Przewód łączący skraplacz z zaworem rozprężnym

Przewód cieczowy niskiego ciśnienia
Przewód łączący zawór rozprężny z parownikiem

Przewód parowy wysokiego ciśnienia – przewód tłoczny
Przewód łączący sprężarkę ze skraplaczem

Przewód parowy niskiego ciśnienia – przewód ssawny
Przewód łączący parownik ze sprężarką

Przewód pomocniczy – przewody impulsowy
Przewód łączący aparaturę kontrolno - zabezpieczającą

1. Podstawy teoretyczne

W obiegu pompy ciepła wyróżniamy dwa źródła ciepła:

- ***Dolne*** *(niskotemperaturowe) – z którego energia cieplna jest pobierana.*
- ***Górne*** *(wysokotemperaturowe) – do którego energia cieplna jest przekazywana*

1. Podstawy teoretyczne

Niskotemperaturowe źródła ciepła możemy podzielić na:

- ***Odnawialne*** *(naturalne)*
  - *powietrze atmosferyczne*
  - *woda (powierzchniowa, gruntowa, głębinowa, termalna)*
  - *grunt*
  - *promieniowanie słoneczne*
- ***Sztuczne*** *(energia odpadowa)*
  - *gaz (zużyte powietrze, spaliny, itp.)*
  - *ciecz (woda technologiczna, ścieki, itp.)*

2. Obiegi ziębnicze

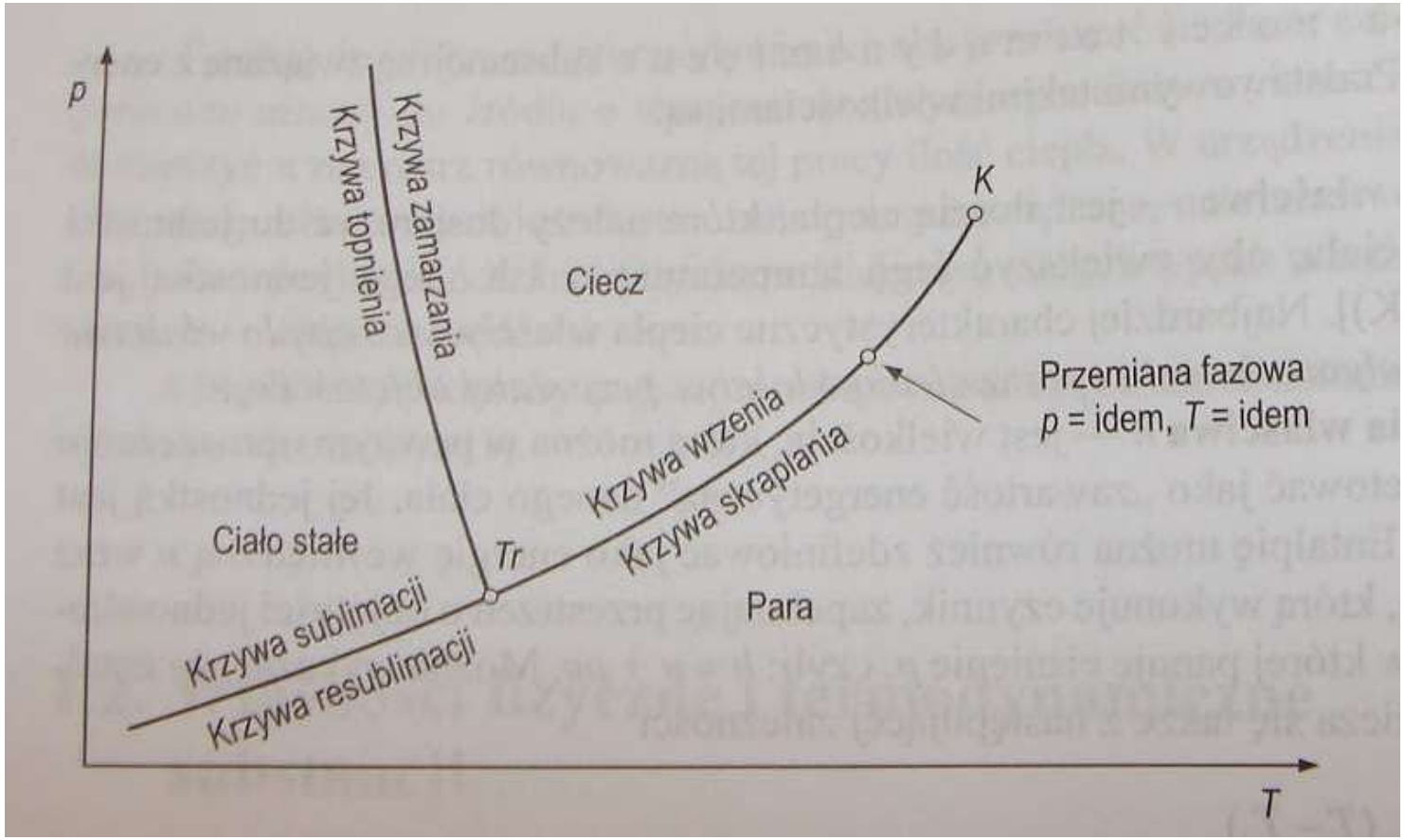
Termodynamiczny obieg ziębniczy - to zespół cyklicznie po sobie następujących przemian stanu ziębnika podczas których ciepło przenoszone jest od źródła o niższej temperaturze do źródła o temperaturze wyższej kosztem energii sprężania (praca zewnętrzna) lub energii cieplnej doprowadzonej do ziębnika. Stan ziębnika po zakończeniu ostatniej przemiany pokrywa się ze stanem z początku cyklu.

Obiegi termodynamiczne spełniają ważną rolę przy ocenie działania rzeczywistych urządzeń ziębniczych. Dla każdego typu urządzeń można ustalić najkorzystniejszy odwracalny obieg porównawczy - obieg taki jest idealizacją obiegu rzeczywistego realizowanego przez rzeczywista maszynę.

Do analizy obiegów ziębniczych najczęściej używany jest układ współrzędnych entalpia-ciśnienie (lgp-h) i do niego najczęściej będzie odwołanie podczas zajęć.

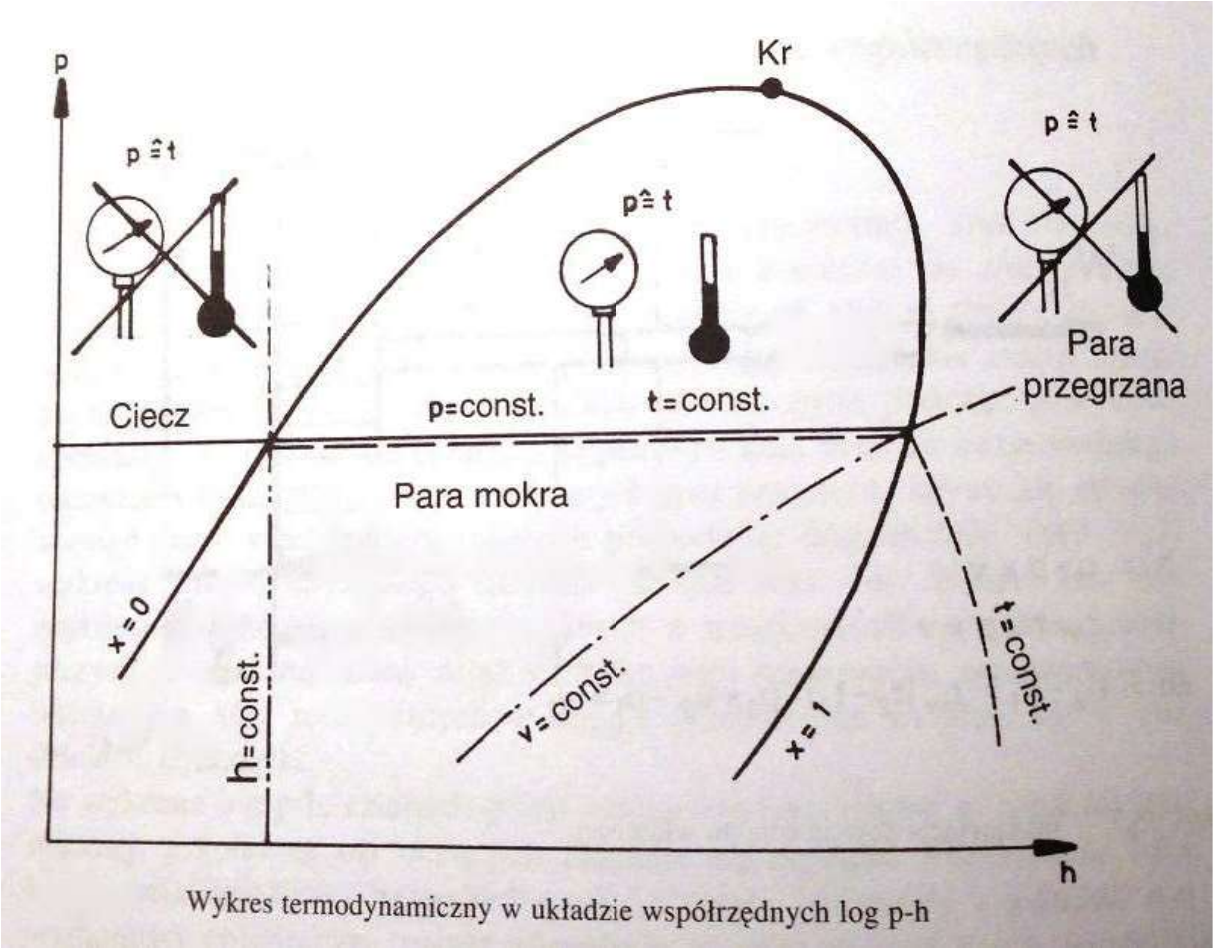
2. Obiegi ziębnicze

Konstrukcja wykresu *p-h*



2. Obiegi ziębnicze

Konstrukcja wykresu *p-h*



Wykres termodynamiczny w układzie współrzędnych log p-h

2. Obiegi ziębnicze

Właściwa wydajność ziębienia	$q_o = h_1 - h_5$
Właściwa praca sprężania	$l_{ob} = h_2 - h_1$
Właściwa wydajność cieplna	$q_k = h_2 – h_3$
Właściwe obciążenie cieplne dochładzacza	$q_d = h_3 – h_4$

Miarą efektywności termodynamicznej obiegu jest stosunek wartości użytecznej do ilości energii doprowadzonej zwany współczynnikiem wydajności.

Współczynnik wydajności chłodniczej	$\varepsilon_{ch} = \frac{q_o}{l_{ob}}$
Współczynnik wydajności grzejnej	$\varepsilon_g = \frac{q_k}{l_{ob}}$

2. Obiegi ziębnicze

Gdy wszystkie przemiany obiegu są odwracalne a wymiana ciepła odbywa się przy nieskończenie małej różnicy temperatur - obieg nazywamy odwracalnym.

Wszystkie rzeczywiste obiegi ziębnicze są obiegami nieodwracalnymi.

Efektywność obiegu nieodwracalnego określa się porównując go z teoretycznym obiegiem odwracalnym, który posiada równoważny skutek użyteczny.

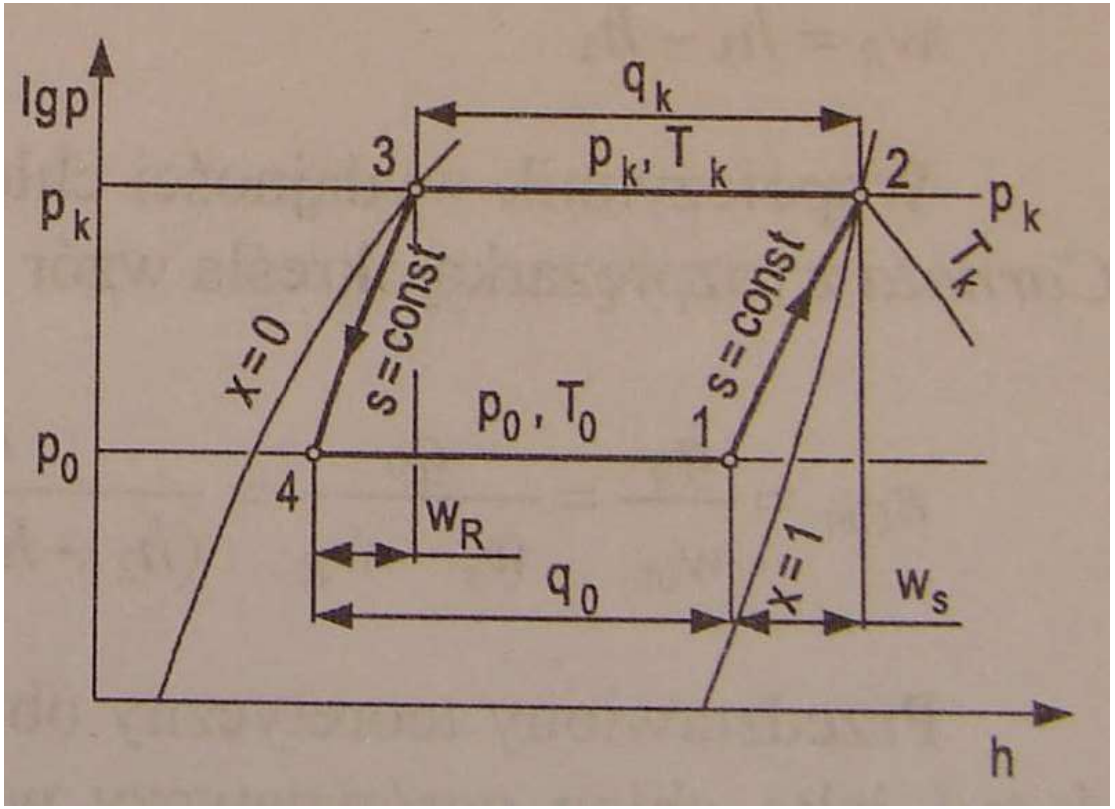
2. Obiegi ziębnicze

Powszechne biegi porównawcze:

- obieg *Carnota*
- obieg *Lindego*
  - mokry
  - suchy
  - z dochłodzeniem
  - z przegrzaniem
  - z regeneracją

2. Obiegi ziębnicze

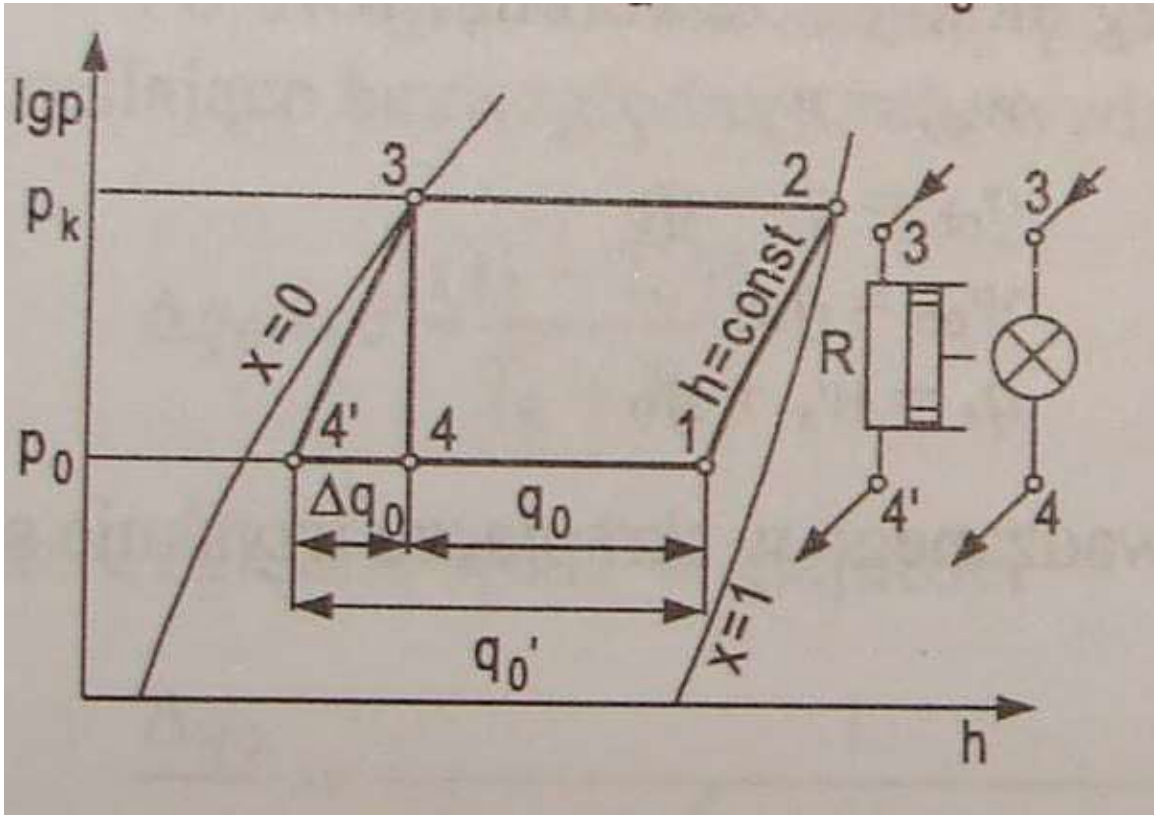
Obieg *Carnota*



Teoretyczny obieg mokry z rozprężarką

2. Obiegi ziębnicze

Obieg mokry *Lindego*



Teoretyczny obieg mokry z dławieniem izentalpowym

2. Obiegi ziębnicze

Nieodwracalność obiegu mokrego *Lindego* spowodowana przemianą dławienia w zaworze regulacyjnym zmniejsza współczynnik wydajności w porównaniu z obiegiem *Carnota*

Współczynnik wydajności chłodniczej obiegu *Carnota*

$$\varepsilon_{Cm} = \frac{q_o + \Delta q_o}{w_s - w_r}$$

Współczynnik wydajności chłodniczej mokrego obiegu *Lindego*

$$\varepsilon_{Lm} = \frac{q_o}{w_{ob}} = \frac{q_o}{w_s} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

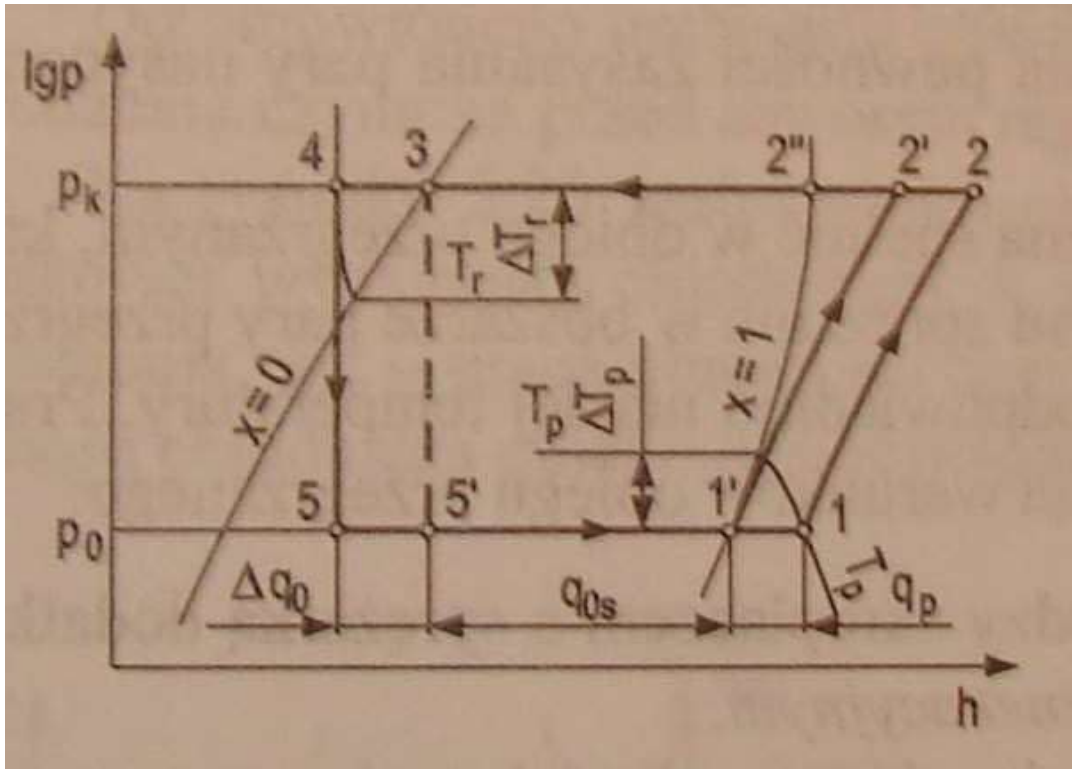
2. Obiegi ziębnicze

Metody zwiększenia współczynnika wydajności:

- zwiększenie stopnia suchości
- dochłodzenie cieczy
- regeneracja
- obiegi wielostopniowe

2. Obiegi ziębnicze

Teoretyczny obieg przegrzany



Teoretyczny obieg przegrzany z regeneracją

2. Obiegi ziębnicze

Ograniczenia stosowania układów jednostopniowych:

- wytrzymałość konstrukcyjna
- temperatura końca sprężania
- zwiększenie strat energetycznych

Uzyskiwanie bardzo niskiej temperatury parowania przy zachowaniu wysokiej temperatury skraplania wiąże się ze zwiększeniem

różnicy ciśnień $p_k - p_o$

stosunku sprężania p_k / p_o

2. Obiegi ziębnicze

Powszechne stosowane biegi wielostopniowe:

- Dwustopniowe (trzy i więcej stopniowe)
  - z chłodzeniem międzystopniowym
    - z przeponowym lub bezprzep. wym. międzystopniowym
    - z jednostopniowym lub wielostopniowym dławieniem
- Kaskadowe