



Energetyka

Prof. Maciej Chorowski

Chłodnictwo & Kriogenika

Wykład 2 – Obiegi chłodziarek sprężarkowych, obieg Carnota versus obieg Lindego , układu kaskadowe, odzysk ciepła



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wrocławska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY





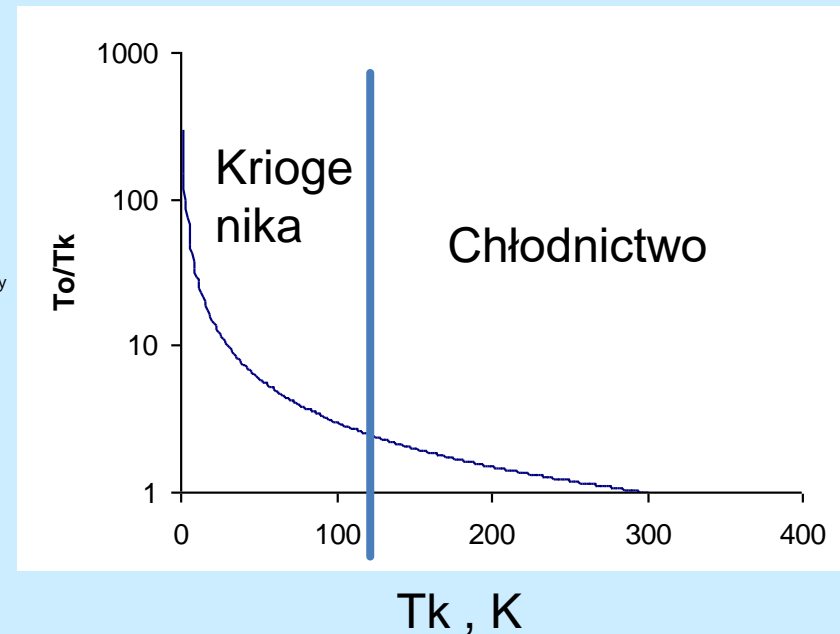
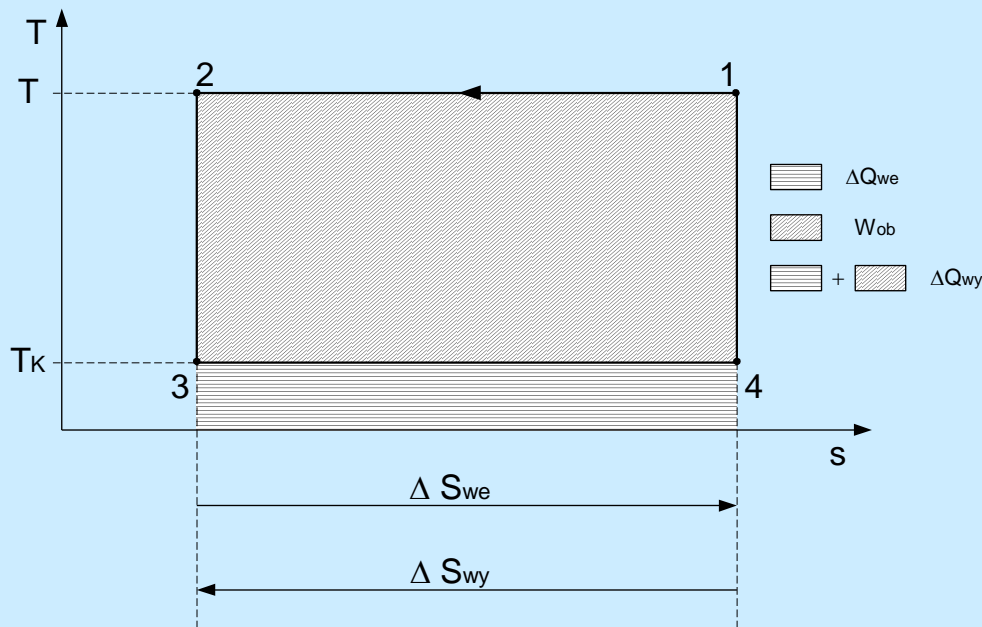
Treść wykładu

- Obieg Carnota i ograniczenia jego technicznej realizacji w obszarze pary mokrej.
- Odstępstwa od obiegu Carnota wynikające z ograniczeń technicznych
- Obieg Lindego – podstawowy obieg chłodziarek sprężarkowych.
- Obiegi kaskadowe.
- Odzysk ciepła przegrzania par w sprężarce



Efektywności termodynamiczne chłodziarek

Niezależnie od zasady działania, porównanie wynikających z ograniczeń termodynamicznych charakterystycznych cech chłodziarek chłodniczych i kriogenicznych może być przeprowadzone w oparciu o obieg Carnot'a.

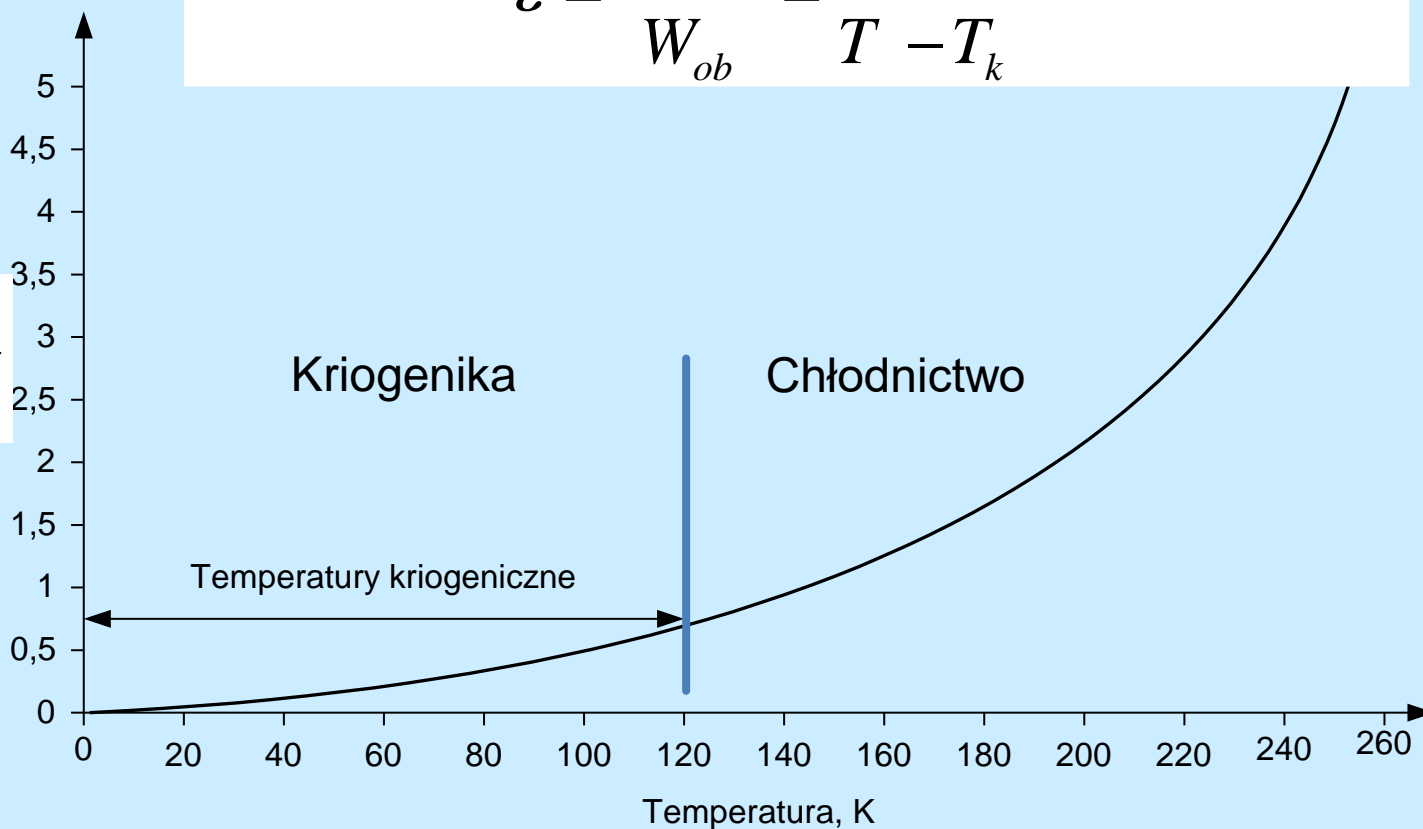




Efektywności termodynamiczne chłodziarek

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_{we}}{W_{ob}} = \frac{T_k}{T - T_k}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_{we}}{W_{ob}}$$





Najniższa uzyskana temperatura: $T = 280 \text{ pK}$ (10^{-12} K) ($0,000000000028 \text{ K}$) !!!

VOLUME 70, NUMBER 18 PHYSICAL REVIEW LETTERS 3 MAY 1993

Nuclear Antiferromagnetism in Rhodium Metal at Positive and Negative Nanokelvin Temperatures

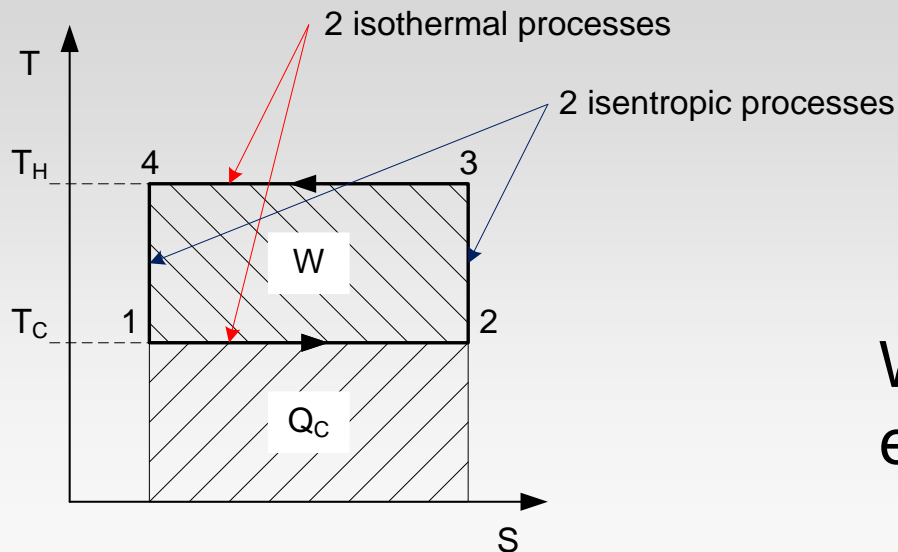
P. J. Hakonen, R. T. Vuorinen, and J. E. Martikainen
Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, 02150 Espoo, Finland
 (Received 1 February 1993)

We have measured the dynamic susceptibility of polycrystalline rhodium foils down to 280 pK and up to -750 pK. These record-low and -high nuclear spin temperatures were reached by adiabatic demagnetization using initial polarizations of 83% and -60%. At $T > 0$, the static susceptibility, integrated from NMR spectra, displays an antiferromagnetic Curie-Weiss law, with $\theta = -1.8 \pm 0.3 \text{ nK}$. At $T < 0$, a crossover from ferro- to antiferromagnetic tendency is found around -6 nK. We obtain $J_{nn}/h = -17 \pm 3 \text{ Hz}$ and $J_{nnn}/h = 10 \pm 3 \text{ Hz}$ if only nearest and next nearest neighbor interactions are assumed.

PACS numbers: 75.30.Kz, 75.90.+w

Jak moc jest konieczna do napędu chłodziarki Carnota o mocy 1 Watt przy 280 pK?

$$W = \dot{Q}_C \frac{T_H - T_C}{T_C} = \frac{300 - 280 \cdot 10^{-12}}{280 \cdot 10^{-12}} = 1,07 \cdot 10^{12}$$

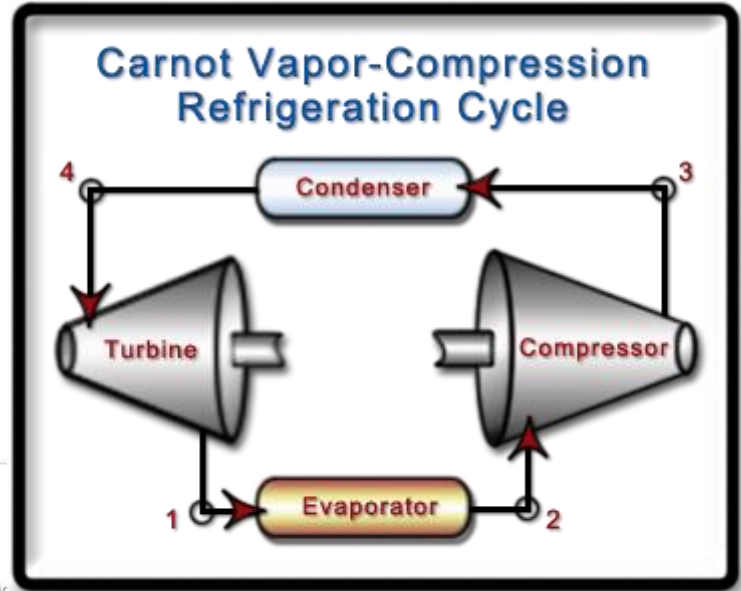
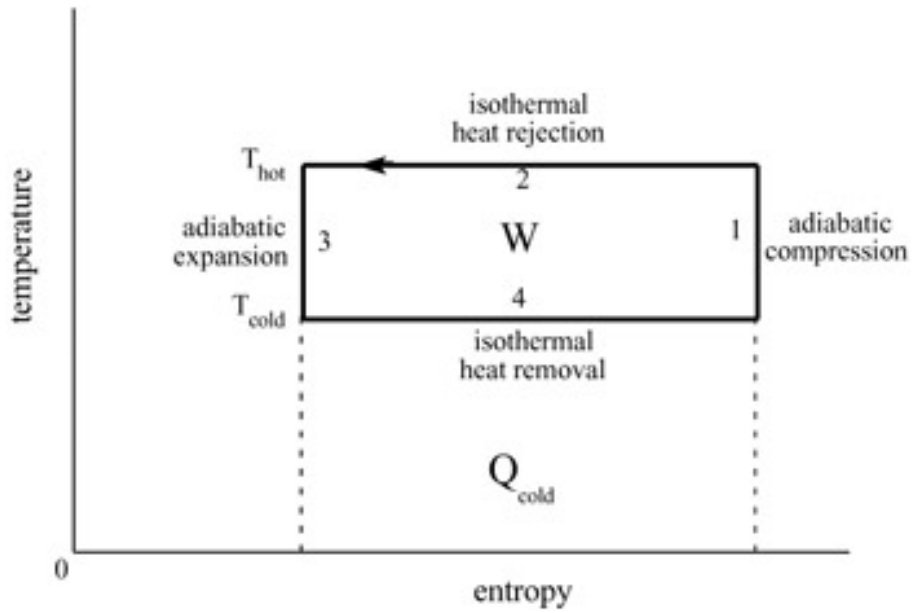
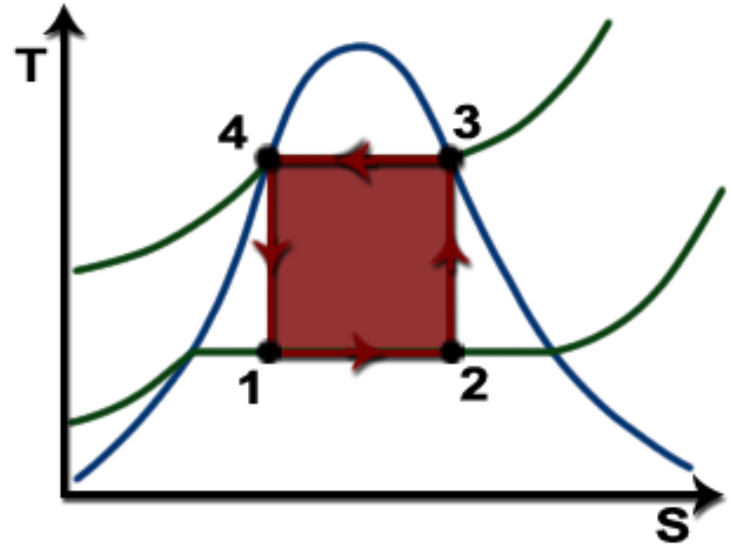


$$W \approx 1070 \text{ [GW]}$$

Więcej niż suma mocy elektrowni USA (ca. 1020GW) !!!

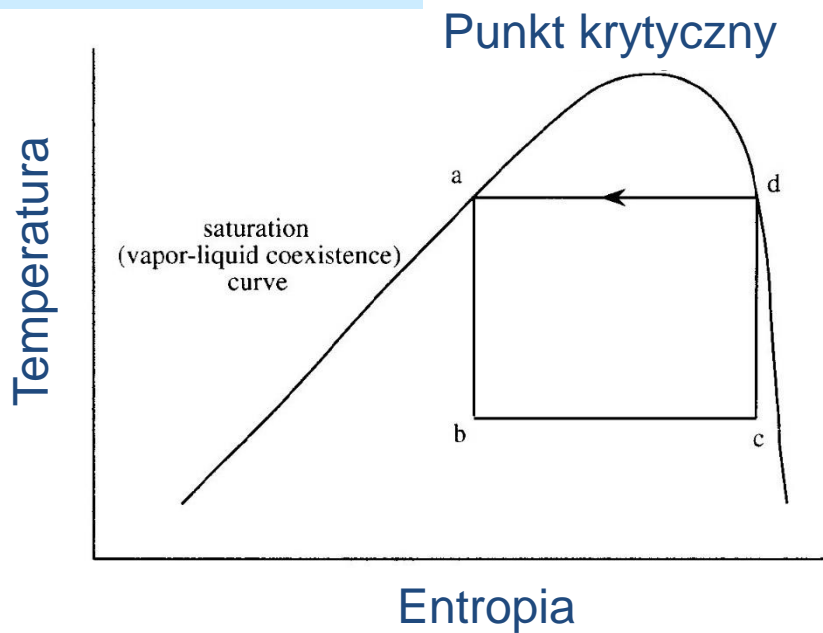


Jak obieg Carnota może być zrealizowany w urządzeniach chłodniczych?





Jak można odwzorować obieg Carnota posługując się czynnikiem chłodniczym?



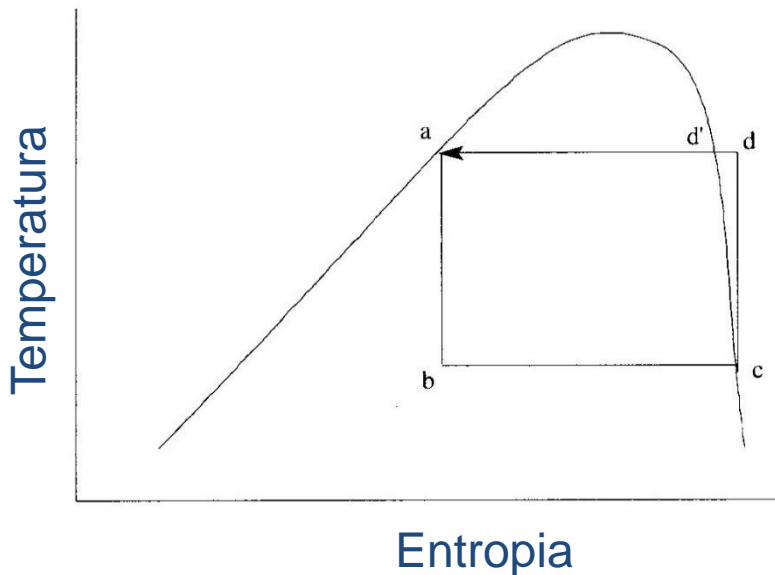
Obieg Carnota w obszarze pary mokrej jest naturalnym wyborem dla chłodziarek sprężarkowych. W takim obiegu wymiana ciepła zachodzi podczas przemian fazowych skraplania i parowania – procesy izotermiczne.

Trudności techniczne realizacji:

- Brak jednoznacznego sygnału kiedy odparowanie powinno być zakończone w punkcie **c**.
- Sprężanie izentropowe **c-d** musiałoby zachodzić w obszarze pary mokrej.
- Podobnie rozprężanie izentropowe **a-b** byłoby trudne do realizacji w obszarze dwufazowym.

Przesunięcie przemiany sprężania w obszar pary przegrzanej– „za” i „przeciw”

Trudności rozwiązane:



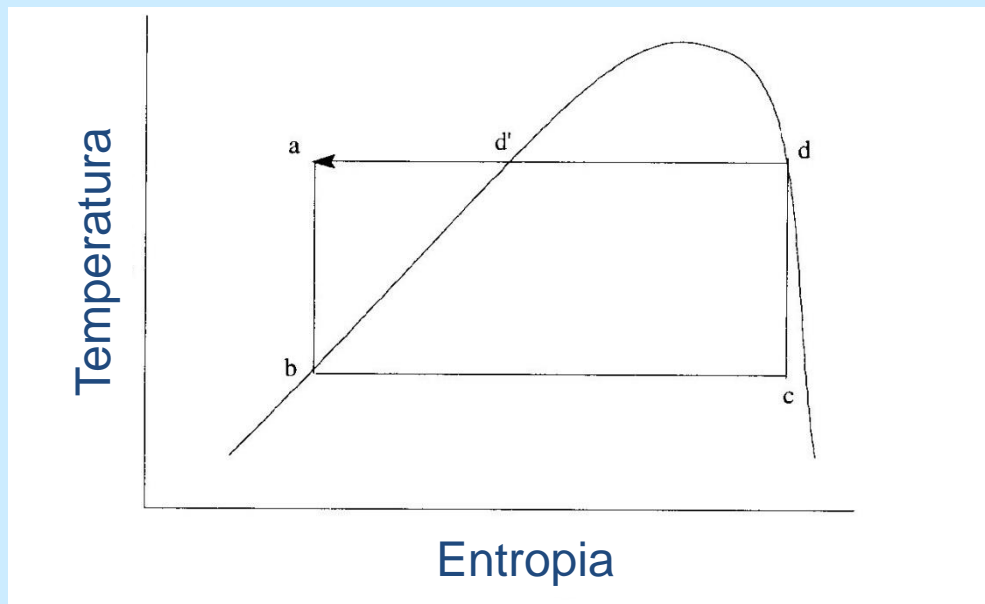
- Punkt **c** jest łatwy do identyfikacji poprzez pomiar temperatury, która w procesie izobarycznym zaczyna rosnąć począwszy od punktu nasycenia.
- Sprężanie izentropowe **c-d** nie zachodzi w obszarze pary mokrej i może zostać zrealizowane technicznie.

Problemy pozostające:

- Rozprężanie izentropowe **a-b** pozostaje trudne w realizacji
- Sprężanie izotermiczne **d-d'** wymaga zastosowania drugiego (?) kompresora.



Przesunięcie rozprężania izentropowego w obiegu Carnota w obszar ciecchy – „za” i „przeciw”



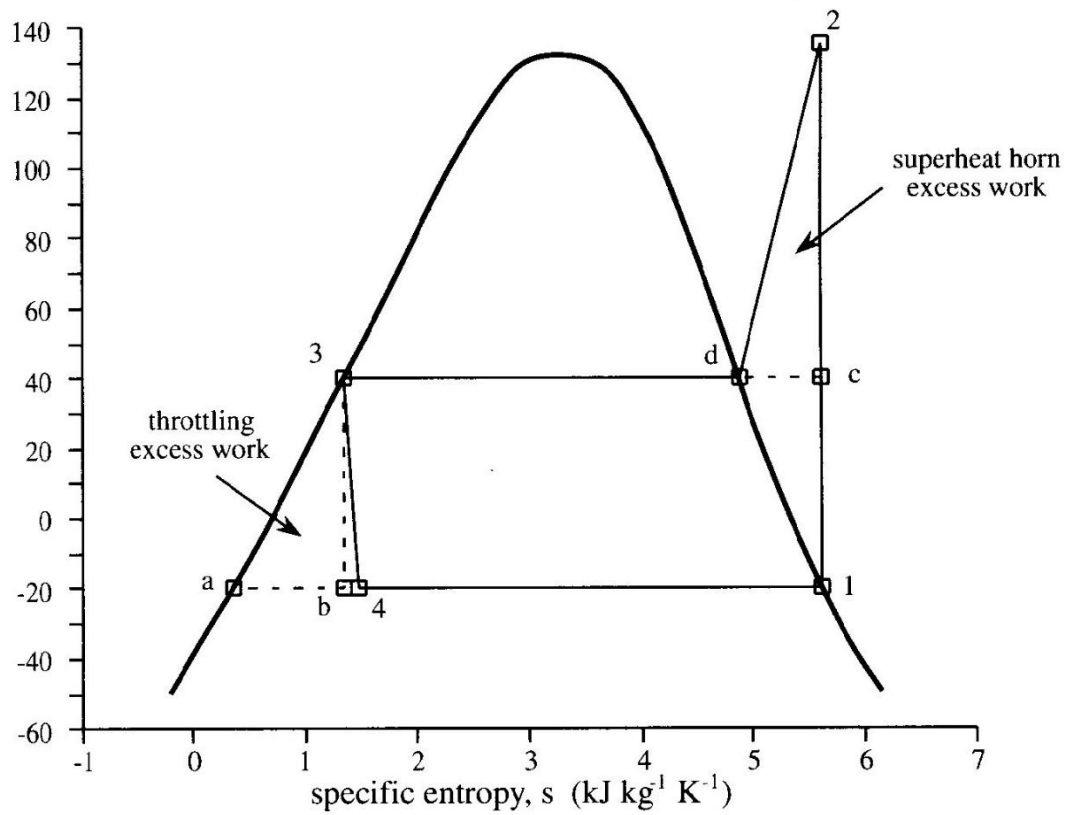
Punkt **a** został przesunięty w obszar bardzo wysokiego ciśnienia (względem ciśnienia w punkcie **d'**), realizacja techniczna staje się w zasadzie niemożliwa.

Praktyczny wniosek:

Realizowany w praktyce obieg chłodniczy nie może być tożsamy z obiegiem Carnota. Dotyczy to zarówno izentropowego sprężania jak i rozprężania czynnika chłodniczego.



Realizacja praktyczna idealnego obiegu Lindego (bez strat ciśnienia w wymiennikach i przy założeniu izentropowego sprężania)



$$T_{cond} = 40^{\circ}C$$

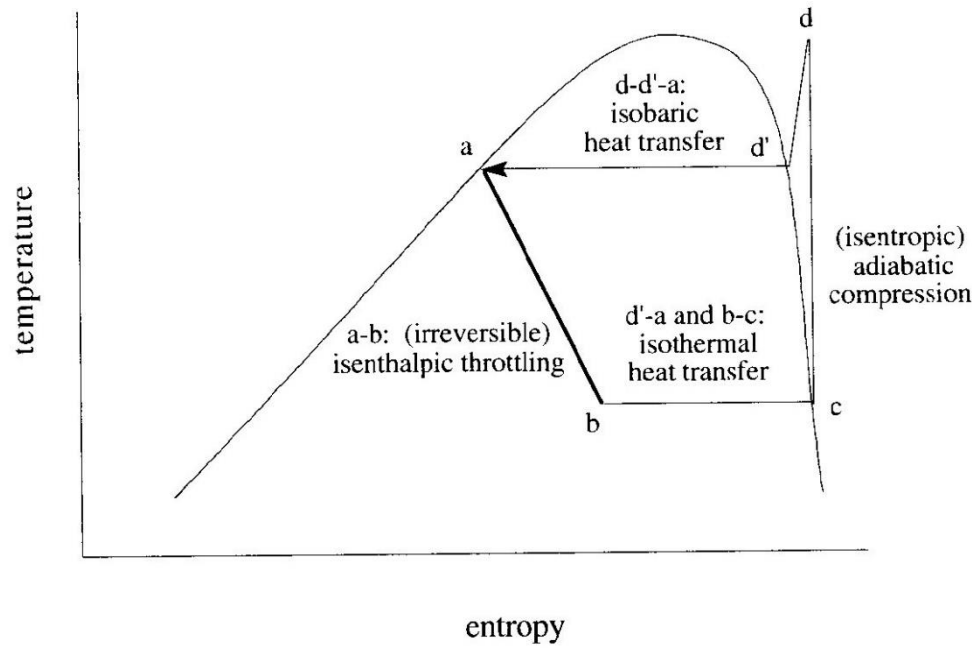
$$T_{evap} = -20^{\circ}C$$

Sprężanie prowadzi do przegrzania pary w stosunku do temperatury skraplania (sprężarka jest wyraźnie cieplejsza od skraplacza)

Dławienie zamiast rozprężania izentropowego.



Idealny obieg Lindego - efektywność



Features:

- Dławienie **a-b**
- Izotermiczne parowanie **b-c**
- Izentropowe sprężanie **c-d**
- Izobaryczne chłodzenie **d-d'-a**

Trudności techniczne realizacji obiegu Carnota w obszarze pary mokrej zostały przezwyciężone – za cenę niższej efektywności

$$\text{wydajność} = h_c - h_b = h_c - h_a$$

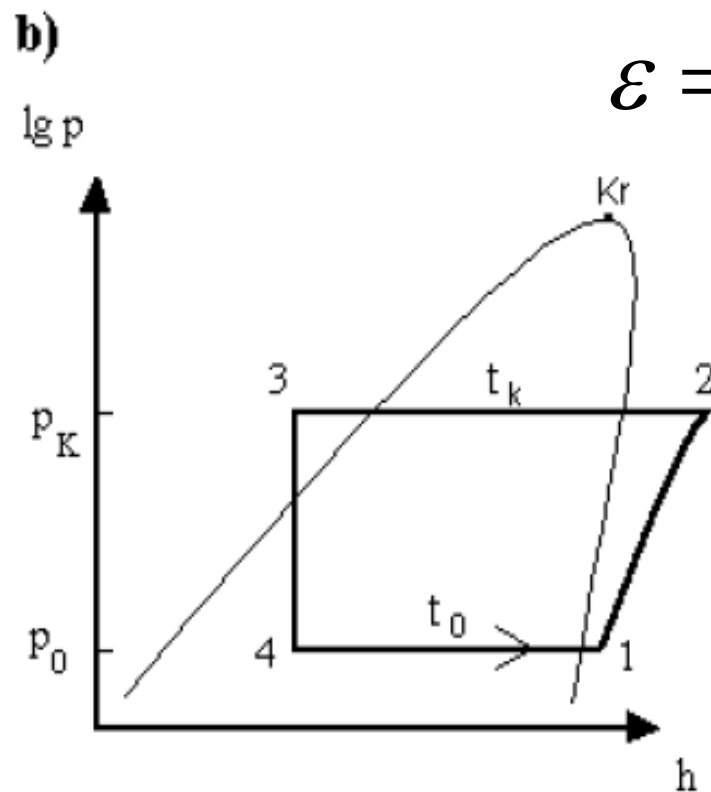
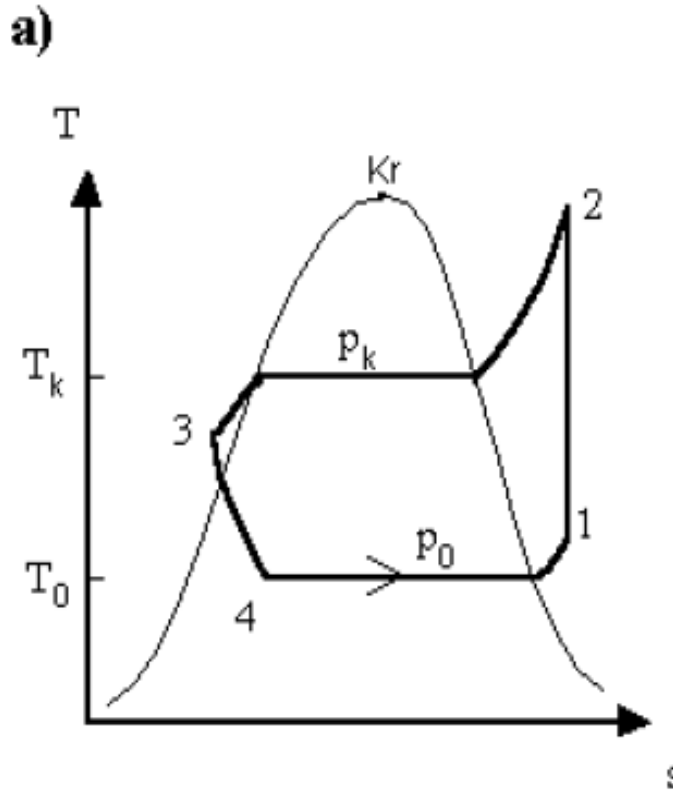
$$\text{praca} = h_d - h_c$$



$$COP = \frac{h_c - h_a}{h_d - h_c}$$



Idealny obieg Lindego

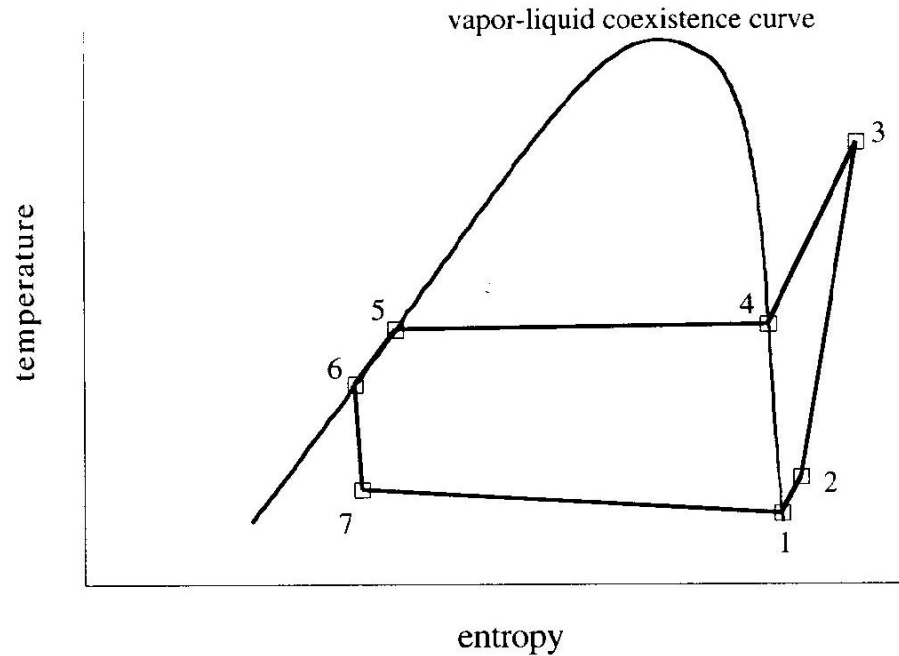


$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Odwzorowanie lewobieżnego obiegu Lindego na wykresie T-s (a) oraz p-h (b):
 p_0 , T_0 - ciśnienie i temperatura parowania, p_K ; T_K - ciśnienie i temperatura skraplania.
 Oznaczenia punktów charakterystycznych zgodne z rys. 1a.



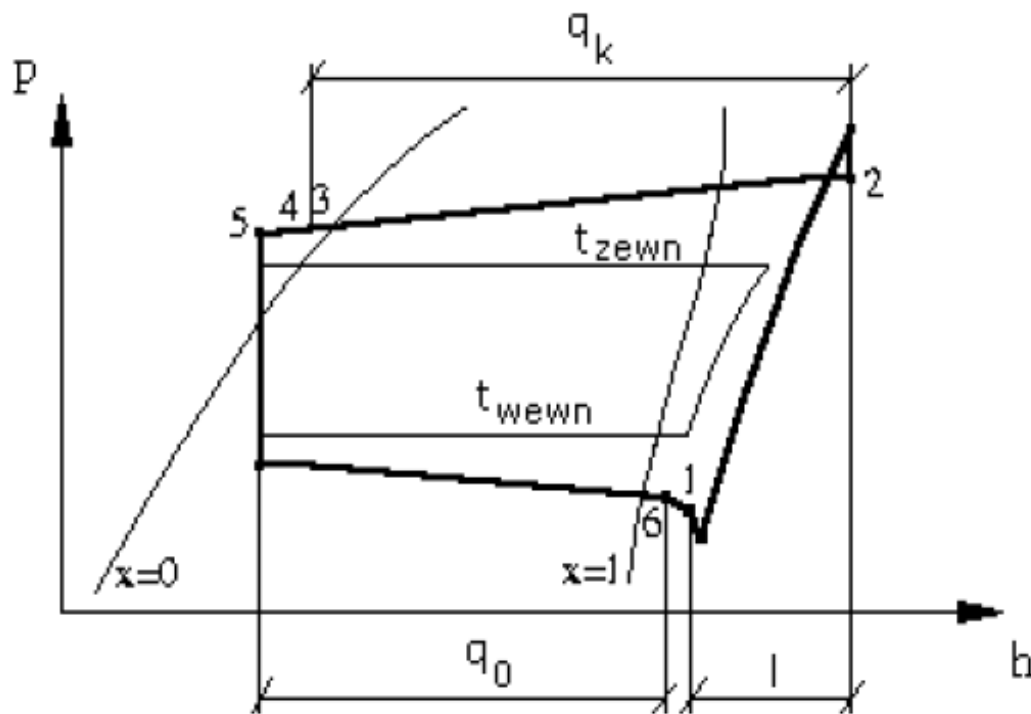
Rzeczywisty obieg Lindego



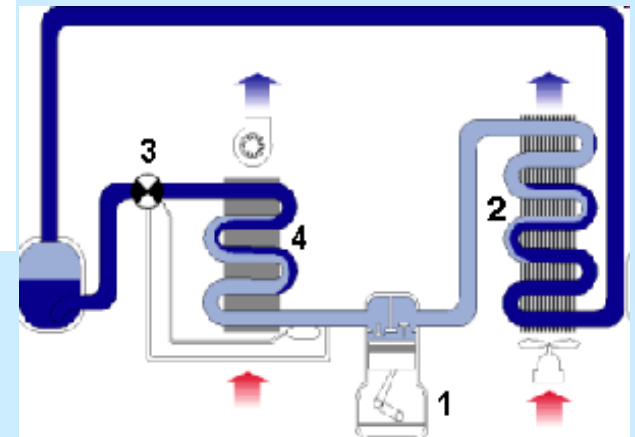
- Przegrzanie **1-2**
- Sprężanie ze stratami **2-3**
- Ochłodzenie do temperatury skraplania **3-4**
- Skraplanie **4-5**
- Dochłodzenie czynnika **5-6**
- Dławienie **6-7**
- Parowanie **7-1**



Rzeczywisty obieg Lindego



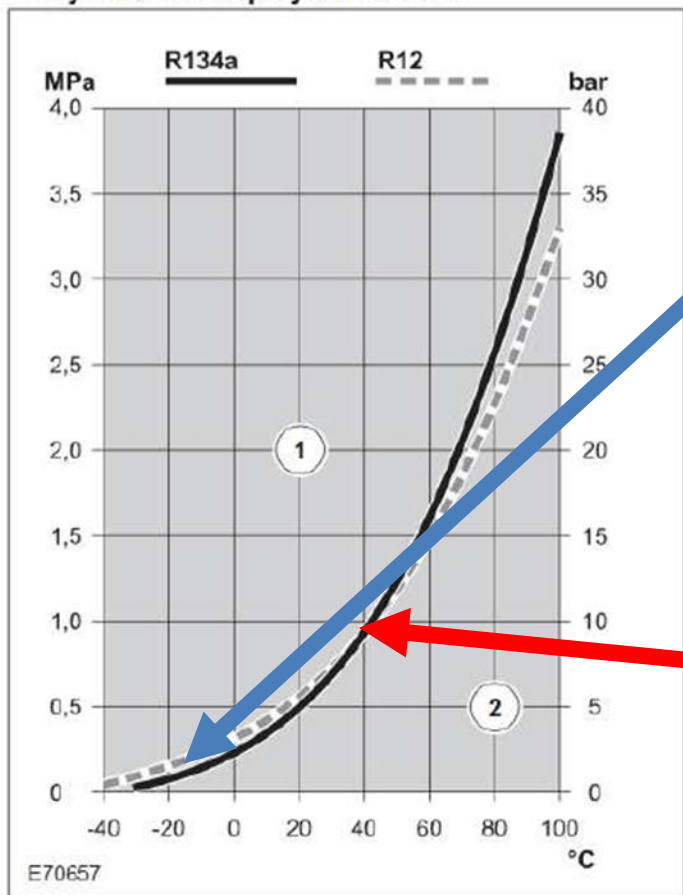
W rzeczywistym obiegu Lindego wystąpią spadki ciśnień w wymiennikach ciepła.



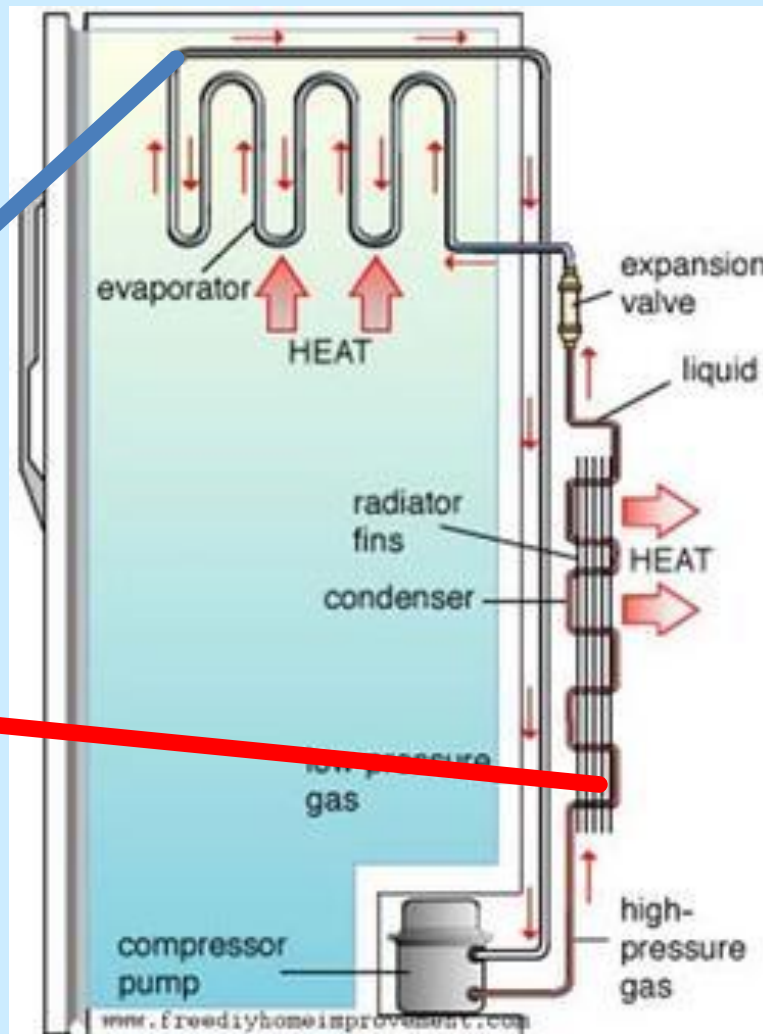


Lodówka domowa

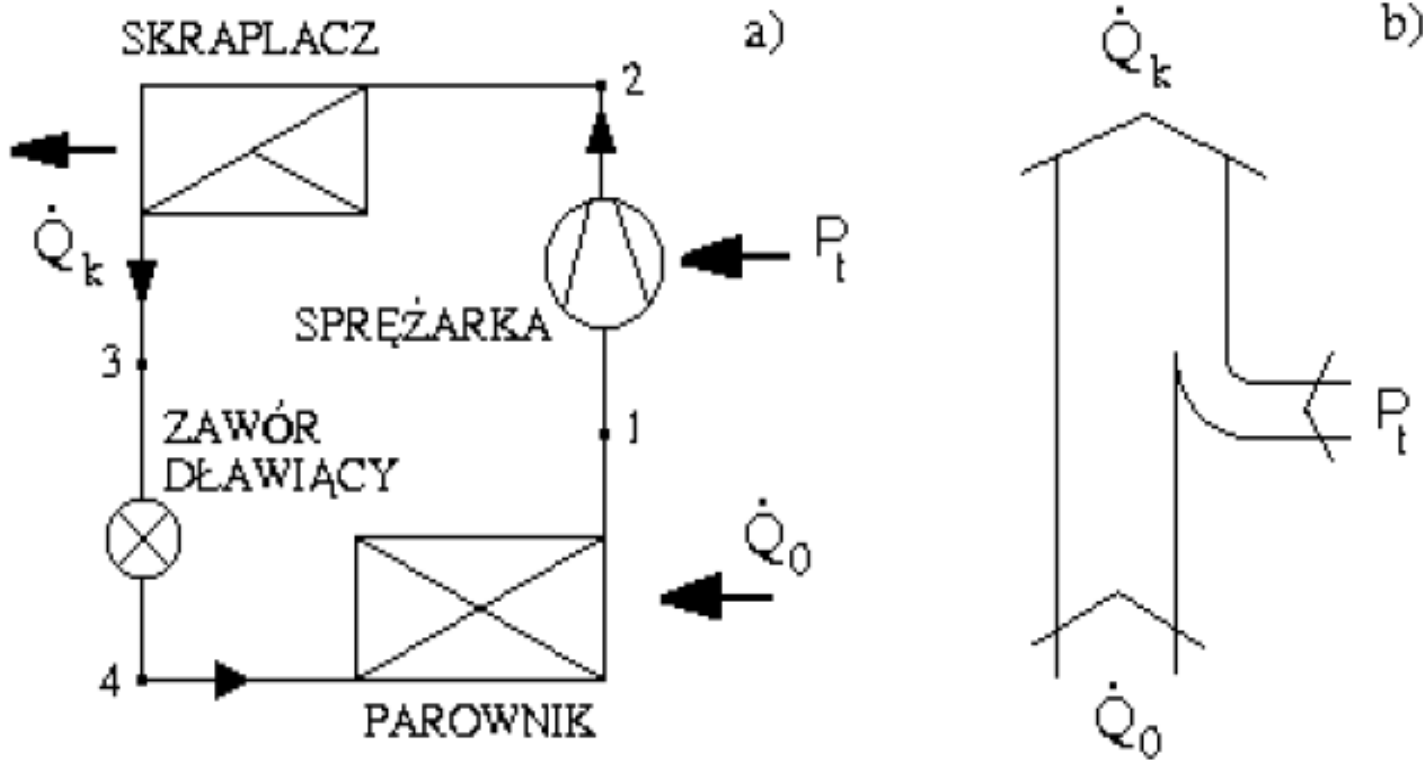
Krzywa ciśnienia pary R134a i R12



- 1 Stan ciekły
- 2 Stan gazowy



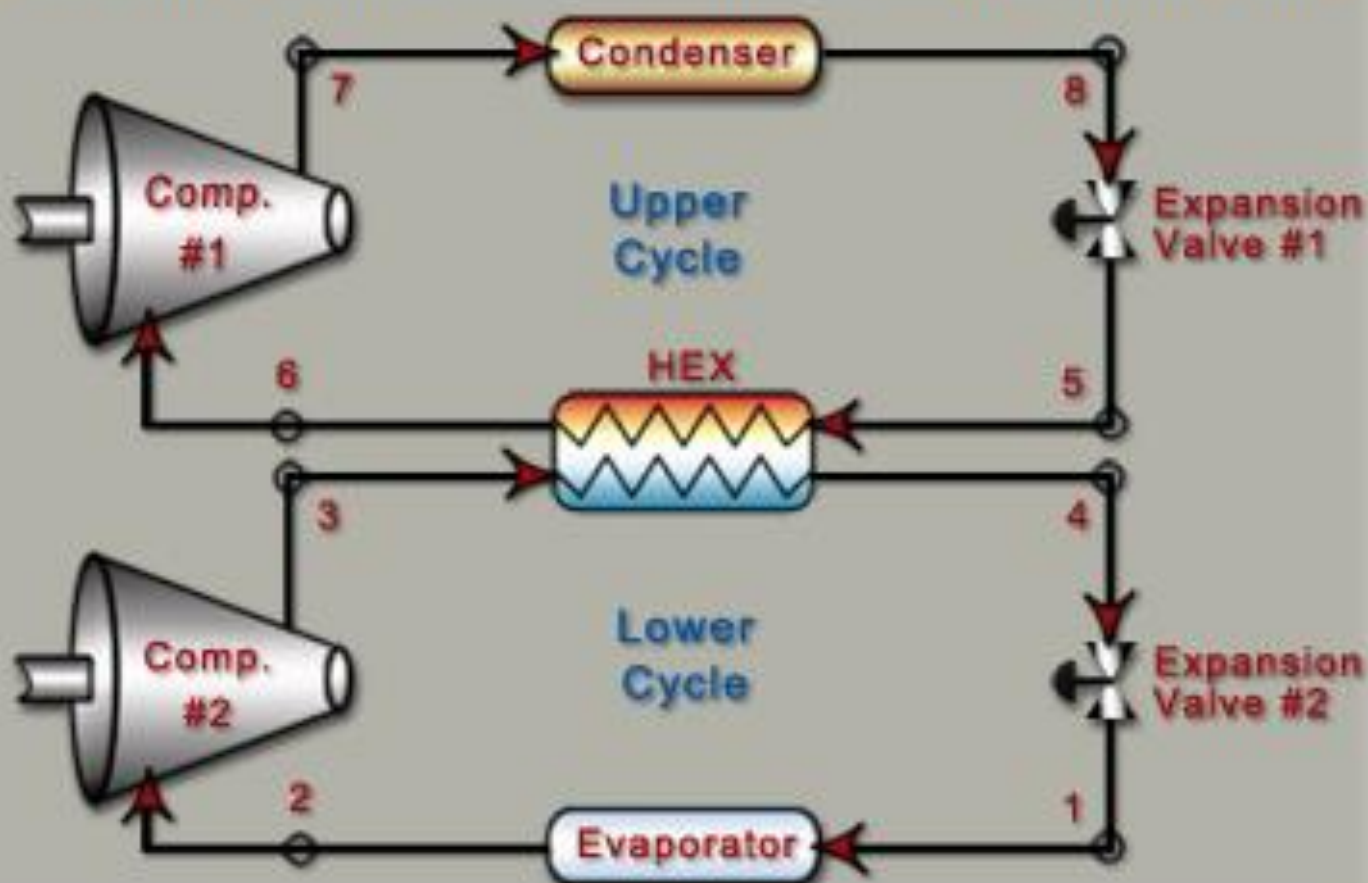
Schemat chłodziarki Lindego



Sprężarkowe chłodziarki Lindego należą do najprostszych i jednocześnie najmniej zawodnych urządzeń chłodniczych. Przykładem jest lodówka domowa.

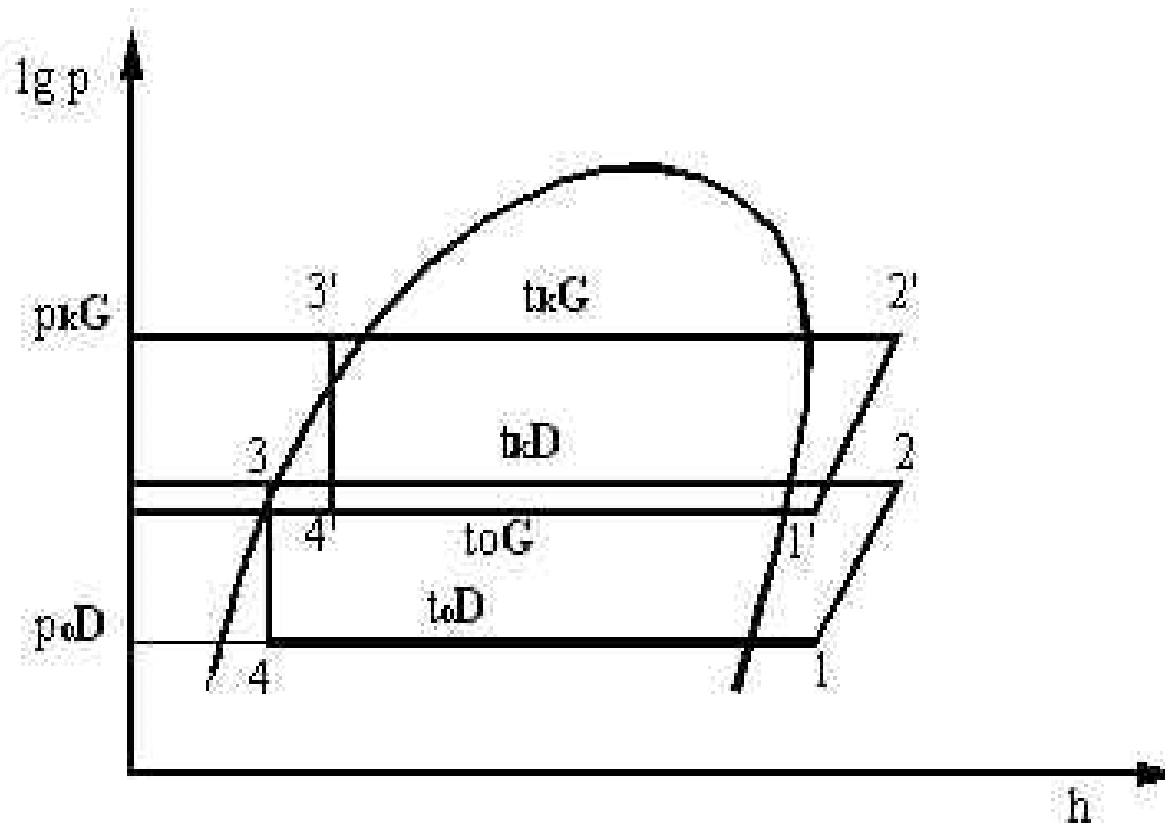
Układ kaskadowy dwustopniowy z jednakowym czynnikiem w obu stopniach

Cascade Vapor-Compression Refrigeration Cycle





Układ kaskadowy dwustopniowy z jednakowym czynnikiem w obu stopniach





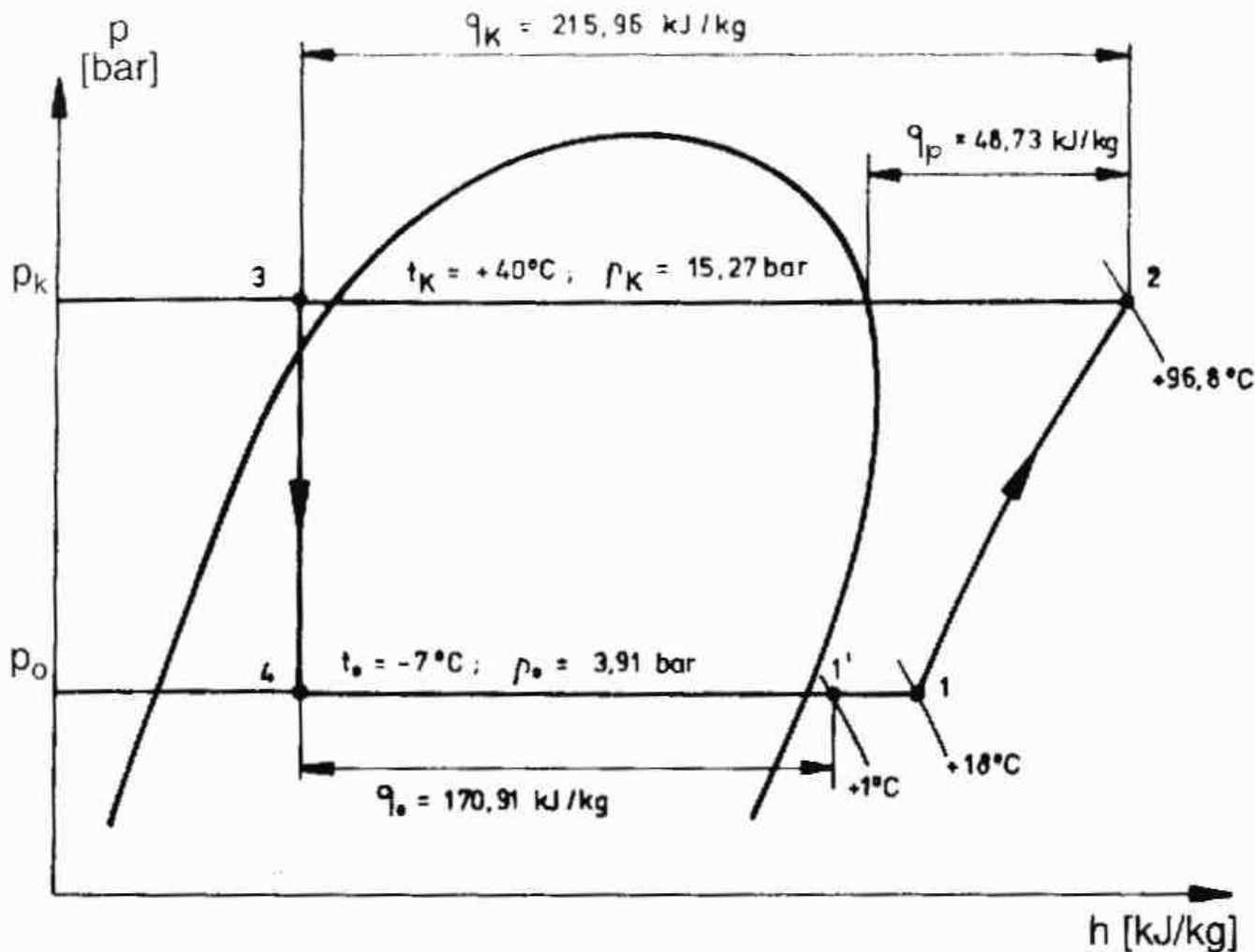
Sytemy ziębno-grzejne

Na dzień dzisiejszy nie sformułowano precyzyjnej definicji systemu ziębno-grzejnego. Jest to spowodowane faktem, że pojęcie obejmuje bardzo rozległy obszar zachodzący na różne dziedziny techniki.

W rozumieniu techniki chłodniczej i klimatyzacyjnej – Systemem ziębno – grzejnym można nazwać każdy system, w którym podczas realizacji podstawowej funkcji efektu chłodniczego lub grzewczego, zagospodarowywany jest również efekt uboczny w postaci efektów cieplnych.

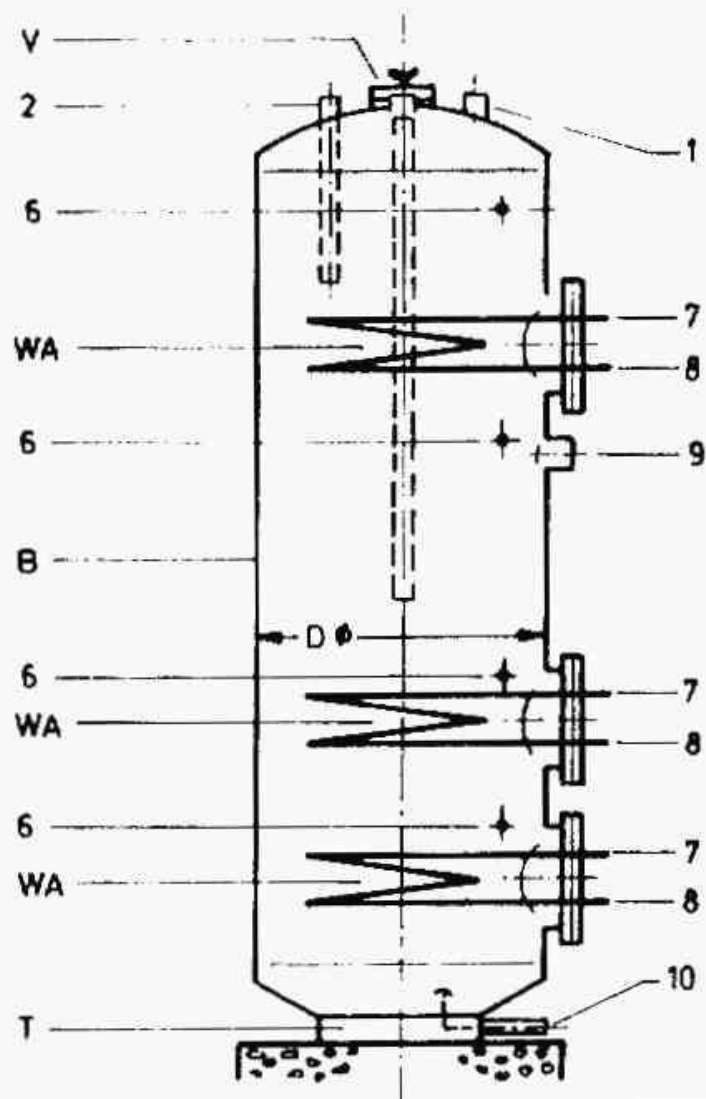
Systemem ziębno-grzejnym można nazwać zarówno instalację chłodniczą, w której zagospodarowywane jest ciepło przegrzanych par lub ciepło skraplania do celów użytkowych, jak i pompę ciepła, w której zagospodarowywany jest efekt uboczny w postaci mocy chłodniczej.

Sytemy ziębno-grzejne

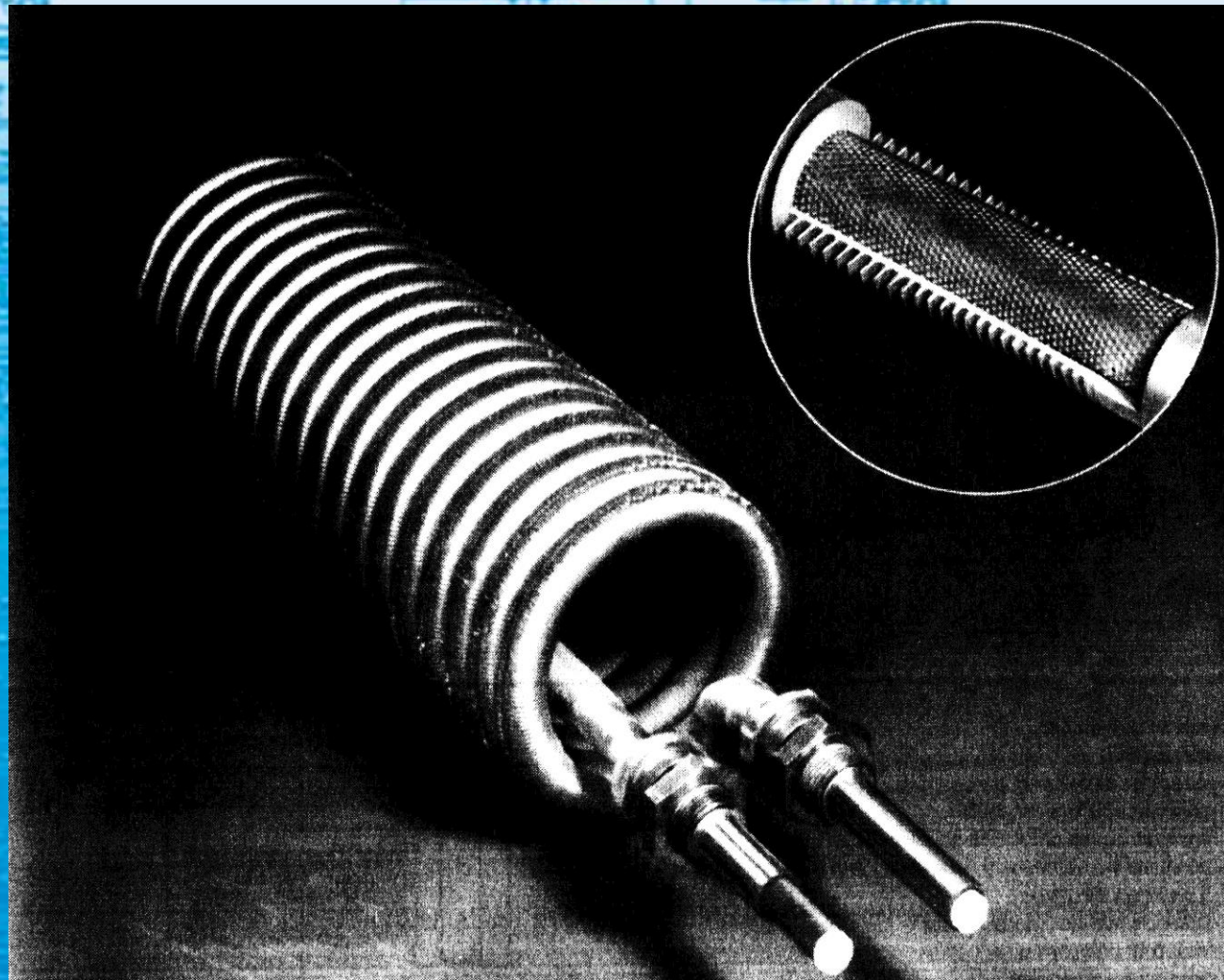


**System ziębno –
grzejny z
wykorzystaniem
ciepła
przegrzania
sprężonych par
w instalacjach
sprężarkowych
z odparowaniem
bezpośrednim z
R22.**

**Instalacja odzysku ciepła z przegrzanych par ziębnika służąca do produkcji ciepłej wody użytkowej.
Przykład zbiornika akumulacyjnego z wbudowanymi chłodnicami czynnika chłodniczego.**

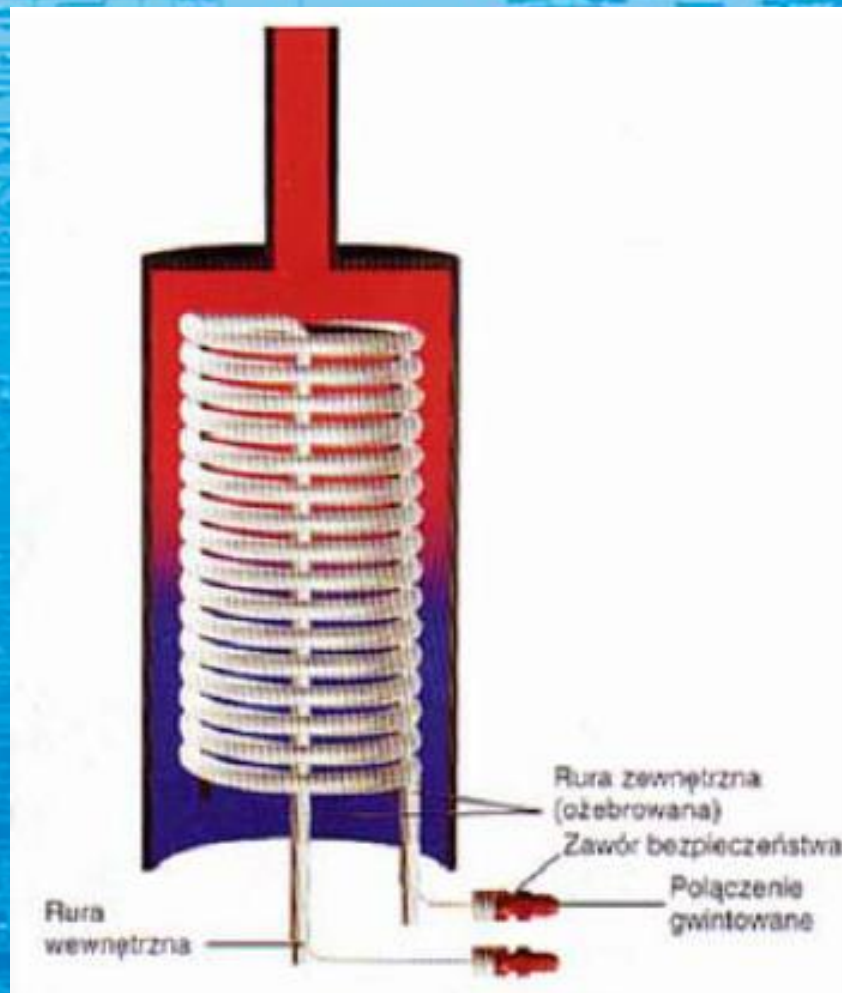


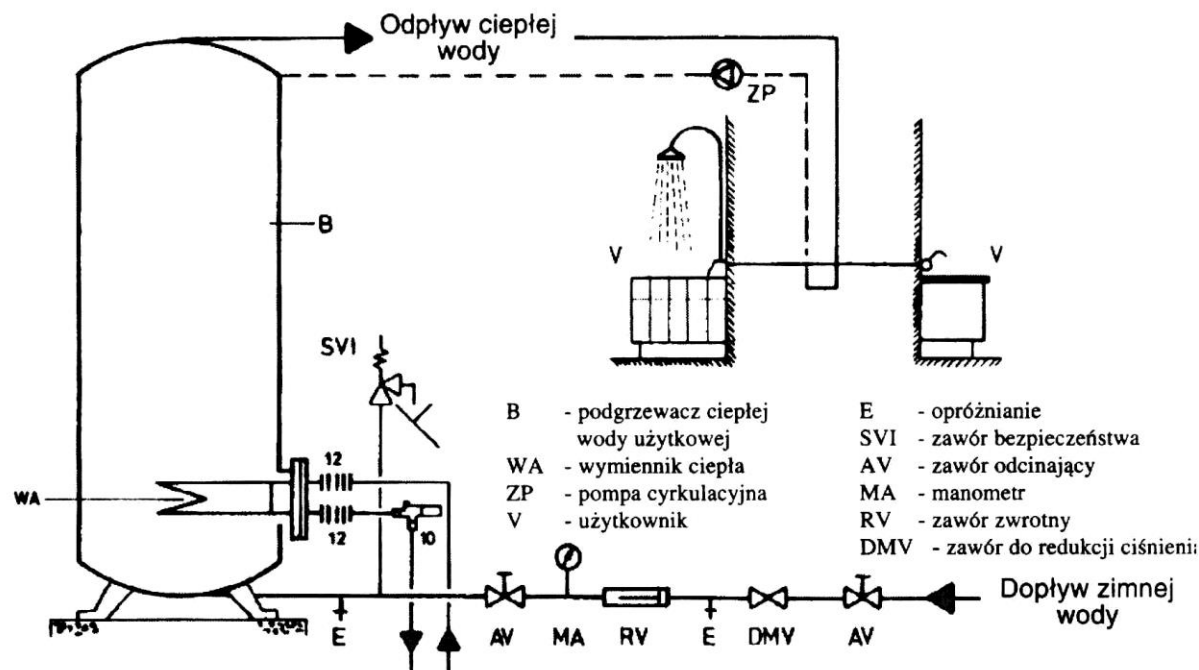
- 1 – wylot gorącej wody R 1''
- 2 – mufa R 3/4'' z rurą nurkową PVC 300 mm
- 3 – mufa R 1'' z rurą nurkową PVC 900 mm
- 4 – mufa R 1''
- 6 – mufa R 1/2'' do termometru lub regulacji
- 7 – wlot do stalowego wymiennika ciepła czynnika chłodniczego
- 8 – wylot ze stalowego wymiennika ciepła czynnika chłodniczego
- 9 – mufa R 1 1/2'' do dodatkowego ogrzewania elektrycznego
- 10 – dopływ zimnej wody R 1''
- T – tabliczka znamionowa
- B – grzejnik wody użytkowej
- V – pokrywa zamykająca
- WA – wymiennik ciepła



Przykład zbiornika akumulacyjnego z wbudowanymi chłodnicami żiębnika w wykonaniu firmy DK.

Kluczowym elementem regulacyjnym w tym rozwiązaniu jest regulator ciśnienia skraplania, którego zadaniem jest nie dopuścić do samoregulacji tego parametru. Dla tego typu wymiennika można zastosować model matematyczny zaprezentowany w: Ruch ciepła i wymienniki – Tadeusz Hobler. Rozdział: Przypadki nieustalonej wymiany ciepła.



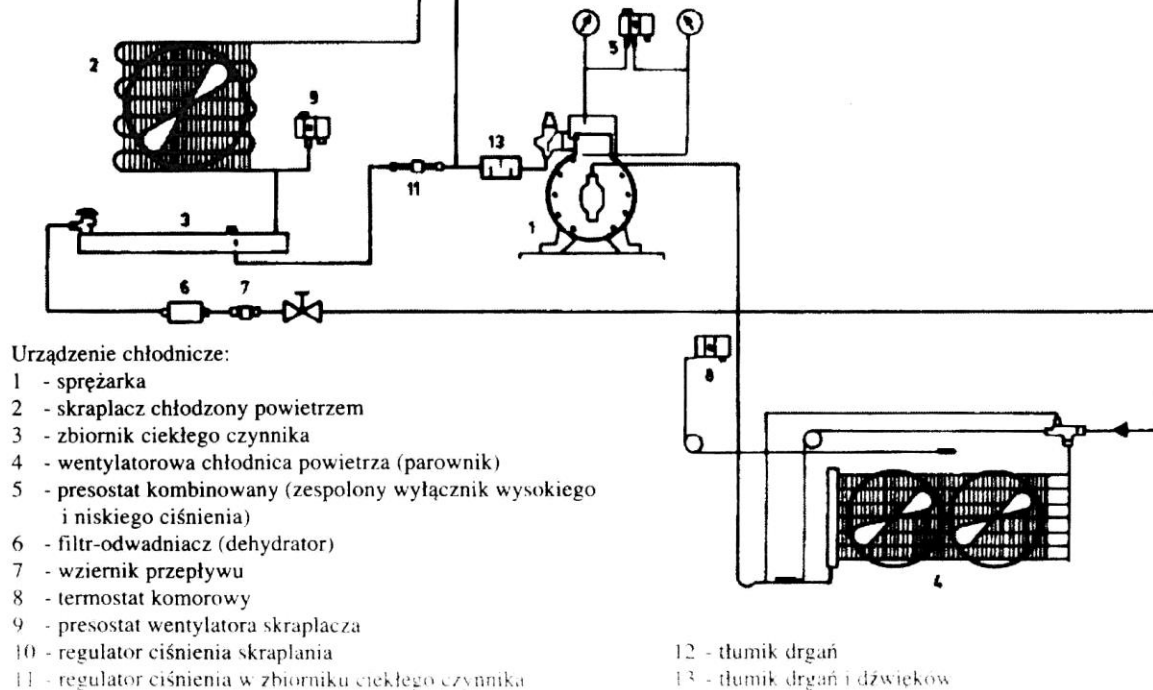


Wadą tego rozwiązania jest:

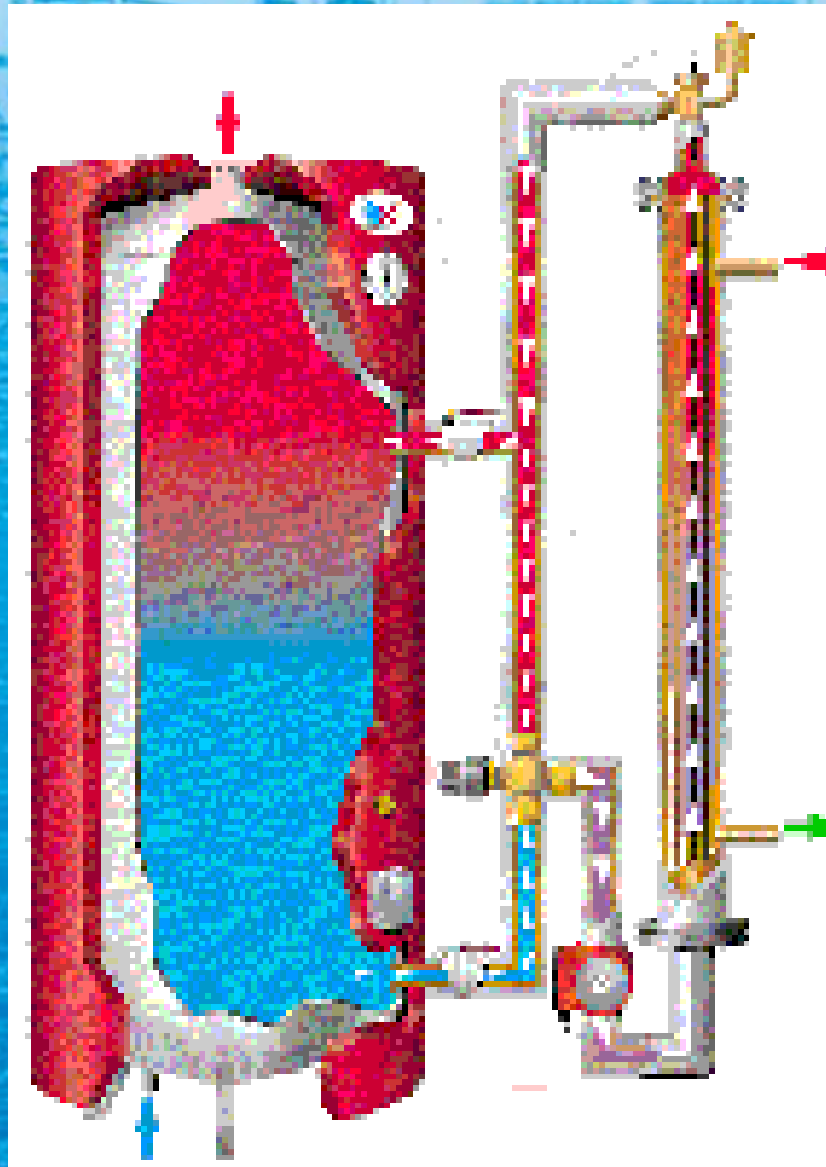
- możliwość przedostania się zaolejonego ziębnika do wody użytkowej w przypadku wystąpienia nieszczelności.
- możliwość uszkodzenia wymiennika lub zmniejszenia jego wydajności na skutek odkładania się kamienia kotłowego.

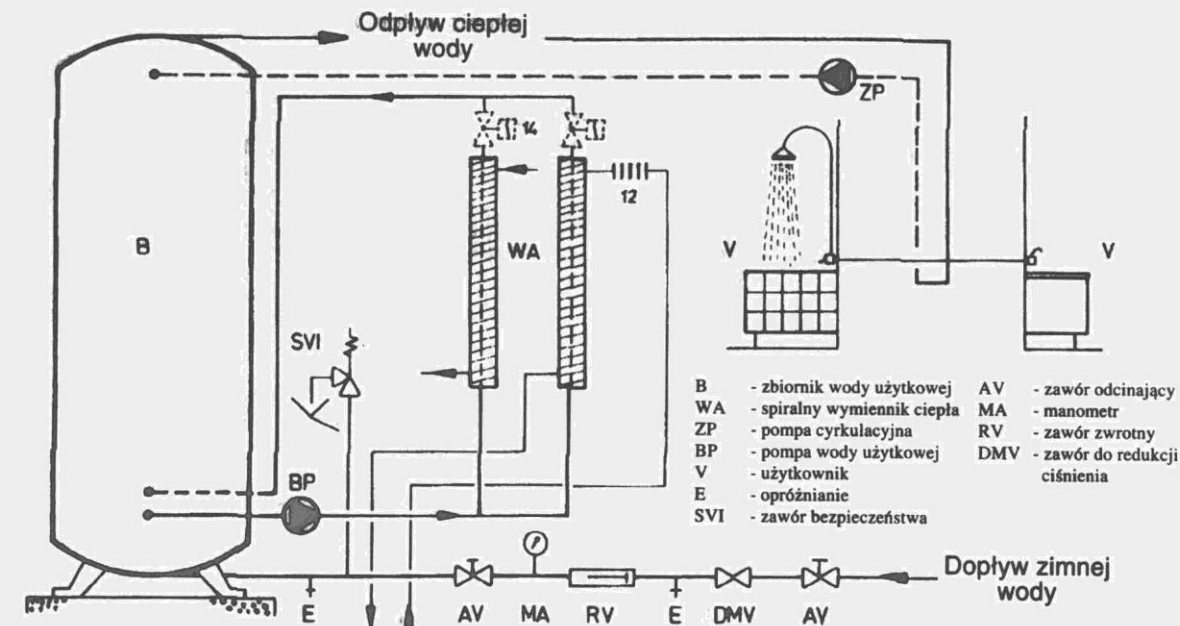
Zalety:

- brak pompy cyrkulacyjnej wymuszającej ruch wody w samym zbiorniku
- wykorzystanie naturalnego grawitacyjnego ruchu wody
- Wysoka sprawność urządzenia.

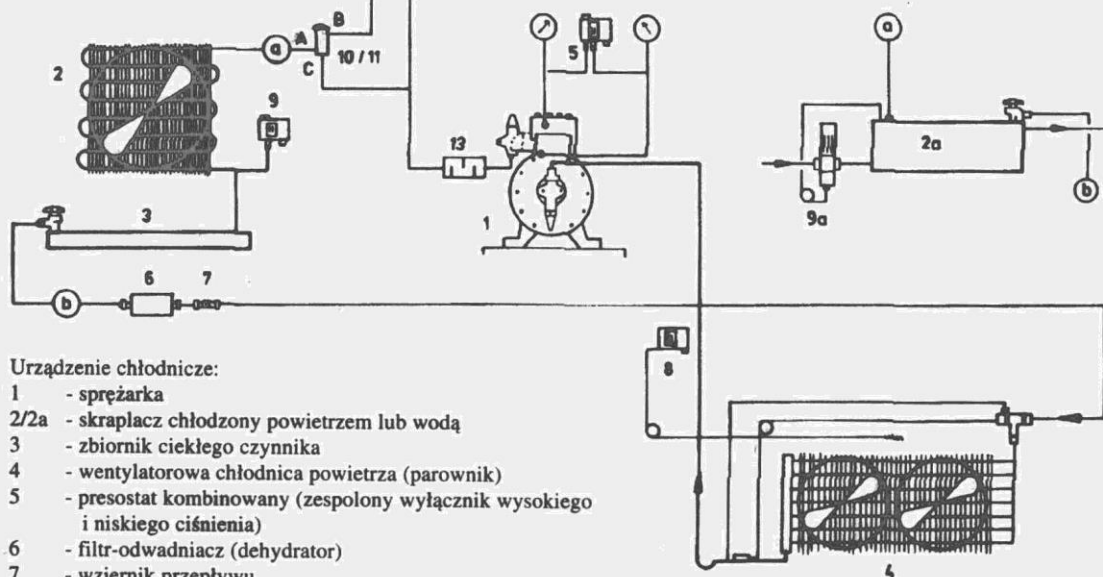


Instalacja odzysku ciepła z przegrzanych par ziębnika służąca do produkcji ciepłej wody użytkowej. Przykład zbiornika akumulacyjnego z wymiennikiem odzysku ciepła umieszczonym na zewnątrz.





- | | | | |
|-----|-----------------------------|-----|-------------------------------|
| B | - zbiornik wody użytkowej | AV | - zawór odcinający |
| WA | - spiralny wymiennik ciepła | MA | - manometr |
| ZP | - pompa cyrkulacyjna | RV | - zawór zwrotny |
| BP | - pompa wody użytkowej | DMV | - zawór do redukcji ciśnienia |
| V | - użytkownik | | |
| E | - opróżnianie | | |
| SVI | - zawór bezpieczeństwa | | |



Urządzenie chłodnicze:

- | | | | |
|-------|--|----|----------------------------|
| 1 | - sprężarka | 12 | - tłumik drgań |
| 2/2a | - skraplacz chłodzony powietrzem lub wodą | 13 | - tłumik drgań i dźwięków |
| 3 | - zbiornik ciekłego czynnika | 14 | - zawór elektromagnetyczny |
| 4 | - wentylatorowa chłodnica powietrza (parownik) | | |
| 5 | - presostat kombinowany (zespolony wyłącznik wysokiego i niskiego ciśnienia) | | |
| 6 | - filtr-odwadniacz (dehydrator) | | |
| 7 | - wziernik przepływu | | |
| 8 | - termostat komorowy | | |
| 9 | - presostat wentylatora skraplacza | | |
| 9a | - presostatyczny zawór wodny | | |
| 10/11 | - regulator ciśnienia skraplania | | |

Instalacja odzysku ciepła z przegrzanych par ziębnika służąca do produkcji ciepłej wody użytkowej. Przykład zbiornika akumulacyjnego z wymiennikiem odzysku ciepła umieszczonym na zewnątrz.

