



Pompy ciepła

Wykład I

6.10.2020

Wprowadzenie

Wprowadzenie



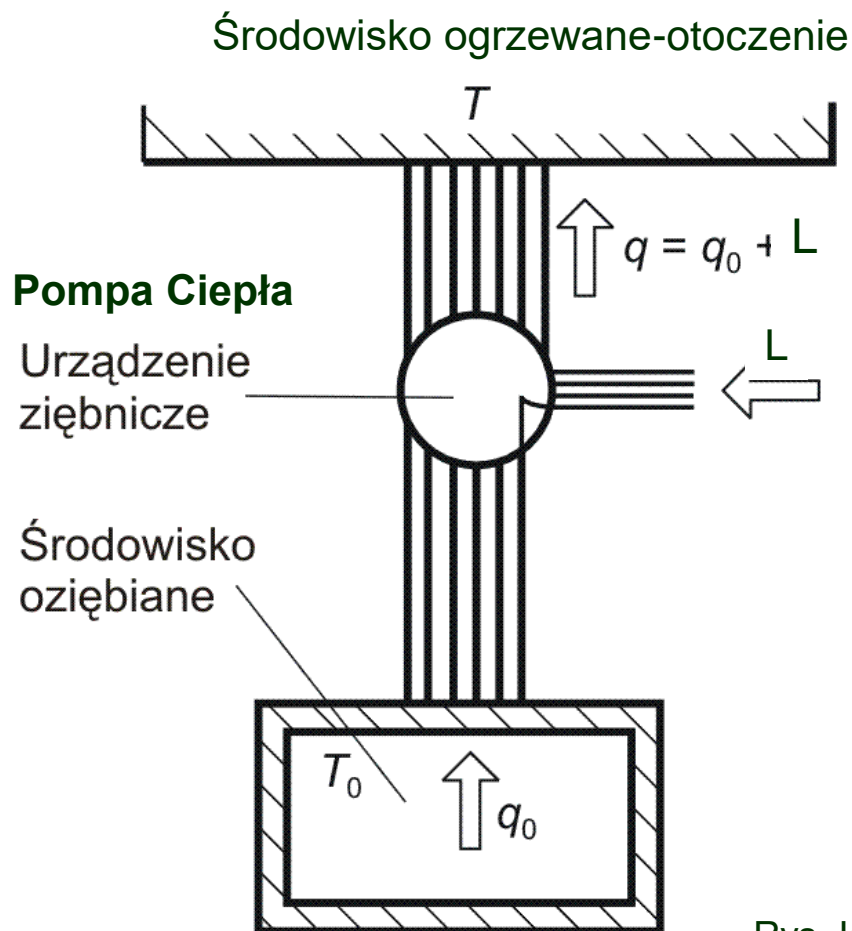
Od prawie 200 lat znane są w technice metody i urządzenia, przy pomocy których można w sposób ciągły obniżać temperatury obiektów (pomieszczeń, mediów, ciał stałych) w stosunku do temperatury początkowej lub temperatury zewnętrznej.

Pobierane jest przy tym ciepło od obiektu chłodzonego, które przy wyższej temperaturze, musi być oddane do otoczenia.

Ciepło jest więc przenoszone od źródła o niskiej temperaturze do źródła o wyższej temperaturze, co jest możliwe jedynie przez dostarczenie energii do tego przenoszenia czyli energii napędowej. Podstawy teoretyczne działania takich urządzeń wynikają wprost z pracy Carnota opublikowanej w 1824 roku.

System termodynamiczny

realizowany przy niezmienniej temperaturze źródeł ciepła



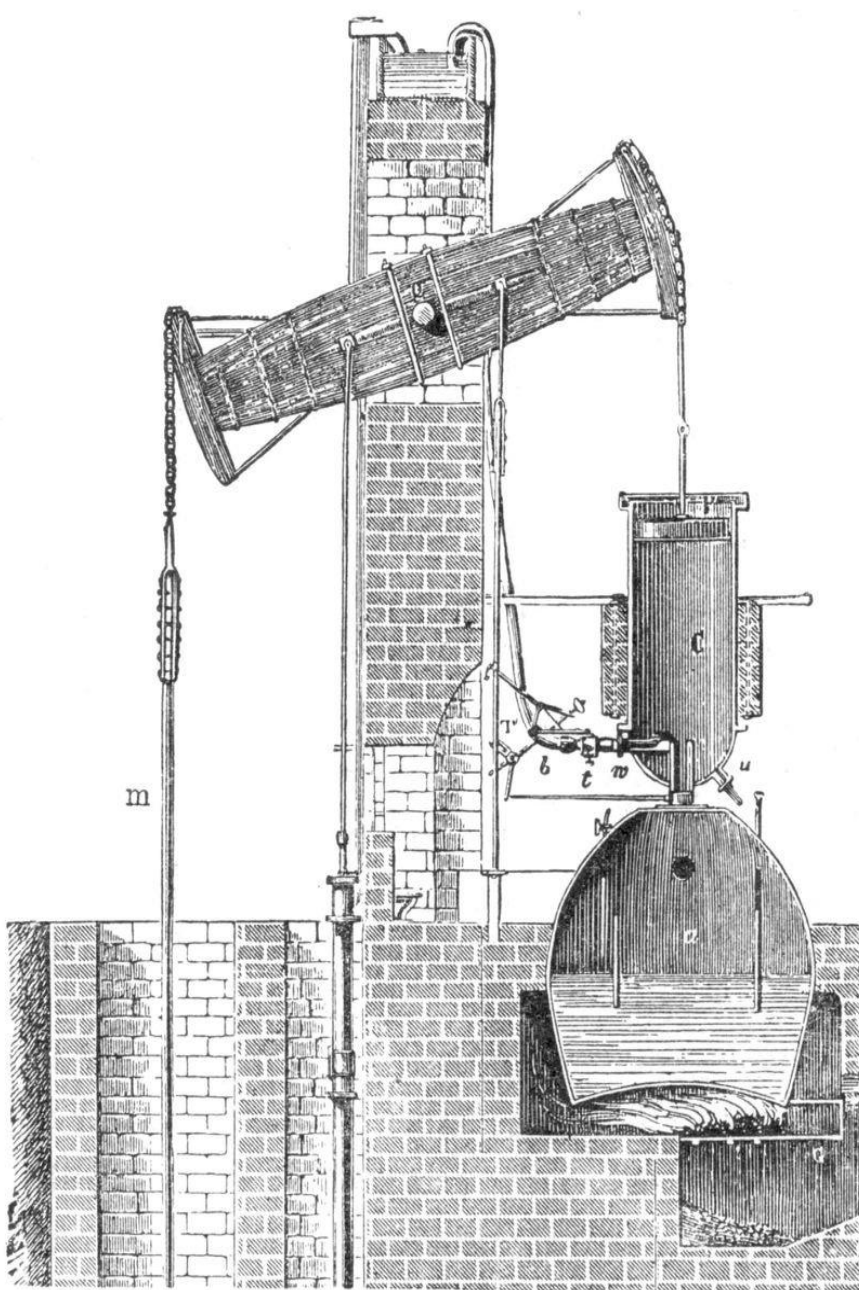
Ze środowiska o stałej temperaturze T_0 , które można nazwać środowiskiem oziębianym, czynnik roboczy – pobiera pewną ilość energii cieplnej q_0 , która zostaje odprowadzona do otoczenia o stałej temperaturze T . Aby to zrealizować konieczne jest wykonanie pracy L

Rys. Ideowy schemat systemu lewobieżnego

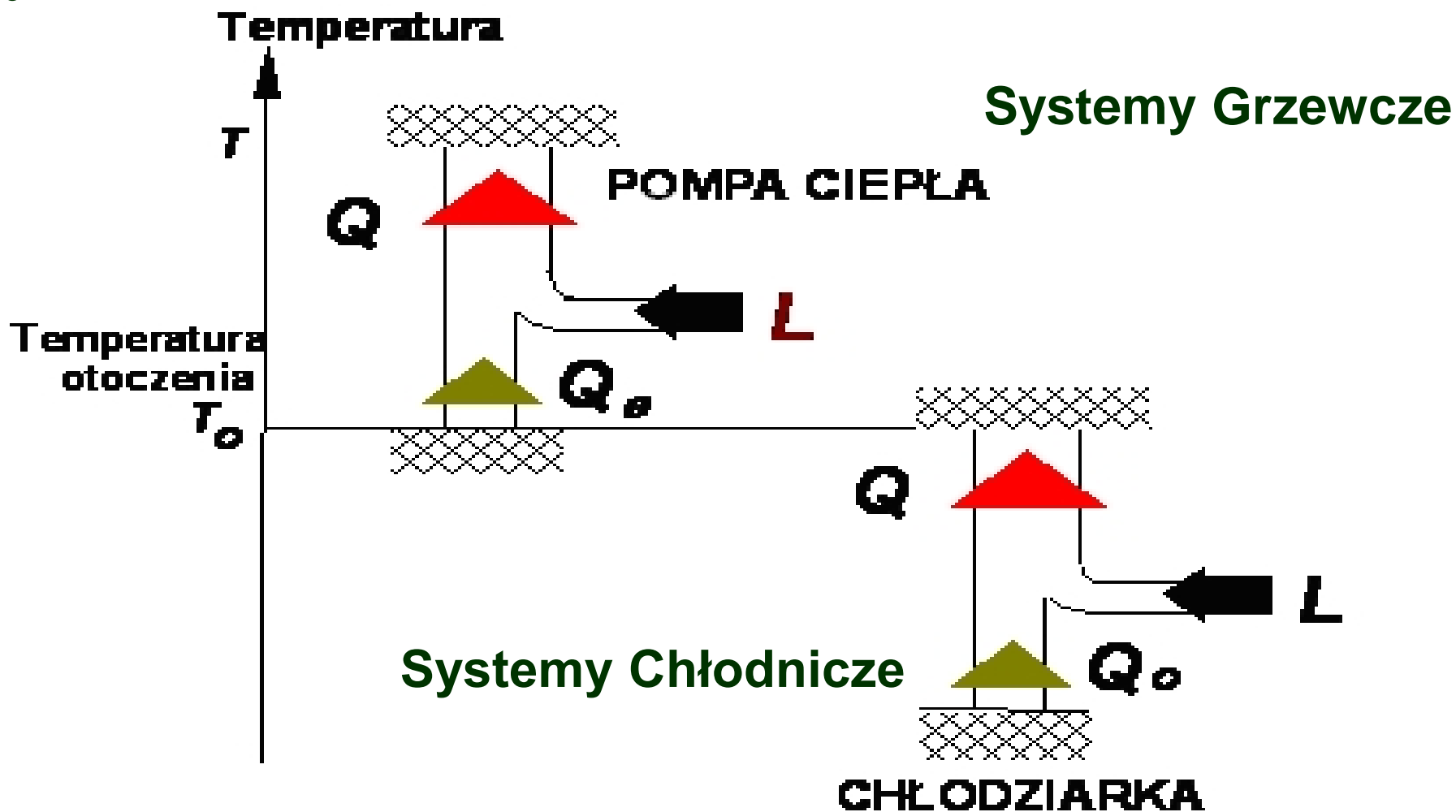
rzędzenia, dzięki którym można dokonać takiej czynności to:

chłodziarki – gdy chodzi nam o pobranie określonej ilości ciepła przy niskiej temperaturze i osiągnięciu pożądanej mocy chłodzenia;

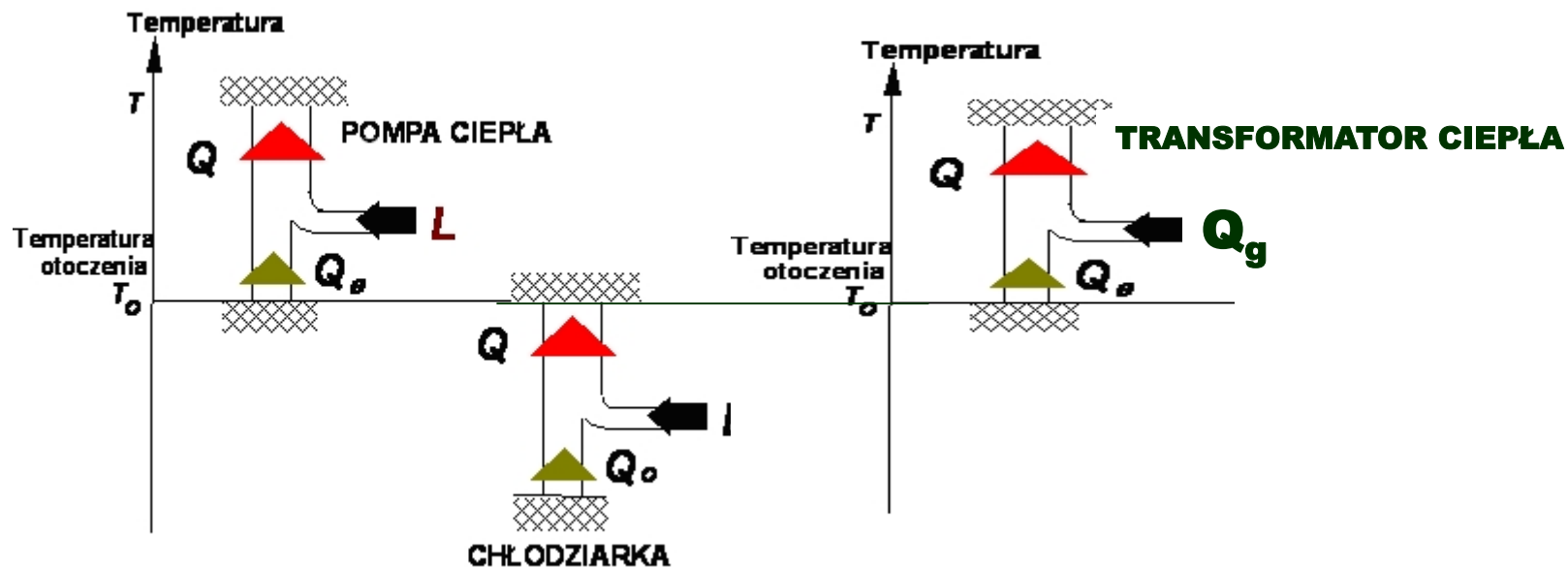
pompy ciepła – gdy ilość oddawanego ciepła przy wyższej temperaturze od temperatury otoczenia osiąga wartość uzasadnioną do ekonomicznego wykorzystania lub gdy jednocześnie istnieje zapotrzebowanie na efekt chłodzenia i grzania.



Idea działania pompy ciepła i chłodziarki.



Pompa ciepła- transformator ciepła.



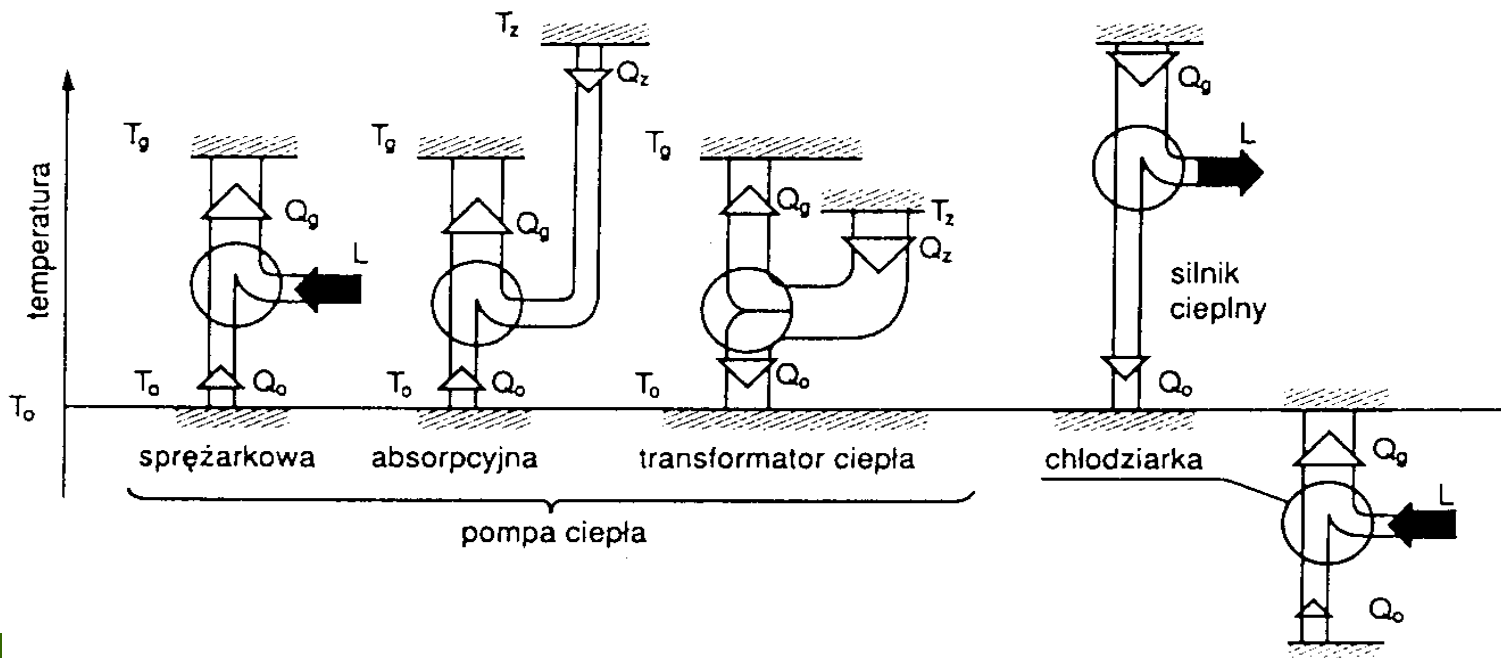
DEF. Pompy ciepła- definicja.

Pompa ciepła to urządzenie grzewcze wymuszające przepływ ciepła ze źródła o temperaturze niższej do źródła o temperaturze wyższej. Proces ten zachodzi dzięki dostarczaniu energii mechanicznej lub cieplnej i realizacji lewobieżnego obiegu termodynamicznego.

Idea działania

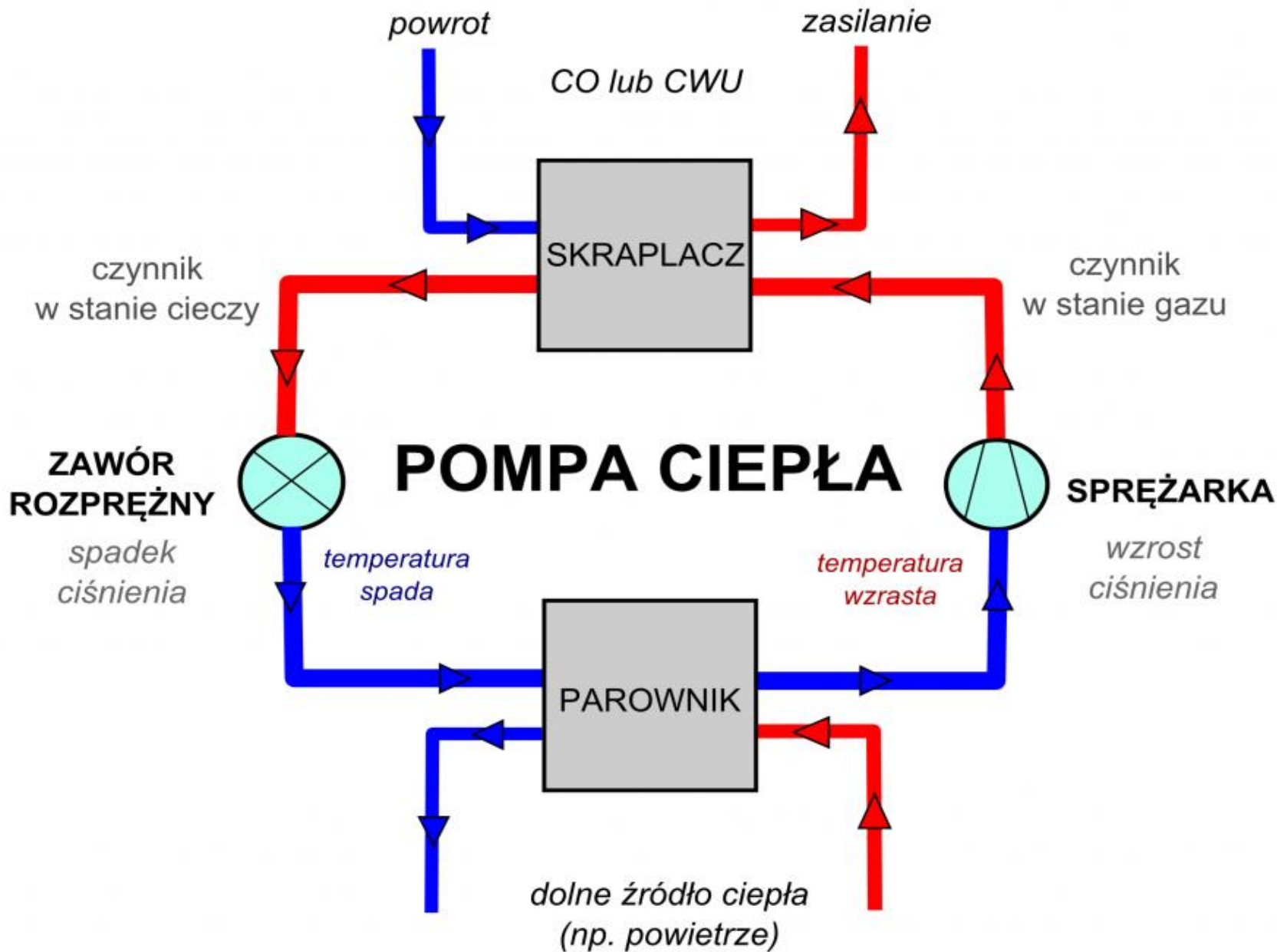
Realizowany jest tzw. lewobieżny obieg termodynamiczny - obieg chłodniczy (w odróżnieniu od obiegu prawobieżnego - silnika), ten sam co w urządzeniach chłodniczych, ale przy innym zakresie temperatur.

Temperatura otoczenia T_0 - najistotniejszy parametr Pompy Ciepła.



POMPY CIEPŁA czyli lewobieżne systemy cieplne wykorzystywane w celach grzewczych

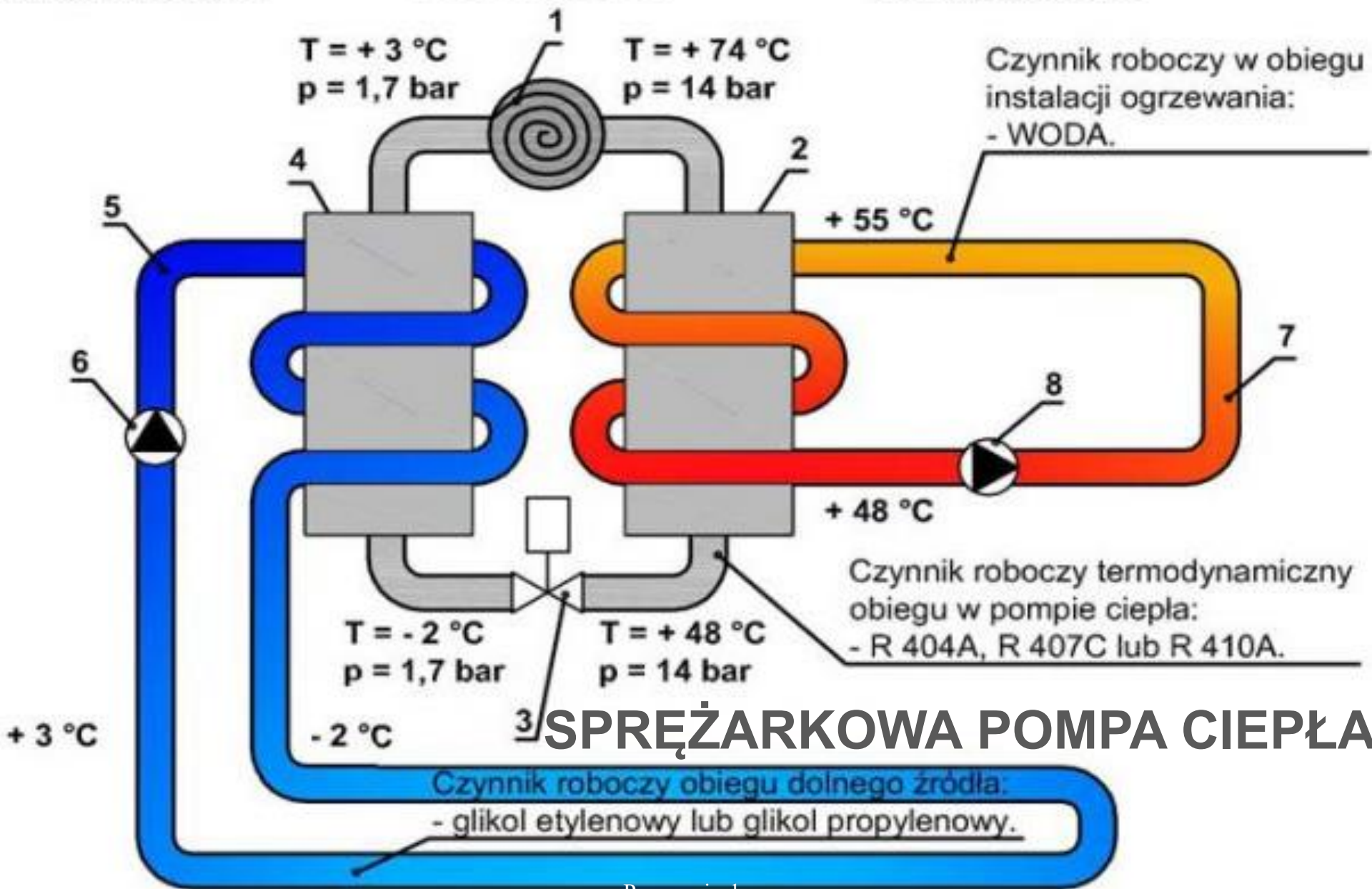
- **Pompy Ciepła**
- **Wysokotemperaturowe PC**
- **Systemy ziębno-grzewcze**
- **Absorpcyjne Pompy ciepła**
- **Absorpcyjne Transformatory ciepła**
 - a) **Sorpcyjne pompy ciepła podwyższające**
 - b) **Sorpcyjne pompy ciepła rozdzielające**



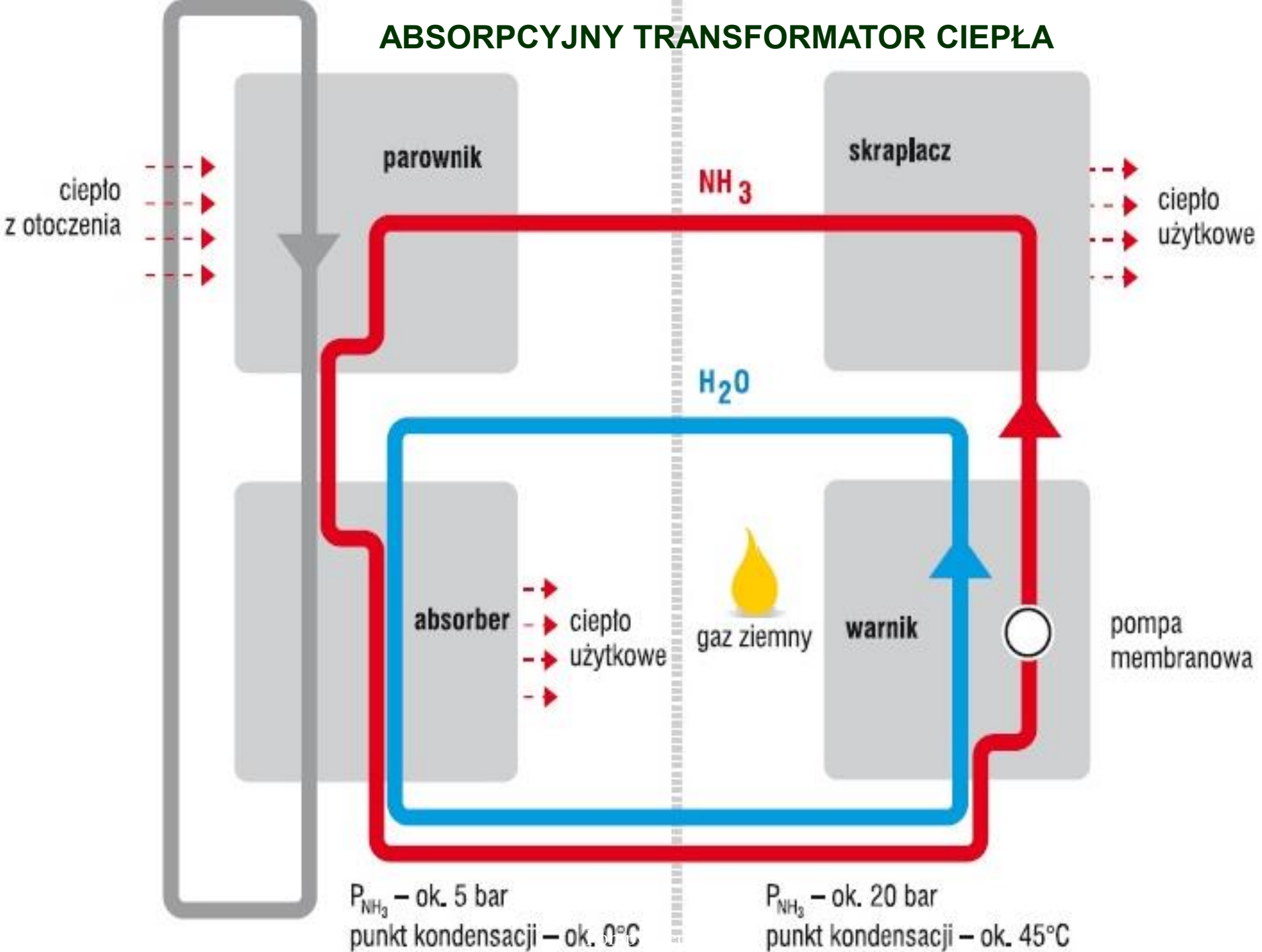
OBIEG NR 1
DOLNE ŹRÓDŁO

OBIEG NR 2
POMPA CIEPŁA

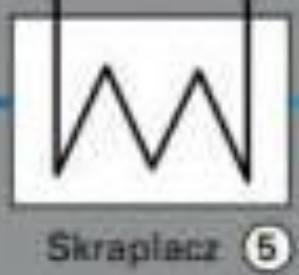
OBIEG NR 3
GÓRNE ŹRÓDŁO



ABSORPCYJNY TRANSFORMATOR CIEPŁA



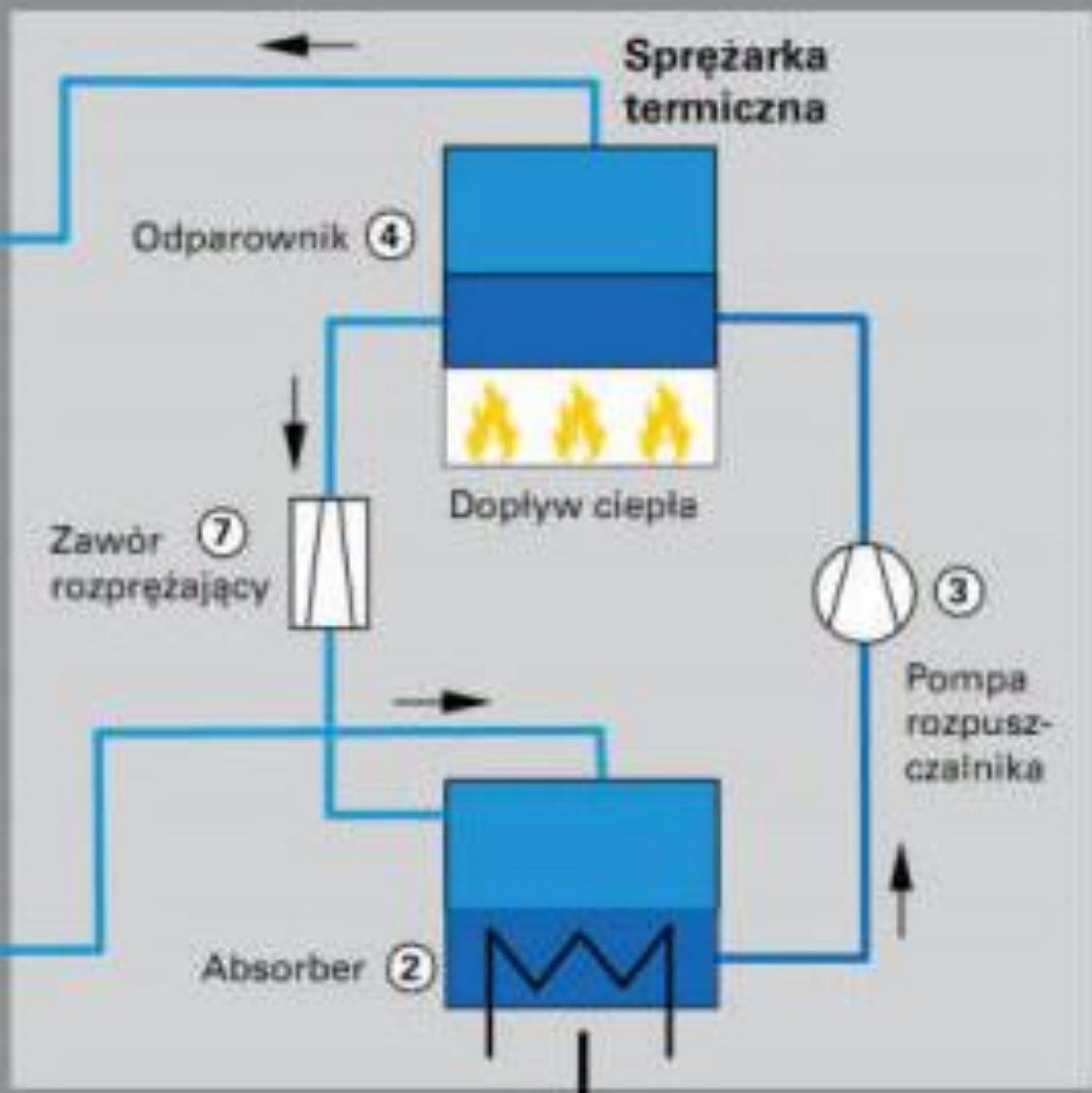
Oddawanie ciepła
(do systemu
grzewczego)



Zawór 6
rozprężający



Dopływ ciepła
(ze środowiska)

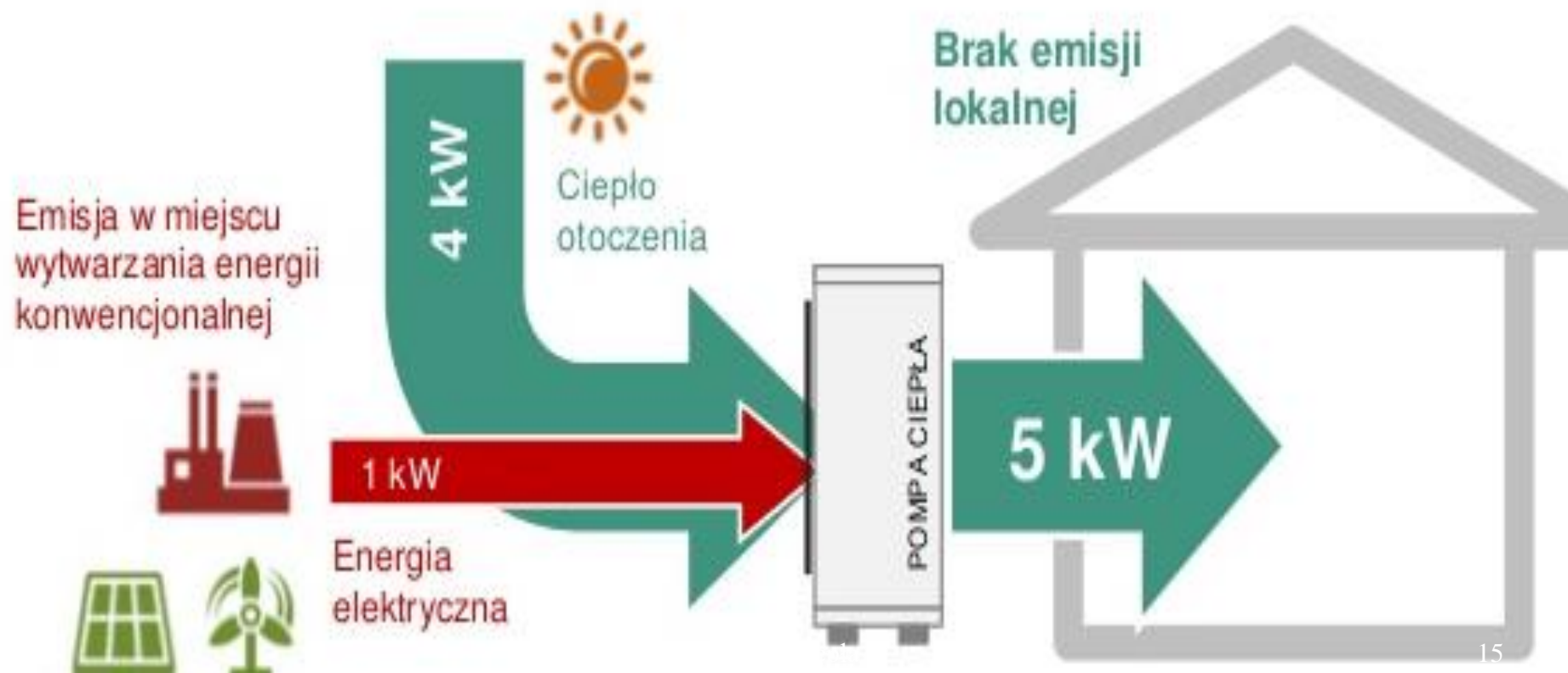


Oddawanie ciepła
(do systemu grzewczego)



Pompa ciepła to nie tylko aspekt ekonomiczny ale
względę ekologiczne
- w wymiarze lokalnych i globalnym

- Jedyna emisja zanieczyszczeń może powstawać w miejscu wytwarzania energii elektrycznej ze spalania paliw. Należy jednak zaznaczyć, że emisje jednostkowe zanieczyszczeń przy spalaniu paliw stałych w elektrowni, czy elektrociepłowni są nawet kilkadziesiąt razy niższe od emisji z małych lokalnych źródeł ciepła (kotły węglowe).
- Emisje globalne mogą być dodatkowo obniżone przy zastosowaniu w budynku instalacji fotowoltaicznej wytwarzającej na miejscu czystą energię elektryczną. Do samej pracy, pompa ciepła potrzebuje minimalną ilość energii, np. dla $COP = 5$, na każde 5 kW ciepła dostarczanego do budynku, zużycie energii wynosi jedynie 1 kW.



Dom z pompą ciepła może być zbudowany zgodnie z ideą „domu bez komina”. Pompa ciepła która nie spala paliwa (jak w przypadku kotła) nie emituje tym samym lokalnie żadnych zanieczyszczeń. Dodatkowo budowa domu bez komina przynosi cały szereg innych korzyści. Zmniejsza m.in. koszty budowy domu upraszczając i skracając czas wykonywania prac budowlanych. Brak komina stwarza także bardziej dogodne warunki dla zabudowy paneli fotowoltaicznych, coraz częściej stosowanych wspólnie z pompą ciepła.



▪ Sprawność pompy ciepła pracującej w systemie grzewczym starszego budynku może być niższa niż w nowym systemie niskotemperaturowym. Nadal jest to jednak wysoki poziom SCOP wynoszący zwykle od 3 do 4 (wg kalkulatora JAZ, waerpumpe.de). Koszty zakupu energii przy standardowej taryfie 1-strefowej G11 nie powinny przekroczyć 3.400 zł/rok (0,55 zł/kWh brutto), ale już w taryfie 2-strefowej G12w powinny się obniżyć do około 2.690 zł/rok (0,437 zł/kWh przy zużyciu energii 40% w szczycie i 60% poza szczytem).



▪ Kocioł węglowy

▪ Sprawność średnioroczna w trybie CO/CWU: **70/60%**

▪ Zużycie węgla: **4,1 t/rok**

▪ Koszty paliwa: **3.700 zł/rok**



▪ Pompa ciepła powietrze/woda

▪ Efektywność średnioroczna SCOP w trybie CO/CWU: **3,19/3,44**

▪ Zużycie energii elektr.: **6.160 kWh/rok**

▪ Koszty energii: **2.690 zł/rok (taryfa G12w)**

Porównanie **lokalnych** emisji zanieczyszczeń kotła węglowego z pompą ciepła

- W miejscu zainstalowania źródła ciepła, emisje zanieczyszczeń oraz dwutlenku węgla CO₂ (który jest definiowany nie jako zanieczyszczenie, ale gaz cieplarniany), będą występować jedynie w przypadku kotłów grzewczych spalających na miejscu paliwo.

	KOCIOŁ WĘGLOWY	POMPA CIEPŁA
Dwutlenek węgla CO ₂	▪ 7.600 kg/rok	▪ brak emisji lokalnej
Tlenek węgla CO	▪ 184,5 kg/rok	
Dwutlenek siarki SO ₂	▪ 78,7 kg/rok	
Tlenki azotu NO _x	▪ 9,0 kg/rok	
Pył zawieszony całkowicie	▪ 49,2 kg/rok	
Benzo(a)piren	▪ 0,06 kg/rok	

- Przy spalaniu węgla powstaje szereg szkodliwych zanieczyszczeń jak przede wszystkim toksyczny tlenek węgla, 10-krotnie bardziej toksyczne tlenki azotu, odpowiedzialne za kwaśne deszcze związki siarki, czy silnie rakotwórczy benzo(a)piren. Najbardziej widoczny jest tutaj oczywiście pył, który w postaci pyłu zawieszonego tworzy zjawisko smogu.

Porównanie **globalnych** emisji zanieczyszczeń kotła węglowego z pompą ciepła

Jeżeli uwzględnimy fakt, że pompa ciepła korzysta z energii elektrycznej wytwarzanej w konwencjonalnej tzw. dużej energetyce, to można mówić o emisjach zanieczyszczeń w skali globalnej. Jednak procesy spalania węgla w elektrowni lub elektrociepłowni przebiegają w całkowicie innych warunkach, a spaliny w przeciwieństwie do kotłów małej mocy, są poddawane oczyszczaniu. Redukcja głównych zanieczyszczeń wynosi przeciętnie od -49% do -99%, a dwutlenku węgla o 37%.

	KOCIOŁ WĘGLOWY	POMPA CIEPŁA
Dwutlenek węgla CO ₂	▪ 7.600 kg/rok	▪ 4.790 kg/rok (-37%)
Tlenek węgla CO	▪ 184,5 kg/rok	▪ 1,6 kg/rok (-99%)
Dwutlenek siarki SO ₂	▪ 78,7 kg/rok	▪ 4,5 kg/rok (-94%)
Tlenki azotu NO _x	▪ 9,0 kg/rok	▪ 4,6 kg/rok (-49%)
Pył zawieszony łącznie	▪ 49,2 kg/rok	▪ 0,3 kg/rok (-99%)
Benzo(a)piren	▪ 0,06 kg/rok	▪ bd.

Nawet w skali globalnej, gdy energia elektryczna wytwarzana jest całkowicie ze spalania węgla, pompa ciepła stanowi maksymalnie przyjazne środowisku naturalnemu źródło ciepła. Dalsze obniżenie emisji jest możliwe przy współpracy np. z instalacją fotowoltaiczną, co obniży ilość energii pobieranej rocznie z sieci elektroenergetycznej.

Nazwa: pompa ciepła

Okolo roku 1930-1935 pojawiła się po raz pierwszy w słownictwie technicznym nazwa „pompa ciepła”.

Użyli jej po raz pierwszy, niezależnie od siebie, prawdopodobnie: G. Flugel w Niemczech – „Warmepumpe” oraz F. Kraus w USA – „Heat Pump”.

W Polsce używano nazwy „mnożnik ciepła”

Dzisiaj można spotkać : „ pompa grzewcza”

Literatura uzupełniająca do wykładu:

- Brodowicz Kazimierz, Dyakowski Tomasz: Pompy ciepła, PWN, Warszawa 1990
- Zalewski Wojciech: Pompy ciepła- podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań, Skrypt Politechniki Krakowskiej, 1995
- Kólicki Z., *Termodynamiczne podstawy obniżania temperatur*, Wrocław, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 2006
- Maczek K., Mieczysławski M., *Chłodnictwo*, Wrocław, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 1981
- Rubik Marian : Pompy ciepła, Warszawa 1999
- **Zalewski wojciech; Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Podstawy teoretyczne. Przykłady obliczeniowe**
- **Wydawnictwo: MASTA, 2001**

Literatura uzupełniająca do wykładu:

■ PROJEKTOWANIE

- Ulirich H. J., *Technika chłodnicza*, Poradnik. Gdańsk, IPPU MASTA 1998—t. 1, 1999—t. 2
- Czapp M., Charun H., Bohdal T., *Wielostopniowe sprężarkowe urządzenia chłodnicze*, Koszalin, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej 1997
- Gutkowski K., *Chłodnictwo. Wybrane zagadnienia obliczeniowe*, Warszawa, WNT 1972
- Warczak W., *Sprężarki i agregaty ziębnicze*, WNT, Warszawa, 1987
- Kołodziejczyk L., Rubik M., *Technika chłodnicza w klimatyzacji*, Warszawa, Arkady 1976
- Wiśniewski S., *Termodynamika techniczna*, WNT, Warszawa Wyd.V, 1999



Wojciech ZALEWSKI

POMPY CIEPŁA SPRĘŻARKOWE, SORPCYJNE I TERMoeLEKTRYCZNE

Podstawy teoretyczne • Przykłady obliczeniowe



Wojciech Zalewski
Piotr Kujawski

WYMIENNIKI CIEPŁA POMP CIEPŁA I INNYCH SYSTEMÓW ODZYSKU CIEPŁA

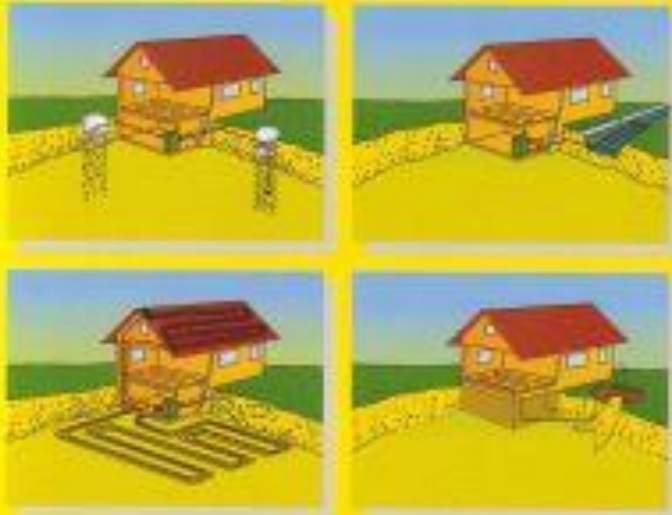


Warszawa 2019

MARIAN RUBIK

WYDANIE III

POMPY CIEPŁA



PORADNIK

OŚRODEK INFORMACJI „TECHNIKA INSTALACYJNA W BUDOWNICTWIE”



Marian Rubik

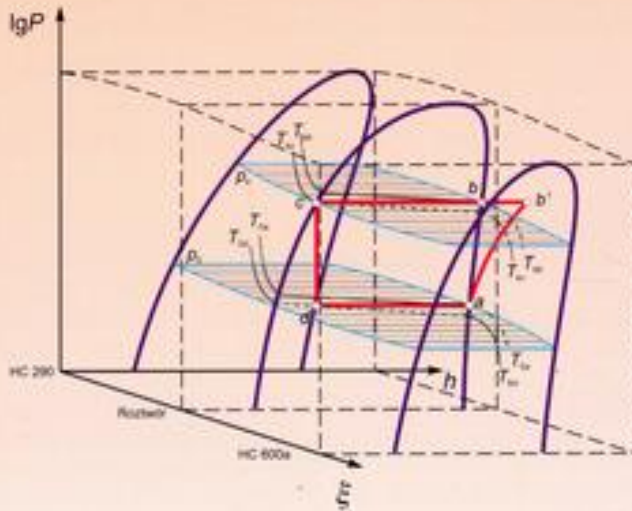
Chłodnictwo i pompy ciepła



Termodynamiczne procesy i przemiany w obiegach chłodniczych i kriogenicznych



 PWN



Zbigniew Królicki

TERMODYNAMICZNE PODSTAWY OBNIŻANIA TEMPERATURY

 Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

BOGUSŁAW BIAŁKO, ZBIGNIEW KRÓLICKI, BARTOSZ ZAŁĄCZKOWSKI

TERMODYNAMICZNE PODSTAWY OBIEGÓW CHŁODNICZYCH I KRIOGENICZNYCH



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

Wojciech Oszczak

OGRZEWANIE DOMÓW

Z ZASTOSOWANIEM POMP CIEPŁA



Jacek Schnotale

Transkrytyczne obiegi lewobieżne
ziębiarek i pomp ciepła
do zastosowań
w inżynierii środowiska z CO₂
jako naturalnym
czynnikiem ziębniczym

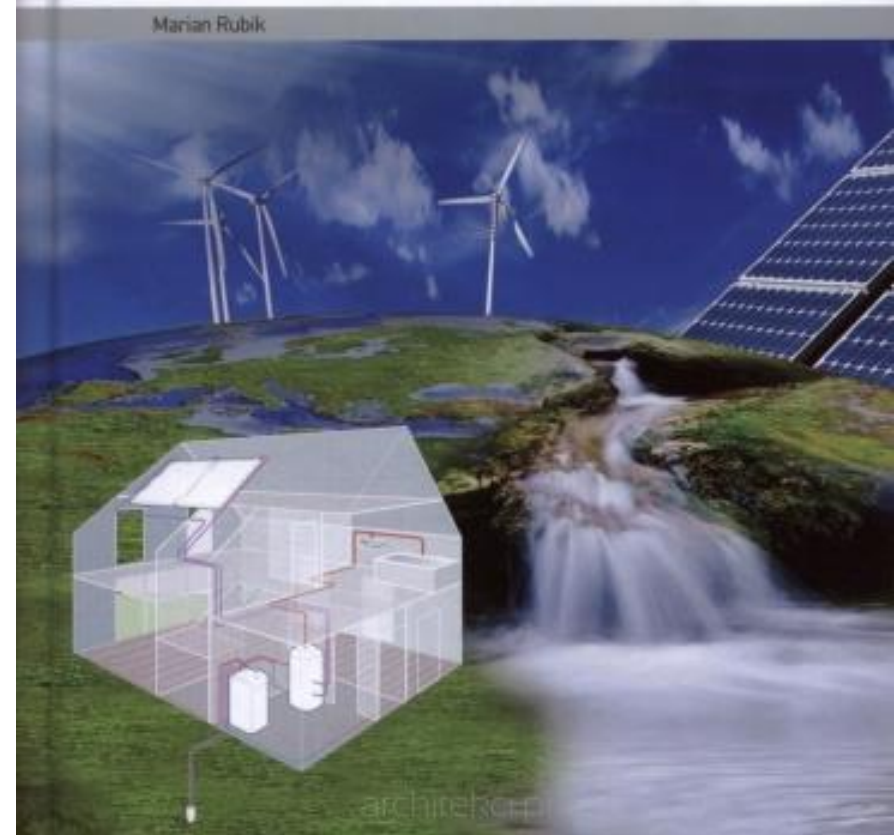


Kraków 2010

POMPY CIEPŁA

W SYSTEMACH GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ

Marian Rubik



Jacek Strzyżewski

Pompy ciepła

Zasady działania i wybór rozwiązań



Podręcznik projektowania Ogrzewanie i chłodzenie pompą ciepła

Wydanie 11/2006



Dane techniczne urządzenia,
koncept regulacji
i połączenia hydrauliczne



Jak również zdecydować się na wybór i rodzaj instalacji?

DOM

ENERGOOSZCZĘDNY z pompą ciepła



LEŻĄC
na podłogach
czujemy ciepło
i przyjemność

CIĘPIA
Właściwie wykonana
instalacja podłogowa
zapewnia ciepło
na 100% powierzchni

WŁAŚCI
Właściwie wykonana
instalacja podłogowa
zapewnia ciepło
na 100% powierzchni

Na podłogach czujemy ciepło i przyjemność

Właściwie wykonana instalacja podłogowa zapewnia ciepło na 100% powierzchni

Właściwie wykonana instalacja podłogowa zapewnia ciepło na 100% powierzchni

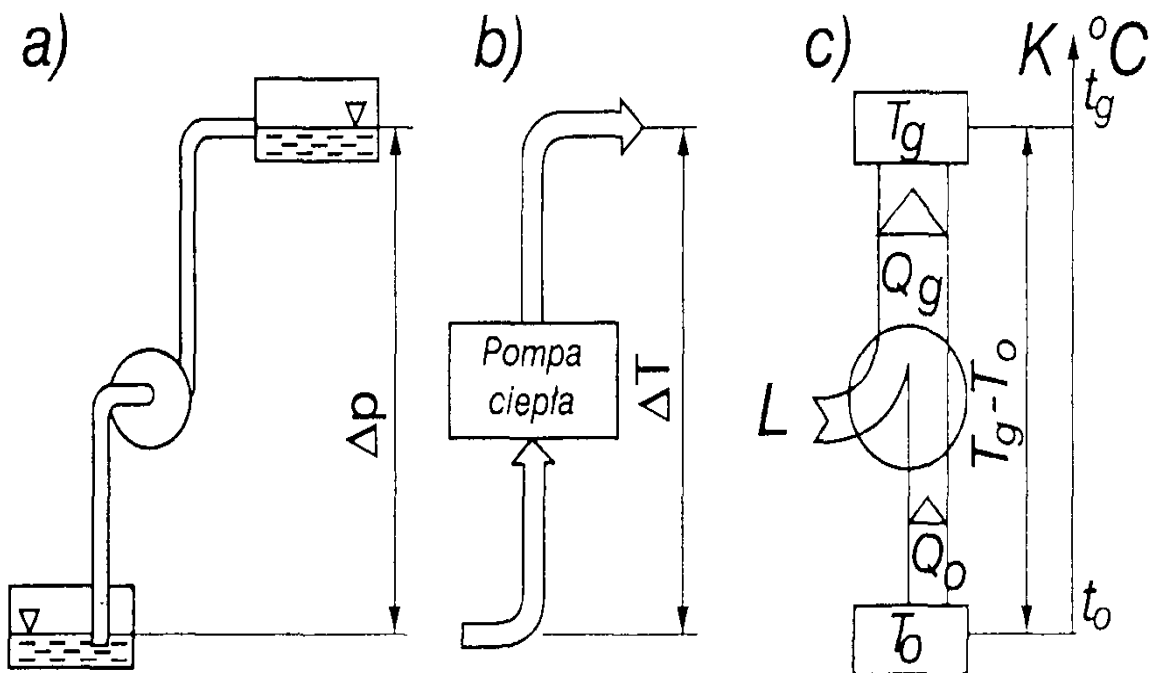
VIESMANN



Pompy ciepła
poradnik projektanta

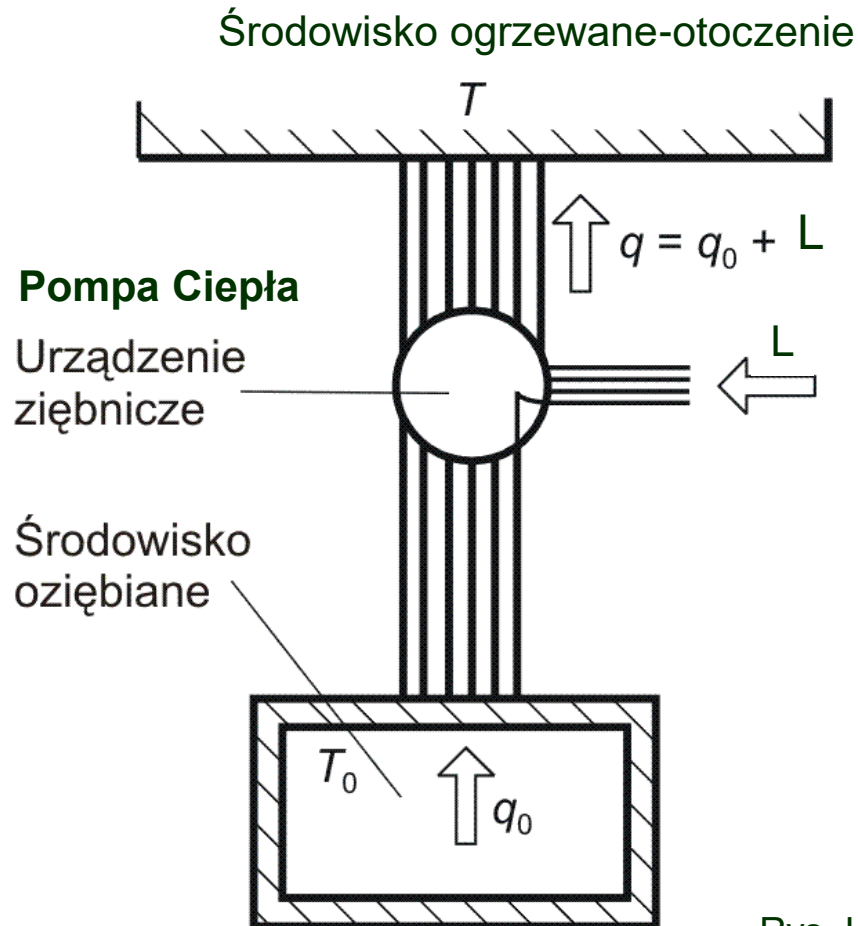
IDEA działania

W pompie ciepła zachodzi proces podnoszenia (sprężania, pompowania) potencjału cieplnego tzn. proces odbierania ciepła ze źródła (zbiornika) o temperaturze niższej T_0 i przekazywania go do źródła (zbiornika) o temperaturze wyższej T_g .



Dzieje się to najczęściej dzięki medium pośredniczącemu (czynnikowi termodynamicznemu), które w zamkniętym systemie maszyn i aparatów realizuje cykl przemian termodynamicznych: parowania, sprężania, kondensacji, rozprężania, kosztem dostarczonej energii napędowej.

Lewobieżny system termodynamiczny- realizowany przy niezmienniej temperaturze źródeł ciepła



Ze środowiska o stałej temperaturze T_0 , które można nazwać środowiskiem oziębianym, czynnik roboczy – pobiera pewną ilość energii cieplnej q_0 , która zostaje odprowadzona do otoczenia o stałej temperaturze T . Aby to zrealizować konieczne jest wykonanie pracy L

Rys. Ideowy schemat systemu lewobieżnego

Jaka powinna być ta minimalna praca obiegu lewobieżnego ?

Równanie przyrostu entropii Δs , J/(kg·K), w odniesieniu do 1 kg czynnika ziębniczego można zapisać w postaci

$$\Delta s = \frac{-q_o}{T_o} + \frac{q_o}{T} + \frac{l_{\min}}{T} \geq 0$$

gdzie:

- q_o – ilość energii cieplnej pobrana ze źródła dolnego (środowiska oziębianego) odniesiona do 1 kg czynnika obiegowego, J/kg,
- T – bezwzględna temperatura źródła górnego (otoczenia), K,
- T_o – bezwzględna temperatura źródła dolnego (środowiska oziębianego), K,
- l_{\min} – minimalna jednostkowa praca obiegu, J/kg.

Przekształcając zależność pod kątem minimalnej pracy obiegu, otrzymuje się

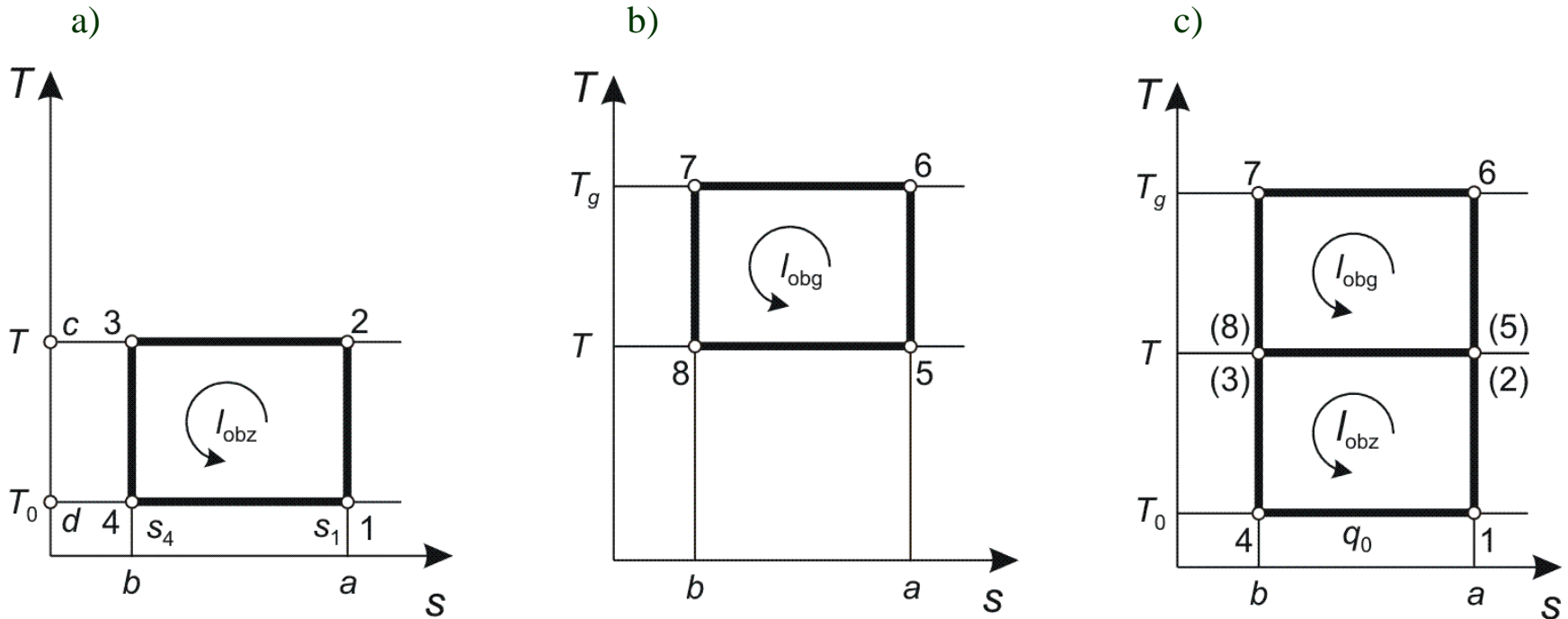
$$l_{\min} \geq q_o \frac{T - T_o}{T_o}$$

Jeżeli założymy, że $\Delta s = 0$, czyli dla przypadku obiegu odwracalnego nierówność ta przyjmuje postać

$$l_{\min} = q_o \frac{T - T_o}{T_o}$$

Zależność określa minimalną pracę obiegu, która jest równa pracy obiegu Carnota „wstecz” realizowanego w zakresie równoważnych temperatur od T_o do T .

Odwracalny obieg lewobieżny (IDEALNY)



Rys. Obiegu Carnota wstecz: a) ziębniczy, b) grzejny (pompy ciepła), c) skojarzony ziębno-grzejny

Odwracalny obieg lewobieżny

W ciągłym obiegu odwracalnych przemian, przy których następuje przekazywanie energii cieplnej q_o ze środowiska o stałej temperaturze T_o do otoczenia o wyższej od niej stałej temperaturze T , zużyta zostaje praca obiegu równa różnicy między pracą sprężania i rozprężania czynnika ziębniczego

$$l_{obz} = l_{1-2} - l_{3-4}$$

Wartość tej pracy, najczęściej pracy mechanicznej, l_{obz} jest proporcjonalna do pola 1-2-3-4 i odpowiada pracy l_{min} . Zgodnie z zasadą zachowania energii dla układu realizującego obieg ziębniczy spełniona jest równość

$$q = q_o + l_{obz}$$

lub

$$l_{obz} = q - q_o$$

gdzie:

- q – ilość energii cieplnej przekazana do źródła górnego w odniesieniu do 1 kg czynnika ziębniczego, J/kg.

Odwracalny obieg lewobieżny - ziębiarka

Efektywność energetyczną obiegu ziębniczego określa tzw. współczynnik efektywności energetycznej oznaczany jako *COP* (Coefficient of Performance) lub ε . Analogicznie do pojęcia sprawności obiegów silników cieplnych współczynnik efektywności ziębniczej ε równy jest stosunkowi zamierzonego efektu ziębniczego, tj. wydajności ziębniczej, do pracy obiegu

$$\varepsilon = \frac{q_o}{l_{obz}}$$

Wydajność ziębnicza q_o odniesiona do jednostki masy czynnika ziębniczego nazywana jest jednostkową (właściwą) wydajnością ziębienia.

Dla lewobieżnego obiegu Carnota współczynnik efektywności ziębniczej wynosi

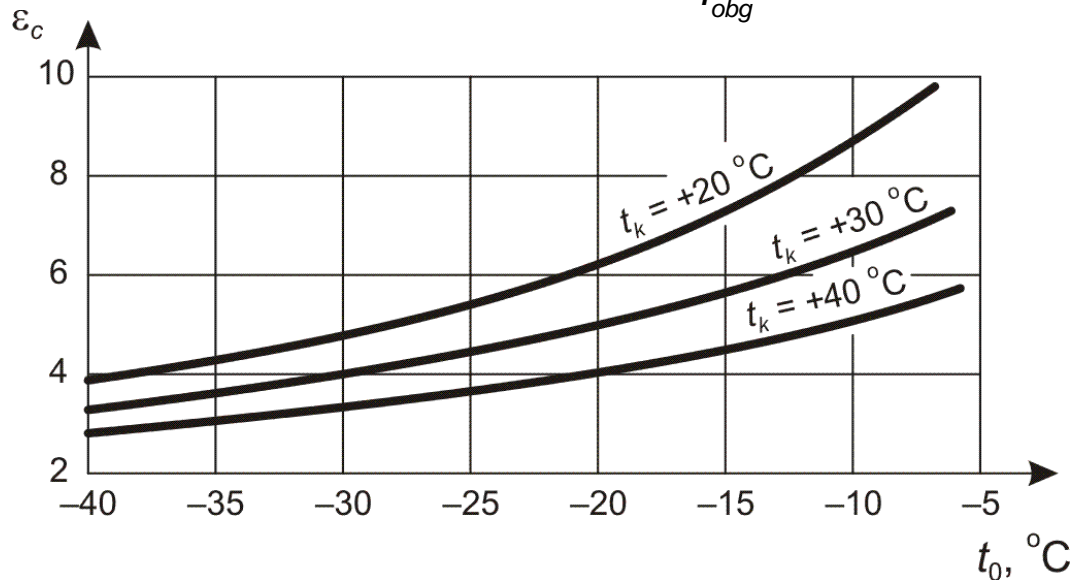
$$\varepsilon_C = \frac{T_o(s_1 - s_4)}{T(s_1 - s_4) - T_o(s_1 - s_4)} = \frac{T_o}{T - T_o}$$

Odwracalny obieg lewobieżny-pompa ciepła

W pompach ciepła zamierzonym efektem obiegu lewobieżnego jest odprowadzanie energii cieplnej o wyższym potencjale (przy temperaturze T_g). Pozwala to na jej użyteczne wykorzystanie, np. do grzania wody użytkowej, ogrzewania pomieszczeń itp. Efektywność energetyczną określa współczynnik efektywności grzejnej φ_g zdefiniowany jako ilość uzyskanego ciepła q_g (pole a-6-7-b) do pracy obiegu grzejnego l_{obg} (pole 5-6-7-8)

$$\varphi_g = \frac{q_g}{l_{obg}}$$

$$\varphi_g = \frac{T_g}{T_g - T}$$



Rys. Wpływ temperatury t_0 dolnego źródła ciepła na współczynnik efektywności ziębniczej ϵ_c obiegu Carnota

Odwracalny obieg lewobieżny- system ziębno grzewczy

W wielu gałęziach przemysłu chemicznego, spożywczego, hutnictwie pewne procesy technologiczne wymagają doprowadzania ciepła (ogrzewania), inne zaś odprowadzania ciepła (oziębianie). W takich przypadkach istnieją, uzasadnione ekonomicznie i termodynamicznie podstawy, stosowania skojarzonych obiegów ziębniczo – grzewczych.

Czynnik ziębniczy pobiera od środowiska oziębianego ciepło q_o (pole a-1-4-b) przy stałej temperaturze T_o i oddaje do środowiska ogrzewanego ilość ciepła q_g (pole a-6-7-b) przy stałej temperaturze T_g .

Można zauważyć, że:

$$q_g = q_o + l_{ob}$$

gdzie:

- l_{ob} – jednostkowa praca obiegu ziębniczo-grzewczego proporcjonalna do pola 1-6-7-4, J/kg

Odwracalny obieg lewobieżny

W obiegu ziębniczo-grzewczym można wyróżnić dwa obiegi:

- obieg ziębniczy realizowany w zakresie temperatur od T_o do T , w którym

$$q = q_o + l_{obz}$$

- obieg grzejny realizowany w zakresie temperatur od T do T_g , w którym

$$q_g = q + l_{obg}$$

gdzie:

l_{obz} – jednostkowa praca obiegu ziębniczego, J/kg,

l_{obg} – jednostkowa praca obiegu grzejnego, J/kg.

Jednostkowa praca obiegu ziębniczo-grzewczego równa jest sumie l_{obz} i l_{obg} , czyli

$$l_{ob} = l_{obz} + l_{obg}$$

Dla skojarzonego obiegu ziębniczo-grzewczego bilans ciepły przyjmie postać

$$q_g = q_o + l_{obz} + l_{obg}$$

Odwracalny obieg lewobieżny

Jeżeli uwzględnimy, że

$$\varphi_g = \frac{q_g}{l_{obg}}$$

i

$$\varepsilon_z = \frac{q_o}{l_{obz}}$$

to odpowiednio

$$l_{obg} = \frac{q_g}{\varphi_g}$$

oraz

$$l_{obz} = \frac{q_o}{\varepsilon_z}$$

Po podstawieniu otrzymano

$$q_g = q_o + \frac{q_o}{\varepsilon_z} + \frac{q_g}{\varphi_g}$$

Odwracalny obieg żiębniczy realizowany przy niezmienniej temperaturze źródeł ciepła

Po dalszych przekształceniach wzór przyjmuje postać

$$\frac{q_g}{q_o} = \frac{\varphi_g(\varepsilon_z + 1)}{\varepsilon_z(\varphi_g - 1)}$$

Podstawiając do powyższego wzoru wyrażenia określające wielkości φ_g i ε_z otrzymano ostatecznie

$$\frac{q_g}{q_o} = \frac{T_g}{T_o}$$

Odwracalny obieg Carnota realizowany przy niezmienniej temperaturze źródeł ciepła

W pompach ciepła zamierzonym efektem obiegu lewobieżnego jest odprowadzanie energii cieplnej o wyższym potencjale (przy temperaturze T_g). Pozwala to na jej użyteczne wykorzystanie, np. do grzania wody użytkowej, ogrzewania pomieszczeń itp. Efektywność energetyczną określa współczynnik efektywności grzejnej φ_g zdefiniowany jako ilość uzyskanego ciepła q_g (pole a-6-7-b) do pracy obiegu grzejnego l_{obg} (pole 5-6-7-8)

$$\varphi_g = \frac{q_g}{l_{obg}} \quad \varphi_g = \frac{T_g}{T_g - T}$$

Pytania do wykładu 1.

- 1. Podaj definicje pompy ciepła.
- 2. Kto i w jakich latach wprowadził do techniki nazwę „pompa ciepła”
- 3. Podaj zależność na minimalna prace obiegu lewobieżnego Carnota dla PC
- 4. Zależność na COP pompy ciepła realizującej obieg Carnota.
- 5. Jak zdefiniował (a) byś system ziębno - grzewczy