

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

AGH

Inżynieria Chemiczna

Transport masy i ciepła

dr hab. inż. Agnieszka Gubernat, prof. AGH

gubernat@agh.edu.pl

p.1.14; budynek B8

Druga zasada termodynamiki, odwracalność przemian, silniki cieplne, obiegi

PLAN WYKŁADÓW

1. Wprowadzenie, podstawowe zasady , podstawowe zasady technologii chemicznej, schemat procesowy
2. Termodynamika procesów, energia, ciepło
3. Źródła energii, spalanie i właściwości paliw, niekonwencjonalne źródła energii
4. Temperatura, zerowa i trzecia zasada termodynamiki, entropia, termodynamiczna definicja temperatury,
5. Termometria, pomiary temperatury
6. Suszenie i suszarnie
7. Przepływ ciepła, mechanizmy wymiany ciepła, stałe materiałowe
8. Płyny, statyka, dynamika, równanie ciągłości strugi, prawo Bernoulliego
9. Opory przepływu, filtracja, opadanie cząstek w płynach, sedymentacja,
10. Pomiary prędkości i natężenia przepływu,
11. Homogenizacja zawiesin, ocena jednorodności,
12. Segregacja hydrauliczna, odpylanie i oczyszczanie gazów.
13. Reologia, modele reologiczne, zawiesiny i pasty,
14. Rozdrabnianie ciał stałych, klasyfikacja ziarnowa, metodyka pomiaru rozkładu i wielkości ziaren,

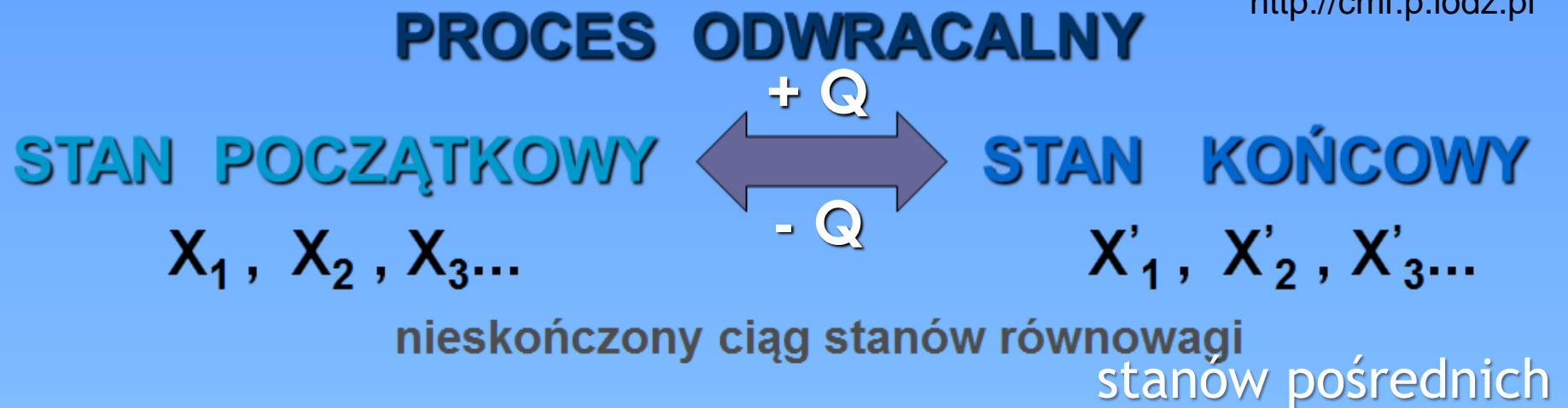
STAN RÓWNOWAGI TERMODYNAMICZNEJ

Jeżeli w całej swojej masie, we wszystkich punktach swojej objętości gaz ma jednakowe parametry: ciśnienie i temperaturę wtedy znajduje się w równowadze termodynamicznej.

ODWRACALNOŚĆ PRZEMIAN



<http://cmf.p.lodz.pl>



Np. rozprężanie gazu w stałej temperaturze, które jest procesem nieodwracalnym,

Warunkiem odwracalności przemian jest *quasi-statyczność* tzn. stan układu w każdej chwili powinien różnić się nieskończenie mało od stanu równowagi.

Różnice ciśnień lub temperatur powinny być nieskończenie małe, dążące do zera.

Przemiany *rzeczywiste są nieodwracalne*, bo zachodzą przy skończonych różnicach ciśnień i temperatury.



AGH

ODWRACALNOŚĆ PRZEMIAN

Proces, w którym parametry stanu (zmiennie układu) zmieniają swe wartości od $X_1, X_2, X_3 \dots$ do $X_1', X_2', X_3' \dots$ **jest odwracalny**, jeżeli istnieje proces odwrotny, w wyniku którego zmiennie przyjmą z powrotem wartości X_1, X_2, X_3, \dots , przy czym proces odwrotny spełnia następujące warunki:

- 1) układ przechodzi w nim poprzez te same stany pośrednie, co w procesie pierwotnym, lecz w odwrotnej kolejności,
- 2) układ wymienia w tym procesie z otoczeniem ilości masy, ciepła i pracy różniące się jedynie znakiem od wymienionych w procesie pierwotnym.
- 3) **po zakończeniu procesu odwrotnego nie pozostanie żaden ślad ani w układzie, ani też w jego otoczeniu.**

ODWRACALNOŚĆ PRZEMIAN



Przemiana odwracalna:

- 1) Stan gazu zmienia się niezmiernie wolno;
- 2) Przemiana składa się z niezmiernie wielu stanów równowagi;
- 3) **Brak tarcia wewnętrznego (lepkości) i zewnętrznego;**
- 4) **Brak reakcji chemicznych w czynniku termodynamicznym;**

Zwykle przemiany stanu gazu przebiegają z określoną, dużą szybkością i wskutek tego parametry stanu nie mogą być jednakowe w całej objętości.

Każdy stan pośredni podczas przemiany odwracalnej może różnić się tylko nieznacznie od stanu równowagi termodynamicznej i wobec tego każda przemiana termodynamiczna wymaga niezmiernie długiego czasu.

Rzeczywistość to...

PROCESY SAMORZUTNE, NIEODWRACALNE

Procesy samorzutne np.:

- rozprężanie gazu przeciwko stałemu ciśnieniu lub do próżni (przy powtórnym sprężaniu trzeba użyć więcej pracy niż jej zyskuje w procesie rozprężania),
- przepływ ciepła między dwiema częściami układu o różnych temperaturach, przepływ masy pomiędzy dwoma obszarami, w których stężenia są różne (dyfuzja), reakcje chemiczne np. samorzutne utlenianie metali, są procesami nieodwracalnymi.

Chcąc przywrócić stan pierwotny należałoby dokonać ingerencji z zewnątrz, która musiałaby pozostawić trwałe ślady w otoczeniu.

PROCESY SAMORZUTNE, NIEODWRACALNE

Siłą napędową procesów samorzutnych jest tendencja energii i materii do zwiększania stanu nieuporządkowania.

Miarą stopnia nieuporządkowania materii i energii jest funkcja stanu zwana entropią, S .

ENTROPIA (R. Clausius, 1865r.)



Ciepło zredukowane można stosować tylko w przypadku przemian izotermicznych. Dla innych dowolnych przemian stanu stosuje się pojęcie entropii S , którą definiuje się następująco:

Elementarny przyrost entropii równy jest stosunkowi pobranego ciepła do temperatury, w której to ciepło było pobrane. Ciepło przemiany jest dodatnie, gdy entropia rośnie, a ujemne gdy entropia maleje.

Entropia oznacza kierunek przemiany energii i składa się z przedrostka en - i greckiego słowa „tropos” oznaczającego kierunek.

$$dS = \frac{dQ}{T} \geq 0$$

DRUGA ZASADA TERMODYNAMIKI

- w przyrodzie występuje określona kierunkowość przemian,
- przepływ ciepła nigdy nie następuje samorzutnie od ciała o temperaturze niższej do ciała o temperaturze wyższej,
- nigdy nie obserwuje się całkowitej zamiany ciepła na pracę, chociaż odwrotne zjawisko zachodzi,
- z pierwszej zasady termodynamiki nie można przewidzieć kierunku przemian, decyduje o nim II zasada termodynamiki,

II ZASADA TERMODYNAMIKI

NIEMOŻLIWY JEST PROCES, W KTÓRYM JEDYNYM REZULTATEM BYŁOBY SAMOISTNE PRZEKAZYWANIE CIEPŁA OD CIAŁA O NIŻSZEJ TEMPERATURZE DO CIAŁA O WYŻSZEJ TEMPERATURZE (Clausius).

NIEMOŻLIWY JEST PROCES, KTÓREGO JEDYNYM REZULTATEM BYŁABY ZMIANA CIEPŁA POBRANEGO ZE ŹRÓDŁA NA RÓWNOWAŻNĄ MU PRACĘ.

INNE SFORMUŁOWANIA II ZASADY TERMODYNAMIKI:

- 1) Niemożliwym jest samorzutny przepływ ciepła od ciała mniej ogrzanego do ciała gorętszego (**Rudolf Clausius**);
- 2) Niemożliwe jest otrzymywanie pracy mechanicznej z jakiegokolwiek układu materialnego przez oziębienie go poniżej temperatury ciała najzimniejszego znajdującego się w jego otoczeniu (**Lord Kelvin**);
- 3) Niemożliwe jest zbudowanie maszyny, która pracowałaby w sposób ciągły kosztem oziębiania jednego zbiornika ciepła bez żadnego innego efektu (**Max Planck**);
- 4) Nie istnieją w przyrodzie procesy, których jedynym wynikiem byłoby stałe czerpanie ciepła tylko z jednego zbiornika połączone z równoczesnym wykorzystaniem ciepła na pracę mechaniczną. Moc takich urządzeń będzie dążyć do zera (**Marian Smoluchowski**).

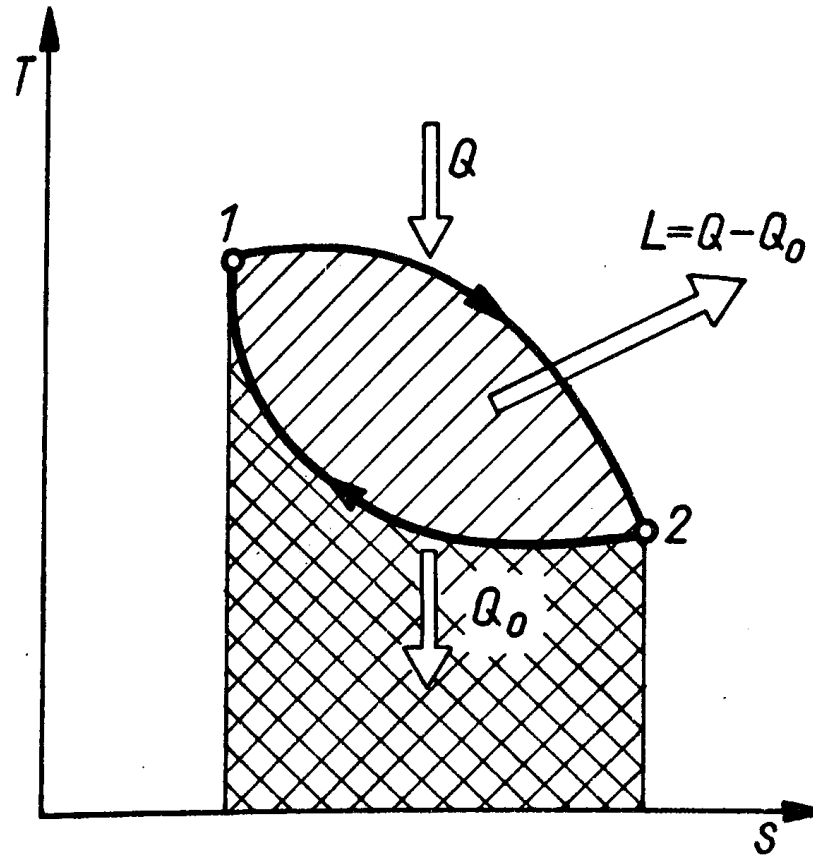
PERPETUM MOBILE DRUGIEGO RODZAJU (z łac. wiecznie ruchome)

Maszyna wykonująca pracę kosztem pobranego ciepła, nie przeczy pierwszej zasadzie termodynamiki. Jednak realizacja takiej maszyny jest niemożliwa, ponieważ jedynym rezultatem procesu w niej zachodzącego byłaby praca wykonana kosztem pobranego ciepła, bez konieczności odprowadzania części ciepła do chłodnicy. Maszyna taka przeczy II zasadzie termodynamiki.

Gdyby było możliwe skonstruowanie *perpetum mobile drugiego rodzaju*, to można by czerpać nieograniczone ilości energii z otoczenia (np. oceanów) i wykonywać kosztem ich pracę.



OBIEGI, CZYLI CYKLE



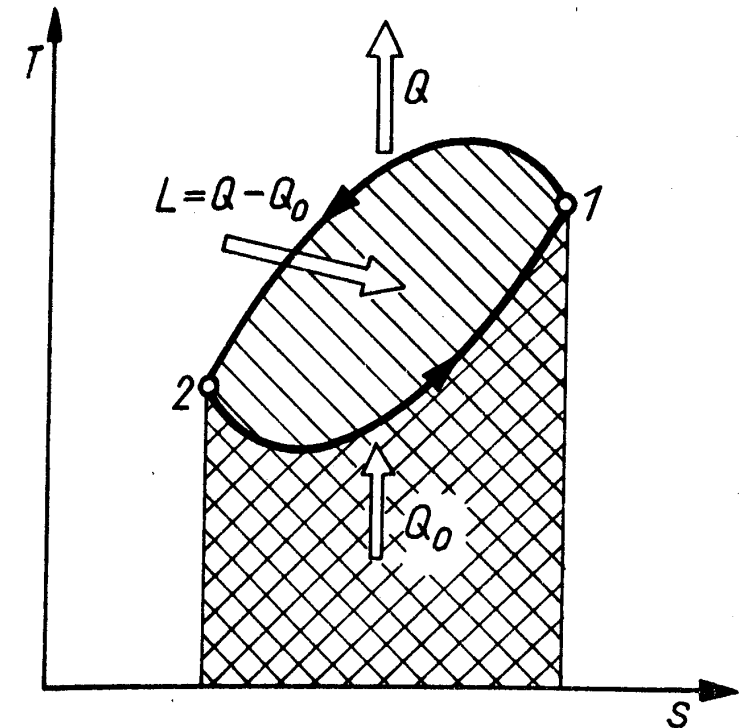
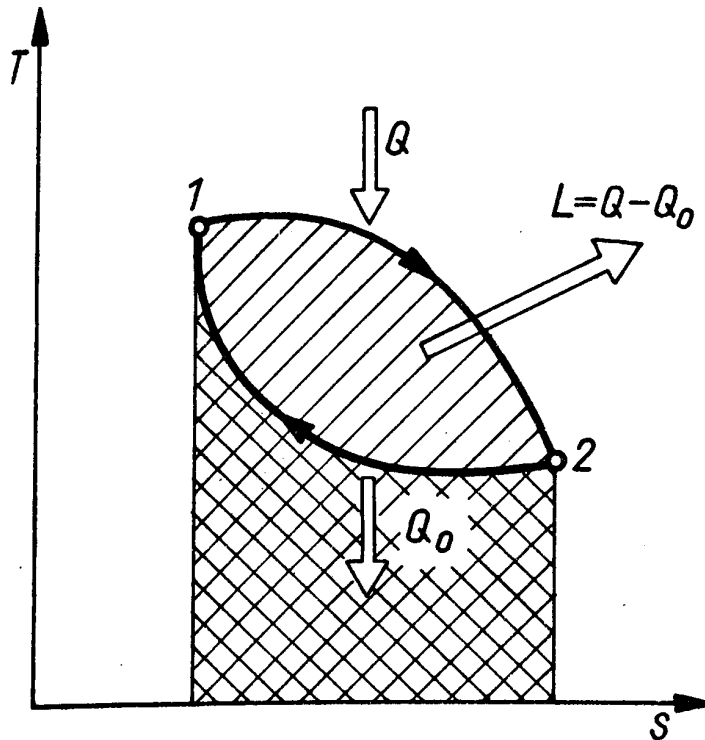
Przemiana przedstawiona na rysunku to przemiana zamknięta (kołowa) czyli inaczej **obieg termodynamiczny**.

Gaz w tej przemianie powraca do stanu początkowego, dlatego nie zmienia się energia wewnętrzna układu $\Delta U = \text{const}$.

OBIEGI, CZYLI CYKLE

Znamy obiegi

w przód (prawobrzeżne) i obiegi wstecz (lewobrzeżne)



Obieg w przód jest urzeczywistniony w silnikach cieplnych, w których kosztem pobranego ciepła uzyskuje się pracę użyteczną.

Natomiast w obiegach wstecz urzeczywistnionych w chłodziarkach należy wykonać pracę sił zewnętrznych, której kosztem uzyskuje się ciepło.

OBIEGI, CZYLI CYKLE

Jeżeli Q_1 to ciepło pobrane z otoczenia a Q_2 ciepło oddane do otoczenia to:

$$Q_1 = \Delta U + W_{1-2}$$

$$Q_2 = \Delta U + W_{2-1}$$

Stąd:

$$Q = Q_1 - Q_2 = W_{1-2} - W_{2-1}$$

Dlatego

$$Q = W$$

ENTROPIA

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ czyli } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

W odwracalnym obiegu algebraiczna suma pobranego i oddanego ciepła zredukowanego jest równa zero.

OBIEGI RZECZYWISTE

$$\eta_c < 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ albo } 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{stąd } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0$$

W nieodwracalnym obiegu rzeczywistym algebraiczna suma pobranego ciepła zredukowanego jest mniejsza od zera.

SPRAWNOŚĆ OBIEGU

Stopień wykorzystania ciepła pobranego w obiegu można określić stosunkiem ilości ciepła zamienionego w pracę do całkowitej ilości pobranego ciepła.

$$\eta_t = \frac{Q}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

ENTROPIA

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ czyli } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

W odwracalnym obiegu np. CARNOTA algebraiczna suma pobranego i oddanego ciepła zredukowanego jest równa zeru.

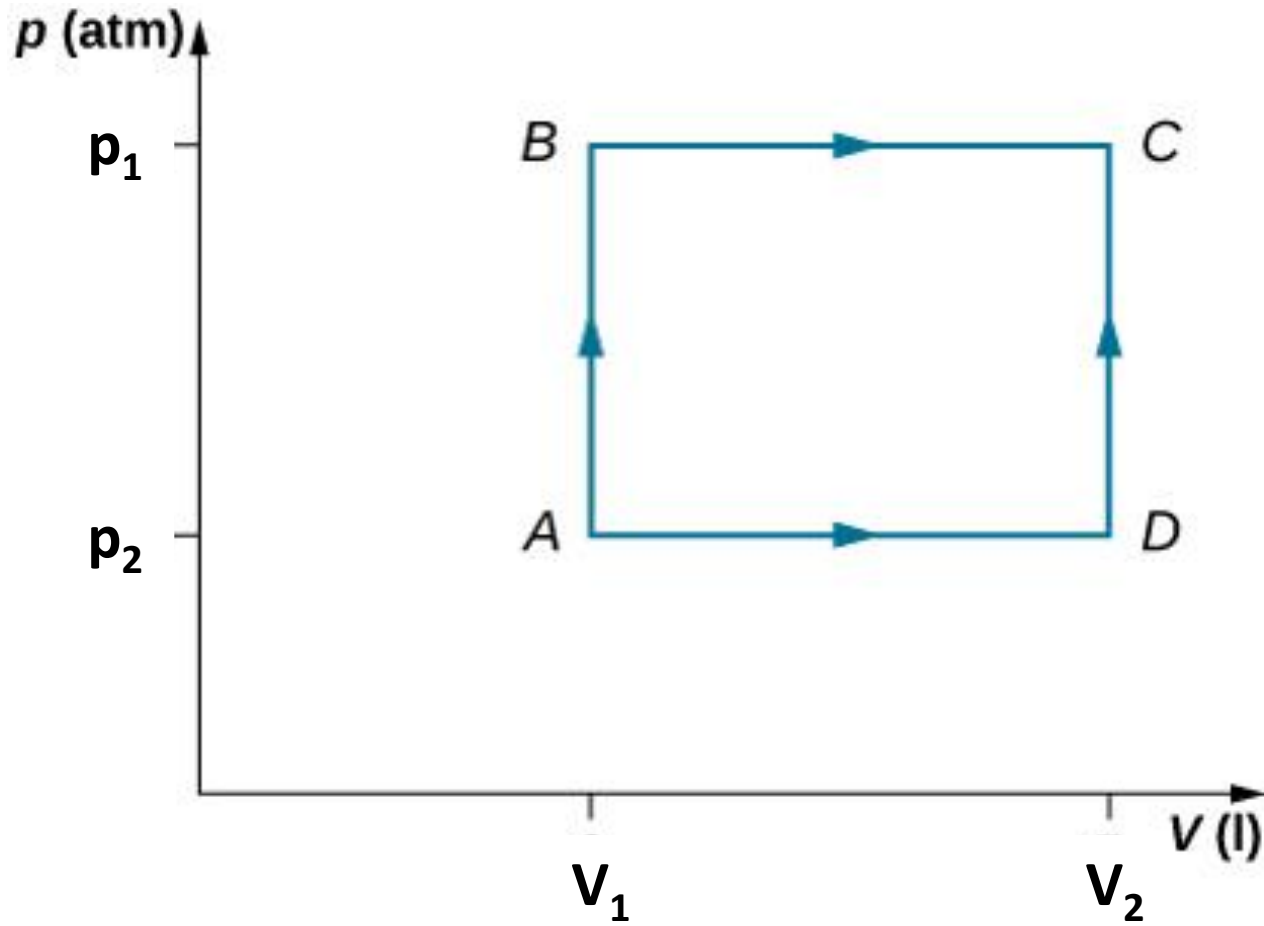
OBIEGI RZECZYWISTE

$$\eta_C < 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ albo } 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{stąd } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0$$

W nieodwracalnym obiegu rzeczywistym algebraiczna suma pobranego ciepła zredukowanego jest mniejsza od zera.

CYKL KOŁOWY



OBIEG CARNOTA (1824r.)

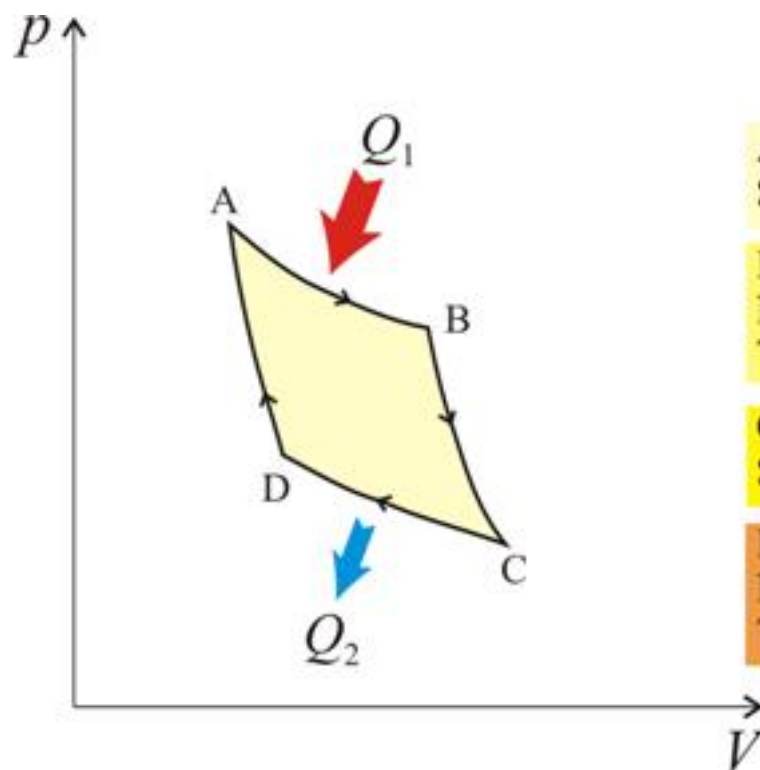
W każdym obiegu w przód tylko część ciepła pobranego zmienia się w pracę, a pozostała część jest oddawana na zewnątrz podczas sprężania. W teorii silników cieplnych ten obieg jest doskonalszy, który ma większą sprawność cieplną.

Najdoskonalszym obiegiem zaproponowanym przez francuskiego uczonego i inżyniera S. Carnota (1824r.) jest obieg złożony z dwóch izoterm i dwóch adiabat nazwany **OBIEGIEM CARNOTA**.

OBIEG CARNOTA (1824r.)



Można go urzeczywistnić w idealnym silniku tłokowym pracującym bez tarcia, którego cylinder wypełniony jest gazem doskonałym. Tłok w cylindrze silnika porusza się niezmiernie wolno. Boczne ścianki cylindra i tłok zupełnie nie przewodzą ciepła, a dno cylindra jest wykonane z doskonałego przewodnika ciepła i może na przemian łączyć się z nagrzewnicą o temperaturze T_1 i chłodnicą o temperaturze T_2 .



A - B - rozprężanie izotermiczne.
Silnik pobiera z grzejnika ciepło Q_1 w temperaturze T_1

B - C - rozprężanie adiabatyczne.
Nie ma wymiany ciepła z otoczeniem.
Temperatura spada z T_1 do T_2

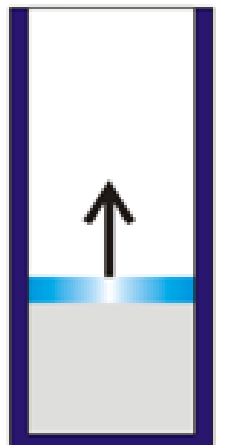
C - D - sprężanie izotermiczne.
Silnik oddaje do chłodnicy ciepło Q_2 w temperaturze T_2

D - A - sprężanie adiabatyczne.
Nie ma wymiany ciepła z otoczeniem.
Temperatura rośnie z T_2 do T_1

OBIEG CARNOTA (1824r.)

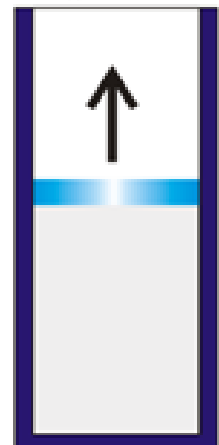


A - B
izotermiczne
rozprężanie



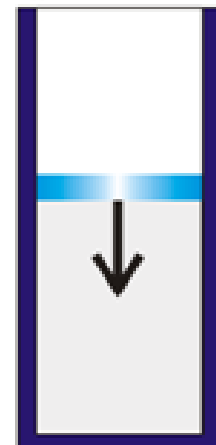
grzejnik o
temperaturze
 T_1

B - C
adiabaticzne
rozprężanie



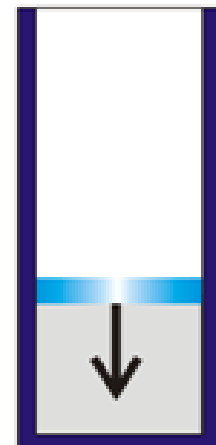
izolacja
cieplna

C - D
izotermiczne
sprężanie



chłodnica o
temperaturze
 T_2

D - A
adiabaticzne
sprężanie



izolacja
cieplna

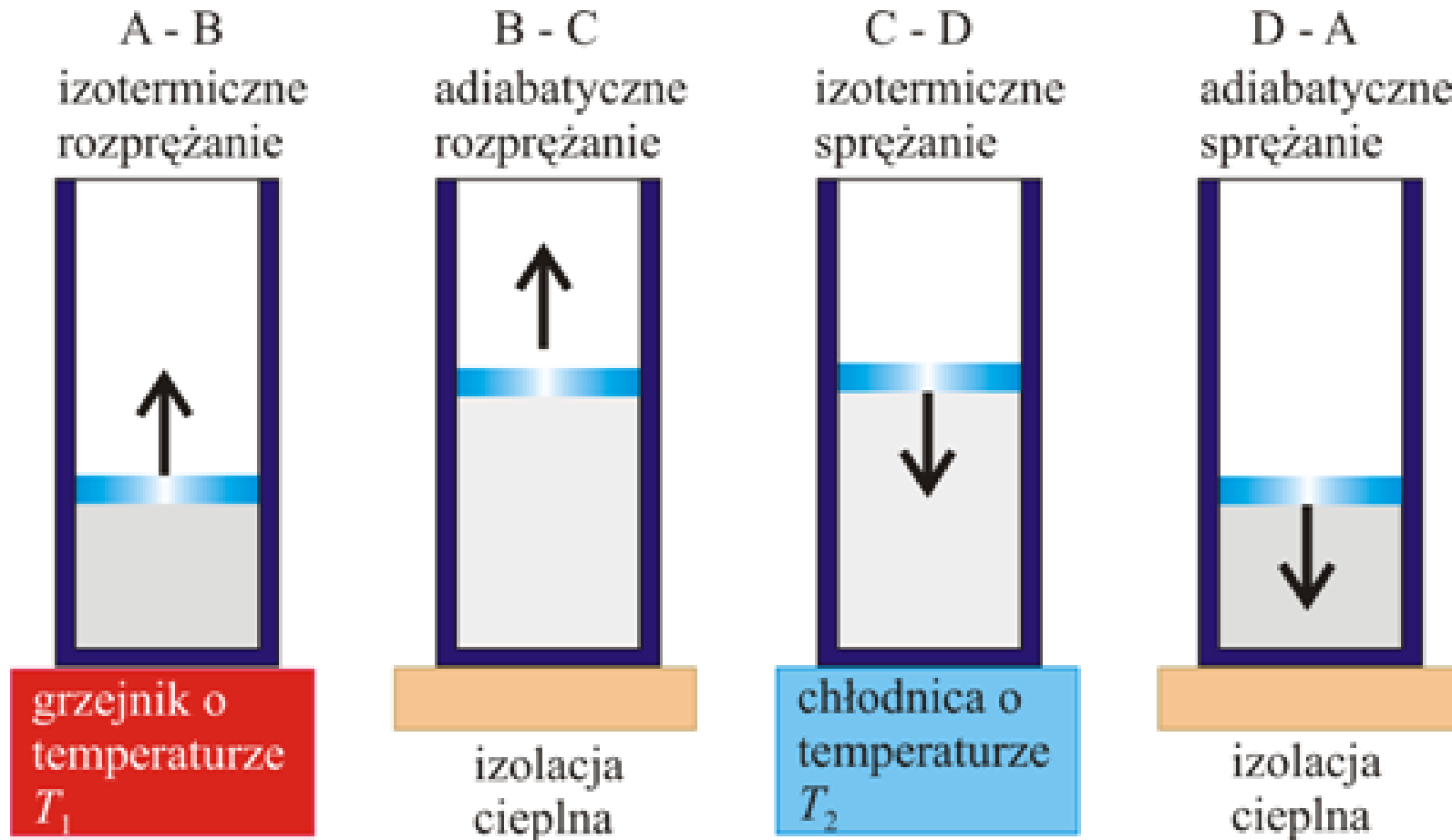
Ciepło pobrane przez gaz podczas izotermicznego rozprężania gazu doskonałego jest zamieniane na pracę (-). $U = \text{const}$

Gaz podczas adiabaticznego rozprężania wykonuje pracę kosztem energii wewnętrznej (-). $\Delta U < 0$

Ciepło oddane przez gaz podczas izotermicznego sprężania gazu doskonałego jest równe pracy (+). $U = \text{const}$

Wykonana nad gazem podczas adiabaticznego sprężania praca powoduje wzrost energii wewnętrznej (+). $\Delta U > 0$

OBIEG CARNOTA (1824r.)



W_1 - A-B-C praca wykonana poprzez rozprężanie,

W_2 - C-D-A praca wykonana poprzez sprężanie,

W cyklu kołowym zmiany energii wewnętrznej są równe zero,
bo gaz wraca do stanu początkowego.

OBIEG CARNOTA (1824r.)

$$\eta_C = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 \Delta S - T_2 \Delta S}{T_1 \Delta S} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

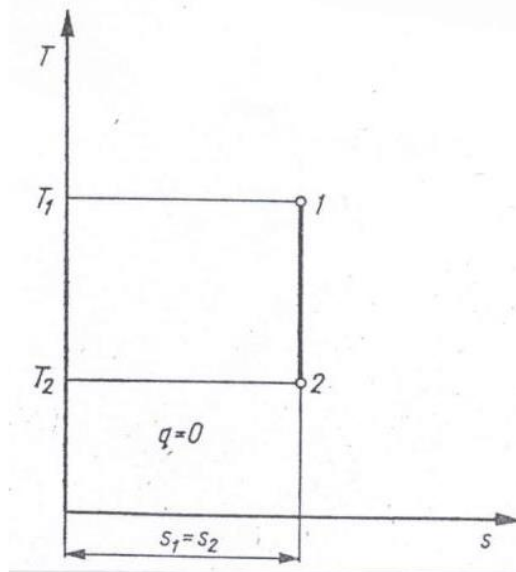
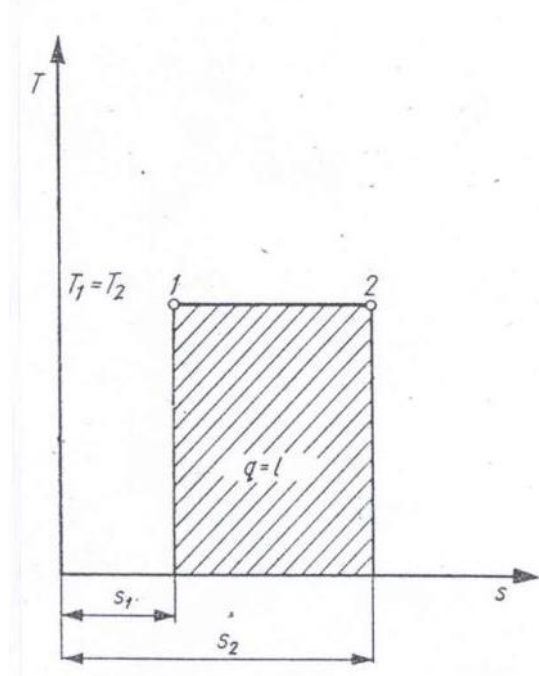
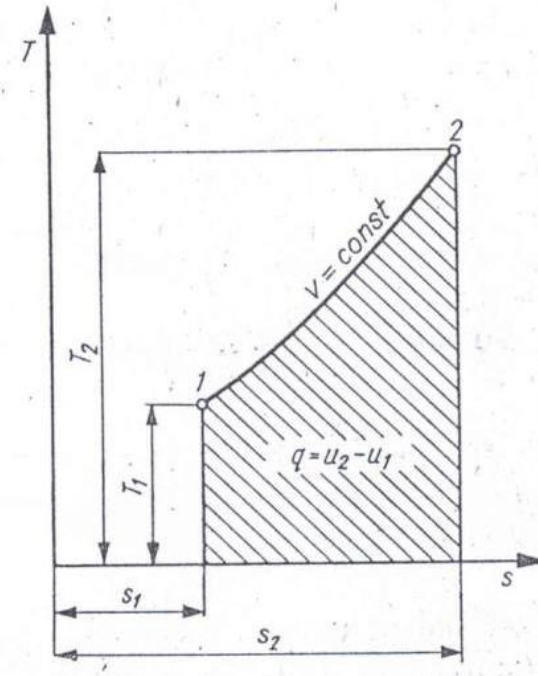
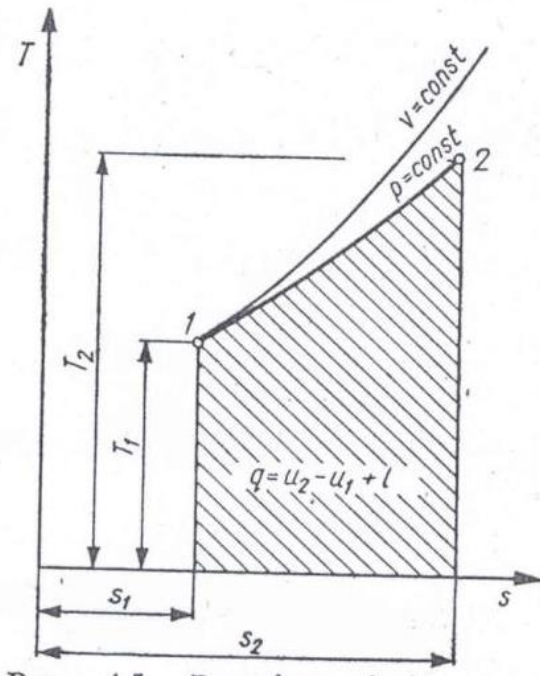
Sprawność idealnego silnika Carnota zależy tylko od temperatury bezwzględnej nagrzewnicy T_1 i chłodnicy T_2 .

Sprawność wszystkich silników rzeczywistych jest mniejsza od sprawności idealnego silnika Carnota.

Ze wzoru wynika również, że idealny silnik Carnota nie może mieć sprawności 1 lub 100%, bo wówczas temperatura chłodnicy musiałaby wynosić $T_2=0\text{K}$, co odpowiada zeru bezwzględnemu.

Z tych rozważań można sformułować II zasadę termodynamiki.

WYKRESY CIEPŁA



CYKL CARNOTA - WYKRES CIEPŁA

Zmiana entropii na drodze 1-2 wynosi

$$\Delta S_{1-2} = \int \frac{dQ}{T_1} = \frac{1}{T_1} \int dQ = \frac{Q_1}{T_1}$$

na drodze 2-3

$$\Delta S_{2-3} = 0$$

na drodze 3-4

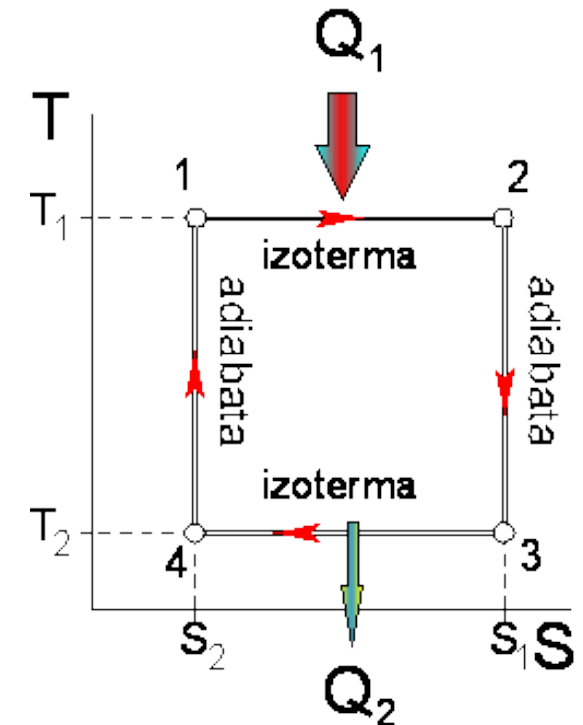
$$\Delta S_{3-4} = \int \frac{dQ}{T_2} = \frac{1}{T_2} \int dQ = -\frac{Q_2}{T_2}$$

oraz na drodze 4-1

$$\Delta S_{4-1} = 0$$

Sumaryczna zmiana entropii jest równa zero.

$$\Delta S_{1-2} + \Delta S_{2-3} + \Delta S_{3-4} + \Delta S_{4-1} = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$$



TRZECIA ZASADA TERMODYNAMIKI

Entropia S dowolnego układu w temperaturze zera bezwzględnego ($0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$) dąży do zera.

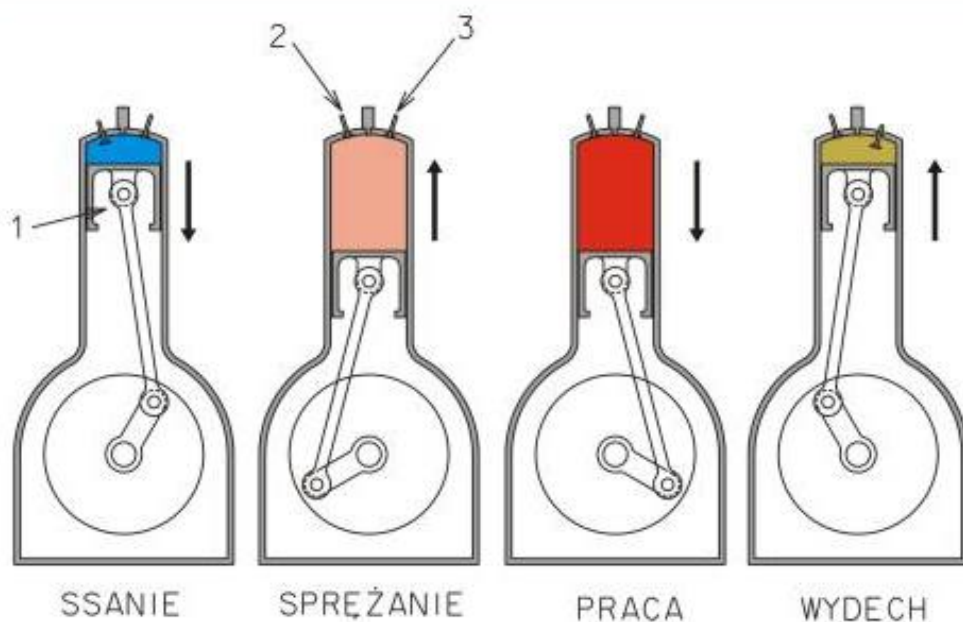
$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

SILNIKI CIEPLNE



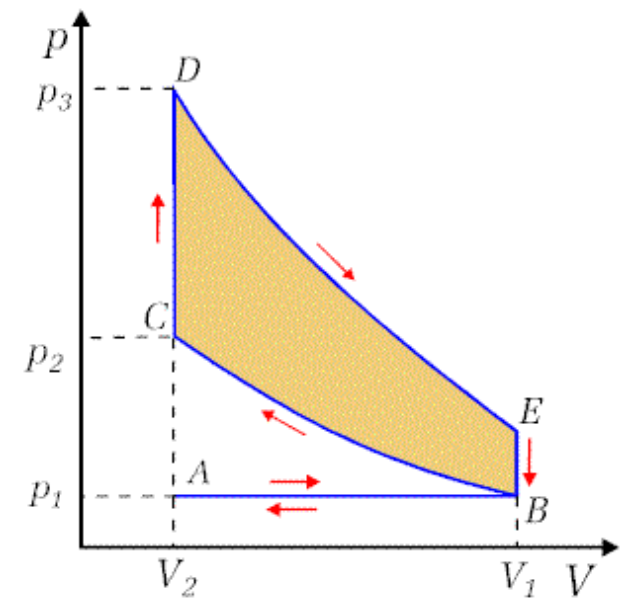
AGH

- urządzenie do zmiany ciepła na energię mechaniczną w sposób cykliczny,
- silnik spalinowy, silnik Diesla,
- mogą działać tylko przy przepływie ciepła od temperatury wyższej do niższej,



	<p>ssanie</p>
	<p>Zündung</p> <p>sprężanie</p>
	<p>spalanie i praca</p>
	<p>wydech</p>

Obieg termodynamiczny Otta (silnik benzynowy)



(AB) - ssanie. Zawór wlotowy zostaje otwarty, tłok przesuwa się zasysając mieszankę paliwową, następuje wzrost objętości do wartości V_1 przy stałym ciśnieniu.

(BC) - sprężanie, proces adiabatyczny, objętość zmniejsza się do wartości V_2 .

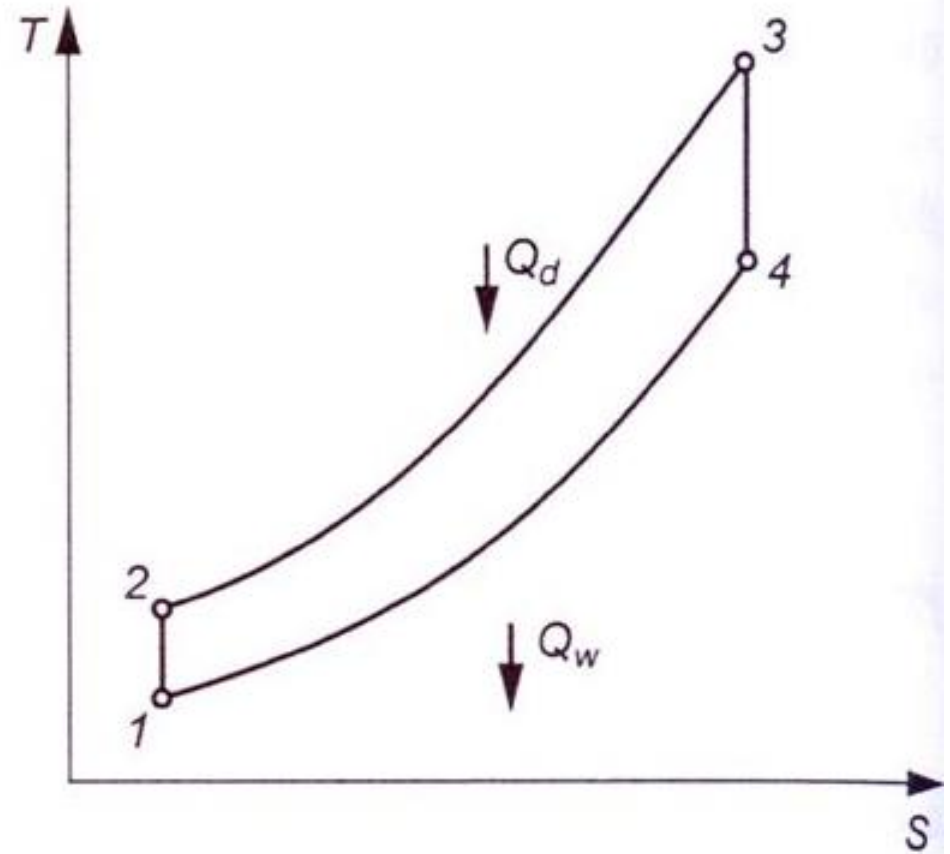
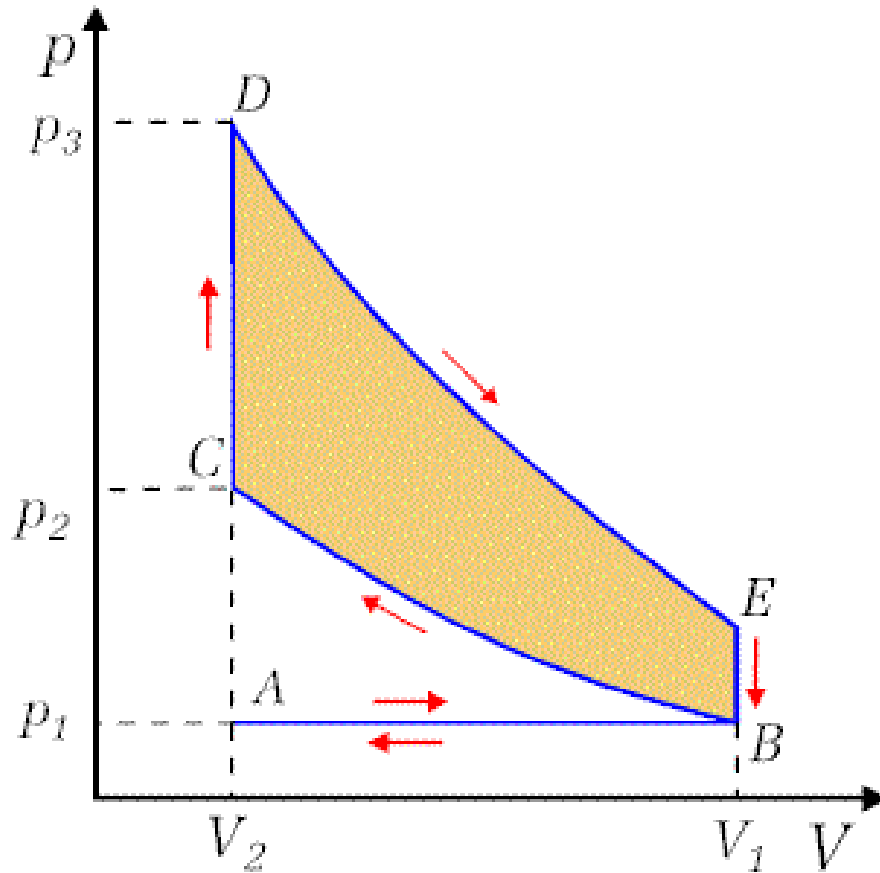
(CD) - wybuch mieszanki paliwowej. Następuje gwałtowny wzrost ciśnienia przy stałej objętości.

(DE) - praca. Gazy spalinowe ulegają adiabatycznemu rozprężeniu objętość wzrasta do wartości V_1 , gaz wykonuje pracę dodatnią.

(EB) - otwarcie zaworu wylotowego. Ciśnienie spada do wartości p_1 - ciśnienia atmosferycznego.

(BA) - wydech. Gazy spalinowe zostają usunięte wskutek ruchu tłoka. Objętość zmniejsza się do wartości V_2 przy stałym ciśnieniu.

Obieg termodynamiczny Otta (silnik benzynowy)

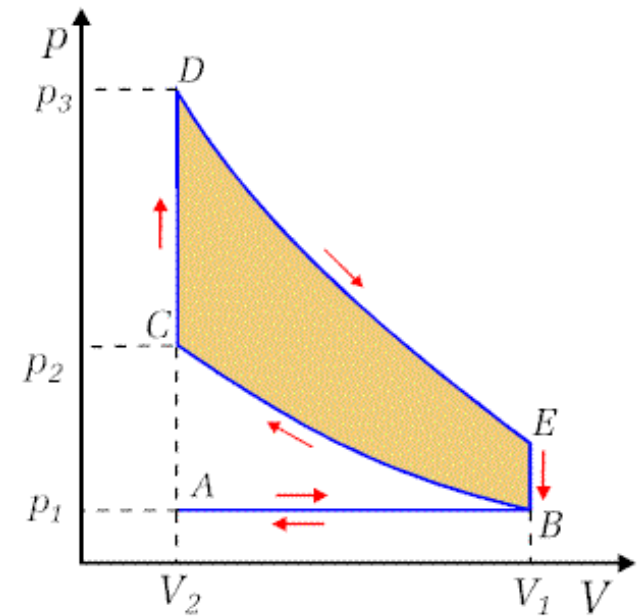


Obieg termodynamiczny Otta

Sprawność cyklu Otta określona jest przez stosunek objętości cylindra w dwóch skrajnych położeniach ruchu tłoka i wyrażona jest wzorem :

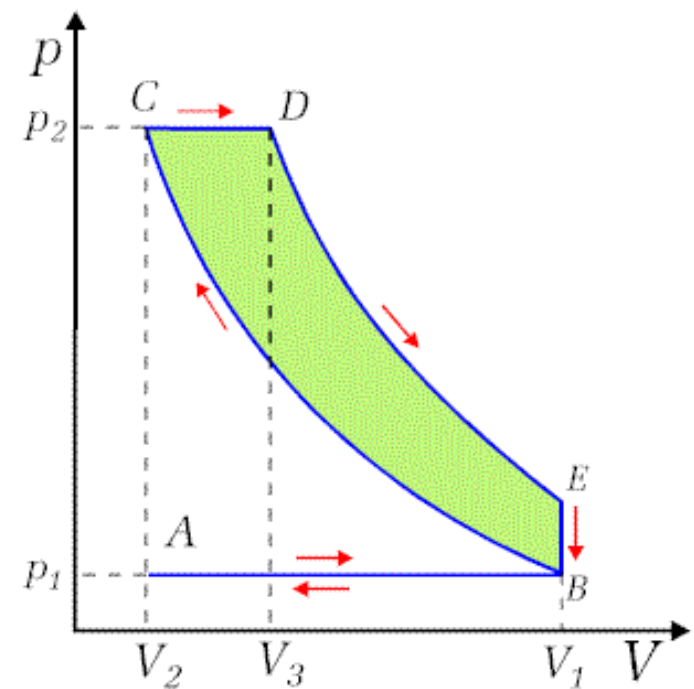
$$\eta = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1} \quad \text{gdzie} \quad \kappa = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{zatem} \quad \eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$



Sposobem na zwiększenie wydajności silnika spalinowego jest zwiększenie stopnia sprężenia mieszanki w konsekwencji zwiększenie stosunku V_2/V_1 . Nie jest to jednak celowe, bowiem w czasie przemiany adiabatycznej na odcinku **BC** dochodzi do bardzo dużego wzrostu temperatury i w rezultacie może nastąpić spontaniczny wybuch mieszanki paliwowej zanim dojdzie do zapłonu wskutek przeskoczenia iskry na świecy. Stosunek ten na ogół nie jest więc większy niż siedem.

Obieg silnika Diesla



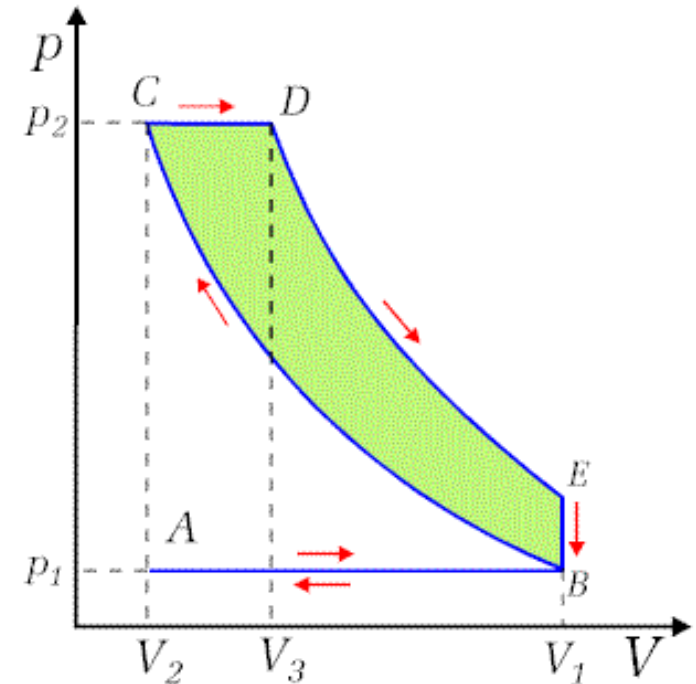
Zasadnicza różnica pomiędzy silnikiem benzynowym, a silnikiem Diesla polega na tym, że w silniku Diesla nie jest sprężana mieszanka paliwowa, ale powietrze.

Powietrze jest zasysane na odcinku AB, i sprężane adiabatycznie na odcinku BC. Dzięki temu nie ma obawy samozapłonu i stopień sprężania może być dużo większy. Wstrzykiwane paliwa (w stanie ciekłym) rozpoczyna się w punkcie C. Na odcinku CD następuje spalanie przy praktycznie stałym ciśnieniu. Spalanie kończy się w punkcie D, po czym następuje rozprężanie adiabatyczne podobnie jak w silniku benzynowym. Różnica pomiędzy formą obu cykli jest więc także w rodzaju przemiany w jakiej następuje spalanie: izochoryczna w przypadku silnika benzynowego i izobaryczna w przypadku silnika Diesla.

Obieg silnika Diesla

Wydajność silnika Diesla określona jest wyrażeniem:

$$\eta = \frac{1}{\kappa} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\kappa-1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^{\kappa}}{1 - \frac{V_2}{V_3}} \quad \text{gdzie} \quad \kappa = \frac{C_p}{C_v}$$

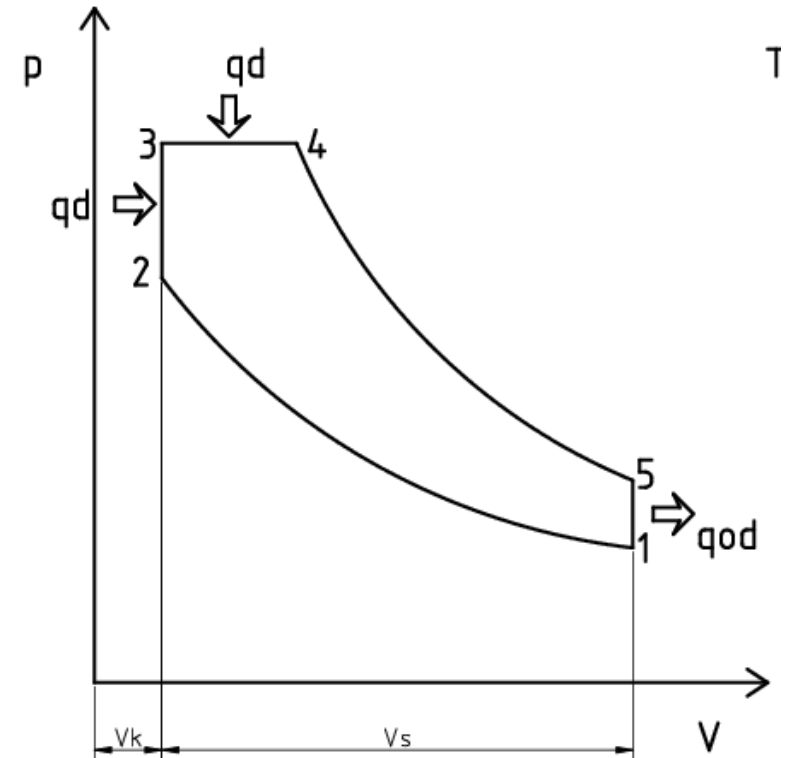


Jak widać, wydajność silnika Diesla zależy również od przebiegu procesu spalania, który ma charakter izobarycznego ogrzewania przy zmianie objętości od V_2 do V_3 .

Warto zauważyć, że w obu przypadkach (cykl Otta i cykl Diesla) substancją czynną jest powietrze, a proces spalania rozpatrujemy jako izochoryczne (cykl Otta), bądź izobaryczne (cykl Diesla) jego ogrzewanie.

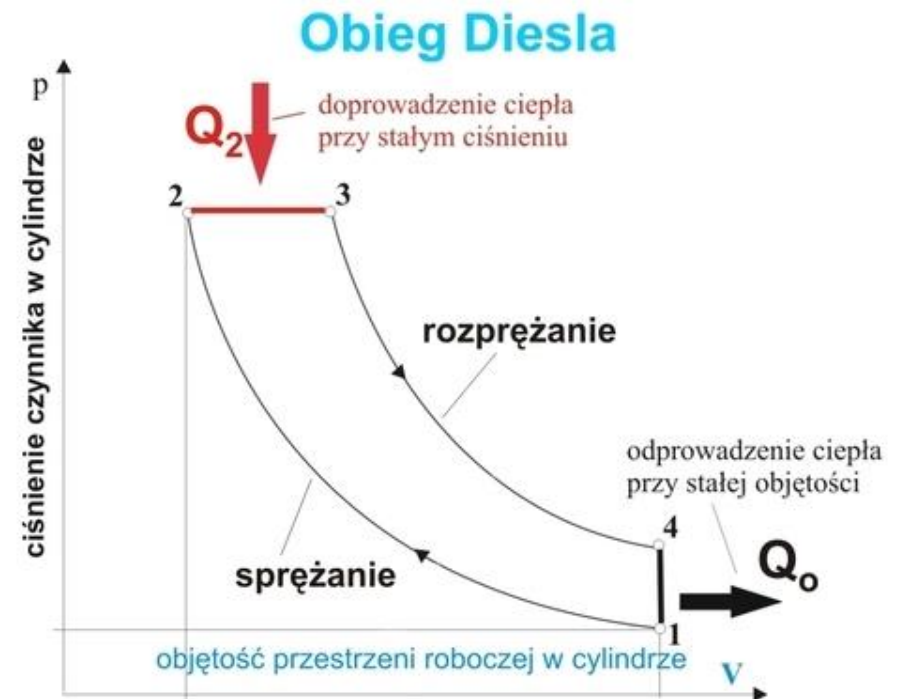
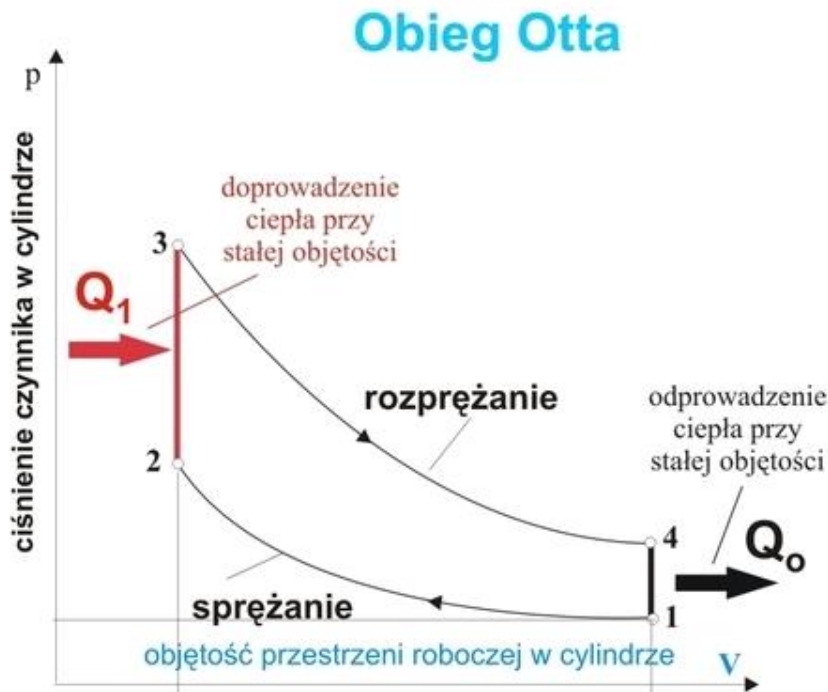
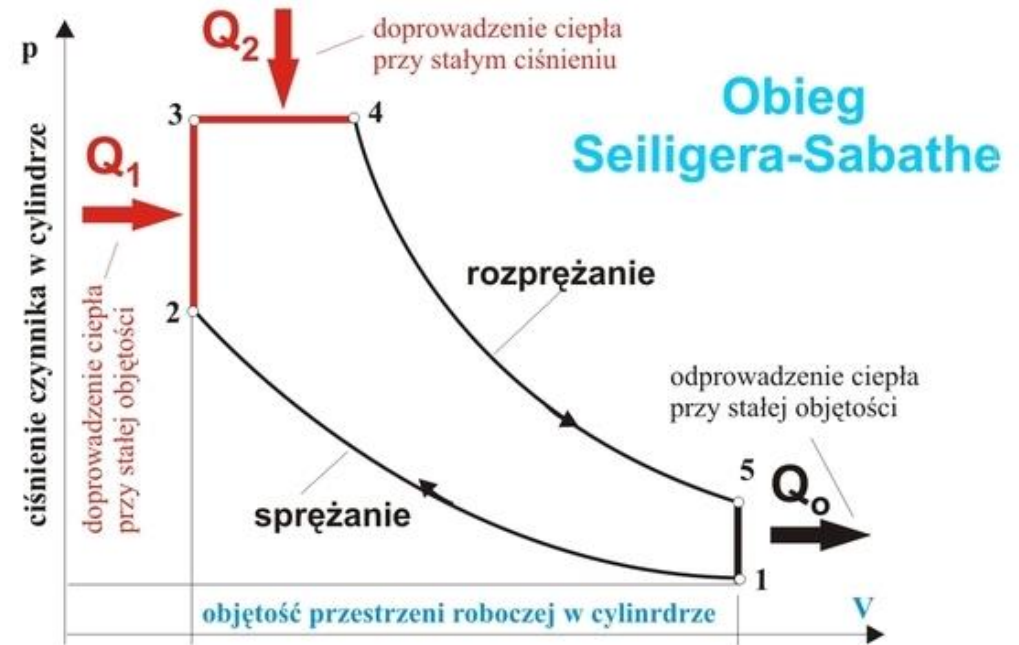
Obieg Sabathe'go

obieg spalania mieszanego



Powietrze, które jest zasysane i sprężane adiabatycznie na odcinku 1-2. Dzięki temu nie ma obawy samozapłonu i stopień sprężania może być dużo większy. Wstrzykiwane paliwa (w stanie ciekłym) rozpoczyna się w punkcie 2. Na odcinku 2-3 następuje spalanie przy praktycznie stałej objętości. Kolejne dawki paliwa spalają się praktycznie przy stałym ciśnieniu 3-4. Spalanie kończy się w punkcie 4, poczym następuje rozprężanie adiabatyczne 4-5 i wylot spalin przy $V=\text{const}$ 5-1.

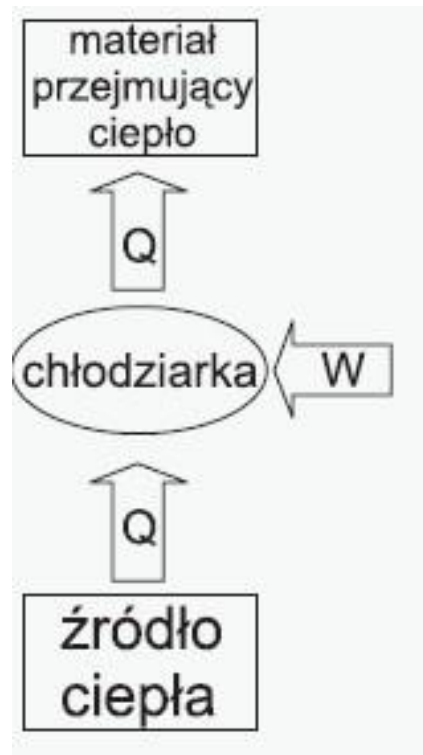
SILNIKI CIEPLNE



OBIEG CARNOTA (1824r.)

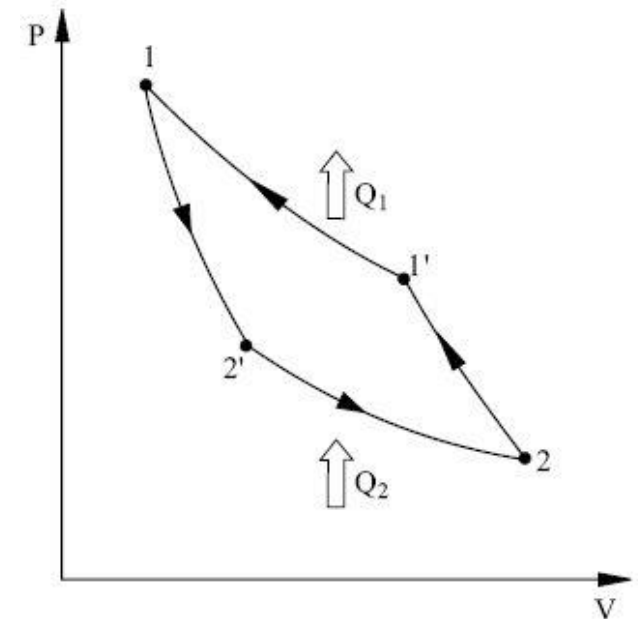
CHŁODZIARKA, w której w naturalny sposób istnieje przepływ ciepła od ciała o temperaturze niższej do ciała o temperaturze wyższej,
jak to jest możliwe ?

W chłodziarce istnieje odwrócony przebieg cyklu Carnota.
Gaz pobiera ciepło z chłodnicy a oddaje ciepło do źródła ciepła.



ODWRÓCONY OBIEG CARNOTA

- Podstawowy cel procesu chłodniczego - obniżenie temperatury ciała chłodzonego lub jej utrzymanie,
- W chłodziarkach proces ten odbywa się za pomocą **płynu chłodniczego**.
- Płyn chłodniczy krążąc wymienia ciepło od ciała chłodzonego do otoczenia. **Zatem strumień ciepła skierowany jest od obiektu chłodzonego o niższej temperaturze do otoczenia o wyższej temperaturze. NIE JEST TO PROCES SAMORZUTNY.** Proces taki jest możliwy wówczas jeśli do układu zostanie dostarczona praca z zewnątrz.



ODWRÓCONY OBIEG CARNOTA

Jeżeli czynnik chłodniczy pobiera od obiektu chłodzonego o temp. T_0 ciepło Q_0 i oddaje je do otoczenia o temp. T_1 . Zmiany entropii źródła dolnego są ujemne a górnego dodatnie:

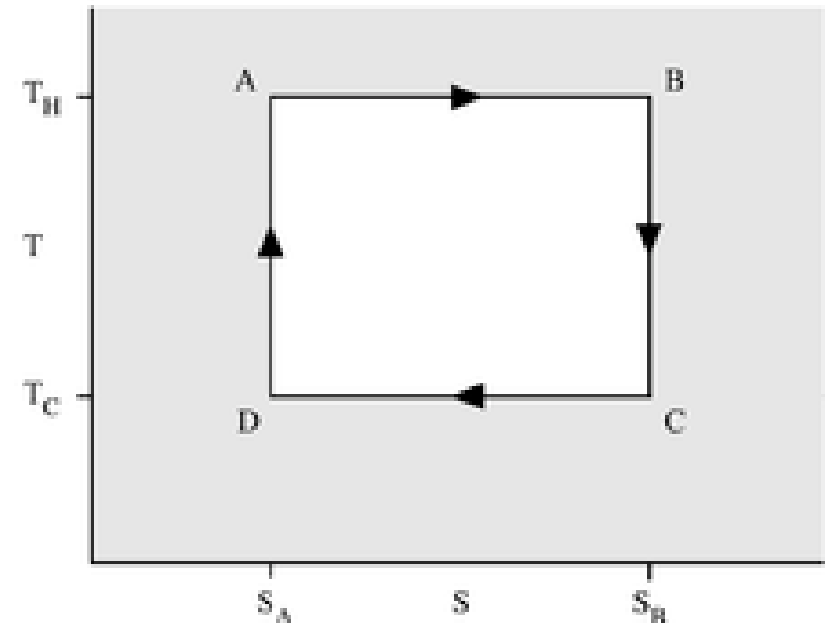
$$\Delta S = \frac{Q_0}{T_1} - \frac{Q_0}{T_0} < 0$$

Proces ten zatem nie jest samorzutny, minimalna praca niezbędna do zrealizowania takiego obiegu musi spełniać warunek:

$$\Delta S = \frac{Q_0 + W}{T_1} = 0$$

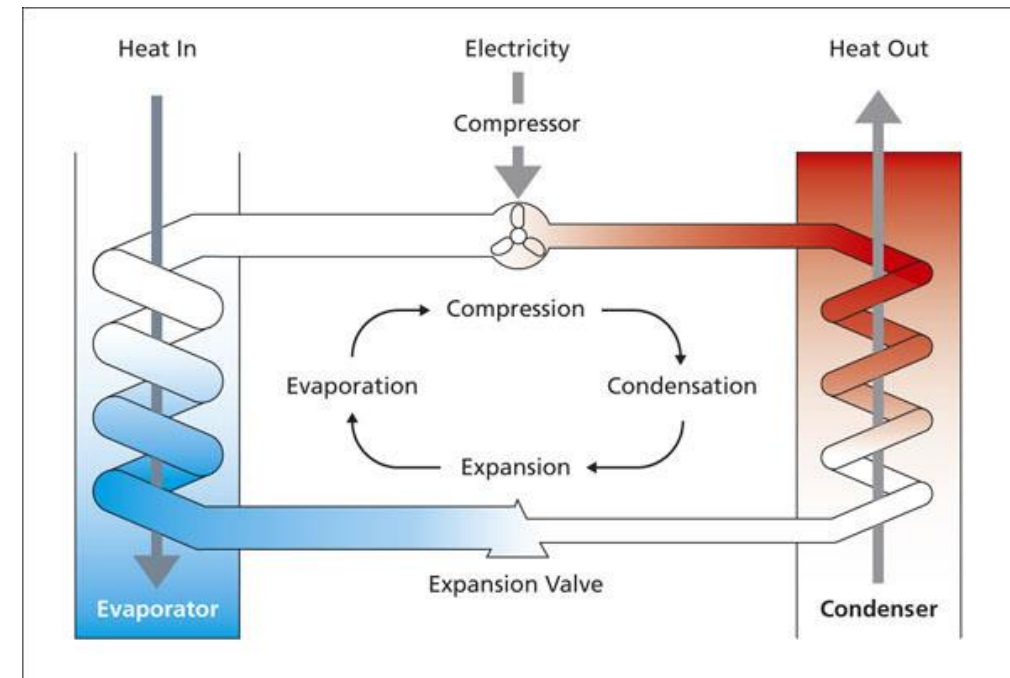
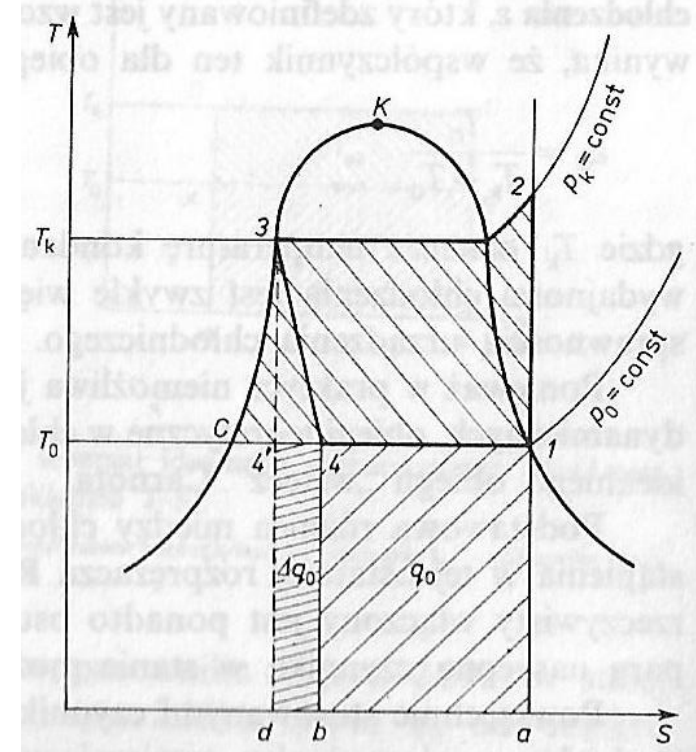
Sprawność obiegu chłodniczego mierzona jest współczynnikiem wydajności chłodzenia:

$$\varepsilon_c = \frac{T_0}{T_k - T_0}$$



Obieg Lindego, Rankina obieg chłodniczy

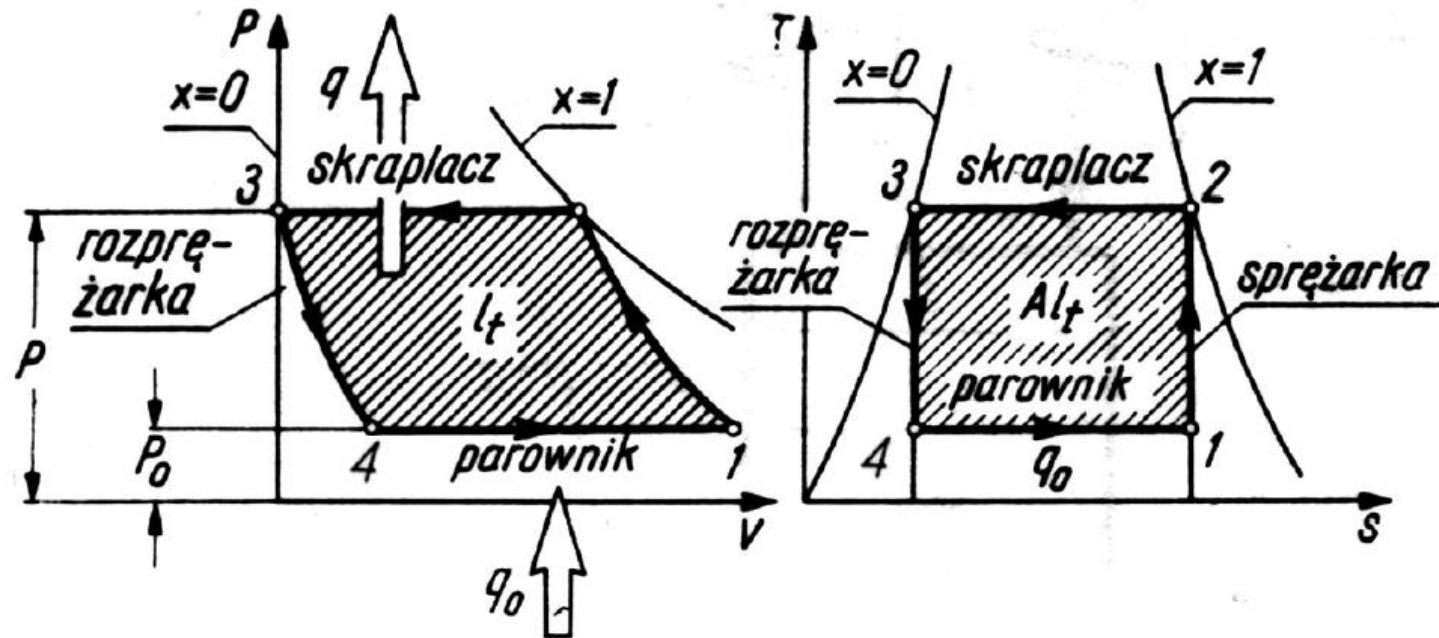
- sprężanie adiabatycznie od ciśnienia wyjściowego p_0 do ciśnienia p_k (przemiana 1-2),
- izobaryczne obniżenie temperatury pary do temperatury kondensacji T_k . Para ulega skropleniu wzdłuż izotermy 2-3, jednocześnie do otoczenia zostaje odprowadzone ciepło Q ,
- dławienie na zaworze do ciśnienia p_0 , przy wzroście entalpii wzdłuż przemiany 3-4,
- odparowanie izobarycznie z pobraniem ciepła Q_0 od obiektu chłodzonego (przemiana 4-1).

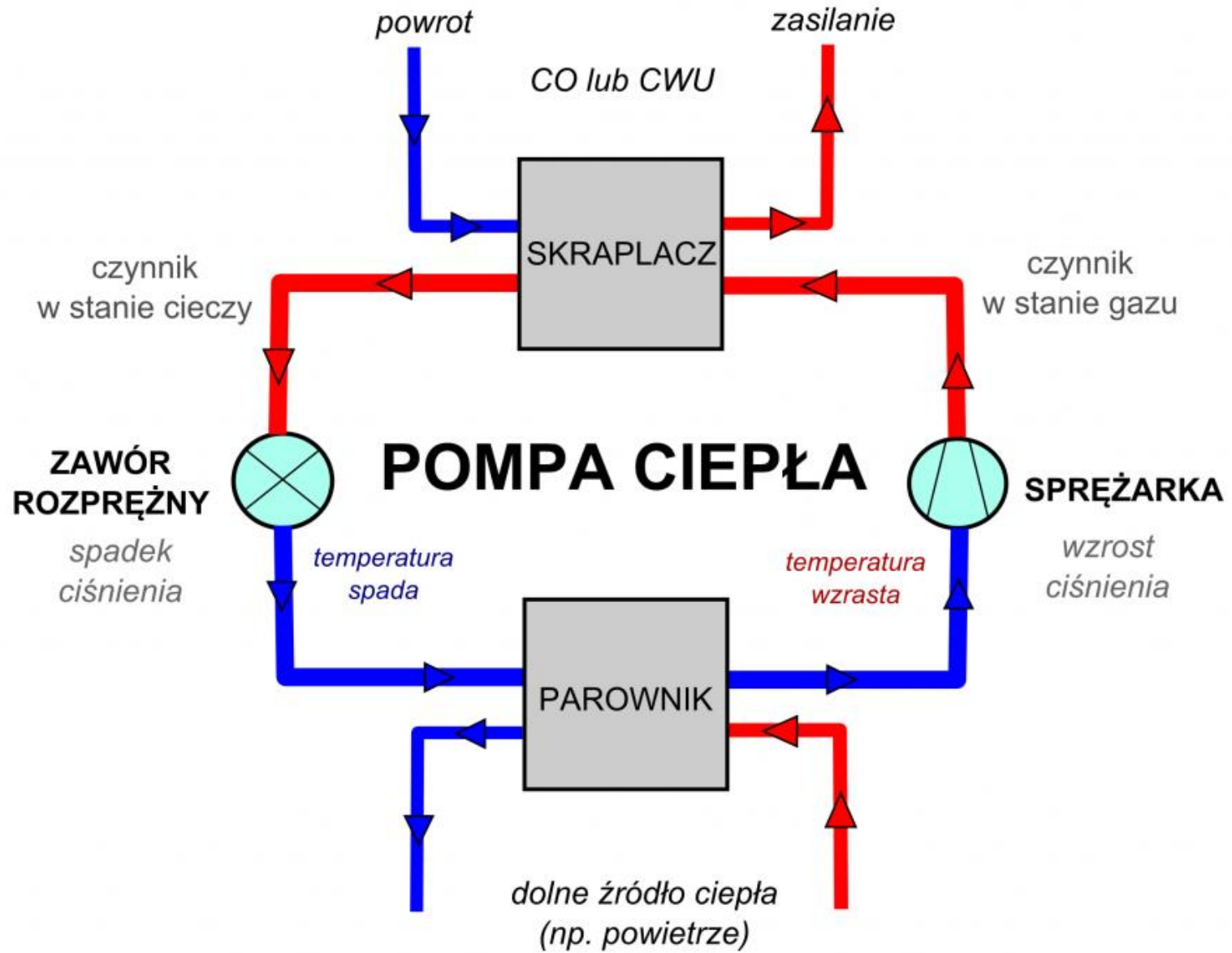


OBIEG CARNOTA (1824r.)

Czy CHŁODZIARKA może ogrzewać ?

Pompa ciepła zasilana energią elektryczną wykonuje pracę W . W wyniku wykonania pracy z miejsca gdzie jest chłodno (zbiornika wodnego) pobierane jest ciepło Q_2 . Do miejsca gdzie jest ciepło (np. wewnątrz domu) przekazywana jest energia Q_1 równa sumie wykonanej pracy W oraz pobranego ciepła Q_2 . Ciepło Q_1 jest energią otrzymaną „za darmo”.





POMPA CIEPŁA

W pompie ciepła, zupełnie tak samo jak w urządzeniach chłodniczych (bo to właściwie jest urządzenie chłodnicze) płynie czynnik roboczy.

W obiegu dolnego źródła czynnik wpływa do pierwszego wymiennika ciepła zwanego **parownikiem**, gdzie odparowuje, pobierając przy tym ciepło z otoczenia.

Następnie trafia do **spreżarki** (obieg właściwy) napędzanej energią elektryczną – następuje gwałtowny wzrost ciśnienia i temperatury czynnika (ok. 90°C).

W postaci przegrzanej pary wpływa od do drugiego wymiennika znajdującego się w obiegu górnego źródła, zwanego **skraplaczem**. Tam czynnik kondensuje, zmieniając stan skupienia z gazu do cieczy – oddając ciepło do instalacji grzewczej budynku.

Schłodzony czynnik trafia do **zaworu rozprężnego**, na skutek spadku ciśnienia gwałtownie się oziębia. Czynnik kierowany jest do parownika – cykl zaczyna się od nowa.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

