

Wykład 12

Silnik Carnota z gazem doskonałym

Sprawność silnika Carnota z gazem doskonałym

**Współczynnik wydajności chłodziarki i pompy ciepłej
Carnota z gazem doskonałym**

**Równoważność skali temperatury termodynamicznej i
skali temperatury gazu doskonałego;
bezwzględna skala temperatur**

Przypomnienie

Ciepło to energia przekazywana przez jedno ciało drugiemu w wyniku różnicy temperatur między tymi ciałami

Praca to energia przekazywana przez jedno ciało drugiemu za pośrednictwem siły działającej między tymi ciałami

Silnik Carnota z gazem doskonałym

N.L. Sadi Carnot 1824

Silnik odwracalny, w którym substancją roboczą jest gaz doskonały. Nie ma tarcia, strat, obowiązuje równanie stanu gazu doskonałego

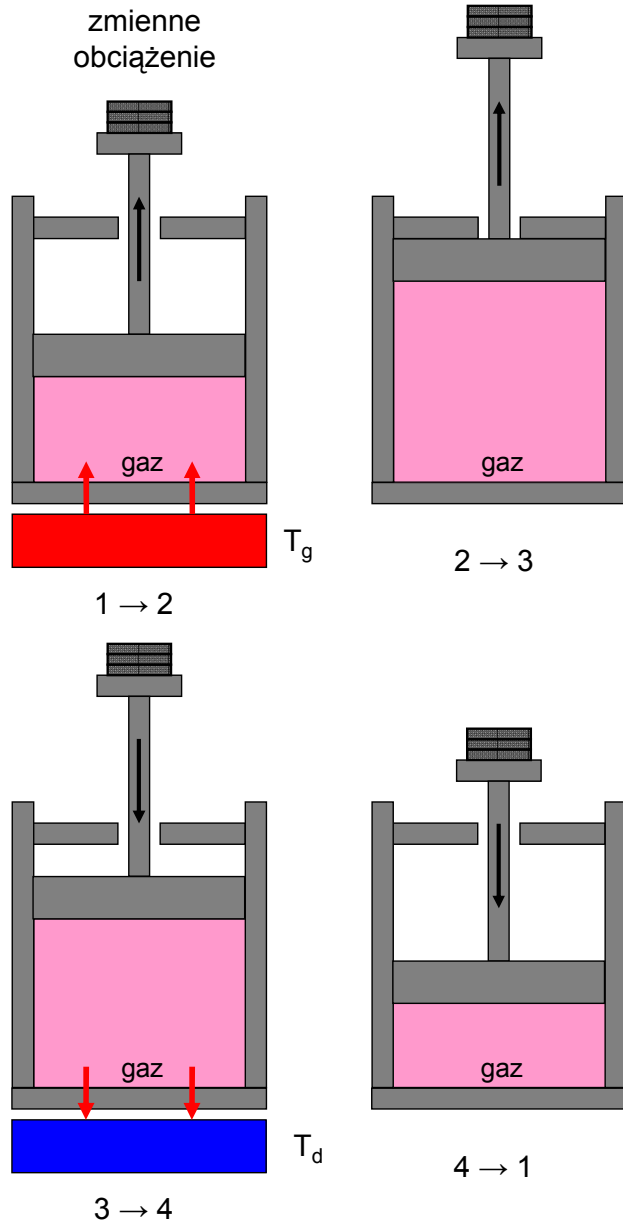
Przemiany w cyklu Carnota z gazem doskonałym:

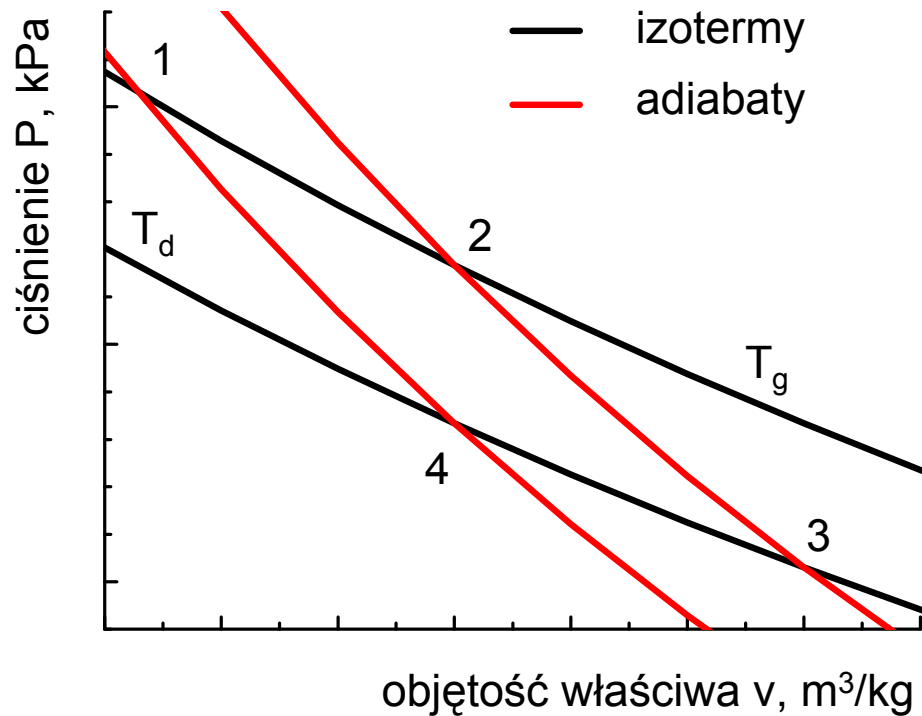
1 → 2. Izotermiczne rozprężanie gazu. Gaz pobiera ciepło Q_g ze źródła górnego utrzymując stałą temperaturę T_g i wykonuje pracę przesuwając tłok.

2 → 3. Adiabaticzne rozprężanie gazu. Gaz wykonuje pracę kosztem energii wewnętrznej. Temperatura spada do T_d .

3 → 4. Izotermiczne sprężanie gazu kosztem pracy zewnętrznej. Nadwyżka ciepła (temperatura jest stała i wynosi T_d) jest odprowadzana do źródła dolnego.

4 → 1. Adiabaticzne sprężanie gazu kosztem pracy zewnętrznej. Temperatura gazu (i jego energia wewnętrzna) rośnie do T_g .





Obieg Carnota z gazem doskonałym

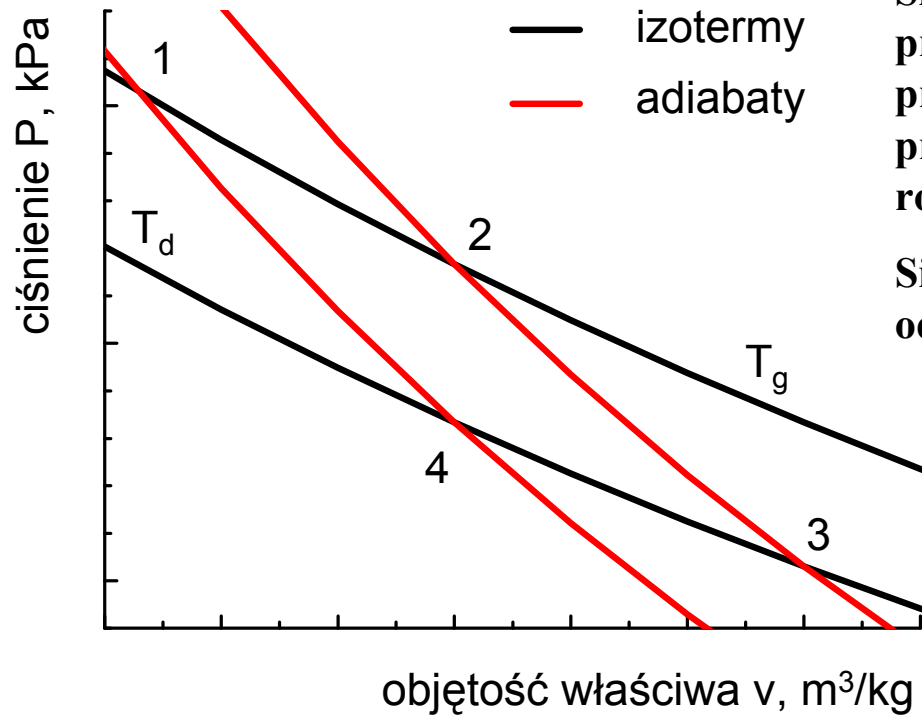
Przemiany w obiegu Carnota z gazem doskonałym:

1 → 2. Izotermiczne rozprężanie gazu.
Gaz pobiera ciepło Q_g ze źródła górnego utrzymując stałą temperaturę T_g i wykonuje pracę przesuwając tłok.

2 → 3. Adiatyczne rozprężanie gazu.
Gaz wykonuje pracę kosztem energii wewnętrznej. Temperatura spada do T_d .

3 → 4. Izotermiczne sprężanie gazu
kosztem pracy zewnętrznej. Nadwyżka ciepła (temperatura jest stała i wynosi T_d) jest odprowadzana do źródła dolnego.

4 → 1. Adiatyczne sprężanie gazu
kosztem pracy zewnętrznej.
Temperatura gazu (i jego energia wewnętrzna) rośnie do T_g .



Silnik wykonuje pracę przesuując tłok podczas przemian $1 \rightarrow 2$ i $2 \rightarrow 3$. Otoczenie wykonuje pracę sprężając gaz w komorze roboczej podczas przemian $3 \rightarrow 4$ i $4 \rightarrow 1$. Praca użyteczna jest równa polu powierzchni 12341.

Silnik pobiera ciepło Q_g podczas przemiany $1 \rightarrow 2$, oddaje ciepło Q_d podczas przemiany $3 \rightarrow 4$.

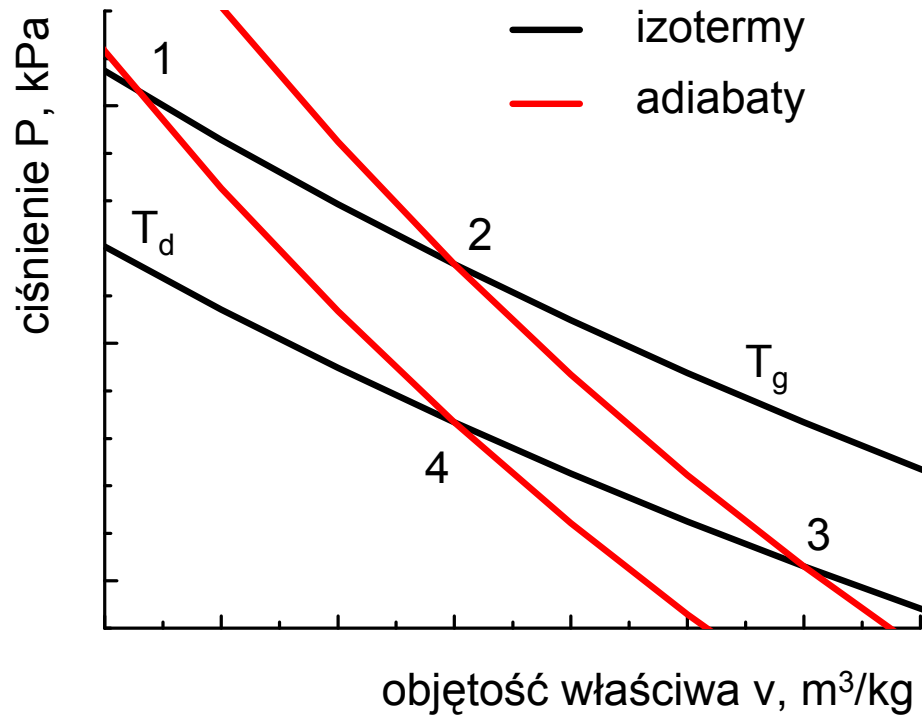
$$Q_g = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{NkT_g}{V} dV = NkT_g \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_d = \int_{V_4}^{V_3} P dV = \int_{V_4}^{V_3} \frac{NkT_d}{V} dV = NkT_d \ln \frac{V_3}{V_4}$$

Obieg Carnota z gazem doskonałym

Ponieważ sprawność silnika Carnota:

$$\eta = \frac{W}{Q_g} = \frac{Q_g - Q_d}{Q_g} = 1 - \frac{Q_d}{Q_g}$$



zależy tylko od stosunku Q_d/Q_g musimy znaleźć związki łączące objętości V_1 , V_2 , V_3 i V_4 . Ponieważ dla przemiany adiabatycznej:

$$PV^\gamma = \text{const};$$

mamy także:

$$\frac{NkT}{V} V^\gamma = \text{const}; \quad \text{czyli} \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$T_g V_2^{\gamma-1} = T_d V_3^{\gamma-1}$$

$$T_g V_1^{\gamma-1} = T_d V_4^{\gamma-1}$$

Po podzieleniu stronami: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$

Obieg Carnota z gazem doskonałym

$$Q_g = NkT_g \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_d = NkT_d \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$\frac{Q_d}{Q_g} = \frac{T_d}{T_g} \Rightarrow Q_d = Q_g \frac{T_d}{T_g}$$

Sprawność silnika Carnota z gazem doskonałym

Sprawność silnika Carnota z gazem doskonałym będzie:

$$\eta = \frac{W}{Q_g} = \frac{Q_g - Q_d}{Q_g} = 1 - \frac{Q_d}{Q_g} = 1 - \frac{T_d}{T_g} = \frac{T_g - T_d}{T_g},$$

gdzie T_g jest temperaturą górnego źródła ciepła (grzejnika), a T_d temperaturą dolnego źródła ciepła (chłodnicy).

Związek pomiędzy Q_g i Q_d , podobnie jak wzór na sprawność, musi być słuszny dla każdego silnika odwracalnego:

$$\frac{Q_d}{Q_g} = \frac{T_d}{T_g}.$$

Jest to ten sam związek, który otrzymaliśmy z rozważań nad silnikami odwracalnymi.

Sprawdzian

Trzy silniki Carnota współpracują ze zbiornikami cieplnymi o temperaturach: a) 400 i 500 K, b) 600 i 800 K, c) 400 i 600 K. U szereguj te silniki według ich sprawności, zaczynając od największej wartości.

Zadanie 1

Silnik Carnota pracuje ze zbiornikami ciepła o temperaturach $T_1 = 850 \text{ K}$ i $T_2 = 300 \text{ K}$. W każdym cyklu, który trwa 0,25 s, silnik wykonuje pracę równą 1200 J.

- a) Ile wynosi sprawność tego silnika?
- b) Ile wynosi średnia moc tego silnika?
- c) Ile ciepła Q_1 jest pobierane w każdym cyklu ze zbiornika o wyższej temperaturze?
- d) Jaka energia Q_2 jest odprowadzana w każdym cyklu do zbiornika o niższej temperaturze?

Współczynnik wydajności chłodziarki i pompy ciepłej Carnota z gazem doskonałym

Współczynnik wydajności chłodziarki:

$$\beta = \frac{Q_d}{W} = \frac{Q_d}{Q_g - Q_d} = \frac{T_d}{T_g - T_d}$$

Współczynnik wydajności pompy ciepłej:

$$\beta' = \frac{Q_g}{W} = \frac{Q_g}{Q_g - Q_d} = \frac{T_g}{T_g - T_d}$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{\beta'}{\beta' - 1} - 1} = \frac{1}{\frac{\beta' - \beta' + 1}{\beta' - 1}} = \beta' - 1$$

Sprawdzian

Chcemy zwiększyć współczynnik wydajności chłodziarki. Czy możemy to osiągnąć:

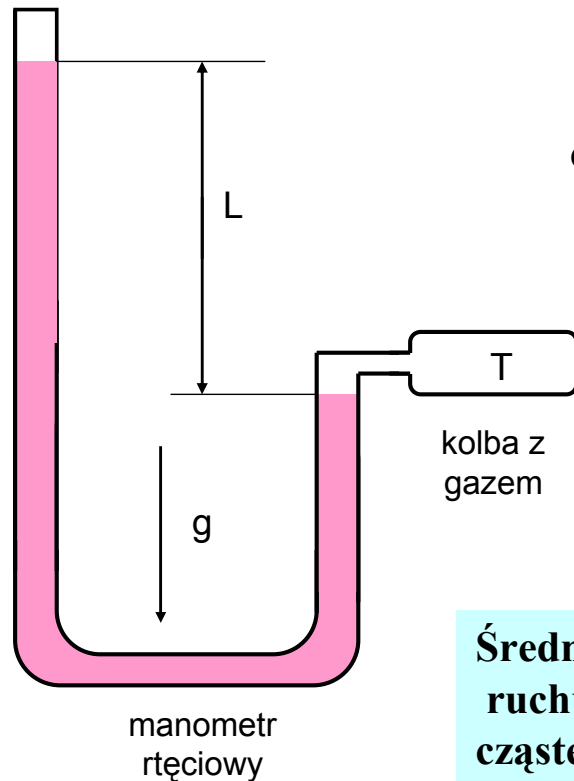
a) podnosząc nieco temperaturę komory chłodniczej, b) obniżając nieco temperaturę komory chłodniczej, c) przenosząc chłodziarkę do cieplejszego pomieszczenia, d) przenosząc chłodziarkę do chłodniejszego pomieszczenia.

Założmy, że każda z tych operacji wiąże się z taką samą bezwzględną zmianą temperatury. Uszereguj te operacje według współczynnika wydajności, zaczynając od jego największej wartości.

Zadanie 2

Silnik elektryczny napędza pompę ciepłą, która przekazuje ciepło z zewnątrz budynku, gdzie panuje temperatura -5°C , do pomieszczenia, w którym jest 17°C . Załóż, że pompa ciepła jest pompą ciepłą Carnota (pracuje w cyklu odwrotnym Carnota). Ile dżuli ciepła doprowadzonego do pokoju przypada na każdy dżul zużytej energii elektrycznej?

Równoważność skali temperatury termodynamicznej i skali temperatury gazu doskonałego; bezwzględna skala temperatur



Punkt potrójny,
 $T_3 = 0,01^\circ\text{C}$
 ciśnienie = 611,73 Pa

$$T = C \cdot P$$

$$T = T_3 \cdot \left(\frac{P}{P_3} \right) = (273,16 \text{ K}) \cdot \left(\frac{P}{P_3} \right)$$

Z równania stanu gazu doskonałego:

$$PV = n\bar{R}T$$

Z teorii kinetyczno-molekularnej dla gazu doskonałego:

$$PV = n \frac{2}{3} N_A \frac{mv_{\text{sr.kw.}}^2}{2}$$

Średnia energia kinetyczna ruchu postępowego cząsteczki a temperatura:

$$E_{k,\text{sr.}} = \frac{mv_{\text{sr.kw.}}^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{\bar{R}T}{N_A} = \frac{3}{2} kT$$

Wydajność silnika odwracalnego: $\eta = 1 - \frac{T_d^t}{T_g^t}$ gdzie T^t to temperatura termodynamiczna, a silnika odwracalnego z gazem doskonałym: $\eta = 1 - \frac{T_d}{T_g}$ gdzie T to temperatura gazu doskonałego.

OBIE SKALE SĄ RÓWNOWAŻNE: $T^t = T$ BEZWGLĘDNA SKALA TEMPERATUR