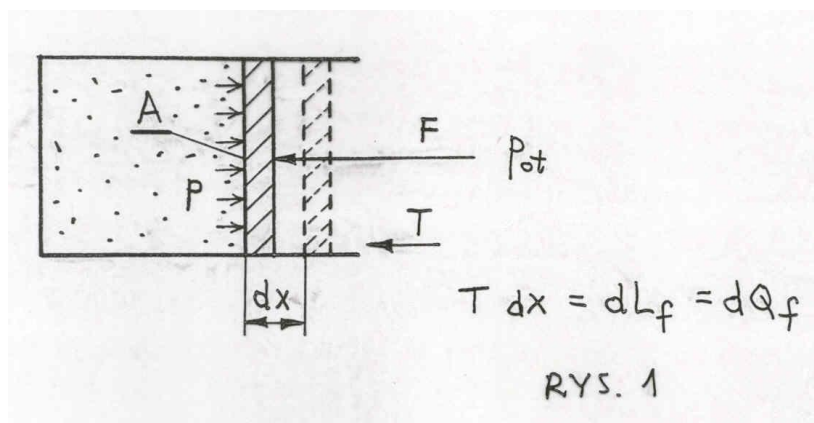


Rodzaje pracy mechanicznej



1. Praca bezwzględna

Jest to praca przekazana przez czynnik termodynamiczny na wewnętrzną stronę denka tłoka. Podczas beztarciowej przemiany kwazystatycznej praca przekazana otoczeniu przez czynnik termodynamiczny jest równa pracy bezwzględnej. Przy $p_{ot} = 0$ jest

$$F = pA \quad (1)$$

Równanie (1) mnożymy stronami przez elementarne przesunięcie tłoka dx . Otrzymujemy elementarną pracę bezwzględną dL

$$dL = Fdx = pAdx = pdV \quad (2)$$

Ponieważ podczas przemiany ciśnienie najczęściej się zmienia (jest stałe tylko podczas przemiany izobarycznej), pracę dla całej przemiany od stanu 1 do stanu 2 można w przybliżeniu obliczyć jako sumę prac dla kolejnych częściowych przemian (po tej samej drodze). Podczas takiej małej częściowej przemiany objętość zmienia się o mały przyrost ΔV_i , a ciśnienie jest w przybliżeniu stałe i równe p_i . Oczywiście jest

$$V_2 - V_1 = \sum_{i=1}^n \Delta V_i. \text{ Przybliżona wartość pracy bezwzględnej}$$

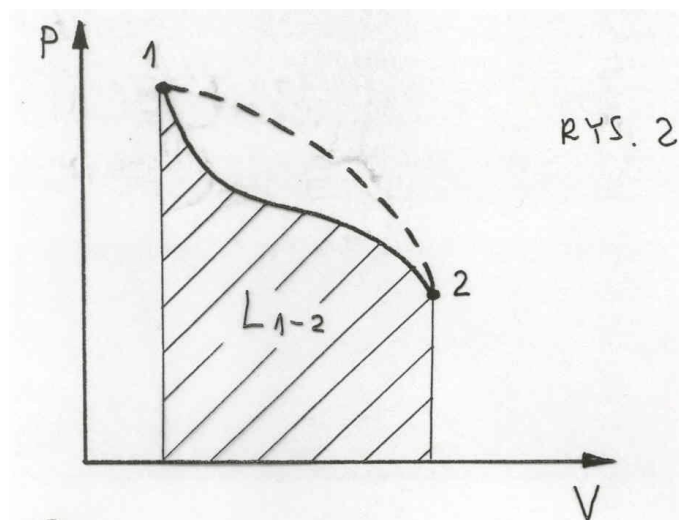
przemiany może być obliczona następująco

$$L_{1-2} \cong \sum_{i=1}^n p_i \Delta V_i \quad (3a)$$

Im większa wartość n , tym dokładniejszy jest wzór (3a). Dla $n \rightarrow \infty$ wzór (3a) przechodzi we wzór ścisły

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p(V)dV \quad (3b)$$

Znak pracy bezwzględnej zależy od znaku dV . Praca ekspansji jest dodatnia, ponieważ $dV > 0$, natomiast praca kompresji (praca wykonana nad układem) jest ujemna.



Pole pod krzywą przemiany na wykresie p - V odpowiada pracy bezwzględnej przemiany. Na rys. 2 widać, że praca podczas przemiany, której przebieg obrazuje linia ciągła, jest mniejsza od pracy przemiany przedstawionej za pomocą linii kreskowej.

2. Zewnętrzna praca bezwzględna

Jest to praca bezwzględna pomniejszona o stratę pracy spowodowaną tarciem wewnątrz układu i tarciem tłoka o gładź cylindra. Zewnętrzna praca bezwzględna może być odebrana przez otoczenie z zewnętrznej powierzchni denka tłoka.

$$dL_z = dL - dL_f = pdV - dQ_f \quad (4)$$

W równaniu (4) iloczyn pdV jest pracą, jaka byłaby przekazana otoczeniu, gdyby przemiana odbywała się bez tarcia, natomiast $dL_f = dQ_f = Tdx$ jest ubytkiem pracy spowodowanym tarciem.

3. Praca użyteczna

Jest to zewnętrzna praca bezwzględna pomniejszona o pracę kompresji otoczenia.

3.1. Układ beztarciowy

Warunek równowagi mechanicznej

$$pA = F + p_{ot}A \quad (5)$$

Po pomnożeniu równania (5) stronami przez przemieszczenie tłoka, dx , otrzymujemy

$$pAdx = Fdx + p_{ot}Adx \quad (6)$$

i dalej

$$pdV = Fdx + p_{ot}dV \quad (7a)$$

$$dL = Fdx + p_{ot}dV \quad (7b)$$

gdzie dL jest elementarną pracą bezwzględną wykonaną przez układ (czynnik) termodynamiczny podczas przemieszczenia się tłoka o dx . Praca dL jest zużywana na pokonanie oporu siły zewnętrznej F oraz siły wynikającej z działania ciśnienia otoczenia. Praca, którą można wykorzystać użytecznie jest równa

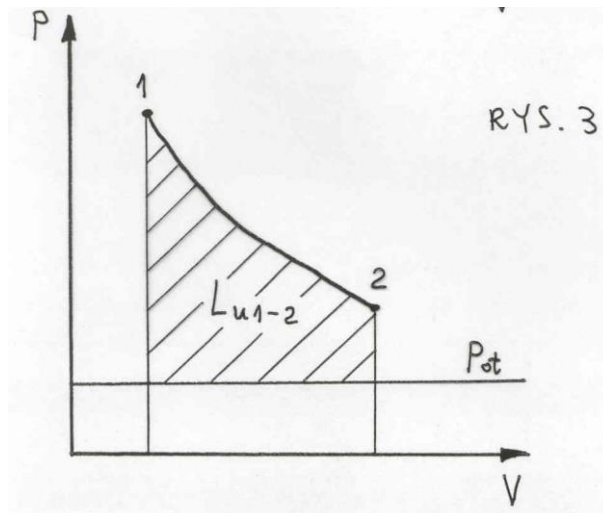
$$Fdx = dL_u \quad (8)$$

Po podstawieniu (8) do (7b) i przekształceniu otrzymujemy

$$dL_u = dL - p_{ot}dV = pdV - p_{ot}dV \quad (9)$$

Po scałkowaniu równania (9) stronami od stanu 1 do stanu 2 dostajemy

$$L_{u1-2} = L_{1-2} - p_{ot}(V_2 - V_1) \quad (10)$$



3.2. Układ z tarciem

W przypadku układu z tarciem część pracy czynnika zostaje zużyta na pokonanie oporów tarcia. W tym przypadku na prawej stronie równania (7b) przybywa dodatkowy człon dQ_f

$$dL = Fdx + p_{ot}Adx + dQ_f = Fdx + p_{ot}dV + dQ_f \quad (11)$$

a praca użyteczna jest równa

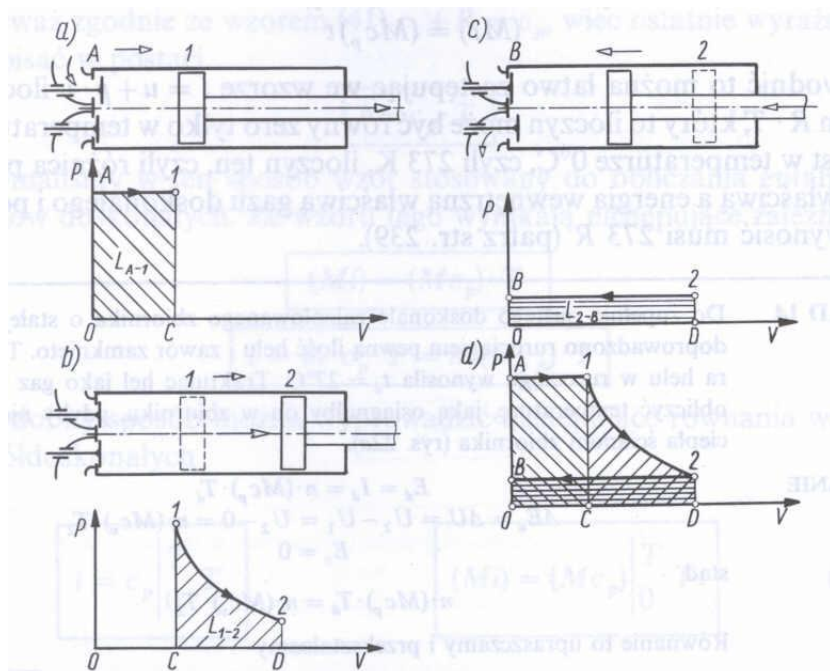
$$L_{u1-2} = L_{1-2} - p_{ot}(V_2 - V_1) - Q_f \quad (12)$$

4. Praca techniczna

Praca techniczna jest to praca wykonana (pobrana) w jednym cyklu przez *idealną maszynę przepływową*.

4.1. Silnik

Zadaniem silnika jest przetwarzanie energii czynnika termodynamicznego (i ewentualnie ciepła dostarczanego do silnika podczas ekspansji zamkniętej) na pracę mechaniczną.



Rys. 23. Praca idealnego silnika przepływowego: a) napełnianie, b) ekspansja, c) wydmuch, d) praca jednego cyklu

Zasada działania idealnej maszyny przepływowej - silnika: Gdy tłok znajduje się w skrajnym położeniu odkorbowym, otwiera się zawór dolotowy i do maszyny wpływa czynnik termodynamiczny (najczęściej gaz lub para) o wysokiej energii. Wpływający czynnik powoduje przesuwanie się tłoka w kierunku kukorbowym. Przesuwający się tłok, za pośrednictwem korbowodu, powoduje obracanie wału silnika, który z kolei przekazuje pracę do otoczenia. Po częściowym napełnieniu cylindra czynnikiem, zamyka się zawór dolotowy i następuje ekspansja zamknięta czynnika, aż do osiągnięcia przez tłok skrajnego położenia kukorbowego. Podczas ekspansji zamkniętej maszyna w dalszym ciągu przekazuje, za pośrednictwem tłoka, korbowodu i wału, pracę do otoczenia. Po przekroczeniu przez tłok skrajnego położenia kukorbowego, otwiera się zawór wylotowy i tłok jest przesuwany w kierunku odkorbowym wytłaczając czynnik z cylindra. Energia potrzebna do przesunięcia tłoka w kierunku odkorbowym pobierana jest z otoczenia (w rzeczywistej maszynie od koła zamachowego). W maszynie przepływowej energia czynnika dostarczanego do maszyny zamieniana jest na pracę mechaniczną.

Cykl pracy maszyny przepływowej - silnika

- 0-1 napełnianie cylindra – przemiana otwarta,
 $dQ = 0; \quad p, \rho, T = idem$
- 1-2 ekspansja zamknięta;
 $dQ = 0 \quad \text{lub} \quad dQ \neq 0; \quad p, \rho, T = var$
- 2-3 wytłaczanie czynnika z cylindra – przemiana otwarta;
 $dQ = 0; \quad p, \rho, T = idem$

Praca techniczna jest równa sumie algebraicznej prac napełniania, ekspansji i wytłaczania.

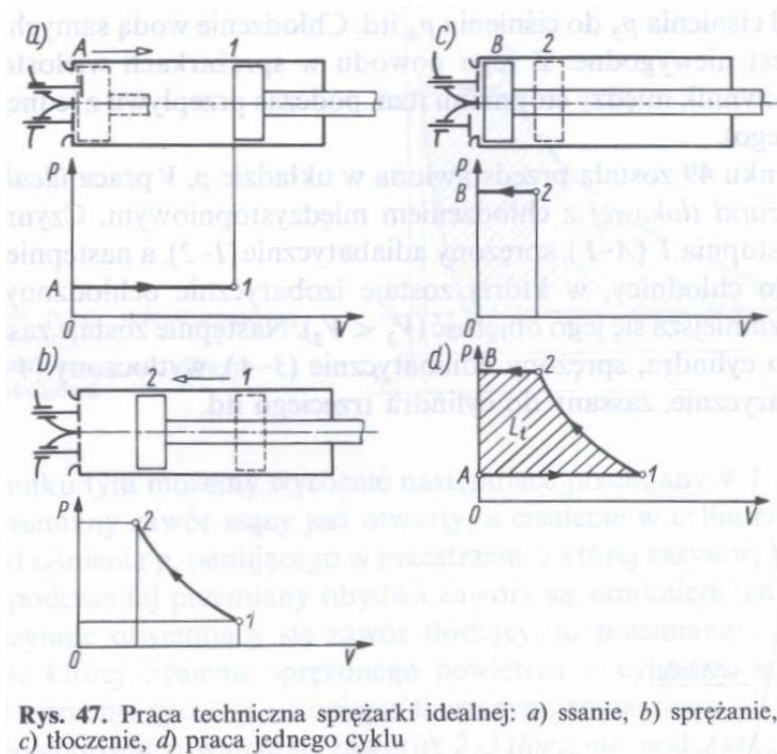
$$L_t = p_1V_1 + L_{1-2} - p_2V_2 = p_1V_1 + \int_{V_1}^{V_2} p(V)dV - p_2V_2 \quad (13)$$

$$dL_t = -V(p)dp \quad (14)$$

$$L_t = - \int_{p_1}^{p_2} V(p)dp \quad (15)$$

4.2. Sprężarka lub pompa

Zadaniem sprężarki lub pompy jest transport czynnika termodynamicznego z układów, gdzie panuje niskie ciśnienie, do układów, gdzie panuje wyższe ciśnienie.



Rys. 47. Praca techniczna sprężarki idealnej: a) ssanie, b) sprężanie, c) tłoczenie, d) praca jednego cyklu

Zasada działania idealnej maszyny przepływowej – pompy/sprężarki:

Gdy tłok znajduje się w skrajnym położeniu odkorbowym, otwiera się zawór dolotowy i do maszyny wpływa czynnik termodynamiczny (w przypadku sprężarki jest to gaz, a w przypadku pompy ciecz) o niskim ciśnieniu. Wpływający czynnik powoduje przesuwanie się tłoka w kierunku kukorbowym. Przesuwający się tłok, za pośrednictwem korbowodu, powoduje obracanie wału maszyny, który z kolei przekazuje pracę do otoczenia. Po całko-

witym napełnieniu cylindra czynnikiem, zamyka się zawór dolotowy i następuje kompresja zamkniętego czynnika, aż do osiągnięcia przez tłok położenia, w którym ciśnienie czynnika będzie odpowiednio wysokie. Wówczas otwiera się zawór wylotowy i czynnik o wysokim ciśnieniu jest wytłaczany z cylindra maszyny do odbiornika, np. zbiornika. Podczas kompresji zamkniętej i podczas wytłaczania czynnika, praca jest doprowadzana do czynnika, za pośrednictwem wału, korbowodu i tłoka.

W idealnej maszynie przepływowej nie występuje tarcie i dławienie czynnika termodynamicznego. Czynnik nie jest zasysany do cylindra idealnej maszyny przepływowej, lecz wpływa sam przesuając tłok w kierunku kukorbowym.

$$L_t = p_1 V_1 + \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV - p_2 V_2 < 0 \quad (16)$$

Uwaga:

Dla przemian zamkniętych można również obliczyć całkę (15). Tak obliczona praca techniczna ma wówczas jedynie sens rachunkowy. Nie ma ona interpretacji fizycznej. Podczas przemiany zamkniętej czynnik wykonuje bowiem pracę bezwzględną daną wzorem (3).