Sprężarki tłokowe

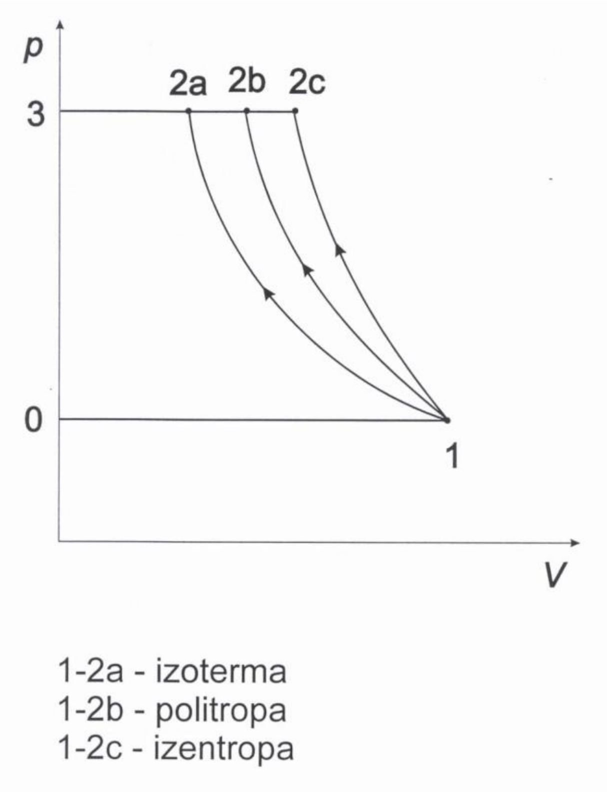
1. Informacje ogólne

Spręż

$$\pi = \frac{p_2}{p_1} \tag{1.1}$$

jest ilorazem ciśnienia na wylocie ze sprężarki i ciśnienia na wlocie do sprężarki. Sprężarka idealna (*idealna maszyna przepływowa*) nie posiada tzw. przestrzeni szkodliwej, tzn. minimalna objętość cylindra jest równa zero

$$V_{\min} = 0 \tag{1.2}$$

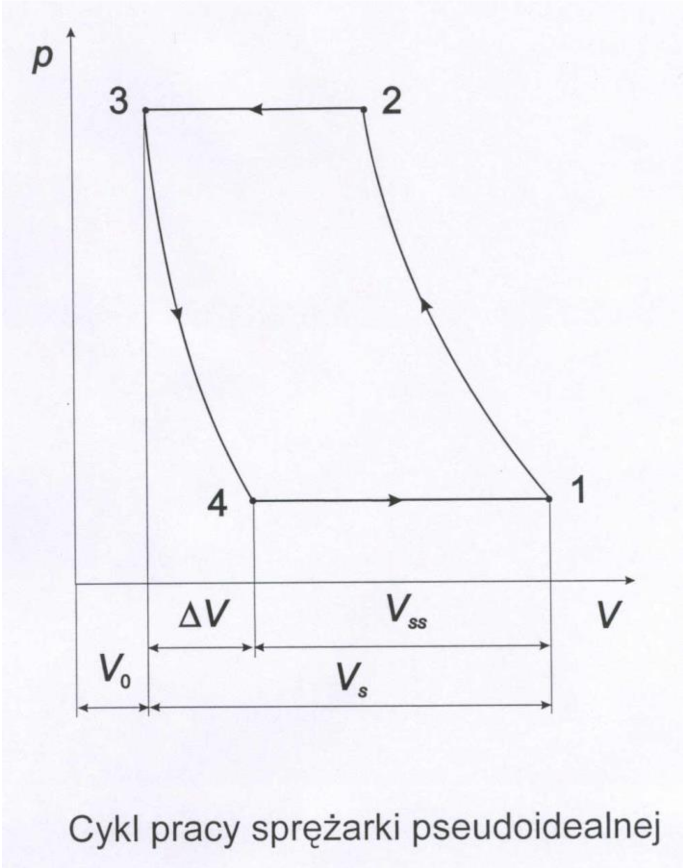


Rys. 1. Cykl pracy sprężarki idealnej.

Na rysunku 1 widać, że najmniej pracy należy dostarczyć podczas kompresji izotermicznej (pole 0-1-2a ma najmniejszą powierzchnię), a najwięcej podczas kompresji izentropowej (pole 0-1-2c ma największą powierzchnię).

Sprężarka pseudoidealna różni się od sprężarki idealnej tylko obecnością przestrzeni szkodliwej

$$V_{\min} > 0 \tag{1.3}$$



Rys. 2.

Względna wartość przestrzeni szkodliwej

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{\min}}{V_s} = \frac{V_3}{V_1 - V_3} \tag{1.4}$$

V_s - objętość skokowa

$$V_s = V_{\max} - V_{\min} = V_1 - V_3 \tag{1.5}$$

Sprawność wolumetryczna

$$\eta_v = \frac{V_{ss}}{V_s} = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} \tag{1.6}$$

Wydajność sprężarki

$$\dot{m} = V_s \dot{n}_0 \rho \eta_v \quad [kg/s] \tag{1.7}$$

gdzie $\rho[kg/m^3]$ - gęstość zassanego czynnika w cylindrze, $\dot{n}_0$ - liczba cykli sprężania wykonywanych w czasie 1 sekundy.

Gęstość zasysanego czynnika obniżają: opory przepływu w kanale ssącym oraz pochłanianie ciepła od gorących ścian cylindra (tzw. cieplne oddziaływanie ścian cylindra).

Praca techniczna (wartość bezwzględna) dla jednego cyklu sprężania gazu doskonałego w sprężarce idealnej:

- dla kompresji izotermicznej

$$|L_t| = p_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \qquad [J] \qquad (1.8)$$

- dla kompresji politropowej

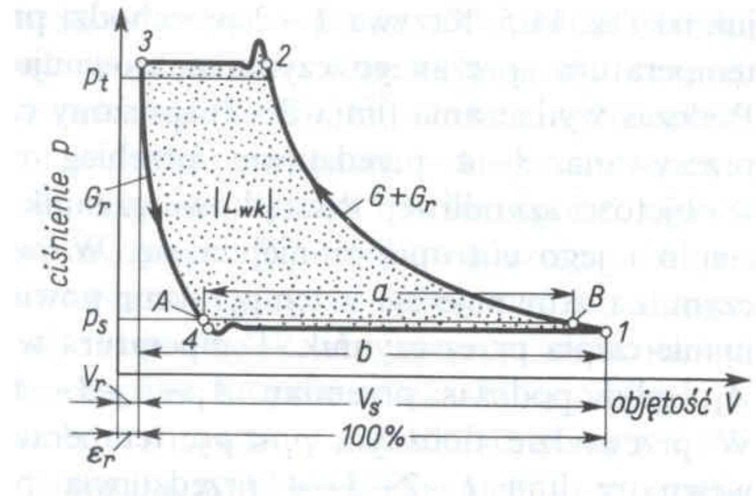
$$|L_t| = \frac{z}{z-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{z-1}{z}} - 1 \right] \qquad [J] \qquad (1.9)$$

- dla kompresji izentropowej

$$|L_t| = \frac{\kappa}{\kappa-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \qquad [J] \qquad (1.10)$$

Sprawność wewnętrzna sprężarki

$$\eta_i = \frac{|L_t|}{|L_i|} \qquad (1.11)$$



Rys. 3. Wykres indykatorowy sprężarki.

Dla sprężarki rzeczywistej spręż jest równy

$$\pi = \frac{p_t}{p_s} \tag{1.12}$$

Sprawność mechaniczna

$$\eta_m = \frac{|L_i|}{|L_e|} \tag{1.13}$$

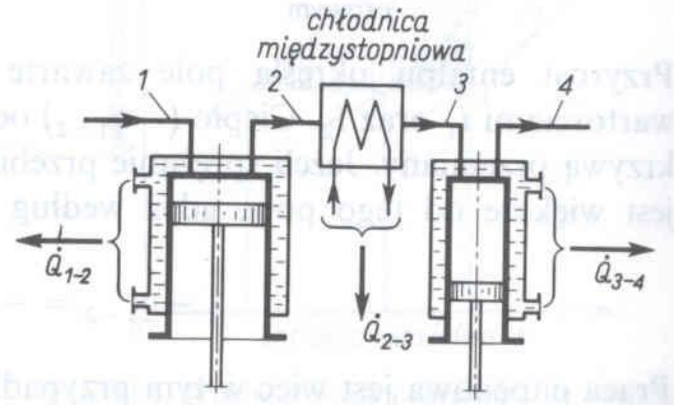
Praca napędowa

$$L_e = \frac{L_i}{\eta_m} = \frac{L_t}{\eta_i \eta_m} = \frac{L_t}{\eta_e} \tag{1.14}$$

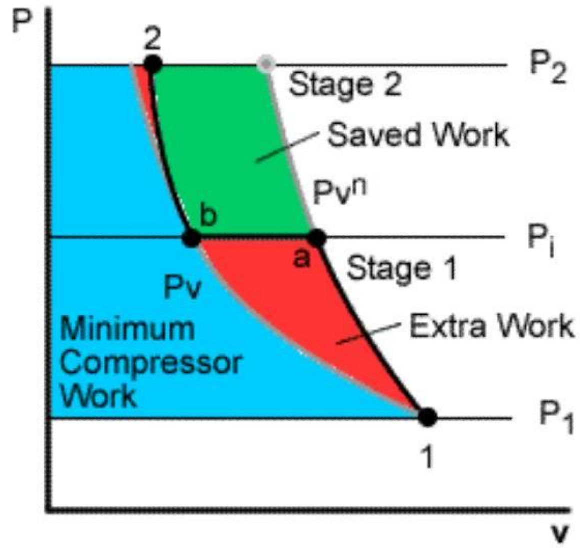
gdzie $\eta_e = \eta_i \eta_m$ jest sprawnością efektywną sprężarki.

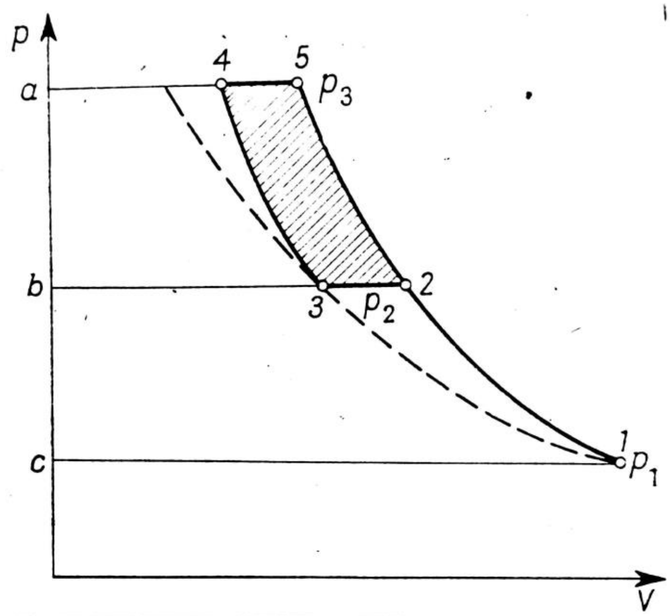
2. Optymalne ciśnienie chłodzenia międzystopniowego w sprężarce dwustopniowej

Chłodzenie międzystopniowe przyczynia się do zmniejszenia pracy kompresji.



Rys. 11.7. Schemat sprężarki dwustopniowej





Przebieg sprężania w sprężarce dwu-
stopniowej

Założenia do analizy

1) sprężanie w obydwu stopniach politropowe, o wykładniku politropy z
2) temperatura końca chłodzenia międzystopniowego równa temperaturze początkowej

Dla określonych ciśnień p_1 oraz p_4 znaleźć ciśnienie międzystopniowe p_2, dla którego praca kompresji w sprężarce, $L_{t1\text{-}4}$, jest najmniejsza.

$$\left|L_{t1-4}\right| = \left|L_{t1-2}\right| + \left|L_{t3-4}\right|$$

$$= \frac{z}{z-1} mRT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{z-1}{z}} - 1\right] + \frac{z}{z-1} mRT_1 \left[\left(\frac{p_4}{p_2}\right)^{\frac{z-1}{z}} - 1\right] \tag{2.1}$$

$$= \frac{z}{z-1} mRT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{z-1}{z}} + \left(\frac{p_4}{p_2}\right)^{\frac{z-1}{z}} - 2\right]$$

Praca (2.1) jest najmniejsza, gdy osiąga minimum wyrażenie

$$y = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^n + \left(\frac{p_4}{p_2}\right)^n \tag{2.2}$$

gdzie $n = \frac{z-1}{z}$. Warunek na minimum funkcji (2.2) ma postać

$$\frac{dy}{dp_2} = \frac{np_2^{n-1}}{p_1^n} - \frac{np_4^n}{p_2^{n+1}} = 0 \tag{2.3}$$

Z równania (2.3) otrzymujemy

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_2} = \pi_{opt} \tag{2.4}$$

Ciśnienie międzystopniowe powinno mieć taką wartość, aby spręże w obydwu stopniach sprężarki były jednakowe. W takim przypadku także prace sprężania stopni są sobie równe, czyli $|L_{t1-2}| = |L_{t3-4}|$.

$$\pi_1 = \frac{p_2}{p_1} \tag{2.5}$$

$$\pi_2 = \frac{p_4}{p_2} \tag{2.6}$$

$$\pi_1 = \pi_2 \tag{2.7}$$

Z równania (2.4) otrzymujemy

$$\boxed{p_2 = \sqrt{p_1 p_4}} \tag{2.8}$$

Po podstawieniu (2.8) do lewej strony równania (2.4) dostajemy

$$\frac{p_4}{\sqrt{p_1 p_4}} = \pi_{opt} \tag{2.9}$$

$$\frac{p_4}{p_1} = \pi_{opt}{}^2 \tag{2.10}$$

$$\pi_{opt} = \sqrt{\pi_c} \tag{2.11}$$

gdzie

$$\pi_c = \frac{p_4}{p_1} \tag{2.12}$$

Dla liczby stopni *n* równanie (2.9) przyjmuje postać

$$\pi_{opt} = \sqrt[n]{\pi_c} \tag{2.13}$$