



Nr ćw.	TERMODYNAMIKA TECHNICZNA - LABORATORIUM
3	Badanie wydajności sprężarki tłokowej

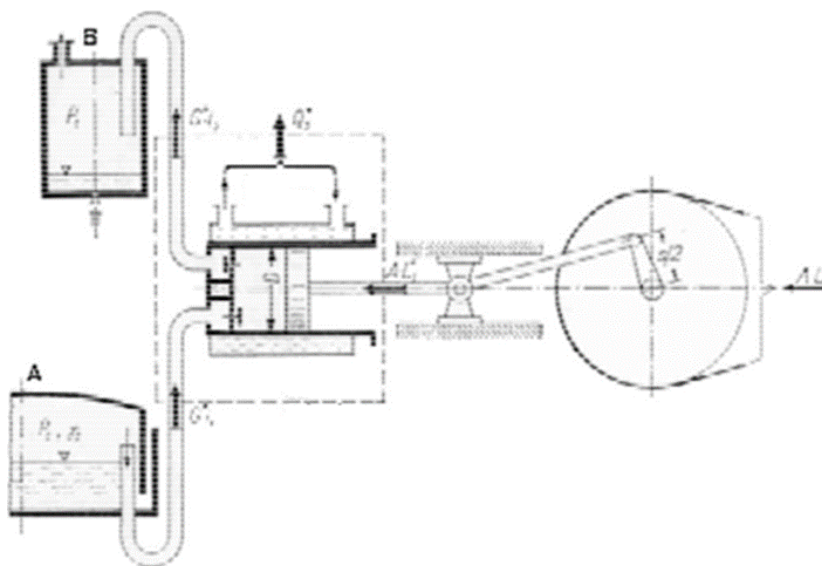
1. Wprowadzenie teoretyczne

Sprężarka jest podstawowym przykładem otwartego układu termodynamicznego.

Jej zadaniem jest między innymi podwyższenie ciśnienia gazu w celu:

- uzyskanie czynnika napędowego do urządzeń o napędzie pneumatycznym,
- podwyższenie temperatury czynnika obiegowego w ziębiarkach i pompach ciepła,
- zwiększenie gęstości dla ułatwienia transportu.

Sprężarka tłokowa



Rys. 1. Schemat sprężarki tłokowej

Przestrzeń szkodliwa V_{sz}

Ze względów konstrukcyjnych oraz ze względu na bezpieczeństwo tłok sprężarki w lewym martwym punkcie (rys. 1) nie dochodzi do główicy cylindra, w której znajdują się zawory. Przestrzeń cylindra V_{sz} zawarta pomiędzy główicą a tłokiem w lewym skrajnym położeniu nosi nazwę przestrzeni szkodliwej. Termin ten sugeruje, że sprężarka z przestrzenią szkodliwą ma mniejszą wydajność od sprężarki, dla której $V_{sz} = 0$ przy tej samej częstotliwości obrotów i objętości skokowej V_s .

Przyczyna obniżenia wydajności jest następująca: po zakończeniu wytłaczania w objętości V_{sz} pozostaje pewna ilość czynnika o ciśnieniu $p_t > p_s$ (p_s , p_t – ciśnienia odpowiednio ssania i tłoczenia), przy wstecznym ruchu tłoka nie będzie zasysania świeżej porcji czynnika zanim ciśnienie nie spadnie do $p \leq p_s$ dopiero wtedy może otworzyć się automatyczny zawór ssący.

W rezultacie tylko część skoku tłoka jest wykorzystana do napełniania.

Pozytywne wykorzystanie przestrzeni szkodliwej

Opisany wcześniej efekt może być użyty do regulacji wydajności sprężarki tłokowej napędzanej silnikiem elektrycznym o niezmiennej prędkości obrotowej.

Sprężarka wzorcowa

Założenia dla sprężarki wzorcowej

Jest to sprężarka, w której:

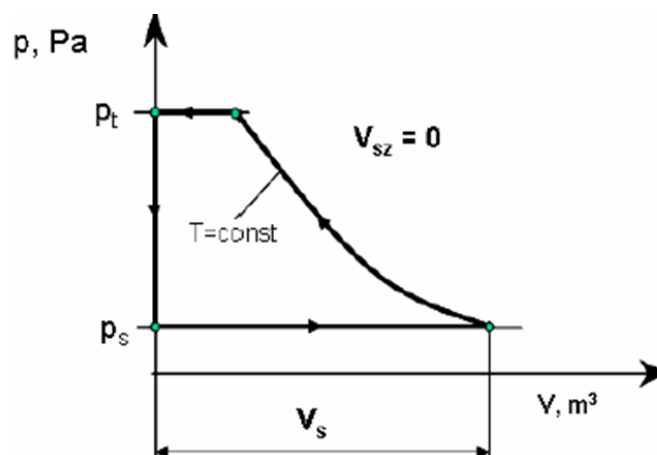
- nie ma tarcia w parze tłok cylinder,
- zawory nie tworzą tzw. miejscowego oporu hydraulicznego przy przepływie czynnika,
- sprężanie czynnika ma charakter politropowy tzn. odbywa się według równania:

$$pv^w = \text{idem} \quad (1)$$

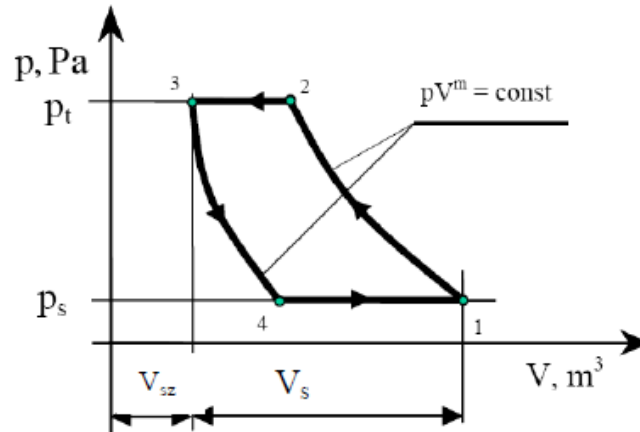
Jeżeli dodatkowo $V_{sz} = 0$ i sprężanie jest izotermiczne lub adiabatyczne to wzorzec jest tzw. sprężarką idealną. W przypadku sprężania politropowego i $V_{sz} > 0$ mówi się o sprężarce półidealnej. Wzorce (modele) służą do oceny termodynamicznej stopnia doskonałości rzeczywistych sprężarek tłokowych.

Wykres indykatorowy

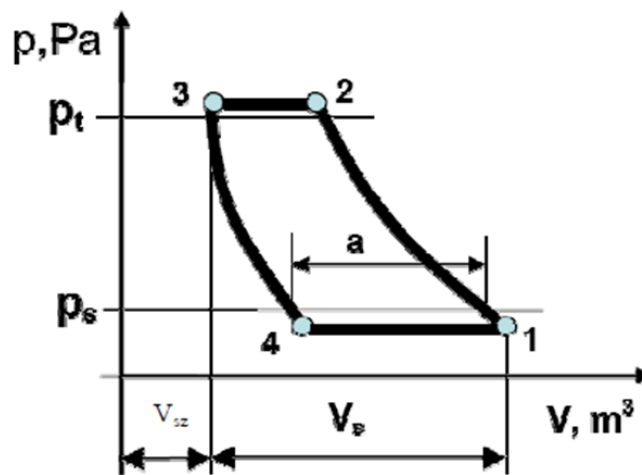
Wykres indykatorowy to graficzne przedstawienie przebiegu ciśnienia gazu w cylindrze sprężarki w zależności od położenia tłoka lub chwilowej wartości całkowitej objętości gazu. Wykres taki dla sprężarki idealnej przedstawiono na rys. 2, dla półidealnej (nazywanej również wzorcową) – na rys. 3, a dla rzeczywistej – na rys. 4.



Rys. 2. Wykres indykatorowy sprężarki idealnej: p_t , p_s – ciśnienia tłoczenia i ssania



Rys. 3. Wykres indykatorowy sprężarki półidealnej



Rys.4. Wykres indykatorowy sprężarki rzeczywistej

Sprawność wolumetryczna

Zmniejszenie wydajności sprężarki wywołane przestrzenią szkodliwą ujmuje się za pomocą wskaźnika zwanego sprawnością wolumetryczną η_v . Dla sprężarki idealnej $\eta_v = 1$; dla sprężarki półidealnej: (patrz wykres indykatorowy - rys. 3)

$$\eta_v = \frac{V_1 - V_4}{V_s} \quad (2)$$

Dla sprężarki rzeczywistej:

$$\eta_v = \frac{a}{V_s} \quad (3)$$

„a” należy wyznaczyć korzystając z wykresu uzyskanego doświadczalnie.

Napełnianie zbiornika

Czas napełniania (powietrzem) zbiornika o objętości V_z od ciśnienia otoczenia p_o do ciśnienia p_k zależy od objętości skokowej sprężarki V_s i objętości przestrzeni szkodliwej V_{sz} . Podczas napełniania ciśnienie w zbiorniku zmienia się wraz ze zmianą liczby cykli i_{ki} . Wartość „ i_{ki} ” związana jest z czasem pracy sprężarki „ τ_{ki} ” i jej prędkością obrotową „ n ” (obr/min) wzorem:

$$i_{ki} = \frac{n\tau_{ki}}{60} \quad (4)$$

2. Cel doświadczenia

Badanie wydajności sprężarki tłokowej.

3. Opis doświadczenia



Rys. 5. Agregat sprężarkowy jako stanowisko pomiarowe

1. Dla każdej zadanej objętości szkodliwej V_{sz} , począwszy od najmniejszej (konstrukcyjnej) należy:
 - wyrównać ciśnienie w zbiorniku z ciśnieniem otoczenia p_o ,
 - włączyć sprężarkę i uruchomić jednocześnie pomiar czasu,
 - rejestrować czasy τ_{ki} osiągnięcia charakterystycznych wartości nadciśnień: Δp_{ki} (co 0,05 MPa do 0,2 MPa) powietrza w zbiorniku.

Wyniki zamieścić w tabeli.

2. Wyznaczenie zależności średniej wydajności (\dot{m}_{sr}) sprężarki w funkcji objętości szkodliwej – opracowanie wyników.
3. Obliczyć ilość Δm_i powietrza zgromadzonego w zbiorniku po osiągnięciu ciśnienia p_{ki} ze wzorów:

$$p_{ki} = p_o + \Delta p_{ki} \quad (5)$$

$$p_{ki} V_z = m_{ki} R T_o \quad (6)$$

$$p_o V_z = m_o R T_o \quad (7)$$

$$\Delta m_i = m_{ki} - m_o \quad (8)$$

4. Obliczyć \dot{m}_{sr} dla każdego punktu pomiarowego:

$$\dot{m}_{sr} = \frac{\Delta m_i}{\tau_{ki}} \quad (9)$$

- wyniki przeliczeń zamieścić w tabeli oraz przedstawić w układzie współrzędnych (V_{sz} , \dot{m}_{sr}), wyznaczonych doświadczalnie funkcji $\dot{m}_{sr} = f(V_{sz})$ (cztery przebiegi – dla $p_{ki} = 0,05$ MPa; 0,10 MPa; 0,15 MPa i 0,20 MPa.)
- sformułować wniosek dotyczący wpływu objętości szkodliwej i ciśnienia końcowego sprężania na wydajność sprężarki.

Koordynator kursu	dr inż. Aleksander Górniak	aleksander.gorniak@pwr.edu.pl
Data aktualizacji instrukcji	28.02.2025	

Ćw. 3. Badanie wydajności sprężarki tłokowej

$p_0 = \dots\dots\dots$ hPa $t_0 = \dots\dots$ °C $T_0 = \dots\dots\dots$ K $\varphi = \dots\dots\dots\%$				
$V_s = 107 \text{ cm}^3$ $V_z = 100\,000 \text{ cm}^3$ $n = 1200 \text{ obr/min}$				
$V_{sz1} = 30 \text{ cm}^3$				
Δp_{ki} , MPa	0,05	0,10	0,15	0,20
τ_{ki} , s				
i_{ki}				
p_{ki} , MPa				
$\dot{m}_{sr\ i}$, kg/s				
$V_{sz2} = 60 \text{ cm}^3$				
Δp_{ki} , MPa	0,05	0,10	0,15	0,20
τ_{ki} , s				
i_{ki}				
p_{ki} , MPa				
$\dot{m}_{sr\ i}$, kg/s				
$V_{sz3} = 90 \text{ cm}^3$				
Δp_{ki} , MPa	0,05	0,10	0,15	0,20
τ_{ki} , s				
i_{ki}				
p_{ki} , MPa				
$\dot{m}_{sr\ i}$, kg/s				