

# TERMODYNAMIKA TECHNICZNA – LABORATORIUM

## Ćwiczenie nr 3

### 3.1. TEMAT I CEL

Badanie wydajności sprężarki tłokowej

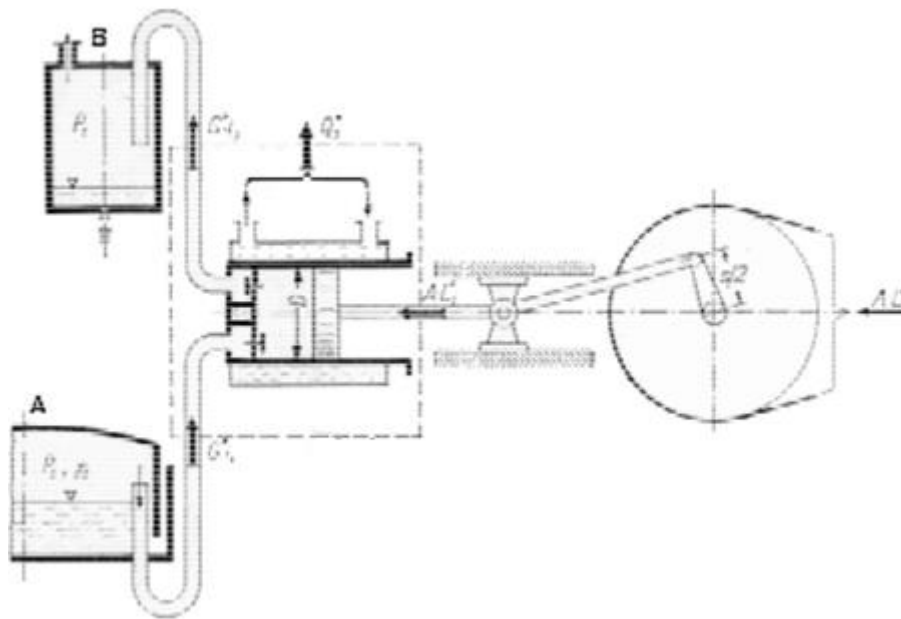
### 3.2. WPROWADZNI

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.

#### 3.2.1. Sprężarka tłokowa



Rys. 1. Schemat sprężarki tłokowej

#### 3.2.2. Przestrzeń szkodliwa $V_{sz}$ :

Ze względów konstrukcyjnych oraz ze względu na bezpieczeństwo tłok sprężarki w lewym martwym punkcie (rys. 1) nie dochodzi do głowicy cylindra, w której znajdują się zawory. Przestrzeń cylindra  $V_{sz}$  zawarta pomiędzy głowicą 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.

### 3.2.3. Pozytywne wykorzystanie przestrzeni szkodliwej

Opisany w p. 3.2.2 efekt może być (i jest) użyty do regulacji wydajności sprężarki tłokowej napędzanej silnikiem elektrycznym o nieziennej prędkości obrotowej.

### 3.2.4. Sprężarka wzorcowa

Założenia dla sprężarki wzorcowej

Jest to sprężarka, w której:

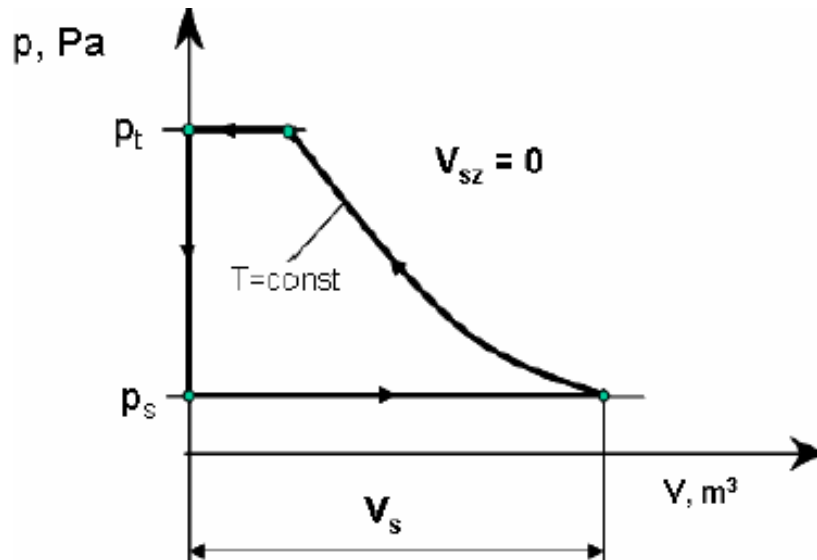
- nie ma tarcia w parze tłok cylinder,
- zawory nie tworzą tzw. miejscowego oporu hydraulicznego przy przepływie czynnika,
- sprężanie czynnika ma charakter politropowy tzn. odbywa się według równania:

$$pv^w = idem \quad (1)$$

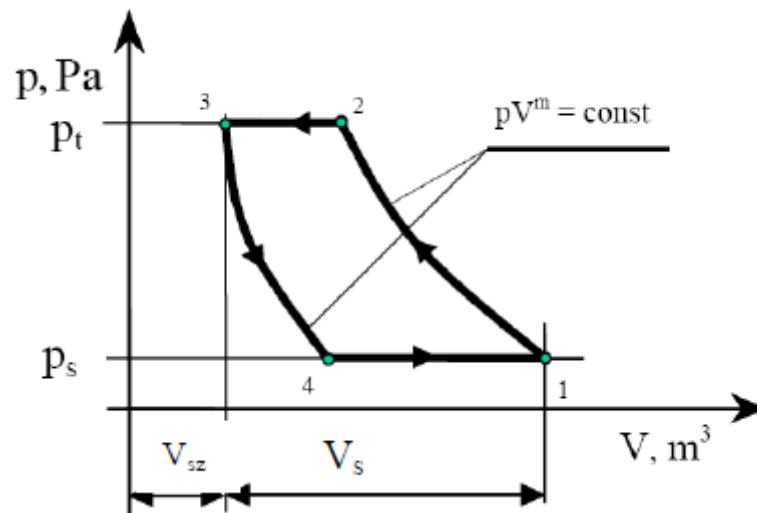
Jeżeli dodatkowo  $V_{sz} = 0$  i sprężanie jest izotermiczne lub adiabatyczne to wzorec jest tzw. sprężarką idealną. W przypadku sprężania politropowego i  $V_{sz} > 0$  mówi się o sprężarce półidealnej. Wzorce (modele) służą do oceny termodynamicznej stopnia doskonałości rzeczywistych sprężarek tłokowych.

### Wykres indykatorowy

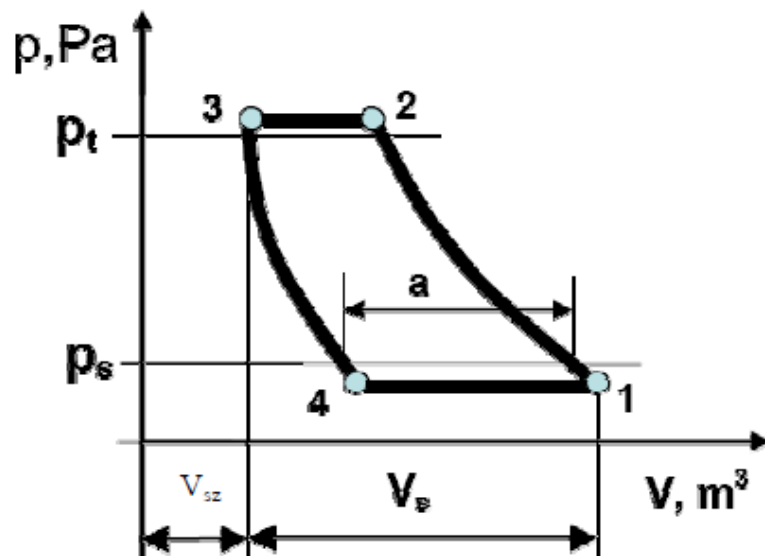
Wykres indykatorowy to graficzne przedstawienie przebiegu ciśnienia gazu w cylindrze sprężarki w zależności od położenia tłoka lub chwilowej wartości całkowitej objętości gazu. Wykres taki dla sprężarki idealnej przedstawiono na rys. 2, dla półidealnej (nazywanej również wzorcową) – na rys. 3 a dla rzeczywistej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

### 3.2.5. 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 „ $\tau_{ki}$ ” i jej prędkością obrotową „ $n$ ” (obr/min) wzorem:

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

### 3.3 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  $\tau_{ki}$  osiągnięcia charakterystycznych wartości nadciśnień:  $\Delta p_{ki}$  (co 0,05 MPa do 0,2 MPa) powietrza w zbiorniku.

Wyniki zamieścić w tabeli.

- Wyznaczenie zależności średniej wydajności ( $\dot{m}_{sr}$ ) sprężarki w funkcji objętości szkodliwej – opracowanie wyników:
- obliczyć ilość  $\Delta m_i$  powietrza zgromadzonego w zbiorniku po osiągnięciu ciśnienia  $p_{ki}$  ze wzorów:

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

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

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

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

2. obliczyć  $\dot{m}_{sr}$  dla każdego punktu pomiarowego:

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

3. 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.)
4. sformułować wniosek dotyczący wpływu objętości szkodliwej i ciśnienia końcowego sprężania na wydajność sprężarki.

### 3.4. BADANIE WYDAJNOŚCI SPREŻARKI TŁOKOWEJ

Data.....

Grupa.....

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