

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI**  
**INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

# **Sprężarka tłokowa**

Laboratorium Pomiarów Maszyn Ciepłych

(PM-2)

Opracował: dr inż. Daniel Węcel  
Sprawdził:  
Zatwierdził: dr hab. inż. Leszek Remiorz

[www.imiue.polsl.pl/~wwwzmiape](http://www.imiue.polsl.pl/~wwwzmiape)

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wielkościami charakteryzującymi pracę sprężarki tłokowej, metodami ich pomiaru oraz zależnościami między nimi (charakterystyki sprężarki).

## 2. Wprowadzenie

### 2.1. Cel badań

Celem badań sprężarki tłokowej może być:

- sporządzenie **bilansu energetycznego**;
- sporządzenie **charakterystyk**.

### 2.2. Wielkości mierzone

W celu uzyskania informacji o danym egzemplarzu sprężarki mierzy się na stanowisku badawczym szereg wielkości charakteryzujących jej pracę:

- **wydajność** (strumień powietrza);
- **temperaturę i ciśnienie powietrza** przed i za każdym stopniem sprężarki;
- **moc indykowaną**;
- **moc elektryczną** (moc napędową sprężarki);
- **ciśnienie międzystopniowe**;
- **strumień wody chłodzącej** w każdym chłodzonym elemencie sprężarki;
- **temperaturę i ciśnienie wody chłodzącej**.

#### 2.2.1. Pomiar wydajności (strumienia powietrza).

Wydajność masowa sprężarki  $q_m$  odpowiada średniemu strumieniowi czynnika w przewodzie tłocznym  $q_{mt}$ . W przypadku sprężarek stosuje się zwykle pojęcie objętościowej wydajności sprężarki  $q_v$ , które odpowiada średniemu strumieniowi objętości czynnika, równoważnemu pod względem masowym strumieniowi  $q_m$ , przy czym parametry czynnika odpowiadają warunkom w króćcu ssawnym  $t_s, p_s, \rho_s$  lub innym umownym warunkom (np.  $t_n, p_n, \rho_n$ ).

Wydajność sprężarki może być określona za pomocą:

- zwężek pomiarowych !!;
- przepływomierzy;
- na podstawie bilansu energetycznego, np. chłodnicy międzystopniowej.

#### 2.2.2. Pomiar temperatury i ciśnienia.

W zależności od potrzeb (do wykonania bilansu lub charakterystyk) możemy zmierzyć temperaturę za pomocą termometrów oraz ciśnienia za pomocą manometrów w następujących miejscach sprężarki:

- przed każdym stopniem;
- za każdym stopniem.

#### 2.2.3. Spręż sprężarki

Spręż określamy jako stosunek ciśnień na tłoczeniu i na ssaniu:

$$\Pi = \frac{p_t}{p_s}$$

gdzie:  $p_t$  – ciśnienie bezwzględne powietrza na wyjściu ze sprężarki (na tłoczeniu);  
 $p_s$  – ciśnienie bezwzględne powietrza na wejściu do sprężarki (na ssaniu).

#### 2.2.4. Moc indykowana

Moc indykowana (wewnętrzna) określa się na podstawie wykresów indykatorowych zdjętych równocześnie z wszystkich cylindrów sprężarki. Pole wykresu indykatorowego przedstawia w pewnej skali pracę jednego obiegu.

$$P_i = pV \cdot n \text{ [W]}$$

gdzie:  $pV$  – pole powierzchni zdjętego wykresu indykatorowego;  
 $pV = W_t$  – praca techniczna jednego cyklu pracy badanego cylindra;  
 $n$  – prędkość obrotowa wału sprężarki.

#### 2.2.5. Moc elektryczna – moc napędowa sprężarki

Moc elektryczną zasilania silnika mierzymy w odpowiedni sposób w zależności od rodzaju silnika napędzającego sprężarkę. Większość sprężarek napędzana jest silnikami elektrycznymi gdzie moc elektryczną mierzymy watomierzami.

Moc napędowa sprężarki jest to moc na wale sprężarki (silnika). Możemy ją wyznaczyć mając charakterystykę silnika elektrycznego (sprawność elektryczną).

$$P_n = \eta_s \cdot P_{el} \text{ [W]}$$

gdzie:  $\eta_s$  – sprawność silnika elektrycznego;  
 $P_{el}$  – zmierzona moc elektryczna.

#### 2.2.6. Ciśnienie międzystopniowe

W przypadku badania sprężarki wielostopniowej mierzymy ciśnienie gazu sprężonego za każdym stopniem sprężania.

#### 2.2.7. Strumień wody chłodzącej w każdym elemencie sprężarki

Do sporządzenia bilansu energetycznego sprężarki musimy określić ilość ciepła odbieraną przez czynnik chłodzący. Czynnikiem chłodzącym w sprężarkach może być woda lub powietrze. W przypadku chłodzenia sprężarek powietrzem bilansu energetycznego praktycznie nie wykonuje się ze względu na trudności z pomiarem parametrów czynnika chłodzącego (strumienia powietrza, jego temperatury i ciśnienia).

Gdy czynnikiem chłodzącym jest woda dość łatwo zainstalować przepływomierz do pomiaru strumienia w każdym istniejącym w sprężarce obiegu chłodzącym. Strumień możemy mierzyć różnymi typami przepływomierzy w zależności od średnicy przewodów i wielkości strumienia.

#### 2.2.8. Temperatura i ciśnienie wody chłodzącej

Temperaturę mierzymy termometrami a ciśnienie manometrami na dopływie i odpływie każdego obiegu chłodzącego sprężarki.

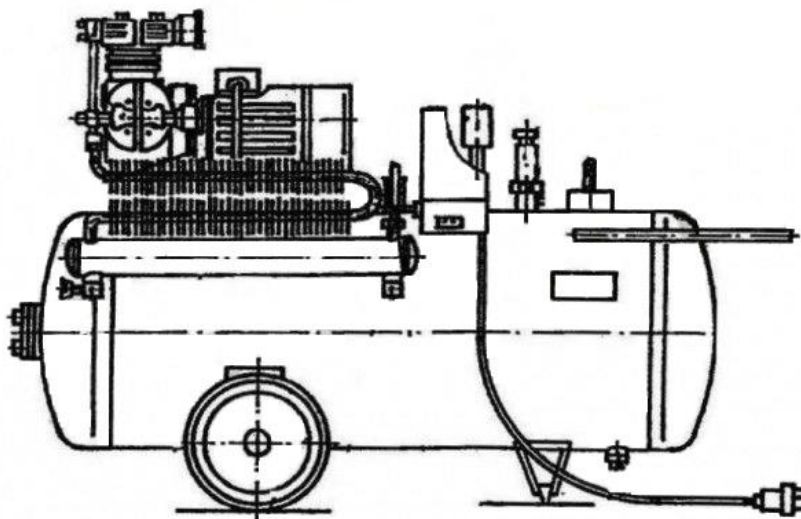
### 3. Badania i pomiary

#### 3.1. Badana sprężarka

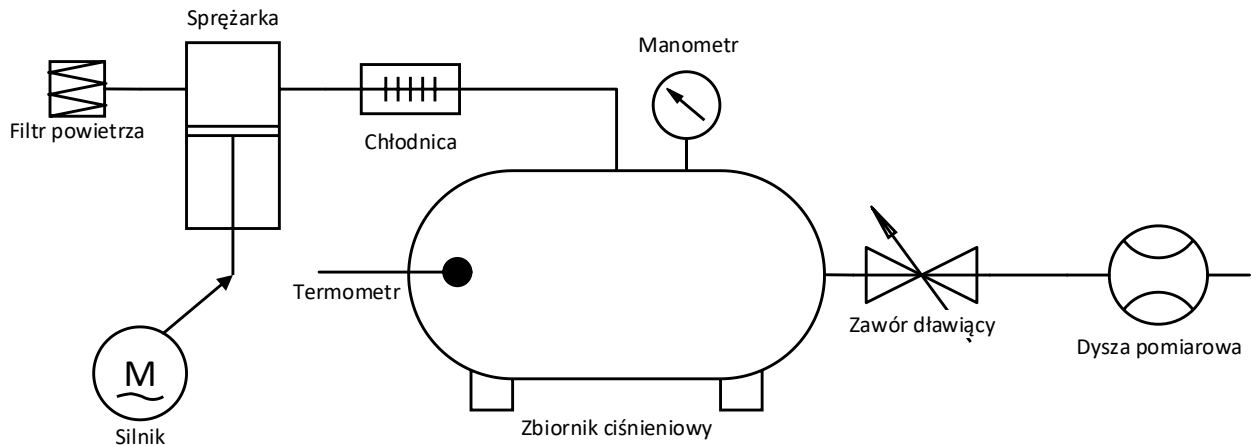
<b>Sprężarka :</b>	typ	3 JW 60; tłokowa, trzycylindrowa, jednostopniowa
	obroty	$n = 1410$ obr/min
	wydajność objętościowa	$q_v = 16$ (26) m <sup>3</sup> /h
	ciśnienie nominalne	$p_{zb} = 6$ atm
	ciśnienie obliczeniowe	$p_{obl} = 10$ atm
	pojemność zbiornika	$V = 180$ l
	producent:	ASPA Wrocław
	rok produkcji	.....

<b>Silnik napędowy:</b>	typ	SZJLe 24b, elektryczny, trójfazowy, asynchroniczny
	moc nominalna	$N_{el} = 2,2$ kW
	obroty	$n = 1410$ obr/min
	napięcie, prąd	380 V; 5,1 A
	współczynnik mocy	$\cos\varphi = 0,8$
	rok produkcji	.....

Na stanowisku zabudowana jest jednostopniowa sprężarka tłokowa 3 JW 60. Jest to sprężarka trzycylindrowa chłodzona powietrzem. Powietrze do sprężarki jest pobierane poprzez filtry zabudowane oddzielnie na każdym cylindrze, a tłoczone jest do zbiornika znajdującego się pod sprężarką.



Rys.1. Sprężarka 3JW60



Rys.2. Schemat stanowiska pomiarowego

### 3.2. Pomiar wielkości do sporządzenia charakterystyk sprężarki

#### 3.2.1. Wydajność (strumień powietrza) $q_{vs}$

Do określenia strumienia powietrza została użyta dysza Venturiego o parametrach  $D = 60$  mm,  $d = 13,8$  mm, która jest zainstalowana na wylocie ze zbiornika (Rys.2).

W celu stłumienia pulsacji przepływającego czynnika sprężarka jest wyposażona w zbiornik o pojemności  $0,18$  m<sup>3</sup>. Wydajność sprężarki jest równa strumieniowi objętości mierzonemu za pomocą zwężki, wtedy gdy ciśnienie w zbiorniku będzie stałe  $p_{tlm} = \text{const}$  ( $p_t = p_{tl}$ ) i nie występują zmiany spadku ciśnienia na zwężce !!! Osiągnięcie takiego stanu może trwać nawet 10 min. Spadek ciśnienia na zwężce Venturiego  $\Delta p_v$  jest mierzone za pomocą przetwornikiem różnicy ciśnień. Korzystając z wytycznych zawartych w normie PN-93/M-53950/01 obliczamy objętościowy strumień powietrza przepływającego przez sprężarkę (wydajność) w odniesieniu do parametrów powietrza na ssaniu sprężarki ( $t_s, p_s, \rho_s$ ).

Strumień powietrza w rurociągu tłocznym:

$$q_{vt} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_t} \cdot \frac{\Delta p_v}{\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Gęstość gazu obliczamy ze wzoru:

$$\rho_t = \rho_n \frac{(p_v - \varphi p_p) T_n}{p_n T_t} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

gdzie:

$p_s$  - ciśnienie bezwzględne na wlocie do zwężki Venturiego (ze względu na zamontowanie zwężki za zaworem dławiącym można przyjąć, że ciśnienie  $p_v$  jest równe ciśnieniu otoczenia  $p_o$ )

$p_s$  - ciśnienie nasyconej pary wodnej w temperaturze  $T_t$

$p_n, T_n, \rho_n$  - parametry powietrza w warunkach normalnych

$\varphi$  - wilgotność względna powietrza

Przeliczenie wydajności na parametry odniesienia (warunki na ssaniu):

$$q_{vs} = q_{vt} \cdot \frac{\rho_t}{\rho_s} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

gdzie:

$\rho_s$  - gęstość powietrza na ssaniu

### 3.2.2. Temperatura i ciśnienie ( $t_s, t_t, p_s, p_t$ )

Przyjmuje się, że ciśnienie na ssaniu ( $p_s$ ) odpowiada ciśnieniu otoczenia ( $p_o$ ).

Ciśnienie manometryczne na tłoczeniu ( $p_{t1m}$ ) jest mierzone za pomocą manometru sprężystego z rurką Burdona. Ciśnienie bezwzględne na tłoczeniu obliczamy ze wzoru:

$$p_t = p_o + p_{t1m} \text{ [Pa]}$$

Przyjmuje się, że temperatura na ssaniu ( $t_s$ ) odpowiada temperaturze otoczenia ( $t_o$ ).

Pomiar temperatury na tłoczeniu sprężarki ( $t_t$ ) dokonujemy za pomocą termometru rezystancyjnego Pt100 zainstalowanego w zbiorniku.

### 3.2.3. Spręż ( $\Pi$ )

$$\Pi = \frac{p_t}{p_s}$$

### 3.2.4. Przyrost ciśnienia całkowitego ( $\Delta p_c$ )

$$\Delta p_c = p_t - p_s$$

### 3.2.5. Moc elektryczna ( $P_{el}$ )

Pomiar mocy elektrycznej wykonywany jest za pomocą watomierza cęgowego, który mierzy moc czynną na jednej fazie  $P_{1f}$ . Obliczenie mocy elektrycznej silnika:

$$P_{el} = 3 \cdot P_{1f} \text{ [W]}$$

### 3.2.6. Prędkość obrotowa wału silnika $n$

Prędkość obrotowa mierzy się za pomocą obrotomierza optycznego, przystawiając go do osłony wentylatora silnika elektrycznego.

## 4. Przebieg pomiarów

- Uruchomić sprężarkę.
- Zamknąć zawór na wylocie ze zbiornika Z i zmierzyć czas napełniania zbiornika do wartości ciśnienia  $p_t$ , przy którym nastąpi samoczynne wyłączenie sprężarki za pomocą presostatu. Zanotować wartość ciśnienia przy którym nastąpi wyłączeniu i ponowne załączenie sprężarki.
- Przy pracującej sprężarce ustawić stopień otwarcia zaworu Z w takiej pozycji w, przy której utrzymuje się stałe ciśnienie w zbiorniku i stały wylotowy strumień objętości (czas stabilizacji parametrów może wnieść kilkanaście minut),
- Odczytać mierzone wielkości.
- Zmienić stopień otwarcia zaworu Z, tak żeby uzyskać ciśnienie w zbiorniku o 20% niższe od poprzedniego. Powtórzyć pomiary dla 5 wartości ciśnienia w zbiorniku.

## 5. Opracowanie wyników pomiarów - charakterystyki sprężarki

Wyniki pomiarów i obliczeń można przedstawić w formie wykresów ilustrujących zależności:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad \Pi = f(q_{vs}) \\ 2 \quad P_{el} = f(q_{vs}) \\ 3 \quad \eta_{iz} = f(q_{vs}) \end{array} \right\} n = \text{const}$$

Są to charakterystyki przedstawiające wielkości eksploatacyjne całej sprężarki ( $q_{vs}$ ,  $\Pi$ ,  $P_{el}$ ,  $\eta_i$ ).

Obliczenie powinny być wykonywane przy założeniu sprężania izotermicznego (niemożliwego praktycznie do zrealizowania). W badanej sprężarce temperatura w zbiorniku zwiększa się w niewielkim zakresie w stosunku do temperatury na ssaniu, w związku z czym założenie sprężania izotermicznego jest poprawne.

Dla sprężania izotermicznego moc użyteczną jest wyznaczana ze wzoru:

$$P_{uiz} = q_{vs} \cdot \Delta p_c \text{ [W]}$$

gdzie:  $\Delta p_c = p_t - p_s$

Sprawność sprężania izotermicznego całej sprężarki:

$$\eta_{iz} = \frac{P_{uiz}}{P_{el}}$$

## 6. Sprawozdanie.

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Wstęp teoretyczny dotyczący sprężarek tłokowych
3. Opis badanej sprężarki, schemat stanowiska pomiarowego wraz z zaznaczonymi miejscami pomiaru określonych wielkości.
4. Tabelę wyników pomiarowych i obliczeń oraz wzory używane do obliczeń.
5. Charakterystyki sprężarki tłokowej.
6. Uwagi i wnioski.

## 7. Karta pomiarowa

Tab.1. Wielkości mierzone.

$p_{ot} = \dots\dots\dots$  Pa;  $t_{ot} = \dots\dots\dots$  Pa;  $\varphi = \dots\dots\dots$  %

Lp.	Wielkość mierzona	Jednostka	Stopień otwarcia zaworu Z2					
			I	II	III	IV	V	VI
1.	$p_s$	kG/cm <sup>2</sup>						
2.	$p_t$	kG/cm <sup>2</sup>						
3.	$n$	obr/min						
4.	$t_t$	°C						
5.	$P_{lf}$	kW						
6.	$\Delta p_v$	Pa						
7.	$q_v$	m <sup>3</sup> /h						

Tab.2. Wielkości obliczane.

Lp.	Wielkość obliczana	Jednostka	I	II	III	IV	V	VI
1.	$\Delta p_c$	MPa						
2.	$\Pi$	-						
3.	$q_{vs}$	m <sup>3</sup> /s						
4.	$P_{el}$	kW						
5.	$P_{uiz}$	kW						
6.	$\eta_{iz}$	%						

Do sprawozdania załączyć wykresy zależności:  $\Pi = f(q_{vs})$ ;  $P_{el} = f(q_{vs})$ ;  $\eta_{iz} = f(q_{vs})$ .