

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

Badanie wentylatora

Laboratorium Pomiarów Maszyn Ciepłych

(PM-3)

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

www.imiue.polsl.pl/~wwwzmiape

1. Wprowadzenie

1.1. Wentylatory

Wentylatorami nazywamy przepływowe maszyny robocze, wykorzystywaną do przetłaczania i sprężania różnych gazów. Sprężenie gazu jest niezbędne dla pokonania oporów sieci kanałów, przez które gaz jest przetłaczany. W wentylatorach na skutek obrotu wirnika następuje jednoczesny przyrost ciśnienia statycznego, spowodowany zmianą prędkości względnych przepływającego gazu i różnicą prędkości obwodowych na wlocie i wylocie z wirnika oraz przyrost ciśnienia dynamicznego w wyniku zmian prędkości bezwzględnych gazu w wirniku.

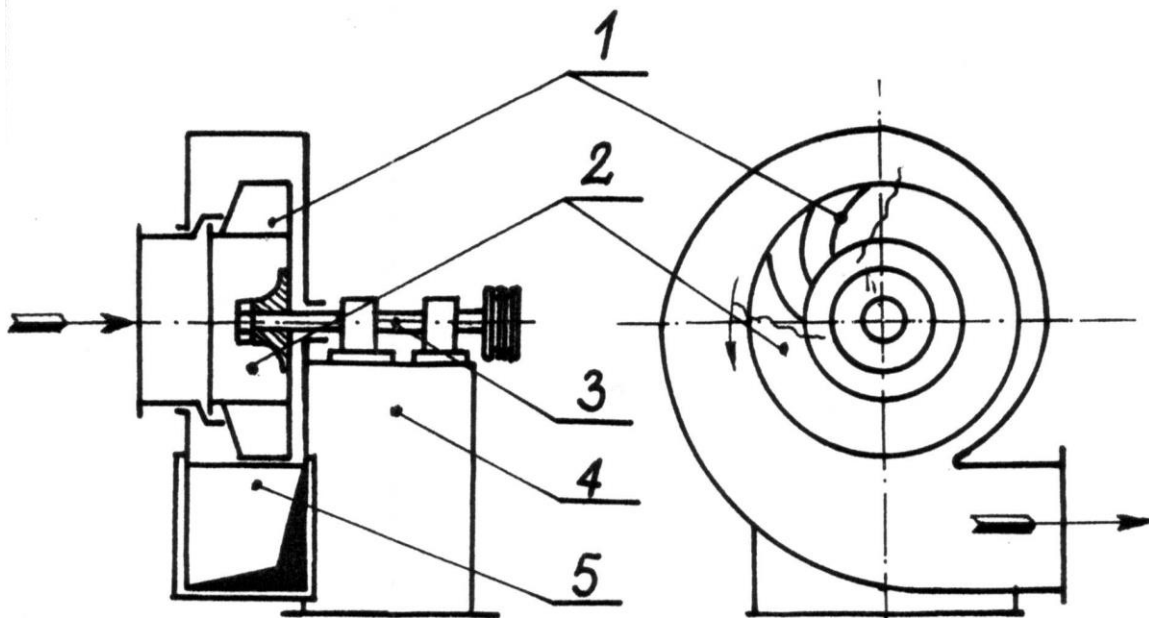
Wentylatory są powszechnie stosowane w instalacjach wentylacji mechanicznej, klimatyzacji, odpylania, w układach transportu pneumatycznego, w urządzeniach chłodniczych, jako urządzenia ciągu i podmuchu sztucznego w energetyce i hutnictwie.

Elementem przekazującym energię czynnikowi przetłaczanemu jest wirnik wentylatora. W zależności od budowy wirnika (kierunku przepływu czynnika przez wirnik) można wentylatory podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- wentylatory odśrodkowe (promieniowe) Rys.1
- wentylatory osiowe
- osiowo-promieniowe (tzw. mieszane). Zasadniczy kierunek przepływu odbywa się pod pewnym kątem ($< \pi/2$) do osi wirnika (**wentylatory diagonalne**).
- poprzeczne.

Z uwagi na wytwarzany całkowity przyrost ciśnienia, można wentylatory podzielić na trzy grupy:

- niskoprężne $\Delta p_c < 1000$ Pa
- średnioprężne $\Delta p_c < 1000 \div 3000$ Pa
- wysokoprężne $\Delta p_c < 3000 \div 10000$ Pa



Rys.1. Schematyczny przekrój poprzeczny i podłużny wentylatora odśrodkowego: 1) łopatki wirnika, 2) wirnik wentylatora, 3) wał, 4) podpora pod łożyska, 5) kanał wylotowy.

W grupie wentylatorów odśrodkowych można rozróżnić trzy rodzaje wentylatorów różniących się budową wirnika:

- z wirnikiem o łopatkach prostych (promieniowych)

- z wirnikiem o łopatkach zgiętych wprzód (w kierunku ruchu silnika)
 - z wirnikiem o łopatkach zgiętych wstecz (przeciwnie do kierunku ruchu wirnika).
- Różnice konstrukcyjne wentylatorów w decydujący sposób wpływają na ich zastosowanie.

1.2. Podstawowe wielkości charakteryzujące pracę wentylatorów

Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi pracę wentylatorów są:

- **natężenie przepływu**: masowe q_m określające masę gazu przepływającego w jednostce czasu (kg/s), lub objętościowe q_v określające objętość czynnika przepływającego w jednostce czasu (m^3/s) przez przekrój wlotowy wentylatora, określone dla warunków normalnych, tj. temperatury $20^\circ C$ i ciśnienia $101325 Pa$;
- **przyrost ciśnienia** (spiętrzenie) Δp lub stosunek ciśnień (spręż) p_2/p_1 , określające różnicę lub stosunek ciśnień panujących w przekroju wlotowym i wylotowym wentylatora. Ciśnienia podaje się w (Pa). Określa się spiętrzenie: statyczne, dynamiczne i całkowite, odnoszące się odpowiednio do ciśnienia statycznego, dynamicznego i całkowitego;
- **moc użyteczna** N_u (W): przyrost użytecznej postaci energii gazu przepływającego przez wentylator w jednostce czasu – określonej iloczynem całkowitej pracy sprężania i strumienia objętości gazu;
- **moc wentylatora** (efektywna) N_{ef} (W): moc przekazana na wał wentylatora;
- **prędkość obrotowa wentylatora** n (obr/min) to liczba obrotów wirnika w ciągu jednostki czasu;
- **sprawność wentylatora** η_w wyrażająca stosunek zapotrzebowanej mocy maszyny w warunkach wyidealizowanych do mocy rzeczywiście pobieranej (stosunek mocy użytecznej do mocy efektywnej).

Sprawność wentylatora η_w zależy głównie od wielkości wentylatora określonej wydatkiem:

- Wentylatory małe q_v $1500 m^3/h$ $\eta_w = 0,3 - 0,5$
- Wentylatory średnie q_v $1500 - 20000 m^3/h$ $\eta_w = 0,3 - 0,7$
- Wentylatory duże $q_v \geq 20000 m^3/h$ $\eta_w = 0,65 - 0,83$

1.3. Wskaźniki bezwymiarowe

W celu porównania różnych wentylatorów bardzo często sprowadza się ich wielkości charakterystyczne do wspólnego odniesienia, wyrażając je w postaci bezwymiarowych wskaźników.

- **wskaźnik strumienia objętości** (wskaźnik wydajności objętościowej) φ^* - stosunek strumienia objętości do iloczynu powierzchni koła o średnicy odniesienia i prędkości odniesienia (prędkość obwodowa koła wirnikowego) wyrażony wzorem:

$$\varphi^* = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} D_z^2 \cdot u_z}$$

- **wskaźnik spiętrzenia** (wskaźnik ciśnienia całkowitego) ψ - iloraz spiętrzenia całkowitego i ciśnienia dynamicznego czynnika przepływającego z prędkością odniesienia:

$$\psi = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho \cdot u_z^2}$$

- **wskaźnik mocy** λ - iloraz iloczynu wskaźnika strumienia objętości gazu φ^* i wskaźnika spiętrzenia ψ do sprawności wentylatora η :

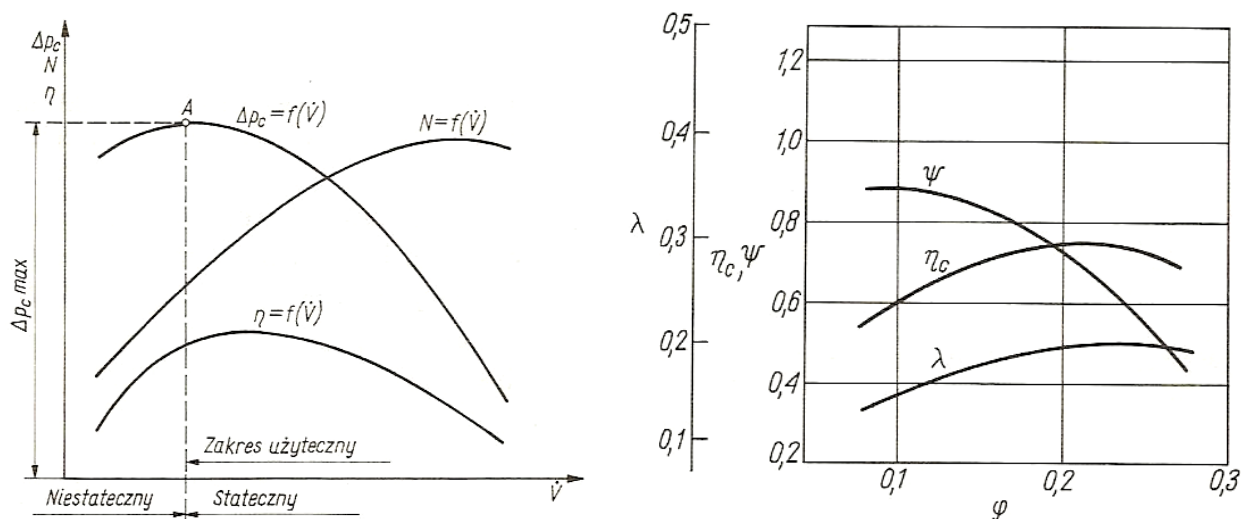
$$\lambda = \frac{\varphi^* \cdot \psi}{\eta}$$

1.4. Rodzaje charakterystyk wentylatorów.

Przyrost ciśnienia, sprawność i moc pobierana przez wentylator przy stałych obrotach zmienia się wraz z jego wydajnością. Zależność przyrostu ciśnienia, zużycia mocy oraz sprawności od wydajności objętościowej lub masowej przy niezmiennych prędkości obrotowej i niezmiennych parametrach termodynamicznych nazywamy pełną charakterystyką wentylatora.

Pełna charakterystyka wentylatora składa się więc z trzech charakterystyk: z charakterystyki podstawowej $\Delta p_c = f(q_v)$, zwanej krzywą charakterystyczną, charakterystyki sprawności $\eta_w = f(q_v)$ oraz charakterystyki mocy $N_{ef} = f(q_v)$. Charakterystyki te można wyznaczyć na drodze doświadczalnej lub analitycznej. Doświadczalnie wyznacza się charakterystyki wentylatorów, mierząc ich wydajność q_v , przyrost ciśnienia Δp oraz przeliczając sprawność η przy różnych położeniach przepustnicy wbudowanej w przewód tłoczny.

Charakterystyka aerodynamiczna wentylatora dzieli się na dwa zakresy pracy: stateczny i niestateczny (pkt A na rys. 1). Użyteczny zakres pracy jest stateczny, gdy wraz ze zmniejszeniem się strumienia objętości gazu wzrasta jego spiętrzenie. Zakres pracy od strumienia objętości $q_v = 0$ do odpowiadającej maksymalnemu spiętrzeniu $\Delta p_{c \max}$ nazywa się niestatecznym. Praca wentylatora w tym zakresie nie jest wskazana, ze względu na niską sprawność, skłonność do powstawania pulsacji przepływającego czynnika, oraz możliwości wystąpienia silnych drgań elementów wentylatora zagrażających ich wytrzymałości.



Rys.1. Przykładowe charakterystyki aerodynamiczne wentylatora

1.5. Metody regulacji wydajności wentylatorów.

Dla zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu technologicznego, w który włączony jest wentylator, wymaga się, by ciśnienie końcowe sprężenia lub wydajność były stałe lub zmieniały się w ograniczonych przedziałach przy zmiennych wartościach pozostałych parametrów. W zależności od potrzeb odbiorców sprężonego gazu wyróżnia się dwa zasadnicze zadania, które winna wypełniać regulacja:

- utrzymanie stałego ciśnienia końcowego przy zmiennej wydajności,
- utrzymanie stałej wydajności przy zmieniających się oporach w sieci.

Wymienione zadania mogą być realizowane przy zastosowaniu szeregu sposobów regulacji:

- 1) zmiana liczby obrotów silnika napędowego,
- 2) zmiana kątów ustawienia łopatek roboczych kół wirnikowych,
- 3) zmiana kątów ustawienia łopatek kierowniczych,
- 4) dławienie czynnika po stronie ssania,
- 5) dławienie czynnika po stronie tłoczenia,
- 6) wydmuch gazu do atmosfery lub recyrkulacja nadmiaru gazu do króćca ssawnego.

2. Cel i zakres badania.

Celem badania jest zapoznanie się z metodą pomiaru charakterystyk wentylatora oraz wyznaczenie, przy stałej prędkości obrotowej wirnika, charakterystyk wentylatora określających spiętrzenie Δp_c , moc efektywną N_{ef} i sprawność η_w w funkcji jego wydatku q_v .

3. Przedmiot badania.

Wentylator :	typ	WP 20/0,75 LO; promieniowy, niskoprężny
	obroty	$n = 2880$ obr/min
	wydajność objętościowa	$q_v = 0,55$ m ³ /s
	spiętrzenie statyczne	$\Delta p = 180$ kG/m ²
	sprawność	$\eta_w = 0,83$
	producent:	Malborska Fabryka Wentylatorów
	rok produkcji	1975
Silnik napędowy:	typ	SZJe 22b, elektryczny, trójfazowy, asynchroniczny
	moc nominalna	$N_{el} = 2,2$ kW
	sprawność silnika	$\eta_s = 0,81$
	obroty	$n = 2870$ 1/min
	napięcie, prąd	380 V; 4,8 A
	współczynnik mocy	$\cos\varphi = 0,85$
	rok produkcji	12/74

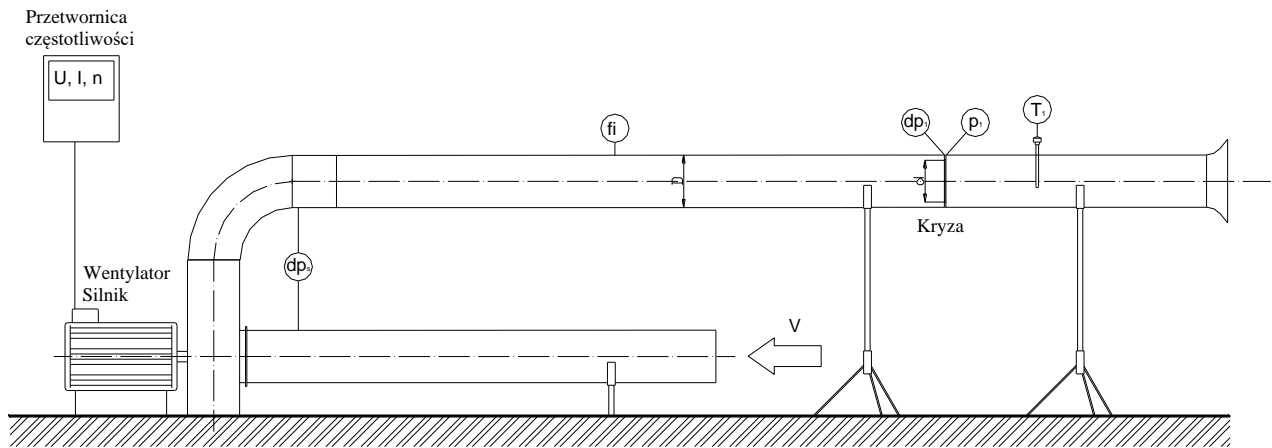
Pomiary dokonano na stanowisku pomiarowym wyposażonym w wentylator wraz z rurociągiem o średnicy $D_1 = 200$ mm. Rurociąg posiada wbudowaną kryzę pomiarową (średnica otworu $d = 160$ mm) oraz przepustnicę do dławienia przepływu. Wentylator promieniowy napędzany jest silnikiem trójfazowym. Zasilanie silnika jest realizowane poprzez przemiennik częstotliwości, służący do płynnej regulacji obrotów (poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego) dzięki czemu można regulować wydajność wentylatora. Moc elektryczna silnika jest wyznaczana na podstawie pomiaru napięcia i natężenia prądu.

Należy wykonać 6 kolejnych pomiarów dla różnego stopnia przesłonięcia kanału tłoczącego przepustnicą, mierząc następujące wielkości:

- przyrost ciśnienia na wentylatorze Δp_s ,
- ciśnienie absolutne w rurociągu p_1 ,
- ciśnienie różnicowe na kryzie Δp_1 ,
- temperaturę w rurociągu t_1 ,
- obroty silnika n ,
- natężenie prądu I_{cz} (czynne),
- napięcie U ,
- wilgotność powietrza φ ,

Pomierzone wielkości zapisać na karcie pomiarowej.

4. Schemat instalacji badawczej



Rys.2. Schemat stanowiska do badania wentylatora

5. Algorytm obliczeń:

Gęstość powietrza w rurociągu

$$\rho_1 = \rho_n \frac{(p_1 - \varphi \cdot p_p) \cdot T_n}{p_n \cdot T_1} + \varphi \cdot \rho'' \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$T_n = 273,15 \text{ K}$$

$$P_n = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho_n = 1,292923 \text{ kg/m}^3$$

Ciśnienie pary wodnej nasyconej p_p (kPa) w temperaturze T_1 , PN-93/M-53950

$$\lg p_p = 7,345 - \frac{1809,85}{T_1 - 33,72}$$

Gęstość pary wodnej nasyconej ρ'' (kg/m³) w temperaturze T_1

$$\lg \rho'' = 4,723 - \frac{1652,67}{T_1 - 38,32}$$

Wydajność

$$q_v = \alpha \cdot \varepsilon_1 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_1}{\rho_1}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\alpha = \frac{C_1}{\sqrt{(1 - \beta_1^4)}} \approx 0,78$$

$$\beta_1 = \frac{d}{D_1} = 0,8$$

$$C_1 = 0,5959 + 0,0312 \beta_1^{2,1} - 0,1840 \beta_1^8 + 0,0029 \beta_1^{2,5} \cdot \left[\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right]^{0,75} \approx 0,59$$

$$\text{Re}_D = \frac{w_1 \cdot D_1}{\nu}$$

$$\varepsilon_1 = 1 - (0,41 + 0,35 \beta_1^4) \frac{\Delta p_1}{\chi \cdot p_1} \approx 0,99$$

$$d = 0,16 \text{ m}, \nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (przy } t = 20 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Całkowity przyrost ciśnienia

$$\Delta p_c = \Delta p_s + \left(\frac{1}{2} \rho_1 \cdot w_1^2 - \frac{1}{2} \rho_s \cdot w_s^2 \right) \text{ (Pa)}$$

Prędkość w rurociągu tłoczącym

$$w_1 = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot D_1^2} \text{ (m/s)} \quad w_s = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot D_s^2} \text{ (m/s)}$$

$$D_1 = 0,2 \text{ m} \quad D_s = 0,2 \text{ m} \quad - \text{ średnica rurociągu ssącego}$$

Moc użyteczna

$$N_u = q_v \cdot \Delta p_c \text{ (W)}$$

Dla badanego wentylatora spręż jest na tyle mały, że zmiany gęstości gazu można traktować jako pomijalne, i iloraz $\Delta p/p_1$ jest mniejszy od 0.07 dlatego można skorzystać z powyższej zależności.

Moc efektywna na wale wentylatora

$$N_{ef} = N_{el} \cdot \eta_s \text{ (W)}$$

Moc elektryczna pobierana przez silnik

$$N_{el} = \sqrt{3} \cdot I_{cz} \cdot U \text{ (W)}$$

Sprawność silnika elektrycznego $\eta_s = 0.81$

Sprawność wentylatora

$$\eta_w = \frac{N_{u\text{z\u017cyteczn}}}{N_{efektywna}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

Na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń sporządzić charakterystyki wentylatora:

$$\Delta p_c = f(q_v); \quad N_{ef} = f(q_v); \quad \eta_w = f(q_v)$$

6. Sprawozdanie.

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Schemat stanowiska pomiarowego wraz z zaznaczonymi miejscami pomiaru określonych wielkości.
3. Tabelę wyników pomiarowych i obliczeń oraz wzory używane do obliczeń.
4. Charakterystyki wentylatora promieniowego.
5. Uwagi i wnioski.

7. Literatura

1. Praca zbiorowa: *Pomiary cieplne cz.II*, WNT, Warszawa 1993.
2. WITKOWSKI Andrzej: *Sprężarki wirnikowe*, Skrypty uczelniane nr 1539, Gliwice 1990.
3. TULISZKA Edmund: *Sprężarki, dmuchawy i wentylatory*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1969.

8. Karta pomiarowa

A. Wielkości mierzone.

$f = \dots\dots\dots$ Hz; $p_{ot} = \dots\dots\dots$ Pa; $t_{ot} = \dots\dots\dots$ °C

Lp.	Wielkość mierzona	Jednostka	Stopień przysłonięcia kanału						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
1.	p_l	hPa							
2.	U	V							
3.	I_{cz}	A							
4.	t_l	°C							
5.	Δp_l	Pa							
6.	Δp_s	Pa							
7.	φ	% RH							
8.	n	obr/min							

B. Wielkości obliczane.

Lp.	Wielkość obliczana	Jednostka	I	II	III	IV	V	VI	VII
1.	ρ	kg/m ³							
2.	q_v	m ³ /s							
3.	Re								
4.	α								
5.	Δp_c	Pa							
6.	w_l	m/s							
7.	N_u	W							
8.	N_{el}	W							
9.	N_{ef}	W							
10.	η_w	%							

Do sprawozdania załączyć wykresy zależności: $\Delta p_c = f(q_v)$; $N_{ef} = f(q_v)$; $\eta_w = f(q_v)$