



Politechnika Wroclawska

Pomiar wentylatora

Instrukcja do ćwiczenia nr 21

Badanie maszyn - laboratorium

Opracował: dr inż. Wojciech Zacharczuk

1. Wstęp

Wentylatorami nazywamy przepływowe maszyny robocze, o maksymalnym sprężu 1.3, których zadaniem jest przetłaczanie gazów. 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.

W energetyce, obok pomp, wentylatory stanowią podstawowe urządzenia pomocnicze elektrowni ciepłych gdzie znajdują szerokie zastosowanie jako wentylatory podmuchowe, wyciągowe, młynowe a także do chłodzenia transformatorów oraz jako urządzenia wentylacyjne.

Podział wentylatorów rozróżnia wiele ich rodzajów. I tak ze względu na przyrost ciśnienia statycznego (spiętrzenie statyczne) dzieli się ja na:

- Niskoprężne, $\Delta p_s < 720 \text{ Pa}$,
- Średnioprężne, $\Delta p_s = 720 \div 3600 \text{ Pa}$,
- Wysokoprężne, $\Delta p_s > 3600 \text{ Pa}$.

Według drogi przepływu czynnika wyróżnia się wentylatory:

- promieniowe,
- osiowe,
- osiowo-promieniowe (tzw. mieszane),
- poprzeczne.

Inny podział wentylatorów, według PN-92/M-43011, uwzględnia sposób ich zainstalowania, warunki pracy, sposób napędu czy regulacji.

2. Cel pomiaru

Celem pomiaru jest wyznaczenie wielkości charakteryzujących pracę wentylatora:

q_v – wydajność objętościowa wentylatora, m^3/s ,

Δp_s – spiętrzenie statyczne wentylatora, Pa,

Δp_c – spiętrzenie całkowite wentylatora, Pa,

P – moc doprowadzona (na wale wentylatora), W,

P_u – moc użyteczna wentylatora, W,

η_c – sprawność całkowita (ogólna) wentylatora, %,

oraz sporządzenie jej krzywych charakterystycznych (charakterystyk):

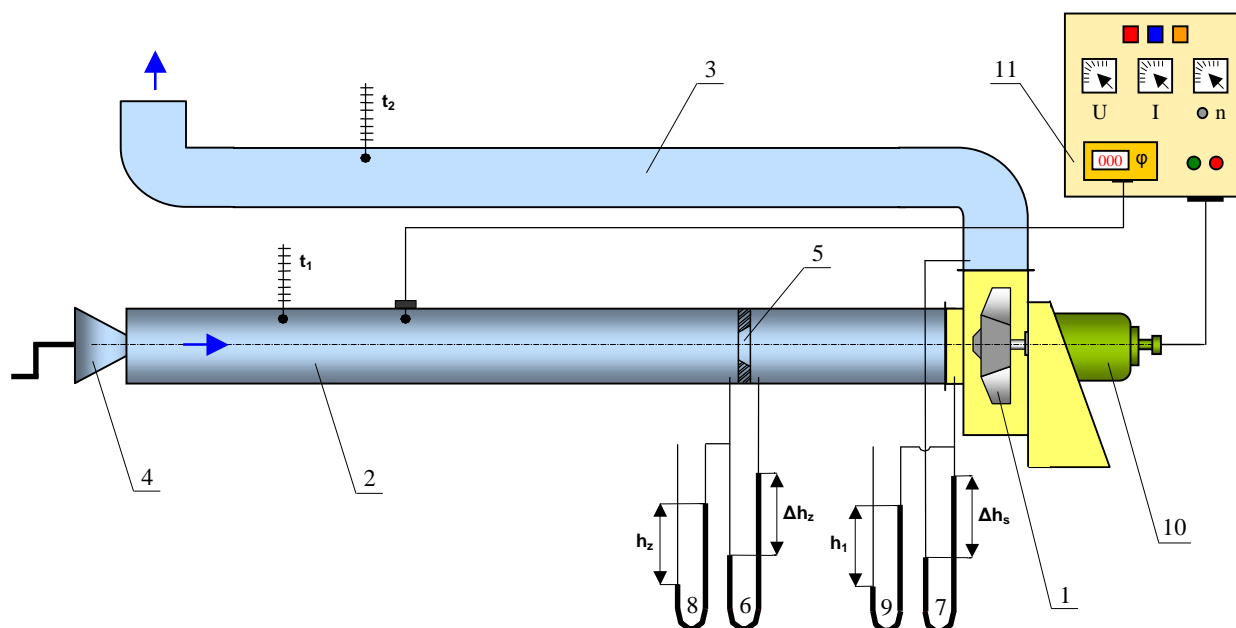
$\Delta p_c = f(q_v)$ – charakterystyka przepływu,

$P = f(q_v)$ – charakterystyka mocy,

$\eta_c = f(q_v)$ – charakterystyka sprawności.

3. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe (rys. 1) składa się z wentylatora (1), układu rurociągów: ssawnego (2) i tłocznego (3) oraz armatury i przyrządów pomiarowych. Wentylator napędzany jest silnikiem prądu stałego (10) typu szeregowo-bocznikowego, z płynną regulacją obrotów przy użyciu sterownika tyrystorowego (11). Całość tworzy układ obiegowy otwarty, umożliwiający przepływ powietrza w przypadku pracy wentylatora.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

1 – wentylator, 2 – rurociąg ssawny, 3 – rurociąg tłoczny, 4 – przysłona stożkowa, 5 – kryża pomiarowa, 6 – manometr różnicowy do pomiaru wysokości spadku ciśnienia statycznego na kryży, 7 – manometr różnicowy do pomiaru wysokości przyrostu ciśnienia statycznego na wentylatorze, 8 – manometr hydrostatyczny do pomiaru wysokości podciśnienia w miejscu pomiaru wydajności, 9 – manometr hydrostatyczny do pomiaru wysokości podciśnienia na wlocie do wentylatora, 10 – silnik elektryczny, 11 – sterownik tyrystorowy

Stanowisko wyposażone jest w aparaturę kontrolno-pomiarową umożliwiającą pomiar wszystkich wielkości wchodzących w zakres badań. W celu wyznaczenia strumienia objętości przepływającego powietrza, w rurociągu wlotowy (ssawny) zamontowano kryżę ISA (5), która wraz z podłączonym do niej manometrem różnicowym (6) tworzy zespół przepływomierza zwężkowego. Pomiedzy króćce ssawny i tłoczny wentylatora podłączono drugi z manometrów różnicowych (7) do pomiaru przyrostu ciśnienia statycznego na wentylatorze. Zainstalowane w kanale wlotowym manometry hydrostatyczne (8) i (9) służą do pomiaru wysokości podciśnień odpowiednio w miejscu pomiaru wydajności i na wlocie do wentylatora. Wlot rurociągu ssawnego zaopatrzone dodatkowo w regulowaną przysłonę stożkową (4) umożliwiającą zmianę charakterystyki przewodu. Uzupełnienie aparatury kontrolno-pomiarowej stanowią dwa termometry termoelektryczne do pomiaru temperatury powietrza przed i za wentylatorem.

Na płycie czołowej sterownika tyrystorowego (11) obok urządzeń manipulacyjnych znajduje się wilgotnościomierz, do pomiaru wilgotności powietrza, wskaźnik liczby obrotów oraz woltomierz i amperomierz umożliwiające wyznaczenie mocy pobieranej przez silnik do napędu wentylatora.

4. Metodyka przeprowadzenia pomiarów

Badania przeprowadza się dla kilku różnych ustawień przysłony stożkowej oraz różnych prędkości obrotowych.

Pomiary rozpoczynamy dla pierwszego otwarcia przysłony i prędkości $n = 2800$ obr/min. Po ustaleniu się warunków pracy wentylatora i przepływu powietrza, z przyrządów pomiarowych odczytujemy wartości następujących wielkości: Δh_z , Δh_s , h_z , h_1 , U , I , t_1 , t_2 , φ . Po ich zapisaniu zmniejszamy liczbę obrotów i ponownie dokonujemy odczytu wyżej wymienione wielkości. Procedurę pomiarową powtarzamy co 200 obr/min do osiągnięcia końcowej prędkości $n = 800$ obr/min.

Kolejne serie pomiarowe, dla pozostałych ustawień przysłony, wykonujemy analogicznie jak w przypadku pierwszym.

5. Obliczanie wielkości charakterystycznych

Ciśnienie bezwzględne p_z w rurociągu wlotowym (ssącym) w miejscu pomiaru strumienia objętości q_v :

$$p_z = p_{ot} - \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h_z, \quad \text{Pa} \quad (1)$$

gdzie:

p_{ot} – ciśnienie otoczenia, Pa;

ρ_{H_2O} – gęstość wody w warunkach pomiaru, kg/m^3 ;

h_z – wysokość podciśnienia wskazana przez manometr hydrostatyczny (8), m;

g – przyspieszenie ziemskie; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

Stopień zawilżenia X powietrza w miejscu pomiaru strumienia objętości q_v :

$$X = 0,622 \cdot \frac{\frac{\varphi}{100} \cdot p_{n_1}}{p_z - \frac{\varphi}{100} \cdot p_{n_1}} \quad (2)$$

gdzie:

φ – wilgotność względna powietrza, %;

p_{n_1} – ciśnienie nasycenia pary wodnej w warunkach pomiaru (dla temperatury t_1), Pa;

Gęstość powietrza ρ_z w miejscu pomiaru strumienia objętości q_v :

$$\rho_z = \frac{p_z \cdot (1 + X)}{(287,04 + 461,5 \cdot X) \cdot (t_1 + 273)}, \quad \text{kg/m}^3 \quad (3)$$

gdzie:

t_1 – temperatura powietrza; °C;

Ciśnienie różnicowe Δp_z na kryzie:

$$\Delta p_z = (\rho_{H_2O} - \rho_z) \cdot g \cdot \Delta h_z, \quad \text{Pa} \quad (4)$$

gdzie:

Δh_z – wysokość spadku ciśnienia statycznego na zwężce, wskazana przez manometr różnicowy (6), m;

Strumień objętości powietrza w miejscu pomiaru:

$$q_{v_z} = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_z}{\rho_z}}, \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (5)$$

gdzie:

C – współczynnik przepływu; dla kryzy zainstalowanej na rurociągu $C = 0,595$;

β – przewężenie; $\beta = \frac{d_k}{D}$, gdzie: d_k – średnica otworu kryzy, D – średnica rurociągu;

ε – liczba ekspansji; dla powietrza $\varepsilon = 0,993$;

A_o – pole przekroju otworu zwężki, m²;

Ciśnienie bezwzględne p_1 na wlocie do wentylatora:

$$p_1 = p_{ot} - \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h_1, \quad \text{Pa} \quad (6)$$

gdzie:

h_1 – wysokość podciśnienia wskazana przez manometr hydrostatyczny (9), m;

Stopień zawilżenia X_1 powietrza na wlocie do wentylatora:

$$X_1 = 0,622 \cdot \frac{\frac{\varphi_1}{100} \cdot p_{n_1}}{p_1 - \frac{\varphi_1}{100} \cdot p_{n_1}} \quad (7)$$

gdzie:

φ_1 – wilgotność względna powietrza na wlocie do wentylatora; przyjmujemy że $\varphi_1 = \varphi$; %

Gęstość powietrza ρ_1 na wlocie do wentylatora:

$$\rho_1 = \frac{p_1 \cdot (1 + X_1)}{(287,04 + 461,5 \cdot X_1) \cdot (t_1 + 273)}, \quad \text{kg/m}^3 \quad (8)$$

Przyjmujemy, że temperatura na wlocie do wentylatora jest taka sama jak w miejscu pomiaru strumienia objętości q_v .

Strumienia objętości q_{v_1} powietrza na wlocie do wentylatora:

$$q_{v_1} = \frac{q_{v_z} \cdot \rho_z}{\rho_1}, \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (9)$$

Spiętrzenie statyczne Δp_s wentylatora:

$$\Delta p_s = (\rho_{H_2O} - \rho_1) \cdot g \cdot \Delta h_s, \quad \text{Pa} \quad (10)$$

gdzie:

Δh_s – wysokość przyrostu ciśnienia statycznego na wentylatorze, wskazana przez manometr różnicowy (7), m;

Ciśnienie bezwzględne powietrza p_2 na wlocie do wentylatora:

$$p_2 = \Delta p_s + p_1, \quad \text{Pa} \quad (11)$$

Stopień zawilżenia X_2 powietrza na wylocie z wentylatora:

$$X_2 = 0,622 \cdot \frac{\frac{\varphi_2}{100} \cdot p_{n_2}}{p_2 - \frac{\varphi_2}{100} \cdot p_{n_2}} \quad (12)$$

gdzie:

φ_2 – wilgotność względna powietrza na wylocie z wentylatora; przyjmujemy że $\varphi_2 = \varphi$; %

p_{n_2} – ciśnienie nasycenia pary wodnej w warunkach pomiaru (dla temperatury t_2), Pa;

Gęstość powietrza ρ_2 na wylocie z wentylatora:

$$\rho_2 = \frac{p_2 \cdot (1 + X_2)}{(287,04 + 461,5 \cdot X_2) \cdot (t_2 + 273)}, \quad \text{kg/m}^3 \quad (13)$$

gdzie:

t_2 – temperatura powietrza; °C;

Strumienia objętości q_{v_2} powietrza na wylocie z wentylatora:

$$q_{v_2} = \frac{q_{v_1} \cdot \rho_1}{\rho_2}, \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (14)$$

Spiętrzenie całkowite Δp_c wentylatora:

$$\Delta p_c = \Delta p_s + \left[\frac{\rho_2 \cdot \left(\frac{q_{v_2}}{A_2} \right)^2}{2} - \frac{\rho_1 \cdot \left(\frac{q_{v_1}}{A_1} \right)^2}{2} \right], \quad \text{Pa} \quad (15)$$

gdzie:

A_1 – pole przekroju rurociągu wlotowego (ssawnego), m²;

A_2 – pole przekroju rurociągu wylotowego (tłocznego), m²;

Moc użyteczna P_u wentylatora:

$$P_u = \Delta p_c \cdot q_{v_1}, \quad \text{W} \quad (16)$$

Moc P na wale wentylatora:

$$P = U \cdot I - \Delta P_o(n), \quad \text{W} \quad (17)$$

gdzie:

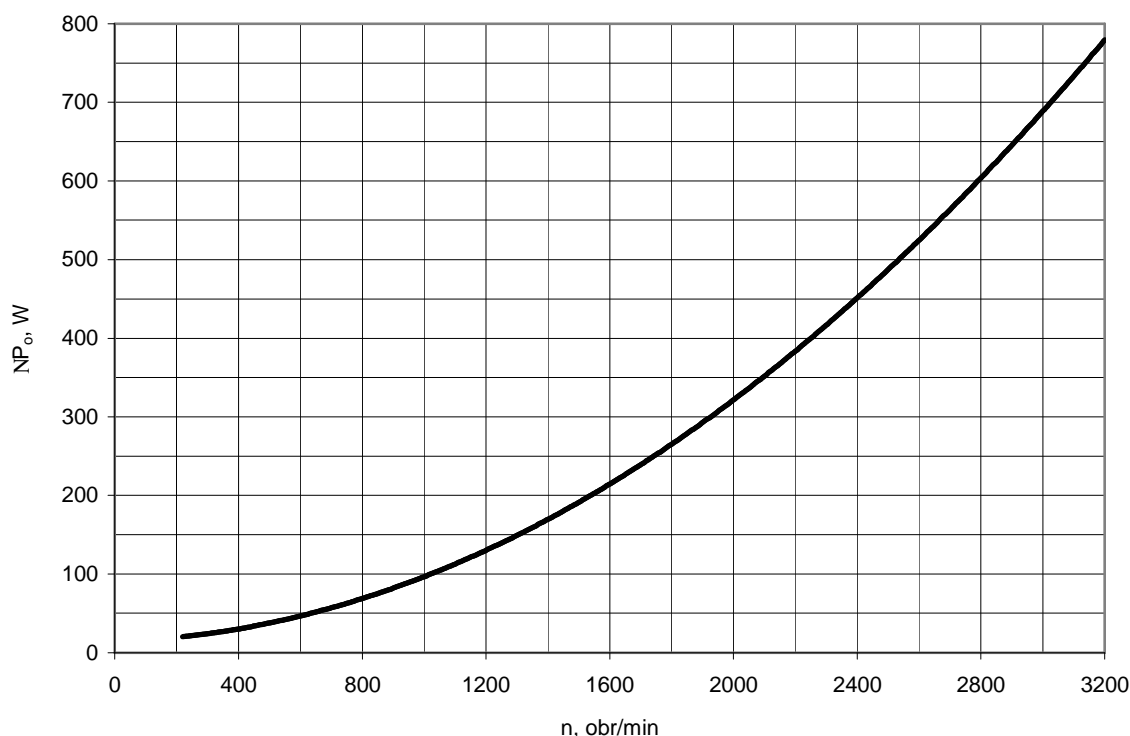
U – napięcie na zaciskach twornika silnika elektrycznego, wskazana przez woltomierz, V;

I – natężenie prądu pobieranego przez silnik, wskazane przez amperomierz, A;

$\Delta P_o(n)$ – straty biegu jałowego w zależności od obrotów silnika, W; stratę wyznacza się z wykresu na rys. 2;

Sprawność całkowita η_c wentylatora:

$$\eta_c = \frac{P_u}{P} \cdot 100, \quad \% \quad (18)$$



Rys. 2. Straty biegu jałowego ΔP_o w zależności od obrotów silnika n

6. Sporządzanie charakterystyki wentylatora

Pomiary i obliczenia są podstawą do sporządzenia charakterystyki zbiorczej wentylatora, pokazanej na rys. 3.a. W tym celu należy wykreślić zależności $\Delta p_c = f(q_v)$ dla zadanych w trakcie wykonywania pomiaru położenia przysłony stożkowej (oznaczone liczbami 1, 2, 3). Otrzymane krzywe charakteryzują opory hydrauliczne w układzie. Następnie wykreślane są charakterystyki pomocnicze $\eta_c = f(q_v)$, $P = f(q_v)$ i $n = f(q_v)$, dla poszczególnych ustawień przysłony, na których odcinamy stałą wartość sprawności η_c , mocy P i liczby obrotów n . Punkty przecięcia przenosimy na odpowiednie krzywe oporów na wykresie $\Delta p_c = f(q_v)$ i aproksymujemy. Otrzymane

w ten sposób linie stałych n , P i η_c nazywamy kolejno charakterystyką przepływu, mocy i sprawności wentylatora co stanowi jego charakterystykę zbiorczą.

Na rysunku 3 pokazano przykład kreślenia charakterystyki zbiorczej wentylatora dla $n = 2000$ obr/min, $P = 3000$ W i $\eta_c = 50$ %.

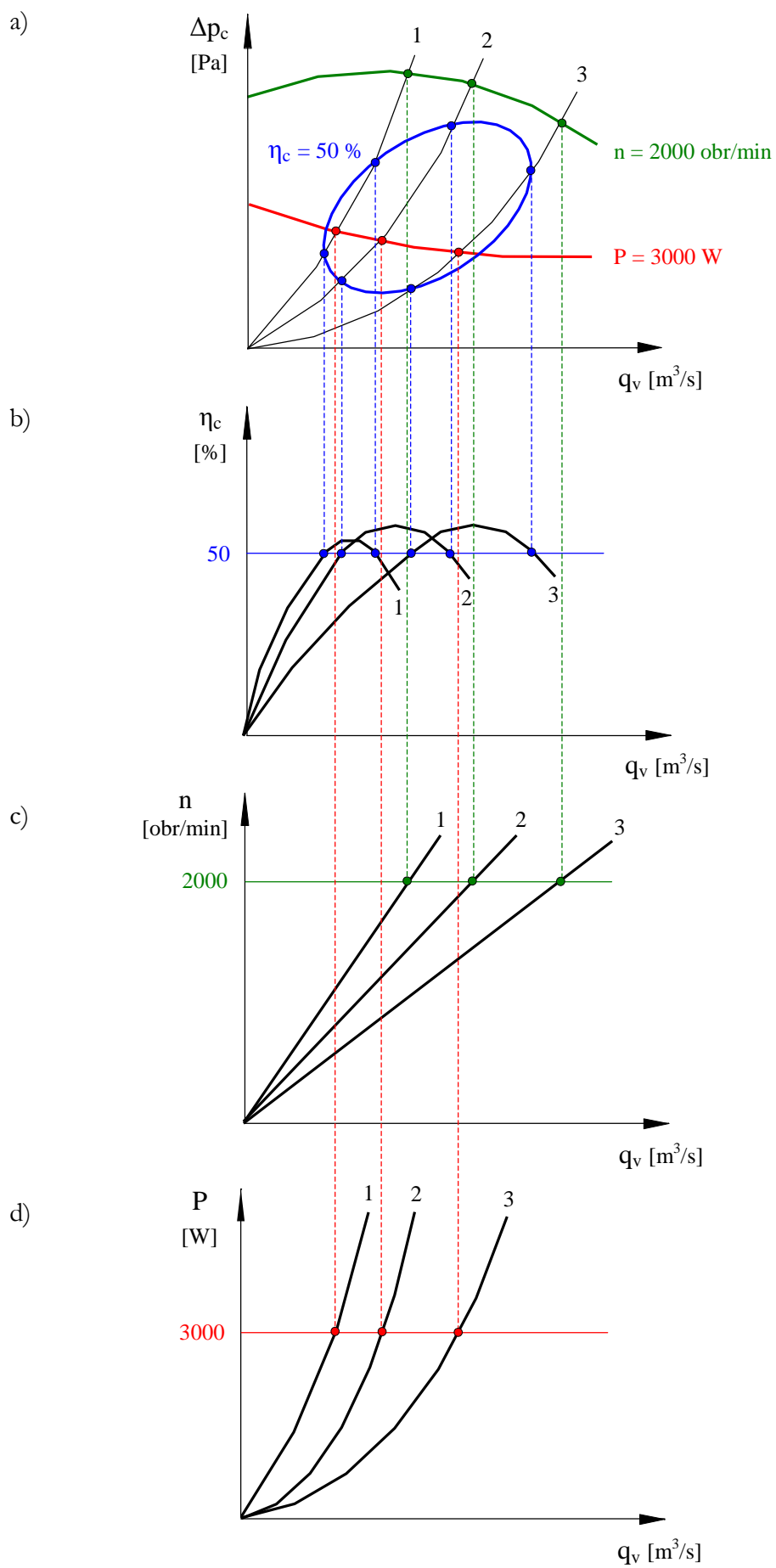
UWAGA! Podczas tworzenia charakterystyki zbiorczej wentylatora wykresy na rysunkach 3a, 3b, 3c i 3d powinny mieć jednakowe podziałki na osi odciętych.

Dane do obliczeń

- współczynnik przepływu kryzy $C = 0,595$;
- średnica otworu kryzy $d_k = 0,2248$ m;
- liczba ekspansji (współczynnik ściśliwości dla powietrza) $\varepsilon = 0,993$;
- średnica rurociągu wlotowego (o przekroju kołowym) $D = 0,302$ m;
- wymiary rurociągu wylotowego (o przekroju prostokątnym) $a \times b = 0,360 \times 0,196$ m;

Literatura

- [1] Stańda J., Górecki J., Andruszkiewicz., *Badanie maszyn i urządzeń energetycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- [2] Sasiadek M., Szymocha K., (Red.), *Miernictwo energetyczne cz.2. Pomiary energetyczne maszyn i urządzeń cieplnych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1974.



Rys. 3. Charakterystyka wentylatora

