

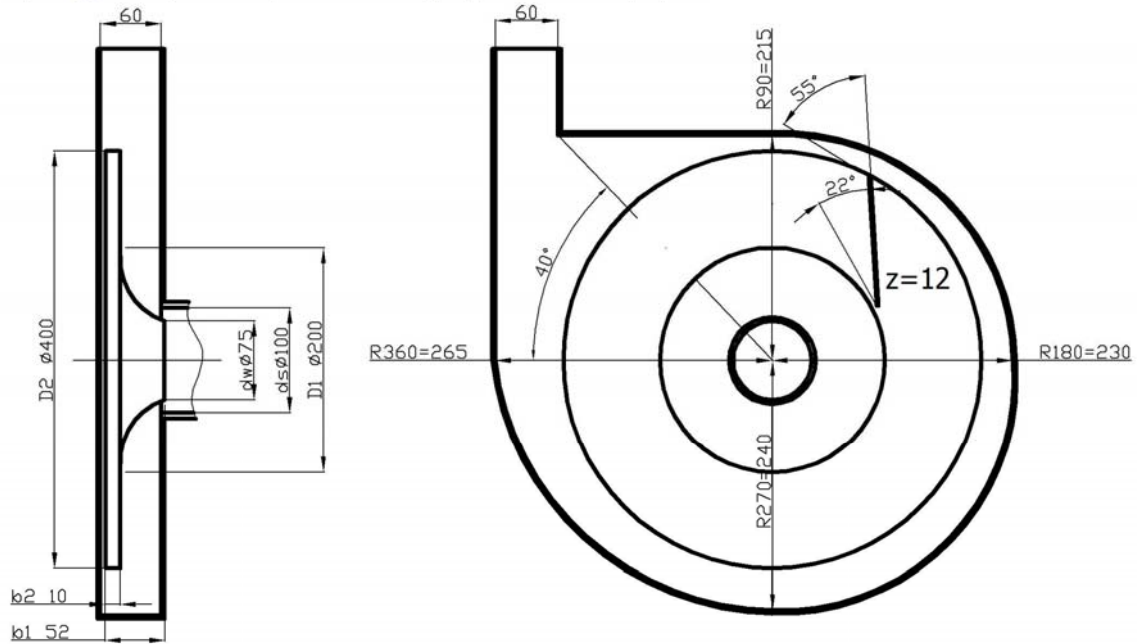
# Wyznaczanie charakterystyki wentylatora promieniowego (WENT 2)

– opracował dr inż. S. Fortuna – Kraków, 2009 r.

## Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wymiarowej charakterystyki wentylatora promieniowego przy umownej gęstości czynnika transportowanego oraz znamionowych obrotach wirnika i obliczenie charakterystyki bezwymiarowej. Z charakterystyki należy odczytać optymalny punkt pracy oraz wykreślić roboczy zakres charakterystyki w jego sąsiedztwie, w którym sprawność wentylatora będzie większa od 0,75 sprawności maksymalnej  $\eta_i > 0,75 \eta_{ip \max}$ . Następnie należy obliczyć liczbę szybkobieżności  $\sigma_{opt}$  uważaną za wyróżnik kształtu.

Wymiary geometryczne wentylatora laboratoryjnego stanowisko współpraca



4.

Rys. 1. Wymiary geometryczne wentylatora WENT 2 zainstalowanego na laboratoryjnym stanowisku do współpracy maszyn

Wymiary geometryczne wentylatora WENT 2 :

$$d_s = 100 \text{ [mm]}$$

$$d_i = 95 \text{ [mm]}$$

$$d_w = 85 \text{ [mm]}$$

$$D_1 = 200 \text{ [mm]}$$

$$D_2 = 400 \text{ [mm]}$$

$$b_1 = 10 (52) \text{ [mm]}$$

$$b_2 = 10 \text{ [mm]}$$

$$\beta_1 = 22^\circ$$

$$\beta_2 = 55^\circ$$

$$z = 12$$

$$E = 60(80) \text{ [mm]}$$

$$B = 60(80) \text{ [mm]}$$

$$R_{90} = 215 \text{ [mm]}$$

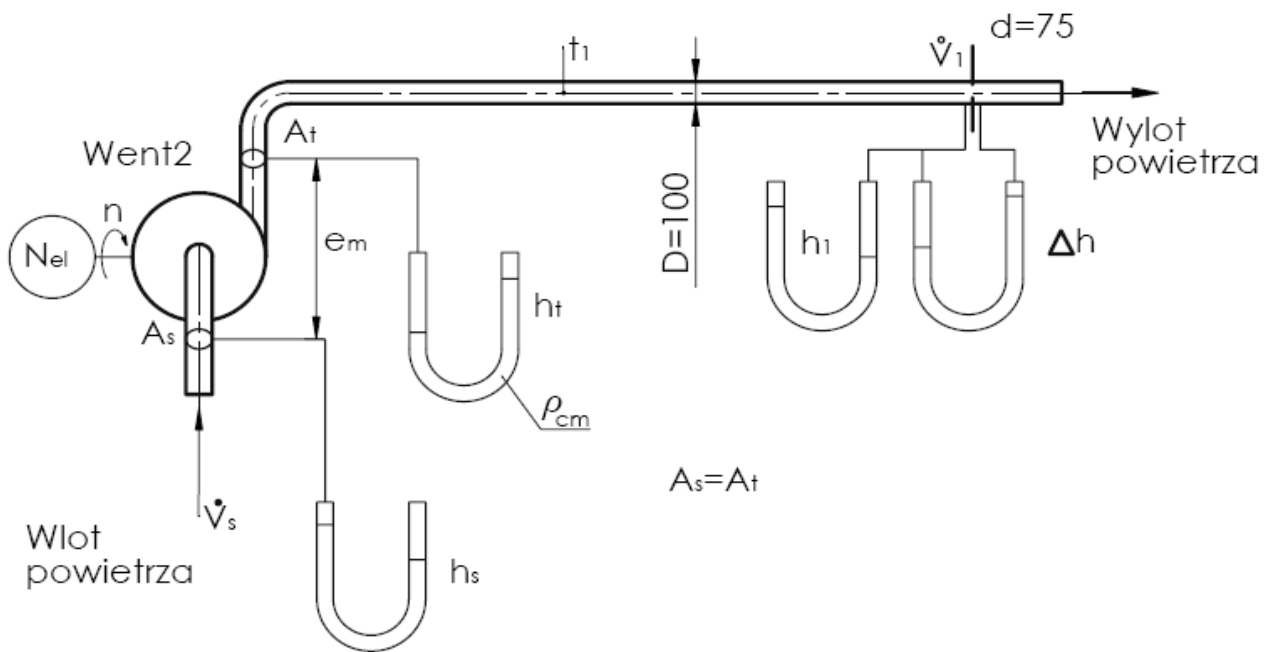
$$R_{180} = 230 \text{ [mm]}$$

$$R_{270} = 240 \text{ [mm]}$$

$$R_{360} = 265 \text{ [mm]}$$

$$\phi_i = 40^\circ$$

## Schemat stanowiska pomiarowego



Rys.2. Schemat stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyki wentylatora Went 2

## ALGORYTM OBLICZEŃ

### STAŁE DO POMIARU na stanowisku z rys.2

$p_b$  - ciśnienie barometryczne [Pa]

$t_1$  - temperatura czynnika przed dyszą [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\varphi_1$  - wilgotność względna [ułamek]

$p_p''$  = - ciśnienie pary nasyconej suchej przy  $t_1$  [Pa]

$\rho_p''$  = - gęstość pary nasyconej suchej przy  $t_1$  [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]

$D = 100$  - średnica rurociągu pomiarowego w [mm]

$d = 75$  - średnica kryzy w [mm]

$D_2 = 400$  - średnica zewnętrzna wirnika w [mm]

$E = 80$  - długość króćca tłocznego w [mm]

$B = 80$  - szerokość króćca tłocznego w [mm]

$\eta_{sil} = 0,75$  - sprawność silnika elektrycznego [-]

$\rho_u$  - umowna gęstość powietrza  $\rightarrow \rho_u = \rho_{1,2} = 1,2$  [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]

$\kappa = 1,4$  - kappa [-]

$\text{Re}_D = 98\ 000$  - liczba Reynoldsa dla rurociągu [-]

$\lambda = 0,015$  - współczynnik strat tarcia [-]

$L = 0,1 \div 0,3$  [m] – długość odcinków odniesienia pomiaru ciśnień na ssaniu i tłoczeniu

$p_N = 100\ 000$  - umowne ciśnienie normalne [Pa]

$T_N = 273$  - temperatura normalna w [K]

$\rho_N = 1,277$  - gęstość w warunkach normalnych [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]

$\rho_{cm} = 1\ 000$  - gęstość cieczy manometrycznej [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]

$n_z = 2960$  - obroty znamionowe [ $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$ ]

$e_m = 0,40$  [m] - różnica wysokości pomiędzy przekrojami pomiarowymi ciśnień  $h_s$  i  $h_t$

## ***WIELKOŚCI MIERZONE***

$h_s$  - wysokość ciśnienia na ssaniu w króćcu ssawnym [mm]

$h_1$  - wysokość ciśnienia przed zwężką (kryzą) [mm]

$h_t$  - wysokość ciśnienia na tłoczeniu w króćcu tłocznym [mm]

$\Delta h$  - wysokość ciśnienia różnicowego [mm]

$n$  - obroty wentylatora [ $\frac{obr}{min}$ ]

$N_{el}$  - moc elektryczna [W]

## **WIELKOŚCI OBLICZONE**

Objaśnienie symboli :

$p_1$  - ciśnienie przed zwężką (kryzą) [Pa]

$\Delta p$  - ciśnienie różnicowe [Pa]

$p_s$  - ciśnienie na ssaniu w króćcu ssawnym [Pa]

$\Delta p_{st}$  - spiętrzenie statyczne [Pa]

$\Delta p_d$  - spiętrzenie dynamiczne [Pa]

$\Delta p_c$  - spiętrzenie całkowite [Pa]

$\Delta p_{cp}$  - spiętrzenie całkowite przeliczone na warunki umowne [Pa]

$\rho_1$  - gęstość powietrza przed zwężką [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$\rho_s$  - gęstość powietrza na ssaniu, w króćcu ssawnym [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$\rho_t$  - gęstość powietrza na tłoczeniu w króćcu tłocznym [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$\rho_{sr}$  - średnia gęstość powietrza w maszynie [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$A_s$  - pole przekroju króćca ssawnego [ $m^2$ ]

$A_t$  - pole przekroju króćca tłocznego [ $m^2$ ]

$\beta$  - przewężenie zwężki [-]

$C$  - współczynnik przepływu [-]

$\varepsilon_1$  - liczba ekspansji przed zwężką [-]

$K$  - stała K zwężki [-]

$u_2$  - rzeczywista prędkość obwodowa wirnika [ $\frac{m}{s}$ ]

$u_{2z}$  - prędkość obwodowa wirnika przy obrotach znamionowych [ $\frac{m}{s}$ ]

$\dot{V}_1$  - wydajność na zwężce [ $\frac{m^3}{h}$ ]

$\dot{V}_s$  - wydajność wentylatora [ $\frac{m^3}{h}$ ]

$\dot{V}_{sp}$  - wydajność wentylatora przeliczona na warunki umowne [ $\frac{m^3}{h}$ ]

$f$  - współczynnik ściśliwości [-]

$N_u$  - moc użyteczna [W]

$N_w$  - na wale wentylatora-na wale silnika ( wewnętrzna) [W]

$N_{wp}$  - moc na wale przeliczona na warunki umowne [W]

$\eta_i$  - sprawność wewnętrzna [-]

$\eta_{ip}$  - sprawność wewnętrzna przeliczona na warunki umowne [-]

$\varphi$  - liczba wydajności [-]

$\psi$  - liczba ciśnienia [-]

$\lambda$  - liczba mocy [-]

$\sigma_{opt}$  - liczba szybkobieżności [-]

### Zestaw wzorów do obliczeń charakterystyki wentylatora

○  $\Delta p = \Delta h \cdot 10^{-3} \rho_{cm} g$  [Pa]

○  $p_1 = p_b + h_1 \cdot 10^{-3} \rho_{cm} g$  [Pa]

○  $p_t = p_b + h_t \cdot 10^{-3} \rho_{cm} g$  [Pa]

○  $p_s = p_b - h_s \cdot 10^{-3} \rho_{cm} g$  [Pa]

○  $\rho_1 = \frac{\rho_N (p_1 - \varphi_1 p_p) T_N}{p_N (t_1 + T_N)} + \varphi_1 \rho_p$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

○  $\rho_t = \rho_1 \frac{p_t}{p_1}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

○  $\rho_s = \rho_1 \frac{p_s}{p_1}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

○  $\rho_{sr} = \frac{\rho_t + \rho_s}{2}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

○  $\beta = \frac{d}{D}$  [-]

$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,00052 \left( \frac{10^6 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0,7} + \left[ 0,0188 + 0,0063 \left( \frac{19000 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0,8} \right] \beta^{3,5} \left( \frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{0,3}$  [-]

○  $K = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\varepsilon_1 \pi (d \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{\rho_{cm} g \cdot 10^{-3}}}{1} \sqrt{2} \cdot 3600$  [ma] -- stała bez gęstości

○  $\dot{V}_1 = K \frac{1}{\sqrt{\rho_1}} \sqrt{\Delta h [\text{mm}]} \text{ [m}^3/\text{h}]$  lub  $\dot{V}_1 = K_1 \sqrt{\Delta h [\text{mm}]} \text{ [m}^3/\text{h}]$

- $\dot{V}_t = \frac{\dot{V}_1 p_1}{p_t}, \quad V_s = V_1 \frac{p_1}{p_s} \quad [m^3/h]$
- $A_s = \frac{\pi(D \cdot 10^{-3})^2}{4} [m^2]; \quad \text{przyjąć} \quad A_s \sim A_t$
- $A_t = (E \cdot 10^{-3}) \cdot (B \cdot 10^{-3}) [m^2]; \quad \text{przyjąć} \quad A_s \sim A_t$
- $\Delta p_{st} = (h_s + h_t) \cdot 10^{-3} \rho_{cm} g [Pa]$
- $\Delta p_d = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\dot{V}_t^2 \rho_t}{(3600 A_t)^2} - \frac{\dot{V}_s^2 \rho_s}{(3600 A_s)^2} \right) \cong 0 [Pa]$
- $\Delta p_c = \Delta p_{st} + \Delta p_d + e_m \rho_{sr} g + \Delta p_{tar} [Pa]$
- $\Delta p_{tar} = \lambda \frac{L}{D} \frac{c_t^2}{2} \rho_{sr}$
- $c_t = \frac{\dot{V}_t}{3600 A_t} [m/s]$
- $N_u = \Delta p_c \frac{\dot{V}_s}{3600} f [W]$
- $f = 1 - \frac{1}{2,8} \frac{\Delta p_c}{p_1} + \frac{1}{4,9} \left( \frac{\Delta p_c}{p_1} \right)^2 [-] \text{ bo wiem } \Delta p_{st} = \Delta p_c$
- $N_w = 3 \cdot N_{el} \eta_{sil} [W]$
- $\eta_i = \frac{N_u}{N_w} [-]$

**Przeliczenie na gęstość umowną i obroty znamionowe czyli docelową charakterystykę katalogową**

- $\dot{V}_{sp} = \frac{\dot{V}_s n_z}{n} [m^3/h]$

$$\Delta p_{cp} = \Delta p_c \left( \frac{n_z}{n} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{1,2}}{\rho_{sr}} \text{ [Pa]}$$

$$N_{wp} = N_w \left( \frac{n_z}{n} \right)^3 \cdot \frac{\rho_{1,2}}{\rho_{sr}} \text{ [W]}$$

$$u_2 = \frac{\pi(D_2 \cdot 10^{-3})n}{60} \text{ [ m/s ]}$$

$$u_{2z} = \frac{\pi(D_2 \cdot 10^{-3})n_z}{60} \text{ [ m/s ]}$$

$$\eta_{ip} = 1 - (1 - \eta_i) \left[ 0,5 + 0,5 \left( \frac{u_2}{u_{2z}} \right)^{0,2} \right] \text{ [ - ] wzór Ackereta - nie korzystać w$$

ćw.

$$\eta_{ip} = \frac{V_{sp} \Delta p_{cp} f}{3600 N_{wp}}$$

### Charakterystyka bezwymiarowa

$$\varphi = \frac{\dot{V}_{sp}}{\frac{3600 \cdot \pi(D_2 \cdot 10^{-3})^2}{4} u_{2z}} \text{ [ - ]}$$

$$\psi = \frac{\Delta p_{cp}}{\frac{1}{2} \rho_{sr} u_{2z}^2} \text{ [ - ]}$$

$$\lambda = \frac{\varphi \psi}{\eta_{ip}} \text{ [ - ]}$$

$$\sigma_{opt} = \varphi_{opt}^{0,5} \psi_{opt}^{-0,75} \text{ lub } \sigma_{opt} = 0,03512 \rho_u^{0,75} V_{opt}^{0,5} \Delta p_{copt}^{-0,75} n$$



**Tab.1 Tabela pomiarowa**

**data pomiaru :**

$P_b =$

$t_b =$

$\varphi_1 =$

Lp.	Nazwa wielkości mierzonej	Oznaczenie	Jednostka	POMIAR					
				1	2	3	4	5	6
1	Ciśnienie barometryczne	$P_b$	Pa						
2	Temperatura powietrza	$t_1$	°C						
3	Ciśnienie różnicowe	$\Delta h$	mm.....						
4	Nadciśnienie przed kryzą	$h_1$	mm.....						
5	Nadciśnienie tłoczenia	$h_t$	mm....						
6	Podciśnienie ssania	$h_s$	mm....						
7	Moc silnika	$N_{el}$	W						
8	Obroty wentylatora	$n$	obr/min						

**Tab. 2 Tabela obliczeniowa**

Dla  $\rho_u = 1,2 \text{ kg/m}^3$  i obrotów znamionowych  $n_z = 2\ 960 \text{ obr/min}$

Lp.	Nazwa wielkości oblicz.	Oznaczenie	Jedn.	POMIAR	POMIAR	POMIAR	POMIAR	POMIAR	POMIAR
				1	2	3	4	5	6
1	Gęstość pow. na kryzie	$\rho_1$	$\text{kg/m}^3$						
2	Wydajność na kryzie	$V_1$	$\text{m}^3/\text{h}$						
3	Wydajność wentylatora	$V_s$	$\text{m}^3/\text{h}$						
4	Wydajność wentyl.-przel.	$V_{sp}$	$\text{m}^3/\text{h}$						
5	Spiętrz. całk. wentyl.przel.	$\Delta p_{cp}$	Pa						
6	Sprawność wew. przel.	$\eta_{ip}$	-						
7	Moc wewnętrzna przel.	$N_{wp}$	W						
8	Liczba wydajności	$\phi$	-						
9	Liczba ciśnienia	$\psi$	-						
10	Liczba mocy	$\lambda$	-						

Sprawozdanie wykonać ręcznie, powinno zawierać :

- cel ćwiczenia
- tabele pomiarową i obliczeniową
- wzory do obliczania  $\rho_1, V_1, V_s, \Delta p_c$ , ( charakterystyka wymiarowa dla warunków pomiarowych):  $V_{sp}, \Delta p_{cp}, \eta_{ip}, N_{wp}$ , ( charakterystyka wymiarowa dla warunków umownych) :  $\varphi, \psi, \eta_{ip}, \lambda$  (charakterystyka bezwymiarowa ) wypisać z algorytmu obliczeń z instrukcji
- wnioski dot. maksymalnej sprawności, optymalnego punktu pracy i roboczego zakresu charakterystyki
- podać wartość  $\sigma_{opt}$  i odczytać kształt wirnika z wykresu Cordiera na str.244 [4].

Stałą kryzy – dla gęstości  $1,2 \text{ kg/m}^3$  – – należy przyjąć równą :

$V_s = V_1 = 46,7 \sqrt{\Delta h [mmH_2O]} [m^3 / h]$  – stała przydatna zwłaszcza do następnego ćwiczenia pt „Współpraca wentylatorów”.

### ZADANIE

Dana jest wydajność  $\dot{V}_1 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$  i ciśnienie  $p_1 = 101\,000 \text{ Pa}$ , temperatura  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  w przekroju poprawnego pomiaru wydajności. Spiętrzenie, zmierzone w przekrojach poprawnego pomiaru ciśnień na instalacji maszyny powietrznej napędzanej silnikiem o obrotach  $n = 985 \text{ obr/min}$ , wynosi  $\Delta p_c = 1200 \text{ Pa}$ . Króćce maszyny znajdują się w odległości sumarycznej  $L = 2 \text{ m}$  od punktów pomiaru spiętrzenia. Średnice instalacji są w każdym miejscu takie same,  $D = 400 \text{ mm}$ , panuje w niej prędkość  $c = 15 \text{ m/s}$ , gęstość jest równa  $\rho = 1,177 \text{ kg/m}^3$  a ciśnienie w króćcu ssawnym wynosi  $99000 \text{ Pa}$ . Oblicz osiągi maszyny w króćcach czyli wydajność maszyny i spiętrzenie maszyny. Przelicz je na umowną gęstość i obroty znamionowe  $945 \text{ obr/min}$  oraz dalej na parametry bezwymiarowe.

Narysuj podział blokowy maszyn energetycznych i wskaż, w której "kostce" znajdują się wentylatory osiowe i promieniowe. Zastosuj 3 kryteria podziału.

### Obliczanie stałej kryzy

$$\beta = \frac{75}{100} = 0.75$$

$$\dot{V}_1 = K \sqrt{\Delta h} [m^3/h] \quad \text{dla } \rho_1 = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$K = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi d^2}{4} \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{\rho_1}} 3600 = \frac{0,60268}{0,8268} \cdot 0,998 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,075^2 \sqrt{\frac{19,62}{1,2}} \cdot 3600 = 46,7 [ \frac{m^3}{h \sqrt{mmH_2O}} ]$$

### Literatura:

1.ISO 5801:1997 (E) – Industrial Fans; Performance Testing Using Standardized Airways

- 2.PN-93/M-53950/01 – Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynów za pomocą zwęzek pomiarowych
- 3.PN-EN ISO 5167-1 marzec 2000. Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzek pomiarowych. Kryzy, dysze i zwężki Venturiego wbudowane w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym.
- 4.Fortuna S., 1999. Wentylatory. Podstawy teoretyczne, zagadnienia konstrukcyjno-eksploatacyjne i zastosowanie. Wyd. Techwent, Kraków
- 5.Fortuna S., 1999. Badania wentylatorów i sprężarek. Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków
- 6.Kuczewski S.,1987. Wentylatory. Warszawa, WNT
- 7.Rydlewicz J., 1989. Wentylatory i pompy przepływowe. Łódź, Politechnika Łódzka
- 8.Ferencowicz J., 1964. Wentylacja i klimatyzacja. Warszawa, Arkady
- 9.Harmsen S., 1991. Gerätelüfter für die Elektronik Kühlung. Landsberg/Lech: Erlang Moderne Industrie
- 10.Bohl W., 1994. Strömungsmaschinen 1. Aufbau und Wirkungsweise. 6. Auflag,

## Zagadnienia

- 1.Równanie wirnika maszyny krętej w dwóch postaciach
- 2.Równanie energii w maszynie płynowej w trzech postaciach
- 3.Stopień reakcyjności
- 4.Wpływ krzywizn łopatkowych na osiągi wirnika Eulera
- 5.Wpływ szerokości i średnic wirnika na osiągi wirnika Eulera
- 6.Co to jest charakterystyka eksperymentalna, teoretyczna, bezwymiarowa
- 7.Definicja wentylatora, podział, schemat i główne wymiary geometryczne
- 8.Krzywa mocy teoretycznej dla trzech krzywizn łopatek, krzywa przeciążalna i nieprzeciążalna
- 9.Rozkład ciśnień w rurociągu ssawnym i tłocznym maszyny
- 10.Modele sprężania w wentylatorze, praca techniczna izochoryczna i izentropowa
- 11.Palisada promieniowa i osiowa wraz z trójkątami prędkości
- 12.Porównanie własności maszyn promieniowych i osiowych
- 13.Straty wewnętrzne i praca użyteczna na wykresie T-s
- 14.Rodzaje strat przepływowych w wentylatorze
- 15.Procedura obliczeń charakterystyki wymiarowej i bezwymiarowej
- 16.Straty ciśnienia w odcinkach odniesienia oraz ciśnienie słupa powietrza o wysokości  $e_m$

