

Andrzej WITKOWSKI, Zygmund BIERNACIK, Marek MIRSKI
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

MODERNIZACJA UKŁADU PRZEPIYWOWEGO WIELOSTOPNIOWEJ DMUCHAWY PROMIENIOWEJ DO BIOLOGICZNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki rekonstrukcji układu przepływowego siedmiostopniowej dmuchawy promieniowej stosowanej do napowietrzania biologicznych oczyszczalni ścieków. Z uwagi na ciągły, całoroczny charakter pracy tych dmuchaw, podstawowym celem rekonstrukcji było zmniejszenie ich energochłonności poprzez zwiększenie sprawności aerodynamicznej. Wyniki badań aerodynamicznych zmodernizowanej dmuchawy wykazały, że zasadnicza zmiana układu przepływowego nie wpłynęła na zmianę parametrów pracy, powodując jednocześnie wzrost jej sprawności.

1. WSTĘP

Stosowane obecnie licencyjne dmuchawy wielostopniowe typu "K" [1] nie są dostosowane zarówno konstrukcyjnie, jak i osiąganymi parametrami pracy do potrzeb napowietrzania biologicznych oczyszczalni ścieków typu "Mini-blok". Sprawia to, że pracują one przy obniżonej sprawności i nadmiernym zużyciu energii [2].

Konieczne stało się więc opracowanie nowego typoszeregu dmuchaw, zapewniającego, zgodnie z tablicą 1, stosunkowo szeroki zakres strumienia objętości $0,025-0,111 \text{ [m}^3/\text{s]}$ oraz ciśnień $\Delta P_c = 24500 - 35000 \text{ [Pa]}$ przy sprawnościach w granicach 37 - 40% [2].

Brak miarodajnych metod obliczeniowych tego typu dmuchaw, wynikający z uproszczonych z uwagi na koszty wykonawstwa, kanałów przepływowych oraz z bardzo małych w stosunku do spiętrzenia wydajności, stworzyły konieczność opracowania konstrukcji modelowych i przeprowadzenia wyczerpujących badań aerodynamicznych.

Niniejsza praca poświęcona została przedstawieniu założeń konstrukcyjnych oraz analizie wyników badań pierwszej wersji dmuchawy modelowej z projektowanego typoszeregu, dostosowanej do pracy przy najwyższych, wymaganych parametrach, odpowiadających grupie III parametrów zestawionych w tablicy 1.

Tablica 1

Parametry dmuchawy modelowej

Lp.	Wielkość dmuchawy	Strumień objętości		Przyrost ciśnienia	
		[m ³ /h]	[m ³ /s]	[m.sł.wody]	[Pa]
1	I	90-100	0,025-0,028	2,5	24520
2	I	120-130	0,033-0,036	2,5	24520
3	II	150-160	0,0416-0,114	3,5	34320
4	II	180-200	0,05-0,055	3,5	34320
5	III	350-400	0,097-0,111	3,5	34320

2. UKŁAD PRZEPIYWOWY

Układ przepływowy nowo projektowanej dmuchawy modelowej o symbolu WPDm-1 dostosowany został do korpusu zewnętrznego dmuchawy typu K7.

Podobnie jak w dmuchawie K7, zastosowano siedem stopni sprężania o jednakowej geometrii i radykalnie przy tym zmienionej konstrukcji kół wirnikowych i kanałów nawrotnych (rys. 1). Najbardziej zasadniczą zmianą było znaczne zmniejszenie szerokości kół wirnikowych i kanałów nawrotnych. Zastosowano ponadto koła wirnikowe typu sprężarkowego ze zmniejszającą się szerokością wzdłuż promienia i z krótkimi dyfuzorami wirującymi na wylocie.

Zmniejszenie szerokości kół wirnikowych i kanałów nawrotnych umożliwiło korzystniejsze zaprojektowanie pod względem aerodynamicznym przewалу oraz kanału doprowadzającego gaz do następnego stopnia (rys. 1).

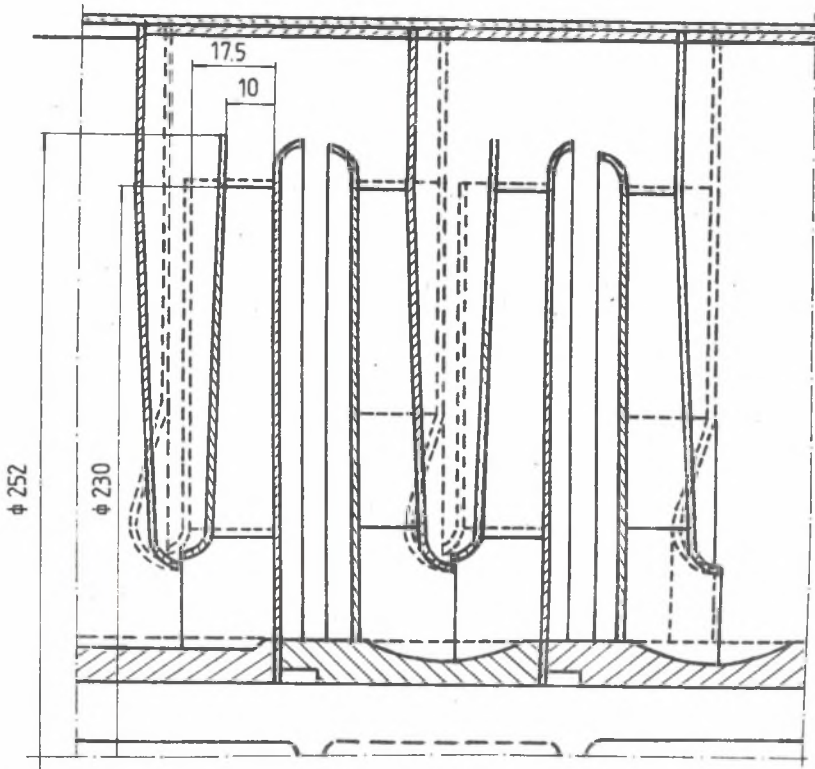
W efekcie przeprowadzonych zabiegów modernizacyjnych układu przepływowego uzyskano koła wirnikowe o charakterystycznych wskaźnikach geometrycznych i kinematycznych zestawionych w tablicy 2.

Tablica 2

Wskaźniki geometryczne i kinematyczne koła wirnikowego

$v = \frac{D_2}{D_1}$	b_2/D_2	$\pi_{st} = \frac{P_2}{P_1}$	φ^*	Ψ_c	K_n	δ
0,39	0,043	1,043	0,0268	0,611	0,206	5,66

Przyjęte do obliczeń wskaźniki kinematyczne plasują punkt pracy projektowanych stopni na wykresie Cordiera na granicy obszaru zapewniającego zadowalającą sprawność.



Rys. 1. Porównanie układu przepływowego dmuchawy WPDM-1 (—) z układem przepływowym dmuchawy K-7 (-----)

Fig. 1. Comparison of the flow arrangements of WPDM-1 and K-7 blowers :

Zadawalające wartości przyjmują również wskaźniki geometryczne, w szczególności istotna dla sprawności pracy stopnia względna szerokość wieńca wirnikowego na wylocie.

3. BADANIA AERODYNAMICZNE

3.1. Stanowisko badawcze

Badania aerodynamiczne przeprowadzone zostały na stanowisku do badań dmuchaw modelowych zainstalowanym w Laboratorium Zakładu Ciepłych Maszyn Przepływowych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej. Dmuchawa modelowa podłączona jest po stronie ssania do rurociągu pomiarowego składającego się z segmentu pomiaru wydajności o średnicy 100 mm oraz segmentu pomiaru ciśnienia statycznego o średnicy 250 mm. Do pomiaru natężenia przepływu przewidziano obliczoną zgodnie z normą PN/M-13950 dyszę

ISA z wielopunktowym poborem ciśnienia przed i za zwężką, uśrednionego w kłomach wyrównawczych. Pomiar prędkości obrotowej przeprowadzono za pomocą elektronicznego licznika impulsów o błędzie nie przekraczającym 0,04%.

Dmuchawa napędzana jest poprzez przekładnię pasową silnikiem elektrycznym prądu stałego z ciągłą tyrystorową regulacją liczby obrotów, zabudowanym w kołysce umożliwiającej pomiar momentu obrotowego. Duże koło pasowe założone jest na wałek osadzony w podwójnym łożysku tocznym zablokowanym we wspólnej obudowie. Wałek łożyska sprzężony jest z wałkiem silnika poprzez gumowe sprzęgło elastyczne.

3.2. Opracowanie wyników badań

Wielkości niezbędne do opracowania charakterystyk aerodynamicznych dmuchawy wyznaczono z zależności:

- strumień objętości obliczono zgodnie z normą PN-65/M-53950,
- ciśnienie całkowite na wlocie do dmuchawy

$$P_{1c} = P_0 - \Delta P_{st} + 1/2 \cdot \rho_1 \cdot c_1^2 / 2 \text{ N/m}^2,$$

gdzie:

ΔP_{st} - impuls ciśnienia statycznego pobierany z czterech otworków rozmieszczonych równomiernie na obwodzie rurociągu po stronie dmuchawy i uśredniony w zbiorniczku wyrównawczym,

- ciśnienie całkowite w przekroju wylotowym dmuchawy

$$P_{2c} = P_0 + \rho / 2 \cdot c_2^2 / 2 \text{ [N/m}^2\text{]},$$

- praca użyteczna

$$l_u = \frac{\kappa}{\kappa - 1} RT_1 \left[\left(\frac{P_{2c}}{P_{1c}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \text{ [J/kg]},$$

- moc na sprzęgle silnika

$$\dot{N}_s = M_s \cdot \omega = 2\pi \cdot n \cdot M_s,$$

gdzie:

M_s - moment silnika mierzony za pomocą urządzenia wagowego,

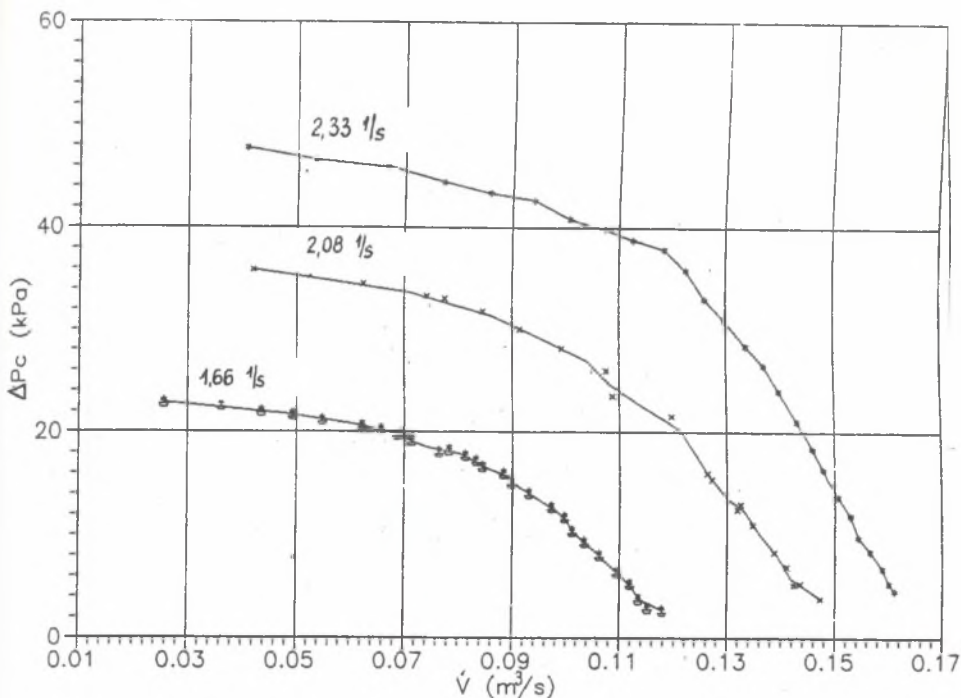
- sprawność całkowita dmuchawy wraz z przekładnią

$$\eta_c = \frac{\dot{m} \cdot l_u}{N_s}.$$

Wyniki badań przedstawiono za pomocą wielkości zredukowanych, niezależnych od parametrów czynnika w przekroju wlotowym dmuchawy i chwilowej liczby obrotów. Wielkości charakterystyczne pracy dmuchawy sprowadzono do gęstości porównawczej $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ i obrotów podstawowych odpowiednio 1,66, 2,08 i 2,33 1/s.

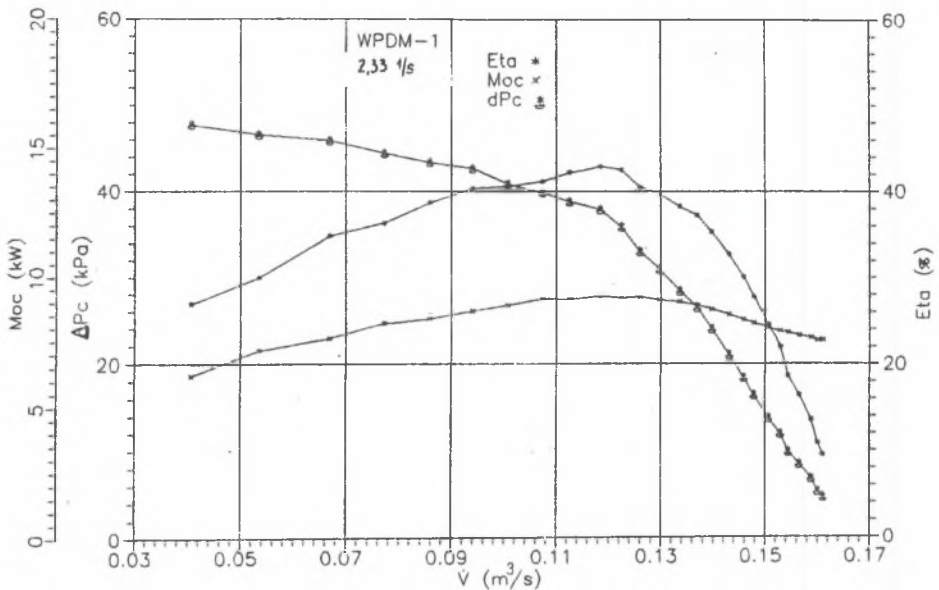
3.3. Wyniki badań aerodynamicznych

Badania aerodynamiczne dmuchawy przeprowadzone zostały przy osiowym napływie gazu, przy trzech prędkościach obrotowych $n = 1,66 \text{ 1/s}$, $2,08 \text{ 1/s}$ oraz $2,33 \text{ 1/s}$.



Rys. 2. Charakterystyka dmuchawy
Fig. 2. Performance curves of the blower

Uzyskane charakterystyki ciśnienia dla trzech liczb obrotów zestawiono w układzie wymiarowym, w funkcji strumienia objętości na rysunku 2, natomiast pełną charakterystykę aerodynamiczną przy 2,33 1/s na rysunku 3.



Rys. 3. Pełna charakterystyka pracy dmuchawy przy 2,33 1/s

Fig. 3. Over-all performance characteristics of the blower at $\omega = 2.33$ 1/s

Dmuchawa osiągnęła wysoką sprawność całkowitą przekraczającą 43% przy płaskim przebiegu charakterystyki sprawności. Odpowiadające maksymalnej sprawności parametry pracy oraz wskaźniki bezwymiarowe stopnia zestawiono w tabelicy 3.

Tabelica 3

Parametry pracy i wskaźniki bezwymiarowe

$\dot{V}_{\text{opt}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	$\Delta P_{\text{c opt}} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$	φ^*	Ψ	K_n
0,1159	37182	0,0275	0,6118	0,19978

Rzeczywiste wskaźniki bezwymiarowe są korzystniejsze od założonych w obliczeniach i zestawionych w tabelicy 2.

Rzeczywiste wartości przyrostów ciśnienia odpowiadające założonemu zakresowi wydajności i odpowiadające im sprawności pracy dmuchawy zestawiono w tabelicy 4.

Tablica 4
Rzeczywiste wartości przyrostów ciśnienia

\dot{V} [m ³ /s]	0,097	0,111
ΔP_c [N/m ²]	42000	39000
η_c [%]	40,0	42,2

Z porównania wynika, że rzeczywisty przyrost ciśnienia przy minimalnej wymaganej wydajności jest o 22,4% wyższy od oczekiwanego, natomiast przy przyjętej wydajności maksymalnej o 13,6%.

W tablicy 5 zestawiono założone i uzyskane parametry pracy, przyjmując z kolei jako parametr odniesienia wymagany przyrost ciśnienia całkowitego: $\Delta P_c = 34320$ Pa.

Tablica 5
Zestawienie założonych i uzyskanych parametrów

Wielkość fizyczna	Wartości		Δ [%]
	Obliczeniowe	Pomiarowe	
\dot{V} [m ³ /s]	0,097 - 0,111	0,124	10,5 - 28
η [%]	37 - 40	42,2	5,5 - 14

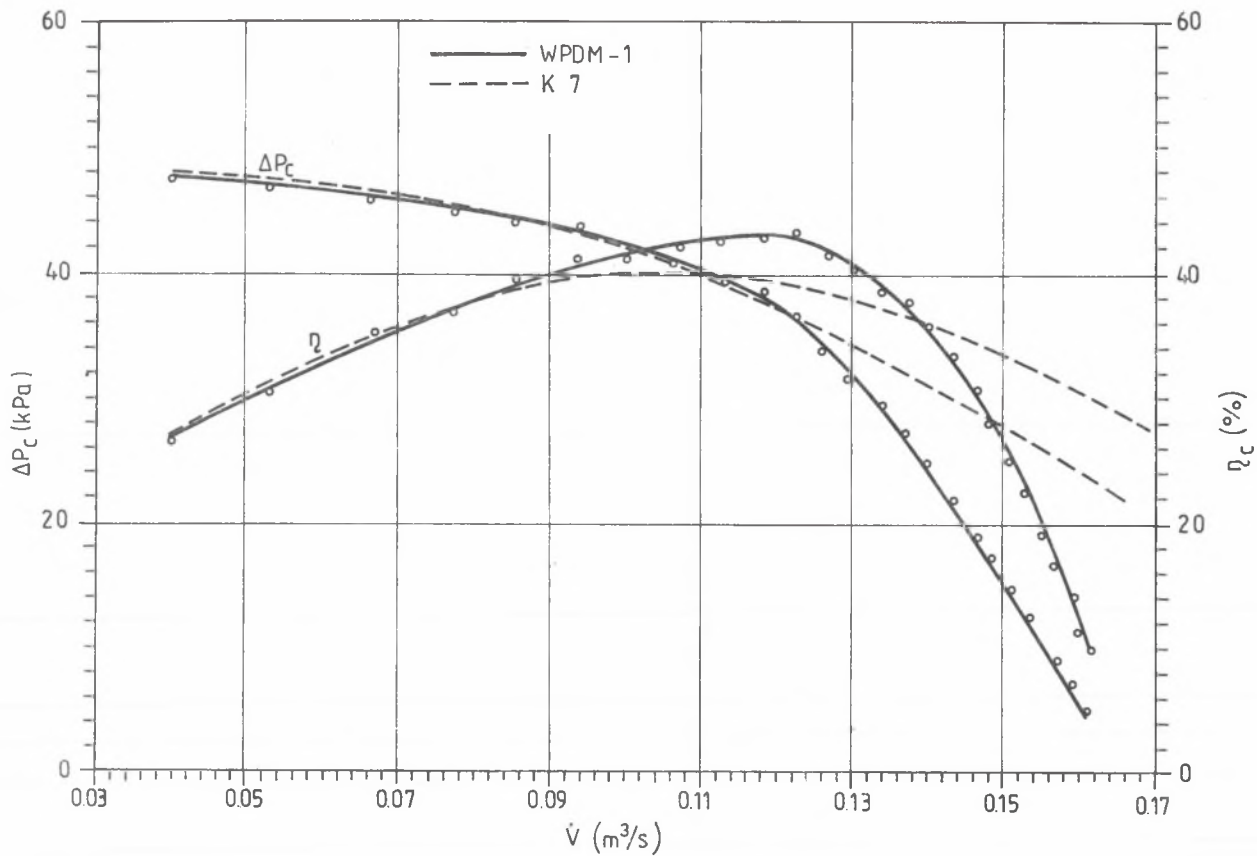
Przeprowadzona analiza wykazała, że wszystkie parametry pracy badanej dmuchawy WPDM-1 są korzystniejsze od przyjętych w założeniach projektowych.

4. PORÓWNANIE WŁASNOŚCI AERODYNAMICZNYCH DMUCHAWY WPDM-1 Z DMUCHAWĄ K7

Na rysunku 4 porównane zostały charakterystyki ciśnienia oraz sprawności całkowitej dmuchaw WPDM-1 i K7. Parametry pracy obu dmuchaw odpowiadające wymaganemu, zgodnie z tablicą 1, zakresowi wydajności oraz maksymalnej osiągniętej sprawności zestawiono dodatkowo w tablicy 6. Zgodnie z rysunkiem 4, w zakresie wydajności od wartości minimalnej do $\dot{V} = 0,122$ [m³/s] charakterystyki ciśnienia obu porównywanych dmuchaw praktycznie pokrywają się. Dotyczy to w szczególności wymaganego obszaru pracy, po potwierdza zestawienie parametrów zawarte w tablicy 6.

Powyżej $\dot{V} = 0,122$ m³/s wyraźnie uwidacznia się wpływ znacznego zwężenia kanałów przepływowych kół wirnikowych i kanałów nawrotnych dmuchawy WPDM-1 poprzez rozejście się obu charakterystyk (rys. 4).

Porównanie charakterystyk sprawności całkowitych obu dmuchaw (rys. 4) wskazuje na to, że dmuchawa WPDM-1 w wymaganym obszarze pracy ma lepsze własności aerodynamiczne od dmuchawy K-7.



Rys. 4. Porównanie charakterystyki ciśnienia i sprawności dmuchaw WPDM-1 i K-7

Fig. 4. Comparison of the WPDM-1 and K-7 blowers performances

Tablica 6

Parametry pracy dmuchaw WPDM-1 i K-7

Dmuchawa	\dot{V} [m ³ /s]	ΔP_c [N/m ²]	η [%]
WPDM-1	0,0972	42000	40,4
	0,111	39000	42,2
	0,1158*	37180	43,33
K-7	0,0974*	42000	39,6
	0,111	38800	39,4

* punkty pracy odpowiadające maksymalnej osiągniętej sprawności dmuchaw.

5. WNIOSKI KONCOWE

Przeprowadzono rekonstrukcję układu przepływowego siedmiostopniowej dmuchawy promieniowej typu K-7 [1]. Rekonstrukcja polegała na:

- znacznym zmniejszeniu szerokości kół wirnikowych i kanałów nawrotnych, co przy utrzymaniu tej samej długości dmuchawy umożliwiło poprawienie warunków przepływu w obszarze przeważu i wlotu do następnego stopnia,
- przyjęciu konstrukcji kół wirnikowych typu sprężarkowego zwięzających się w przekroju merydionalnym.

Badania wykazały, że tak zmodernizowana dmuchawa uzyskała wymagane parametry pracy przy wyższej od dotychczasowej konstrukcji sprawności.

Wyniki przeprowadzonej racjonalizacji układu przepływowego są nna tyle obiecujące, że uzasadniają wykorzystanie zasadniczych jej elementów do stworzenia typoszeregu dmuchaw dla szerokiego zakresu wydajności sstopnia poprzez zróżnicowanie szerokości kół wirnikowych i kanałów nawrotnych. Ze względów technologicznych istotne tu jest zachowanie takich samych kształtów tarcz nośnych i nakrywających oraz łopatek roboczych.

ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- | | |
|--|---|
| b | - szerokość koła wirnikowego |
| c | - prędkość gazu |
| D | - średnica koła wirnikowego |
| $\Delta i_{sc} = I_u$ | - izotropowy przyrost entalpii stanu stagnacji, praca użyteczna |
| $K_n = 0,0351 \dot{V}^{0,5} \cdot \Delta i_{sc}^{-0,75} \cdot n$ | - wyróżnik szybkobieżności |
| m | - strumień masy |
| M | - moment obrotowy |

N	- moc
n	- prędkość obrotowa
P	- ciśnienie
R	- stała gazowa
u	- prędkość obwodowa
\dot{V}	- strumień objętości
$\delta = 1,0539 \cdot D_2 \cdot \dot{V}^{-0,5} \cdot \Delta i_{sc}^{0,25}$	- wskaźnik średnicy
$\pi = P_2/P_1$	- spręż dmuchawy
ρ	- gęstość gazu
$\varphi^* = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi D_2^2 \cdot U_2}$	- wskaźnik wydajności
$\Psi_c = \frac{2 \Delta i_{sc}}{\rho U_2^2}$	- wskaźnik spiętrzenia
ν	- stosunek średnic
ω	- prędkość kątowna
() ₁ , () ₂	- wielkości określone w przekroju wlotowym i wylotowym łopatek koła wirnikowego

LITERATURA

- [1] OTTE J., SZAFRANIEC R., WERBOWSKI T.: Pomiary charakterystyk przepływowych i akustycznych dmuchaw serii "K" i RSA. Praca nieopublikowana. Gliwice 1984.
- [2] WITKOWSKI A.: Typoszereg wielostopniowych dmuchaw promieniowych do instalacji oczyszczania ścieków. CPBR 5.9.2.04.04 etap I. Gliwice 1987. Praca nieopublikowana.

Recenzent:

Prof. dr hab. inż. Ryszard Wyszynski

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО
ДО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Резюме

В работе представлено результаты реконструкции проточной части семи-ступенчатого центробежного нагнетателя для подачи воздуха до биологической очистки сточных вод. Принимая во внимание непрерывный годичный характер работы этих нагнетателей начальном целью реконструкции было уменьшение энергоёмкости через повышение аэродинамического к.п.д. Результаты аэродинамического эксперимента модернизированного нагнетателя обнаружили что

основная перемена проточной не имела влияния на перемену параметров работы но одновременно привела к повышению её к.п.д.

MODERNIZATION OF FLOW SYSTEM OF MULTI STAGE RADIAL BLOWER
FOR BIOLOGICAL SEWAGE TREATMENT PLANT

S u m m a r y

The results of reconstruction of flow system of seven stage radial blower for biological sewage treatment plant has been presented. Taking to the consideration permanent, yearly character of work of that blowers, the main purpose of the modernisation was diminish of their energy consuming by rising of its aerodynamical efficiency.

Results of aerodynamical investigation of modernised blower has been shown that cardinal change of flow system didn't influences on change of work parameters but making at the same time rise of its efficiency.