

Grzegorz BOKOTKO

Zakład Urządzeń Techniki Powietrza „Radwent”, Radom

Stanisław FORTUNA

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych

## **BADANIA OSŁON WIRNIKA I WYRZUTNI DACHOWEJ WSPÓLPRACUJĄCYCH Z WIRNIKAMI PROMIENIOWYMI**

**Streszczenie.** Konstrukcje wentylatorów dachowych coraz częściej współpracują z różnego rodzaju osłonami i wyrzutniami dachowymi. Podyktowane to jest koniecznością odpowiedniego zabezpieczenia wirnika przed wpływami atmosferycznymi, skierowania strug zanieczyszczonych do wolnych przestrzeni atmosfery i obniżenia generowanego hałasu. Wymienione elementy konstrukcyjne wpływają na kształt charakterystyki przepływowej i akustycznej wentylatora dachowego. W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jaki kształt wirnika i wyrzutni dachowej pozwala osiągnąć dostatecznie wysoką sprawność.

## **RESEARCHES OF IMPELLER CASINGS AND ROOF EXTRACT UNIT COOPERATING WITH CENTRIFUGAL IMPELLERS**

**Summary.** Roof fans cooperate more and more frequently with various casings and roof extract unit which is caused by the necessity to protect the impeller against the atmospheric phenomena, to direct the pollution to free parts of atmosphere and to decrease the noise generated. The above mentioned elements, when introduced into the structure, change the flow and acoustic characteristics of a fan. The paper is an attempt to answer the questions concerning the shape of the impeller casing which would give satisfying efficiency and to present the performance of an impeller when cooperating with a roof extract unit of a particular aerodynamic shape.

## UNTERSUCHUNGEN DER ROTORSCHUTZHAUBEN UND DES AUSPUFFS ZUSAMMENARBEITENDEN MIT DEN RADIALRÄDERN

**Zusammenfassung.** Die Dachventilatoren arbeiten immer öfter mit verschiedenen Schutzhauben und Auspuffeinrichtungen zusammen, die vor den atmosphärischen Einflüssen schützen sollen, als auch zur Schallbekämpfung dienen. Diese Elemente beeinflussen die Akustische und Strömungscharakteristik des Dachventilators. Die Arbeit beantwortet die Frage, welche Form der o. e. Elemente weist die beste Effektivität auf.

### 1. WPROWADZENIE

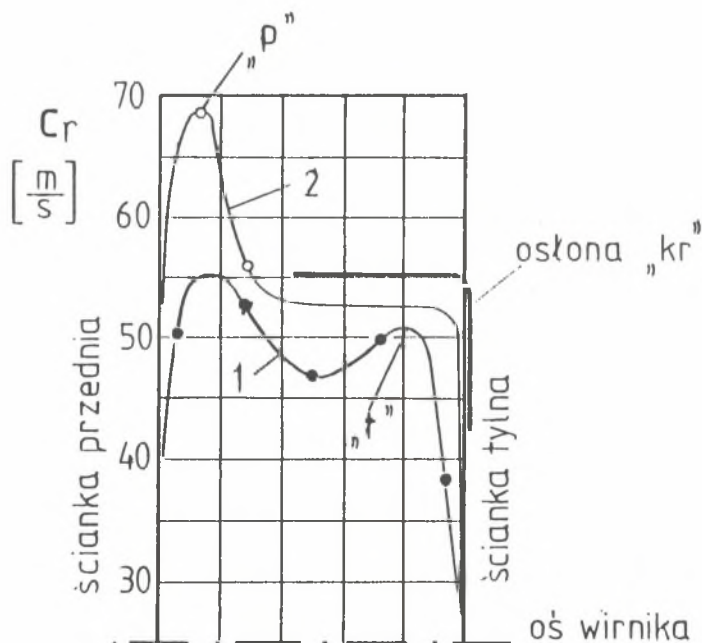
Rozpoznanie dzisiejszego rynku wentylatorowego wskazuje na wzrost zainteresowania wentylatorami dachowymi. Tendencje te wynikają z szybkiego rozwoju małych inwestycji przemysłowych średniego biznesu, w których z ekonomicznego punktu widzenia sensowne jest stosowanie sieci krótkich bazujących na małych, pojedynczych, często dachowych wentylatorach, rezygnując tym samym z budowania centralnych systemów wentylacyjnych. Zbudowanie małych instalacji opartych na wentylatorach dachowych wydaje się być wygodne i najtańsze. Oferta polskiego przemysłu w tym zakresie nie zabezpiecza w pełni potrzeb. Fabryki dostrzegły możliwości zbytu tego typu maszyn. Podjęły więc prace nad unowocześnieniem wentylatorów dachowych. Chodzi tu głównie o powiększenie śpiętrzeń, gdyż na krótkiej sieci odciągowej istnieje coraz częściej konieczność zainstalowania filtrów. Dalszym celem modernizacji są: obniżenie hałasu, zwiększenie niezawodności i żywotności z uwagi na niekorzystne warunki lokalizacji, uproszczenie technologii i obniżka kosztów produkcji z uwagi na tworzący się rynek konkurencyjny.

W artykule przedstawiono badania mające dać odpowiedź na pytanie, jak konstruować optymalne osłony zabezpieczające wirniki przed warunkami meteorologicznymi oraz wyrzutnie, których zadaniem jest skierowanie powietrza do wolnej i najdalszej przestrzeni atmosferycznej. Obydwa elementy konstrukcyjne oddziałują na parametry przepływowe wentylatorów oraz generowany hałas.

## 2. WPŁYW GAZU Z WIRNIKA DO WOLNEJ PRZESTRZENI

W wirniku wzrasta nie tylko ciśnienie statyczne, lecz również dynamiczne. Gaz wypływa z wirnika z prędkością znacznie większą od prędkości przed wirnikiem. Tory cząstek płynu idealnego są spiralami logarytmicznymi. W płynach rzeczywistych na skutek mieszania i nierównomierności rozkładów prędkości merydionalnych i obwodowych w przekrojach poprzecznych i podłużnych wirnika tory stają się innymi krzywymi przebiegającymi przestrzennie. Dotychczas nie udało się ich opisać matematycznie. Dlatego do rozwiązania zagadnień przepływu za wirnikiem należy wykorzystać metody eksperymentalne.

Na podstawie doświadczeń ustalono, że rozkłady promieniowych prędkości rzeczywistych są silnie zróżnicowane wzdłuż szerokości wirnika. W badaniach ITC [5] stwierdzono tuż za wirnikiem dwugarbny profil prędkości, który w odległości  $1,3 R_2$  od osi wirnika staje się profilem wypukłym. Przyjęto więc, że przepływ dopiero w tym miejscu jest uśredniony. W sprężarkach za



Rys. 1. Profile prędkości promieniowych w przekroju podłużnym wirnika z osłoną krótką „2” i bez osłony „1”

Fig. 1. Radial velocity profiles. Lengthwise section. 1 – rotor without casing, 2 – rotor with short casing

dostateczną odległość do wyrównania strumieni przyjmuje się  $R = (1,12 - 1,2) \cdot R_2$  [6], a więc mniejszą, co podyktowane jest koniecznością zachowania zawartości konstrukcji. Z powyższych uwag można wywnioskować, że optymalną odległością wyrównania strumieni za wirnikiem wentylatorowym będzie promień  $R = 1,3 R_2$  i w tym miejscu powinno się usytuować walcowy pierścień osłony ustawiony równolegle do krawędzi splywu łopatek. Ze względu na dwugarbny profil prędkości powstaje wątpliwość, czy długość walcowej części osłony powinna objąć jeden wierzchołek profilu, ten przy tarczy nośnej, czy całą szerokość wirnika, a tym samym obydwie wierzchołki profilu prędkości. Jeśli osłona będzie krótka, spowoduje zniszczenie garbu „t” na krzywej 1 oraz wzrost prędkości w wierzchołku „p” na krzywej 2, jak to przedstawiono na rysunku 1. Pojawienie się na profilu większego gradientu prędkości powoduje zwiększenie straty mieszania i obniżenie sprawności.

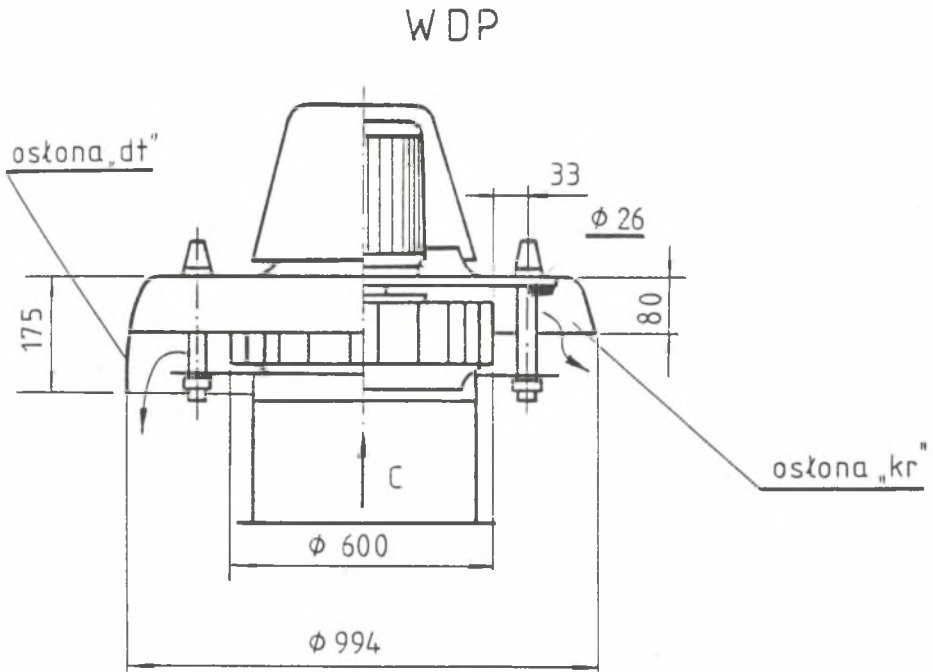
Oddziaływanie osłony wydłużonej może być korzystniejsze, gdyż powoduje zniwelowanie obu wierzchołków na profilu, a więc wyrównanie prędkości, przez co zmniejszają się straty energii na mieszanie i podwyższy sprawność wentylatora. Wobec braku podstaw teoretycznych opisujących omawiane zjawiska podjęto badania eksperymentalne osłon i wyrzutni w celu zweryfikowania podstawowej hipotezy.

### 3. PRZEDSTAWIENIE ZAKRESU BADAŃ

Badania polegały na wyznaczeniu charakterystyki przepływowej i przybliżonej charakterystyki akustycznej wentylatora WDP z dwoma osłonami oraz wentylatora WDPO z wyrzutnią i bez niej.

Wirnik promieniowy WDP jest nakryty płytą okrągłą na końcach zakrzywioną i przechodzącą w powierzchnię walcową o różnej długości. Jedna długość osłony wynosi 175 mm i tę osłonę nazwano długą, oznaczając przez „dł”, a w drugiej osłonie zwanej krótką „kr” długość powierzchni cylindrycznej wynosiła tylko 80 mm. Średnica powierzchni walcowych w obu przypadkach wynosiła 994 mm. Odległość pomiędzy krawędzią splywu łopatki wirnika a osłoną była równa prawie 200 mm.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat konstrukcyjny wentylatora WDP z dwoma rodzajami osłon. Osłony kierują strugi gazu wypływającego z wirnika ku powierzchni dachowej. Odpowiednio duże oddalenie wentylatora uzyskane dzięki zastosowaniu podstawy dachowej nie powoduje prawie żadnych strat uderzenia o powierzchnię. Straty w osłonach zachodzą natomiast na skutek zmiany kierunku przepływu strug oraz ich wzajemnego mieszania.

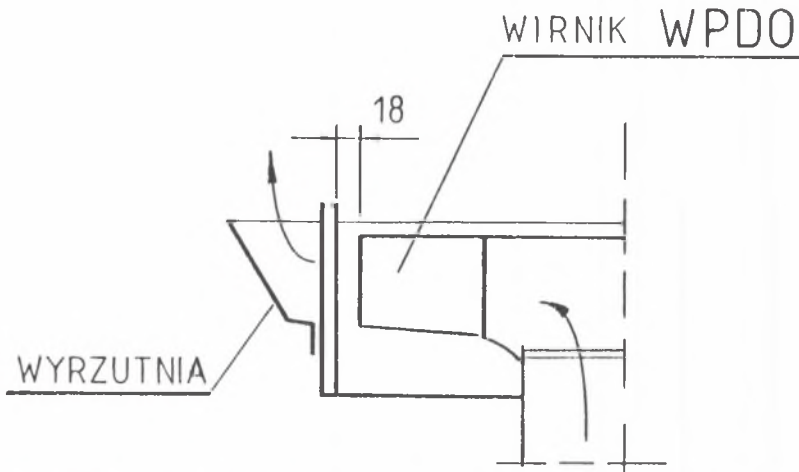


Rys. 2. Schemat konstrukcyjny wentylatora WDP z dwoma rodzajami osłon wirnika

Fig. 2. WDP fan scheme with two kinds of rotor casings

Wirnik WDPO 31,5 badano z wyrzutnią dachową, której schemat aerodynamiczny przedstawiono na rysunku 3, oraz bez tej wyrzutni. Z porównania wyników badań uzyskuje się dane o walorach wyrzutni. Obydwa wentylatory zaprojektowano tak, aby ich wskaźniki szybkobieżności nie pokrywały się ze wskaźnikami już produkowanych wentylatorów.

Pomiary wykonano zgodnie z odpowiednimi normami [1], [2], [3] na stanowisku z rurociągiem pomiarowym na ssaniu wyposażonym w dyszę ISA.



Rys. 3. Schemat konstrukcyjny wirnika WPDO 31,5 skojarzonego z wyrzutnią

Fig. 3. WDPO 31,5 scheme connected with extract unit

#### 4. OBLICZENIE CHARAKTERYSTYKI

W wentylatorach, które nie mają obudowy, charakterystykę spiętrzeniową oblicza się na podstawie ciśnień statycznych na ssaniu. To podejście przyjęto również dla przypadków, kiedy za wirnikiem znajdują się osłony lub wyrzutnie, gdyż w przypadku ich występowania trudno jest precyzyjnie określić prędkość gazu w przekroju za maszyną.

Tok obliczeń charakterystyki wykonuje się na podstawie następujących wzorów:

$$\left. \begin{array}{l} A_2 = \infty \\ c_2 = 0 \\ P_{c2} = P_b \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} A_1 \neq 0 \\ c_1 \neq 0 \\ P_{c1} = p_b - h_s \cdot \rho_{cm} \cdot g + 0,5 \cdot \rho \cdot c_1^2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\Delta P_c = P_b - P_b + h_s \cdot \rho_{cm} \cdot g - 0,5 \cdot \rho \cdot c_1^2 \quad (3)$$

Przyjmujemy, że  $c_1 = 0$ , wówczas spiętrzenie wentylatora wynosi:

$$\Delta P_c = \Delta P_{st} = h_s \cdot \rho_{cm} \cdot g \quad (4)$$

Wydajność obliczono ze wzoru:

$$\dot{V} = C \cdot \sqrt{\Delta h / \rho_1} \quad (5)$$

Sprawność wentylatora była równa:

$$\eta_i = \eta_w = \Delta p_{st} \cdot \dot{V} / N_w \quad (6)$$

gdzie:

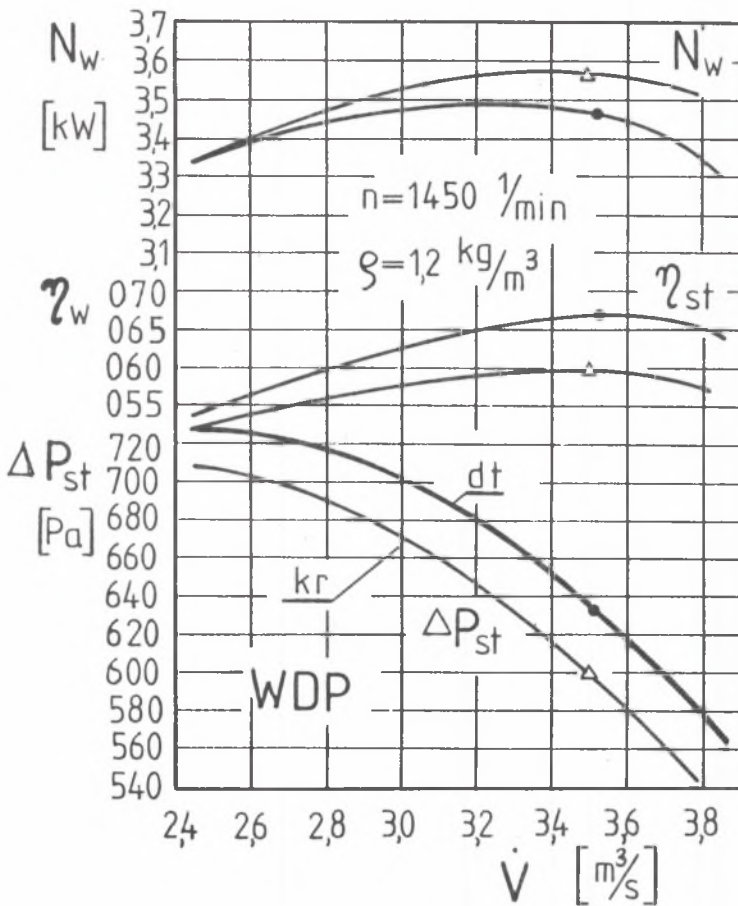
- c – prędkość powietrza,
- C – stała dyszy,
- A – pola przekrojów,
- $N_w$  – moc na wale równa mocy wewnętrznej (mierzona dynamometrem),
- $\Delta h$  – wysokość ciśnienia różnicowego na dyszy,
- $\rho$  – gęstość cieczy manometrycznej lub powietrza.

Indeksy

- c – całkowite,
- st – statyczne,
- 1,2 – dotyczy przekroju przed i za maszyną.

## 5. OMÓWIENIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW I WNIOSKI

Wyniki doświadczeń przedstawiono graficznie na wykresach. Na rysunkach 4, 5, 6 wykresy dotyczą wentylatora WDP i obejmują charakterystykę przepływową i akustyczną. Wentylator z osłoną długą uzyskuje wyższe sprawności i niższy hałas. Inne parametry i optymalne wskaźniki pracy zestawiono w tabeli 1. Widma akustyczne dla obydwu rodzajów osłon są do siebie bardzo podobne.



Rys. 4. Wyniki badań wpływu rodzaju osłony na osiągi przepływowe wirnika WDP

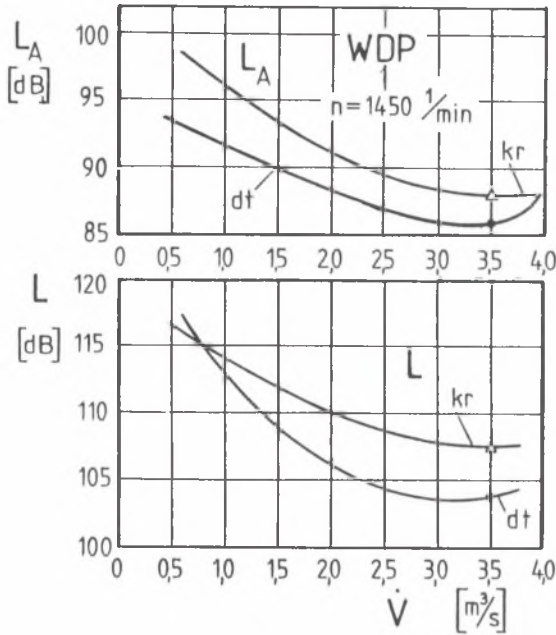
Fig. 4. Influence of kind of casing on WDP rotor flow performances

Wyniki badań drugiego wentylatora WPDO 31,5 zawierają wykresy na rysunkach 7, 8, 9. Wyrzutnia obniża sprawność i hałas. Wartości liczbowe parametrów optymalnych umieszczono w tabeli 1.

Z przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

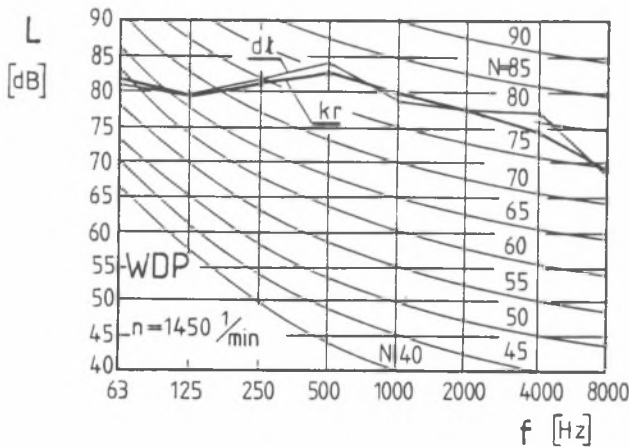
- z porównania dwóch rodzajów osłon powodujących kierowanie gazu ku powierzchni dachowej lepsze parametry uzyskuje się dla osłony długiej. Dotyczy to zarówno parametrów przepływowych, jak i akustycznych. Wy-





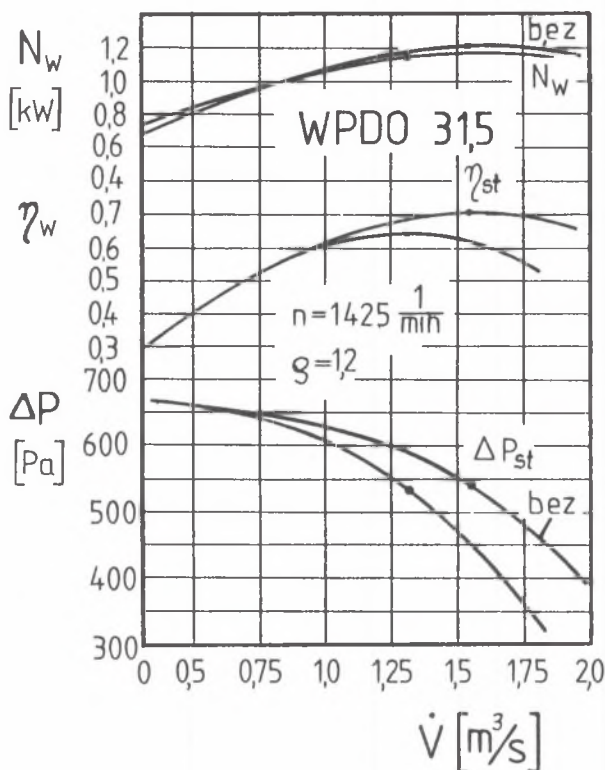
Rys. 5. Poziom ciśnienia akustycznego i dźwięku wyznaczone dla obydwu rodzajów osłon

Fig. 5. Acoustic pressure and sound level for two kinds of casing



Rys. 6. Widmo akustyczne w okolicach punktu optymalnego określone przy różnych osłonach

Fig. 6. Acoustic spectrum near optimum point for different casings

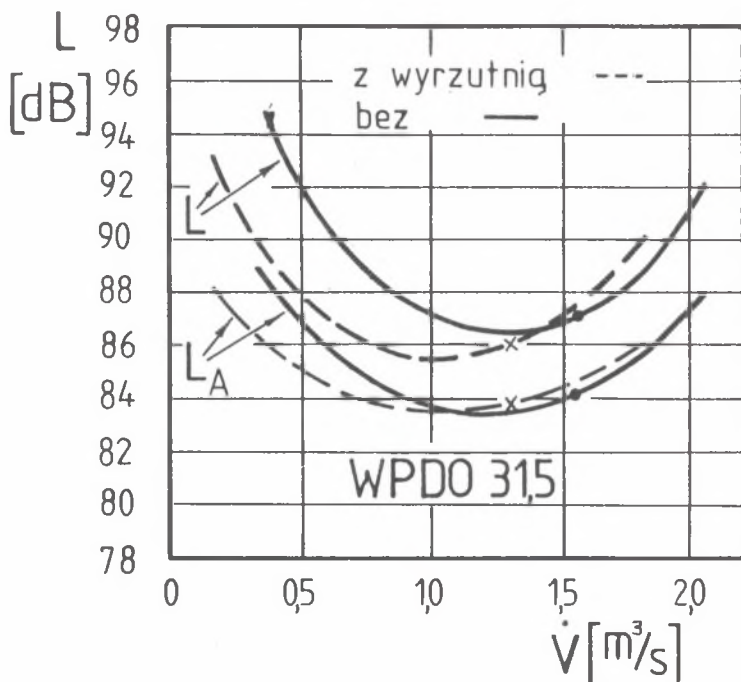


Rys. 7. Porównanie osiąągów wirnika WPDO 31,5 współpracującego z wyrzutnią i bez wyrzutni

Fig. 7. Comparison of WPDO 31,5 rotor flow performances cooperating with and without extract unit

niki uzasadniają sens stosowania osłony długiej, gdyż pozwala ona osiągnąć oszczędność energii do napędu o około 7 punktów sprawności;

- stosowanie za wirnikiem wentylatora dachowego wyrzutni o konstrukcji pokazanej na rysunku 3 powoduje spodziewane obniżenie sprawności o 6 punktów i nieznaczne obniżenie hałasu. Jednak z uwagi na kierowanie strumienia wydmuchowego do nieskończonej przestrzeni istnieje w pełni uzasadnione jej stosowanie;
- widmo hałasu nie zmienia się w sposób istotny przy stosowaniu osłon i wyrzutni za wirnikiem promieniowym w stosunku do hałasu samego wirnika, co potwierdza przypuszczenie o dominacji tzw. hałasu wirowania pochodzącego od przecinania strumienia na tulejach wsporczych silnika nad pozostałymi rodzajami generowanego dźwięku.



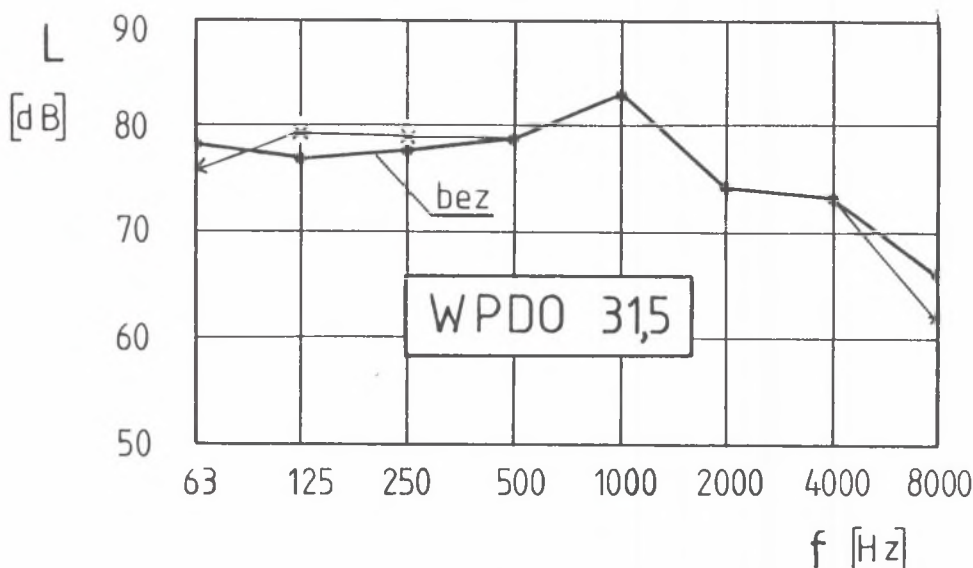
Rys. 8. Poziom ciśnienia i dźwięku wirnika WPDO 31,5 w dwóch układach konstrukcyjnych

Fig. 8. Pressure and sound level of WPDO 31,5 rotor in two constructional systems

Tabela 1

**Zestawienie parametrów przepływowych i akustycznych  
badanych wentylatorów WDP i WPDO 31,5**

Lp.	Nazwa parametru	WDP		WPDO 31,5	
		„dl”	„kr”	wyrzutnią	bez
1.	Wydajność $\dot{V}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	3,52	3,5	1,3	1,55
2.	Spiętrzenie stat. $\Delta P$ [Pa]	635	605	530	540
3.	Sprawność $\eta_{st}$ [-]	0,675	0,60	64,0	70,0
4.	Moc na wale $N_w$ [kW]	3,47	3,58	1,12	1,2
5.	Poziom ciśnienia $L$ [dB]	104	108	86	87
6.	Poziom dźwięku $L_A$ [dBA]	86	88	83,5	84,5
7.	Wskaźnik szybkobież. $\sigma$	0,86	0,858	0,59	0,64
8.	Liczba wydajności $\varphi$	0,27	–	0,18	–
9.	Liczba ciśnienia $\psi$	0,49	–	0,65	–



Rys. 9. Widmo akustyczne wirnika WPDO 31,5 pracującego w obydwu układach konstrukcyjnych

Fig. 9. Acoustic spectrum of WPDO 31,5 rotor working in two constructional systems

## LITERATURA

- [1] PN-65/M-53950. Pomiar za pomocą zwężek natężenia przepływu płynów.
- [2] PN/M-43010. Projekt normy. Pomiar charakterystyk na stoiskach.
- [3] PN-72/M-43120. Wentylatory. Metody pomiaru hałasu.
- [4] Fan Terminology. Eurovent 1/1 1985.
- [5] Kuczewski S.: Wentylatory. WNT, Warszawa 1978.
- [6] Sentek J.: Promieniowe maszyny przepływowe. Skrypt AGH, Kraków 1972.
- [7] Fortuna S.: Ćwiczenia laboratoryjne z wentylatorów i sprężarek. Skrypt AGH (w druku)
- [8] Fortuna S. inni: Przeprowadzenie pomiarów przepływowych i akustycznych wentylatora WDP. Praca nie publ. Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych AGH, Kraków 1993.
- [9] Fortuna S.: Przeprowadzenie badań przepływowych i akustycznych wentylatora WPDO 31,5. Praca własna, nie publ. Kraków 1993.

## Abstract

Roof fans structures cooperate with various types of casings and roof extract units more frequently than before. This is caused by the necessity of protecting the impeller against the atmospheric phenomena, to direct the pollution to free parts of the atmosphere and to decrease noise generation. The above mentioned elements, when introduced into the structure, change the flow and acoustic characteristics of a fan. This paper is an attempt to determine the most adequate shape of the impeller and roof extract unit to achieve considerably efficient performance.

The results of experiments entail the following conclusions:

- After comparing two types of casing directing the gas to the roof surface, better parameters were achieved for a long casing, with regard to both flow and acoustic parameters. Therefore the application of a long casing makes it possible to save the energy drive up to 7 points of energetic efficiency.
- The application of the roof extract unit illustrated in figure 3, placed behind the fan impeller, causes the expected decrease of efficiency by 6 points whereas the noise generated is decreased only slightly. But because the stream of pollution is directed far into outer space, the use of such units is relevant.