

Zygmunt WIERCIŃSKI  
IMP PAN, Gdańsk

## **NOWA SERIA WENTYLATORÓW OSIOWYCH MORSKICH DLA MFW "MAWENT" W MALBORKU**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono rezultaty prac badawczo-rozwojowych, których celem było zaprojektowanie i wdrożenie nowej serii wentylatorów osiowych morskich. Wentylatory te charakteryzują się standaryzacją wirników, wysoką sprawnością przy dobrym pokryciu pola pracy oraz o ponad 10 dB niższą hałaśliwością od serii wentylatorów produkowanych w MFW do 1990 r.

## **NEW SERIES OF AXIAL FLOW FANS FOR SHIPBUILDING INDUSTRY FOR MFW "MAWENT" IN MALBORK**

**Summary.** In this report the results of research and development of a new series of axial fans for shipbuilding industry are presented. This new series is characterized by the standarization concept of rotors, high efficiency in a wide range of volume flow rates and a noise level by 10 dB lower than that of the fan serian manufactured before.

## **NEUE REIHE DER AXIALEN VENTILATOREN IN SCHIFFBAU IN MFW "MAWENT" MALBORK**

**Zusammenfassung.** Dieser Bericht stellt die Ergebnisse der Untersuchung und Entwicklung der neuen Reihe der axialen Ventilatoren für Schiffbau. Die neue Reihe ist durch die Standarisierungskonzept der Rotoren, hohen Wirkungsgrad in breiten Bereich des Fördervolumens sowie auch über 10 dB niedrigeren Schallpegel in Vergleich zu der bis 1990 hergestellten Reihe gekennzeichnet.

## 1. WSTĘP

Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku podjął się w latach 1987–1990 zaprojektowania układu przepływowego nowej serii wentylatorów osiowych morskich dla Fabryki Wentylatorów "MAWENT" w Malborku. Nowa seria wentylatorów osiowych morskich powinna była zastąpić serię wentylatorów osiowych morskich produkowanych dotychczas w Fabryce Wentylatorów MAWENT. W skład tej serii wchodziło 8 wentylatorów od WOM – 1000/07 do WOM – 250/07 oraz trzy wentylatory WOM – 1000/06 do WOM 630/6. Wentylatory z rozszerzeniem 06 i 07 różniły się stosunkiem średnicy wewnętrznej do zewnętrznej wentylatora, odpowiednio  $v = 0,7$  i  $0,6$ .

Wentylatory używane są na statkach morskich najczęściej w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Pełnią one w zasadzie pomocniczą rolę w stosunku do systemów głównych, np. napędu statku. Koszt wentylatorów stanowi też niewielki procent kosztów ogólnych budowy statku.

Dobór wentylatora do sieci wentylacyjnej stanowi zwykle pewien problem inżynierski z powodu trudności z doбором gabarytów wentylatora przy zadanym spiętrzeniu, wydatku i zapotrzebowaniu mocy. Poważnym problemem może być ponadto poziom hałasu generowanego przez wentylator, zwykle uciążliwy dla załogi.

Projektowanie i konstrukcja wentylatorów osiowych nie nastręcza nawet części tych inżynierskich problemów jak projektowanie sprężarek o dużej wydajności i spiętrzeniu. Tym niemniej problemów nie brakuje i w tym przypadku, a do takich należą z pewnością obniżenie hałasu aerodynamicznego i mechanicznego, osiągnięcie wysokiej sprawności przy optymalnie dobranym sprzężu i wydatku, jak również obniżenie ciężaru wentylatora i kosztu jego wytwarzania.

Celem nowego projektu wentylatora było przede wszystkim osiągnięcie sprawności  $\eta > 0,80$  oraz obniżenie hałaśliwości wentylatorów, gdyż żaden z dotychczas produkowanych wentylatorów nie posiadał chyba nawet 1 klasy hałaśliwości.

## 2. PRZEGLĄD WENTYLATORÓW OSIOWYCH MORSKICH PRODUKOWANYCH DO 1990 ROKU W WMF

Seria (typoszereg) wentylatorów osiowych morskich produkowanych w MFW charakteryzował się następującymi skrajnymi punktami pola pracy:

wydatek objętościowy  $V = 0,2 \div 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  
spiętrzenie całkowite  $\Delta p_e = 250 \div 1200 \text{ Pa}$ .

Konstrukcja każdego wirnika przewidywała 6 różnych kątów ustawienia łopatek, co umożliwiła lepsze pokrycie charakterystyk przepływowych szeregu wentylatorów. Średnice zewnętrzne wentylatorów dobrane są wg szeregu liczb Renarda R10:  $D_z = 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 250$  i  $200 \text{ mm}$ . Średnice wirników wentylatorów dobrane wg zasady stałości stosunku średnicy wewnętrznej i zewnętrznej  $v = 0,7$ . Sprawności maksymalne dla wentylatorów o średnicach  $D_z = 200 \div 310$  wahały się w granicach  $\eta = 0,55 \div 0,73$ , dla wentylatorów o średnicach  $D_z = 400$  i  $500 \text{ mm}$   $\eta = 0,58 \div 0,70$  oraz dla wentylatorów o średnicach  $D_z = 630$  i  $800 \text{ mm}$   $\eta = 0,62 \div 0,71$ . Największe sprawności osiągnięto dla wentylatorów o średnicy  $D_z = 1000 \text{ mm}$  i wahały się one w granicach  $\eta = 0,76 \div 0,81$ . Sprawności  $\eta < 0,70$  należy uznać za niskie. Wentylatory te ponadto charakteryzują się dużą głośnością.

### 3. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE NOWEJ SERII WENTYLATORÓW OSIOWYCH MORSKICH

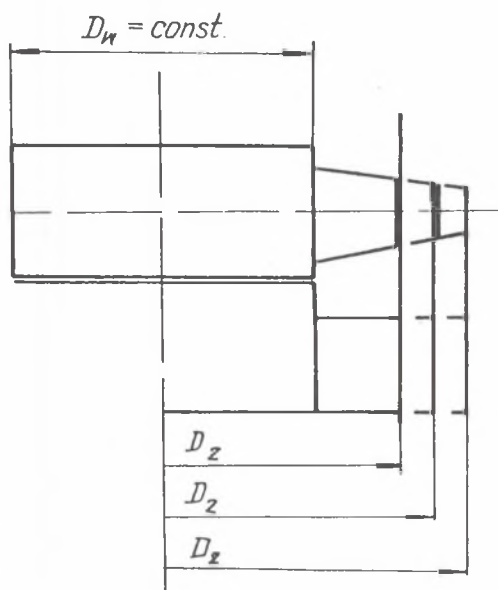
Rozeznanie przeprowadzone w kilku stocznicach polskich wskazywało na konieczność zagęszczenia nowej serii wentylatorów i oparcie średnic zewnętrznych wentylatorów na szeregu liczb normalnych R20, co powiększyło prawie dwukrotnie ilość wentylatorów w serii  $D_z = 1000, 900, 800, 710, 630, 560, 500, 450, 400$  w zakresie  $D_z = 1000 \div 400$  i pozostawiając dobór średnic zewnętrznych  $D_z < 400 \text{ mm}$  wg szeregu liczb Renarda R10. A więc dla  $D_z < 400 \text{ mm}$  nie zagęszczono nowej serii wentylatorów.

Przy wyborze średnic zewnętrznych wg liczb R20 przy pełnym zagęszczeniu serii nowa seria wentylatorów składałaby się z 15 wentylatorów.

Podstawową cechą nowej serii wentylatorów jest standaryzacja wirników, polegająca na ograniczeniu ilości produkowanych wirników wentylatorów w pierwszej wersji do pięciu, w drugiej wersji do ośmiu. Podobne ograniczenie dotyczy ma ilości łopatek wirnikowych i kierowniczych.

Standaryzacja ta polega zatem na jedno- lub dwukrotnym obcinaniu łopatek, przy zachowaniu stałej średnicy wewnętrznej wirnika i dopasowaniu ich do dwóch lub jednej dodatkowej obudowy o odpowiednio mniejszej średnicy. Zasadę standaryzacji wirników w przedstawiono na rys. 1. W pierwszej wersji mielibyśmy do czynienia z szeregiem wentylatorów o odpowiednich stosunkach średnic  $V = 0,5, 0,56$  i  $0,63$ , zaś w drugiej wersji  $V = 0,5$  i  $0,56$ .

Wyboru metody standaryzacji (2 lub 1 obcięcie) planowano dokonać po przebadaniu prototypu wentylatora WOM – 1000/50 i dwóch wentylatorów



Rys. 1. Koncepcja standaryzacji wirników

Fig. 1. Concept of rotors standarization

czo za duża. Zmniejszenie średnicy wirnika  $D_w$  i zmniejszenie ilości łopatek  $Z_w$  pozwoli na obniżenie masy części wirujących wentylatora, również na obniżenie masy całego wentylatora, a więc pozwoli na dokonanie oszczędności materiałowych.

otrzymanych przez kolejne obcięcie łopatek, a mianowicie WOM - 900/56 i WOM - 800/63. Taka koncepcja standaryzacji wirników wentylatorów nie jest nowością. Można ją znaleźć w [4], jak również wydedukować z katalogów firm zagranicznych. W proponowanej serii wentylatorów zdecydowano się na podstawowy stosunek średnic  $v = 0,5$  przede wszystkim ze względu na gabaryty silników elektrycznych. Założenie  $v = 0,5$  pozwoliłoby na skorzystanie z dotychczas stosowanych silników elektrycznych, z wyjątkiem  $D_z = 500$ , gdzie należałoby dobrać inny silnik. Obniżenie stosunku średnic pozwoli na obniżenie ilości łopatek wirnika przy zachowaniu tego samego napięcia całkowitego. Ilość łopatek,  $Z_w = 20$ , jaką dotychczas stosowano, wydaje się stanow-

#### 4. METODA PROJEKTOWANIA I DOBÓR PROFILI WIRNIKA

Charakterystyka zewnętrzna wentylatora jest zależna od doboru geometrii łopatek i ich profili wzdłuż łopatek oraz generalnie od metody projektowania. Zwykle przyjmuje się, że zasada "swobodnego wiru" jest wystarczająca do poprawnego zaprojektowania układu łopatkowego [4, 5, 6], chociaż projektowanie wg zasady "dowolnego wiru" wykazuje pewne korzyści w stosunku do zasady "swobodnego wiru". Przede wszystkim zasada "dowolnego wiru" za-

pewnia lepsze obciążenie łopatki wzdłuż jej całej długości, a w rzeczywistości w środku i w części wierzchołkowej, gdzie przepływ jest zwykle "zdrowszy", tzn. bez oderwań. W ten sposób w części wierzchołkowej łopatek uzyskuje się wyższe przyrosty ciśnień niż przy stopie łopatki.

Ponadto łopatka projektowana metodą "dowolnego wiru" ma mniejsze zwichrowanie niż łopatka projektowana metodą swobodnego wiru i mniejszy kąt odchylenia strumienia przy stopie łopatki. Zważywszy, że przy stopie łopatki najprędzej występuje oderwanie przepływu, zdecydowano się na projektowanie układu łopatkowego metodą "dowolnego wiru".

Łopatki wirnika są na wszystkich przekrojach profilowane. Od doboru właściwego profilu zależy jakość przepływu w wieńcu łopatkowym, występowanie oderwań przepływu przy obciążeniach nienominalnych, a również hałaśliwość wentylatora. W serii wentylatorów dotychczas produkowanych w MFW linię szkieletową stanowił łuk okręgu, zaś rozkład grubości na linii szkieletowej dany był rozkładem standardowym NACA 0010. Jednakże firmy produkujące wentylatory odchodzą od tak prostego konstruowania łopatek wentylatorów [6, 7]. Przede wszystkim dotyczy to linii szkieletowej, gdyż różnice w różnych rozkładach grubości są zazwyczaj niewielkie i nie decydują w zasadniczy sposób o jakości opływu profilu. R.A. Wallis proponuje zmodyfikowaną linię szkieletową z serii NACA 230XX lub jej modyfikację nazwaną w [6] serią profilów F i rozkład grubości znany w literaturze angielskiej jako C4. E. Hofler dobiera na linię szkieletową odcinki okręgu i stosuje profile o rozkładzie grubości wg serii profili NACA 65.

Dla nowo projektowanej serii wentylatorów osiowych morskich dla MFW zaproponowano nieco różną od rodziny profilów F [6] modyfikację profili z pięciocyfrowej rodziny profilów NACA 230XX. Profile te w zakresie (0, 0,15) długości cięciwy mają kształt linii szkieletowej jak profile serii NACA 230XX, zaś w zakresie (0,15, 1,0) mają kształt odcinka łuku okręgu. Maksimum strzałki ugięcia linii szkieletowej dla takiego profilu występuje dla  $x/c = 0,25$  od ugięcia linii szkieletowej dla profilu i występuje ono w tym samym punkcie jak dla profilów NACA 230XX. Taki kształt linii szkieletowej powinien zapewnić wzrost maksymalnej wartości współczynnika siły nośnej o około 0,15, a więc odsuwa występowanie oderwania przy większym obciążeniu profili, a zatem lepiej nadają się do projektowania łopatek metoda "dowolnego wiru", gdy projektuje się wyższe obciążenia łopatki niż w "metodzie swobodnego wiru". Według danych eksperymentalnych przedstawionych w [7] rozkład grubości profili wywiera niewielki wpływ na jakość opływu, a w szczególności na występowanie oderwania, stąd przy projektowaniu profili dla nowej serii wentylatorów użyto rozkładu D1 typowego dla profili rodziny NACA 230XX. Maksimum grubości profili dla rozkładu D1 znajduje się w odległości  $x/c = 0,3$  od krawędzi natarcia profili. Łopatki kierownicze wylotowe przewidziano nieprofilowane o linii szkieletowej będącej odcinkiem łuku okręgu.



## 5. METODOLOGIA OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH UKŁADU ŁOPATKOWEGO

### 5.1. Obliczenie geometrii układu łopatkowego

Obliczenia geometrii układów łopatkowych nowej serii wentylatorów przeprowadzono z wykorzystaniem metody podanej przez R.A. Wallisa [5, 6], wykonując obligatoryjnie obliczenia łopatkowe metodą “swobodnego wiru” oraz kilkanaście obliczeń metodą “dowolnego wiru”, wybierając do dalszych analiz układ charakteryzujący się najwyższą sprawnością dla ilości łopatek  $Z_w = 16$ . Obciążenie łopatek wzdłuż jej długości miało zwykle charakter pośredni pomiędzy rozkładem opisanym metodą “swobodnego wiru” a obciążeniem równomiernym wzdłuż długości [9]. Następnie obliczono kształt profili łopatkowych na kolejnych przekrojach (minimum 5) pomiarowych łopatki.

### 5.2. Obliczenia płaskiego potencjalnego przepływu przez palisady profilów

Po obliczeniu geometrii układu łopatkowego przeprowadzono obliczenia przepływu potencjalnego przez płaską palisadę profilów utworzoną przez przecięcie wieńca wirnikowego i jego wyprostowanie na płaszczyźnie. Obliczenia te przeprowadzono wg metody przedstawionej w [11] i powtórzonej w [12]. Metoda ta polega na zastąpieniu profili przez ciągły rozkład wirowości na profilu i obliczeniu rozkładu prędkości i ciśnienia za pomocą metod równań całkowych. Rezultaty tych obliczeń dla prototypu WOM 1000/50 przedstawiono w [10].

### 5.3. Obliczenie warstwy przyściennej i punktu oderwania przepływu na profilu

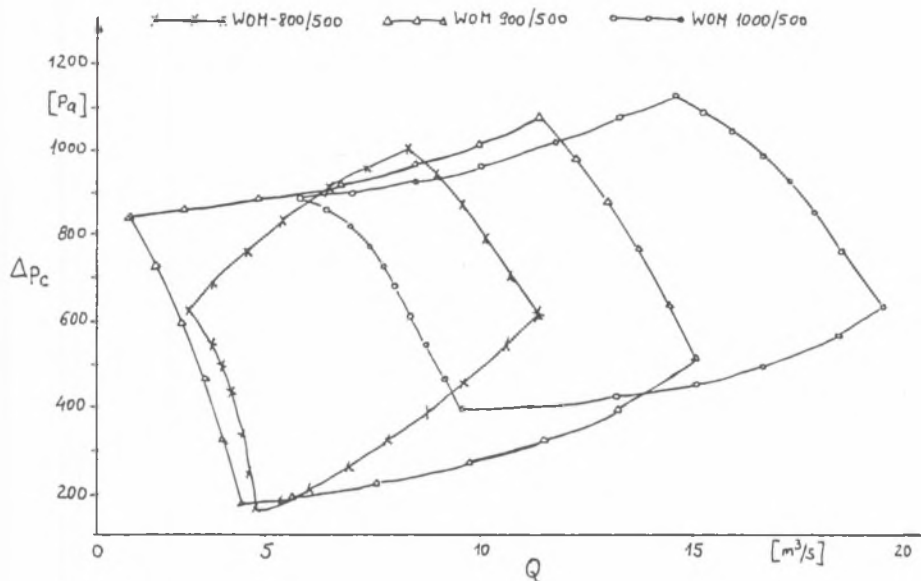
W ramach współpracy IMP PAN i Instytutu za Turbineskie Stroje, Lubljana, przeprowadzono obliczenia warstwy przyściennej dla profilu dla wentylatora WOM 1000/50 dla przekroju na średnicy podziałowej. Obliczenia te wykonano metodą Truckenbrodta i Gruschwitza [13] dla laminarnej i turbulენტnej warstwy przyściennej [16]. Wartość parametru  $L = -0,180$ , przy którym występuje oderwanie warstwy przyściennej, wystąpiło na ssącej powierzchni profilu dla  $x/c = 0,975$  od krawędzi natarcia, czyli w odległości  $x/c = 0,025$  od krawędzi spływu. Zatem oderwanie przepływu wystąpi – praktycznie rzecz biorąc – dopiero na krawędzi spływu, gdzie i tak następuje oderwanie przepływu, gdyż

zaczyna się tworzyć ślad spływowy z profilu. Rezultat tych obliczeń wskazuje, że przyjęta metoda projektowania zapewnia w zasadzie bezoderwaniowy opływ profili w palisadzie dla nominalnych warunków napływu na palisadę.

## 6. BADANIA EKSPERYMENTALNE PROTOTYPOW WENTYLATORÓW WOM – 1000/50, WOM–900/56 I WOM–800/63

Celem badań był pomiar charakterystyk zewnętrznych wentylatorów WOM–1000/50 oraz dwóch wentylatorów otrzymanych przez obcięcie łopatek WOM–900/56 i WOM–800/63. (Wentylatory te podczas prac badawczo – projektowych oznaczano odpowiednio WOM–1000/500, WOM–900/500 i WOM–800/500, gdzie podawano odpowiednio średnicę zewnętrzną i wewnętrzną wentylatora). Badania te [14, 15] przeprowadzono na stanowisku pomiarowym w MFW w Malborku. W rezultacie tych badań stwierdzono co następuje [14]: wentylator WOM–1000/50 osiągnął maksymalną sprawność  $\eta = 0,83$  przy wydajności  $Q = 13,7 \text{ m}^3/\text{s}$  i spiętrzeniu całkowitym  $\Delta p_e = 1010 \text{ Pa}$  i mocy  $N = 16,9 \text{ kW}$ ; skorygowany poziom ciśnienia akustycznego wentylatora z otwartym wylotem dla wentylatora pracującego w punkcie maksymalnej sprawności wynosił  $L_{pO} = 96,6 \text{ dB (A)}$ , co plasuje ten wentylator w drugiej klasie hałaśliwości wg PN–80/M–43122. Osiągnięty poziom hałasu był ponad 10 dB niższy od poziomu hałasu generowanego przez dotychczas produkowany wentylator WOM 1000/06. Nowy wentylator pokrywał takie samo pole charakterystyk zewnątrz przy mniejszej o 4 liczbie łopatek wirnika i przy sprawności w dużym zakresie większej od 80%. Wentylator WOM – 900/56 (z obciętymi łopatkami) [15] uzyskał maksymalne sprawności  $\eta = 0,805$  dla wydajności  $Q = 9,2 \text{ m}^3/\text{s}$  spiętrzeniu  $\Delta p_e = 868 \text{ Pa}$ . Dla kątów ustawienia łopatek 45 poziom hałaśliwości był niski i wentylator ten spełniał wymagania 2 klasy hałaśliwości wg PN. Niestety kolejne obcięcie łopatek, wentylator WOM–800/63, obniżyło już znacznie sprawność wentylatora  $\eta = 0,74 < 0,80$ , stąd też ten wentylator nie spełnił założeń projektowych, a ponadto jego pole pracy pokrywało się z polem pracy wentylatora WOM–900/56 [15]. Na rys. 2 przedstawiono pole pracy tych trzech wentylatorów [15].

Zatem badania przedstawione w [14, 15] doprowadziły do wyboru metody standaryzacji wirników nowej serii wentylatorów przez jednokrotne obcinanie łopatek. Wentylator z dwukrotnie obciętymi łopatkami wykazywał sprawność poniżej założeń projektowych. Do dalszych prac projektowych przyjęto zatem metodę standaryzacji wirników polegającą na jednokrotnym obcinaniu o ok. 10% łopatek wirnika. Układ przepływowy wentylatora WOM–800/50 zaproje-



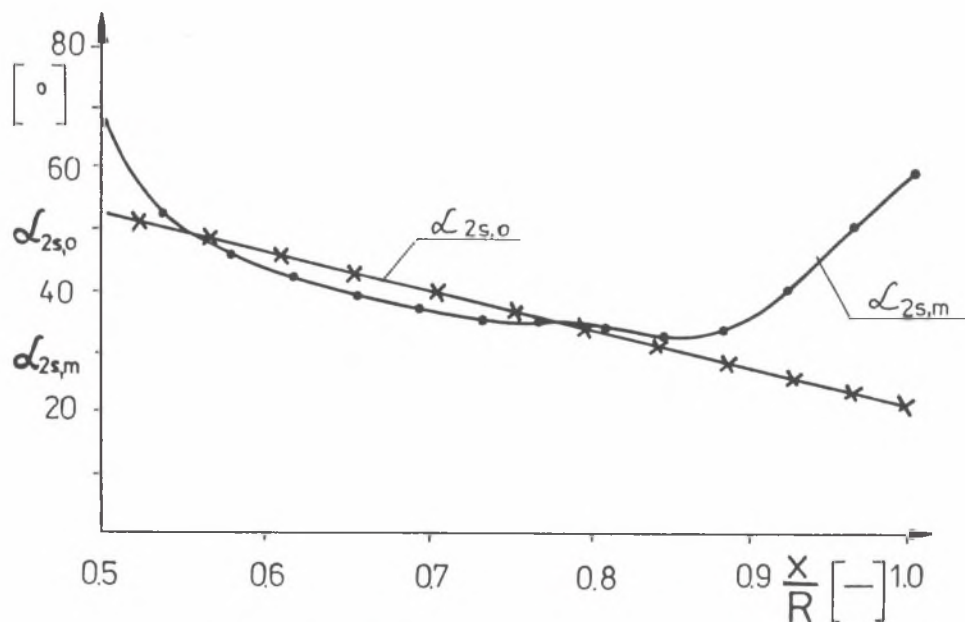
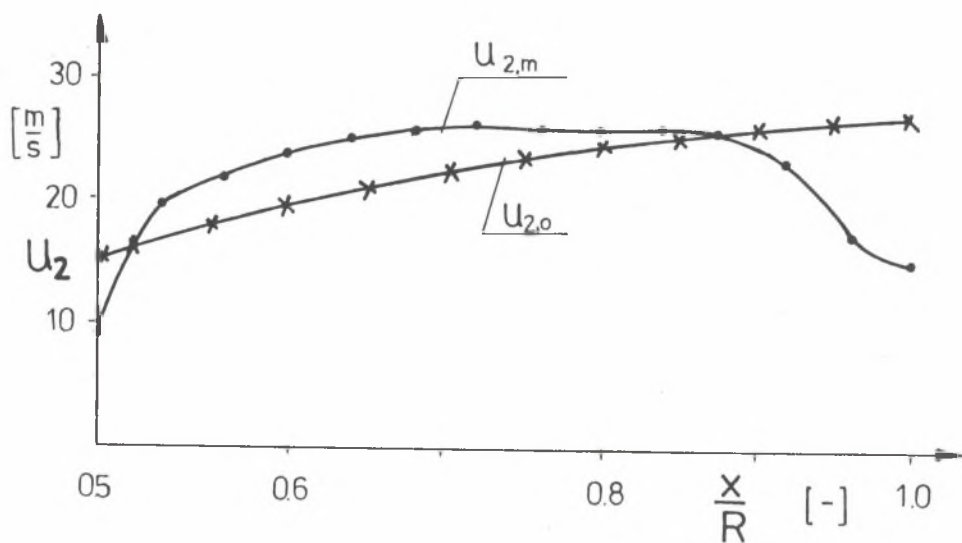
Rys. 2. Pole pracy trzech wentylatorów o standaryzowanych układach łopatkowych

Fig. 2. Working field for three fans with standardized blades configuration

ktowano ponownie, uzyskując sprawność już powyżej 80% i klasę hałaśliwości 1 dopuszczającą wentylator do eksploatacji.

Oprócz badań charakterystyki zewnętrznej wentylatorów WOM-1000/50 do WOM-800/63 przebadano również profile prędkości za wirnikiem i kierownicą wentylatora WOM-100/50 [16]. Celem tych badań była weryfikacja metody projektowania przez porównanie obliczeń i eksperymentalnych rozkładów prędkości za wirnikiem i kierownicą wentylatora. Na rys. 3 a i b przedstawiono rezultaty pomiarów rozkładu prędkości  $u_2$  za wirnikiem wentylatora ( $u_{20}$  - obliczeniowej,  $u_{2m}$  - zmierzonej) oraz kąta wypływu  $\alpha_{2s,0}$  obliczeniowego i  $\alpha_{2s,m}$  zmierzonego. Widać dobrą zgodność obliczeń i pomiarów. Badania te potwierdziły w zasadzie metodę projektowania.





Rys. 3. Rozkład prędkości przepływu obliczeniowej i mierzonej oraz kąta wypływu z wirnika obliczonego i mierzonego za wieńcem wirnika wentylatora WOM 1000/50

Fig. 3. Velocity distributions: (computational) and (measured) and inlet angles: (computational and (measured) behind blade-ring

## 7. WNIOSKI KOŃCOWE

W latach 1987 – 1990 w IMP PAN w Gdańsku i w MFW w Malborku w ramach CPBR 11.2.63 zaprojektowano i wdrożono do produkcji w 1992 serię nowych wentylatorów osiowych morskich. Główną zaletą nowej serii jest standaryzacja wirników, co pozwoliło zwiększyć ilość wentylatorów (WOM-900/56, WOM-710/56 itp.) w serii przy nieziennej ilości układów łopatkowych. Standaryzacja ta polega na obcinaniu łopatek o około 10% przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej sprawności tak otrzymanego wentylatora i dobrym pokryciu pola pracy.

Wentylatory nowej serii charakteryzują się ponadto niższym o ponad 10 dB poziomem hałasu w stosunku do wentylatorów dotychczas produkowanych.

Wentylatory nowej serii pokrywają to samo pole pracy przy mniejszej o 4 liczbie łopatek wirnika, jak i łopatek kierownicy. Obniża to masę wentylatorów i koszty ich produkcji.

## LITERATURA

- [1] Malborska Fabryka Wentylatorów, Dokumentacja techniczno-ruchowa wentylatorów osiowych typu WOMR i WOMB, Malbork 1971.
- [2] Klimawet: Wentylatory, T.1 Wentylatory osiowe. WEMA, Warszawa 1980.
- [3] Höfler E.: Rozwoj nowe generacije aksijalnih ventilatorov, VII Inf. Symp. Exh. on Heat, Refrigerating and Air-Conditioning, Zagreb 1985.
- [4] Kuczewski S.: Wentylatory, WNT, Warszawa 1987.
- [5] Wallis R.A.: Axial Flow Fans, G. Newness, London 1961.
- [6] Wallis R.A.: Axial Flow Fans and Ducts, J. Wiley & Sons, New York 1983.
- [7] Wallis R.A.: Blade Section Design for Axial Flow Fans, Conf. Fan Technology and Practice, London 1972.
- [8] Riegels F.W.: Aerodynamische Profile. R. Oldenburg, München 1958.
- [9] Wierciński Z.: Założenia techniczne nowej serii wentylatorów osiowych morskich, IMP PAN 69/87, Gdańsk 1987.
- [10] Wierciński Z.: Projekt układu przepływowego wentylatora osiowego 1000/500 IMP PAN, 243/87, Gdańsk 1987.
- [11] Lienhart W.: Berechnung der instationären Strömung durch gegeneinander bewegte Schaufelgitter und der Schaufelkraftschwankungen, VDI – Forschungsheft 562, 1974.

- [12] Wierciński Z.: Założenia i schemat blokowy programu obliczającego quasi-stacjonarne oddziaływanie palisad w ruchu względnym Opr. Nr 137/87, IMP PAN, Gdańsk 1987.
- [13] Schlichting H.: Grenzschrift – Theorie, G.Braun, Karlsruhe 1961.
- [14] Tomaszewski K. i in.: Badania prototypowe wentylatora osiowego morskiego typu WM-1000/500, Opr. BW1/130, BAROWENT, Malbork 1988.
- [15] Tomaszewski K. i in.: Badania prototypowych wentylatorów osiowych morskich WOM-800/500 i WOM-900/500, Opr. BW1/139, Barowent, Malbork 1989.
- [16] Wierciński Z. i in.: Pomiary rozkładów prędkości powietrza za wirnikiem i kierownicą prototypu wentylatora osiowego WOM-1000/500, Opr. Nr 207/89, IMP PAN, Gdańsk 1989.

## Abstract

In this report the results of research and development of a new series of axial fans for shipbuilding industry are presented.

These fans are generally used in air conditioning and ventilation systems they fulfil the auxiliary role. Their cost is rather low comparing to the total cost of the ship. The fan selection is a problem, because of the difficulties with the dimensions for given pressure, volume and power. Noise level could also be a problem. The designing and construction of axial fans is rather easy comparing to high-pressure and high-volume compressors. Other problems are, for example the decrease of aerodynamic and mechanical noise, high efficiency for optimum pressure and volume and the decrease of weight and costs of production.

This new fan series is characterized by the standardization concept of rotors, high efficiency in a wide range of volume flow rates and the noise level lower by 10 dB than of the fan series manufactured before.