

Andrzej Witkowski  
Joachim Józef Otte

ANALIZA WPŁYWU WSKAŹNIKÓW KINEMATYCZNYCH I KONSTRUKCYJNYCH  
NA UKSZTAŁTOWANIE POWIERZCHNI ŁOPATEK, SPRĘŻAJĄCYCH KÓŁ WIRNIKOWYCH  
Z MERYDIONALNYM PRZYSPIESZENIEM STRUMIENIA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodę analizy doboru najkorzystniejszych z punktu widzenia własności przepływowych i technologicznych, bezwymiarowych wskaźników kinematycznych i konstrukcyjnych kół wirnikowych z płaszczyzną stożkową i cylindryczną osłoną zewnętrzną.

Wykorzystując wyniki wcześniejszych przeprowadzonych badań [10] [9], opracowano program obliczeń przyprływowych kół wirnikowych na maszynie cyfrowej i przeanalizowano własności szeregu konstrukcji.

W rezultacie przeprowadzonej analizy, wybrano do dalszych badań trzy konstrukcje wirników podstawowych, charakteryzujących się małym przestrzennym zwichrowaniem łopatek. Obszary pracy rodziny wentylatorów opartej o wyłonione modele, porównano z obszarami pracy produkowanych w kraju wentylatorów przemysłowych typu reakcyjnego.

## 1. Wstęp

Niektóre korzystne własności wentylatorów z merydionalnym przyspieszeniem strumienia, takie jak wysokie wskaźniki spiętrzenia prostota regulacji i mała głośność pracy, uzasadniają celowość szerszego zainteresowania się nimi i ewentualnego wdrożenia do praktyki przemysłowej.

Przeszkodę stanowią nie opanowane dotychczas wady tych urządzeń, takie jak bliskość punktu maksymalnej sprawności do granicy oderwania, mała reakcyjność sprawiająca, że występują istotne trudności z doborem wysokosprawnego dyfuzora i kierownicy tylnej, niekorzystna charakterystyka mocy jak również brak miarodajnej metody obliczeń aerodynamicznych tych wentylatorów i skomplikowany, przestrzenny, trudny technologicznie kształt łopatek kół wirnikowych.

Wychodząc na przeciw tym trudnościom, opracowano, wykorzystując wyniki wcześniejszej przeprowadzonej analizy teoretycznej i badań modelowych [10], metodę obliczeń aerodynamicznych wieńców sprężających z merydionalnym przyspieszeniem strumienia [5]. Aktualnie prowadzone badania zmierzają do opracowania konstrukcji nadającej się do produkcji przemysłowej.

Zmniejszenie dyfuzorowości kanałów międzyłopatkowych przez zastosowanie przyspieszenia strugi, umożliwia projektowanie wirników wentylatorów z merydionalnym przyspieszeniem strumienia dla wysokich wskaźników spiętrzenia. Powoduje to jednakże znaczne przestrzenne zwichrowanie powierz-

ni łopatek. Podstawowym problemem przy projektowaniu wirników jest więc takie dobranie wskaźników geometrycznych, by przy możliwie wysokich wskaźnikach spiętrzenia i wydajności, uzyskać łopatki proste, łatwe do wykonania. Na ostateczny kształt łopatek ma wpływ w szczególności dobór stosunku średnio na wlocie i wylocie, liczba łopatek, dobór wskaźników spiętrzenia i wydajności oraz kształtu szkieletowych profili na poszczególnych promieniach począwszy od płasty do osłony zewnętrznej.

Biorąc pod uwagę znaczną liczbę zmiennych mających wpływ na ostateczne ukształtowanie powierzchni łopatek i związaną z tym znaczną liczbę pracochłonnych obliczeń, opracowano metodę dogodną do wykorzystania EMC.

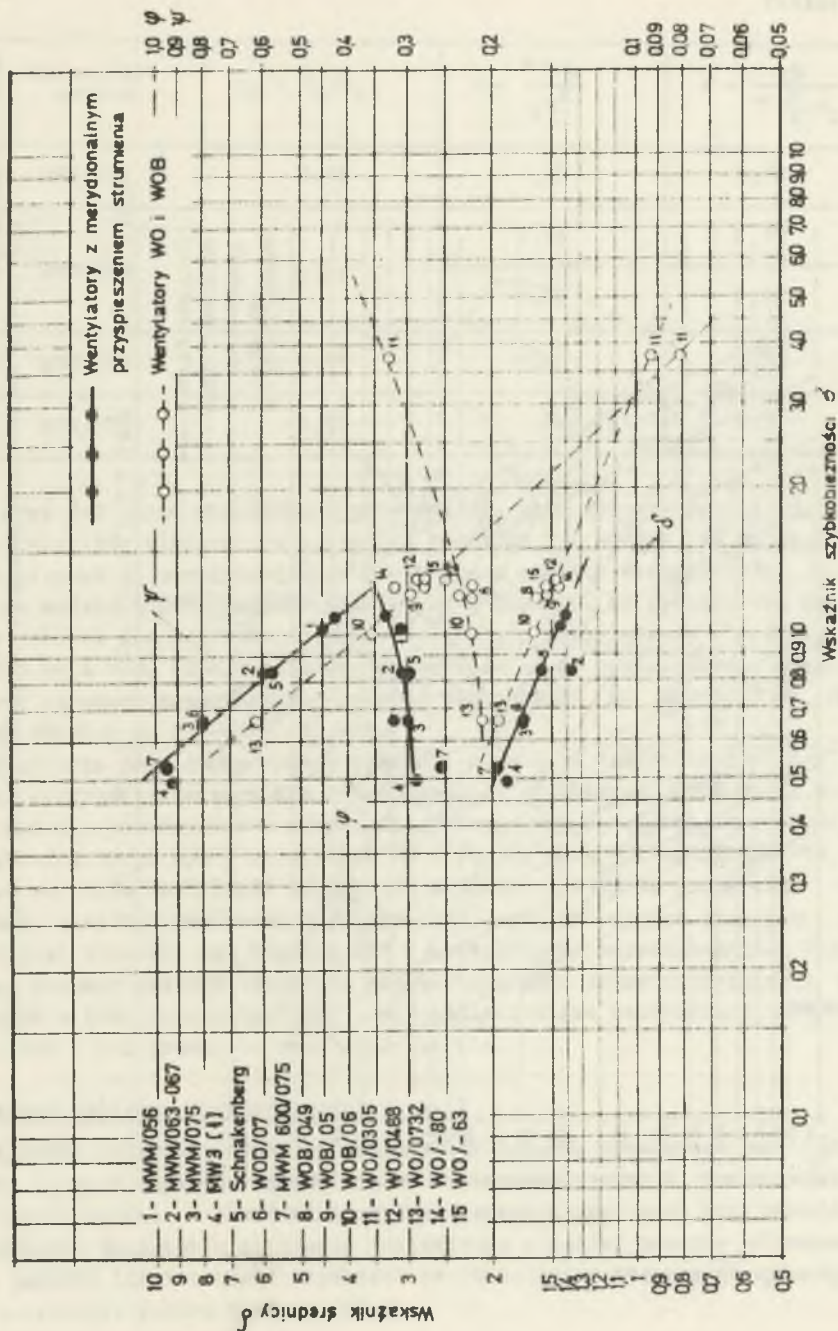
## 2. Dobór podstawowych wskaźników kinematycznych i geometrycznych kół modelowych

Dobór wskaźników geometrycznych i kinematycznych przeprowadzono, stosownie do wymaganego zakresu pracy, po dokonaniu analizy szeregu konstrukcji wentylatorów z merydionalnym przyspieszeniem strumienia [1], [2], [7], [9]. W tabeli 1 oraz na rysunku 1 zestawiono wskaźniki bezwymiarowe wentylatorów merydionalnych, jak również osiowych reakcyjnych szeregu WO i WOB [3]. Umożliwiło to dodatkowo ocenę wentylatorów merydionalnych na tle stosowanych obecnie wentylatorów reakcyjnych. Z przedstawionego zestawienia wynika, że konstrukcje wentylatorów z merydionalnym przyspieszeniem strumienia charakteryzują się w całym porównywanym obszarze pracy korzystniejszymi wskaźnikami bezwymiarowymi. Osiągają one wyższe wskaźniki wydajności  $\varphi$ , wyższe wskaźniki spiętrzenia  $\psi$  oraz niższe wskaźniki średnicy  $\delta$ . Charakteryzują się przy tym niższymi wskaźnikami szybkobieżności.

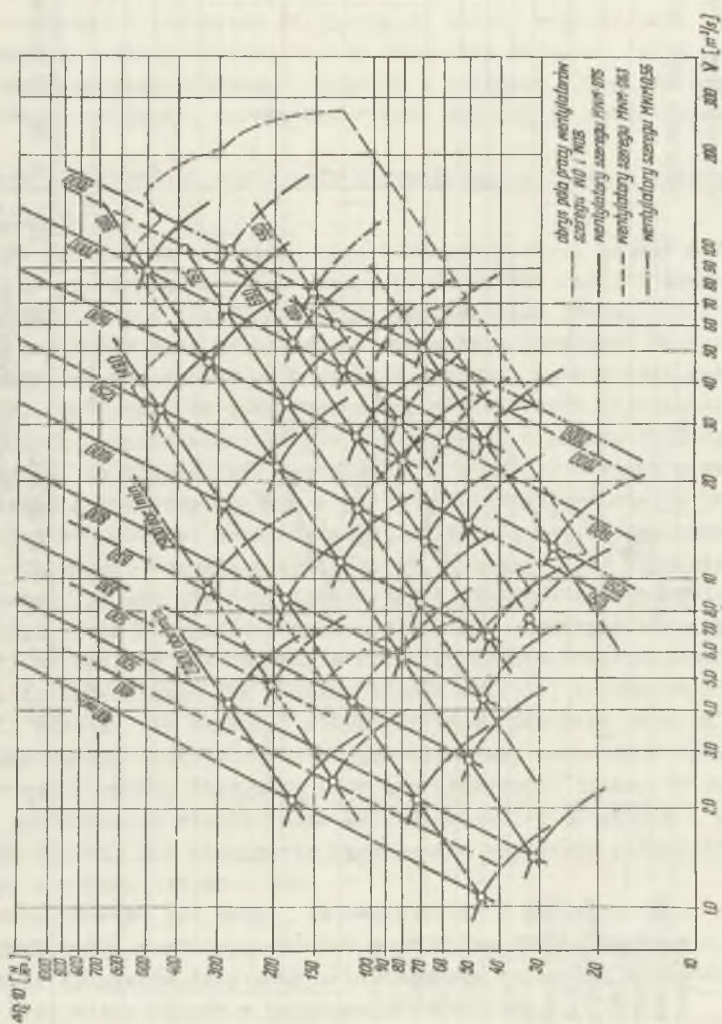
Z porównania wentylatora osiowego WO/0732 z wentylatorem merydionalnym MWM/075 wynika, że dla uzyskania w tym pierwszym takiego samego przyrostu ciśnienia całkowitego jak w wentylatorze MWM/075, konieczne byłoby zastosowanie o około 14% większej liczby obrotów. Związane jest to ze wzrostem głośności pracy wentylatora i pogorszeniem się warunków wytrzymałościowych pracy wirnika. Otrzymana przy tym wydajność byłaby o 30% mniejsza niż w porównywanym wentylatorze merydionalnym. W przypadku wentylatorów szeregu WOB/06, dla otrzymania tego samego przyrostu ciśnienia, obroty musiałyby wzrosnąć blisko o 50%.

Biorąc ponadto pod uwagę, że wentylatory z merydionalnym przyspieszeniem strumienia posiadają wirniki z mniejszą liczbą łopatek i o większej prostocie wykonania, uzyskamy potwierdzenie celowości szerszego zastosowania tych wentylatorów w praktyce przemysłowej.

W wyniku przeprowadzonej analizy przyjęto do dalszych badań cztery podstawowe modele z wirnikami o tworzącej stożkowej i cylindrycznej osłonie zewnętrznej. Parametry modeli zestawiono w tabeli 2. Ze wzrostem stosunku średnio na wlocie wirnika rośnie również dopuszczalny wskaźnik spiętrzenia wentylatora przy jednoczesnym zmniejszeniu przestrzennego zwichrowania łopatek. Obniża się przy tym jednakże sprawność maksymalna wentylatora.



Rys. 1. Kinematyczne wskaźniki bezwymiarowe wentylatorów osiowych merydionalnych i reakcyjnych



Rys. 2. Obszar pracy projektowanych wentylatorów merydionalnych

Tablica 1

Lp.	Oznaczenie modelu	$v_2 = D_2/D_1$	$\psi = \frac{2 \Delta p_c}{\rho u_2^2}$	$\phi = \frac{2\dot{V}}{\pi D_2^2 \cdot u_2}$
1	MWM/056	0,56	0,45	0,32
2	MWM/063	0,63	0,54	0,32
			0,6	0,32
3	MWM/067	0,67	0,6	0,31
4	MWM/075	0,75	0,8	0,3

Biorąc pod uwagę przydatność przemysłową, przy wyborze modeli podstawowych wirników kierowano się również zakresem parametrów ich pracy.

Na rysunku 2, przedstawiono obszary pracy rodziny wentylatorów opartych na modelach MWM-056, MWM-063-067 oraz MWM-075. Na rysunek ten nanieśiono ponadto dla porównania zakres pola pracy wentylatorów reakcyjnych szeregu WO i WOB. Wymaganą zmianę parametrów pracy wentylatorów merydionalnych uzyskano przez zmianę średnicy zewnętrznej od 400-2000 mm oraz liczby obrotów od 490-2900 obr/min.

Przewiduje się, że najwyższy przyrost ciśnienia wynoszący  $5050 \text{ N/m}^2$  wytworzy wentylator szeregu MWM-075 o średnicy zewnętrznej 2000 mm i obrotach 980 obr/min (rys. 2), co odpowiada prędkości obwodowej na średnicy zewnętrznej 102,5 m/s i wydajności  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tę samą wartość przyrostu ciśnienia uzyskuje wentylator szeregu WO o średnicy 1700 mm i obrotach 1480 obr/min, przy wydajności  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ . Prędkość obwodowa wynosi przy tym 124 m/s i jest przeszło 20% większa niż w wentylatorze merydionalnym. Wentylatory rodziny MWM/075 dodatkowo rozszerzają pole pracy wentylatorów rodziny WO o trzy wysokoobrotowe i wysokociśnieniowe wentylatory MWM/075/400, 500 i 630 pracujące przy 2900 obr/min.

### 3. Metoda obliczeń wirników modelowych

Algorytm obliczeń kształtu powierzchni łopatek opracowano przy założeniu, że ruch czynnika odbywa się na osiowoosymetrycznych powierzchniach stożkowych zgodnie z zasadami przepływu potencjalnego oraz przy założeniu jednakowych przyrostów ciśnienia całkowitego w każdej strudze elementarnej. Rozkład linii prądu i prędkości merydionalnych wyznaczono wykorzystując zależności podane w pracy [6].

Tablica 2

Lp.	Typ wentylatora	Stosunek średnic	Liczba łopatek	Wskaźnik wydajności	Wskaźnik spierzenia	Wskaźnik szybkobieżności	Wskaźnik średnio	Sprawność	Uwagi
		$v_2 = \frac{d_1}{D_2}$	$z$	$\phi$	$\psi$	$\sigma$	$\delta$	$\eta$	
1	WM/056	0,56	9-12	0,32	0,45	1,03	1,447	0,84	parametry
2	WM/063-067	0,63-0,67	9-12	0,32	0,54-0,6	0,832	1,371	0,82	przewidywane
3	WM/075	0,75	9-12	0,28-0,3	0,8	0,648	1,725	0,8	
4	WM3	0,7	12	0,28	0,92	0,947	1,85	0,81	WG pracy [1]
5	Schnakenberg	0,56	7	0,3	0,578	0,826	1,59	0,85	
6	WOD/07 Chem Śląski	0,7	12	0,31	0,6	0,658	1,705	0,86	
7	WMW 600/075 Pol. Śląska	0,75	12	0,257	0,954	0,525	1,95	0,79	wentylator modelowy
8	WOB	0,49	16	0,168	0,22	1,18	1,62	0,84	
9	WOB	0,5	16	0,234	0,297	1,2	1,54	0,875	
10	WOB	0,6	16	0,22	0,355	1,01	1,64	0,82	
11	WO	0,305	16	0,327	0,081	3,76	0,93	0,835	
12	WO	0,498	16	0,25	0,286	1,29	1,47	0,835	
13	WO	0,752	24	0,21	0,62	0,66	1,94	0,82	
14	WOK-80	0,5	16	0,274	0,317	1,24	1,45	0,85	
15	WOK-65	0,555	16	0,22	0,277	1,24	1,54	0,82	

Stosownie do tego rozkład bezwymiarowych prędkości merydionalnych w płaszczyźnie krawędzi wlotowej wirnika, odniesionych do prędkości obwodowej  $u_2$ , oblicza się z zależności

$$\bar{v}_{1m} = \frac{\varphi}{2 \sqrt{k^{-2} + (1-v)^2} \left[ \varphi_0 - \sqrt{k^{-2} + (1-v)^2} (1 - \cos \varphi_0) \right]}, \quad (1)$$

gdzie  $k = \operatorname{tg} \varphi_0 / (1 - v_1)$ .

Rozkład bezwymiarowych prędkości merydionalnych na wylocie oblicza się z zależności

$$\bar{v}_{2m} = q \frac{\varphi}{1 - v_2^2} \cdot v^{\frac{m^2}{m^2+1}} \left[ m^2 (1-v)^2 + 1 \right]^{\frac{m^2+2}{2(m^2+1)}} \exp \left[ \frac{m}{m^2+1} \operatorname{arctg}(v-1) \right], \quad (2)$$

gdzie  $m = \operatorname{tg} \varphi_0 / (1 - v_2)$ , natomiast  $q$  jest oznaczonym przez  $q$  z równania ciągłości,

$$q = \frac{1 - v_2^2}{\int_{v_2}^1 2 \cdot \bar{c}_z(v) \cdot dv}. \quad (3)$$

Składowe obwodowe prędkości bezwzględnej na wylocie wyznaczono z zależności

$$v_{2u} = \frac{\Delta p}{Q \cdot u_{2n} \cdot \eta} \quad (4)$$

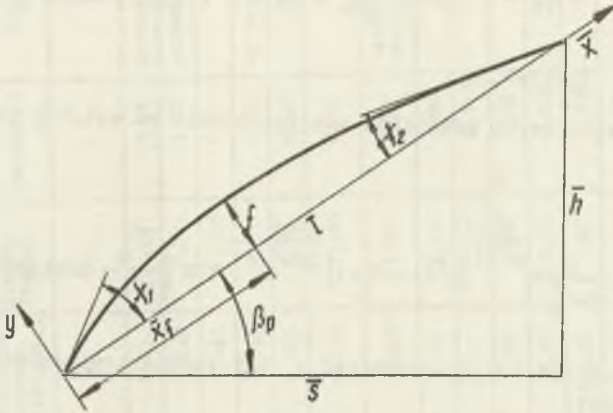
lub w postaci bezwymiarowej

$$\bar{v}_{2u} = \frac{\varphi}{2 \varphi \cdot v_{2n}}.$$

Kąty określające kierunek strugi względem osi wirnika w płaszczyźnie stycznej do stożkowej powierzchni prądu obliczone są z zależności

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= \operatorname{arctg} \frac{u_1}{v_{1n}} \\ \vartheta_2 &= \operatorname{arctg} \frac{u_2 - v_{2u}}{v_{2n}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Szkieletowe łopatek określono na osiowosymetrycznych powierzchniach prądu po uprzednim odwzorowaniu ich na płaszczyźnie pomocniczej. W płaszczyźnie tej wyznaczono również kąty natarcia i odchylenia strug wirnika od powierzchni łopatek [rys. 3].



Rys. 3. Geometria szkieletowej profilu łopatek

Do obliczeń kąta natarcia zastosowano odpowiednio przystosowaną formułę Komarowa [4] uzależniającą wartość tego kąta od gęstości palisady  $t/l$ , kąta wygięcia szkieletowej profilu  $\phi$  i współrzędnej maksymalnej strzałki ugięcia  $x_f$

$$i = 4,5 - 0,3 \phi + t/l [1 - 4(x_f - 0,45)] \quad (8)$$

Kąt odchylenia strugi w płaszczyźnie krawędzi wylotowej łopatek wyznaczono stosując metodę Howella, która zgodnie z wynikami badań przedstawionymi w pracy [9] daje dla wystarczająco gęstej palisady w przekroju wylotowym wirnika dobrą zgodność z przepływem rzeczywistym.

Przyjęta do obliczeń odpowiednio dostosowana formuła Howella ma postać

$$\delta = (0,92 x_f^2 + 0,002 \phi^2) \sqrt{\frac{t^2}{l^2}} \quad (9)$$

Przyjmując jako szkieletową parabolę o równaniu

$$\bar{y} = \frac{\bar{x}(1 - \bar{x})}{a + b \bar{x}} \quad (10)$$



związki między kątami profilowymi na krawędzi natarcia i wylotowej oraz strzałką wygięcia profilu  $f$  i jej położeniem  $x_f$  (rys. 3) można określić z zależności

$$\chi_1 = \arctg \frac{f}{x_f}$$

$$\chi_2 = \arctg \frac{f}{(1 - x_f)^2} \quad (11)$$

Biorąc pod uwagę dalsze zależności

$$l = s / \cos \beta_p$$

$$t = \frac{x d}{s} \quad (12)$$

oraz kąt wygięcia profilu

$$\Theta = \chi_1 + \chi_2 = \phi_{1\tau} - \phi_{2\tau}, \quad (13)$$

otrzymujemy zasadniczo równania określające geometrię palisady

- kąt ustawienia palisady łopatkowej

$$\beta_p = \frac{1}{2} (\phi_1 + \phi_2 - 1 - \delta - \chi_1 + \chi_2) \quad (14)$$

- kąt wygięcia profilu

$$\Theta = \frac{\varepsilon - 4,5}{1 - m_2 \sqrt{\cos \beta_p} - m_1 \cdot \cos \beta_p}, \quad (15)$$

gdzie

$$m_2 = (0,92 \cdot x_f^2 + 0,002 \phi_2) \sqrt{\frac{x \cdot d_2}{z \cdot s}}$$

$$m_1 = 0,3 \frac{x d_1}{z \cdot s} [1 - 4 (x_f - 0,45)]$$

Równania (13), (14), (15) rozwiązuje się metodą kolejnych przybliżeń powtarzając przedstawiony tok obliczeń dla każdej linii prądu.

Rozkład linii prądu wzdłuż prostej prostopadłej do osi wirnika w płaszczyźnie krawędzi wlotowej łopatek określa się zgodnie z pracą [6] z zależności

$$v_{1n} = 1 - \frac{1}{k} \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (16)$$

gdzie

$$\varphi_n = k - \sqrt{k^2 - \frac{N-n}{N} \varphi_0 (2k - \varphi_0)}$$

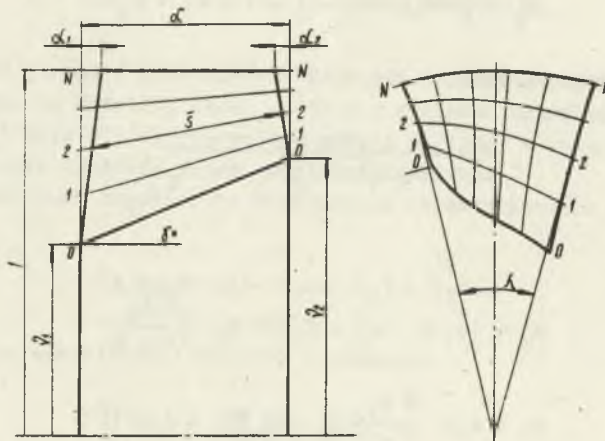
$N$  - liczba linii prądu

$n$  - kolejny numer linii prądu.

Dla wyznaczenia rozkładu linii prądu w obrębie krawędzi wylotowych łopatek wirnika wykorzystujemy równania ciągłości określone dla strugi zawartej między sąsiednimi liniami prądu

$$\Delta \dot{V}_1 = 2\pi \int_{r_{n-1}}^{r_n} r \cdot c_z(r) dr. \quad (17)$$

Wartość prędkości  $c_z(r)$  uzyskuje się z zależności (2) po uwzględnieniu cosinusa kąta nachylenia linii prądu do osi wirnika.



Rys. 4. Wskaźniki geometryczne łopatki wirnikowej

Po wyznaczeniu geometrii profili łopatkii na pomocniczych powierzchniach odwzorowania, wykreśla się z kolei w oparciu o metodę Kaplana przekroje modelowe łopatkii w płaszczyznach prostopadłych do osi wirnika. Szczęśliwie wiele informacji o kształcie łopatkii dostarcza kształt krawędzi wlotowej i wylotowej oraz kąt rozwarcia  $\lambda_n$  (rys. 4). Kąt ten ze względów konstrukcyjnych powinien zmieniać się w sposób ciągły począwszy od piasty w kierunku osłony zewnętrznej.

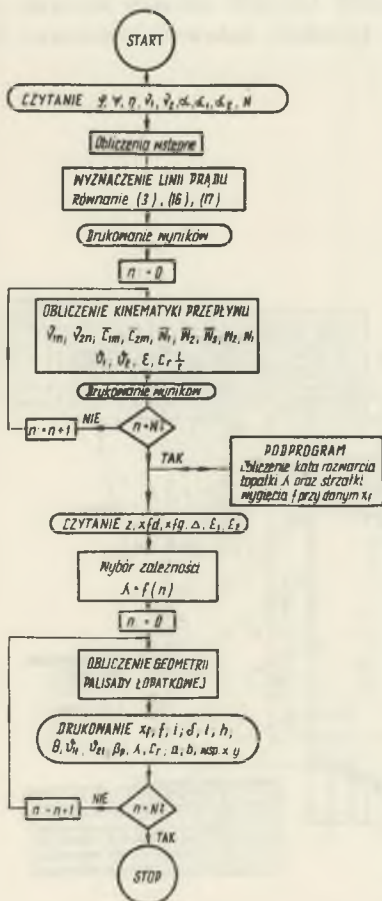
Schemat blokowy programu obliczeń według podanego algorytmu przedstawiono na rysunku 5. Algorytm przewiduje możliwość realizacji dowolnego modelowania kształtu łopatkii przez kolejne zmiany kinematycznych geometrycznych wskaźników bezwymiarowych.

W pierwszej kolejności program zakłada wyznaczenie rozkładu linii prądu z wykorzystaniem zależności (3), (16), (17). W dalszej części dla każdej powierzchni prądu oblicza się kinematykę przepływu. Następnie od wymaganego kształtu łopatkii zakłada się przebieg kątów rozwarcia krawędzi wlotowej i wylotowej  $\lambda(n)$  w płaszczyźnie prostopadłej do osi wirnika (rys. 4). Przebieg ten może być określony przez funkcję liniową lub inną funkcję ciągłą. W niniejszym opracowaniu posłużono się zależnością

$$\lambda(n) = \lambda(0) + \left[ \lambda(N) - \lambda(0) \right] \frac{n}{N},$$

gdzie  $\lambda(0)$ ,  $\lambda(N)$ ,  $\lambda(n)$  kąty rozwarcia krawędzi łopatek przy piastcie, przy osłonie zewnętrznej i n-tej linii prądu.

W przypadku  $\lambda(n) = \text{const.}$  krawędzie łopatek biegną promieniowo. Dla spełnienia założonego przebiegu funkcji  $\lambda(n)$  dobiera się iteracyjnie w podprogramie, dla każdej szkieletowej, współrzędne  $x_f$  maksymalnej strzałki ugięcia  $f$  w zakresie wartości uzasadnionych dla płaskich pałisad łopatkowych ( $x_f = 0,4 - 0,55$ ) [8] i oblicza wartości określające geometrię tych szkieletowych. Obliczenia jednego wariantu łopatkii na maszynie cyfrowej ZAM-41 ALGOL trwają około 15 minut. Za-



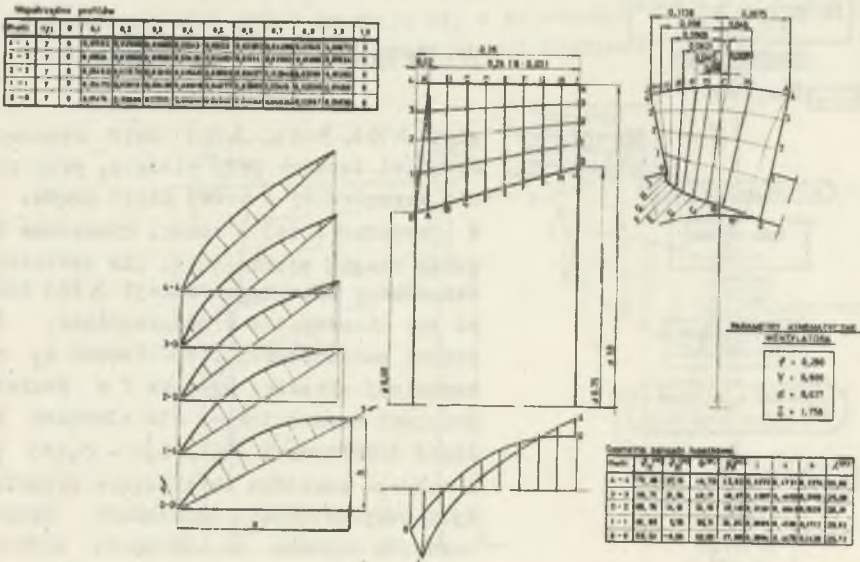
Rys. 5. Schemat blokowy algorytmu obliczeń łopatek wirnika

równo dane jak i wyniki obliczeń określone są w postaci bezwymiarowej uła-  
twiającej w dalszym ciągu konstruowanie wirnika o dowolnej wielkości.

#### 4. Wyniki obliczeń

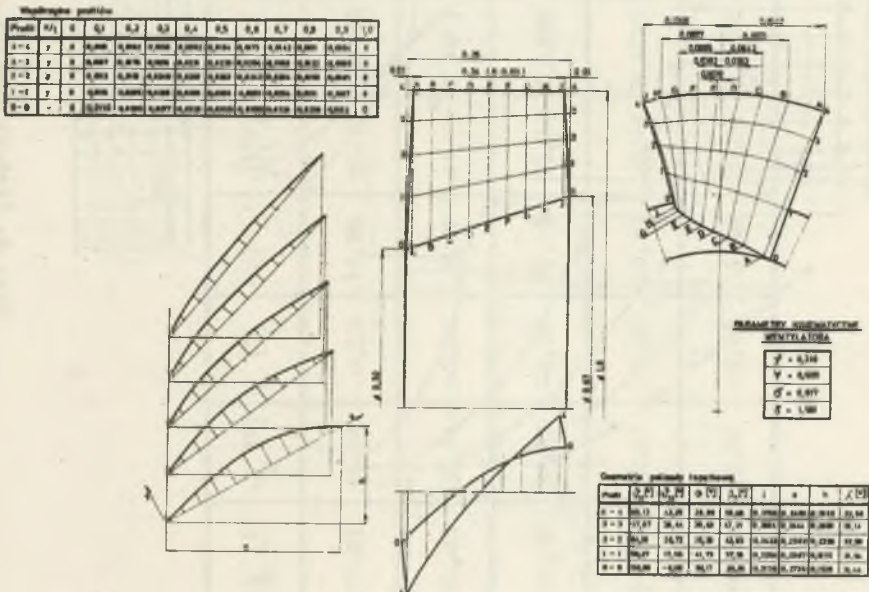
Wykorzystując opracowany program przeprowadzono obliczenia szeregu kół  
wirnikowych analizując przy tym wpływ wskaźników geometrycznych i kinema-  
tycznych na ukształtowanie powierzchni łopatek.

Dla zestawionych w tablicy 1 konstrukcji zmieniono ponadto kształt  
szkieletowych profili stosując kolejno profile o szkieletowej kołowej i  
parabolicznej. Te ostatnie umożliwiły konstruowanie łopatki, dla założo-  
nego wstępnie przebiegu krawędzi wlotowych i wylotowych, przez zmianę usy-  
tuowania maksymalnej strzałki ugięcia zarówno w kierunku osiowym i promie-  
niowym.



Rys. 6. Kształt łopatki modelowego koła wirnikowego MWM/075

Wpływ przyjętego wskaźnika  $\psi$  oraz stosunku średnio  $v_2$  w przekroju wlotowym wirnika na kształt łopatki przeanalizowano na przykładzie wirnika MWM/063, który przelieźono dla wskaźnika spiętrzenia 0,54 i 0,6 oraz wirnika MWM/67 zaprojektowanego przy wskaźniku spiętrzenia 0,6. Porównanie wymienionych konstrukcji wykazało, że korzystniejszy kształt łopatki można otrzymać zarówno przez zwiększenie stosunku średnio  $v_2$ , jak również przez odpowiednie zmniejszenie wskaźnika spiętrzenia. Na rysunkach 6,7,8 przedstawiono wybrane konstrukcje wirników MWM/075, MWM/067 i MWM/63. Wirnik MWM/075 obłożony został dla warunku  $\lambda(n) = \text{const}$ , co dało w efekcie promieniowy przebieg krawędzi wlotowej i wylotowej łopatki w płaszczyźnie prostopadłej do osi. Podobnie bliski promieniowego przebieg mają krawędzie łopatki wirnika MWM/067. Na uwagę zasługuje również bliski liniowemu przebieg przekrojów powierzchni łopatki płaszczyznami prostopadłymi do osi. Łopatka wirnika MWM/063 (rys. 8) obłożona została przy zmiennym kącie rozwaroła krawędzi wlotowej i wylotowej.



Rys. 7. Kształt łopatki modelowego koła wirnikowego MWM/067



Tablica 3

$n$	$\alpha_1$ [°]	$\alpha_2$ [°]	$i$ [°]	$\delta$ [°]	$\theta$ [°]	$z_z$	$z$	$\kappa$	$w_2/w_1$	$c_{\Gamma} \frac{1}{t}$	$c_{\Gamma}$
0	50,81	11,18	0,73	11,28	50,17	0,5500	0,1143	0,389	0,882	1,960	1,094
1	58,03	26,41	-1,24	8,87	41,73	0,4863	0,0950	0,490	0,800	1,433	0,884
2	62,10	36,07	-2,00	7,36	35,38	0,4488	0,0776	0,549	0,780	1,125	0,733
3	64,86	42,72	-2,20	6,28	30,63	0,4225	0,0641	0,590	0,776	0,926	0,625
4	66,94	47,66	-2,19	5,42	26,98	0,4000	0,0534	0,622	0,778	0,787	0,544

W tablicy 3 zestawiono przykładowo wielkości charakteryzujące geometrię i obciążenie aerodynamiczne profili łopatkowych wirnika modelowego MWM/067. Przyspieszenie czynnika w przekrojach bliskich piasty sprawia, że spełnione są tu ogólnie przyjęte przy ocenie palisad osiowych, warunki sprawnego przepływu, mimo występującego tu dużego wygięcia szkieletowych profili.

### 5. Wnioski końcowe

Przedstawione w pracy porównanie wentylatorów merydionalnych z wentylatorami reakcyjnymi wykazało korzystniejsze kinematyczne wskaźniki tych pierwszych. Pełniejsze jednak zastosowanie wentylatorów z merydionalnym przyspieszeniem strumienia w praktyce przemysłowej możliwe jest po usunięciu szeregu charakterystycznych dla tych wentylatorów wad. Wymaga to prowadzenia dalszych badań poszczególnych elementów układu przepływowego i opracowania w oparciu o te badania ściślejszych metod obliczeniowych.

Istotnym problemem przy projektowaniu wirników merydionalnych jest uzyskanie możliwie prostych, łatwych w wykonawstwie i korzystnych wytrzymałościowo łopatek. Na wielkość przestrzennego zwichrowania łopatek ma wpływ zarówno dobór wskaźników bezwymiarowych spiętrzenia i wydajności, jak również wskaźników geometrycznych. Zaobserwowano przy tym, że istotne znaczenie ma dobór kształtu szkieletowych profili. W niniejszym opracowaniu kształt łopatek modelowano między innymi przez stosowanie profili parabolicznych, które okazały się bardzo korzystne z uwagi na możliwość przemieszczenia maksymalnej strzałki ugięcia. Opracowano przy tym metodę takiego doboru usytuowania strzałek ugięcia poszczególnych profili, który gwarantuje uzyskanie założonego wstępnie ciągłego przebiegu krawędzi wlotowych i wylotowych łopatek w płaszczyźnie prostopadłej do osi wirnika.

Zamieszczony w pracy algorytm obliczeń umożliwia ocenę stopnia wpływu wymienionych czynników na kształt powierzchni łopatek i taki ich dobór, który przy możliwie wysokich wskaźnikach kinematycznych gwarantuje najprostszemu technologicznie kształt łopatek. Wykonane w trakcie przeprowadzonej analizy koła wirnikowe MWM/063, MWM/067 i MWM/075 spełniają wymienione kryteria.

### ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- Wskaźnik 1 - dotyczy wlotu do wirnika,  
 Wskaźnik 2 - dotyczy wylotu z wirnika,  
 $c_m, c_u$  - składowe prędkości bezwzględnej, merydionalna i obwodowa  
 $\bar{c}_m, \bar{c}_u$  - składowe prędkości odniesione do prędkości obwodowej  $u_z$   
 $D_z$  - średnica zewnętrzna wirnika



$f$	- strzałka wygięcia profilu
$i$	- kąt natarcia
$l$	- ciężka profilu
$N$	- liczba linii prądu
$n$	- kolejny numer linii prądu
$s$	- długość linii prądu w przekroju merydionalnym
$t$	- podziałka palisady
$u_z$	- prędkość obwodowa na średnicy zewnętrznej
$\dot{V}$	- wydajność przepływu
$w$	- prędkość względna
$x, y$	- współrzędne profilu
$x_f$	- współrzędna punktu maksymalnego wygięcia profilu
$z$	- liczba łopatek
$\Delta p$	- przyrost ciśnienia
$\alpha$	- względna szerokość wirnika w przekroju merydionalnym
$\beta_p$	- kąt ustawienia palisady łopatkowej
$\kappa$	- reakcyjność wirnika
$\delta$	- kąt odchylenia strugi na wlocie
$\varepsilon$	- kąt zmiany kierunku przepływu
$\vartheta_n$	- kąt nachylenia linii prądu do kierunku osiowego
$\vartheta_0$	- kąt nachylenia tworzącej płasty wirnika do kierunku osiowego
$\eta$	- sprawność izentropowa wentylatora
$\chi$	- kąt między styczną do szkieletowej i ciężką profilu
$v$	- bezwymiarowa średnica (w odniesieniu do średnicy zewnętrznej wirnika)
$v_1, v_2$	- bezwymiarowa średnica płasty na wlocie i wylocie z wirnika
$\varphi = \frac{4\dot{V}}{D_z^2 u_z}$	- wskaźnik (liczba wydajności)
$\psi = \frac{2\Delta p}{\rho u_z^2}$	- wskaźnik (liczba) spiętrzenia
$\lambda$	- kąt rozwarcia krawędzi łopatek w płaszczyźnie prostopadłej do osi wirnika
$\rho$	- gęstość czynnika
$\vartheta$	- kąt strugi w odniesieniu do kierunku osiowego,
$\vartheta_\tau$	- kąt łopatkowy w odniesieniu do kierunku osiowego
$\Theta$	- kąt wygięcia szkieletowej profilu.

## LITERATURA

1. BRUSIŁOWSKI J.W.: Wentylatory s meridionalnym uskoriznijem potoka. Promyszlennaja aerodinamika, zeszyt 24, Oborongiz, 1962.
2. Fabryka Wentylatorów "Fawent". Badania wentylatorów diagonalnych. Praca nie opublikowana. Chełm Śląski, 1970.
3. Fabryka Wentylatorów "Fawent". Katalog-Poradnik. Wentylatory Przemysłowe. WKC, Warszawa 1971.
4. DOWŹIK S.A.: Profilowanie łopatek osiowo dozwokowo kompresora. Promyszlennaja aerodinamika. Wyp. 11.
5. KUTARBA K., WITKOWSKI A., OTTE J.: Metoda obliczeń układu przepływowego wieńca sprężającego z merydionalnym przyspieszeniem strumienia, Gliwice, 1971. Praca nie opublikowana.
6. OTTE J.: Rozkłady prędkości na wlocie i wylocie wirnika o stożkowym przepływie ozynnika. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka (w druku).
7. SCHNACKENBERG - Hochleistungs - Axial Ventilator mit Meridianbeschleunigter Laufrad Baureihe Wuppertal - Barmen. Katalog.
8. SZERSTIUK A.N.: Nasosy, wentylatory, kompressory. Moskwa 1972.
9. WITKOWSKI A.: Badania aerodynamiczne osiowego wieńca sprężającego z merydionalnym przyspieszeniem strumienia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka, zeszyt 40, Gliwice, 1971.
10. WITKOWSKI A.: Analiza przepływu w kanałach łopatkowych osiowego wieńca sprężającego z merydionalnym przyspieszeniem strumienia. Praca doktorska. Gliwice, 1971 r.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НА ОФОРМЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО  
ПОСТРОЕННЫХ ЛОПАТОК КОЛЕС С МЕРИДИОНАЛЬНЫМ УСКОРЕНИЕМ ТОКА

## Резюме

В работе предсравлен метод выбора и определения аэродинамических и геометрических параметров колёс с конической втулкой и цилиндрическим кожухом, которые обеспечили бы совершенное течение при простом профилировании лопаток.

Используя результаты работ [10] [9], разработана программа аэродинамического расчёта конических колёс на вычислительной машине.

Анализ полученных результатов расчёта позволил выбрать конструкции, которые обеспечили бы получение выбранных аэродинамических параметров венцов с листовыми лопатками.

AN ANALYSIS OF INFLUENCES OF KINEMATIC AND GEOMETRIC  
COEFFICIENTS ON SHAPES OF COMPRESSOR BLADES IMPELLER  
WITH MERIDIONAL STREAM ACCELERATION

S u m m a r y

In this paper a method of analysis of choosing advantageous properties from the point of view of aerodynamics and technology, the dimensionless kinematic and geometric coefficients of impellers with conical hub and cylindrical external shroud has been presented.

On the basis of former papers [10], [9] a method of the aerodynamic calculations of the impeller suitable for computer programming has been done, and analysis of the properties of the same impellers has been presented.

The resulting design were three impellers with straightly shaped blades. The performances of these fans with performances of normal type fans has been compared.