

Andrzej WITKOWSKI

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej

PROCEDURA BADAWCZA UKŁADÓW PRZEPIYWOWYCH WENTYLATORÓW OSIOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono procedurę badawczą oraz wyniki wieloletnich, wzajemnie się uzupełniających badań teoretycznych i doświadczalnych prowadzonych w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych w zakresie doskonalenia układów przepływowych i opracowania nowych konstrukcji modelowych wentylatorów osiowych reakcyjnych oraz z merydionalnym przyśpieszeniem strumienia. Badania szeregu konstrukcji modelowych wentylatorów serii MWM – 500/063/067 oraz MWM – 500/056/063/067 umożliwiły doskonalenie zarówno istniejących metod obliczeniowych, jak również zasad doboru podstawowych wielkości geometrycznych z punktu widzenia pożądanych parametrów pracy. Umożliwiły one również stworzenie banku informacji niezbędnych do szybkiego opracowania odpowiedniej konstrukcji dla celów praktycznych.

THE INVESTIGATIONS PROCEDURE OF AXIAL FANS FLOW SYSTEMS

Summary. The investigations procedure and results of many years theoretical and experimental research conducted in the Institute of Power Machinery of Silesian Technical University in Gliwice in area of improvements of flow systems and developments of a new constructions of axial flow fans as well as of normal types and with meridional stream acceleration has been presented. The testing of many model axial flow fans of MWM – 063/067 and WMO – 500/056/063/067 series made it possible to asses the calculating methods and to determine the selection principles of basic geometrical quantities in the aspect of required operation parameters. That also enabled to create a bank of information necessary for a quick elaboration of construction for practical purposes.

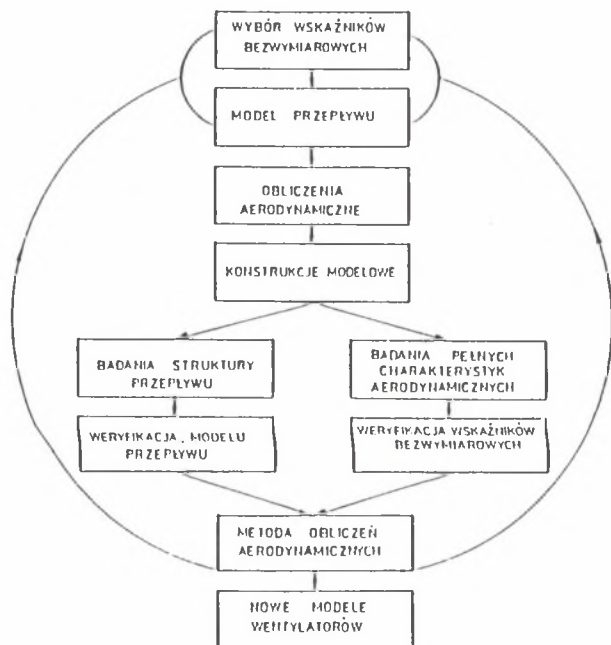
UNTERSUCHUNGSVORGANG FÜR DIE STRÖMUNGSSYSTEME DER AXIALVENTILATOREN

Zusammenfassung. Ein Vorgang und die Ergebnisse vieljähriger theoretischer und experimenteller Untersuchungen die im Institut für Energetische Maschinen und Anlagen durchgeführt worden sind wurde dargestellt. Ziel dieser Untersuchungen war die Verbesserung der Strömungssysteme und bearbeitung von neuen Modell-Axialventilatoren mit Reaktionsstufe und mit der meridioneler Beschleunigung der Strömung. Die Untersuchungen der Ventilatoren aus der Reihe MWM - 500/063/067 und MWM - 500/056/063/067 erlaubten die Berechnungsmethoden als auch die Grundlagen der Annahme der geometrischen Größen vom Standpunkt der Arbeitsparametern zu verbessern. Es wurde auch möglich eine Informationsbank zu schaffen, was für schnelle Entwurfbearbeitung unerlässlich ist.

1. WSTĘP

Istniejące metody obliczeń aerodynamicznych wentylatorów osiowych nie gwarantują wciąż maksymalnych, możliwych do uzyskania sprawności oraz wystarczającej dokładności przewidywania parametrów pracy bez uzupełniających badań modelowych. Wynika to zarówno z braku szczegółowo sprecyzowanych kryteriów doboru wskaźników, jak również z nieadekwatności, przyjmowanego do obliczeń na poziomie inżynierskim, modelu przepływu rzeczywistego. Dalsze doskonalenie metod obliczeń aerodynamicznych osiowych stopni sprężających wymaga weryfikacji stosowanych modeli przepływu oraz wskaźników pracy na drodze wzajemnie uzupełniającej się analizy teoretycznej i doświadczalnej.

Przyjęty stosownie do tego przez autora [1] sekwencyjno-iteracyjny program badawczy przedstawiony został w postaci schematu blokowego na rysunku 1. Prowadzone sukcesywnie zgodnie z tym schematem badania w zakresie szczegółowego rozpoznania struktury przepływu [2], [3], [4], [5], jak i pełnych charakterystyk pracy wentylatorów modelowych [6], [7], [8] dały podstawę weryfikacji i doskonalenia algorytmów i programów obliczeń aerodynamicznych stopni sprężających i wentylatorów osiowych. Opracowanie w ramach tego programu badań charakterystyk aerodynamicznych szeregu wentylatorów modelowych o różnych wskaźnikach geometrycznych i kinematycznych i o różnej konstrukcji stworzyło bogaty zbiór informacji, które mogą znacznie ułatwić dobór właściwego typu wentylatora do wymaganych parametrów pracy, na przykład w procesie modernizacji istniejących stacji wentylatorowych.



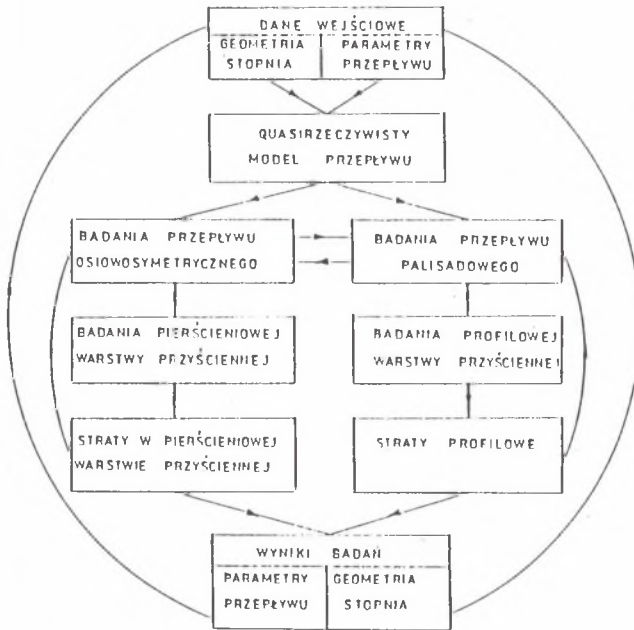
Rys. 1. Schemat blokowy procedury badawczej wentylatorów osiowych

Fig. 1. Block scheme of investigations procedure of axial flow fans

2. BADANIA STRUKTURY PRZEPŁYWU W OSIOWYCH STOPNIACH SPRĘŻAJĄCYCH

2.1. Program badawczy osiowych stopni sprężających

Rozwój współczesnych badań w zakresie aerodynamiki maszyn przepływowych determinują dwa praktyczne zadania:



Rys. 2. Schemat blokowy procedury badawczej osiowych stopni sprężających

Fig. 2. Block scheme of investigations procedure of axial compressor stages

- zadanie pierwsze, sprowadzające się do analizy przepływu i określenia charakterystyk pracy maszyn o znanej geometrii układu łopatkowego,
- zadanie drugie, polegające na optymalnym kształtowaniu układu łopatkowego zapewniającego uzyskanie pożądanych czy narzuconych z góry parametrów przepływu.

Dla rozwiązania obu tych zadań konieczne jest dokładne poznanie rzeczywistych zjawisk występujących w przepływie przez układy łopatkowe. Generalne ujęcie matematyczne wszystkich rzeczywistych cech przepływu jest niemożliwe z uwagi na nieprzewyżnione do dzisiaj trudności zarówno w zakresie racjonalnego ujęcia teoretycznego, jak i opracowania metody rozwiązania. Stosowanie do tego badania teoretyczne i doświadczalne w ramach rozpoznania zadania pierwszego i wtórnego prowadzone były na podstawie odpowiednio uproszczonego modelu tak zwanego quasi-rzeczywistego prze-

plywu [9]. Program badawczy oparty na tym modelu przedstawiony został w postaci schematu blokowego na rysunku 2. Zgodnie z tym schematem w procesie rozwiązywania zarówno pierwszego, jak i drugiego zadania aerodynamiki maszyn przepływowych wyróżnia się cztery podstawowe zagadnienia badawcze:

- 1) zagadnienie przepływu osiowosymetrycznego w przekroju merydionalnym stopnia,
- 2) zagadnienie przepływu w obszarach pierścieniowych warstw przyściennych,
- 3) zagadnienie przepływu palisadowego,
- 4) zagadnienie profilowych warstw przyściennych.

Wyniki uzyskane z rozpoznania wymienionych zagadnień badawczych umożliwiają z kolei doskonalenie algorytmów i programów obliczeń aerodynamicznych stopni sprężających i wentylatorów osiowych.

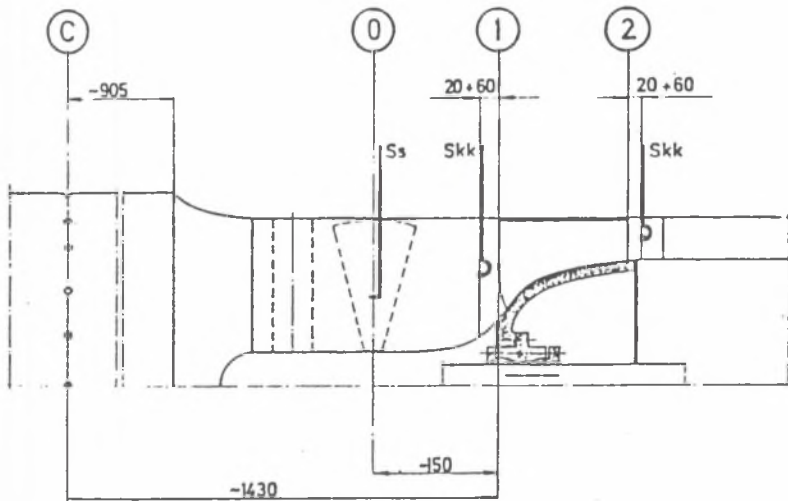
2.2. Stopnie modelowe do badań podstawowych

Dla uzyskania uzupełniających informacji dotyczących przepływu przez osiowe stopnie sprężające oraz dla umożliwienia weryfikacji wyników badań teoretycznych skonstruowano sukcesywnie stanowiska do badań stopni zarówno osiowych z merydionalnym przyśpieszeniem strumienia [2], jak i reakcyjnych [3], [10], [11]. Stanowiska umożliwiają badania struktury przepływu w wybranych przekrojach kontrolnych stopni dla obciążeń aerodynamicznych wirujących wieńców łopatkowych w obliczeniowym i pozaobliczeniowych punktach pracy.

Wykonano jeden układ przepływowy stopnia modelowego wentylatora merydionalnego MWM – 600/075/I [6] (rys. 3) oraz trzy układy przepływowe stopnia modelowego wentylatora osiowego reakcyjnego OSS – 750/06/I [3], OSS – 750/06/II [10] oraz OSS – 1000/0,56/I [11] (rys.4) o różnym stopniu obciążenia aerodynamicznego.

Charakterystyki aerodynamiczne wieńców wirnikowych stopni modelowych uzyskane na drodze sondowania przepływu za pomocą trójotworowych i pięciotworowych sond aerodynamicznych przedstawione zostały kolejno na rysunku 5 dla wieńca merydionalnego oraz na rysunku 6 dla wieńców reakcyjnych. Charakterystyki aerodynamiczne tych wieńców, wyznaczone w nominalnym punkcie ich pracy, zestawione zostały ponadto w tablicy 1.

Analiza wyników badań struktury przepływu w osiowych stopniach sprężających umożliwiła uzyskanie informacji niezbędnych do racjonalnego projektowania układów przepływowych wentylatorów osiowych o przeznaczeniu przemysłowym.

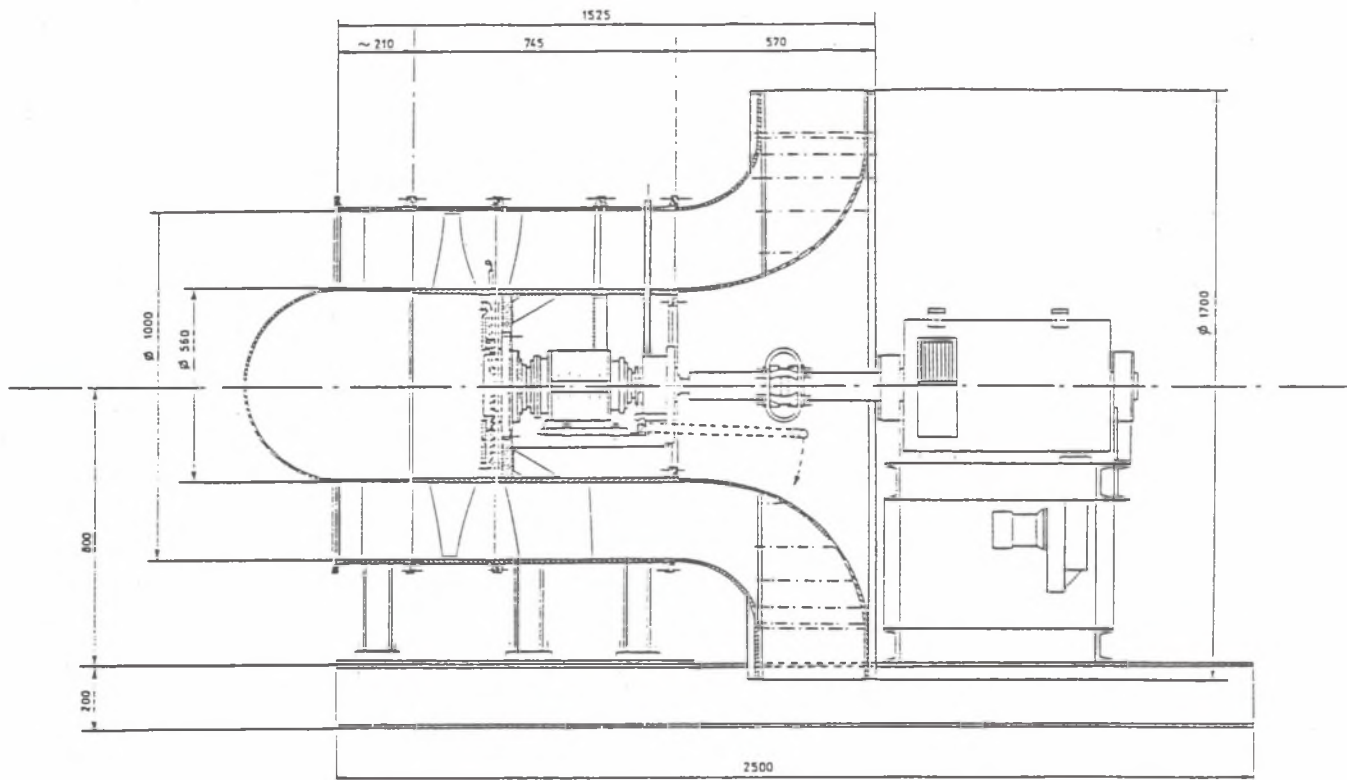


Rys. 3. Układ przepływowy stopnia merydionalnego

Fig. 3. Flow system of meridional stage

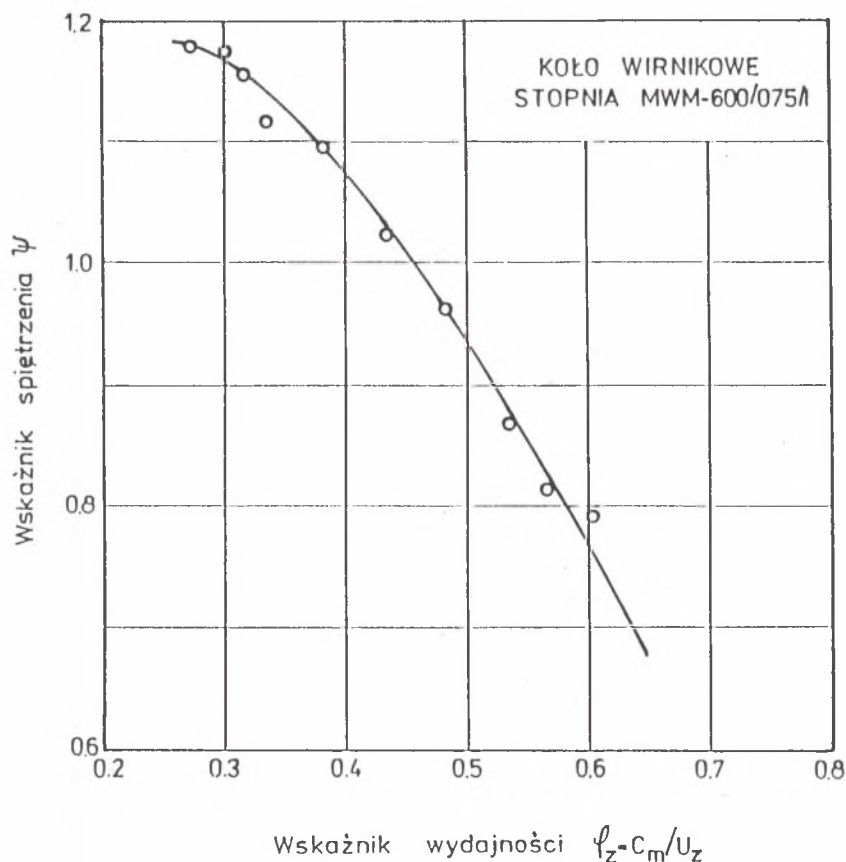
Tablica 1

Model	MWM-600/075/I [6]	OSS-750/06/I [3]	OSS-750/06/II [10]	OSS-1000/0.56/I [11]
Stosunek średnic na wylocie v	0,75	0,6	0,6	0,56
Wskaźnik wydajności φ^*	0,3057	0,24	0,256	0,254
Wskaźnik napiętrzenia ψ	0,9221	0,42	0,38	0,3717
Wskaźnik szybkobieżności K_n	0,5875	0,939	1,045	1,058
Sprawność wewnętrzna η_i	91,05	0,89	0,838	0,946



Rys. 4. Układ przepływowy osiowego stopnia sprężającego OSS-1000/056/I

Fig. 4. Model axial compressor stage OSS-1000/056/I



Rys. 5. Charakterystyka aerodynamiczna merydionalnego wieńca wirnikowego

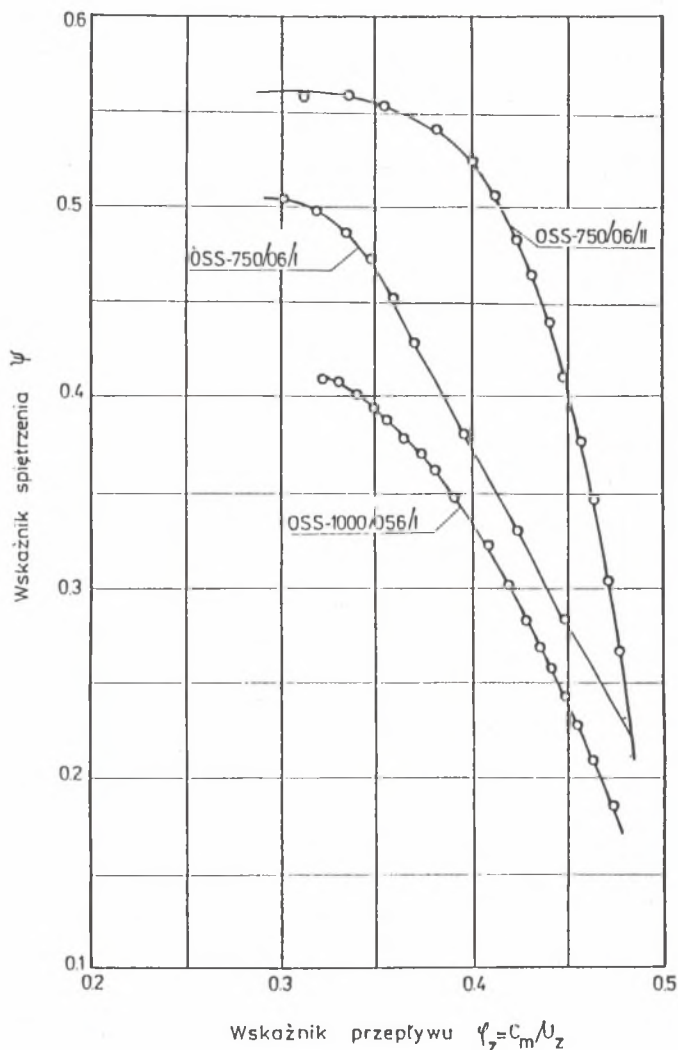
Fig. 5. Overall performance characteristic of meridional rotor

W szczególności określone zostały zalecenia dotyczące:

- wielkości geometrycznych charakteryzujących kształt przekroju merydionalnego stopnia,
- doboru kształtu profili łopatkowych z punktu widzenia wymaganego obciążenia aerodynamicznego,
- metod obliczeń kątów łopatkowych

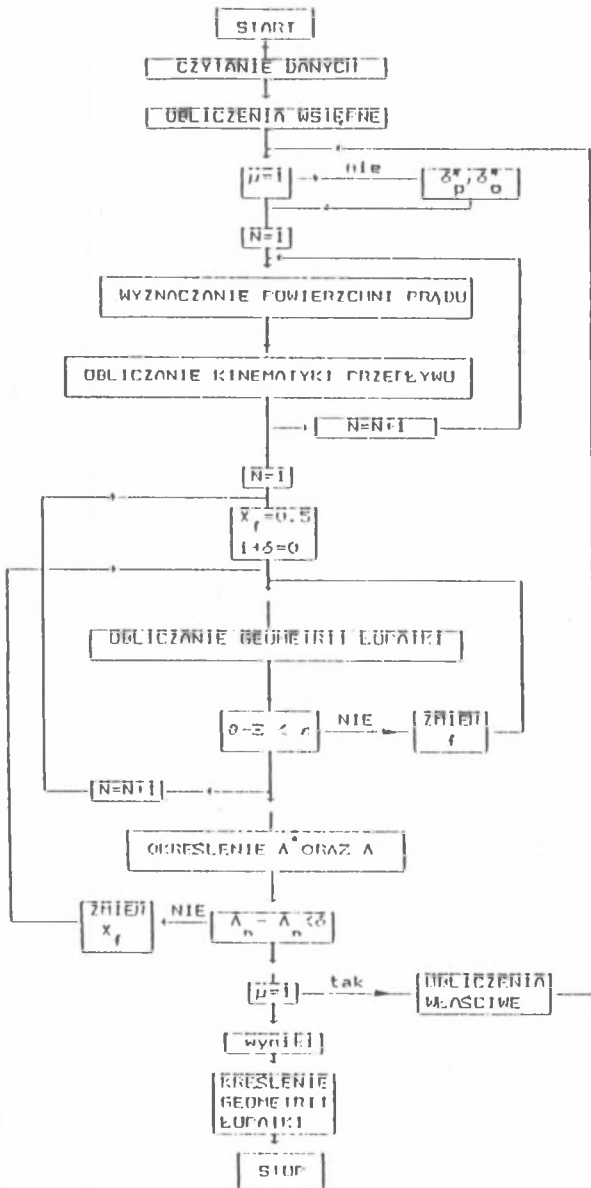
Poszukiwanie relacji pomiędzy wskaźnikami geometrycznymi i kinematycznymi układów przepływowych niezbędnych do racjonalnego opracowania

algorytmów i programów obliczeń aerodynamicznych odbyło się na drodze sukcesywnych badań szeregu konstrukcji modelowych wentylatorów.



Rys. 6. Charakterystyki aerodynamiczne wieńców wirnikowych osiowych stopni sprężających OSS-750/06/I, OSS-750/06/II oraz OSS 1000/056/I

Fig. 6. Overall performance characteristics of rotor of axial flow stages OSS-750/06/I, OSS-750/06/II and OSS-1000/056/I



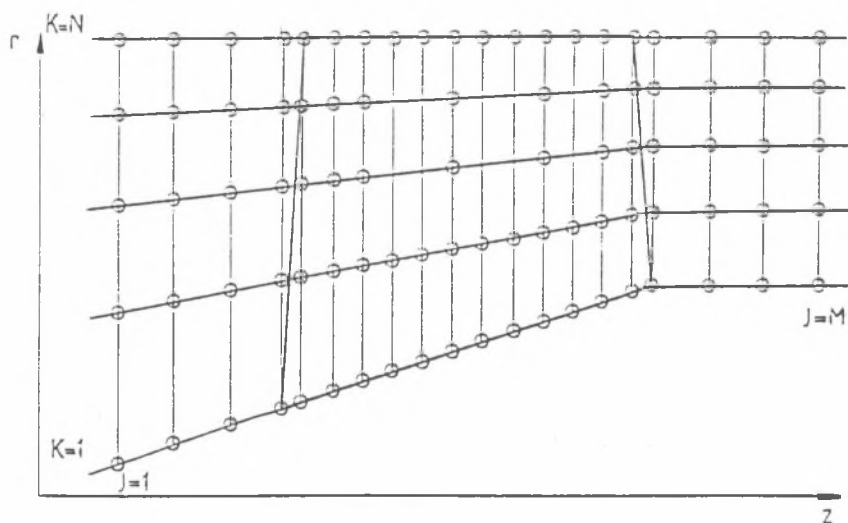
Rys. 7. Schemat blokowy obliczeń aerodynamicznych kół wirnikowych z merydionalnym przyspieszeniem strumienia

Fig. 7. Block diagram for aerodynamic computation of impellers with meridional stream acceleration

3. AUTOMATYZACJA OBLICZEŃ AERODYNAMICZNYCH I PROCESU PROJEKTOWANIA UKŁADÓW PRZEPLYWOWYCH WENTYLATORÓW OSIOWYCH

3.1. Wentylatory z merydionalnym przyspieszeniem strumienia

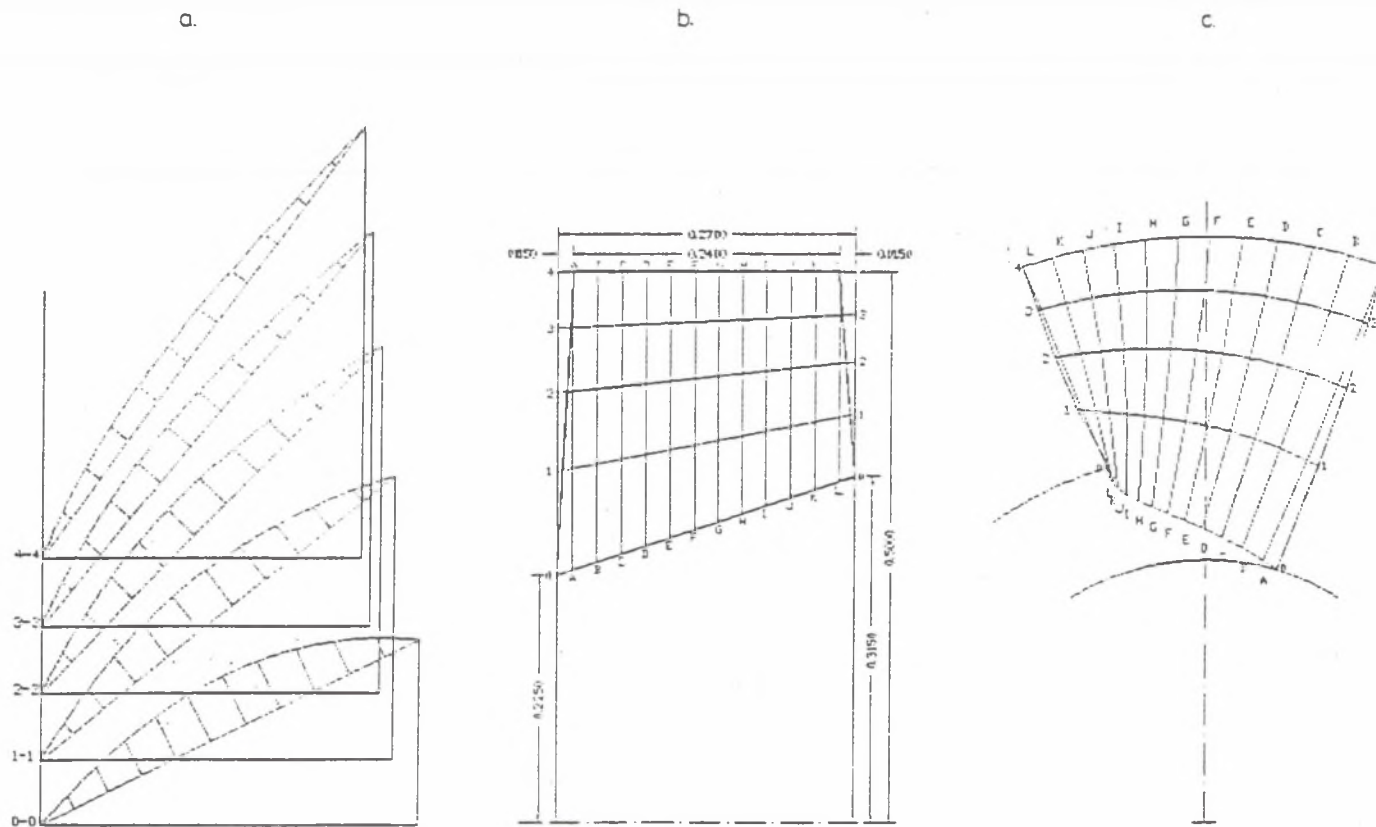
Ogólny schemat blokowy algorytmu obliczeń aerodynamicznych układu łopatkowego przedstawiony jest na rysunku 7 [6]. Zgodnie z tym schematem w pierwszej kolejności wyznacza się rozkład osiowosymetrycznych powierzchni prądu (rys. 8) oraz prędkości w przekroju merydionalnym koła wirnikowego. Rozkłady te uzyskuje się z rozwiązania zagadnienia osiowosymetrycznego przepływu w dwóch kolejnych przybliżeniach.



Rys. 8. Siatka obliczeniowa w przekroju merydionalnym koła wirnikowego

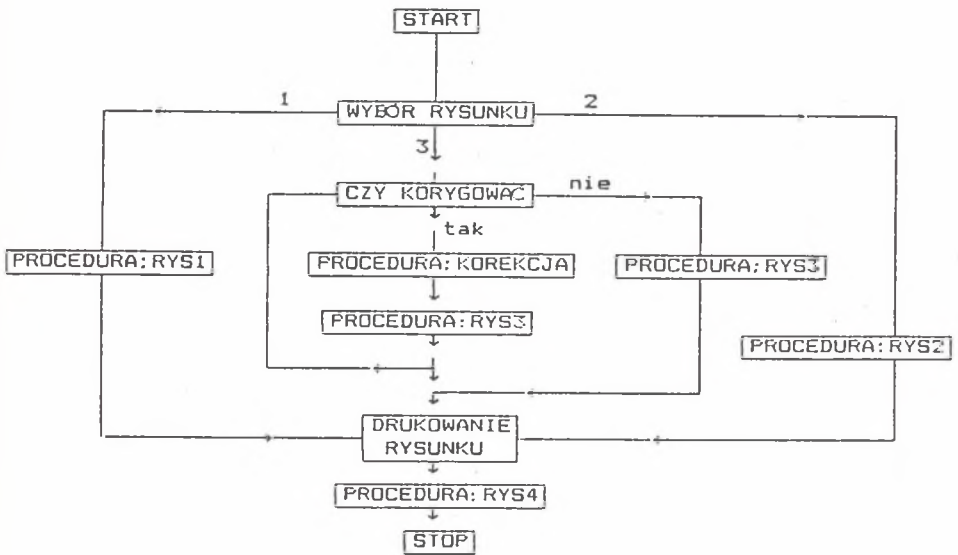
Fig. 8. Grid of computation of meridional crosssection

Szkieletowe łopatki określone zostały na osiowosymetrycznych powierzchniach prądu po uprzednim odwzorowaniu ich na płaszczyźnie pomocniczej (rys. 9a). Rysunek 9a wraz z geometrią przekroju merydionalnego wirnika (rys. 9b) stanowi podstawę wykreślenia przekrojów modelowych łopatki w płaszczyznach prostopadłych do osi wirnika (rys. 9c) na podstawie metody odwzorowania konforemnego. Technologiczność wykonawstwa łopatki zapew-



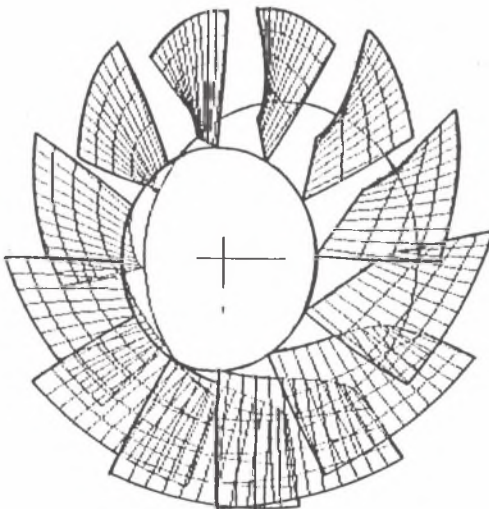
Rys. 9. Przekroje konstrukcyjne koła wirnikowego

Fig. 9. Vane pattern sections



Rys. 10. Schemat blokowy procedury projektowania łopatki

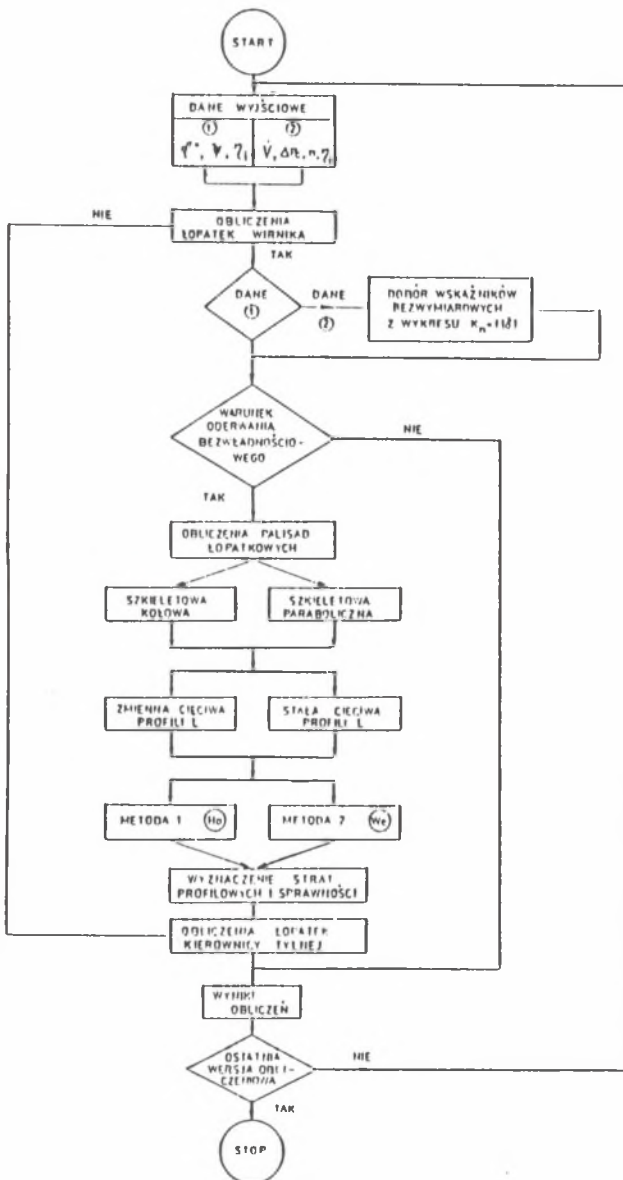
Fig. 10. Block scheme of procedure of design of blade



Rys. 11. Rzut aksonometryczny koła wirnikowego

Fig. 11. Spatial view impeller

nia właściwie dobrany w programie iteracyjnym, zbliżony do liniowego, rozkład kątów rozwarcia łopatki (n) wzdłuż jej wysokości. Niezbędną swobodę doboru kąta umożliwia przyjęcie parabolicznego kształtu szkieletowych profili. Przedstawiony program jest skojarzony z procedurami umożliwiającymi komputerowe wykreślenie przekrojów modelowych łopatki oraz całych kół wirnikowych w dowolnym, przestrzennym usytuowaniu [12], [13]. Program napisany jest w systemie blokowym (rys. 10), w którym występują cztery procedury:



Rys. 12. Schemat blokowy wielowariantowych obliczeń wentylatorów osiowych

Fig. 12. Block scheme of multivariant computations of axial flow fans

- procedura kreślenia przekroju merydionalnego wirnika (1),
- procedura kreślenia palisad łopatkowych (2),
- procedura kreślenia przekrojów modelowych (3),
- procedura kreślenia wirnika w rzucie aksonometrycznym (4) – (rys. 10).

Procedura kreślenia przekrojów modelowych umożliwia dodatkową korektę kształtu łopatki poprzez wzajemny obrót sąsiednich przekrojów względem siebie o zadany w trybie konwersacyjnym kąt. Ukoronowaniem procedur wykreślnych jest procedura (4) kreśląca kompletne koło wirnikowe w dowolnym rzucie aksonometrycznym (rys. 11). Procedura ta w sposób szczególnie plastyczny ułatwia ocenę jakościową oraz wybór kształtu łopatek i kanałów międzyłopatkowych.

3.2. Wentylatory osiowe reakcyjne

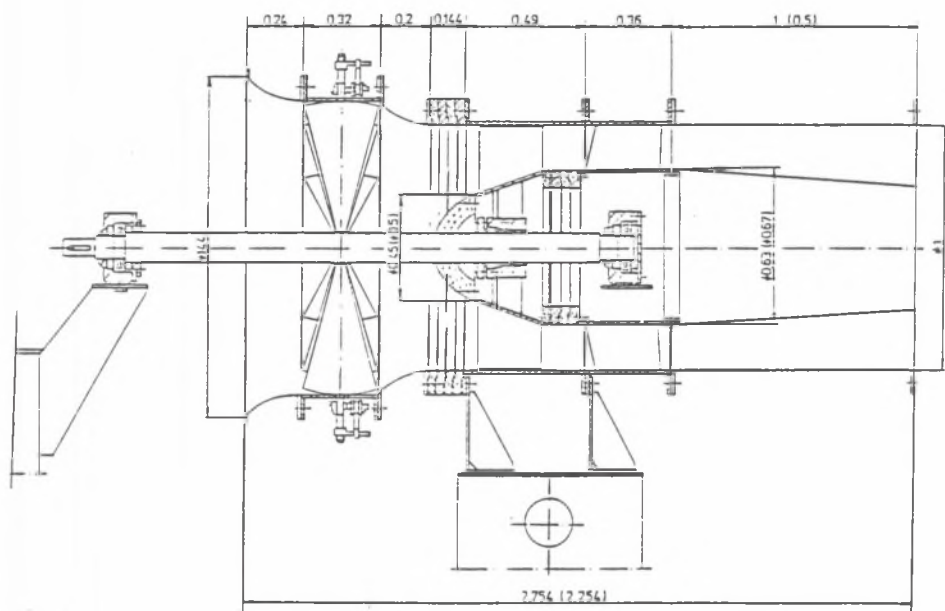
Schemat blokowy wielowariantowych obliczeń aerodynamicznych układu przepływowego osiowego stopnia sprężającego składającego się z wieńca wirnikowego, kierownicy tylnej oraz dyfuzora końcowego przedstawiony został na rysunku 12.

Algorytm i program obliczeniowy [8] zapewnia wybór sposobu wyznaczania wyjściowych wskaźników i kierowniczych wielkości obciążenia aerodynamicznego układu przepływowego oraz metod obliczeń aerodynamicznych. Wielowariantowe prowadzenie obliczeń umożliwia optymalizację wskaźników geometrycznych i kinematycznych z punktu widzenia dopuszczalnego obciążenia aerodynamicznego i sprawności układu przepływowego.

4. WYNIKI BADAŃ WENTYLATORÓW MODELOWYCH

4.1. Wentylatory z merydionalnym przyspieszeniem strumienia

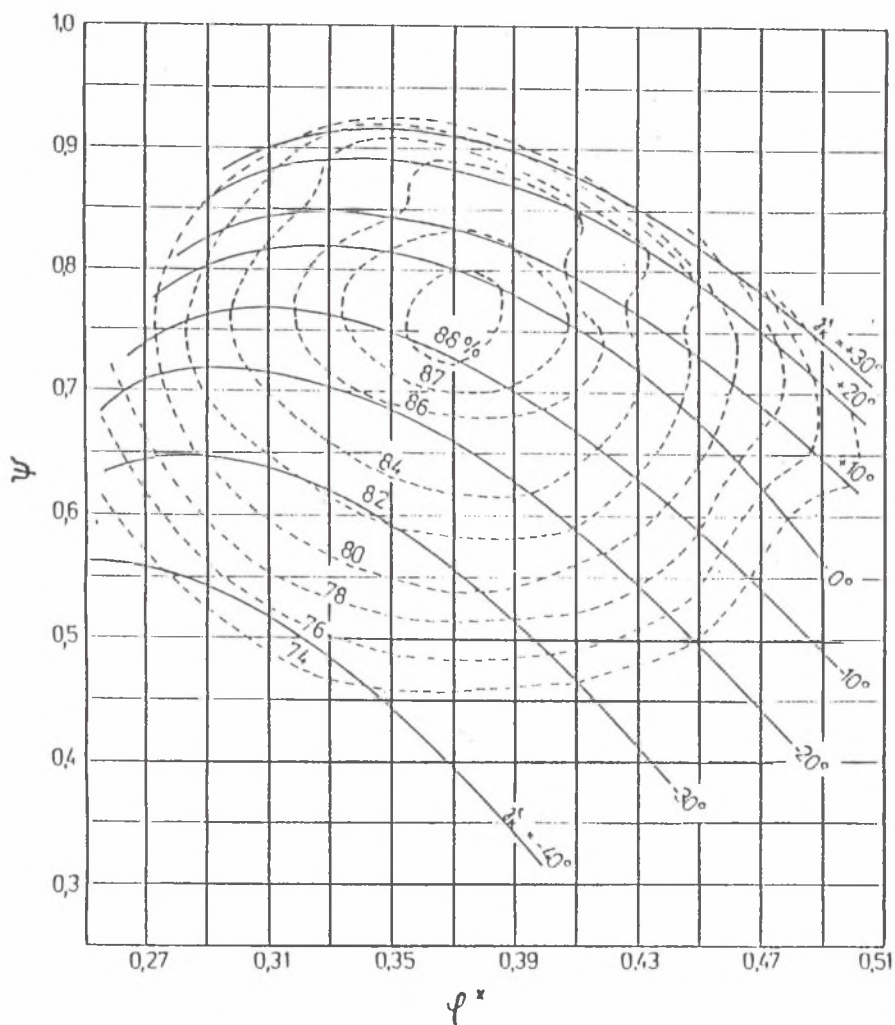
Na rysunku 13 przedstawiona została konstrukcja wentylatora modelowego MWG – 063 [6] o stosunku średnic w przekroju wylotowym koła wirnikowego $v = 0,63$. Model MWG – 067/II różni się jedynie stosunkiem średnic w przekroju wylotowym koła wirnikowego $v = 0,67$. Koło wirnikowe o średnicy zewnętrznej 500 mm posiada piastę stożkową i pierścieniowy element końcowy. Do piasty przyspawanych jest dwanaście blaszanych łopatek o szkieletowych parabolicznych. Za kołem wirnikowym znajduje się kierownica tylna składająca się z trzynastu blaszanych łopatek o powierzchni cylindrycznej.



Rys. 13. Wentylator modelowy MWM-063/500

Fig. 13. Model fan MWM-063/500

Charakterystyki aerodynamiczne wentylatorów modelowych MWG – 063 i MWG – 067 wyznaczone dla różnych kątów ustawienia łopatek wstępnej kierownicy regulacyjnej przedstawione zostały na rysunkach 14 i 15. Wskaźniki bezwymiarowe uzyskane przez badane modele w punkcie odpowiadającym maksymalnej sprawności wewnętrznej zestawione zostały w tablicy 2.



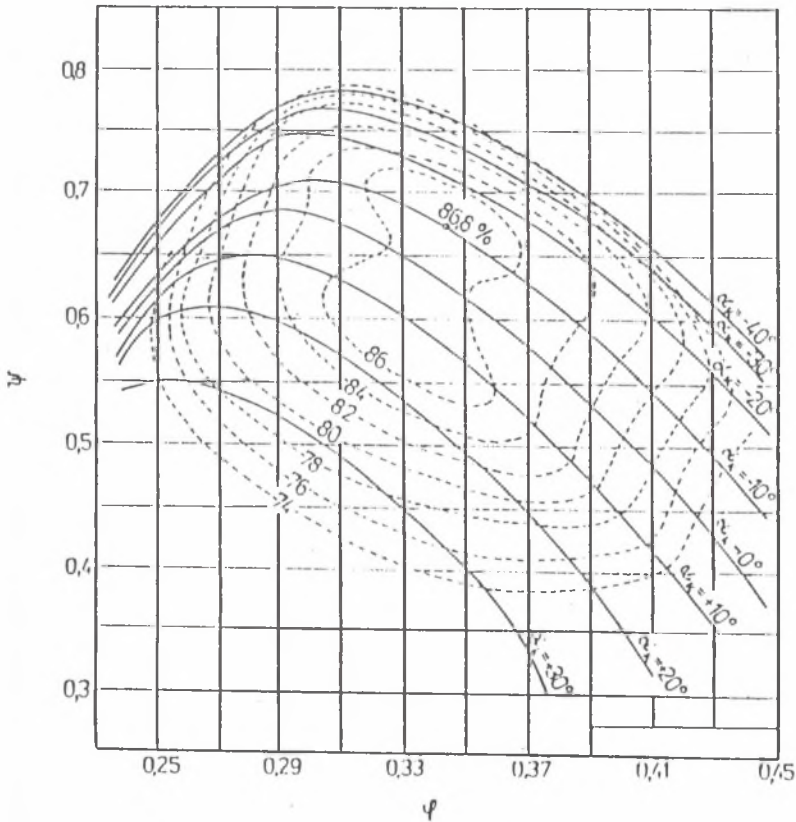
Rys. 14. Charakterystyka regulacyjna wentylatora modelowego MWM-063/500

Fig. 14. Performance curves of the model fan MWM-063/500

Tablica 2

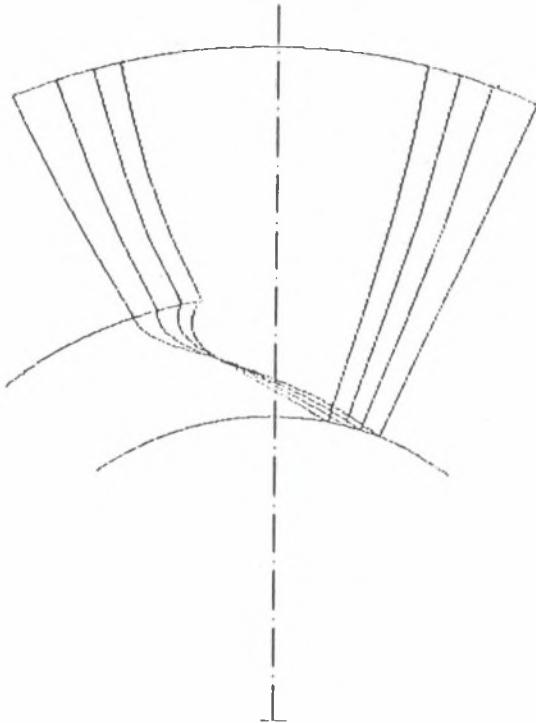
Model	MWM-063	MWG-063	MWG-067
Wskaźnik wydajności	0,37	0,3571	0,3361
Wskaźnik spiętrzenia	0,78	0,7627	0,8672
Sprawność wewnętrzna	88,1	86,27	85,71
Wyróżnik szybkobieżności	0,764	0,7329	0,645
Wskaźnik średnicy	1,491	1,673	1,6645

Modelowy wentylator merydionalny MWM-067



Rys. 15. Charakterystyka regulacyjna wentylatora modelowego MWM-067/500

Fig. 15. Performance curves of the model fan MWM-067/500



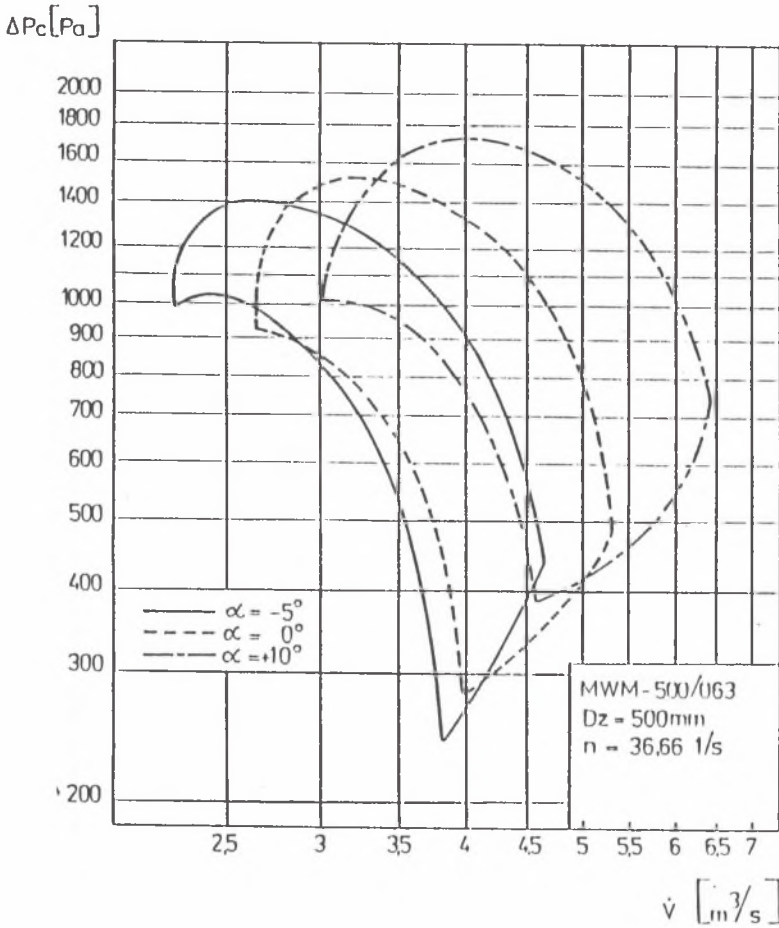
Rys. 16. Łopatka uniwersalna

Fig. 16. Universal blade

W celu rozszerzenia pola pracy wentylatorów analizowanego typu przeprowadzone zostały również badania wpływu kąta ustawienia łopatek roboczych koła wirnikowego z merydionalnym przyspieszeniem strumienia na charakterystykę aerodynamiczną wentylatorów modelowych [12]. W tym celu opracowano na podstawie modelu MWM – 063/00, przy wykorzystaniu przedstawionej procedury projektowej, konstrukcję łopatki wykonanej w matrycy uniwersalnej o wymiarach uwzględniających obrys łopatek dla kątów ustawienia $\Delta\alpha = +15^\circ, +10^\circ, 0,0^\circ, -0,5^\circ$ (rys. 16).

Na rysunku 17 przedstawiono uzyskane obszary pracy wentylatorów z trzema wersjami kół wirnikowych o kątach ustawienia łopatek roboczych $\Delta\alpha = 0,0^\circ, +10^\circ$ i -5° wykreślone w układzie współrzędnych

logarytmicznych. Z porównania wynika, że obrót łopatki koła wirnikowego o $+10^\circ$ powoduje wzrost wskaźnika wydajności w punkcie nominalnym o 21,4%, natomiast wskaźnika spiętrzenia o 21% przy spadku sprawności w granicach 3%. Osiągalne graniczne wartości wskaźników wydajności $\eta \geq 0,6$ wynoszą dla zespołu trzech badanych wirników odpowiednio $\varphi^* = 0,225 - 0,5$.



Rys. 17. Obszar pracy wentylatora z kołami wirnikowymi o różnym kącie ustawienia łopatek

Fig. 17. Performance curves of fans with different angles of impeller blades setting

4.2. Wentylatory osiowe reakcyjne

4.2.1. Konstrukcje modelowe

W celu sprawdzenia zastosowanych metod doboru wskaźników bezwymiarowych oraz metod obliczeń aerodynamicznych opracowano i przebadano aerodynamicznie dwanaście wentylatorów modelowych, w tym:

1. pięć konstrukcji o stosunku średnic $v = 0,56$,
2. cztery konstrukcje modelowe o stosunku średnic $v = 0,63$,
3. trzy konstrukcje modelowe o stosunku średnic $v = 0,67$.

Wszystkie wentylatory modelowe pracują w układzie przepływowym: wlot dyszowy, koło wirnikowe, kierownica tylna, dyfuzor. Średnica zewnętrzna kół wirnikowych 500 mm. Wszystkie modele posiadają koła wirnikowe z kulistymi piastami stalowymi osadzonymi w nich obrotowo łopatkami wykonanymi z żywicy epoksydowych. Szkieletowe profile mają w rozwinięciu na płaszczyznę kształt łuku lub paraboli (P). Kierownice tylne posiadają nieprofilowane łopatki cylindryczne wykonane z blachy.

4.2.2. Badania aerodynamiczne wentylatorów modelowych i analiza wyników badań

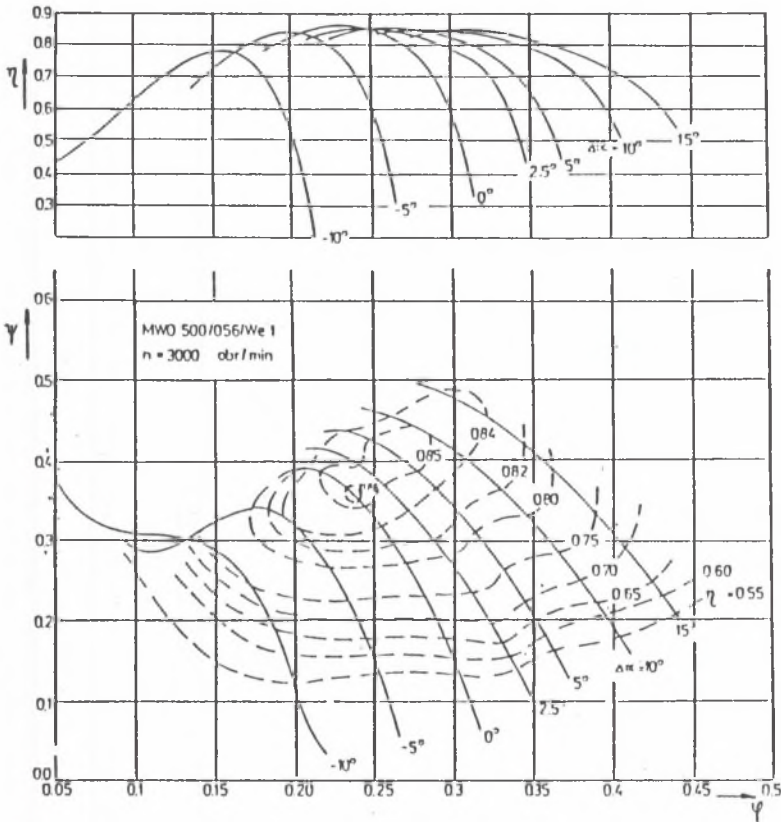
Badania aerodynamiczne prowadzone były na stanowisku zainstalowanym w laboratorium Zakładu Ciepłych Maszyn Przepływowych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej [8]. Wybrane dla każdego z trzech stosunków średnic ($v = 0,56, 0,63, 0,67$) charakterystyki regulacyjne wentylatorów modelowych, wyznaczone dla ośmiu kątów ustawienia łopatek roboczych koła wirnikowego $\Delta\alpha = 0,0^\circ, 2,0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, -2,5^\circ, -5^\circ, -10^\circ$ przedstawione zostały na rysunkach 18, 19, 20.

Wyniki badań w punktach charakterystyki odpowiadających maksymalnej sprawności modeli oraz obliczeniowemu wskaźnikowi wydajności φ^* zestawiono w tabelicy 3. Najwyższą sprawność $\eta_i = 0,868$ uzyskał model MWO – 500/056/16/Ho o stosunku średnic $v = 0,56$ przy liczbie Reynoldsa $Re = 3,93 \times 10^5$.

Przy wzroście średnicy do 1000 mm liczba Re osiągnęłaby wartość $R = 10,9 \times 10^5$, co spowodowałoby wzrost sprawności do około 89%.

Na rysunku 21 naniesiono wskaźniki bezwymiarowe wentylatorów modelowych na wykres $K_n = f(\delta)$. Wykres ten wykorzystano w algorytmie i programie obliczeniowym do wyznaczania kompletu wskaźników bezwymiarowych niezbędnych w obliczeniach aerodynamicznych wentylatorów osiowych.

Bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia uzyskiwanych parametrów pracy przez układ łopatkowy ma wybór właściwej relacji pomiędzy stosunkiem średnic v , wskaźnikiem spiętrzenia ψ oraz wydajności φ^* . W niniejszej pracy dla wyznaczenia tej relacji posłużono się zależnością zapewniającą pracę układu przepływowego bez oderwania bezwładnościowego:



Rys. 18. Charakterystyka regulacyjna wentylatora modelowego MWO-500/056/16

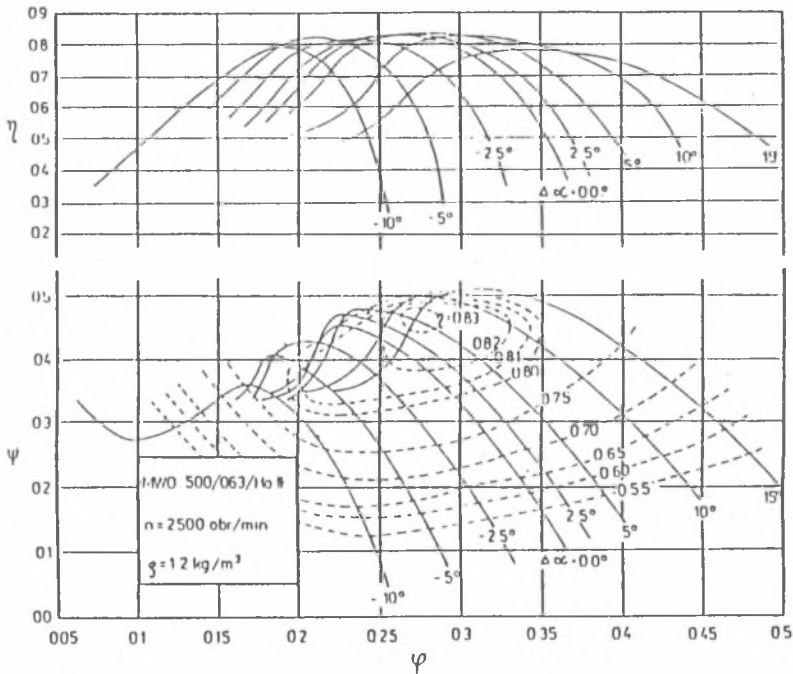
Fig. 18. Performance curves of model fan MWO-500/056/16

Tablica 3

Wyniki pomiarów						
Lp.	Model	punkt odpowiadający η_{\max}				
	MWO-500	η_i %	φ^*	ψ	K_N	δ
1	056/20I	82,7	0,2136	0,2517	1,3	1,5325
2	056/16I	83,12	0,2259	0,367	1,008	1,6377
3	056/20P/II	80,4	0,256	0,3817	1,00	1,5535
4	056/16/We	0,861	0,2371	0,3573	1,0536	1,588

Tablica 3 cd.

Wyniki pomiarów						
Lp.	Model	punkt odpowiadający η_{max}				
	MWO-500	η_i %	φ^*	ψ	K_N	δ
5	056/16/Ho	0,8685	0,2485	0,3787	1,0339	1,5729
6	063/16/WeI	0,8366	0,24	0,4178	0,9426	1,6413
7	063/16/HoI	0,8453	0,2064	0,4029	0,8985	1,7536
8	063/16/WeII	0,8452	0,2287	0,436	0,8803	1,6991
9	063/16/HoII	0,8355	0,2605	0,4188	0,9804	1,5761
10	067/20/I	76,0	0,2309	0,4123	0,9339	1,6676
11	067/16/I	79,0	0,2482	0,5279	0,7625	1,777
12	067/20P/II	78,0	0,2465	0,54	0,7877	1,727



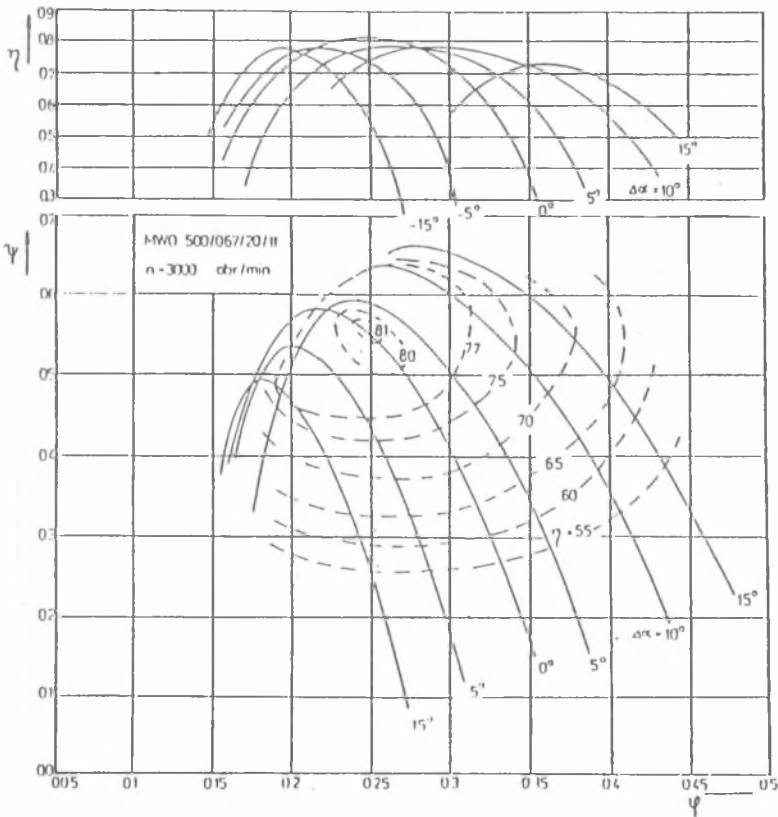
Rys. 19. Charakterystyka regulacyjna wentylatora modelowego MWO-500/063/16

Fig. 19. Performance curves of model fan MWO-500/063/16

$$v = \frac{D_1}{D_2} = -2,5 + \frac{\sqrt{2,5^2 + 4 \frac{\Psi_t}{\varphi^*}}}{2 \frac{\Psi_t}{\varphi^*}} + K \quad (1)$$

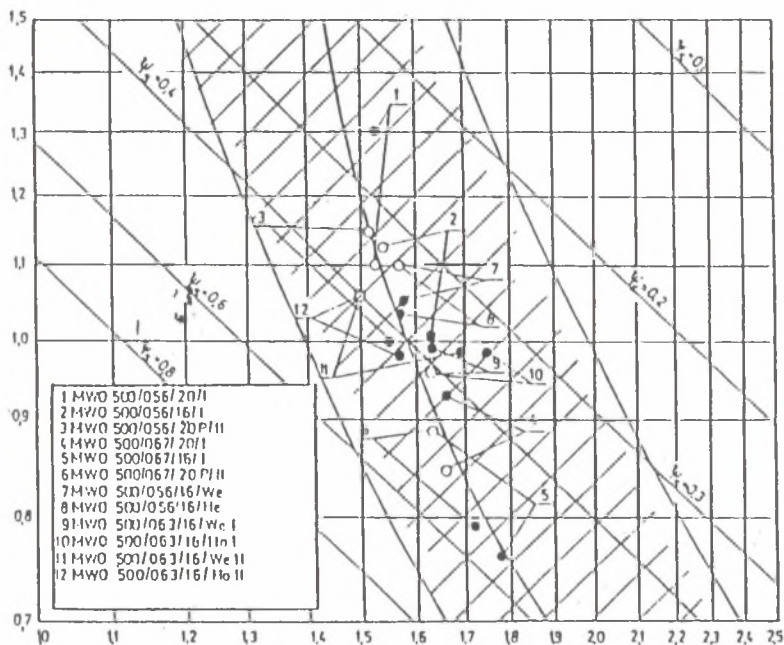
gdzie: $\Psi_t = \frac{\Psi}{\eta_i}$ – teoretyczny wskaźnik śpiętrzenia,

$K = K1 \frac{\Psi_t}{\varphi^*}$ – stała wyznaczona w niniejszej pracy na drodze doświadczalnej.



Rys. 20. Charakterystyka regulacyjna wentylatora modelowego MWO-500/067/16

Fig. 20. Performance curves of model fan MWO-500/067/16



Rys. 21. Wykres zbiorczy wskaźników bezwymiarowych $K_n = f(\delta)$

Fig. 21. Overall nondimensional characteristics of axial flow fans $K_n = F(\delta)$

Sprawdzono również rzeczywiste obciążenie aerodynamiczne palisad łopatkowych $C_r l / t$.

Wymienione kluczowe dla projektowania układów przepływowych wentylatorów osiowych wskaźniki zestawione zostały w tabelicy 4 w funkcji stosunku średnic v .

Tablica 4

$v = D_1/D_2$	ψ/φ^*		$C_r l / t$		K równ. (1)	K_1 równ. (1)
	obliczenia	pomiar	obliczenia	pomiar		
0,56	1,6 – 1,7	1,59 – 1,8	1,329–1,409	1,462–1,49	0,054–0,0722	0,037–0,045
0,63	1,7 – 2,0	1,65 – 1,8	1,208–1,4	1,012–1,159	0,077–0,12	0,0378–0,07
0,67	2,24	2,6	1,24–1,398	1,557–1,598	0,0829	0,037

Z zestawienia tego wyniku, że występuje wyraźna prawidłowość w zachowaniu się stosunku ψ_t/φ^* w funkcji stosunku średnic v . Ze wzrostem v teoretyczny wskaźnik spiętrzenia rośnie w stopniu znacznie większym niż wskaźnik wydajności φ^* . Wzrost stosunku średnic powoduje również wzrost współczynnika K występującego w równaniu (1). Badania wykazały również równorzędność obu zastosowanych w pracy metod projektowania.

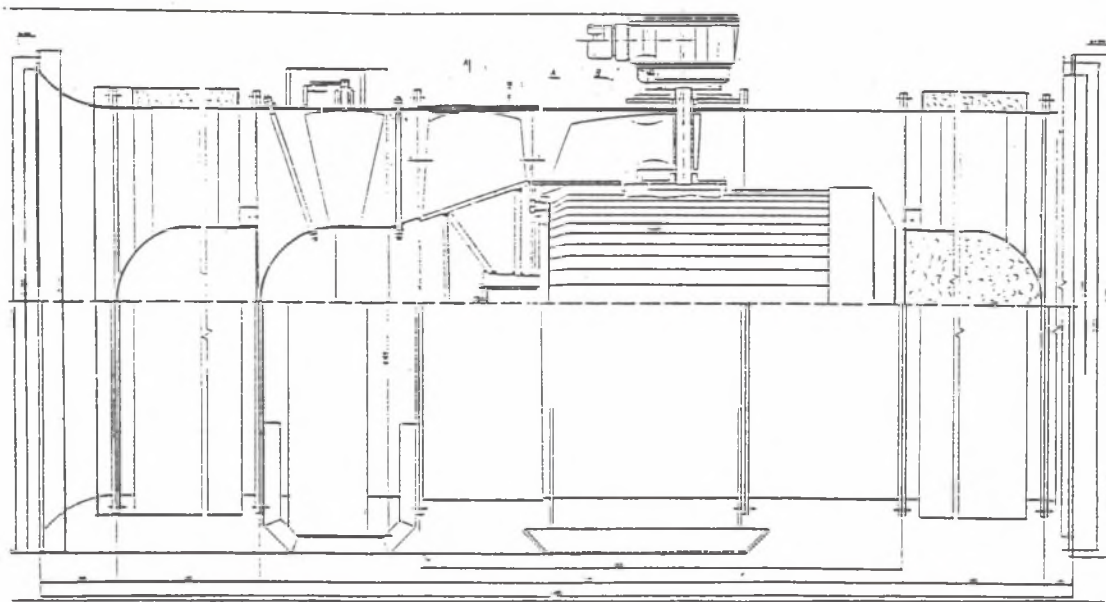
5. ZASTOSOWANIE PRZEMYSŁOWE

5.1. Zastosowanie wentylatorów merydionalnych do wentylacji pomocniczej

Najwyższa wydajność nominalna wentylatora typu WLE 1004/1 z typoszelegu wentylatorów hutniowych [14] wynosi $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$, natomiast najniższa wydajność nominalna wentylatora typu WOK 1.6/P stosowanego w wentylacji głównej wynosi $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Występująca tu duża luka w zakresie wydajności wymagała uzupełnienia przez nowe konstrukcje wentylatorów. W szczególności konieczne stało się wprowadzenie do eksploatacji nowych konstrukcji wentylatorów o wydajnościach $15\text{--}20 \text{ m}^3/\text{s}$ i przyrostach ciśnień $2000\text{--}3000 \text{ Pa}$. Oczekiwania te spełniają obecnie wentylatory typu WPM-1000 A i WPM-1200 A [15], w których zastosowany został układ przepływowy wentylatora modelowego MWG-063/500 [6]. Podobnie jak w wentylatorach modelowych, zastosowano tu proste technologicznie i trwałe w eksploatacji koła wirnikowe spawane, z łopatkami wykonanymi z blachy stalowej (rys. 22). Obszary pracy obu wielkości wentylatorów regulowanych przez zmianę kątów ustawienia łopatek wstępnej kierownicy regulacyjnej przedstawione są na rysunku 23. Nowe konstrukcje zachowują wysokie sprawności zespołu w wymaganym zakresie parametrów pracy; przeznaczone są do wentylacji pomocniczej i przewietrzania wyrobisk górniczych odrębną wentylacją ssącą w polach I kategorii zagrożenia metanowego oraz odrębną tłoczącą w polach I, III i IV kategorii zagrożenia metanowego [15].

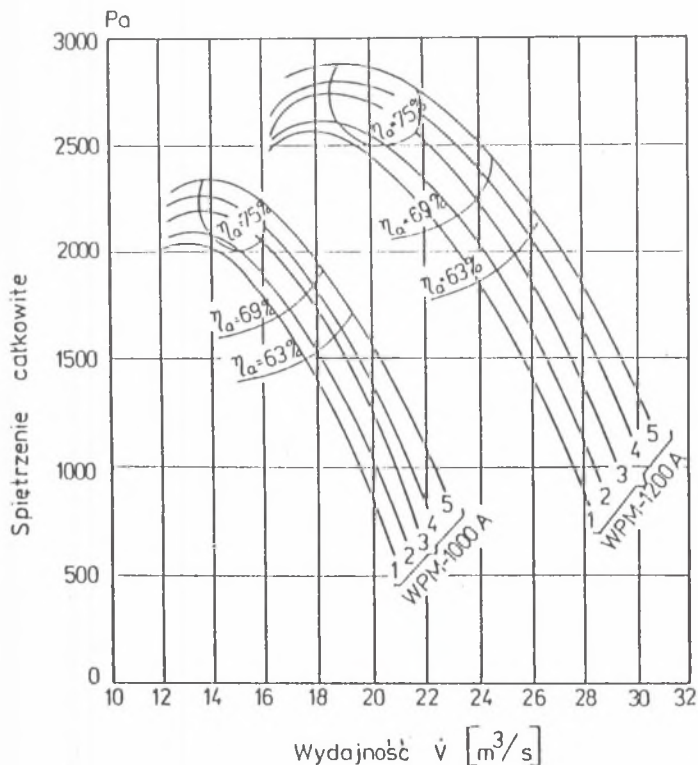
5.2. Wykorzystanie wentylatorów merydionalnych w modernizacji wentylatorów głównego przewietrzania

W związku z wystąpieniem w obrębie szybu Kokoszyce KWK Anna w Pszowie konieczności eksploatacji pokładów węgla kamiennego na większych głębokościach przeprowadzona została modernizacja stacji wentylatorowej.



Rys. 22. Wentylator WPM-1200 A

Fig. 22. WPM-1200 A Fan

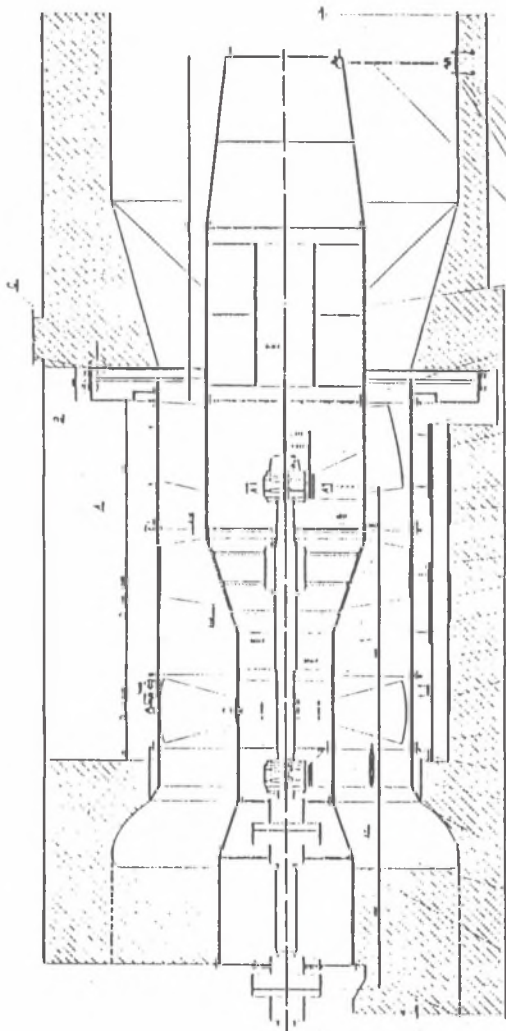


Rys. 23. Charakterystyki regulacyjne wentylatorów WPM-1000 A i WPM-1200 A

Fig. 23. Performance curves of fans WPM-1000 A and WPM-1200 A

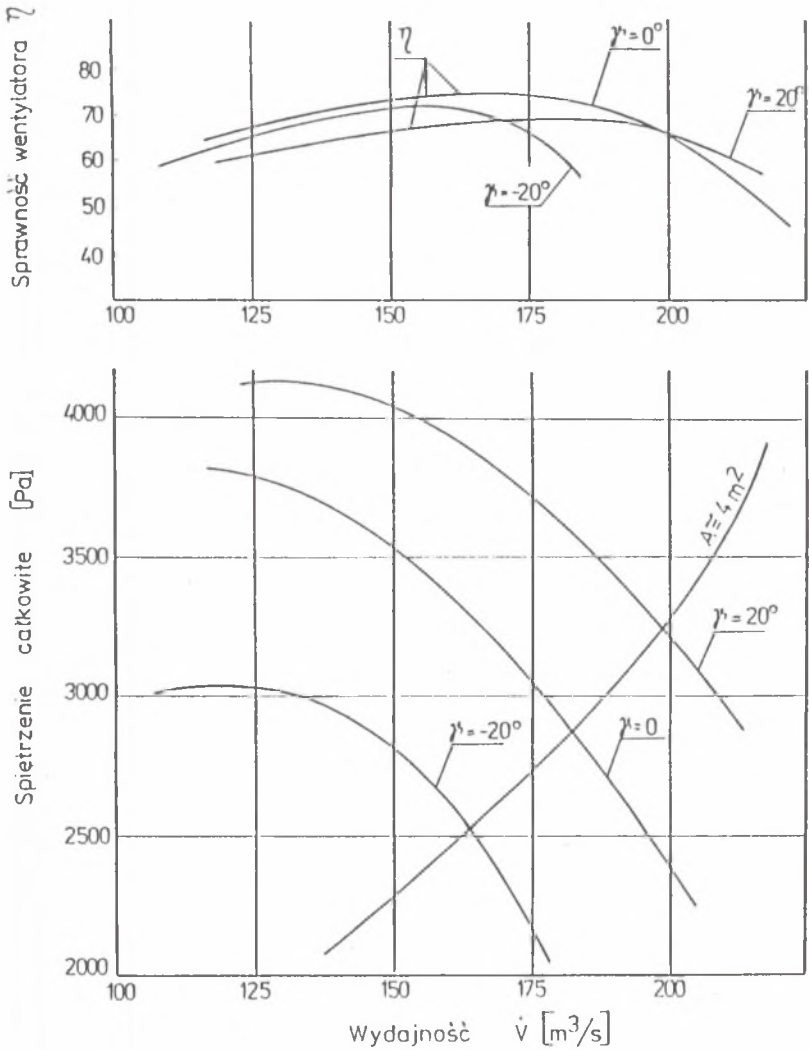
Istniejące dotychczas wentylatory typu Turbo Werke Meissen o parametrach: $V = 120 \text{ m}^3/\text{s}$; $\Delta P_c = 2400 \text{ Pa}$ zastąpione zostały jednostopniowym wentylatorem z merydionalnym przepięszeniem strumienia o średnicy zewnętrznej koła wirnikowego 2,6 m i gabarytach (rys. 23) zbliżonych do gabarytów poprzedniej konstrukcji. Umożliwiło to wykorzystanie istniejącej stacji wentylatorowej wraz z kanałami wentylacyjnymi i podstacją elektryczną.

Koszt tak przeprowadzonej modernizacji w stosunku do kosztu rozwiązania przewidującego wybudowanie nowej stacji wentylatorowej z wykorzystaniem



Rys. 24. Wentylator głównego przepowietrzania WMK-2.6

Fig. 24. Fan WMK-2.6 for main ventilation



Rys. 25. Charakterystyka regulacyjna wentylatora WMK-2.6

Fig. 25. Performance curves of fan WMK-2.6

wentylatorów kopalnianych promieniowych typu WPK-3.9 wynosi jedynie 5,3% [9].

Na rysunku 15 przedstawiona została charakterystyka regulacyjna wentylatora WMK-2.6, z której wynika, że osiąga on przy wydajnościach w granicach 165–200 m³/s ciśnienie od 2500–3200 N/m² wymagane przy wentylacji głębokich pokładów szybu Kokoszyce [10].

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiono sekwencyjno-iteracyjny proces badawczy wentylatorów osiowych merydionalnych i reakcyjnych. Proces polega na wzajemnie uzupełniającej się analizie teoretycznej i doświadczalnej szczegółowej struktury przepływu w wybranych elementach układu przepływowego oraz badaniach pełnych charakterystyk aerodynamicznych wentylatorów modelowych projektowanych zgodnie z sukcesywnie doskonalonymi algorytmami obliczeniowymi. Reprezentatywny zestaw wyników badań wentylatorów modelowych, o bardzo wysokiej sprawności, pozwolił na sprecyzowanie zależności pomiędzy podstawowym wskaźnikiem geometrycznym, jakim jest stosunek średnic, a podstawowymi wskaźnikami kinematycznymi. Uzyskane wyniki umożliwiły modyfikację algorytmu obliczeń aerodynamicznych zapewniających bardziej precyzyjne uzgadnianie parametrów geometrycznych i kinematycznych wentylatorów w fazie projektowania. Pozwoliło to z kolei na opracowanie w pełni zautomatyzowanych programów komputerowych zarówno w fazie obliczeń aerodynamicznych, jak również w fazie konstruowania. Szeroka reprezentacja przebadanych wentylatorów modelowych stwarza ponadto przesłanki właściwego wyboru w fazie potrzeby układu przepływowego wentylatora dla konkretnych celów praktycznych. Przedstawione przykłady wskazują w szczególności na duże możliwości wykorzystania opracowanych układów przepływowych w pracach modernizacyjnych wentylatorów głównego i miejscowego przewietrzania kopalń.

LITERATURA

- [1] Witkowski A.: Sekwencyjno-iteracyjny proces badawczy wentylatorów osiowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. seria ENERGETYKA, zeszyt 83, Gliwice 1983 r.
- [2] Witkowski A.: Flow Analysis in Axial Flow Compressor Impeller with Meridional Stream Acceleration. Proc. of the Fourth Conference on Fluid Machinery, Budapest 1972 r.
- [3] Witkowski A.: Analiza teoretyczna i doświadczalna struktury przepływu w osiowym stopniu sprężającym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. seria ENERGETYKA, zeszyt 93, Gliwice 1986 r.
- [4] Chmielniak T., Witkowski A.: The Theoretical and Experimental Investigations of Losses in a Single Stage Axial Flow Compressor. 17-th International Congress on Combustion Engin. Gas Turbines CIMAC'87, Warsaw 1987 r.
- [5] Witkowski A.: A New Conception of Theoretical and Experimental Investigations of Losses in Axial Flow Impeller. Proceedings of the Ninth Conference on Fluid Machinery, Budapest 1991 r.
- [6] Witkowski A., Otte J.: Design and Test of Axial Flow Fans with Meridional Stream Acceleration. Proc. of the Fifth Conference on Fluid Machinery, Budapest 1975 r.
- [7] Witkowski A., Roj L., Mirski M.: Zastosowanie wentylatorów osiowych z merydionalnym przyśpieszeniem strumienia w górnictwie węglowym. MECHANIZACJA I AUTOMATYZACJA GÓRNICHTWA nr 11, Katowice 1991 r.
- [8] Witkowski A.: Wpływ parametrów geometrycznych układu przepływowego na wskaźniki kinematyczne i sprawność wentylatorów osiowych. MECHANIZACJA I AUTOMATYZACJA GÓRNICHTWA nr 7, Katowice 1992 r.
- [9] Witkowski A.: Quasi-rzeczywisty model przepływu w osiowym stopniu sprężającym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. seria ENERGETYKA, zeszyt 72, Gliwice 1978 r.
- [10] Witkowski A., Mirski M.: Doświadczalna identyfikacja strat przepływowych w osiowym stopniu sprężającym. Praca BK-386/ME-2/91, Gliwice 1991 r., nie opublikowana.
- [11] Witkowski A., Stozik M., Mirski M.: Stanowisko do badań termooanemometrycznych trójwymiarowego, turbulentnego przepływu za kołem wirnikowym osiowego stopnia sprężającego metodą periodycznego, zsynchronizowanego z liczbą obrotów próbkowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej CMP nr 103, 1993 r.

- [12] Witkowski A., Mirski M.: Komputerowe wspomaganie projektowania osiowych wieńców sprężających z merydionalnym przyśpieszeniem strumienia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. seria ENERGETYKA, zeszyt 91, Gliwice 1991 r.
- [13] Intersoft AUTOCAD version 2.17, Warszawa 1987 r.
- [14] CMG KOMAG: Nowy typoszereg wentylatorów lutniowych z napędem elektronicznym. Gliwice. Praca nie opublikowana.
- [15] CMG KOMAG: Wentylatory do wentylacji pomocniczej WPM-1000 A, WPM-1200 A. Gliwice.

Abstract

The development of contemporary aerodynamics of turbomachines is determined by two practical problems:

- the first problem is reduced to an analysis of the flow and establishing the characteristics of operation of machines with known geometry of the flow system,
- the second problem consists in the shaping of the optimum blade vane system which ensures the desired or assumed in advance parameters.

In order to solve both of these problems it is necessary to learn about the phenomena occurring during the flow through the blade vane systems. A real progress can be achieved here only through simultaneous development of complementary to each other theoretical and experimental studies.

In theoretical part the problem has been solved taking into consideration the simplified so called quasireal flow model in which to make the analysis easier, the flow has been divided into two regimes.

The sequence-iteration research process elaborated at the Institute of Power Machinery of the Silesian Technical University may be divided into four basic problems (fig. 1):

1. the problem of axial-symmetrical flow in meridional section of the stage,
2. the problem of flow in the annulus wall boundary layers,
3. the problem of the blade cascade flow,
4. the problem of the profile boundary layers.

The results obtained from the solution of the above mentioned research problems make it possible in twin, to improve the algorithms and programs of aerodynamic calculations of compressor stages and fans. The information obtained from the studies of the model constructions elaborated while using these algorithms are the basis for further verification of the adopted analytical methods.

The presented research program has been used in the process of elaborating new, highly efficient model constructions of axial-flow fans with meridional acceleration of the stream, of the series MWM-500/063 and MWG-500/067, as well as the reaction ones of the series MWO-500/056/063/067.

It possible to asses the calculating methods and to determine the selection principles of basic geometrical quantities in the aspect of required operation parameters. That also enabled to create a bank of information necessary to quick elaboration of construction for practical purposes.