

Tadeusz CHMIELNIAK
Joachim OTTE
Politechnika Śląska Gliwice

WENTYLATORY – ROZWÓJ BADAŃ I KONSTRUKCJI

Streszczenie. W prezentowanym artykule przedstawiono wybrane aspekty badań i konstrukcji wentylatorów przemysłowych. Naszkicowano ocenę zagadnień wynikających z aktualnego stanu badań nad problematyką wentylatorów.

INDUSTRY-FANS – STATE OF DEVELOPMENT IN THE DESIGN AND INVESTIGATIONS

Summary. In the paper has been discussed some problems of design and calculations of industry fans. The results obtained in Institut of Power Engineering of Silesian Technical University has been presented.

VENTILATOREN – KONSTRUKTIONEN – UND FORSCHUNGSTENDENZEN

Zusammenfassung. Es wurde hier derzeitige Entwicklungsstand der Ventilatorenforschung und Ventilatorenkonstruktion dargestellt. Die Gesamtlösung Industrieventilator besteht somit aus der Lösung vieler Spezialaufgaben, die sich aus den Anforderungen ergeben und in die unterschiedlichsten Fachgebiete hineinreichen.

1. WPROWADZENIE

Sprawność konwersji energii, odpowiednie charakterystyki wytrzymałościowe (statyczne i dynamiczne) i akustyczne oraz niezawodność eksploatacyjna to zasadnicze miary w ocenie konstrukcji wentylatorów. Ich waga zależy od funkcji i przeznaczenia instalacji wentylatorowych oraz struktury kosztów

procesów projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Fakt ten utrudnia w zasadniczy sposób jednoznaczny ocenę stanu rozwoju techniki wentylatorowej. Trudno jest także określić dostatecznie precyzyjnie „potencjał doskonałości” wszystkich elementów konstrukcji oraz procesów eksploatacyjnych. Jedną z dróg ominięcia tych trudności może być analiza porównawcza tendencji i efektów rozwojowych innych grup maszyn przepływowych (sprężarek, turbin cieplnych, pomp).

Wnioski z niej wynikające wskazują, ogólnie mówiąc, na pewne opóźnienie rozwoju wentylatorów w stosunku do innych maszyn. Wśród różnych przyczyn tego stanu rzeczy niepoślednią rolę odegrało traktowanie wentylatorów jako urządzeń elementarnie prostych, nie wymagających badań fizyki zachodzących w nich zjawisk przepływowych. Nie bez znaczenia było (przynajmniej w polskich warunkach) dążenie za wszelką cenę do uproszczenia technologii wytwarzania kosztem charakterystyk energetycznych i eksploatacyjnych.

W ostatnim dziesięcioleciu przedstawiono wiele nowych algorytmów obliczeń aerodynamicznych i wytrzymałościowych. Ich zastosowanie w procesie konstrukcyjnym wentylatorów powinno przynieść istotny postęp. Konieczne w tym celu badania numeryczne i eksperymentalne prowadzone już w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, wsparte przez zainteresowanych producentów i eksploataatorów, mogą zaowocować odpowiednimi systemami i metodami obliczeniowymi w najbliższej przyszłości. Podobnie jak w wypadku innych maszyn przepływowych powinny one:

A. Poszerzać naszą wiedzę o następujących zjawiskach:

- konwersji energii w stacjonarnych przepływach trójwymiarowych płynów lepkich,
- niestacjonarnego oddziaływania kanałów stacjonarnych i wirujących,
- generacji sił i naprężeń dynamicznych w układach łopatkowych.

B. Służyć opracowaniu metod:

- obliczeń aerodynamicznych,
- obliczeń wytrzymałościowych,
- optymalizacji konstrukcji.

C. Umożliwić tworzenie bazy informacyjnej:

- dotyczącej przebadanych wentylatorów modelowych, prototypów itp.,
- dotyczącej badań elementów wentylatorów.

W artykule naszkicowano ocenę zagadnień wynikających z aktualnego stanu badań nad problematyką wentylatorów.

2. STAN I KIERUNKI ROZWOJU WENTYLATORÓW

Obecny stan rozwoju wentylatorów przemysłowych scharakteryzować można następująco:

- Układy przepływowe wentylatorów pod względem własności aerodynamicznych osiągnęły dosyć wysoki poziom jakości. Nie można spodziewać się już dużej poprawy sprawności, niemniej zastosowanie procedur i technik obliczeniowych wykorzystywanych w sprężarkach lub turbinach pozwoli zwiększyć trafność wnioskowania w zakresie problematyki przepływu.
- Pod względem własności mechanicznych, z uwagi na zastosowanie w coraz szerszym zakresie techniki CAD wraz z metodą elementów skończonych, wentylatory osiągnęły poziom co najmniej dobry. Ulepszenia wraz z postępem technologicznym sukcesywnie są wprowadzane.
- Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia w zakresie powiększania jednostek, dalszy rozwój w tym względzie bliski jest pewnych granic, które wyznaczone są przez problemy materiałowe, technologiczne, transportowe i eksploatacyjne. W pierwszej kolejności problemy te dotyczą wirników.
- Wymagane parametry pracy wentylatorów zmieniają się według trendów w budowie urządzeń kotłowych, instalacji odsiarczania spalin, bloków energetycznych itp. Często wymagane przyrosty ciśnienia przekraczają możliwości konstrukcji wentylatorów jednostopniowych, co wyznacza kierunek dalszych prac.
- Wymagane parametry pracy, szczególnie w zakresie przyrostu ciśnienia, jak i w wielu przypadkach podobieństwo rozwiązań konstrukcyjnych powodują, że coraz częściej zaciera się granica pomiędzy wentylatorami i dmuchawami.
- Jest praktykowane, że decyzja o wyborze danej oferty wentylatora przemysłowego jest wynikiem analizy ekonomicznej, której podstawą jest ocena minimum kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Stąd wynika stały nacisk na doskonalenie regulacyjności wentylatorów.
- Niezawodność pracy i dyspozycyjność ruchowa doszły już do dosyć wysokiego poziomu, niemniej porównując tę dziedzinę w kraju i w wysoko rozwiniętych krajach Europy, dostrzec należy tu wyraźne nasze „zapóźnienie”.
- Z pozycji krajowych – a więc subiektywnych – można zauważyć, że zmiany w systemie gospodarowania wpłynęły radykalnie na komfort zachowań krajowych producentów i krajowych eksploatatorów. Jest ogólną prawidłowością, że dąży się tu do „uśrednionych” zachowań europejskich.

3. ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA WENTYLATORÓW

Wynikiem procesu projektowania jest decyzja o zastosowaniu aktualnej lub potencjalnej konstrukcji. Aby w sposób najbardziej optymalny zaspokoić potrzeby względem żądanych parametrów pracy opisanych przez zestaw wielkości:

wydajność	\dot{V} [m^3/s]
przyrost ciśnienia	ΔP_c [Pa]
gęstość czynnika	ρ [kg/m^3]
temperatura	t [$^{\circ}\text{C}$]
zapylenieczynnika	p [g/m^3]

należy rozpatrzyć pole możliwości wszystkich typów wentylatorów, a więc:

- wentylatorów promieniowych,
- wentylatorów osiowych,
- wentylatorów diagonalnych,
- wentylatorów specjalnych.

W tym momencie procesu projektowanego należy odpowiedzieć na zasadnicze pytanie, a mianowicie:

- (I) czy ma powstać całkiem nowa konstrukcja (nie mająca swego prototypu lub modelu),
- (II) czy mając wcześniej zbadany model wentylatora, można zgodnie z zasadami prawdopodobieństwa dokonać doboru wentylatora (podobnego),
- (III) czy istnieje opracowany typoszereg wentylatorów, spośród którego można by dokonać wyboru określonej wielkości.

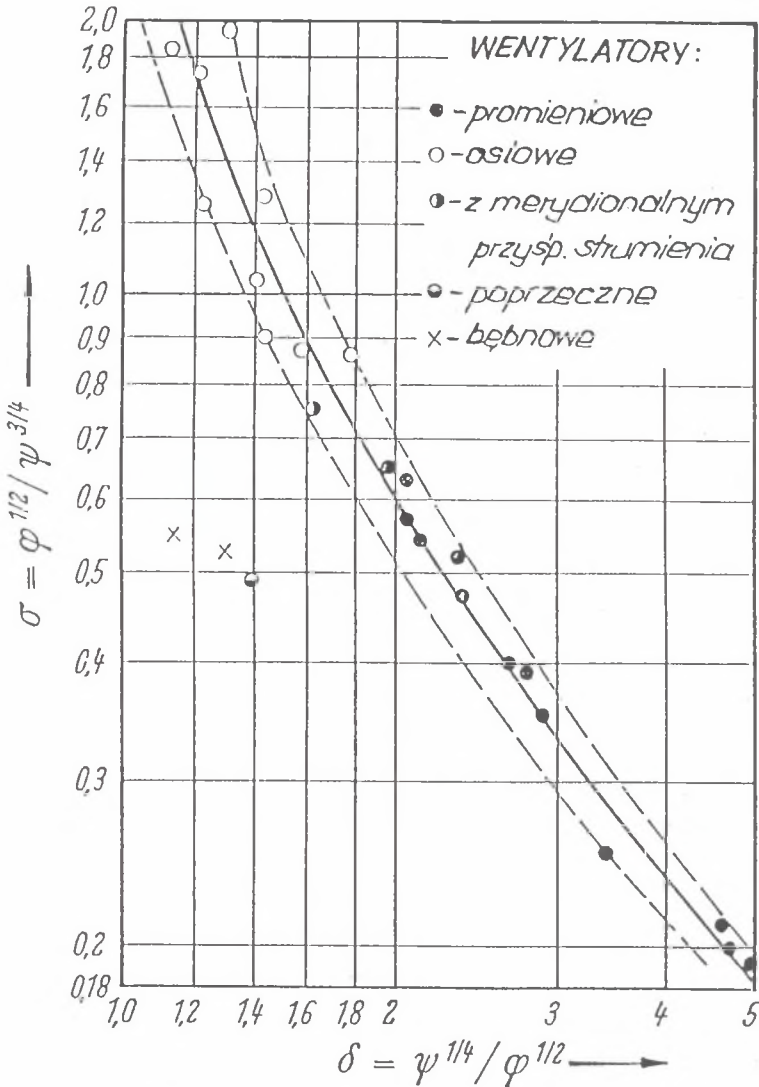
W tym pierwszym przypadku najważniejszym ogniwem w procesie projektowania jest człowiek, jego wiedza, doświadczenia i umiejętności. Tylko odpowiednio duże firmy posiadają zespoły projektowo-badawcze zdolne do podejmowania zadań opracowania całkiem nowej konstrukcji. W innych przypadkach wykorzystuje się wyspecjalizowane placówki badawczo-projektowe. W kraju są najwyżej trzy takie ośrodki.

Bardzo istotne jest gromadzenie, w formie banku informacji, doświadczeń w zakresie przebadanych i eksploatowanych wentylatorów. Dla konstruktorów szczególnie przydatnym i nieocenionym wprost narzędziem opracowania tych informacji jest teoria podobieństwa i wynikający stąd zestaw liczb (wskaźników) charakterystycznych. Podstawowe z nich to:

- liczba wydajności φ ,
- liczba przyrostu ciśnienia ψ ,

- liczba (wyróżnik) szybkobieżności σ ,
- liczba (wyróżnik) średnicy δ .

Taką podstawową zależność pozwalającą ocenić możliwości parametrowe wentylatorów jest wykres CORDIERA (rys. 1).



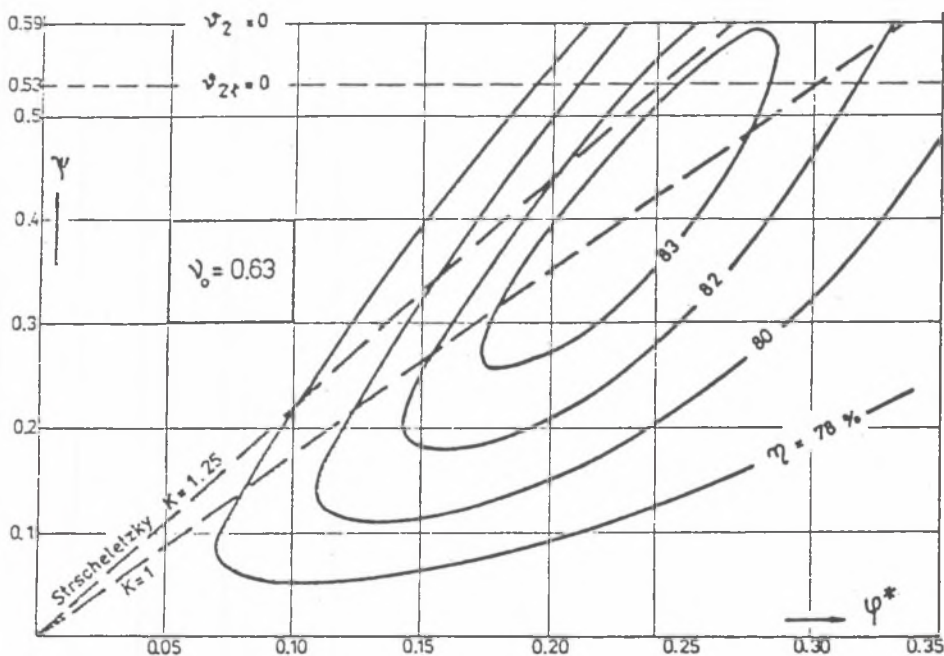
Rys. 1. Wykres zbiorczy wskaźników bezwymiarowych $\sigma = f(\delta)$

Fig. 1. Cumulative diagram of dimensionless indexes $\sigma = f(\delta)$

Podobną w sensie zastosowania zależność

$$\psi = (1,27 \pm 0,03) - 0,9\sigma$$

dla wentylatorów promieniowych wysoko sprawnych ($\eta > 80\%$) opracowano na podstawie własnych doświadczeń w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych [1]. Odmianę tego postępowania można zademonstrować na przykładzie wentylatorów osiowych, dla których opracowano pola parametrów pracy [2]. Jako ilustrację podano wykres na rys. 2 w układzie $\psi = f(\varphi)$ dla stosunku



Rys. 2. Pole parametrów projektowych wentylatora osiowego o stosunku średnic $v = 0,63$

Fig. 2. Designing parameters area of axial fans with diameter ratio $v = 0,63$

średnic $v = 0,63$. Odpowiednie doświadczenia dla wentylatorów diagonalnych (osiowe z merydionalnym przyspieszeniem strumienia) przedstawiono w pracy [3].

Pewnym uogólnieniem zadania (I) jest stworzenie typoszeregu wentylatorów. W sytuacji gdy wentylatory przemysłowe zamawiane są na konkretny punkt pracy, pierwotne pojęcie typoszeregu wentylatorów traci sens i może się odnosić do wentylatorów małych i średnich ogólnego przeznaczenia. Natomiast w nowszym rozumieniu tego słowa chodzi o możliwości stworzenia dowolnej wielkości maszyny na bazie charakterystycznego zespołu cech (najczęściej geometrycznych), gdzie niektóre elementy maszyny we własnym zakresie tworzą typoszereg wielkości (np. skrzyń wlotowych, aparatów kierowniczych, opraw łożyskowych, piast itp.).

Najważniejsze kryteria brane pod uwagę w procesie tworzenia typoszeregu to:

- kryterium długiej aktualności zunifikowanych wartości cech charakterystycznych,
- kryterium minimalnej liczby konstrukcji typowych należących do typoszeregu,
- kryterium minimum kosztów wytwarzania i eksploatacji wentylatorów typoszeregu.

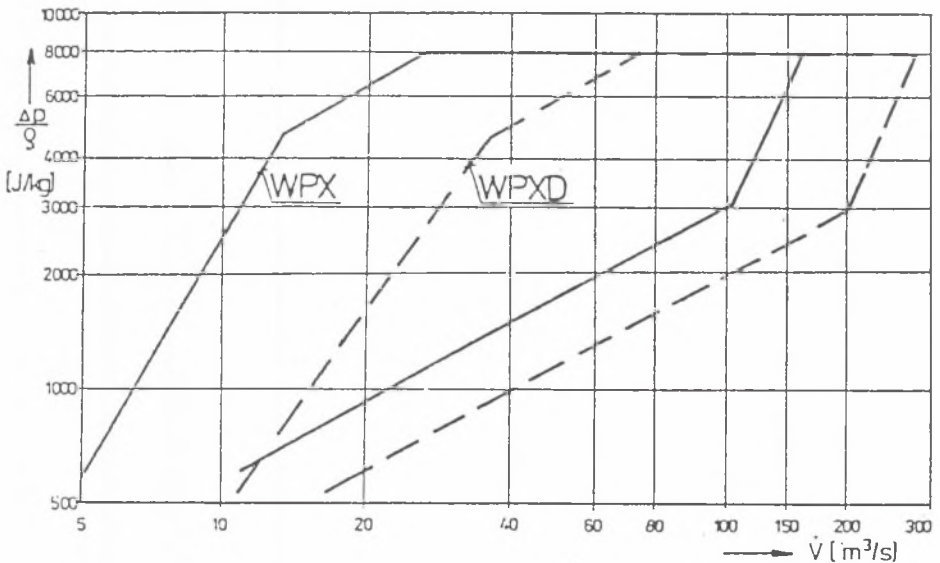
W Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych opracowano typoszereg promieniowych wentylatorów przemysłowych [4]., którego pole pracy przedstawiono na rys. 3. Przykładową charakterystykę pracy prototypu jednego z wentylatorów tego typoszeregu, a mianowicie wentylatora WPXD71–502, pokazano na rys. 4.

Zagadnienie wyboru określonej wielkości wentylatora spośród typoszeregu wentylatorów (zadanie III) jest zadaniem najprostszym. Przyjmując odpowiednie kryteria, zadanie to można doskonale skomputeryzować.

Zagadnienie pośrednie (zadanie II) zasadza się na tym, że w istocie mamy do dyspozycji zbadany modelowy wentylator i zestaw charakterystyk bezwymiarowych. W tym przypadku procedurę doboru wielkości wentylatora i obliczenia jego charakterystyk rzeczywistych najlepiej ująć w ramy systemu komputerowego.

W procesie projektowania jednym zasadniczych pytań jest pytanie o kryteria projektowe. W zależności od potrzeb układ ich może być różny. Dla przykładu dla wentylatorów małych mocy ogólnego przeznaczenia hierarchia ważności może przedstawiać się następująco:

- mała hałaśliwość,
- małe gabaryty i masa,
- dobra niezawodność ruchu,
- niskie koszty wytwarzania,
- szeroki zakres dobrej sprawności,
- wysoka sprawność maksymalna,



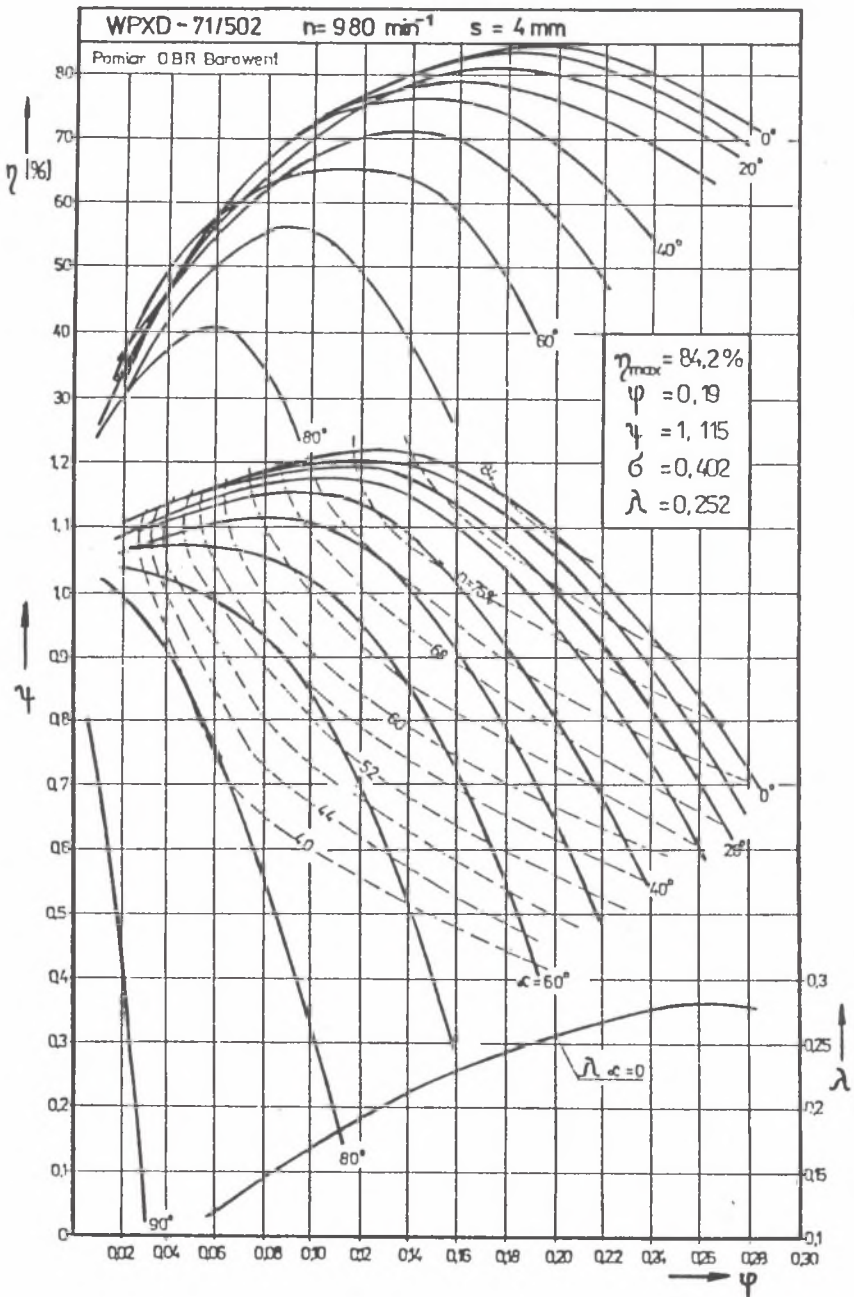
Rys. 3. Pole pracy typoszeregu wentylatorów WPX i WPXD

Fig. 3. Air flow – pressurerise – General survey charts of WPX and WPXD Fans

natomiast dla wentylatorów przemysłowych dużej mocy zazwyczaj układa się według kolejności:

- bardzo dobra niezawodność ruchu,
- wysoka sprawność maksymalna,
- szeroki zakres dobrej sprawności,
- mała hałaśliwość,
- małe gabaryty i masa,
- niski koszt wytwarzania.

Rozwiązanie problemów narzuconych wymaganiami stawianymi wentylatorom należy poszukiwać m.in. w takich dyscyplinach wiedzy jak: aerodyna-



Rys. 4. Charakterystyka pracy prototypu wentylatora WPXS71-502

Fig. 4. Performance characteristic of WPXS71-502 fan (prototype)

mika, mechanika, technika cieplna, wytrzymałość i dynamika maszyn, podstawy konstrukcji maszyn, akustyka, inżynieria materiałowa.

4. PODSTAWY KONSTRUOWANIA WENTYLATORÓW

Jest oczywistością, że wentylatory jako obiekt identyfikowany w procesie konstruowania należy rozpatrywać jako całość na podstawie przesłanek i kryteriów wynikających z racji: celowości technicznej, ekonomicznej i technologicznej. Analiza konstrukcji wsparta doświadczeniem „tradycji” pozwala jednakże wyodrębnić następujące podstawowe elementy konstrukcyjne budowy wentylatorów:

- skrzynie wlotowe,
- obudowy,
- koła wirnikowe,
- dyfuzowy,
- urządzenia regulacyjne,
- wały,
- łożyskowania,
- podstawy – ramy,
- sprzęgła,
- silniki,
- tłumiki.

Takie podejście analityczne do konstrukcji wentylatora jest bardzo istotne z punktu widzenia producenta, gdyż pozwala na pewną ich standaryzację dla określonych zakresów mocy, wielkości itp. Należy przy tym podkreślić, że w przypadku wentylatorów przemysłowych (a więc wentylatorów średniej i dużej mocy) w każdym przypadku panuje „rynek klienta”, czyli do każdego zamówienia podchodzi się indywidualnie i dobiera bądź konstruuje się wentylatory na żądany punkt (punktu) pracy.

Nagromadzone doświadczenia ujmują duży materiał dotyczący metod projektowania i konstruowania poszczególnych elementów. Zawsze jednak istnieje obszar niepewności, obszar, co do którego brak danych. W powiązaniu z tym należy widzieć istnienie określonych trudności i problemów, których dyskusja jest zawsze aktualna, gdyż tylko problem odpowiednio dobrze postawiony może być dobrze rozwiązany.

5. ZAGADNIENIA AERODYNAMICZNE

Przepływy w promieniowych i osiowych maszynach wirnikowych należą, ogólnie rzecz biorąc do rodziny przepływów wewnętrznych. Do analizy tego rodzaju przepływów opracowano wiele metod numerycznych. Celem sformułowania zadania brzegowego (początkowo-brzegowego) dla geometrii maszyn przepływowych należy w pierwszej kolejności dokonać wyboru odpowiedniego matematycznego modelu przepływu. Różne poziomy aproksymacji, które są aktualnie stosowane dla opisu ruchu płynu w kanałach maszyn przepływowych, przedstawia rys. 5. W zadaniach podstawowych (analizy), w których poszukujemy pola przepływu dla danej geometrii, uwaga skupiona jest na wykorzystaniu równań Eulera i różnych uproszczeniach uśrednionych równań Reynoldsa. Algorytmy oparte na przybliżeniu Eulera, choć dotyczą płynu nielepkiego, są obecnie bardzo szeroko stosowane do budowy trójwymiarowych systemów obliczeniowych dla pojedynczych lub wielowieńcowych kanałów maszyn przepływowych.

Praktycznie stosowane kody obliczeniowe dla płynów lepkich wykorzystują zazwyczaj uśrednione równania Reynoldsa z różnymi uproszczeniami i odpowiednie modele turbulencji. Dla wentylatorów przydatne mogą być zwłaszcza aproksymacje zakładające analizę strefową, a następnie sklejanie rozwiązań lepkich i nielepkich na granicach rozpatrywanych stref.

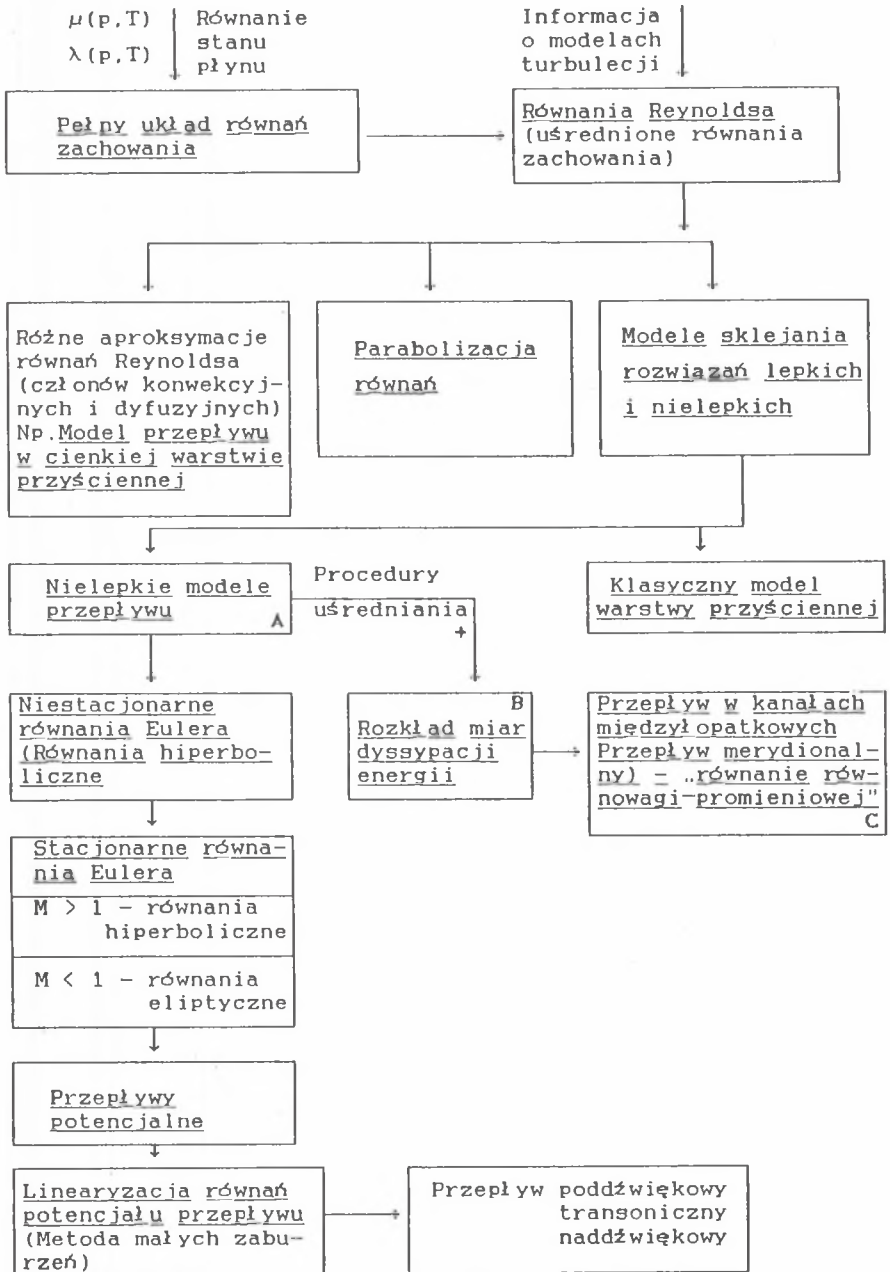
W sformułowaniu zadań odwrotnych (syntezy) można także wykorzystać różne modele przepływu, chociaż zastosowanie złożonych równań przepływu lepkiego jest jeszcze zbyt kosztowne, aby wprowadzać je do procesu projektowego wentylatorów. Stąd w tym procesie stosowane są zazwyczaj prostsze modele i odpowiednia organizacja obliczeń. Algorytm rozwiązań zadań odwrotnych może być zorganizowany według schematu zilustrowanego na rys. 6. Istotą postępowania jest minimalizacja funkcjonału zdefiniowanego dla obszaru obliczeniowego δ :

$$J(\delta) = \text{MIN}_{\delta} (0 - Z)$$

Przez „0” oznaczono (obliczony dla kolejnych iteracji) rozkład danego parametru (np. ciśnienia w obszarze obliczeniowym); Z – oznacza zadany zbiór tego parametru.

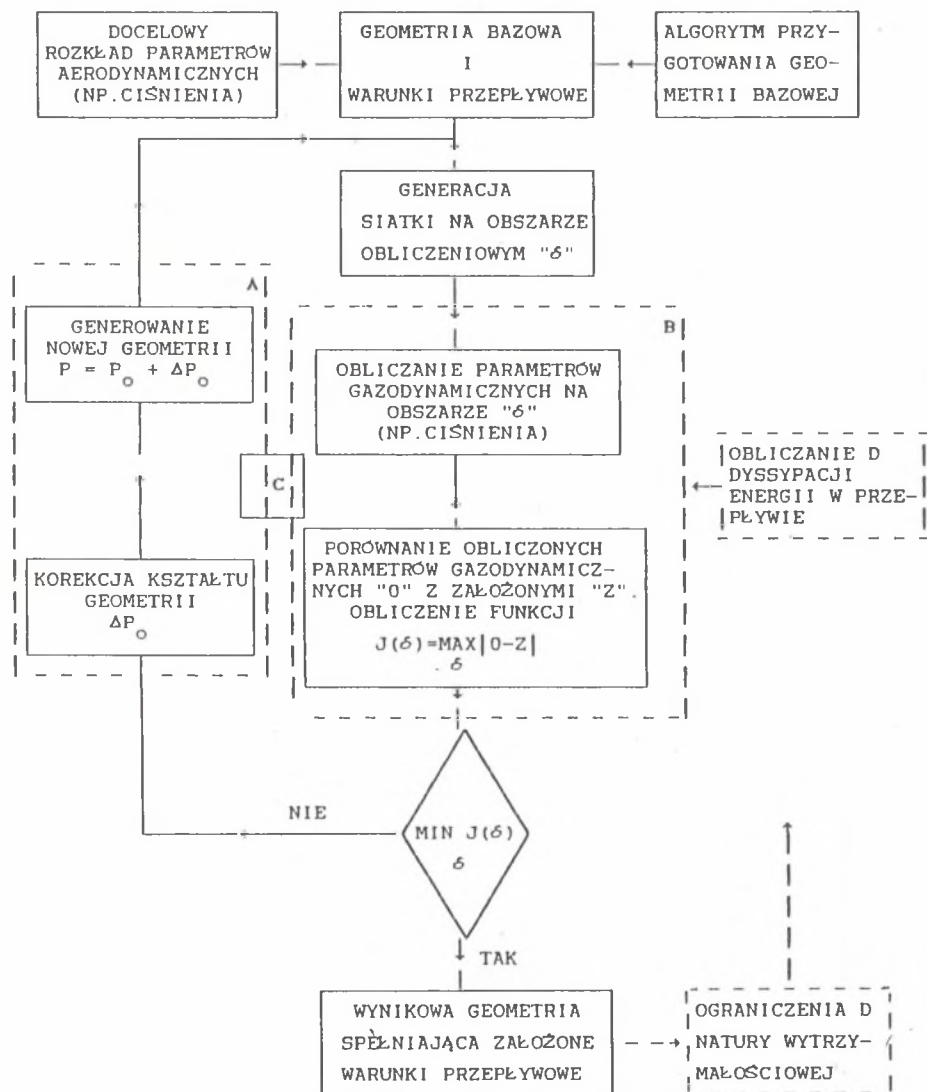
Algorytm zawiera trzy podstawowe procedury:

A – sposób korekcji geometrii bazowej, B – rozwiązania zadania analizy dla kolejnych wersji geometrycznych kanału, C – procedurę funkcji przejścia wiążącej zmiany geometrii ze zmianami parametrów przepływowych. Dołączenie do tego schematu procedur określenia efektów dyssypacyjnych (D) oraz



Rys. 5. Różne poziomy aproksymacji opisu przepływu

Fig. 5. Different lerts of approximation for the flow description



Rys. 6. Algorytm rozwiązań zadań odwrotnych przepływu

Fig. 6. Algorithm of flow solutions – reverse problems

ograniczeń wytrzymałościowych (E) umożliwia rozwiązanie ogólniejszego zadania syntezy. Jeśli funkcjonal $J(\delta)$ zastąpić funkcjonalem opisującym wybraną miarę dyssypacji energii, a docelowy rozkład parametrów traktować jak funkcję poszukiwaną, to definiujemy zadanie optymalizacji kanału z energetycznego i wytrzymałościowego punktu widzenia. Wszystkie te trzy zadania rozpatrywane są w wielu wariantach. Podstawą ich rozróżnienia są głównie różne procedury ujęte w blokach A, B, C, określenie geometrii bazowej oraz sposób i zakres traktowania ograniczeń wytrzymałościowych.

6. ZAGADNIENIE MODELOWANIA CHARAKTERYSTYK PRACY WENTYLATORÓW

Przedstawiona niżej problematyka modelowania charakterystyk pracy wentylatorów stanowi ilustrację ogólnego podejścia do zagadnień aerodynamiki wentylatorów dyskutowanego w rozdziale 5.

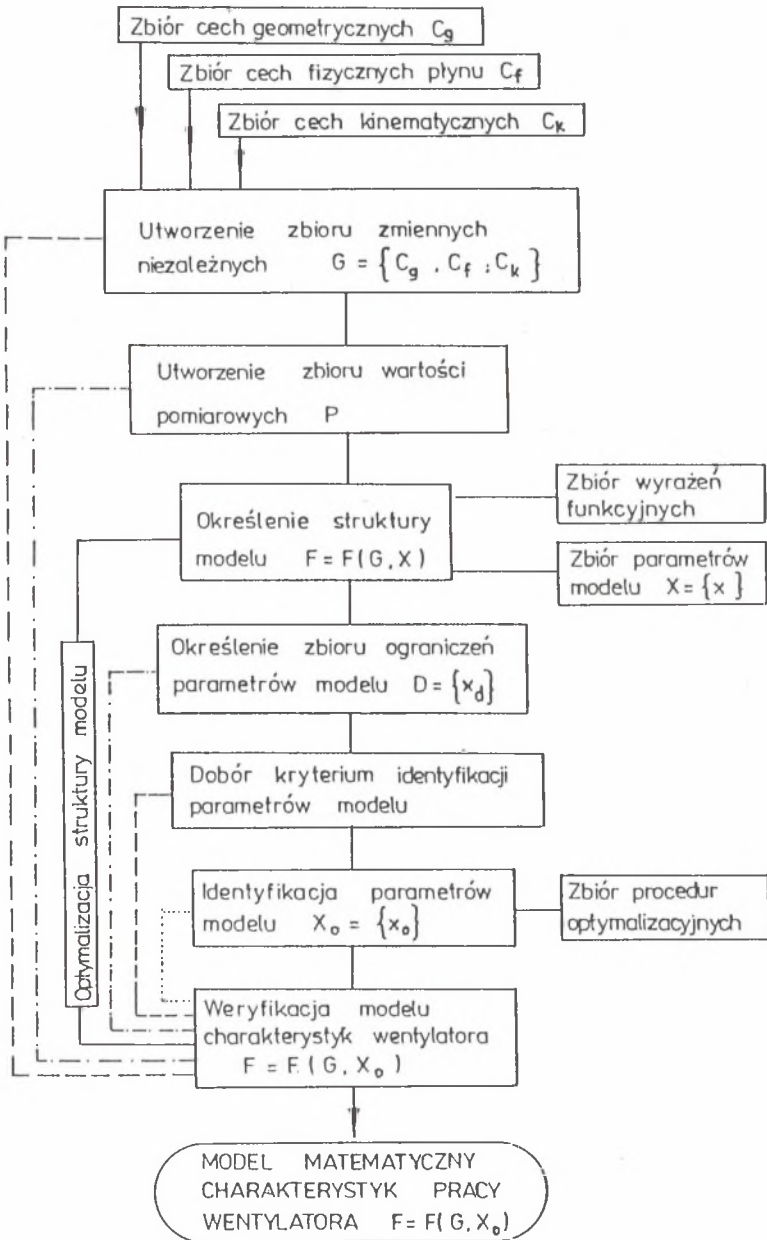
Zasadniczym celem badań aerodynamicznych maszyn wirnikowych – w tym wentylatorów – jest określenie charakterystyk (statycznych) pracy.

Pełna informacja o energetycznych efektach pracy wentylatora zawarta jest w zapisie (przy użyciu bezwymiarowych liczb charakterystycznych):

$$\left. \begin{aligned} \psi &= f(\varphi) \\ \lambda &= f(\varphi) \\ \eta &= f(\varphi) \end{aligned} \right|_{\text{Re}}$$

Jeżeli chodzi o modelowanie charakterystyk pracy wentylatorów (a także sprężarek), to – mimo znacznych postępów tak w zakresie doświadczalnych, jak i teoretycznych badań aerodynamicznych przepływu – zagadnienie to w dalszym ciągu należy do pierwszoplanowych tematów badawczych. Można nawet napotkać sądy wątpliwe o możliwościach odpowiednio dokładnego (w tym ze względu na potrzeby techniczne) rozwiązania problemu.

Dwie graniczące sytuacje wyznaczają zakres możliwości tworzenia modeli matematycznych. Pierwsza z nich to sytuacja, gdy model matematyczny tworzony jest wyłącznie na drodze analitycznej na podstawie teoretycznych zjawisk związanych z danym obiektem badań. Druga sytuacja krańcowo przeciwna ma miejsce, gdy model tworzony jest jedynie na podstawie wyników eksperymentu, pomijając podstawy teoretyczne zachodzących zjawisk. Jest oczywistością, że największe powodzenie w dochodzeniu do akceptowalnych rezultatów daje podejście pośrednie, tzn. określenie modelu na podsta-



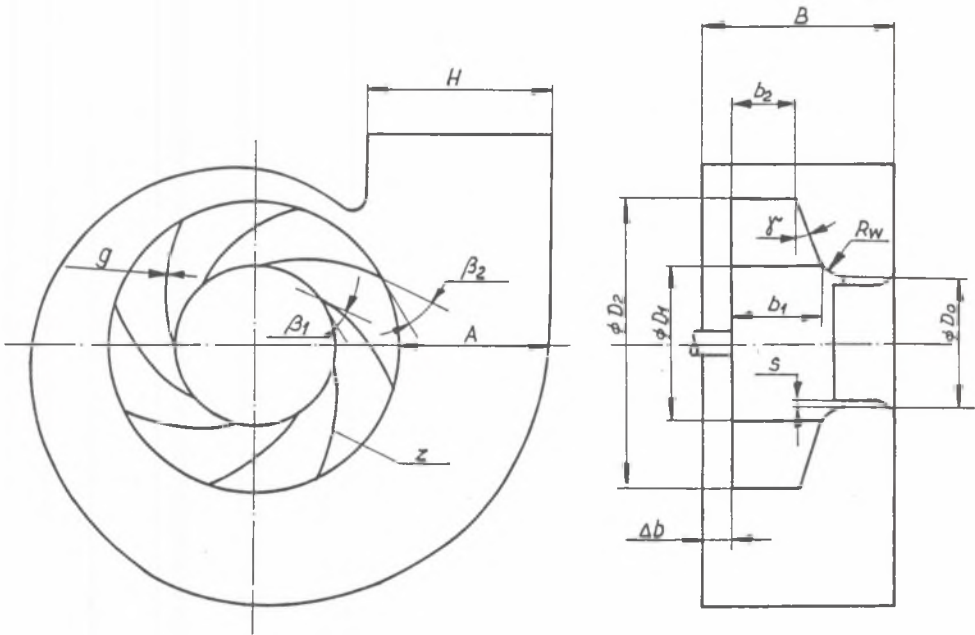
Rys. 7. Schemat procesu modelowania charakterystyk wentylatorów

Fig. 7. Schema of fan characteristics simulation

wie znajomości różnych szczegółowych aspektów zagadnienia przepływu przy korzystaniu z badań eksperymentalnych dla celów identyfikacji parametrów modelu i weryfikacji modelu.

Również w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych to podejście jest preferowane [5], [6], [7].

Ogólna koncepcja tworzenia modelu matematycznego charakterystyk pracy wentylatorów przedstawiona jest na rys. 7.



Rys. 8. Schemat układu przepływowego wentylatora promieniowego

Fig. 8. Scheme of centrifugal fan flow system

Na koncepcję tę składają się następujące elementy:

■ **Utworzenie zbioru zmiennych niezależnych {G} mających wpływ na charakterystykę pracy wentylatora.**

Na zbiór ten składają się:

- zbiór cech geometrycznych układu przepływowego C_g ,
- zbiór cech fizycznych płynu (czynnika) C_f ,
- zbiór cech kinematycznych strumienia C_k .

Posługując się przykładem [6] wentylatora promieniowego (rys. 8), po przeprowadzeniu analizy wymiarowej, otrzymano następujący zbiór zmiennych niezależnych

$$G = \{\bar{D}_0, \bar{D}_1, \bar{b}_2, \bar{R}_w, \gamma, \beta_1, \beta_2, z, \bar{g}, \bar{s}, \Delta\bar{b}, \bar{A}, \bar{B}, H, Re_u, \varphi\}$$

■ **Utworzenie zbioru wartości pomiarowych F_p .**

■ **Przyjęcie postaci (struktury) modelu**

$$F = F(G, X)$$

gdzie $X = \{x\}$ – zbiór parametrów modelu.

■ **Przyjęcie kryterium identyfikacji parametrów modelu**

Najczęściej tym kryterium jest suma kwadratów odchyleń S wartości odpowiadających sobie wielkości ze zbioru F i F_p .

■ **Przeprowadzenie identyfikacji modelu**

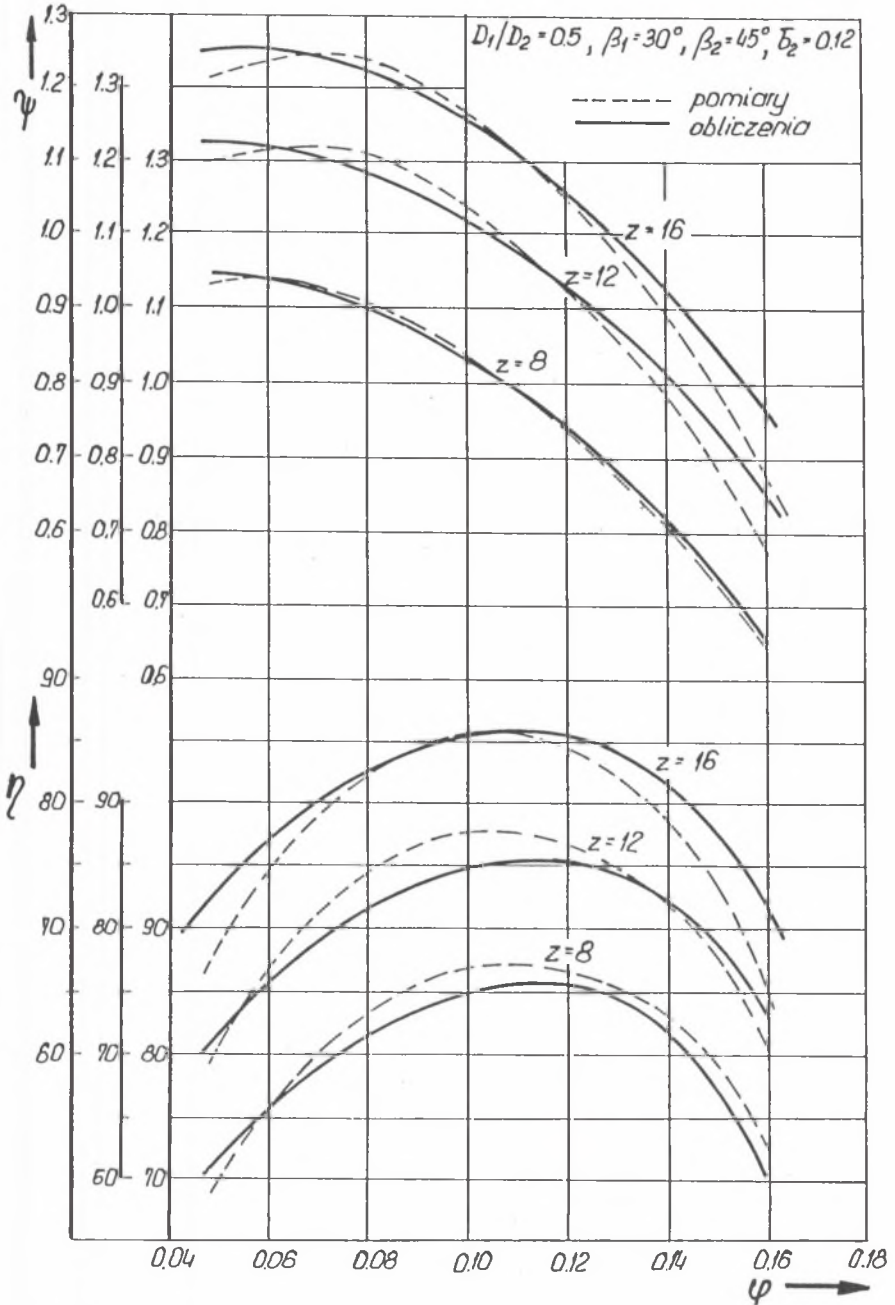
Procedura identyfikacji modelu sprowadza się do rozwiązania zadania optymalizacji polegającego na tym, że ze zbioru parametrów modelu $X \in D$ wyznacza się podzbiór wartości X_0 spełniający warunek

$$S(X_0) \Rightarrow \text{Min.}$$

Badania przeprowadzone w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych, na podstawie powyższych koncepcji, dały pozytywne rezultaty, jeżeli chodzi o modelowanie charakterystyk wentylatorów promieniowych (przykład na rys. 9) oraz wentylatorów osiowych (przykład na rys. 10).

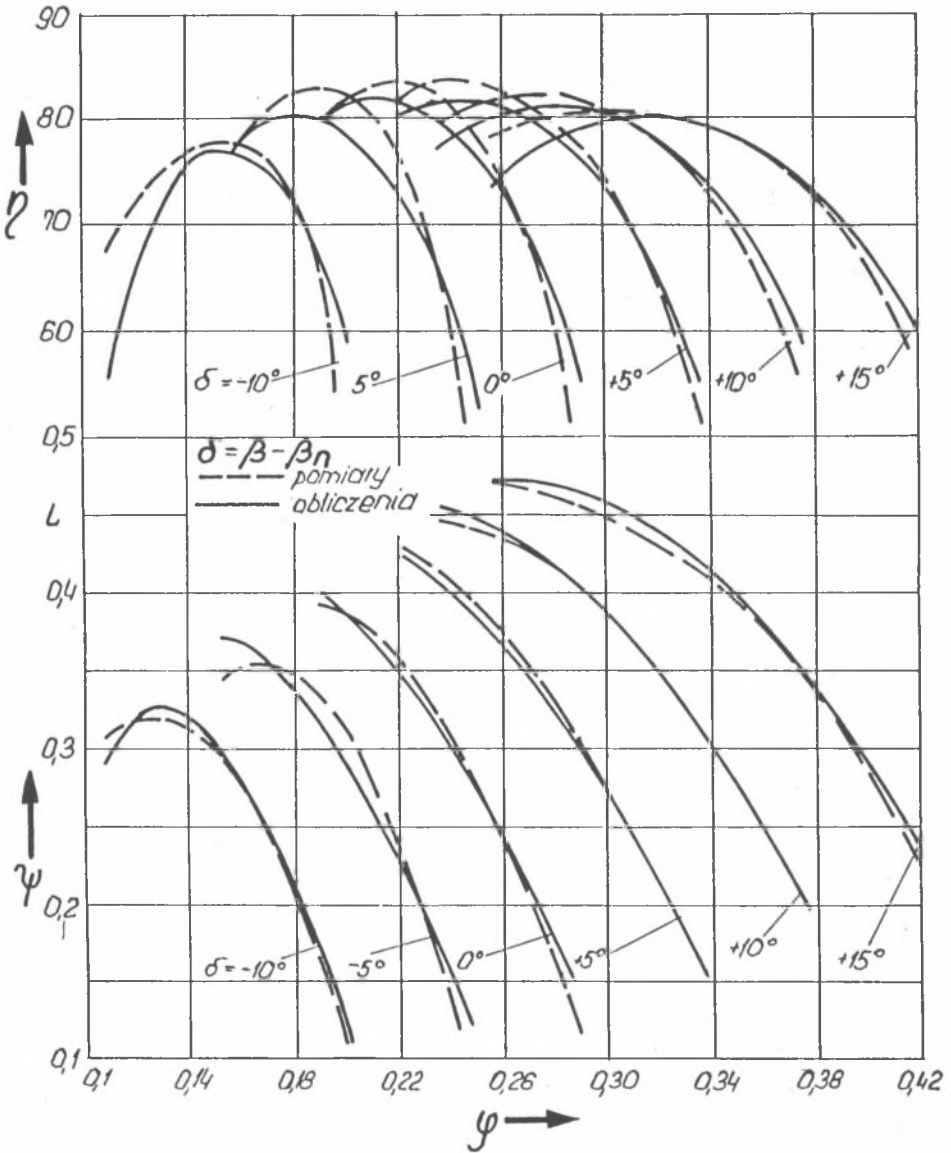
Należy podkreślić, że modelowaniu poddana była część statyczna charakterystyk, a więc w prawo od punktu wierzchołkowego charakterystyki.

Obecnie prace główne koncentrują się wokół uogólnienia struktury modelu i poszerzenia go o nowe ujęcie strat przepływu wyznaczonych na podstawie różnych modeli przepływów lepkich (rozd. 5).



Rys. 9. Porównanie charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych uzyskanych z pomiarów i obliczeń

Fig. 9. Centrifugal performance characteristics in comparison to measurements and calculations

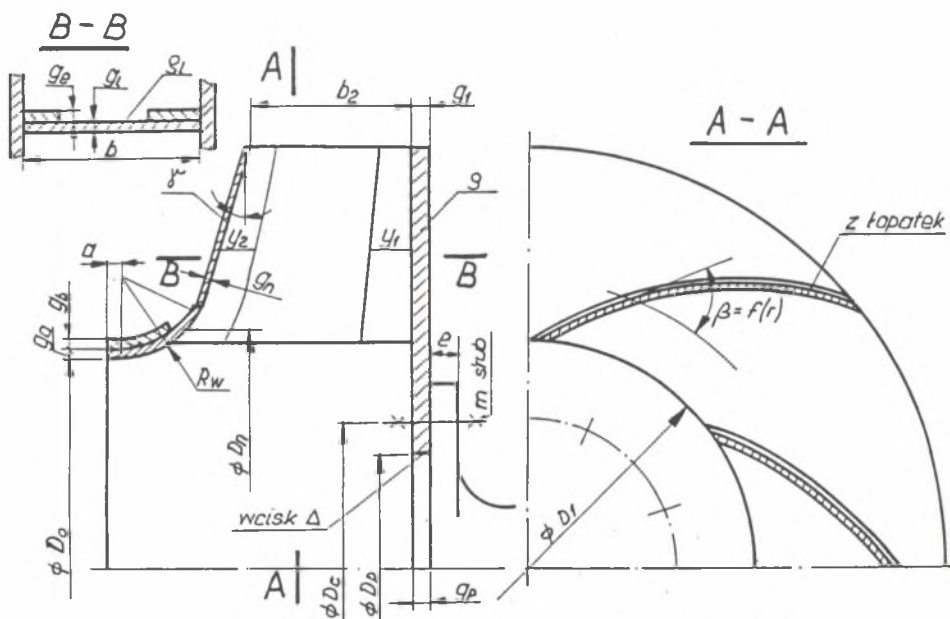


Rys. 10. Porównanie charakterystyk obliczeniowych i pomierzonych wentylatora osiowego przy zmianie kąta ustawienia łopatek wirnika

Fig. 10. Axial fans calculation and measurement characteristics for the different settings of the rotor blade angle

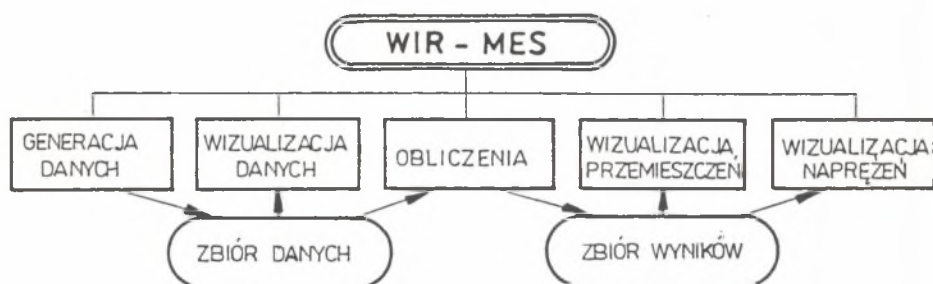
7. ZAGADNIENIA ANALIZY WYTRZYMAŁOŚCI

Zagadnienia analizy wytrzymałości elementów wentylatora odgrywają istotną rolę w procesie konstruowania. Mając do dyspozycji bardziej pewne i dokładne metody obliczeń, możemy skonstruować wentylator z mniejszym zapasem bezpieczeństwa, co w konsekwencji daje mniejszy jego ciężar i cenę. Te elementy oferty producenta powodują, że każda z liczących się firm zabiega o oprogramowanie pozwalające w sposób wyczerpujący analizować konstrukcję wentylatora.



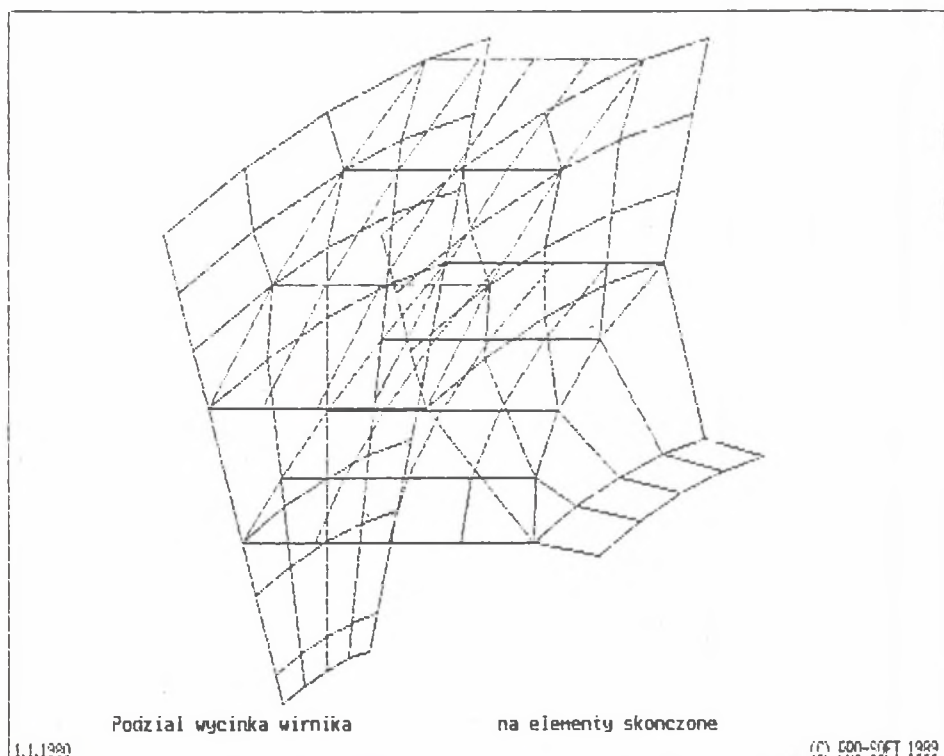
Rys. 11. Schemat wirnika do obliczeń wytrzymałościowych

Fig. 11. Rotor scheme for the strength calculations



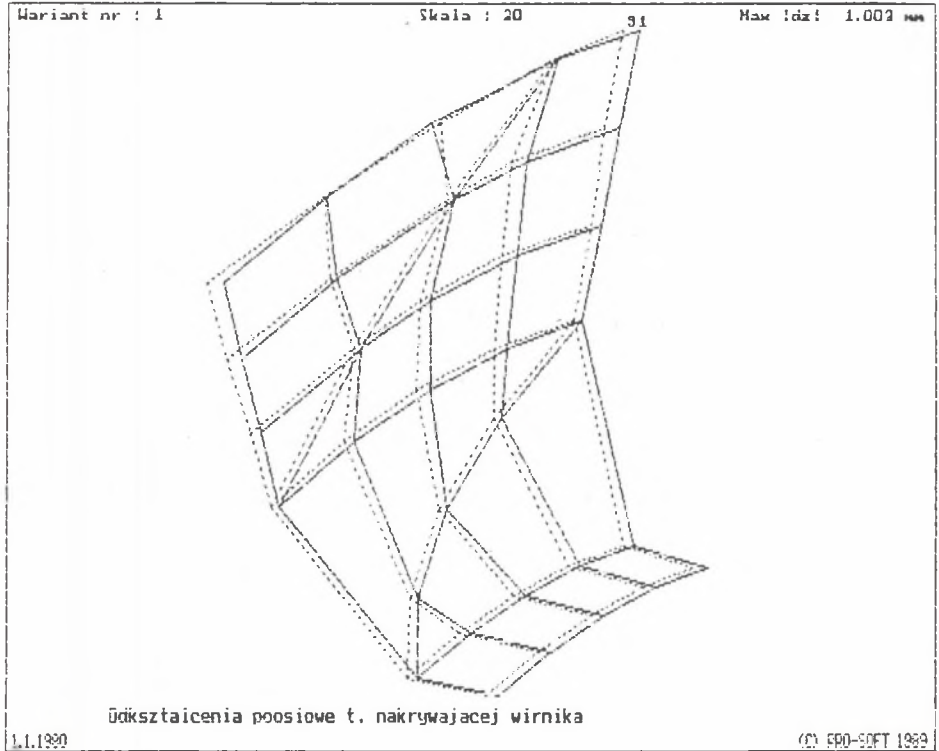
Rys. 12. Schemat blokowy systemu komputerowego WIRMES

Fig. 12. Block diagram for WIRMES computer program



Rys. 13.1. Podział wycinka wirnika na elementy skończone

Fig. 13.1. Fan sector section on finite elements

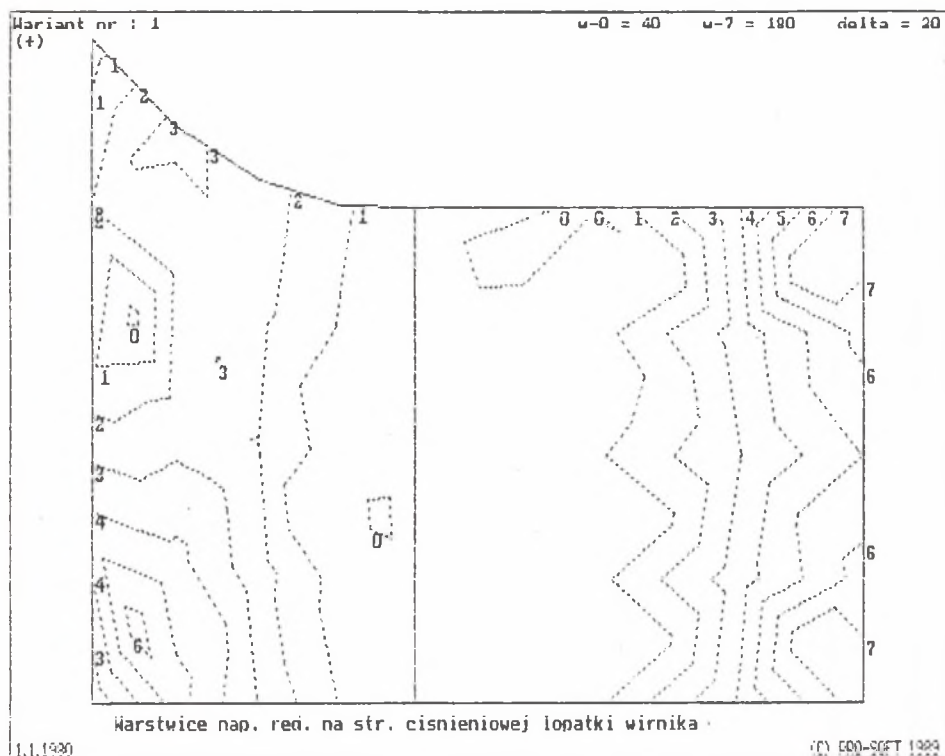


Rys. 13.2. Odształcenia posiove tarczy nakrywającej

Fig. 13.2. Axial strains for cover plate

Rozwój metod analizy stanu naprężenia następował na podstawie pewnych modeli, przy czym wykorzystywano w tym celu różne modele tarcz i łopatek itp. [8]. Jest sprawą oczywistą, że postęp w dziedzinie komputerów (szybkość operacji, pojemność pamięci) umożliwił przejście do modelowania bardziej złożonych obiektów geometrycznych i zastosowanie do analizy wytrzymałościowej metody elementów skończonych.

Dla przykładu w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych powstała koncepcja komputerowego systemu analizy naprężeń w wirniku wentylatora promieniowego [15]. Schemat wirnika przedstawiono na rys. 11.



Rys. 13.3. Warstwy naprężeń zredukowanych na stronie ciśnieniowej łopatkii

Fig. 13.3. Reduced stress contour for the pressure blade side

Ogólną koncepcję systemu przedstawiono na rys. 12.

Dla zademonstrowania możliwości graficznej prezentacji wyników przedstawiono na rys. 13 niektóre przykładowe wyniki dotyczące wirnika wentylatora o średnicy 2000 mm. Obecnie system WIRMES jest rozbudowywany o moduły dotyczące dynamiki.

Należy jednak podkreślić, że wraz ze wzrostem informacji otrzymywanych z komputera rośnie trudność ich interpretacji.

8. PODSUMOWANIE

Naszkiecowano pewien punkt widzenia na sprawy badań i konstrukcji, głównie na podstawie prac prowadzonych w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych. Ramy artykułu nie pozwoliły na szersze i w pewnym sensie całościowe przedstawienie zagadnienia. Niektóre subiektywne stwierdzenia mogą stanowić asumpt do dyskusji, natomiast pominięte zagadnienie jak chociażby:

- badania eksperymentalne [9],
- analiza przepływów [11],
- erozja pyłowa w wentylatorach [10],
- projektowanie wirników promieniowych [1] i osiowych [13],
- problemy optymalizacji stopni [12],
- zagadnienia diagnostyki [14],

zostaną naświetlone w trakcie dyskusji plenarnych Konferencji.

LITERATURA

- [1] Otte J.: Einige Probleme des Entwurfsprozesses für Laufräder von radialmaschinen. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 98/1987*, s. 109–124.
- [2] Otte J., Bielecki Z.: Pola optymalnych parametrów projektowych wentylatorów osiowych. *Zbiór prac z VI Konferencji N–T „Technologia przepływowych maszyn wirnikowych”, Rzeszów, 1988*, s. 124–130.
- [3] Witkowski A., Roj L., Mirski M.: Zastosowanie wentylatorów osiowych z merydionalnym przyspieszeniem strumienia w górnictwie węglowym. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 7/267*, Katowice, 1991.
- [4] Otte J.: Koncepcja, konstrukcja i pole pracy nowego typoszeregu przemysłowych wentylatorów promieniowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 113/1990*, s. 545–555.
- [5] Otte J.: Nowe ujęcie zagadnienia modelowania charakterystyk pracy maszyn wirnikowych przedstawione na przykładzie wentylatora promieniowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 83/1983*, s. 357–367.
- [6] Otte J.: Problematyka matematycznego modelowania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka, z. 91/1985*, s. 411–423.

- [7] Otte J., Bielecki Z.: Metematische Modelierung der Keunlinien von Axialventilatoren. *Maschinenbautechnik*, 38 (1989) 6, s. 256–260.
- [8] Kosman G.: Termowytrzymałość maszyn przepływowych. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
- [9] Chmielniak T. i inni: Działalność naukowa i badawcza Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Gliwice 1990.
- [10] Chmielniak T.: Erozja pyłowa w maszynach przepływowych. Przegląd zagadnień. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, Zeszyt 4 (76) 1988.
- [11] Chmielniak T.: Podstawy teorii profilów i palisad łopatkowych. *Maszyny Przepływowe*, t. 4, Ossolineum 1989.
- [12] Chmielniak T., Otte J.: Mathematical Formulation of an Optimum Design Problem of Stages in Turbomachines. *Procees. of SYMKOM 87*, Łódź 1987, pp. 77–86.
- [13] Witkowski A.: Wpływ parametrów geometrycznych układu przepływowego na wskaźniki kinematyczne i sprawność wentylatorów osiowych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 11/260, 1991.
- [14] Werbowski T.: Diagnostyka eksploatacyjna wentylatorów kotłowych w układach energetyki cieplnej. *ZN Politechniki Śląskiej – Materiały z IV Konferencji „Wentylatory Przemysłowe”* 1993.
- [15] Grajek K., Otte J.: Komputerowa analiza wytrzymałości wirników wentylatorów – System WIRMES. *Mat. Konferencji „Komputerowo wspomagane konstruowanie i badanie maszyn wirnikowych CAD–Rotor”*, Kielce 1989, s. 51–59.

Abstract

The energy conversion efficiency, suitable strength characteristics (static and dynamic), acoustic characteristics and operational reliability are the main measures for fan construction estimations. Their role depends on function, orientation, designing costs, production and operating of fan installations. That's why, it is difficult to estimate the development condition and „improvement potential” of fan engineering. In order to obviate this difficulties it is possible to analyse growth trends from other flow machine groups (compressors, turbines, pumps).

In the last decade a lot of new algorithms of aerodynamic and strength calculations were presented. Their application should generate a real progress in constructional processes. Such a numeric and experimental investigations are carried out in the Institute of Power Engineering on the

Silesian Technical University in cooperation with producers and users. There are following expectations from this investigations:

A. They should enlarge our knowledge about:

- energy conversion in the three dimensional stationary flow of viscid liquids
- nonstationary reaction of stator and rotating channels
- generation of dynamic powers and stresses in blading systems

B. They should provide to work out:

- aerodynamic calculations
- strength calculations
- construction optimizing

In this article the fan investigation problems has been estimated on the basis of temporary sources.