ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993
Seria: ENERGETYKA z. 118 Nr kol. 1221

Janusz WALCZAK
January RYBARCZYK
Krystyna TUSTANOWSKA-KAMROWSKA
Katedra Techniki Cieplnej, Politechnika Poznańska

WPŁYW KSZTAŁTU KRAWĘDZI WLOTOWEJ ŁOPATEK WIRNIKA NA PRZEBIEG CHARAKTERYSTYK WENTYLATORA PROMIENIOWEGO

Streszczenie. Referat dotyczy metody kształtowania krawędzi wlotowej łopatek, tak aby zapewniony był napływ styczny po całej szerokości wirnika. Kąty napływu względnego na łopatki wirnika wyznaczono z rozwiązania przepływu płynu nielepkiego, czyli bez uwzględnienia warstw przyściennych. Badania wykazały, że wentylator taki może mieć sprawność o parę procent wyższą w porównaniu z wirnikiem o krawędzi prostej umieszczonej na stałej średnicy wlotu.

THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE IMPELLER INLET BLADE EDGE UPON THE CHARACTERISTICS OF THE RADIAL FAN

Summary. The paper concerns the methods of forming the impeller inlet blage edge in order to assure the tangential inflow on the whole impeller width. The relative inflow angles on the impeller blades have been determined from solution of the inviscid liquid flow and boundary leyers have not been taken into consideration. The investigation proved that the fan with such impeller can work with efficiency of couple percent higher comparing with impellers of straight edge fixed on the constant inlet diameter.

EINFLUSS DES PROFILS VON SCHAUFELEINTRITTSKANTE DES RADIALRADES AUF DIE CHARAKTERISTIK DES RADIALVENTILATORS

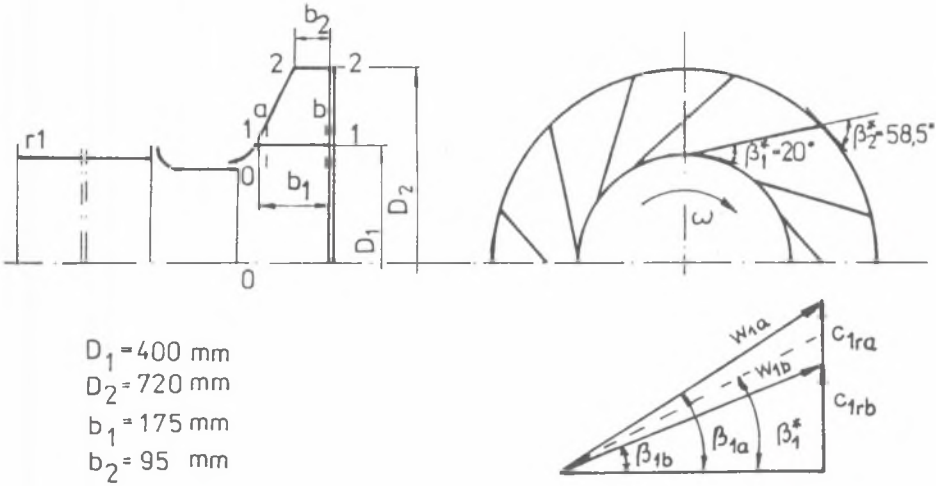
Zusammenfassung. Es wurde eine Methode zur Annahme der Gestalt der Schaufeleintrittskante dargestellt, die tangentiale Anströmung über die ganze Rotorbreite versichert. Die relativen Anströmungswinkel der Rotorschaufeln wurden aus der Entwicklung

der reibungsfreier Strömung, ohne Berucksichtigung der Grenzschichten. Die Untersuchungen bewiessen, daß ein Ventilator mit solchem Rotor kann der Wirkungsgrad um paar Prozent höher aufweisen als der Rotor mit gerader Kante fixierter an dem konstanten Eintrittsdurchmesser.

1. WPROWADZENIE

Kolejne trzy referaty przedstawiają wyniki prac związanych z modernizacją wentylatora WPWs–40 zleconych przez Fabrykę Wentylatorów OWENT w Olkuszu [1]. Poszukując dróg do zwiększenia sprawności wentylatora wskazano na możliwość zmniejszenia strat w wirniku poprzez zmianę kształtu krawędzi wlotowej. W wyniku tej zmiany miały ulec zmniejszeniu straty uderzeniowe przy napływie na łopatki wirnika.

Geometrię i wymiary wirnika wentylatora WPWs–40 pokazuje rys. 1. W wirniku tym krawędz wlotowa jest prosta i leży na całej szerokości b_1 na



Rys. 1. Podstawowe wymiary wirnika wentylatora WPWs–40. Trójkąty prędkości w przekroju wlotowym wirnika dla wydatku znamionowego: a – przy tarczy przedniej, b – przy tarczy tylnej

Fig. 1. Basic dimensions of impeller of WPWs–40 fan. Inlet velocity triangles for nominal volume: a – near cover disc, b – near disc

średnicy D_1 = 400 mm, a kąt łopatkowy na wlocie wynosi $\beta_1^* = 20^o$. Ze względu na zmianę kierunku przepływu w kanale wlotowym, między przekrojami 0–0 i 1–1, o około 90° następuje zróżnicowanie rozkładów prędkości kanału – większe prędkości występują przy tarczy przedniej, a mniejsze przy tarczy tylnej wirnika. Stąd różne będą trójkąty prędkości wzdłuż krawędzi wlotowej, różne kąty napływu względnego β_1 – rys. 1.

Na rozkład prędkości w przekroju wlotowym wirnika ma wpływ przede wszystkim geometria kanału wlotowego oraz geometria kanałów poprzedzających kanał wlotowy – lej wlotowy, kierownica wstępna, skrzynia wlotowa. Do tego dochodzi oddziaływanie ścianek – narastanie warstw przyściennych, w tym także wpływ wirującej tarczy przedniej i tylnej wirnika. W rzeczywistości zatem rozkład prędkości jest bardzo złożony i trudny do przewidzenia na etapie projektowania. Stąd też trudno ustalić kształt krawędzi wlotowej zapewniającej bezuderzeniowy napływ na łopatkę. W tej pracy przyjęto uproszczony model przepływu, pomijając efekty lepkościowe. Rozkład prędkości w obszarze krawędzi wlotowej ustalono z rozwiązania przepływu potencjalnego w kanale ograniczonym ściankami osiowego rurociągu dolotowego, leja wlotowego oraz tarcz wirnika.

2. METODA WYZNACZANIA KSZTAŁTU KRAWĘDZI WLOTOWEJ ŁOPATEK WIRNIKA

Jak podano powyżej, w modelu przepływu pominięto lepkość, a także ściśliwość płynu. Kształt kanału przedstawia rys. 1. Zagadnienie rozwiązania przepływu w tym kanale, między przekrojami r1–2, sprowadza się do rozwiązania tak zwanego przepływu osiowego symetrycznego, opisanego równaniem na funkcję prądu ψ:

$$\frac{\delta^2\psi}{\delta r^2} - \frac{1}{r}\frac{\delta\psi}{\delta r} + \frac{\delta^2\psi}{\delta z^2} = 0 \tag{1}$$

Równanie to rozwiązano metodą elementów skończonych [6]. Siatka elementów generowana była automatycznie. Wynikiem obliczeń są następujące wielkości podawane dyskretnie, w węzłach siatki: funkcja prądu ψ, prędkości c, c_r, c_z oraz kąty przepływu:

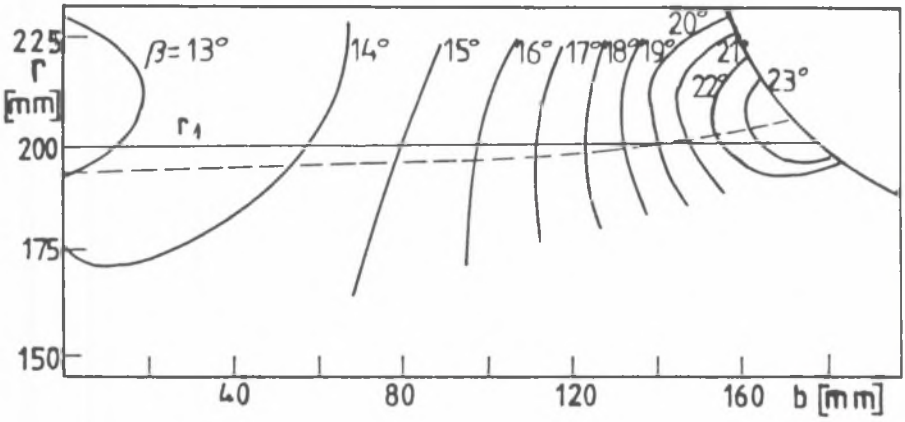
$$\beta = \text{arc tg}\,\frac{c_r}{u} = f(r, z) \tag{2}$$

Łopatki wirnika były proste, stąd zmianę kąta łopatkowego wzdłuż promienia opisuje następująca zależność:

$$\beta_{1x}^{*} = \arccos\left(\frac{D_2}{D_{1x}}\cos\beta_2^{*}\right) \tag{3}$$

gdzie D_{1x} jest średnicą w otoczeniu krawędzi wlotowej łopatek.

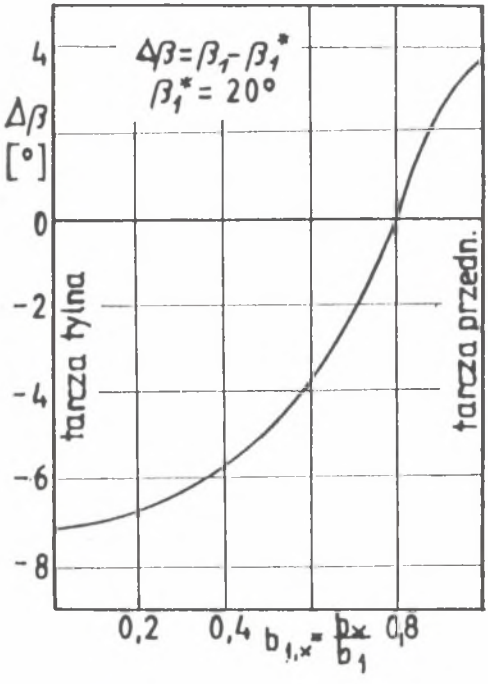
Na rys. 2 naniesiono izokliny wartości kątów przepływu β (r, z). Obliczenia przeprowadzono dla wydatku znamionowego $\dot{V} = 2{,}5\ m^3/s$.



Rys. 2. Izokliny kąta w otoczeniu krawędzi wlotowej wirnika: —— krawędź prosta, – – – krawędź zaokrąglona

Fig. 2. Isiclinic line for angle near impeller inlet edge straight edge curved edge

W dotychczasowym wykonaniu łopatek z krawędzią prostą na średnicy D_1 kąt łopatkowy wynosił $\beta_1^{*} = 20°$. Przy takiej krawędzi rozkład kątów natarcia na łopatkę przedstawia rys. 3. Dobór kąta kąta łopatkowego β_1^{*} na wlocie palisady jest ważny ze względu na straty w wirniku, czyli straty napływu niestycznego (straty uderzeniowe) oraz straty tarcia w kanale międzyłopatkowym. Problem ten, zdaniem autorów, nie jest do końca wyjaśniony i nie są jasno sformułowane zasady doboru kąta wlotowego. W pozycjach literatury



Rys. 3. Różnice kątów napływu względnego oraz kątów łopatkowych dla wirnika z krawędzią prostą

Fig. 3. Differences between angles and blade angles for impeller with straight edge

[2, 3, 4] uważa się, że ze względu na oddziaływanie wirującego wieńca łopatkowego, który powoduje odchylenia strumienia spowodowane przepływem wirowym, kąt łopatkowy należy zwiększyć o poprawkę $\delta\beta$, np. wyznaczoną przez Busemanna [2]. Poza tym należałoby uwzględnić przewężenie przekroju spowodowane skończoną grubością łopatek. Zatem kąt łopatkowy, przy tak zwanym napływie stycznym, powinien wynieść:

$$\beta_1^* = \beta_1 + \delta\beta \tag{4}$$

gdzie β_1 jest kątem napływu względnego na wieniec łopatkowy z uwzględnieniem grubości łopatek. Tutaj odstąpiono od tych zasad, przyjmując, że kąt łopatkowy powinien być równy kątowi napływu $\beta_1 = \beta_1^*$ wzdłuż całej szerokości łopatki podobnie jak w pracy [5]. Tak określony kształt krawędzi wlotowej pokazano na rys. 2.

3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Badania wirnika z krawędzią prostą oraz zaokrągloną przeprowadzono w tym samym egzemplarzu wentylatora WPWs–40, zachowując ten sam kolektor oraz wielkość szczeliny przywlotowej. Najpierw wyznaczono charakterystyki wentylatora z wirnikiem o krawędziach prostych – wirnik w1, a następnie w tym samym wirniku dokonano wyłącznie zmiany kształtu krawędzi wlotowej – wirnik w2. Tym samym wyeliminowano wpływ tolerancji wykona-

nia poszczególnych elementów wentylatora. Wyniki badań wentylatora, z obydwoma wirnikami, dla dwóch różnych prędkości obrotowych n = 1470 i 940 obr/min oraz dla dwóch kątów nastawy kierownicy wstępnej – γ = 0 i 40°, pokazano na rys. 4.

Ogólnie można stwierdzić, że dla dla wydatków znamionowych – V_1 = 2,5 m^3/s (dla n = 1470 obr/min) oraz V_1 = 1,6 m^3/s (dla n = 940 obr/min) oraz dla wydatków mniejszych zauważa się wyraźny wzrost sprawności wentylatora z wirnikiem o zaokrąglonej krawędzi łopatek. Ta różnica w sprawnościach w pobliżu punktu znamionowego wynosi $\Delta\eta_e$ = 3,5 – 4%. Natomiast dla wydatków większych od znamionowego ten przyrost sprawności maleje prawie do zera. Dotyczy obu prędkości obrotowych i kątów nastawy kierownicy.

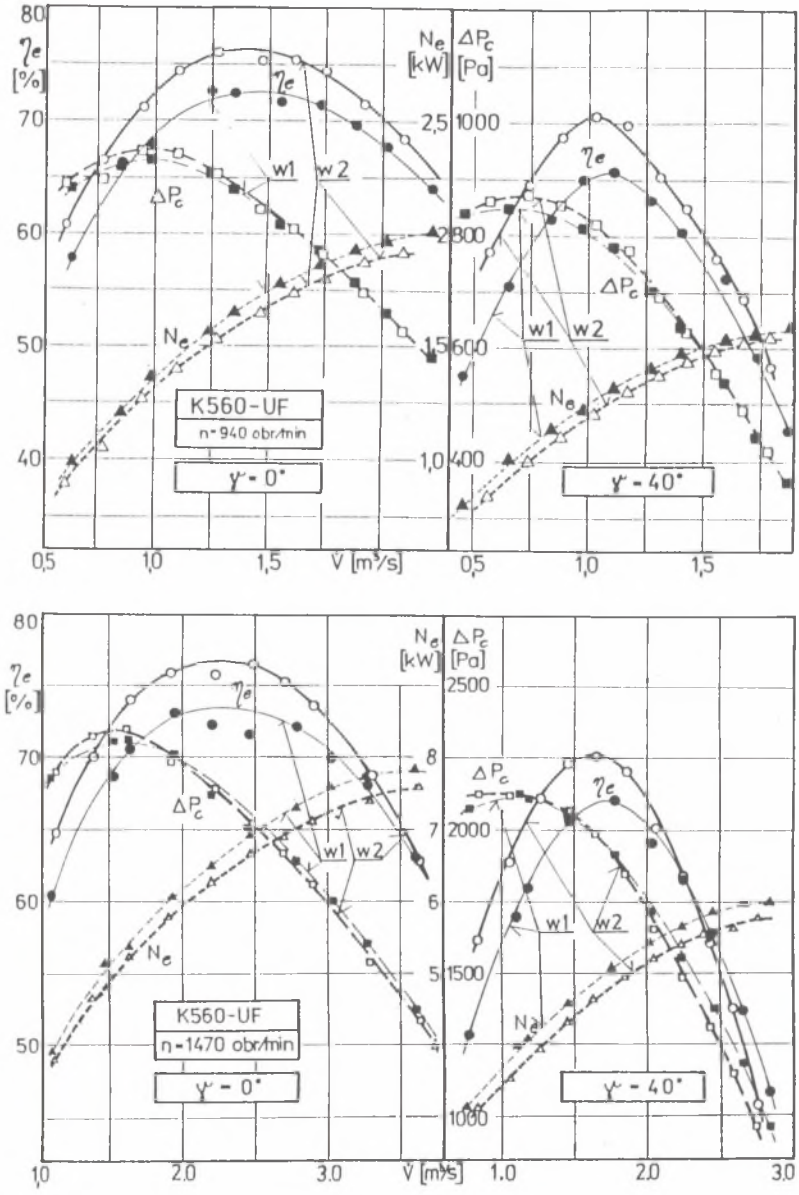
Przyrosty ciśnienia całkowitego w zasadzie nie różnią się, natomiast pobór mocy wentylatora z wirnikiem o krawędzi zaokrąglonej jest mniejszy w tej mniej więcej relacji co sprawność.

4. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań świadczą, że wartości kąta wlotowego łopatek i jego dopasowanie do kąta napływu względnego są istotne i mogą dać paroprocentowy przyrost sprawności.

Zmiana kształtu krawędzi wlotowej wpłynęła na pobór mocy. Wynika to ze zmiany rozkładów prędkości na łopatkach oraz ilości przekazanej pracy. Praca ta została zmniejszona dla wirnika z krawędzią zaokrągloną, ale przetworzona na przyrost ciśnienia całkowitego z lepszą sprawnością.

Można jednak zauważyć, że lepsze efekty uzyskano w zakresie wydatków w pobliżu punktu znamionowego oraz mniejszych. Przy wydatkach większych, co wiąże się ze wzrostem kątów napływu względnego β_1, dają o sobie znać straty napływu niestycznego – napływ na stronę tylną łopatek. Można by wysnuć hipotezę, że gdyby zwiększono kąt łopatkowy β_1^*, wg zasady określonej zależnością (4), mógłby nastąpić efekt istotnej zmiany sprawności również przy większych wydatkach. Wymaga to dalszych analiz, a także badań, dla wyjaśnienia zjawisk kształtowania się strat uderzeniowych przy napływie niestycznym na stronę przednią lub tylną łopatki, a także kształtowania się rozkładów prędkości wzdłuż łopatek i związanych z tym strat tarcia, oderwań i przepływów wtórnych.



Rys. 4. Porównanie charakterystyk wentylatora z wirnikiem o krawędzi wlotowej prostej – w1 i zaokrąglonej – w2 przy dwóch prędkościach obrotowych oraz kątach nastawy kierownicy wstępnej 0 i 40°

Fig. 4. Comparison of fan characteristics for impeller with straight inlet edge – w1 and with curved inlet edge – w2, for two velocities and two angles (0, 40°) of inlet stator

LITERATURA

[1] Walczak J., Rybarczyk J., Piątkowski R., Olejarczyk W. i inni: Opracowanie nowego wentylatora (zastępczego WPWs–40). Badania akustyczne i przepływowe z osiowym aparatem regulacyjnym na wlocie. Opracowanie wewnętrzne Zakładu Techniki Cieplnej. Politechnika Poznańska 1987.

[2] Tuliszka E.: Sprężarki, dmuchawy, wentylatory. WNT, Warszawa 1976.

[3] Sołomachowa T.S.: Centrobieżnyje wentylatory. Maszinostrojenije, Moskwa 1975.

[4] Piątkowski R.: Flow angle defection at a centrifugal impeller inlet. Cieplne Maszyny Przepływowe SYMKOM plus'87. Politechnika Łódzka. Zeszyty Naukowe 95/1987, s. 173–182.

[5] Otte J.J.: Zastosowanie współczesnych metod obliczeniowych mechaniki płynów w procesie projektowania wentylatorów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Energetyka z. 72/1979, s. 119–128.

[6] Kamrowska K.: Analityczno–numeryczna metoda rozwiązywania quasi-trójwymiarowego przepływu płynu rzeczywistego w kołach wirnikowych. Politechnika Poznańska. Praca doktorska 1990.

Abstract

The paper is formed on the methods of forming the impeller inlet blade edge in order to assure the tangential inflow on the whole impeller width. The relative inflow angles on the impeller blades have been determined from the solution of the inviscid liquid flow and boundary layers have not been taken into consideration.

The distribution of velocities in the inlet edge range was rated from the solution of the potential flow in the channel limited by axial inlet pipeline partions, inlet hooper and rotor discs. The potential flow is described by equation (1). This equation was solved by the method of finite elements. The grid of finite elements was generated automatically. The following quantities given discretly in grid nodes are results of calculations:

- stream function
- velocities c, cr, cz
- flow angles (formula (2))

Rotor blades were straight, hence the change of the blade angle, which is described by relation (3). Fig. 2 presents the lines of steady flow angle values.

The investigations proved that the fan with such impeller may work with the efficiency higher by few percent, comparing the impellers of straight edge fixed on the constant inlet diameter.