

Joachim J. OTTE

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska

PROBLEMATYKA OBLICZEŃ PRZEPŁYWU W KANAŁACH MIĘDZYŁOPATKOWYCH WIRNIKÓW PROMIENIOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM WARSTW PRZYŚCIENNYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono koncepcję modelowania przepływu w wirnikach maszyn promieniowych z uwzględnieniem warstw przyściennych. Opisano model przepływu i przedstawiono wybrane przykłady obliczeń przepływu w wirnikach wentylatorów promieniowych.

1. Wstęp

Modelowanie przepływu płynu nielepkiego w maszynach wirnikowych w zakresie tzw. quasi-trójwymiarowego modelu przepływu [1],[2],[3] staje się w wielu ośrodkach naukowo-badawczych powszechną już praktyką. Można uznać, że w zakresie przepływów poddźwiękowych, technika obliczeniowa - skupiająca dotychczas zainteresowania wielu badaczy - jest już w dużym stopniu opanowana. Założenie modelu płynu idealnego stanowi jednakże barierę uniemożliwiającą uzyskanie dalszych istotnych informacji o mechanizmie przepływu. Stąd też wiele wysiłków nakierowanych jest na rozwiązywanie zagadnień związanych z modelami płynu lepkiego.

W niniejszym opracowaniu rozpatrzono niektóre aspekty obliczeń przepływu płynu lepkiego w wirnikach maszyn promieniowych.

2. Uwagi o modelu przepływu

Pewne uznanie, szczególnie w odniesieniu do maszyn wirnikowych osiowych, zdobyła już sobie koncepcja wyróżnienia w quasi-trójwymiarowym modelu przepływu dwóch obszarów; jeden z nich to obszar strumienia głównego, gdzie płyn uważa się jako nielepkki, drugi zaś to obszar warstw przyściennych, gdzie rozpatruje się płyn jako lepki.

W przypadku wirników promieniowych pełne zastosowanie powyższej koncepcji napotyka na zasadnicze trudności. Wynikają one z tego, że przepływ rzeczywisty płynu w wirnikach maszyn promieniowych jest znacznie bardziej skomplikowany. Przede wszystkim należy podkreślić, że cechą charakterystyczną przepływu w promieniowych wirnikach sprężarek, dmuchaw, wentylatorów oraz

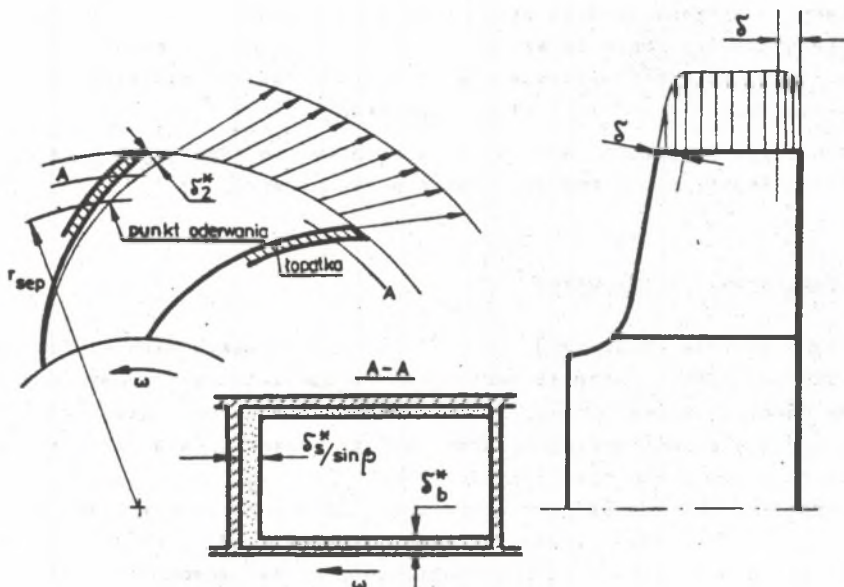
pomp jest to, że praktycznie w całym zakresie pracy wirnika ma miejsce oderwanie strug płynu. Szczególnie silne narastanie warstwy przyściennej występuje na podciśnieniowej, tylnej stronie łopatki, gdzie najczęściej dochodzi do oderwania się warstwy przyściennej. Oderwanie to charakteryzuje się silnym przyrostem grubości strefy odseparowanej, której rozmiary zewnętrznie mają się w postaci tzw. śladu aerodynamicznego na wypływie z wirnika. W tej sytuacji, gdy w punktach oderwania traci ważność teoria warstwy przyściennej, konieczne są dalsze założenia podtrzymujące przydatność pojęcia warstwy przyściennej.

Uwzględniając powyższe uwagi, można przyjąć jako uzasadniony następujący tryb modelowania przepływu płynu lepkiego w wirniku promieniowym:

- przy założeniu płynu idealnego dokonuje się analizy przepływu przez palisadę łopatek, przy czym biorąc pod uwagę stopień rozbieżności wyników obliczeń w stosunku do rzeczywistości równoprawne są tu metody ścisłe (jak np. metoda punktów osobliwych, równań całkowych, metoda funkcji prądu), jak i uproszczone (np. model Stanitzsa),
- jako równanie charakterystyczne warstwy przyściennej przyjmuje się związek całkowy Karmana:

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{w}{\delta} (2\delta^{**} + \delta^{**}) = \frac{\tau_w}{\rho w^2} \quad (1)$$

który rozwiązywać można jednoparametrową metodą podaną przez Truckenbrodta względnie Łojcjańskiego,



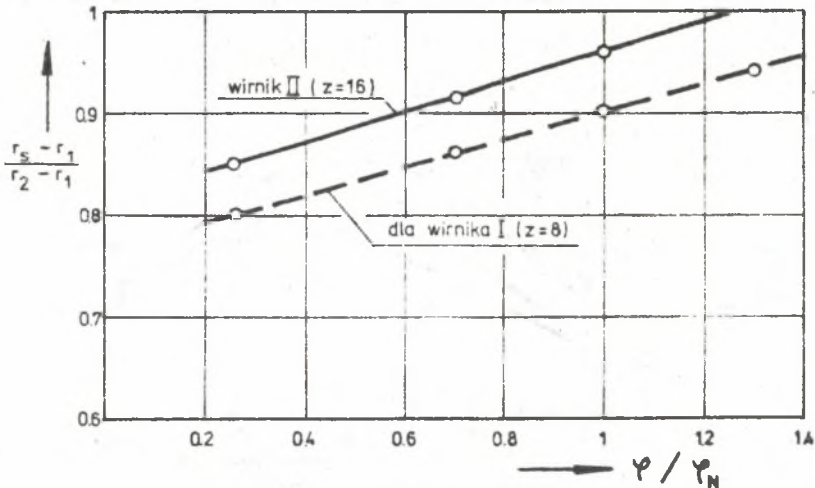
Rys. 1

- w przypadku wystąpienia punktu oderwania należy umowną grubość warstwy zmniejszenia strumienia masy δ^* ekstrapolować od punktu oderwania do krawędzi wylotowej łopatek; w niniejszym opracowaniu przyjęto ekstrapolację liniową,
- należy wyznaczyć nową geometrię kanału łopatkowego przez dodanie odpowiednich grubości warstw przyściennych do tylnej strony łopatki i do ścian bocznych oraz powtórzyć obliczenia według punktu pierwszego.

Ilustrację powyższego modelu przepływu z warstwami przyściennymi stanowi rys. 1. Nie uwzględniono tutaj grubości warstwy przyściennej na ciśnieniowej, przedniej stronie łopatki, co wynika z tego, że grubości te są o rząd mniejsze aniżeli na stronie tylnej łopatki. Wyznaczenie charakterystycznych grubości warstw przyściennych na bocznych tarczach wirnika prowadzi się dla rozkładów średniej prędkości względnej w kanale międzyłopatkowym.

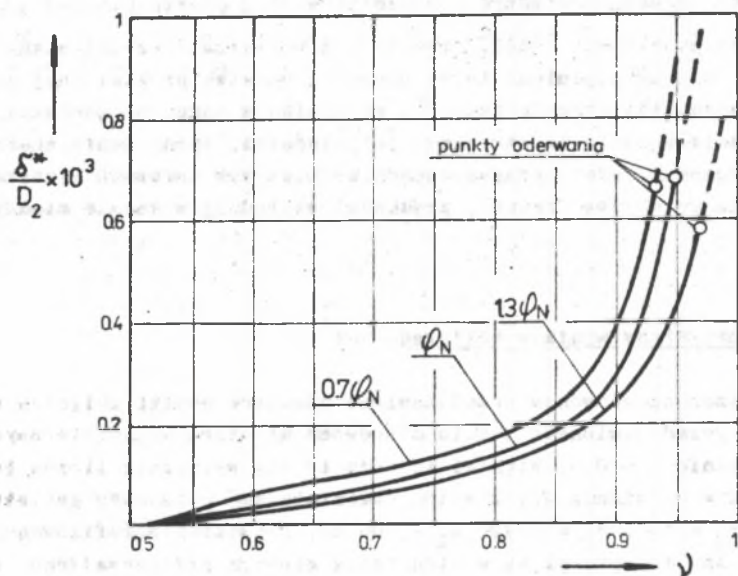
3. Wybrane przykłady wyników obliczeń

W niniejszym opracowaniu przedstawiono niektóre wyniki obliczeń wykonane według przedstawionego modelu dla dwóch wirników wentylatorowych o stosunku średnic $\lambda = 0,5$. Wirniki te różniły się wyłącznie liczbą łopatek (wirnik I: $z = 8$; wirnik II: $z = 16$), pozostałe zaś parametry geometryczne ($\beta_1 = 30^\circ$, $\beta_2 = 45^\circ$, $B_2 = 0,12$; $D_2 = 600$ mm, łopatki nieprofilowane) były takie same. Analizę przepływu w strumieniu głównym przeprowadzono według metody STANITZA [5], charakterystyczne grubości warstw przyściennych wyznaczono jednoparametrową metodą LOJCJAŃSKIEGO [4]. Całość programu w języku ALGOL-1900 zrealizowano na EMC ODRA-1305.



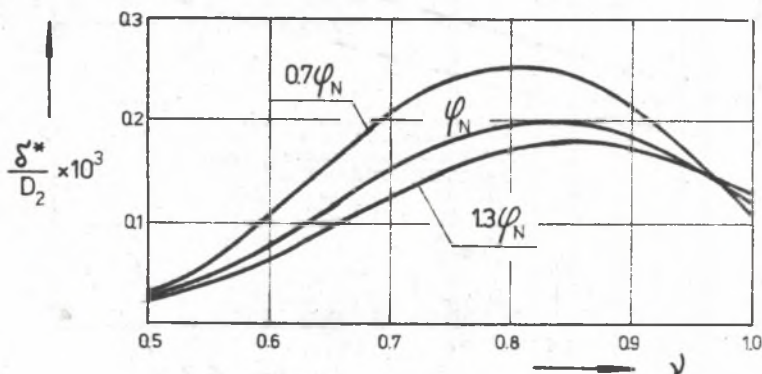
Rys. 2

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę przemieszczenia się położenia punktu oderwania warstwy przyściennej na tylnej stronie łopatkii w funkcji wydajności. Potwierdza się tu fakt, że dla bardziej aerodynamicznie obciążonego wirnika I, praktycznie w całym zakresie jego pracy ma miejsce oderwanie warstw przyściennych.



Rys. 3

Dla tego właśnie wirnika na rys. 3 i rys. 4 przedstawiono kształtowanie się, przy różnych wydajnościach, rozkładu grubości warstwy zmniejszania strumienia masy δ^* odpowiednio dla tylnej strony łopatkii i dla tarczy bocznej.



Rys. 4

Jedną z podstawowych wielkości, jaką należy określić analizując przepływ przez wirnik przonieniowy, jest energia przekazana czynnikowi. Określa się ją pośrednio przez tzw. współczynnik zmniejszenia mocy μ . Przedstawiony model przepływu pozwala uzyskać wartości współczynnika μ w funkcji wydajności, przy czym wykorzystuje się tu następujący związek wyprowadzony z zasady krętu:

$$\mu = \frac{z \int_{r_0}^1 \bar{b} \Delta \Psi dr}{\pi \varphi \left(1 - \frac{1}{4} \bar{b}_2 \tau_2 \operatorname{tg} \beta_2 \right)} \quad (2)$$

gdzie:

\bar{b} - bieżąca szerokość wirnika (b/D_2),

φ - liczba wydajności,

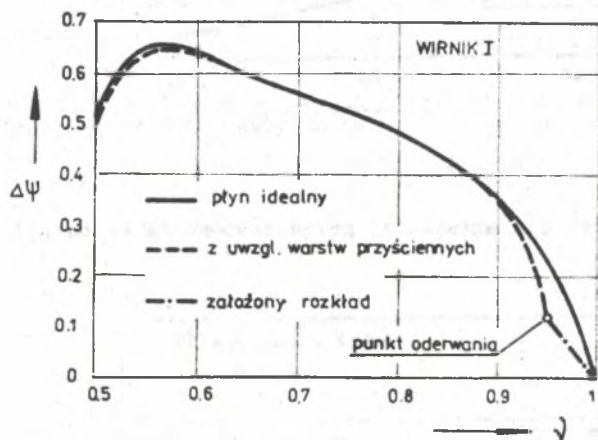
β_2 - kąt łopatkowy na wylocie,

$\Delta \Psi = \frac{z \Delta p}{5 u_2^2}$ - bezwymiarowa różnica ciśnień po obu stronach łopatki na danym promieniu,

z - liczba łopatek,

r - bieżący bezwymiarowy promień.

Przykładowo, rozkład bezwymiarowej różnicy ciśnień $\Delta \Psi$ wzdłuż promienia dla wirnika I przy wydajności nominalnej, przedstawiono na rys. 5. W przypadku modelu przepływu z warstwami przyściennymi proponuje się, aby od punktu odierwania rozkład $\Delta \Psi$ uzupełnić linią prostą do wartości $\Delta \Psi = 0$ na krawędzi wylotowej. Wyniki obliczeń współczynnika zmniejszenia mocy dla modelu płynu idealnego (nielepkiego) i modelu



Rys. 5

z warstwami przyściennymi przedstawiono na rysunku 6.

Inną ważną wielkością, szczególnie przy wyznaczaniu efektów dysypacyjnych, jest tzw. współczynnik przysłonięcia przekroju wylotowego "Eartwa" strefą śladu aerodynamicznego zdefiniowany jako:

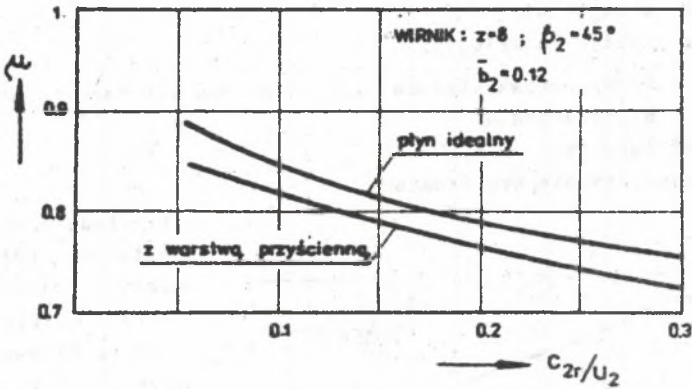
$$\epsilon = \frac{A_{\text{ślada}}}{\pi D_2 b_2 \tau_2} \quad (3)$$

Po rozpisaniu, uwzględniając rysunek 1, otrzymuje się:

$$\epsilon = \frac{2 \left(\pi - \frac{\pi \bar{K}}{\sin \beta_2} \right) \delta_b^* - z (\bar{b}_2 - 2 \delta_b^*) \frac{\delta_s^*}{\sin \beta_2}}{\left(\pi - \frac{\pi \bar{K}}{\sin \beta_2} \right) \bar{b}_2} \quad (4)$$

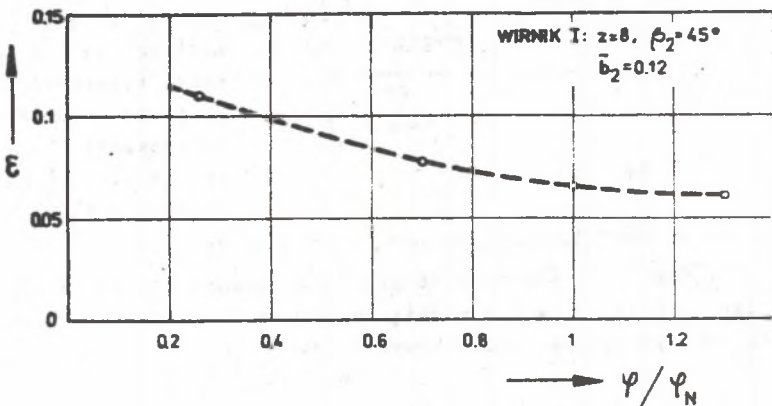
gdzie:

- δ_b^* - grubość łopatki (z/D_2),
- δ_s^* , \bar{b}_2 - grubości warstwy zmniejszenia strumienia masy na tylnej stronie łopatki i na tarczach bocznych odniesione do średnicy D_2 ,
- \bar{r}_2 - współczynnik zwężenia przekroju wylotowego.



Rys. 6

Rozkład współczynnika $\epsilon = f(\varphi)$ dla wirnika I, przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7

4. Podsumowanie

Przedstawiony model analizy przepływu płynu lepkiego przez wirniki maszyn promieniowych oparty na teorii warstwy przyściennej posiada wiele mankamentów, niemniej dla celów określenia pewnych globalnych charakterystyk przepływu (dotyczących np. współczynnika zmniejszenia mocy, współczynników strat przepływu itp.) stanowi propezcję o znacznych perspektywach, potwierdzeniem czego są również przedstawione wyniki obliczeń.

LITERATURA

- [1] OTTE J.J.: Numeryczne modelowanie quasi-trójwymiarowego przepływu płynu w maszynach wirnikowych. Zbiór prac IV Konferencji N-T: "Technologia przepływowych maszyn wirnikowych", Rzeszów 1978.
- [2] OTTE J.J.: Zastosowanie współczesnych metod obliczeniowych mechaniki przepływów w procesie projektowania wentylatorów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka z. 72, Gliwice 1979.
- [3] OTTE J.J.: Analiza przepływu w kanałach łopatkowych promieniowych maszyn wirnikowych. Zbiór prac V Konferencji N-T: "Technologia przepływowych maszyn wirnikowych", Rzeszów 1983.
- [4] LOJCJAŃSKI L.G.: Mechanika ściekłości i gazu. Moskwa 1978.
- [5] STANITZ J.D., PRIAN V.D.: A Rapid Aproximate Method for Determining Velocity Distribution on Impeller Blades of Centrifugal Compressors. NASA-TN 2255 (1951).

ПРОБЛЕМАТИКА РАСЧЕТОВ ТЕЧЕНИЯ В МЕЖЛОПАТОЧНЫХ КАНАЛАХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОЛЕС С УЧЁТОМ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Р е з ю м е

Анализируется влияние вязкости на течение в каналах рабочего колеса центробежных турбомашин и делается попытка комплексного применения методов теоретического анализа и теории пограничного слоя к задаче расчета течения в этих колесах. Представлены тоже некоторые результаты аэродинамических расчетов

SOME ASPECTS OF THE CALCULATIONS OF THE FLOW WITH BOUNDARY LAYER FOR CENTRIFUGAL IMPELLERS

S u m m a r y

A flow model with boundary layer for centrifugal impellers has been presented. The paper present also some results of calculations.