

Tadeusz Chmielniak, Henryk Łukowicz,  
Włodzimierz Wróblewski

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Politechnika Śląska

## MODELOWANIE PRZEPŁYWU W PROCESIE PROJEKTOWANIA WIENCÓW ŁOPATKOWYCH MASZYN WIRNIKOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono metodę rozwiązania zadania projektowania wieńców łopatkowych maszyn wirnikowych z pominięciem kryteriów wytrzymałościowych i technologicznych. Główną uwagę skupiono na wyznaczeniu straty profilowej. Przedstawiono wybrane rezultaty obliczeń.

### 1. WSTĘP

Przepływ przez układy łopatkowe maszyn wirnikowych jest w rzeczywistości przestrzennym i nieustalonym przepływem płynu lepkiego. Trudności matematyczne przy rozwiązaniu takiego zagadnienia powodują, że wprowadza się w procesie obliczeniowym szereg uproszczeń. Zakłada się zwykle, że przepływ jest ustalony, a czynnik roboczy jest płynem nielepkim, nie przewodzącym ciepła i spełniającym równanie gazu doskonałego.

Realizacja zadania projektowania wieńców łopatkowych łączy w sobie szereg zadań cząstkowych z zakresu zerodynamiki maszyn wirnikowych (zadania analizy przepływu, modelowania warstwy przyściennej, określenie strat przepływu) oraz wytrzymałości i technologii.

W niniejszym artykule ograniczono się do przedstawienia metody postępowania w zakresie zagadnień przepływowych z pominięciem kryteriów wytrzymałościowych i technologicznych.

### 2. METODA ROZWIĄZANIA ZADANIA PROJEKTOWANIA

Metoda postępowania przy projektowaniu wieńców łopatkowych oparta na zagadnieniach przepływowych łączy następujące zadania:

- wyznaczenie rozkładu parametrów w szczelinach międzywieńcowych

- stopnia, np. na podstawie [1],
- profilowanie wieńców łopatkowych,
- określenie rozkładu prędkości na powierzchniach wybranych profili łopatek, np. opierając się na [2],
- rozwiązanie warstwy przysciennej i wyznaczenie strat profilowych np. na podstawie [3].

Dane wejściowe do procesu obliczeniowego syntezy przepływu stanowią:

- geometria powierzchni ograniczających kanał przepływu,
- parametry kinematyczne i termodynamiczne na wlocie do wieńca,
- strumień masy,
- zasada kształtowania łopatek.

W pierwszym etapie obliczeń wyznaczany jest wstępny rozkład parametrów czynnika w szczelinach dla przyjętej funkcji zwinięcia łopatek i założonego rozkładu strat w wieńcach. Podawane w literaturze wskaźniki strat oparte są na rezultatach badań konkretnych palisad łopatkowych dla danych liczb Macha i Reynoldsa i mogą stanowić wstępne założenie w obliczeniach. Następnym etapem postępowania jest profilowanie wieńców łopatkowych. Przy doborze profilu można się oprzeć na profilach już istniejących lub rozwiązać zadanie syntezy dla profilu. Po wyborze profili skreśla się rozkłady prędkości na ich powierzchniach, służące do wyznaczenia parametrów warstwy przysciennej, a co za tym idzie, wielkości strat profilowych.

Określone w ten sposób straty profilowe służą do korekty obliczeń parametrów przepływu i kątów geometrycznych w wybranych przekrojach stopnia. Proces obliczeniowy należy powtarzać aż do uzyskania wymaganej dokładności.

Przedstawiony algorytm rozwiązania obowiązuje dla zadania syntezy stopnia, jak i pojedynczego wieńca łopatkowego.

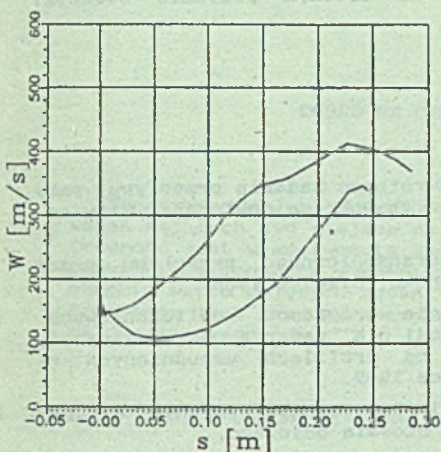
### 3. REZULTATY OBLICZEŃ WIENCA KIEROWNICZEGO

W naszym przypadku rozważono pojedynczy wieńiec łopatkowy - kierownicę ostatniego stopnia części NP turbiny o mocy 200 MW. Ogólną postać tego stopnia oraz szczegółowe parametry geometryczne można znaleźć w [4]. W obliczeniach przyjęto następujące parametry termodynamiczne i kinematyczne: ciśnienie całkowite  $p_0 = 14450$  Pa, entalpia całkowita  $i_0 = 2562,5$  kJ/kg, kąty napływu  $\alpha_0 = 90^\circ$ ,  $\gamma_0$  - liniowy rozkład wzdłuż promienia od  $0 - 29^\circ$ , strumień masy  $m_0 = 28$  kg/s.

Dla otrzymanego z wstępnych obliczeń, przy założonej wielkości strat profilowych, rozkładu ciśnienia za kierownicą rozwiązuje się zagadnienie analizy przepływu przestrzennego w wieńcu łopatkowym.

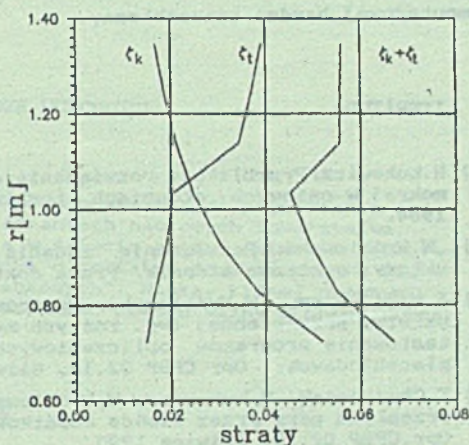
W prezentowanym przykładzie przyjęto do obliczeń istniejący profil.

Przykładowy rozkład prędkości na powierzchni łopatki w wybranym przekroju przedstawiono na rys.1. Otrzymane dla tego rozkładu prędkości parametry warstwy przyściennej wykorzystano do wyznaczenia składowej tarcia straty profilowej (rys.2.). Po uwzględnieniu straty krawędziowej otrzymano rozkład straty profilowej (rys.2). Następnie dla tak

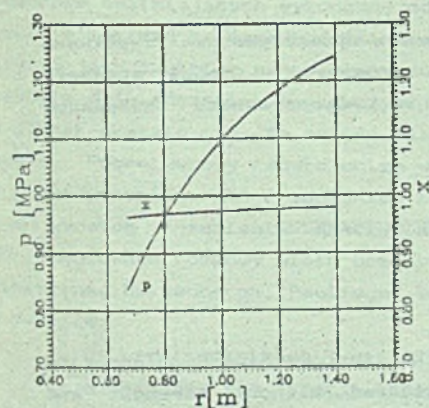


Rys.1. Prędkość na powierzchni łopatki wybranego profilu

Fig.1. Velocity on the profile

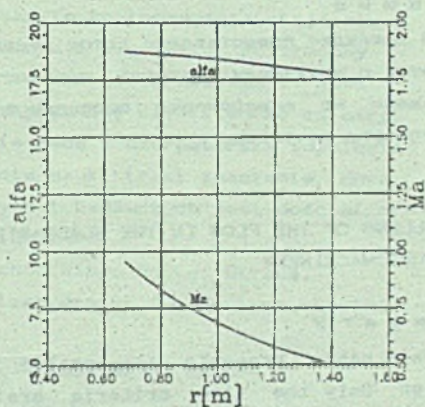


Rys.2. Straty za wieńcem łopatkowym  
Fig.2. Losses behind the blade-ring



Rys.3. Parametry pary za wieńcem łopatkowym

Fig.3. Steam parameters behind the blade-ring



Rys.4. Rozkład  $Ma=c_2/a$  i kąta geom.  $\alpha$   
Fig.4. Mach number and geometrical angle

otrzymanych strat profilowych przeprowadzono obliczenia rozkładu parametrów przepływu za wieńcem kierowniczym.

Uzyskane końcowe rozkłady wybranych parametrów termodynamicznych, kinematycznych i geometrycznych łopatki przedstawiono na rys. 3 i 4. Rozwiązanie zadania syntezy wymaga wielokrotnego wykonania obliczeń w celu uzyskania optymalnej geometrii ze względu na minimum strat. W związku z tym proces ten jest pracochłonny i na obecnym poziomie techniki komputerowej bardzo czasochłonny.

#### 4. LITERATURA

- [1] H.Łukowicz: Przybliżone rozwiązanie odwrotnego zadania przepływu pary mokrej w osiowych stopniach turbinowych. Praca doktorska, Gliwice 1984.
- [2] W.Wróblewski: Rozwiązanie zadania transonicznego przepływu przez układy łopatkowe stopnia. Praca doktorska, Gliwice 1988.
- [3] A.Misięwicz, W.Wróblewski: Opracowanie programów obliczeniowych warstwy przyściennej (wg. różnych metod) dla zadania optymalizacji, testowanie programów obliczeniowych na profilach uzgodnionych ze zlecającą. Opr.CPBP 02.18, Gliwice 1989.
- [4] T.Chmielniak, H.Łukowicz, W.Wróblewski: Rozwiązanie zadania syntezy przepływu pary przez wieńce łopatkowe stopnia osiowego. Opr.CPBP 02.18, Gliwice 1990.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕШЕТОК ТУРБОМАШИИ

##### Р е з ю м е

В докладе представлено метод решения задачи проектирования турбинных решеток с упущением критерия прочности и технологии. Особое внимание обращено на определение профильной потери. Представлено избранные результаты расчетов.

#### MODELLING OF THE FLOW IN THE BLADE-RING DESIGN PROCESS OF TURBOMACHINERY

##### S u m m a r y

This paper presents the method of the turbomachinery blade-ring design. Only the flow criteria are considered without strenght and technology criteria. The main attention is concentrated on the determination of profile losses. Some calculation results are presented.