

Stanisław WIECHOWSKI
Zakład Maszyn Energetycznych
Instytut Techniki Ciepłej - Łódź

DEFORMACJE CHARAKTERYSTYKI PRZEPŁYWOWEJ PIERŚCIENIOWEJ PALISADY PROPILI WYWOŁANE OBECNOŚCIĄ RÓŻNYCH TYPÓW SOND

Streszczenie: Opisano stoisko do badania pierścieniowych palisad łopatkowych i sposób doświadczalnego wyznaczania charakterystyki przepływowej. Przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu sond zamocowanych w płaszczyznach kontrolnych przed i za palisadą na wielkość średniego kąta wylotowego i współczynnika strat energii określanych za pomocą trójtorowej sondy cylindrycznej.

1. Wstęp

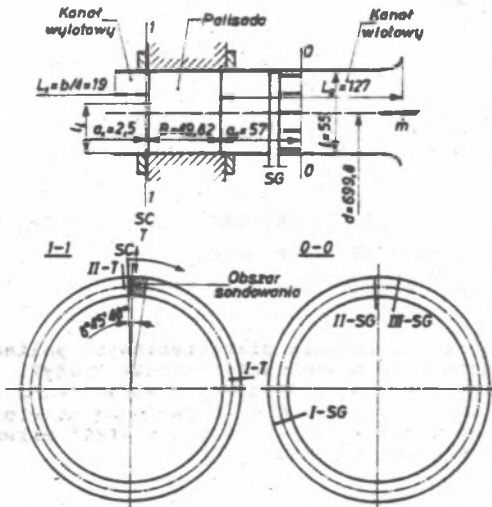
W trakcie prac badawczych, prowadzonych w Instytucie w ramach kierunku 6 problemu rządowego PR-8, koordynowanego przez Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, dotyczących eksperymentalnego wyznaczania charakterystyk aerodynamicznych pierścieniowych palisad łopatkowych, wynikło szeregi problemów natury pomiarowej. Część z nich, dotycząca wpływu sposobu rozmieszczania sond pomiarowych w płaszczyznach kontrolnych badanej palisady, naświetla niniejszy referat.

2. Stoisko i jego oprzyrządowanie

Laboratorium aerodynamiki turbin Instytutu dysponuje obecnie dwoma powietrzanymi turbinami modelowymi [2], których konstrukcja i wyposażenie umożliwiają badania przepływowe pierścieniowych palisad łopatkowych [4], stanowiących modele taroz kierowniczych turbin parowych krajowej konstrukcji.

Kanał przepływowy jednej z nich, w którym instalowane są przyrządy pomiarowe pozwalające na określenie charakterystyki przepływowej badanej palisady, pokazano na rys. 1. Zaznaczono na nim zarówno płaszczyzny kontrolne przez 0-0/ i za palisadą 1-1/, jak i usytuowanie sond do pomiaru temperatury i ciśnienia.

Sondy umieszczone w kanale wlotowym /płaszczyzna 0-0/ nie zmieniają swego położenia w czasie badań natomiast pozostałe /płaszczyzna 1-1/, mocowane na obrotowym pierścieniu, umożliwiają trawersowanie przekroju wlotowego w obrębie ~ 2 podziałek łopatkowych /kąt środkowy $\sim 20^\circ$ /.



Rys. 1. Kanał przepływowy stoiska do badania palisad pierścieniowych.

0-0, 1-1 - płaszczyzny kontrolne,
 SC - sonda cylindryczna trójotworowa,
 SG - sonda grzebieniowa,
 T - termopara płaszczyznowa.

3. Charakterystyka przepływowa palisady i jej wyznaczenie

Charakterystyka przepływowa palisady stanowi zbiór wykresów obrazujących zmiany wzdłuż wysokości łopatki następujących wielkości uśrednionych wzdłuż podziałki:

- bezwzględnej prędkości wylotowej \bar{c}_1 , względnie jej składowych /osiowej c_{1s} i obwodowej c_{1u} ,
- kąta wylotowego $\bar{\alpha}_1$,
- współczynnika strat energii $\bar{\xi}_c$ względnie sprawności $\bar{\eta}_K = 1 - \bar{\xi}_c$,

danych liczbowych dotyczących liczb kryterialnych, określających warunki prowadzenia badań, jak:

- liczba Macha M_{c_1} i liczba Laval'a L_1 , obliczane dla prędkości wylotowej c_1 ,
- liczba Reynoldsa Re_{c_1} , obliczana w oparciu o ciężkość profilu i prędkość wylotową c_1 ,

a także współczynnik przepływu μ , obliczany z zależności:

$$\mu = \frac{\dot{m}}{d \cdot l \cdot c_{1s} \cdot \rho_{1s} \sin \alpha_1} \quad (1)$$

gdzie: \dot{m} - rzeczywisty przepływ przez palisadę,

c_{1s} - bezwzględna prędkość wylotowa przy przemianie izentropowej,

ρ_{1s} - gęstość powietrza w tych samych warunkach.

Wszystkie te wielkości obliczane są w oparciu o geometrię palisady oraz wyniki pomiarów parametrów czynnika roboczego w płaszczyznach kontrolnych pokazanych na rys. 1.

Lokalne wartości nadciśnienia całkowitego p_{1c1j} oraz kąta wylotowego α_{1j} mierzone są sondą cylindryczną trójotworową /SC/ w 208 punktach pła-

szczyzny sondowania /rys. 1/, obejmującej jedną podziałkę łopatkową.

Lokalny współczynnik strat energii określany jest z zależności podanej w [5, wzór 10]:

$$\xi_{cij} = \frac{P_{0c} - P_{1cij}}{P_{0c} - P_{1ij}} \quad (2)$$

gdzie: P_{0c} - średnie ciśnienie całkowite przed palisadą /płaszczyzna kontrolna 0-0/,
 P_{1cij} - lokalne ciśnienie całkowite za palisadą /płaszczyzna kontrolna 1-1/,
 P_{1ij} - lokalne ciśnienie statyczne za palisadą /płaszczyzna kontrolna 1-1/.

Rozkłady współczynników strat lokalnych w płaszczyźnie 1-1 przedstawiane są w postaci wykresów warstwicznych, natomiast uśrednianie ich po obwodzie kanału daje możliwość wykonywania wykresów $\xi_c = f/l_1$, po scałkowaniu których otrzymuje się średnią wartość współczynnika strat energii dla palisady ξ_c .

Badania wykonywane są w obszarze "samopodobieństwa" przepływów, którego dolną granicę stanowi $Re_{c1} = 5 \cdot 10^5$, przy stałym stosunku ciśnień

$$\pi_K = \frac{P_{1c}}{P_{0c}} \quad (3)$$

Wyniki pomiarów opracowywane są za pomocą minikomputera MERA 400 według programu CHP1 [1] dostosowanego do specyfiki stoiska i uwzględniającego nie tylko możliwość stosowania różnych typów sond pomiarowych [4], ale i obliczania charakterystyk zarówno palisady izolowanej, jak i współpracującej z wirującą palisadą łopatek roboczych w stopniu turbinowym.

4. Wpływ usytuowania sond w kanale przepływowym stoiska na charakterystykę palisady

Na rys. 2, w rozwinięciu na średnicy podziałkowej, przedstawiono usytuowanie sond pomiarowych w płaszczyznach kontrolnych względem łopatek palisady. Cyframi rzymskimi, przy wielkościach określających względne odległości sond, oznaczono ich kolejne położenia w czasie badań.

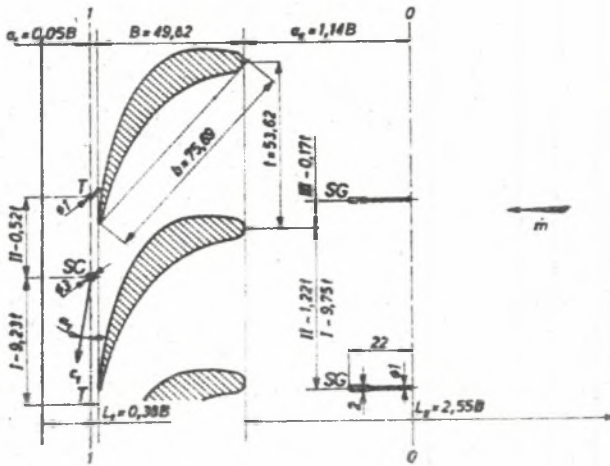
Zbadane zostały 4 przypadki, ujęte w tablicy 1, w których niezmienione położenie zajmowała stale sonda cylindryczna SC.

T a b l i c a 1

Położenie sond w kanale przepływowym stoiska

P r z y p a d e k	1	2	3	4
Położenie sondy SG	I	II	II	III
Położenie sondy T	I	I	II	II

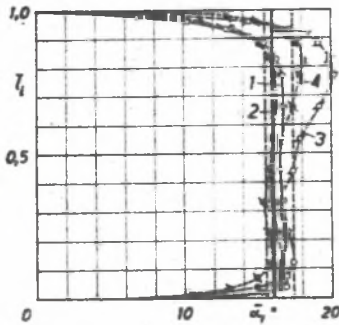
Spośród wymienionych poprzednio wielkości tworzących charakterystykę omówione zostaną dalej tylko kąt wylotowy i współczynnik strat energii, które w czasie badań przepływowych były najwrażliwsze na obecność osztek sond w rejonie sondowanego kanału łopatkowego.



Rys. 2. Usytuowanie sond pomiarowych w płaszczyznach kontrolnych względem łopatek palenicy
 SC - sonda cylindryczna, SG - sonda grzebieniowa,
 T - termopara płaszczyznowa

4.1. Kąt wylotowy

Na rys. 3 przedstawiono rozkład wzdłuż wysokości łopatki kąta wylotowego uśrednionego po obwodzie kanału /na długości jednej podziałki łopatkowej t / dla wszystkich rozpatrywanych przypadków.



Rys. 3. Rozkład kąta wylotowego uśrednionego po obwodzie kanału α_1 wzdłuż wysokości łopatki dla przypadków wg tablicy 1

Wartości średnie kąta wylotowego $\bar{\alpha}_1$, uzyskane przez scałkowanie wykresów $\alpha_1 = f/z$, zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Zestawienie średnich wartości kątów wylotowych 1

Przypadek /wg tablicy 1/	1	2	3	4
Średni kąt wylotowy $\bar{\alpha}_1$	16,05	15,46	17,41	15,98

W pierwszym przypadku, w czasie trawersowania kanału sondą SC w płaszczyźnie kontrolnej 1-1, pozostałe sondy zajmują odległe od niej położenia /SG-I-9-75t, T-I-9, 23t/. Wykres $\bar{\alpha}_1 = f/I_1$, oznaczony na rys. 3 cyfrą 1 /linia ciągła/, jako nieznieszkodzony obecnością innych sond, pozwoli ocenić ich wpływ w pozostałych przypadkach.

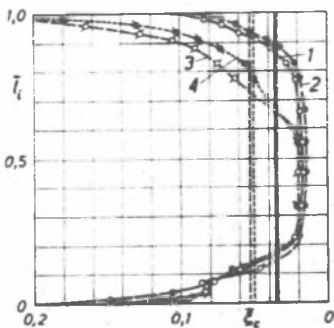
Przesunięcie sondy grzebleniowej naprzeciw łopatki sąsiadującej z sondowanym kanałem /SG-II-1, 22t/ zmniejsza średni kąt wylotowy o około $\Delta\bar{\alpha}_1 = 0,6^\circ$ nie powodując jednak wyraźnej deformacji krzywej 2.

Dopiero zainstalowanie w pobliżu sondy cylindrycznej termopary płaszczonej /T-II-0, 52t/, wsuniętej od zewnętrznej ścianki kanału na głębokość 0,6l, zdecydowanie zmieniło charakter przebiegu krzywej $\bar{\alpha}_1 = f/I_1$ oznaczonej nr 3. Kąt wylotowy uległ znacznemu zwiększeniu w okolicy $I_1 = 0,6 - 1,0$, co można tłumaczyć wpływem oprawy termopary o średnicy 3 mm, podczas gdy w rejonie oszki o średnicy 1 mm $I_1 = 0,4 - 0,6$ wzrost ten nie przekroczył 1° . Średni kąt wylotowy wzrósł o $\sim 1,5^\circ$.

Pozostawiając termoparę w tym samym położeniu, przesuwając sondę grzebleniową w rejon sondowania /SG-III-0, 17t/ - przypadek 4 - zauważamy, że działa ona neutralizująco, powodując taką deformację rozkładu kąta wylotowego, że średnia jego wartość jest bliska otrzymanej w przypadku 1.

4.2. Współczynnik strat energii

Rozkład uśrednionego po obwodzie kanału współczynnika strat energii w palisadzie wzdłuż wysokości łopatki $\bar{\xi}_c = f/I_1$ dla rozpatrywanych przypadków usytuowania sond pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Rozkład współczynnika strat energii /uśrednionego po obwodzie kanału/ wzdłuż wysokości łopatki dla przypadków wg tablicy 1

Podobnie jak w przypadku kąta wylotowego, różnice w położeniach sond w przypadkach 1 i 2 nie wywołują istotnych zmian charakteru rozkładu wykresów, pewne różnice natomiast zarysowują się przy podziale ich na straty profilowe $\bar{\xi}_p$ i brzegowe $\bar{\xi}_b$, co widać wyraźnie z zestawienia wartości w tablicy 3.

O ile w pierwszym przypadku podział ten jest prawie równy, to w drugim przewagę mają straty brzegowe.

Przypadek 3 - wprowadzenie termopary w kanał w bliskim sąsiedztwie sondy cylindrycznej - charakteryzuje się prawie dwukrotnym wzrostem strat brzegowych wywołanych znaczną deformacją rozkładu $\bar{\xi}_c = f/I_1$ w zewnętrznej połowie kanału.

W przypadku 4, po zbliżeniu sondy grzebleniowej do trawersowanego kanału,

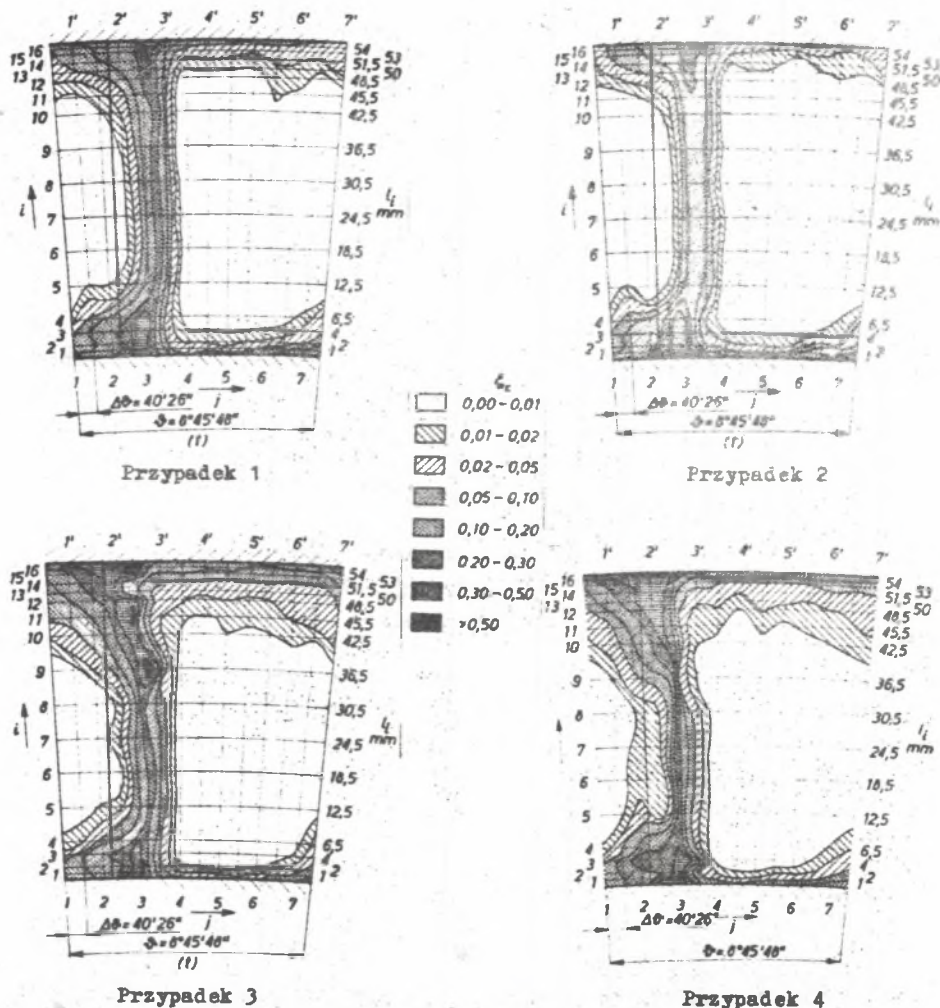
nastąpiło pewne zmniejszenie strat brzegowych a także łącznych strat energii, przy minimalnym wzroście strat profilowych.

T a b l i c a 3

Wartości średnie współczynników strat energii w palisadzie

Przypadek		1	2	3	4
Średni współczynnik strat	całkowitych ζ_o	0,0355	0,0344	0,0532	0,0498
	profilowych ζ_p	0,0180	0,0150	0,0190	0,0200
	brzegowych ζ_b	0,0175	0,0194	0,0342	0,0298

Wykresy warstwowe współczynnika strat ζ_o w obrębie jednej podziałki, przedstawione na rys. 5, stanowią uzupełniający materiał porównawczy dla wszystkich rozpatrywanych przypadków.



Rys. 5. Wykresy warstwowe współczynnika strat ζ_o wyznaczonego za pomocą sondy cylindrycznej trójtorowej

5. Uwagi końcowe

Badania przepływowe pierścieniowych palisad żopatkowych prowadzone były w ITC za pomocą kilku typów sond pneumatycznych [5] [6]. Przedstawione wyniki dotyczą tylko trójjetworowej sondy cylindrycznej o średnicy czubki 3 mm. oraz wpływu na jej wskazania innych sond, umieszczanych w różnych miejscach i na różnych głębokościach kanału przepływowego.

Na ich podstawie można sformułować następujące uwagi:

1. Umieszczenie sondy grzebieniowej w płaszczyźnie kontrolnej 0-0 w pobliżu trawersowanego kanału kopatkowego /położenie III na rys. 2/ nie wywołuje istotnych zmian przebiegu krzywych $\bar{\alpha}_1 = f/l_1$ i $\bar{\xi}_c = f/l_1$ a jedynie ich przesunięcie w kierunku mniejszych wartości $\bar{\alpha}_1$ i większych $\bar{\xi}_c$.
2. Obecność termopary umieszczonej w płaszczyźnie kontrolnej 1-1 /położenie II/ w odległości od sondy wynoszącej ~ 10 jej średnic /lub 0,52t/ wpływa bardzo niekorzystnie na rozkład zarówno kąta wylotowego, jak i współczynnika strat. Wielkość deformacji zależna jest od wymiarów termopary i głębokości jej zanurzenia w kanale. W tym konkretnym przypadku spowodowała ona wzrost średniego kąta wylotowego o $\sim 2^\circ$. Średni współczynnik strat zwiększył się z 0,0344 do 0,0532.
3. Stwierdzono częściowe neutralizowanie szkodliwego wpływu termopary umieszczonej w położeniu II w przypadku przesunięcia sondy grzebieniowej w obręb trawersowanego kanału /położenie III/. Średni kąt wylotowy jest w tym przypadku prawie identyczny jak przy znacznym oddaleniu termopary i sondy grzebieniowej od sondowanego kanału.
4. Jak wynika z tablicy 3, niekorzystny wpływ termopary i sondy grzebieniowej uwidacznia się szczególnie wyraźnie na współczynniku strat brzegowych, podczas gdy współczynnik strat profilowych zmienia się w niewielkich granicach.

LITERATURA

- [1] Kręgiel L.: Program CHP1 do obliczania charakterystyk pierścieniowych palisad profili. Sprawozdanie ITC /nie opublikowane/ nr ew. 4745, Łódź 1984.
- [2] Wiechowski S.: Laboratorium aerodynamiki turbin Instytutu Techniki Ciepłej w Łodzi. Materiały V Konferencji Naukowo-technicznej "Technologia Przepływowych Maszyn Wirnikowych", Rzeszów 1983, s. 367-373;
- [3] Wiechowski S.: Powietrzna turbina modelowa AG-9 z urządzeniem do bezpośredniego pomiaru siły osiowej na wirniku. Prace ITC, 1970, z. 2, s. 35-51;
- [4] Wiechowski S., Bańkowski P.: Adaptacja stoiska do badań palisad pierścieniowych. Metodyka badań i opracowywania wyników. Oprzyrządowanie stoiska. Sprawozdanie ITC /nie opublikowane/ nr ew. 4479, Łódź 1982;
- [5] Wiechowski S.: Badania wstępne kierownicy TK4 dla sprawdzenia stoiska układu pomiarowego i metodyki badań. Sprawozdanie ITC /nie opublikowane/ nr ew. 4522, Łódź 1982.
- [6] Wiechowski S.: Badania przepływowe pierścieniowej palisady profili N3-50 /TK4/ dla określenia jej charakterystyk. Sprawozdanie ITC /nie opublikowane/ nr ew. 4599, Łódź 1983.

ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОЙ РЕШЕТКИ ПРОФИЛЕЙ, ВЫЗВАННЫЕ ПРИСУТСТВИЕМ ЗОНДОВ РАЗНЫХ ТИПОВ

Р е з ю м е

Описан стенд для исследования кольцевых лопаточных решеток и способ экспериментального определения аэродинамической характеристики. Представлены результаты исследования влияния зондов, закрепленных в контрольных сечениях перед и за решеткой, на величину выходного угла и коэффициента потерь энергии от сечения с помощью трехнаправленного цилиндрического пневматического датчика.

AERODYNAMIC CHARACTERISTIC DEFORMATIONS OF ANNULAR CASCADE PRODUCED BY PRESENCE OF SEVERAL PROBE TYPES

S u m m a r y

The test rig of annular cascades and the way of experimental determination of aerodynamic characteristic are described. The results of the tests, concerning the influence of probes fixed on checking planes before and after cascade on quantity of outlet angle and energy losses coefficient, determined by cylindrical 3-hole probe are presented.