

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

83-84

WARSZAWA - POZNAŃ 1983

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1983

Printed in Poland

ISBN 83-01-04553-1
ISBN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340+90 egz.	Oddano do składania 17 VI 1982 r.
Ark. wyd. 21,5. Ark. druk. 16,75+1 wkl.	Podpisano do druku 22 IV 1983 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w maju 1983 r.
Nr zam. 489/184.	E-9/215. Cena zł 200,—

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

PROBLEMY ROZWOJU HYDRAULICZNYCH MASZYN WIROWYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POTRZEB ENERGETYKI

Porąbka-Kozubnik, 20 - 23, września 1980 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

DEVELOPMENT PROBLEMS OF HYDRAULIC TURBOMACHINES WITH SPECIAL ACCOUNT OF THE NEEDS OF POWER ENGINEERING

Porąbka-Kozubnik, September 20 - 23, 1980

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ МАШИН С ОСОБЫМ УЧЕТОМ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ

Поромбка-Козубник, 20 - 23 сентября 1980 г.

ANDRZEJ ZIELIŃSKI

Wrocław*

Problematyka zastosowania metody punktów osobliwych do projektowania elementów przepływowych maszyn wirowych

Artykuł zawiera podsumowanie doświadczeń autora na temat możliwości zastosowania dwuwymiarowej metody punktów osobliwych w toku projektowania pomp wirowych. Omówiono zagadnienie zarówno od strony analizy, jak i syntezy palisady. Zamieszczono szereg przykładów obliczeniowych. Wymieniono spodziewane korzyści oraz podano warunki jakie należy spełnić przy wdrażaniu metody. Wskazano na przewidywane dalsze aspekty jej zastosowania.

1. Wprowadzenie

Projektowanie wybranego obiektu jest na ogół związane z koniecznością uprzedniego wykonania i zbadania jego modelu fizycznego lub matematycznego. W najprostszym modelu matematycznym opisującym zjawisko przepływu przez palisady maszyn wirowych rzeczywisty, trójwymiarowy przepływ lepkiego płynu, jest zastępowany modelem, w którym wszystkie cząstki poruszają się wzdłuż linii środkowej kanału po torze przystającym do szkieletowej łopatek. Własności hydrauliczne palisady są tu zapisane jako funkcja parametrów geometrycznych tylko dwóch punktów położonych na krawędzi wlotowej i wylotowej. Stosowanie tego modelu w praktyce projektowej wymaga wprowadzania szeregu empirycznych i półempirycznych danych, dla uwzględnienia skończonej liczby łopatek oraz rzeczywistych własności medium, które jednak nie tłumaczą dokładnie zachodzących zjawisk.

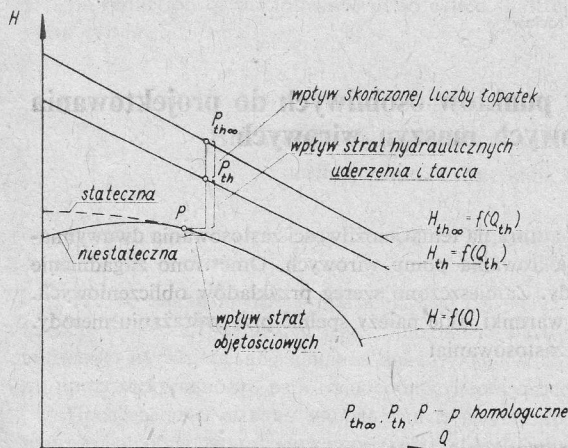
W ostatnich latach odnotowano na świecie wiele prób zastąpienia teorii jednowymiarowej bardziej doskonałym modelem matematycznym, który zbudowany na podstawowych prawach fizyki, mógłby przyczynić się do zmniejszenia obszaru niewiedzy, jaki dzieli opis jednowymiarowego przepływu płynu przez palisady od rzeczywistości.

2. Metoda punktów osobliwych

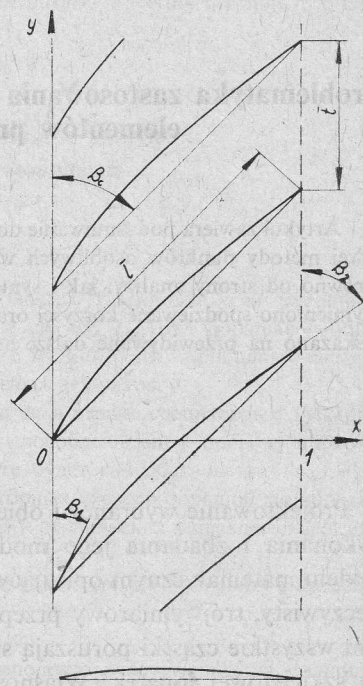
Niewątpliwym krokiem naprzód są metody dwuwymiarowe. Podłożem ich są prace W. M. Kutty (1902), N. J. Żukowskiego (1906), S. A. Czapłygina (1921), E. Königa (1922), W. Birnbauma (1923), W. Spannhaake'a (1925) czy też E. Sörensen (1927), którzy byli

* Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej.

prekursorami metody odwzorowania konforemnego. Ich prace, a także prace H. Glauerta (1926), A. Betza i I. Flügge-Lotza (1938), W. H. Isaya (1954), M. J. Schilhansla (1958), M. Hofmeistera (1959), E. Martensena (1959) oraz J. Grubera, T. Cziberego, A. Verby i A. Nyiri'ego w latach sześćdziesiątych umożliwiły również rozwój metody punktów osobliwych. W pracach tych główny nacisk był położony na syntezę palisady, a trudności



Rys. 1. Charakterystyki przepływu pompy



Rys. 2. Kołowa palisada wirnika po odwzorowaniu konforemnym na pomocniczy układ współrzędnych (x, y). Pokazano kształt linii szkieletowej łopatki

z upowszechnieniem metody w praktyce konstrukcyjnej polegały m.in. na braku dostatecznego zasobu informacji na temat właściwego wyboru danych do obliczeń palisady o wymaganych własnościach oraz na bardzo skromnych jeszcze możliwościach obliczeń komputerowych. Stąd w proponowanych tam koncepcjach postępowania dążność do rozwiązań przypadków szczególnych, nie zawsze najodpowiedniejszych do bezpośredniego zastosowania w praktyce.

Szybki rozwój techniki komputerowej w ostatnich latach stworzył szansę zbudowania bardziej efektywnego narzędzia poznawczego. W Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej opracowano i oprogramowano w latach siedemdziesiątych polską realizację dwuwymiarowej metody punktów osobliwych, m.in. [1, 2, 3, 4]. Metoda ta opisując przepływ cieczy doskonale na obrotowych powierzchniach prądu (powierzchnie typu S'_1) umożliwia projektantowi uwzględnienie, na drodze analitycznej, wpływu:

- liczby, przelotowości i kształtu łopatek palisady,
- przebiegu zmian szerokości kanału,
- kąta napływu

na pracę palisady. Istotą metody punktów osobliwych jest uwzględnienie okresowej symetrii pola prędkości w palisadzie przez wprowadzenie funkcji rozkładu wirów $\gamma^{(c)}$ tak, że:

$$H_{th} = \frac{Z\omega}{2\pi g} \Gamma,$$

$$\text{przy czym: } \Gamma = \int_{x=0}^{x=1} \gamma_{(x)}^{(c)} dx = \int_{\varphi=\pi}^{\varphi=0} \gamma_{(\varphi)}^{(c)} d\varphi.$$

W przypadku pompy mamy zatem do czynienia z jednoznacznie wyznaczoną charakterystyką $H_{th}=f(Q_{th})$ (rys. 1). Dla wybranego punktu pracy wartości i sposób rozkładu wirowości wzdłuż linii szkieletowej łopatki, modelującego pracę palisady, jest z jednej strony funkcją jej parametrów geometrycznych, a z drugiej zależy od kinematycznych parametrów pola prądu.

Obliczenia prowadzi się po odwzorowaniu konforemnym rzeczywistej palisady kołowej na płaską palisadę o jednostkowej grubości i nieograniczonej rozciągłości (rys. 2), a wyniki transformuje ponownie na rzeczywisty układ współrzędnych. Daje to uniwersalność wzorów obliczeniowych, niezależnie od tego czy wirnik jest odśrodkowy, śmigłowy, czy o przepływie ukośnym. Metoda punktów osobliwych może być zastosowana zarówno do poszukiwania kształtu palisady projektowanej jak i analizy istniejącej. Jest zatem efektywnym narzędziem ich optymalizacji [5].

3. Znajdowanie palisady odpowiadającej przyjętemu rozkładowi obciążenia łopatki

Koncepcja praktycznego zastosowania metody punktów osobliwych do projektowania maszyn przepływowych została aktualnie rozwinięta głównie dla pomp wirowych [6]. Koncepcja ta zakłada funkcjonalność połączenia dotychczasowych sposobów projektowania z nowymi możliwościami opisu zjawisk przepływu. Uwzględnienie rzeczywistych własności cieczy wymaga nadal znajomości odpowiednich statystycznych danych empirycznych. Ustalenie podstawowych rozmiarów wirnika określających zarys przekroju merydionalnego, wybór liczby łopatek, a także racjonalne wyznaczenie osiowo-symetrycznej powierzchni prądu, na której wykonuje się obliczenia, są to zagadnienia szczegółowe, których nie można bezpośrednio rozwiązać przez syntezę palisady metodą punktów osobliwych. Algorytm syntezy wymaga aby wartości tych wielkości zostały ustalone wcześniej.

Przedmiotem syntezy jest poszukiwanie kształtu i kąta opasania łopatek palisady. Dane stanowi przyjęty sposób obciążenia łopatki w teoretycznym obliczeniowym punkcie pracy. Obciążenie to może być określone rozkładem wirów, rozkładem prędkości stycznej lub przyrostem ciśnienia wzdłuż wybranej strony łopatki, a wreszcie przez podanie zmiany krętu Δr_{c_u} w palisadzie.

W literaturze nie ma żadnych wskazówek co do optymalnego wyboru rozkładu wirów. W pracach Grubera i Cziberego zakładano z góry rozkład eliptyczny. Rozkład obciążenia łopatki jest jednak inny dla każdego punktu pracy palisady (patrz rys. 3). Z warunków brzegowych modelu przepływu wynika, że dla $x=0$ $\gamma_{(x)}^{(c)}=0$ tylko w punkcie napływu bezuderzeniowego. Natomiast stosunek $Q_{th(0)}/Q_{opt}$ zmienia się, jak stwierdzono, dla różnych konstrukcji w dość szerokich granicach.

Zbyt mało jest również dostępnych danych na temat wyboru właściwego, ze względu na własności funkcjonalne palisady, rozkładu prędkości na łopatkę.

Najbardziej odpowiednie w tej sytuacji może być wykorzystanie zależności jaka zachodzi między rozkładem wirów a zmianą krętu w palisadzie. Przyrost energii udzielanej medium jest bowiem dla projektanta parametrem mniej abstrakcyjnym. Na wlotowej krawędzi łopatki pracującej z kątem natarcia styczna do krzywej $\Delta rc_u = f(l_m)$ jest prostopadła do osi odciętych. W punkcie napływu bezuderzeniowego jest ona do osi odciętych równoległa, podobnie jak dla punktu leżącego na krawędzi wylotowej. Przebieg krzywej Δrc_u między krawędzią natarcia i splywu powinien odpowiadać żądanym własnościom łopatki. Ogólnie można stwierdzić, że jest niekorzystne, gdy w projektowanym zakresie pracy występuje znaczny zakres ujemnych wartości Δrc_u (obszar turbinowej pracy wirnika), powoduje to bowiem zwiększenie gradientu przyrostu ciśnienia statycznego wzdłuż biernej strony łopatki i zmniejszenie zdolności ssania przez wirnik.

Dla celów porównawczych wygodnie jest posługiwać się bezwymiarowymi wykresami przyrostu krętu w postaci $\Delta rc_u / \Delta rc_{u \max} = f[l_m / l_{m \max}]$ z jednakowymi skalami na obu osiach.

4. Rola analizy palisady metodą punktów osobliwych w projektowaniu

W wyniku analizy palisady metodą punktów osobliwych otrzymuje się dla zadanych warunków napływu i szybkości obrotowej teoretyczną charakterystykę przepływu $H_{th} = f(Q_{th})$ wraz z położonym na niej punktem napływu bezuderzeniowego. W dowolnie wybranym na tej charakterystyce punkcie pracy można następnie wyznaczyć:

- rozkłady prędkości i przyrostu ciśnienia statycznego wzdłuż obu stron łopatki oraz całkowity przyrost ciśnienia statycznego w palisadzie,
- rozkłady wirów i przyrostu krętu w palisadzie,
- pole prędkości na wybranej międzyłopatkowej osiowo-symetrycznej powierzchni prądu [7].

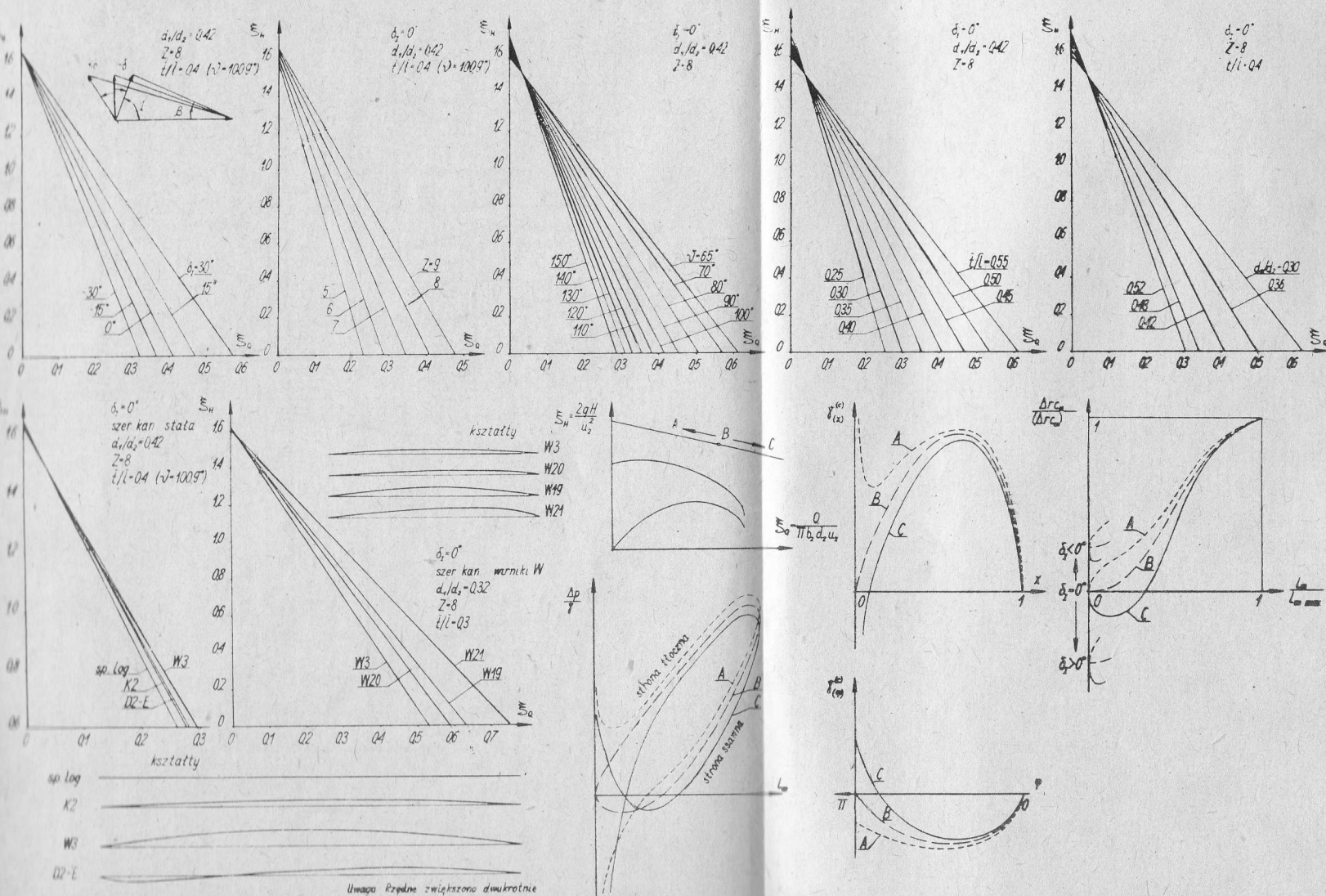
Możliwość realizacji powyższego toku obliczeń pozwala projektantowi na:

- a) ocenę analizowanej palisady z punktu widzenia stawianych jej wymagań,
- b) badanie i porównywanie wpływu zmiany parametrów geometrycznych i warunków pracy na własności hydrauliczne palisady (rys. 3).

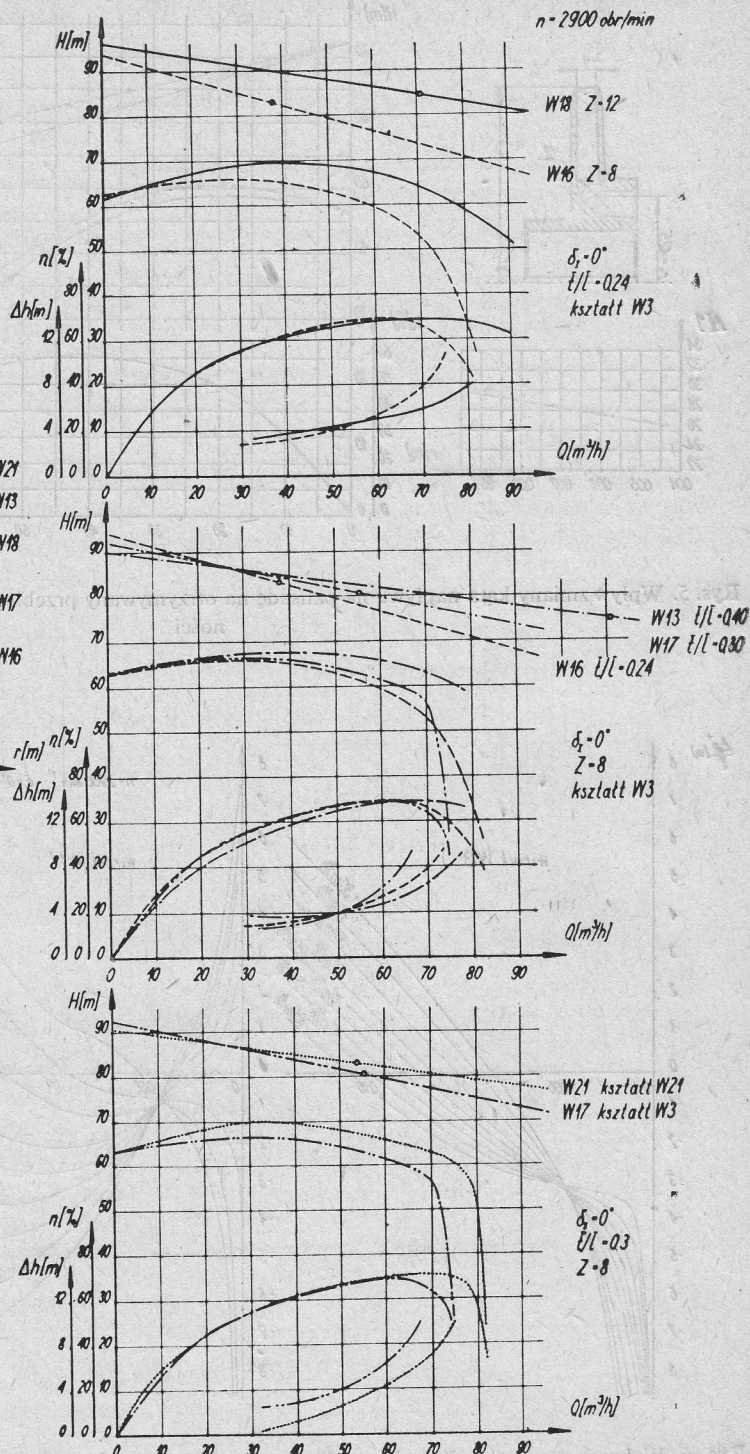
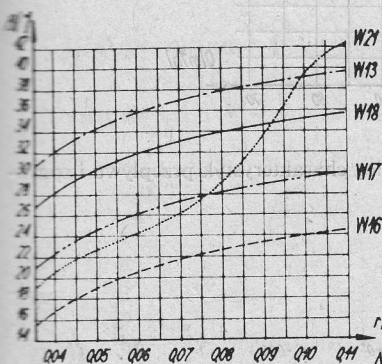
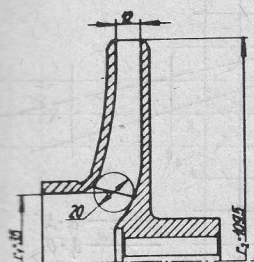
Jak wykazuje doświadczenie, określone własności palisady otrzymane drogą jej analizy teoretycznej metodą dwuwymiarową odpowiadają jakościowo i w pewnej mierze ilościowo odpowiednim rzeczywistym cechom tej palisady (tab. 1). Otrzymywany rozkład prędkości wzdłuż łopatki może służyć do oceny, czy analizę wykonano na właściwej osiowo-symetrycznej powierzchni prądu.

Analiza palisady metodą punktów osobliwych odgrywa rolę narzędzia diagnostycznego, które może być stosowane zarówno na etapie projektowania wstępnego nowej konstrukcji, w toku jej optymalizacji, jak i do badania wyróżniających się konstrukcji zaprojektowanych sposobem tradycyjnym. Na rysunkach 4, 5, 6 i 8 przedstawiono przykłady takich analiz; cytowane pomiary zostały wykonane przez Pluteckiego i Wajdę w IKEM Politechniki Wrocławskiej.

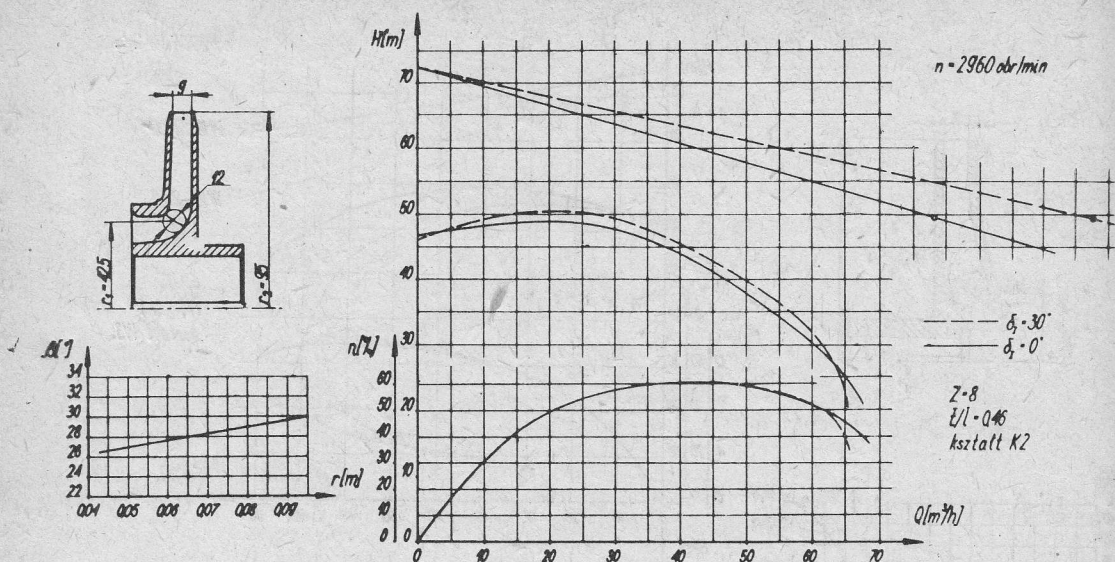
szerokość kanału stała | kształt: spirala logarytmiczna



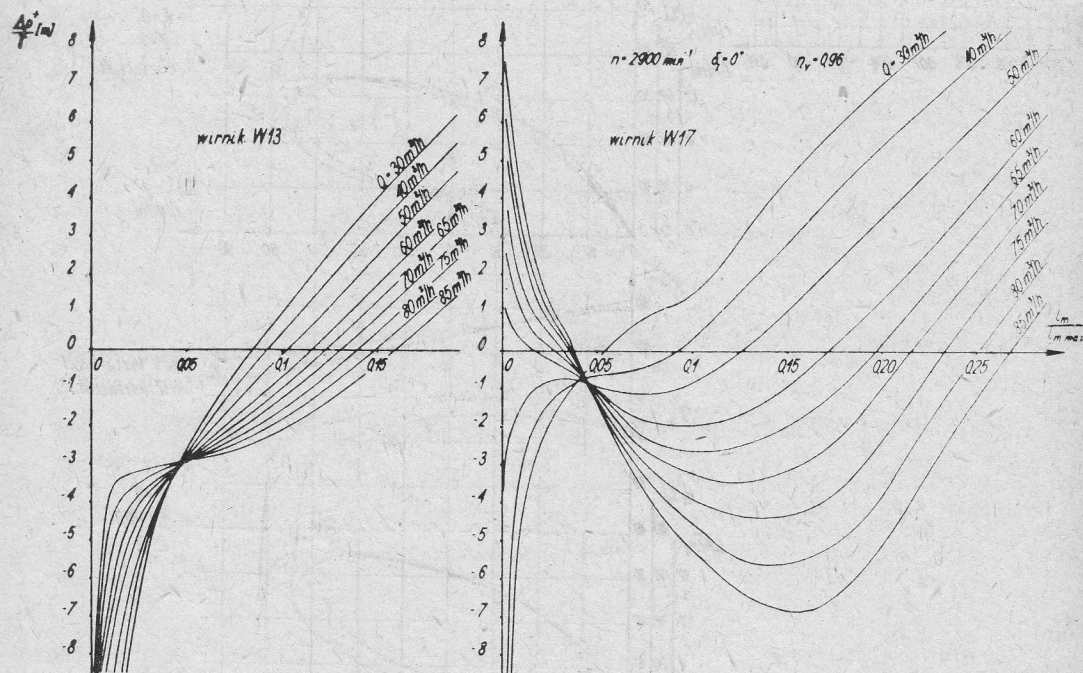
rys. 3. Zestawienie wpływu zmian: kąta napływu δ_1 , liczby łopatek Z , kąta opasania ϑ , przelotowości palisady l/l , stosunku średnic d_1/d_2 , a także różnych kształtów na położenie bezwymiarowej, teoretycznej charakterystyki przepływu i bezuderzeniowego punktu pracy na niej. Podano typowe przykłady charakterystyk rozkładu wirów $\gamma_{(x)}^{(e)} = f(x)$ i $\gamma_{(\varphi)}^{(e)} = f(\varphi)$, krętu $Arc_u = f(l_m)$ oraz przyrostu ciśnienia statycznego $\Delta p/\gamma = f(l_m)$ w zależności od położenia na teoretycznej charakterystyce przepływu analizowanego punktu pracy



Rys. 4. Wyniki analizy teoretycznej i pomiarów wirników różniących się: liczbą łopatek, przelotowością palisady i kształtem



Rys. 5. Wpływ zmiany kąta napływu na palisadę na otrzymywany przebieg charakterystyk przepływu i sprawności



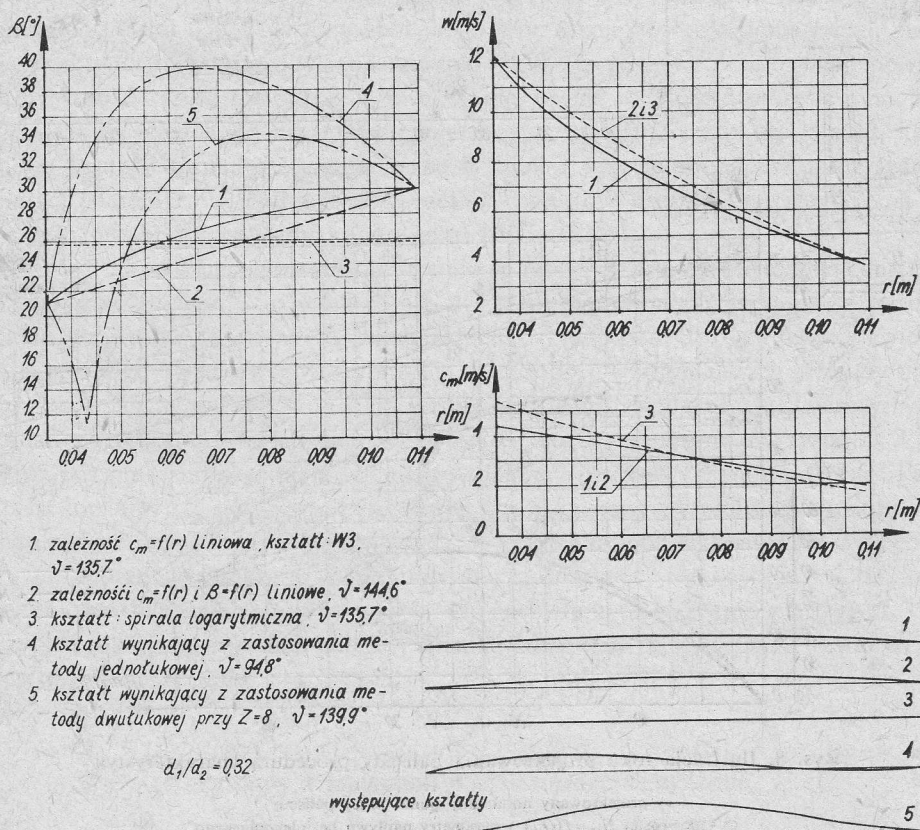
Rys. 6. Wykresy przyrostu ciśnienia statycznego wzdłuż ssawnej strony łopatek wirników W13 i W17 (rys. 4) w obszarze wlotowym przy różnych wartościach natężenia przepływu

Tabela 1

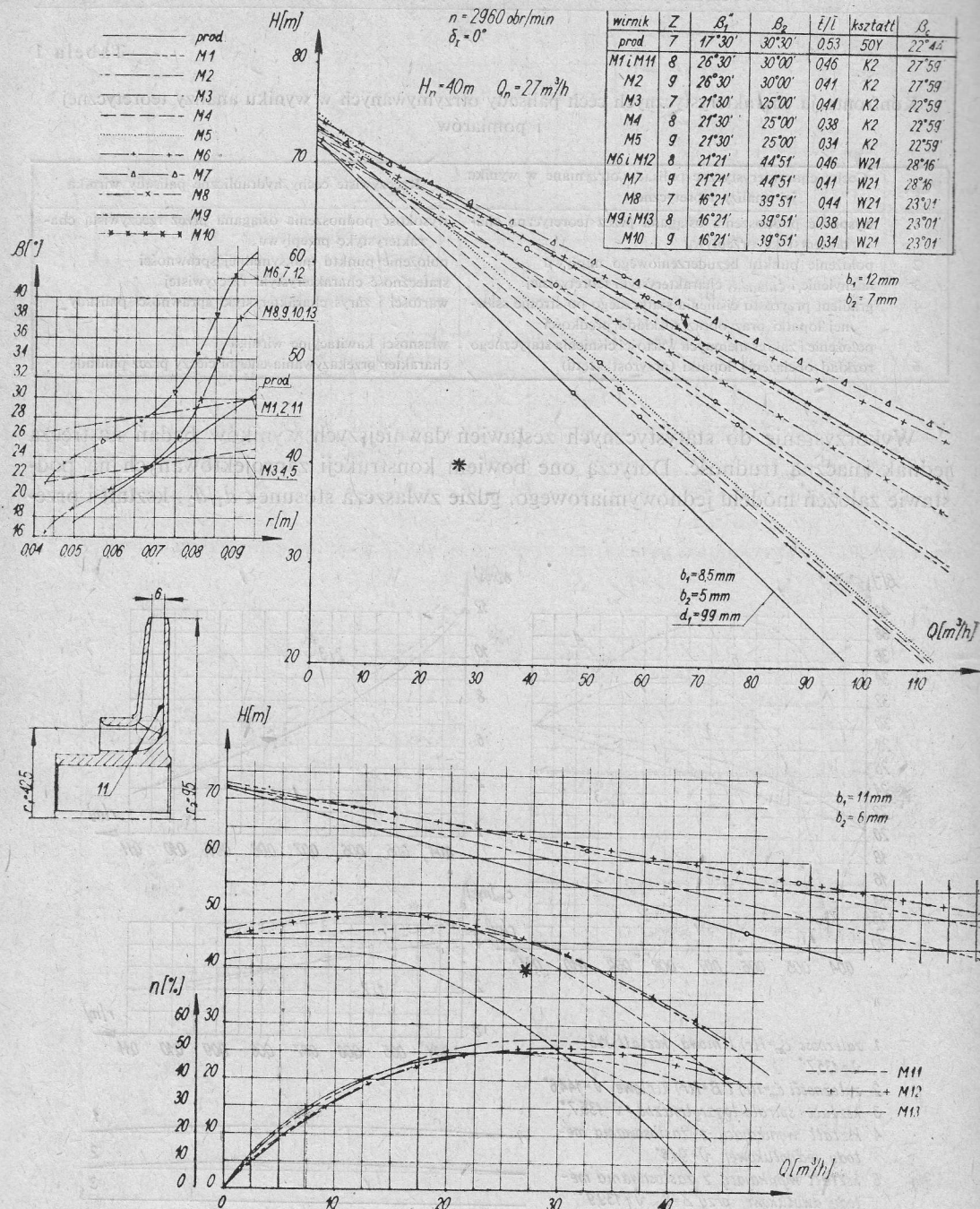
Konfrontacja charakterystycznych cech palisady otrzymywanych w wyniku analizy teoretycznej i pomiarów

Lp.	Cechy charakterystyczne palisady otrzymane w wyniku jej analizy teoretycznej	Rzeczywiste cechy hydrauliczne palisady wirnika
1	wysokość podnoszenia osiągnięta przez teoretyczną charakterystykę przepływu	wysokość podnoszenia osiągnięta przez rzeczywistą charakterystykę przepływu
2	położenie punktu bezuderzeniowego napływu	położenie punktu maksymalnej sprawności
3	nachylenie i $\xi_{th(max)}$ charakterystyki teoretycznej	stateczność charakterystyki rzeczywistej
4	gradient przyrostu ciśnienia statycznego po stronie ssawnej łopatki oraz obraz rozkładu prędkości	wartości i zarys charakterystyki sprawności palisady
5	położenie i zakres ujemnych wartości ciśnienia statycznego	własności kawitacyjne wirnika
6	rozkład obciążenia łopatki (przyrost krętu)	charakter przekazywania energii cieczy przez palisadę

Wykorzystanie do statystycznych zestawień dawniejszych wyników badań nastęrcza jednak znaczną trudność. Dotyczą one bowiem konstrukcji zaprojektowanych na podstawie założeń modelu jednowymiarowego, gdzie zwłaszcza stosunek d_1/d_2 , kształt i prze-



Rys. 7. Wynik zastosowania tradycyjnych metod kształtowania łopatki: punktowej, jednotukowej i dwutukowej



Rys. 8. Ilustracja toku projektowania palisady procedurą charakterystyk

* - projektowany nominalny punkt pracy palisady,

○ - na prostej $H_{th} = f(Q_{th})$ - parametry napływu bezuderzeniowego

lotowość palisady dobierano dość dowolnie. Skutki tego w odniesieniu do kształtu ilustruje rysunek 7. Konieczne jest aby w przyszłości wartości opisujące te wielkości były zuniifikowane przynajmniej w odniesieniu do wirników odśrodkowych.

We wszystkich zestawieniach kształt linii szkieletowej łopatki przyjęto przedstawiać po każdorazowym zredukowaniu cięciwy do długości jednostkowej.

5. Projektowanie palisady ze względu na zarys jej charakterystyki

Możliwość bardziej trafnego przewidywania własności palisady w toku projektowania sprzyja postulatowi aby kształtować ją mając na uwadze określony zarys charakterystyki, a nie jak dotychczas ze względu na jeden tylko (obliczeniowy, nominalny) punkt pracy. Realizacja syntezy palisady przez jej wielokrotną analizę została nazwana „procedurą charakterystyk”, a opiera się ona na następujących założeniach:

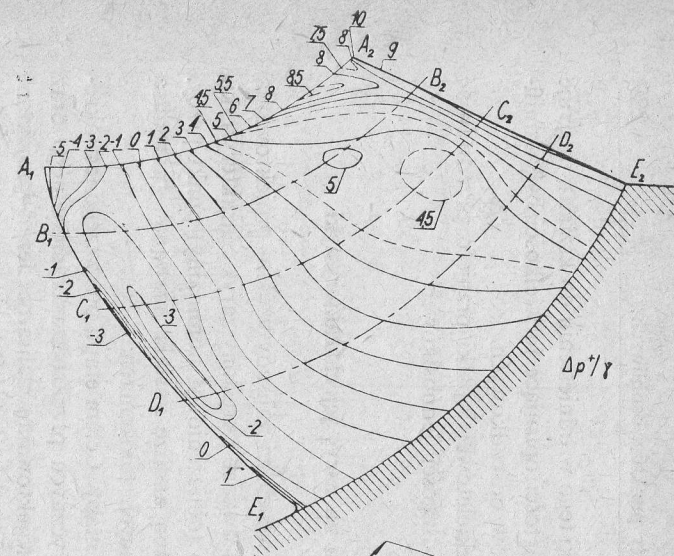
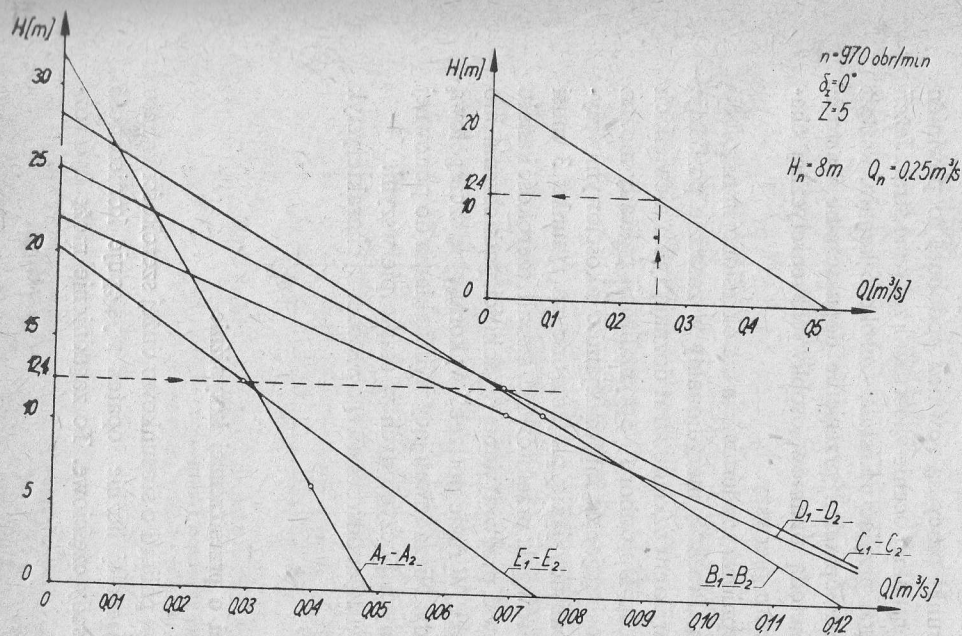
Tok projektowania wirnika dzieli się na dwa etapy. Celem etapu pierwszego jest określenie w sposób tradycyjny wymiarów geometrycznych przekroju merydionalnego oraz dobór parametrów pierwszego przybliżenia projektowanej palisady. Jeżeli projektant dysponuje wynikami badań wirnika zbliżonego typu (projektowanie typoszeregu, modernizacja konstrukcji), a przewidywane warunki pracy są również podobne, to powinien je wykorzystać. Może to mu pomóc w ewentualnej ocenie wielkości i zakresie strat. Jeżeli brak jest takich danych, to można wstępnie przyjąć np. stałą szerokość kanału, kształt – spiralę logarytmiczną, przeciętną liczbę łopatek i przeciętne dopuszczalne wartości pozostałych parametrów. Wyznaczenie metodą punktów osobliwych teoretycznej charakterystyki przepływu palisady kończy etap pierwszy.

W ramach etapu drugiego następuje stopniowa modernizacja tak określonej konstrukcji aż do otrzymania właściwego rozwiązania. Przekrój merydionalny w zasadzie pozostaje bez zmian. Przyjmuje się, że wartości i charakter rozkładu strat doznają tylko niewielkich zmian w stosunku do zerowego przybliżenia. Do doboru i optymalizacji palisady można wykorzystać atlas palisad [8]. Projektant posługując się informacjami o jakościowym wpływie zmian poszczególnych parametrów palisady jakie przytoczono na rysunku 3 musi rozważyć, czy przez korektę takich elementów jak: przelotowość, kształt, szerokość kanału czy liczba łopatek, nie udałoby się poprawić przewidywanej wysokości podnoszenia lub osiągnąć pożądanego zarysu charakterystyki. W razie potrzeby wykonuje się szczegółową analizę dla wybranego punktu pracy palisady. Niezadowolający wynik skłania do ponownej analizy założeń hydrauliczno-konstrukcyjnych poczynionych w etapie pierwszym.

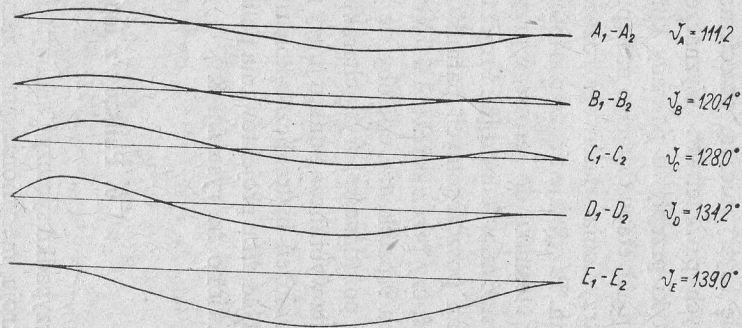
Przykład toku projektowania palisady wirnika odśrodkowego procedurą charakterystyk przedstawiono na rysunku 8.

6. Palisady z łopatkami o przestrzennej krzywiznie

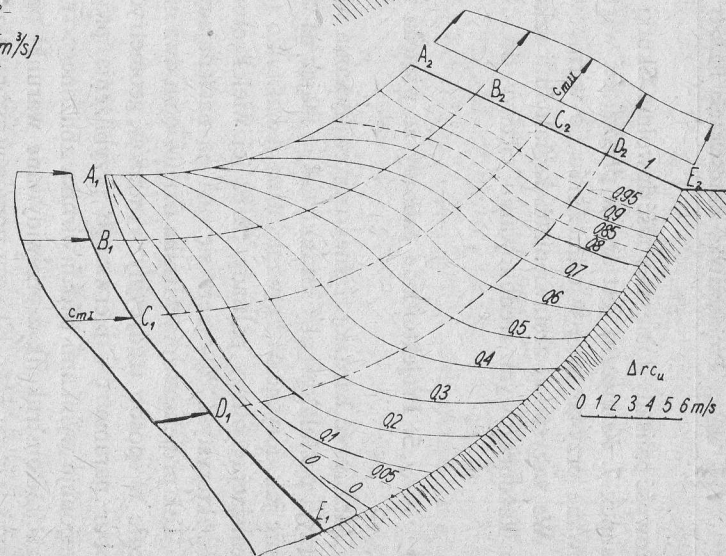
W przypadku syntezy i analizy tego typu palisad o stosunkowo dużej szerokości kanału w przekroju merydionalnym i zazwyczaj małej liczbie łopatek występuje konieczność dokonania racjonalnego podziału na palisady częściowe. To zagadnienie może być roz-



kształty



Uwaga Przednie zwiększono dwukrotnie



Rys. 9. Analiza palisady wirnika diagonalnego; pokazano obrazy przyrostu ciśnienia statycznego po stronie ssawnej łopatki i przyrostu krętu w wybranym punkcie pracy

wiązane na podstawie metod: różnic skończonych, elementów skończonych bądź krzywej linii prądu. Każda palisada częściowa reprezentuje pewien udział całkowitego natężenia przepływu.

Wymagane jest aby zapewnić zgodną współpracę poszczególnych palisad częściowych. Charakterystyki przepływu palisad częściowych* powinny przecinać się ze sobą w punkcie, którego rzędną będzie wartość H_{th} punktu pracy palisady. Całkowitą charakterystykę przepływu palisady znajduje się przez zsumowanie natężeń przepływu poszczególnych palisad częściowych. Wyniki analizy charakterystyk wewnętrznych w wybranym punkcie pracy wygodnie jest przedstawiać w przekroju merydionalnym. W szczególności dotyczy to obrazu przyrostu ciśnienia statycznego $\Delta p/\gamma$ po stronie ssawnej, obrazu względnego przyrostu krętu $\Delta r_{c,u}$ w palisadzie oraz rozkładów składowych prędkości merydionalnej przed i za palisadą (patrz rys. 9, a także [9]).

W toku projektowania palisady zasadniczym zadaniem jest połączenie poszczególnych palisad częściowych w jednolity wieniec łopatkowy. Ich synteza i optymalizacja opiera się na podobnych założeniach do tych co przedstawione wyżej. Ustalenie zarysu krawędzi wlotowej bądź wylotowej wykonuje się w sposób tradycyjny. Często występuje potrzeba udoskonalenia konstrukcji zaprojektowanych poprzednio na podstawie modelu jednowymiarowego. Dużą pomocą w toku projektowania jest odwzorowanie konforemne poszczególnych palisad częściowych naniesione na wspólny układ współrzędnych (x, y) i wzajemne porównanie występujących kształtów.

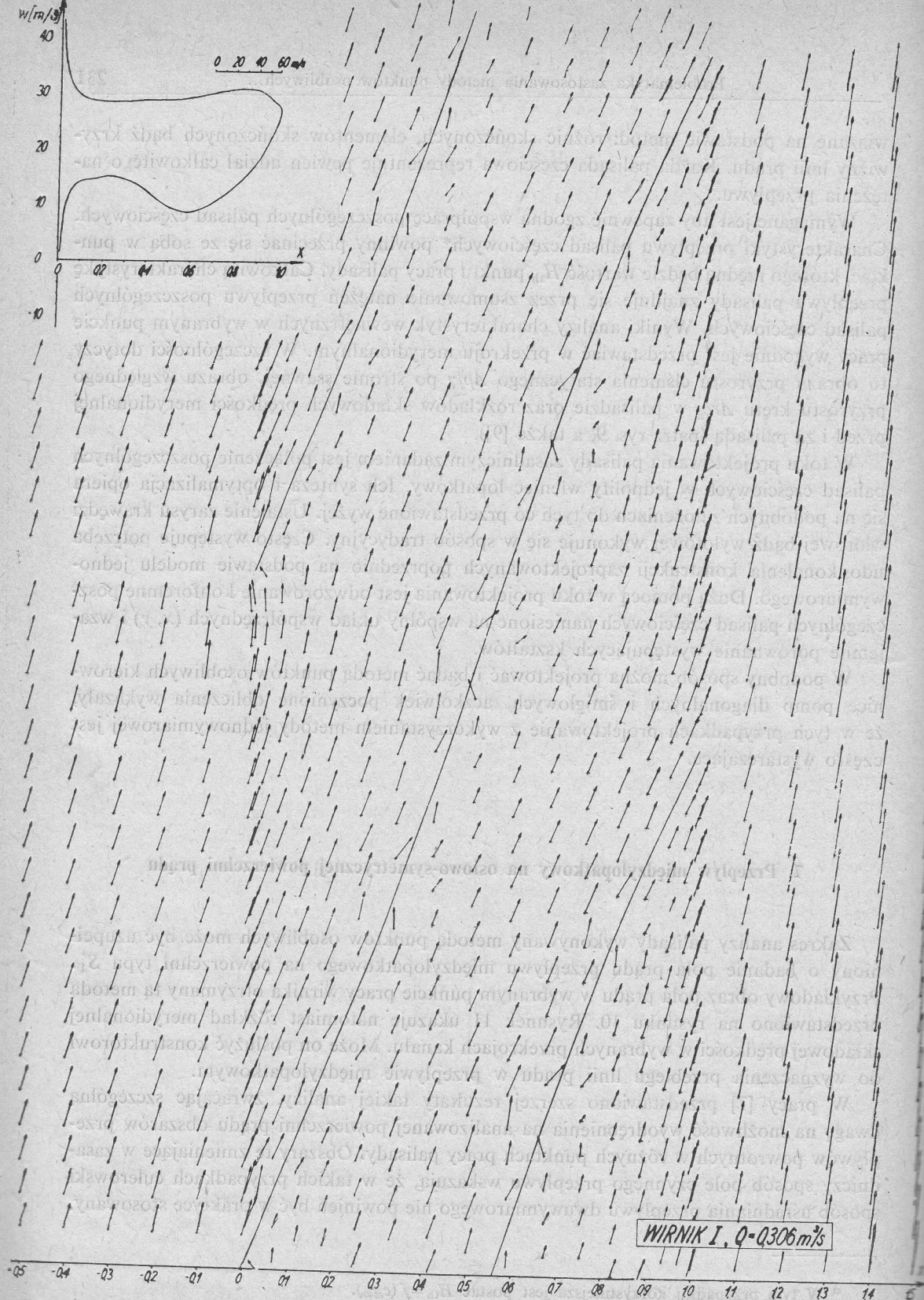
W podobny sposób można projektować i badać metodą punktów osobliwych kierownice pomp diagonalnych i śmigłowych, aczkolwiek poczynione obliczenia wykazały, że w tych przypadkach projektowanie z wykorzystaniem metody jednowymiarowej jest często wystarczające.

7. Przepływ międzyłopatkowy na osiowo-symetrycznej powierzchni prądu

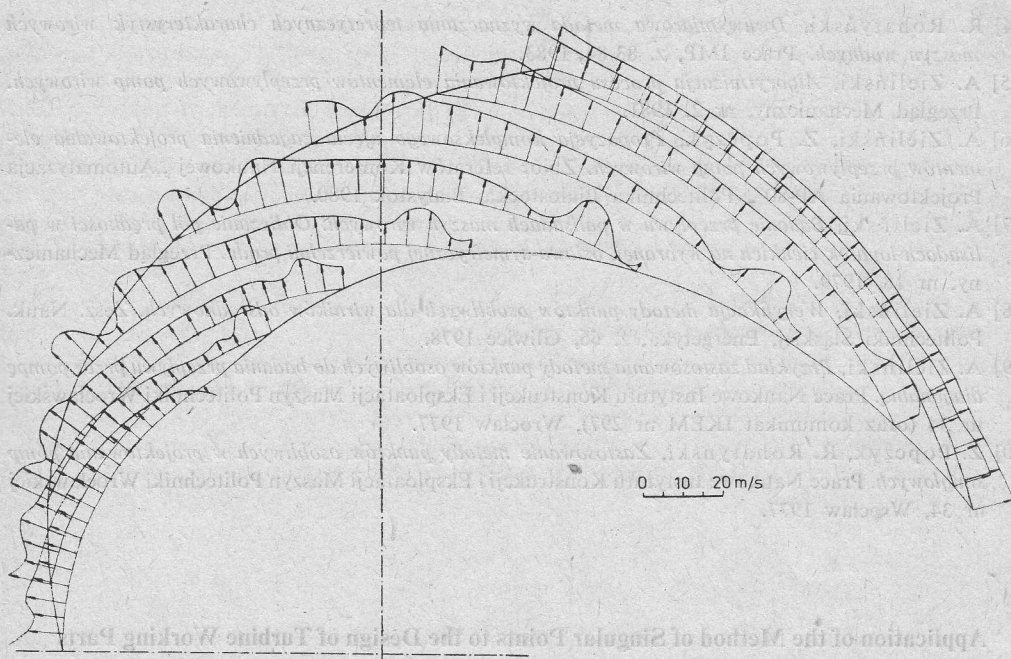
Zakres analizy palisady wykonywany metodą punktów osobliwych może być uzupełniony o badanie pola prądu przepływu międzyłopatkowego na powierzchni typu S'_1 . Przykładowy obraz pola prądu w wybranym punkcie pracy wirnika otrzymany tą metodą przedstawiono na rysunku 10. Rysunek 11 ukazuje natomiast rozkład merydionalnej składowej prędkości w wybranych przekrojach kanału. Może on posłużyć konstruktorowi do wyznaczenia przebiegu linii prądu w przepływie międzyłopatkowym.

W pracy [7] przedstawiono szerzej rezultaty takiej analizy, zwracając szczególną uwagę na możliwość wyodrębnienia na analizowanej powierzchni prądu obszarów przepływów powrotnych w różnych punktach pracy palisady. Obszary te zmieniające w zasadniczy sposób pole czynnego przepływu wskazują, że w takich przypadkach eulerowski sposób uśredniania przepływu dwuwymiarowego nie powinien być w praktyce stosowany.

* W tym przypadku korzystniejsza jest postać $H_{th} = f(c_{m\infty})$.



Rys. 10. Przykład pola prędkości względnej indukowanego przez palisadę wirnika w wybranym punkcie pracy



Rys. 11. Rozkład merydionalnej składowej prędkości w wybranych przekrojach kanału międzyłopatkowego wirnika ośrodkowego ($Q=0,306 \text{ m}^3/\text{s}$)

8. Uwagi końcowe

Przedstawione w niniejszym artykule zagadnienia szczegółowe, związane z możliwością wdrożenia do praktyki projektowej metody punktów osobliwych, wskazują na całkowitą realność takiego przedsięwzięcia. Świadczą o tym również cytowane przykłady odnoszące się do pomp wirowych. Znajomość rozkładu prędkości i ciśnienia dla dwuwymiarowego przepływu idealnego stanowi punkt odniesienia do obliczeń warstwy przyściennej z jednej strony, a wnioskowania o trójwymiarowym charakterze przepływu z drugiej. Tym niemniej już obecnie zastosowanie omawianej metody do projektowania innych typów maszyn wirowych (turbiny wodnych, śrub okrętowych i in.) jest całkowicie możliwe po odpowiedniej adaptacji algorytmów szczegółowych i ich oprogramowaniu na maszynie cyfrowej.

Literatura

- [1] R. Rohatyński, *Nowoczesne metody analizy przepływów przez wirniki pomp*. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej nr 23, Wrocław 1973.
- [2] R. Rohatyński, *Application of the Martensen method for the analysis of thick airfoils in cascade*. Proc. of the Fifth Conference on Fluid Machinery. Akadémiai Kiadó, Budapest 1975.
- [3] R. Rohatyński, *Podstawowe równania międzyłopatkowego przepływu cieczy doskonałej w wirnikach diagonalnych i ośrodkowych*. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Energetyka, z. 66, Gliwice 1978.

- [4] R. Rohatyński, *Dwuwymiarowa metoda wyznaczania teoretycznych charakterystyk wirowych maszyn wodnych*. Prace IMP, z. 83-84, 1983.
- [5] A. Zieliński, *Algorytmizacja procesu projektowania elementów przepływowych pomp wirowych*. Przegląd Mechaniczny, nr 2, 1981.
- [6] A. Zieliński, Z. Popczyk, *Propozycja kompleksowego ujęcia zagadnienia projektowania elementów przepływowych pomp wirowych*. Zbiór referatów Konferencji Naukowej „Automatyzacja Projektowania AP-80”, Politechnika Białostocka, Białystok 1980.
- [7] A. Zieliński, *Badanie przepływu w palisadach maszyn wirowych. Obliczanie pól prędkości w palisadach łopatek cienkich na wybranej, osiowo-symetrycznej powierzchni prądu*. Przegląd Mechaniczny, nr 18, 1979.
- [8] A. Zieliński, *Weryfikacja metody punktów osobliwych dla wirników odśrodkowych*. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Energetyka, z. 66, Gliwice 1978.
- [9] A. Zieliński, *Przykład zastosowania metody punktów osobliwych do badania przepływu przez pompę diagonalną*. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej nr 34 (oraz komunikat IKEM nr 297), Wrocław 1977.
- [10] Z. Popczyk, R. Rohatyński, *Zastosowanie metody punktów osobliwych w projektowaniu pomp śmigłowych*. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej nr 34, Wrocław 1977.

Application of the Method of Singular Points to the Design of Turbine Working Parts

Summary

Recently numerous attempts were made to substitute the unidimensional theory of rotodynamic machines with a better mathematical model.

Two-dimensional methods give undoubtedly some improvement. The Polish version of the two-dimensional method of singular points was developed at the Technical University of Wrocław in seventies. The method has been used for designing and investigating cascades of blades in impeller pumps. Theoretical studies and computer investigations of mathematical models are continued, but the results obtained up to now may be used in designing.

The work done by the author in this domain is presented. The possibility of application of the method for a synthesis and analysis of centrifugal and diagonal blading is presented. Numerical examples are given. Advantages resulting from popularization of the method are discussed and conditions which should be fulfilled to achieve this goal are specified. Trends of further development of the method are discussed.

Проблематика применения метода особых точек в проектировании проточных элементов роторных машин

Резюме

В последнее время замечаются в мире многочисленные попытки замены одномерной теории роторных машин более совершенной математической моделью.

Несомненным шагом вперед являются двухразмерные методы. В Институте конструкции и эксплуатации машин Wrocławского политехнического института в семьдесятых годах разработан и опрограммирован польский вариант двухразмерного метода особых точек, предназначенный актуально для проектирования и исследования решеток профилей роторных насосов. Не смотря

на то, что сейчас ведутся дальнейшие теоретические работы и численные исследования разработанных математических моделей, уже теперь существует возможность включения достижений в текущую практику проектирования.

В статье дан итог опыта автора в этой области. В нем представлены, актуальные возможности применения обработанного метода для синтеза и анализа центробежных и диагональных решеток профилей. Дан ряд расчетных примеров. Перечислены ожидаемые пользы, вытекающие из широкого распространения метода, а также необходимые условия, которых соблюдение необходимо в процессе внедрения метода. В заключении указывается на дальнейшие направления развития обсуждаемого метода.