

Andrzej SZAFRANIEC

**BADANIA PŁASKICH PALISAD ŁOPATKOWYCH WENTYLATORÓW PROMIENIOWYCH
METODĄ ANALOGII ELEKTRYCZNEJ**

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono w zwięzły sposób podstawy teoretyczne modelowania palisad promieniowych w ośrodkach elektrolitycznych z wykorzystaniem zasady superpozycji przepływów. Na załączonych rysunkach umieszczono schematy kilku podstawowych modeli, oraz na dalszych, wyniki pomiarów i superpozycji w postaci rozkładu linii prądu. Przeprowadzono również krytyczną analizę otrzymanych wyników oraz metody pomiarów.

Oznaczenia

- Q - wydajność źródła,
- U - potencjał elektryczny,
- V - funkcja prądu,
- θ - kąt bieżący,
- p - ciśnienie,
- r - promień,
- w - prędkość względna,
- u - prędkość unoszenia,
- ρ - gęstość,
- ω - prędkość kątowa.

Indeksy

- n - normalny,
- i - indykowany,
- o - niezakłócony,
- D - wyporowy,
- Q - źródłowy,
- Γ - cyrkulacyjny,
- max - maksymalny,
- min - minimalny,
- prof - na profilu.

1. Wstęp

Analityczne rozwiązanie przepływu płynu rzeczywistego przez wirnik maszyny promieniowej jest obecnie bardzo trudne, czy wręcz niemożliwe, do uzyskania. W praktyce stosuje się więc najrozmaitsze uproszczone modele

przepływu, pozwalające na otrzymanie rozwiązania mniej lub bardziej zbliżonego do rzeczywistego, w zależności od stopnia uproszczenia.

Zazwyczaj jako pierwsze przybliżenie przyjmuje się model płynu doskonałego, tj. nielepkiego o stałej gęstości. Funkcja prądu dla opływu palisady promieniowej takim płynem spełnia równanie Poissona

$$\Delta \Psi = -2\omega. \quad (1)$$

Równanie to można oczywiście rozwiązać przy użyciu maszyn cyfrowych, zakładając odpowiednie warunki brzegowe. Funkcję prądu Ψ można otrzymać również prościej metodą analogii elektrycznej. Metoda ta wynika z podobieństwa równań opisujących potencjał elektryczny i funkcję prądu w przepływie potencjalnym, a mianowicie oba równania są równaniami Laplace'a.

$$\Delta U = 0 \quad \text{i} \quad \Delta \Psi = 0.$$

W geometrycznie podobnych obszarach liniom (powierzchniom) prądu będą odpowiadać linie (powierzchnie) ekwipotencjalne. Jak wynika z (1) przepływ przez wirnik promieniowy nie jest przepływem potencjalnym. Nie wystarczy więc zamodelować brzegi obszaru w jakimś ośrodku przewodzącym (papier przewodzący, elektrolit). Stanowi to pewną trudność w wykorzystywaniu metody analogii.

2. Metoda superpozycji przepływów

Względny przepływ przez wirnik można podzielić na przepływy składowe

$$\Psi = \Psi_Q + \Psi_D + \Psi_r, \quad (2)$$

gdzie:

- Ψ_Q - przepływ źródłowy (rys. 1, rys. 4),
- Ψ_D - przepływ wyporowy (efekt obrotu wirnika rys. 2),
- Ψ_r - przepływ cyrkulacyjny (wokół łopatek rys. 3).

We wszystkich tych przepływach profil łopatki jest linią prądu. Przepływy Ψ_Q i Ψ_r są potencjalne.

Można jeszcze przepływ źródłowy przedstawić jako sumę przepływu niezakłóconego (klasyczne źródło) oraz indykowanego obecnością łopatek (zakłócenie)

$$\Psi_Q = \Psi_{Q0} + \Psi_{Q1},$$

gdzie:

$$\Psi_{Q0} = \frac{Q}{2\pi} \cdot \theta,$$

gdzie:

Q - wydajność źródła,

θ - kąt bieżący.

Przepływ wyporowy Ψ_D rozłożyć można również na sumę

$$\Psi_D = \Psi_{D0} + \Psi_{iD},$$

gdzie:

$\Psi_{D0} = \frac{\omega}{2} r^2$ - człon niepotencjalny funkcji Ψ ,

Ψ_{Di} - przepływ indykowany obecnością łopatek (potencjalny).

Oczywiście w funkcjach Ψ_{Q0} , Ψ_{Qi} , Ψ_{D0} , Ψ_{Di} profil nie jest już linią prądu.

Superponowany przepływ Ψ można przedstawić jako

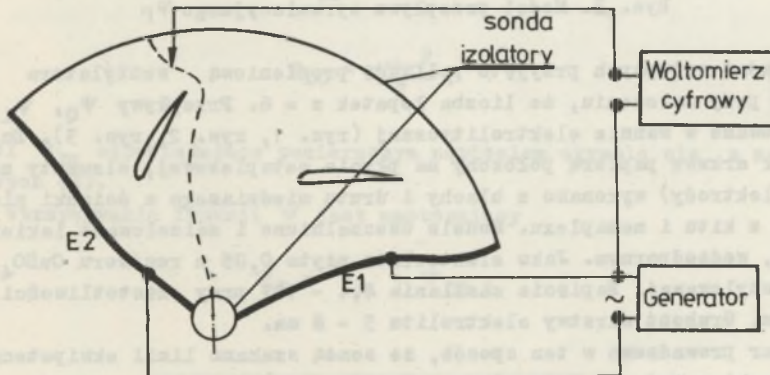
$$\Psi = \Psi_i + \Psi_0 + \Psi_r, \quad (3)$$

gdzie:

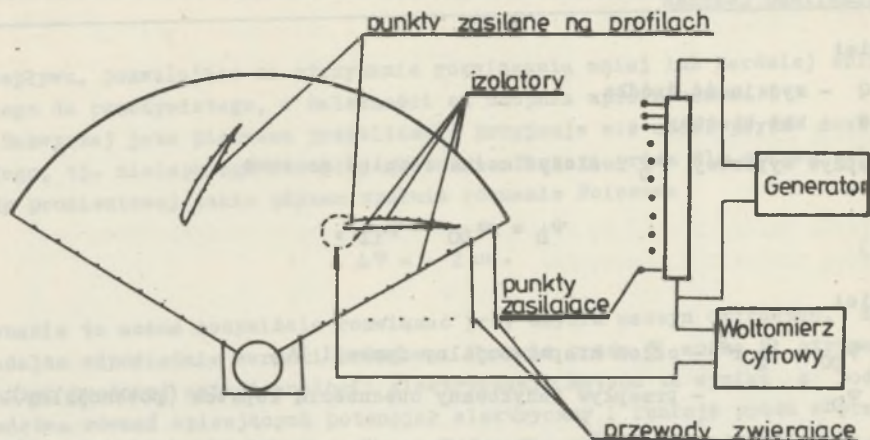
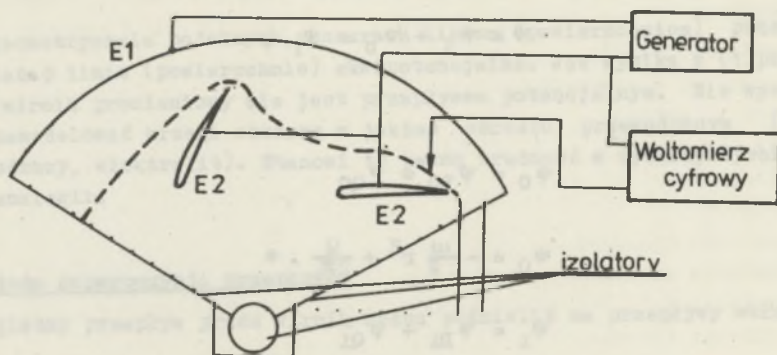
$$\Psi_0 = \Psi_{D0} + \Psi_{Q0}$$

$$\Psi_0 = -\frac{\omega}{2} r^2 + \frac{Q}{2\pi} \cdot \theta$$

$$\Psi_i = \Psi_{Di} + \Psi_{Qi}$$



Rys. 1. Model przepływu źródłowego Ψ_Q

Rys. 2. Model przepływu Ψ_{DI} Rys. 3. Model przepływu cyrkulacyjnego Ψ_{Γ}

Do badań wstępnych przyjęto palisadę promieniową wentylatora WPWDe 190/1,4 przy założeniu, że liczba łopatek $z = 6$. Przepływy Ψ_Q , Ψ_{DI} , Ψ_{Γ} zamodelowane w wannie elektrolitycznej (rys. 1, rys. 2, rys. 3). Dnem modelu był arkusz papieru położony na płycie metaplexowej, elementy zasilające (elektrody) wykonano z blachy i drutu miedzianego a ścianki nieprzewodzące z kitu i metaplexu. Modele uszczelniono i zaizolowano lakierem bezbarwnym, wodoodpornym. Jako elektrolitu użyto 0,05 n roztworu CuSO_4 w wodzie destylowanej. Napięcie zasilania 4,4 - 10V przy częstotliwości $f = \approx 800 \text{ Hz}$. Grubość warstwy elektrolitu 5 - 8 mm.

Pomiar prowadzono w ten sposób, że sondą szukano linii ekwipotencjalnych. Punkt o żądanej potencjale rejestrowano przez naciśnięcie sondą dna modelu. Pod papierowym dnem znajdowała się warstwa kalki, która rejestrowała punkt.

Modelowanie przepływów Ψ_Q oraz Ψ_r jest stosunkowo proste. W obu przypadkach brzeg profilu może być wykonany z blachy miedzianej. Model przepływu Ψ_{Di} wymaga już specjalnego przygotowania, ponieważ jak wspomniano wyżej, profil w tym przepływie nie jest już linią prądu.

Funkcja Ψ_D na profilu ma wartość stałą np. 0

$$(\Psi_D)_{\text{prof}} = 0,$$

$$\Psi_D = \Psi_{Di} - \frac{\omega}{2} r^2,$$

czyli, że

$$(\Psi_{Di})_{\text{prof}} = \frac{\omega}{2} r^2. \quad (4)$$

Wartość Ψ_{Di} zmienia się wzdłuż profilu czyli, że wielkość napięcia zasilającego profil na modelu również musi się odpowiednio zmieniać.

Jeżeli przyjmie się, że dla $r = r_{\min}$ wartość $U = 0$ a dla $r = r_{\max}$ $U = U_{\max}$, to wówczas

$$U(r) = \frac{r^2 - r_{\min}^2}{r_{\max}^2 - r_{\min}^2} \cdot U_{\max}. \quad (5)$$

Praktycznie zasilanie modelu odbywa się w sposób dyskretny (czyli więcej elektrod na profilu tym model dokładniejszy). Potrzebne wartości napięć $U(r)$ pobiera się z dzielnika napięcia. Aby otrzymać wartość $\Psi_D(r, \theta)$ należy do znalezionej wartości $\Psi_{Di}(r, \theta)$ dodać

$$\Psi_{D0} = \frac{-\omega r^2}{2}.$$

Wartości Ψ_{Di} odpowiadające pomierzonym napięciom określa się z warunków brzegowych (4).

Tok otrzymywania funkcji Ψ jest następujący

$$\Psi_D = \Psi_{Di} + \Psi_{D0},$$

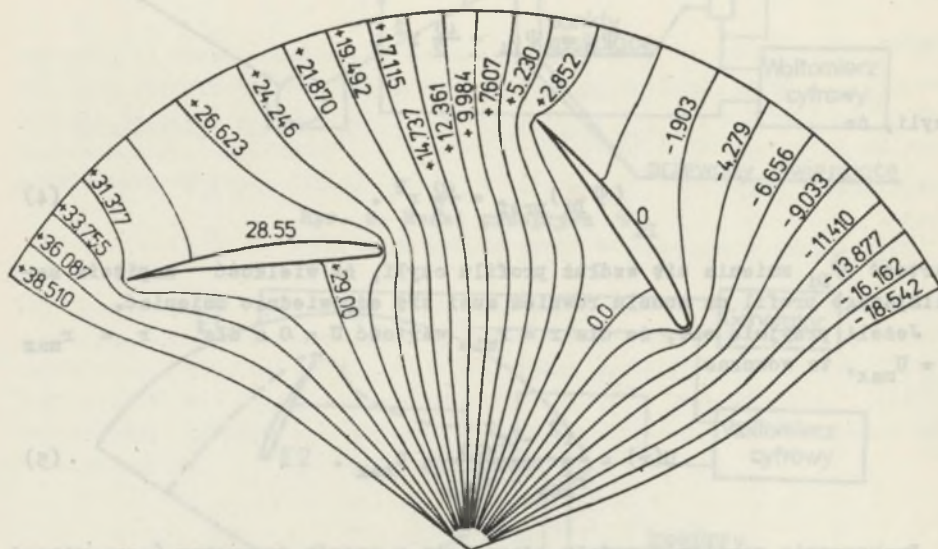
dalej

$$\Psi_{QD} = \Psi_D + \Psi_Q,$$

oraz

$$\psi = \psi_{QD} + k \cdot \psi_{\Gamma} .$$

Stałą k dobiera się tak, aby spełnić warunek Żukowskiego o spływie w ostrzu.



Rys. 4. Przepływ źródłowy ψ_Q

Przebieg superpozycji został przedstawiony na rys. 4 ÷ 7. Jednym z celów badania palisady jest uzyskanie rozkładu ciśnienia w kanale międzyłopatkowym lub wirniku.

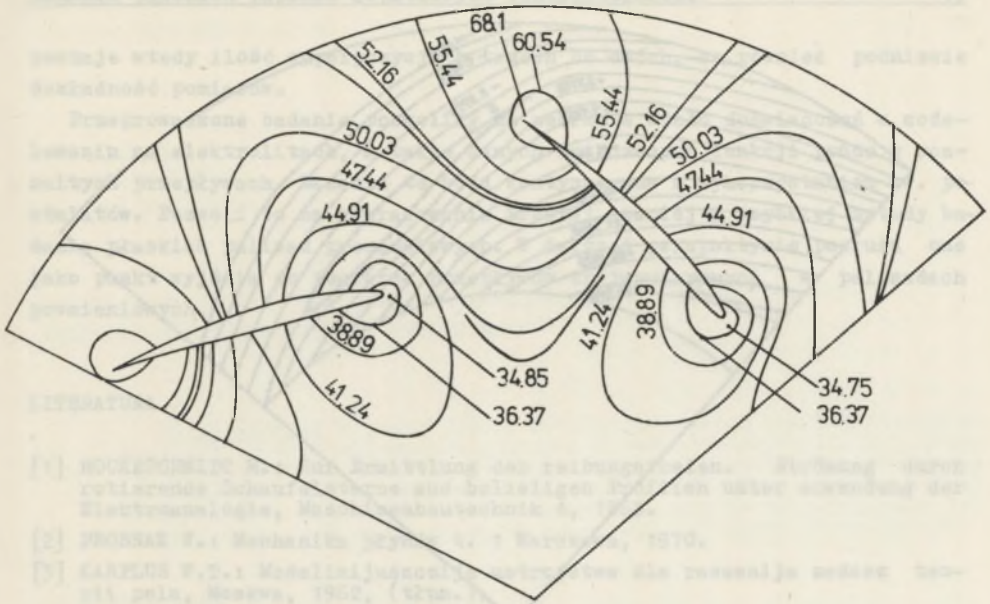
Jak wiadomo

$$\frac{p}{\rho} + \frac{w^2}{2} - \frac{u^2}{2} = \text{const} ,$$

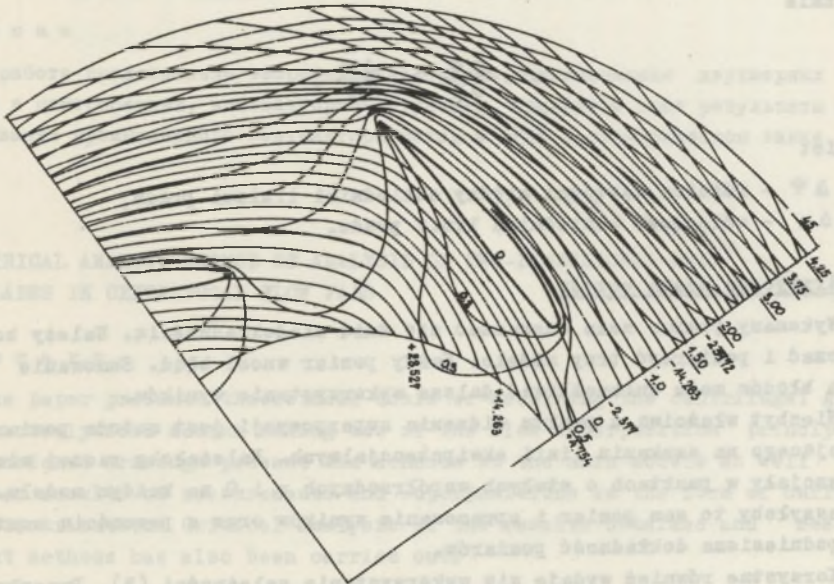
gdzie:

$$u = \omega \cdot r ,$$

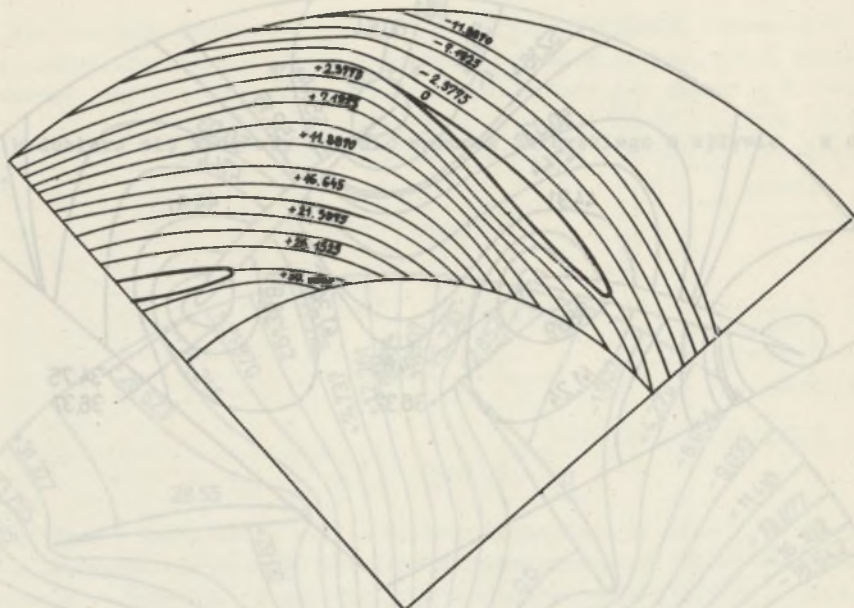
w - prędkość względna.



Rys. 5. Przepływ Ψ_{DI}



Rys. 6. Przepływy Ψ_{QD} i Ψ_{Γ}



Rys. 7. Przepływ względny Ψ

Otóż na przykładzie rozkładu linii prądu można określić prędkość w . Teoretycznie

$$w = \frac{\partial \Psi}{\partial n} \approx \frac{\Delta \Psi}{\Delta n},$$

gdzie:

- $\Delta \Psi$ - różnica wartości między sąsiednimi liniami prądu,
- Δn - odległość sąsiednich linii prądu.

3. Krytyczna ocena metody

Wykonany pomiar może odznaczać się dużą niedokładnością. Należy bowiem wykonać i pomierzyć trzy modele. Każdy pomiar wnosi błąd. Sumowanie się tych błędów może uniemożliwić dalsze wykorzystanie wyników.

Niezbędna z punktu widzenia superpozycji jest metoda pomiaru polegającego na szukaniu linii ekwipotencjalnych. Należałoby raczej mierzyć potencjały w punktach o stałych współrzędnych r i Q na każdym modelu. Przyspieszyłoby to sam pomiar i opracowanie wyników oraz z pewnością zostałaby podniesiona dokładność pomiarów.

Korzystne również wydaje się wykorzystanie zależności (3). Przepływ Ψ_0 otrzymuje się analitycznie. Z niego otrzymuje się warunki brzegowe dla modelowanego przepływu Ψ_1 . Przepływ Ψ_1 pozostaje bez zmian. Ograniczona

zostaje wtedy ilość superpozycji z trzech do dwóch, co również podniesie dokładność pomiarów.

Przeprowadzone badania pozwoliły na zebranie wielu doświadczeń w modelowaniu na elektrolitach, a także danych dotyczących funkcji prądu w rozmaitych przepływach. Badania te będą kontynuowane z wykorzystaniem ww. postulatów. Pozwoli to na wypracowanie prostej, taniej i szybkiej metody badania płaskich palisad promieniowych. W dalszej perspektywie posłużą one jako punkt wyjścia do pomiarów przepływów trójwymiarowych w palisadach promieniowych.

LITERATURA

- [1] HOCKESCHMIDT M.: Zur Ermittlung der reibungsfreien. Strömung durch rotierende Schaufelsterne aus beliebigen Profilen unter erwendung der Elektroanalogie, Maschinenbautechnik 4, 1963.
- [2] PROSNAK W.: Mechanika płynów t. 1 Warszawa, 1970.
- [3] KARPLUS W.T.: Modelinijuszczije ustrojstwa dla reszenija zadacz teorii pola, Moskwa, 1962, (tłum.).

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОСКИХ РЕШЕТОК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ МЕТОДОМ ЕГДА

Р е з ю м е

В работе представлено теоретические основы моделирования двухмерных течений в центробежных, вентиляторных ступенях. Приведено тоже результаты исследования промышленного вентилятора методом ЕГДА в электрическом танке.

ELECTRICAL ANALOGY METHOD OF ANALYSIS OF TWO-DIMENSIONAL GRID OF BLADES IN CENTRIFUGAL FLOW FANS

S u m m a r y

The paper presents theoretical basis of modelling the centrifugal grid in electrolytical medium making use of the flow superposition principle. The enclosed drawings present the schemes of the main models as well as further results of measurements and superpositions in the form of current line distribution. Critical analysis of the results obtained and measurement methods has also been carried out.