

## Badania modelowe w tunelu aerodynamicznym wirników wiatrowych typu Magnusa o poziomej osi obrotu

Piotr Matys, Andrzej Flaga

Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej,  
Politechnika Krakowska, e-mail: liwpk@windlab.pl

**Streszczenie:** Praca przedstawia wyniki badań eksperymentalnych w tunelu aerodynamicznym wirników typu Magnusa o poziomej osi obrotu. Najpierw przeprowadzono pomiary aerodynamicznej siły bocznej (nośnej) oraz oporu aerodynamicznego na wirującym walcu dołączonym do wagi aerodynamicznej. Następnie wykonano badania wirnika jednołopatego z przeciwwagą.

**Słowa kluczowe:** efekt Magnusa, siłownie wiatrowe, wirniki wiatrowe, wirujący cylinder

### 1. Wprowadzenie

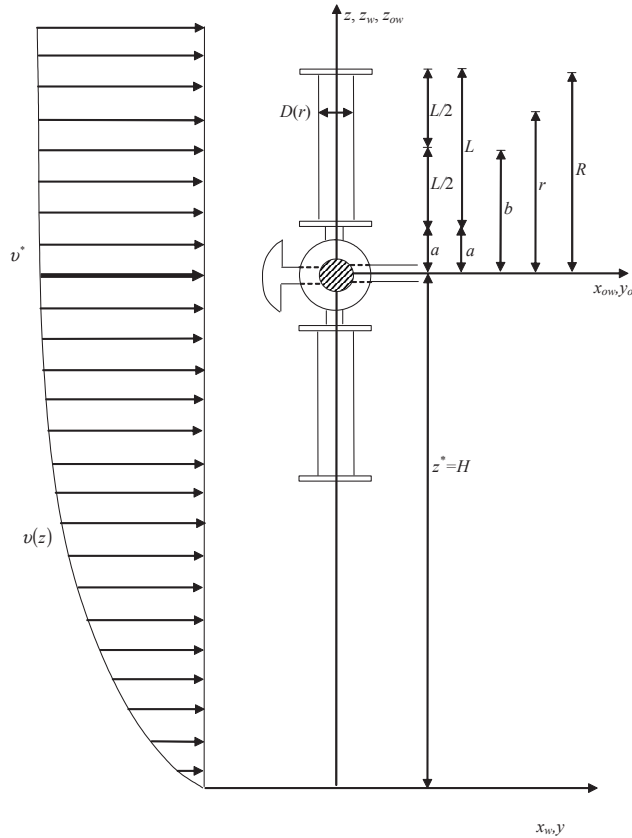
Wirniki wykorzystujące efekt Magnusa jest to nowa generacja wirników wiatrowych, które w zakresie głównie małych i średnich prędkości wiatru są znacznie bardziej efektywne od klasycznych wirników wiatrowych o łopatach w kształcie zbliżonym do profili stosowanych w lotnictwie. W tych ostatnich mechanizm powstawania siły bocznej na każdej z łopat jest zbliżony do mechanizmu generowania siły nośnej na śmigle (skrzydle) samolotu. Natomiast w wirnikach typu Magnusa głównym parametrem sterującym efektywnością turbiny wiatrowej jest prędkość obrotowa wałców (łopat) obracających się wokół własnych osi. W przypadku zaś klasycznych wirników śmigłowych o osi poziomej głównym elementem sterującym efektywnością pracy każdej z łopat jest kąt ustawienia łopaty względem napływającego powietrza (kąt natarcia wiatru).

Podstawowe charakterystyki aerodynamiczne i mechaniczne wirnika wykorzystującego efekt Magnusa wyprowadzono na podstawie analizy wymiarowej i teorii podobieństwa zjawisk aerodynamicznych i mechanicznych zachodzących w tego typu wirnikach [1].

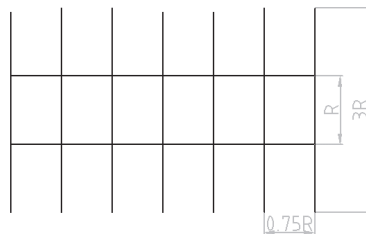
Schematyczny rysunek wirnika typu Magnusa wraz z odpowiednimi układami współrzędnych i pionowym profilem średniej prędkości wiatru  $U(z)$ , przedstawiono na rys. 1.

Dużym postępowaniem w omawianej problematyce były dokonania szkockiego inżyniera Alexandra Thoma [2]. Zamiast stosować dyski tylko na końcach wirujących wałców zastosował on kształt pokazany na rys. 2.

Zależność współczynników aerodynamicznych siły bocznej  $C_L$  i oporu aerodynamicznego  $C_D$  od bezwymiarowego współczynnika prędkości obrotowej walca  $\alpha = \omega R/V$ , gdzie:  $\omega$  – prędkość kątowa wirowania walca;  $R$  – promień walca;  $V$  – prędkość napływającego powietrza – przedstawiają rys.3 i 4.

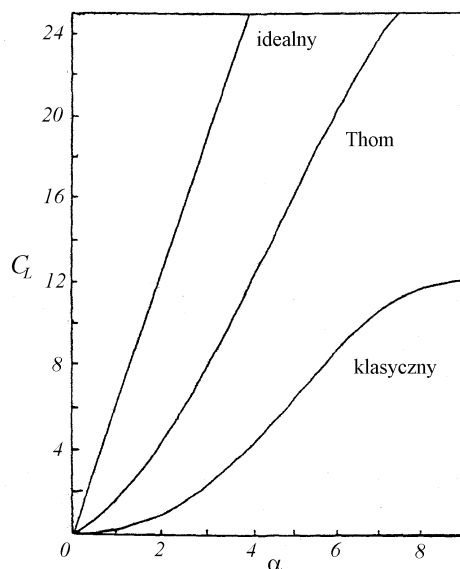


Rys. 1. Widok z boku wimika typu Magnusa czterolopatowego z dyskami brzegowymi na obracających się łopatkach



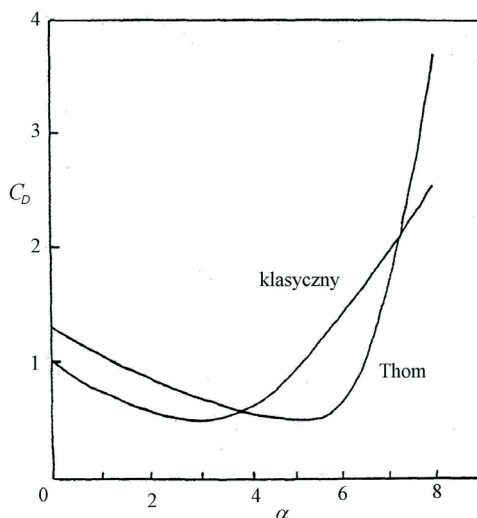
Rys. 2. Zespół dysków brzegowych i pośrednich pomysłu Toma [2]

Z rys. 3 wynika, że zastosowanie dysków na całym walcu zmienia kształt wykresu, przybliżając go do krzywej wyidealizowanej. Opisany kształt ma lepsze właściwości, gdyż przepływające powietrze przylepia się nie tylko do powierzchni walca, ale także do ścianek dysków. Tym samym zwiększa się różnica objętości kontaktującego się z łopatką powietrza pod i nad nią, powodując tym samym zwiększenie różnicy ciśnień po obu stronach łopaty i wzrost siły nośnej. Natomiast współczynnik oporu aerodynamicznego  $C_D$  niewiele się zmienia co pokazują rys. 4.



Rys. 3. Porównanie wykresów współczynnika aerodynamicznego siły nośnej  $C_L$  w funkcji  $\alpha$ , gdzie: idealny - krzywa uzyskana stosując teorię Kuty-Żukowskiego; Thom - krzywa uzyskana dzięki eksperymentom na walcu pomysłu Thoma; klasyczny - krzywa uzyskana dzięki eksperymentom na walcu zaopatrzonym tylko w dyski na końcach [2]

Wynika z niego, że dla typowego kształtu z dyskami na końcach najmniejszy opór aerodynamiczny występuje wcześniej dla  $\alpha$  równego 2 do 3, a dla walca Thoma dla  $\alpha$  równego 5 do 6.



Rys. 4. Porównanie wykresów współczynnika oporu aerodynamicznego  $C_D$  w funkcji  $\alpha$ , wszelkie parametry należy przyjąć jak dla rys. 3 [2]

Dyski pośrednie łącznie z brzegowymi znacznie bardziej efektywnie ograniczają wyrównywanie się ciśnień na końcach walca. Sugeruje to, że taki kształt będzie względnie mało wrażliwy na zmiany wydłużenia łopaty.

Podczas gdy opór aerodynamiczny zaczyna rosnąć dla walców z samymi dyskami brzegowymi przy  $C_L = 2$  rotor Thoma osiąga  $C_L > 16$  zanim jego  $C_D$  zaczyna rosnąć.

## 2. Opis przeprowadzonych badań w tunelu aerodynamicznym

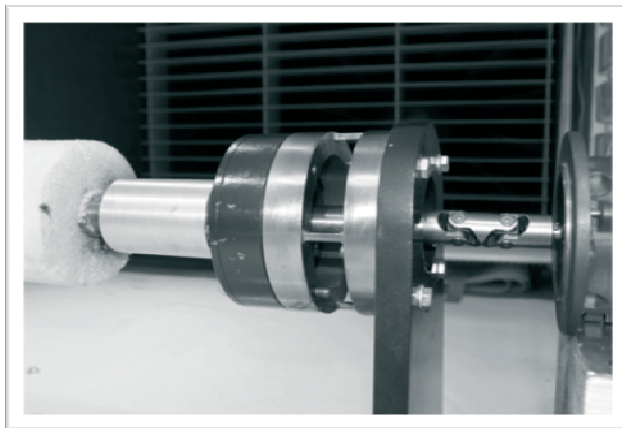
### 2.1. Badania na wirującym walcu

W 2007 r. w Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej przeprowadzono badania eksperymentalne efektu Magnusa na walcu obracającym się wokół własnej osi (rys. 5 do 7). Badania te pozwoliły określić efekt Magnusa zarówno ilościowo, jak i jakościowo w przepływie turbulentnym dla walca pozbawionego dysków. Zakres doświadczenia obejmował eksperymentalne określenie współczynnika siły nośnej wirującego walca w funkcji  $\alpha$ , tj. stosunku prędkości liniowej powierzchni walca do prędkości strumienia powietrza przed walcem. Pomiar sił oddziałujących na model wykonano na trójściłkowej wadze aerodynamicznej.

Wyniki przeprowadzonego doświadczenia pokazują zgodność trendu wykresu  $C_L=f(\alpha)$  z rezultatami uzyskanymi w innych tunelach aerodynamicznych, gdzie przeprowadzono badania dla modeli o różnicowanej geometrii i w odmiennych warunkach pomiarowych.

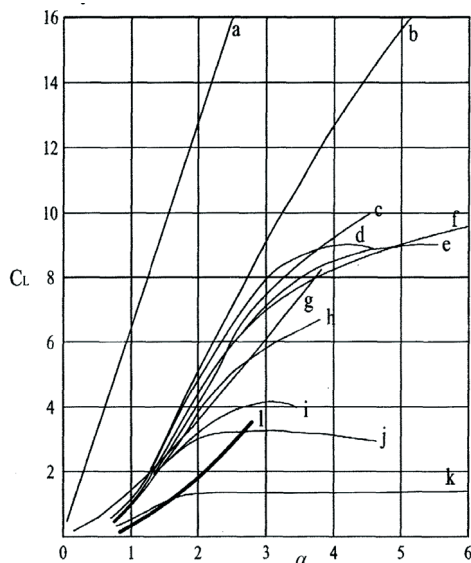


Rys. 5. Model wirującego walca na stanowisku pomiarowym w tunelu aerodynamicznym [4]



Rys. 6. Rozwiązanie połączenia napędu z wałem rotora oraz wagą trójściłkową [4]

Rezultat przeprowadzonego doświadczenia, w porównaniu z innymi wynikami badań zgromadzonymi przez Swansona [3], przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Wykres współczynnika  $C_L$  dla różnych parametrów eksperymentu oraz krzywa „l” – rezultat przeprowadzonego doświadczenia własnego dla  $\alpha$  z zakresu  $\sim (1\div 3)$  [3]

## 2.2. Badania na wirniku jednołopatowym z przeciwwagą

W Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej zbudowano model wirnika wiatrowego o średnicy 1.1m (rys. 8) i przeprowadzono na nim badania modelowe [1]. Wirnik ten jest jednołopatowy z przeciwwagą i pozwala na eksperymenty z różnymi kształtami łopaty.

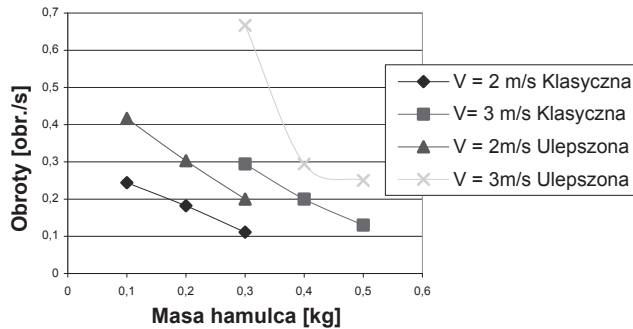


Rys. 8. Model wirnika jednołopatowego typu Magnusa z przeciwwagą w tunelu aerodynamicznym LIWPK[1]

Prowadzono eksperymenty z wieloma kształtami łopaty wykonanych z włókna szklanego.

Wyniki badań przedstawione na rys. 9 dotyczą dwóch wirników typu Magnusa: klasycznego, tj. wirnika jednołopatowego o średnicy 1.1m z dwoma dyskami ograniczającymi na końcach walca i ulepszony, tj. wirnika jednołopatowego o średnicy 1.1m z dużą liczbą dysków rozłożonych wzdłuż całej łopaty. Porównanie obu tych wirników przeprowadzono przy prędkości wiatru równej 2 do 3 m/s, oraz przy ustalonych

na stałym poziomie obrotach silnika napędzającego ruch obrotowy łopat względem jej własnej osi.



Rys. 9. Przykładowe wyniki badań w tunelu aerodynamicznym LIW PK wirnika jednołopatowego typu Magnusa - zmierzone obroty wirnika przy danym obciążeniu hamulca tarcowego [1]

### 3. Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Sprawdzono częściowo poprawność napisanej wcześniej symulacji komputerowej;
- Eksperymentalnie wykazano, że zaproponowana modyfikacja kształtu łopaty okazała się korzystniejsza w porównaniu z dyskami tylko brzegowymi (rys.9);
- Eksperymentalnie potwierdzono, że wyposażenie łopaty w dodatkowe dyski nie powoduje znaczącej zmiany poboru mocy silnika wymuszającego jej ruch obrotowy, natomiast powoduje około dwukrotny wzrost momentu obrotowego turbiny.

### Literatura

- 1 Flaga A. Siłownie wiatrowe. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków, 2012.
- 2 Thom A. Effects of discs on the air forces on a rotating cylinder, ARC R and M 1623, 1934.
- 3 Swanson W.M. The Magnus effect: A summary of investigations to date, Journal of Basic Engineering, Nr 83/1961, 461-470.
- 4 Kapczyński M. Chiralne siłownie wiatrowe – zagadnienia aerodynamiczne i konstrukcyjne, praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków.

## Wind tunnel model tests of Magnus type wind rotors with a horizontal rotation axis

Piotr Matys, Andrzej Flaga

Laboratorium Inżynierii Wiatrowej, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej,  
Politechnika Krakowska, e-mail: liwpk@windlab.pl

**Abstract:** The paper presents results of wind tunnel tests of horizontal axis wind rotors of Magnus type. Firstly, measurements of aerodynamic side (lift) force and aerodynamic drag on rotating cylinder attached to horizontal aerodynamic balance were performed. Secondly, the model of single-blade rotor with counterbalance was tested.

**Keywords:** Magnus effect, wind turbines, wind rotors, rotating cylinder