

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### Wpływ wielkości geometrycznych wirnika Savoniusa na jego efektywność

KRZYSZTOF GARBALA, ALEKSY PATEJUK, KRZYSZTOF MOGIELNICKI  
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD INŻYNIERII PRODUKCJI

**Słowa kluczowe:** turbiny wiatrowe, wirnik Savoniusa, geometria wirnika, sprawność turbiny

#### STRESZCZENIE

Ze względu na opłacalność stosowania turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu dla potrzeb indywidualnego odbiorcy, powstało zapotrzebowanie na dokładne ustalenie ich parametrów wymiarowo-geometrycznych oraz opracowanie metodyki określania najkorzystniejszych lokalizacji terenowych. Z myślą realizacji tego zadania, zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze w postaci mobilnej turbiny o geometrii kształtu wirnika typu Savoniusa. Stanowisko to umożliwia odtworzenie rzeczywistej pracy rotora oraz identyfikację jego optymalnych wielkości geometrycznych w obranych warunkach terenowych. W pracy przedstawiono wpływ tych wielkości na parametry pracy urządzenia w funkcji prędkości wiatru.

#### Influence of the Savonius rotor geometry on its efficiency

**Keywords:** wind turbine, the rotor Savoniusa, the geometry of the impeller, the turbine efficiency

#### ABSTRACT

Due to the cost-effectiveness of the vertical axis wind turbines use for the individual customer's needs, there is a demand to optimize its geometrical parameters and to determine the most favorable location fields. With a view to the implementation of this task, the test stand in the form of a mobile windmill with the Savonius-type rotor shape geometry was designed and manufactured. This stand allows to reproduce the real rotor work and to identify its optimal geometrical parameters in the selected field conditions. In paper, the influence of these parameters on the device performance as a function of wind speed are shown.

## 1. WSTĘP

W ostatnim dziesięcioleciu odnotowuje się dynamiczny wzrost popularności metod wytwarzania ekologicznej energii dla odbiorców, których potrzeby energetyczne są stosunkowo niewielkie – średnio nie przekraczające 1,5 kW na dobę. Aktualnie małe turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu są uważane za wydajne narzędzie pozyskujące energię dla celów gospodarstw domowych. W zestawieniu z tradycyjnymi wiatrakami, turbiny te, odznaczają się prostotą konstrukcji. Ich podstawowym elementem jest wirnik połączony z wałem, stanowiący odpowiednik śmigła w klasycznej elektrowni wiatrowej. Wirniki są zazwyczaj dwu łopatkowe, o kształcie linii prostej lub śrubowej. Wartości ich średnic wahają się w przedziale 0,5÷5,0 m, natomiast wysokość jest proporcjonalna do średnicy i zawiera się w przedziale  $h=2÷4 d$ . Istotnym czynnikiem dającym im przewagę jest również małe zapotrzebowanie na prędkość wiatru potrzebną do pracy, która wynosi około 1.5 m/s. Należy przy tym zaznaczyć, że turbiny te odznaczają się większą mocą w stosunku do elektrowni śmigłowych o tej samej powierzchni zaożyczenia łopat [1]. Ma to istotne znaczenie w przypadku warunków meteorologicznych typowych dla terenu Polski, gdzie średnia prędkość wiatru wynosi 3,7 m/s w miesiącach letnich i 4,9 m/s zimą (dane IMGW z lat 1965 – 2005). Urządzenia tego typu nie wymagają mechanizmu „ustawiania na wiatr” co dodatkowo upraszcza konstrukcję. Nie wymagają również budowania bardzo wysokich masztów. W sprzyjających warunkach, na otwartym terenie, efektywną wysokością jest ok.  $2 ÷ 4$  m nad poziom gruntu. Natomiast w przypadku zabudowy, wystarczy łopatę turbiny wynieść ponad poziom maksymalnej wysokości budynku [2, 3]. Wirnik ma estetyczny wygląd. Wrażenie cyklicznej zmiany kształtu, daje nowe możliwości wykorzystania jako element scenografii krajobrazu (Rys. 1).

Najprostszym rozwiązaniem wśród wirników o pionowej osi jest wirnik Savoniusa. Nie może on konkurować, jeśli chodzi o efektywność przetwarzania energii wiatru na prąd elektryczny, z typowymi wiatrakami o poziomej osi obrotu. Posiada natomiast wszystkie wyżej wymienione zalety charakteryzujące tego typu konstrukcje. Wirnik ten został zaprojektowany przez S. J. Savoniusa około 1920 roku. Rotory tego typu mają nieco niższą sprawność w porównaniu do innych typów wir-



**Rysunek 1** Widok turbiny wiatrowej o geometrii kształtu typu Savoniusa

**Figure 1** View of a wind turbine on the geometry of the shape of a Savoniusa

ników o pionowej osi obrotu (np. Darrius’a). Jednak ich przewagą jest prostota konstrukcji, cicha praca nawet przy maksymalnej prędkości obrotowej, a także odporność w warunkach zimowych na pokrycie sadzą, szronem, czy lepkiem śniegiem oraz na huraganowe wiatry. Istotą działania wirnika jest wykorzystanie siły parcia wiatru i w niewielkim stopniu siły nośnej. Pomimo nieco mniejszej sprawności znalazł on zastosowanie w małej energetyce, głównie od 0,2 do 10 kW.

Przeprowadzono już wiele badań nad podniesieniem własności użytkowych wirników Savoniusa. Przykładowo w trakcie eksperymentów w tunelu aerodynamicznym w Sandia Laboratories [4-6] wykonano kilkanaście testów różnych konfiguracji wirnika. Stwierdzono między innymi, że optymalnym jest wirnik o dwóch łopatkach (większa ilość łopat zmniejsza wartość momentu startowego i obniża sprawność urządzenia). W celu wyrównania momentu startowego należy na osi obrotu umieścić dwa zestawy wirników, obrócone względem siebie o kąt 90°. Ponadto udowodniono zależność promienia rotora do jego wyso-

kości. Im wyższy stosunek wysokości do średnicy, tym wyższa sprawność.

W pracy [7] natomiast, numerycznie wyznaczono optymalny współczynnik stosunku wartości przesunięcia względem siebie łopat wirnika do jego średnicy, który ma wartość 0,242. Badania przeprowadzono przy założeniu stałej liczby Reynoldsa przepływającego czynnika, uzyskując, w takim układzie, maksymalny moment obrotowy turbiny.

## 2. STANOWISKO BADAWCZE PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH TURBINY WIATROWEJ TYPU SAVONIUSA

Do celów badawczych zaprojektowano i wykonano mobilną turbinę wiatrową o pionowej osi obrotu z dwoma szeregowo ustawionymi względem siebie wirnikami obróconymi o kąt  $90^\circ$ . Wirnik został zamocowany na maszcie kratownicowym z zakończeniem typu „F”, wykonanym z kształtownika o profilu zamkniętym (Rys. 2).

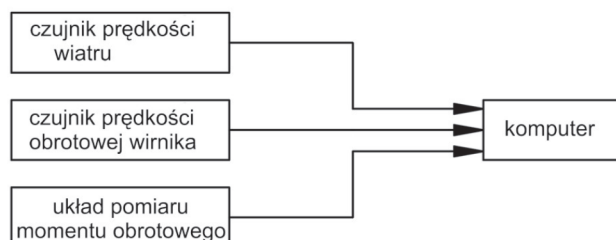


**Rysunek 2** Widok stanowiska badawczego z zamontowanym wirnikiem Savoniusa'a typu duble

**Figure 2** View of the bench with mounted propeller-type double Savoniusa

Przedstawione stanowisko wyposażono w aparaturę pomiarową opartą na przetwornikach analogowo-cyfrowych. Sygnały z przetworników trafiały do komputera klasy PC. Na maszcie zamo-

cowano czujnik prędkości wiatru. W celu zachowania pola jednorodności prędkości wiatru zamontowano go na wysokości jednego metra nad wirnikiem turbiny. Stanowisko zostało wyposażone w układ pomiaru prędkości obrotowej i momentu obrotowego badanego wirnika. Na Rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy wyposażenia stanowiska.



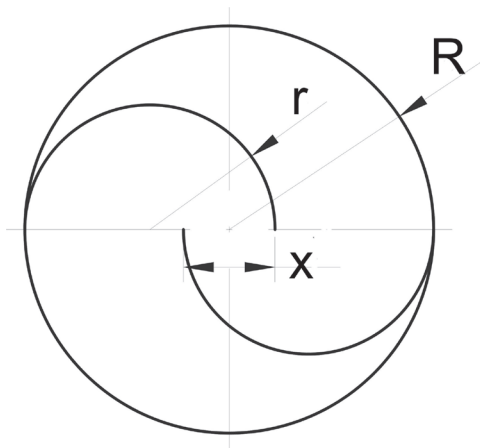
**Rysunek 3** Schemat blokowy aparatury pomiarowej stanowiska

**Figure 3** Block diagram of the position measuring apparatus

Na stanowisku istnieje możliwość badania wirników o następujących gabarytach: średnicy do 1,2 m i wysokości od 0,4 do 1,2 m o różnych kształtach. Umożliwia ono odtworzenie rzeczywistej pracy rotora w obranych warunkach naturalnych (wybranej lokalizacji). Pozwala na ustalenie optymalnych, dla danych warunków terenowych, wielkości geometrycznych charakteryzujących wirnik turbiny wiatrowej. Można na nim wyznaczać następujące charakterystyki:

1. Mocy wirnika w funkcji prędkości wiatru,
  2. Mocy wirnika w funkcji jego prędkości obrotowej,
  3. Prędkości obrotowej wirnika w funkcji prędkości wiatru,
  4. Zmian prędkości obrotowej wirnika w funkcji czasu,
  5. Zmian mocy wirnika w funkcji czasu.
- Można również przeprowadzać badania:
6. Prędkości rozruchowej,
  7. Wpływu momentu bezwładności na rozruch turbiny i jej parametry pracy.

Do celów badań zbudowano cztery modelowe wirniki o stałej wysokości i o różnych promieniach łopat z możliwością zmian szczeliny między płatem. Wirniki o geometrii kształtu Savoniusa, o prostych łopatach, charakteryzują następujące wielkości geometryczne (Rys. 4):  $R$  - promień wirnika;  $r$  - promień łopaty;  $x$  - wartość przesunięcia łopat. W Tabeli 1 zestawiono wielkości geometryczne badanych wirników.



**Rysunek 4** Wielkości geometryczne wirnika Savoniusa  
**Figure 4** Geometric sizes the rotor Savoniusa

**Tabela 1** Zestawienie wielkości geometrycznych badanych wirników

**Table 1** Summary of geometrical sizes of rotors tested

| Lp. | Promień łopaty „r” [m] | Wartość przesunięcia względnego łopaty „x” | Wysokość wirnika „h” [m] |
|-----|------------------------|--|--------------------------|
| 1   | 0,06                   | 0,05÷0,4r                                  | 1                        |
| 2   | 0,12                   |  |                          |
| 3   | 0,24                   |  |                          |
| 4   | 0,48                   |  |                          |

### 3. WYNIKI BADAŃ

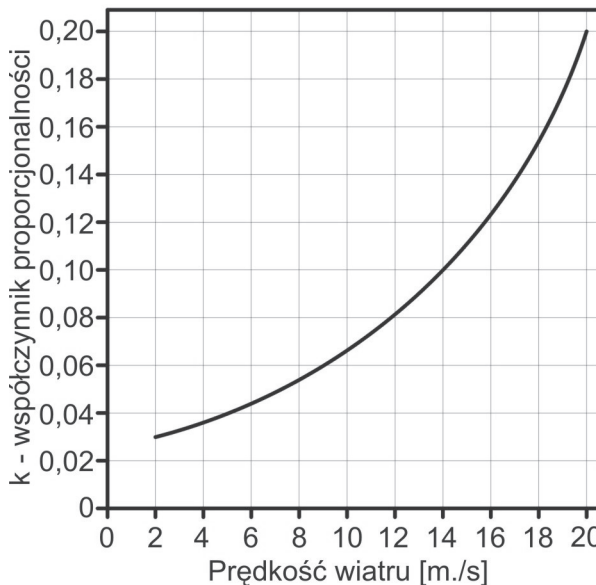
Przeprowadzone badania dotyczyły analizy wpływu wartości przesunięcia „x” na parametry pracy turbiny. Określono optymalną wartość tegoż parametru dla uzyskania najlepszych własności użytkowych, przy najczęściej występujących prędkościach wiatru. W efekcie ułożono empiryczną zależność wielkości „x” od wymiarów zasadniczych wirnika:

$$x = k \cdot R \quad (1)$$

gdzie: k – współczynnik proporcjonalności parametrów geometrycznych wirnika.

Ustalono, że parametr „x” posiada decydujący wpływ na sprawność urządzenia. Fakt ten jest wynikiem występowania tu zależności pola przekroju czynnego od cyrkulacji wewnętrznej wiatru przez wirnik. Cyrkulacja wewnętrzna wiąże się zasadniczo ze sprawnością. Idealnym rozwiązaniem byłoby, aby w czasie pracy możliwa była

zmiana parametru „x” w funkcji prędkości wiatru (Rys. 5). Na przykład, przy prędkościach wiatru rzędu 1.8 ÷ 4 m/s najkorzystniejszą jest wartość  $x = 0,03 R$ , a przy wiatrach rzędu 20 m/s –  $x = 0,2 R$ . Na Rysunku 5 przedstawiono wykres zależności współczynnika empirycznego „k” w funkcji prędkości wiatru.



**Rysunek 5** Zależność współczynnika proporcjonalności „k” od prędkości wiatru

**Figure 5** Dependence of the proportionality factor „k” on the wind speed

Na Rysunku 6 przedstawiono charakterystykę kinematyczną czterech badanych wirników przy przesunięciu  $x = 0,07 R$ . W trakcie badań ustalono wartości ich prędkości obrotowych w funkcji prędkości wiatru. Analiza krzywych prędkości dowodzi, że wielkość promienia łopaty ma istotny wpływ na obroty rozwijane przez wirnik, jak i rozruchową prędkość wiatru. Znaczącym jest, że wirniki o małych promieniach łopat wykazują większą sprawność przy większych prędkościach wiatru niż wirniki o promieniach większych. Związane jest to ze współczynnikiem oporu aerodynamicznego zewnętrznej powierzchni płata, który to opór obniża sprawność użytkową turbiny.

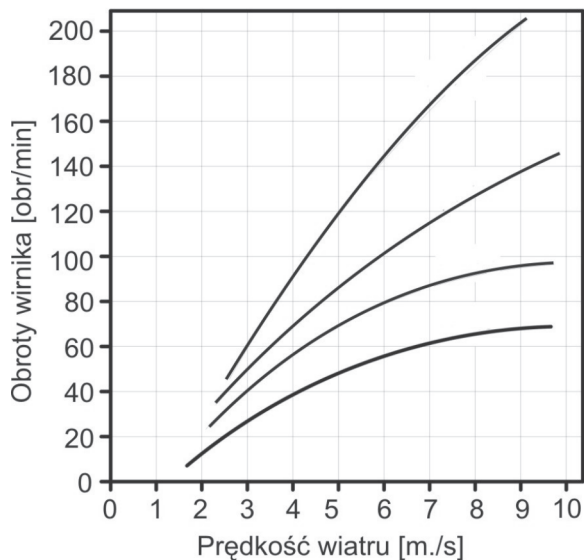
### 4. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że optymalnym rozwiązaniem konstrukcyjnym wirnika typu Savoniusa z zastosowaniem do celów indywidualnych, będzie jednostka o niewielkiej średnicy, posiadająca możliwość zmiany wartości przesunięcia płatów względem siebie. Pozwoli



to na uzyskiwanie najbardziej korzystnych warunków pracy urządzenia z jednoczesną redukcją wpływu nań oporu aerodynamicznego.

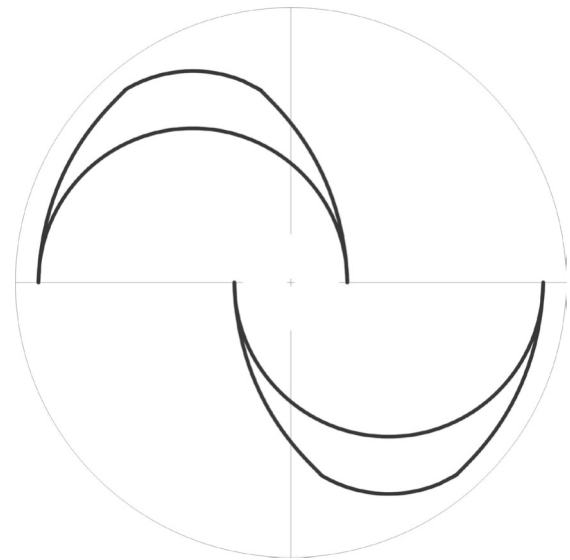
Analiza charakterystyk pracy przebadanych wirni-



**Rysunek 6** Charakterystyka kinematyczna badanych wirników

**Figure 6** Kinematic characteristics of respondents rotors

ków doprowadziła również do poszukiwań metod udoskonalających badany model turbiny. W efekcie zaproponowano jego kształt (Rys. 7). Przedstawiony poniżej profil składa się z dwóch płatów, wewnętrznego promieniowego i zewnętrznego parabolicznego, co ma na celu zmniejszenie stop-



**Rysunek 7** Kształt wirnika zmniejszający współczynnik oporu aerodynamicznego

**Figure 7** The shape of the rotor reducin the drag coefficient aerodynamic

nia wpływu współczynnika oporu aerodynamicznego (hamowanie aerodynamiczne) na parametry pracy urządzenia. Wstępna analiza wykazała, że takie połączenie będzie korzystnie oddziaływać na wartość prędkości rozruchowej wiatru, jak i na przebieg krzywej prędkości obrotowej wirnika w funkcji prędkości wiatru. Model ten wymaga jednak przeprowadzenia szczegółowych badań określających sposób jego zachowania w warunkach pracy.

## LITERATURA

- [1] Lates M. T., Stresses identification with FEM in portable vertical wind turbines structures. Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI (XVI), 2007.
- [2] Polak A., Barański M., Porównanie turbin wiatrowych. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 74, Katowice 2006.
- [3] Garbala K., Patejuk A., Analiza warunków anemologicznych dla potrzeb lokalizacji turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu. VI Konferencja naukowo-praktyczna. Energia w nauce i technice, Białystok-Suwałki, 2007.
- [4] Sheldahl R. E., Feltz L. V., Blackwell B. F., Wind tunnel performance data for two- and three-bucket Savonius rotors. Journal of Energy, vol. 2, 1978.
- [5] Garbala K., Patejuk A., Ocena właściwości użytkowych wirników turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu. VI Konferencja naukowo-praktyczna : Energia w nauce i technice, Białystok-Suwałki, 2006.
- [6] Garbala K., Mogielnicki K., Stanowisko do badania wirników turbin wiatrowych o poziomej osi Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, T. 15, nr 4 (2009).
- [7] Menet J. L., Bourabaa N., Increase in the Savonius rotors efficiency via a parametric investigation. 2004 European Wind Energy Conference, London, 22-24 november 2004.