

# Turbina wiatrowa VAWT do produkcji energii w układzie hybrydowym

Stanisław Anweiler, Waldemar Fedak, Wojciech Gancarski, Roman Ulbrich

## 1. Wprowadzenie

Rozważając budowę przydomowej instalacji zasilania, często skupia się wyłącznie na panelach fotowoltaicznych oraz akumulatorach jako jej głównych elementach, zapominając o turbinach wiatrowych lub traktując je wyłącznie jako dodatek. Jest to po części zrozumiałe, porównując nawzajem wydajności obu rozwiązań, jednakże przy odpowiednim doborze konstrukcji, parametrów oraz umiejscowienia mogą się one stać doskonałym uzupełnieniem. Jak pokazują ostatnie trendy w sposobie projektowania autonomicznych źródeł zasilania w obszarach miejskich [1], rozwiązaniami mogą być instalacje hybrydowe. Jako uzupełnienie typowych instalacji posiadają one niewielkiej mocy turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu VAWT, poza podstawową zaletą, w porównaniu z konstrukcjami o poziomej osi obrotu (HAWT), polegającą na możliwości ich montażu niemal w każdym miejscu, niezależnie od warunków środowiskowych. Wiatraki pionowe nie wymagają

stosowania wysokich masztów i można je montować nawet bezpośrednio na budynkach, są tańsze, prostsze i lepiej reagują na zmianę kierunku wiatru oraz zawirowania powstające pomiędzy zabudowaniami. Turbiny VAWT mają jeszcze jedną przewagę nad konstrukcjami o poziomej osi obrotu – są o wiele cichsze. Wynika to głównie ze sposobu odbioru siły od działającego na nie wiatru. Jako maszyny wyporowe nie rozwijają one większych prędkości niż wiatr.

Turbiny wiatrowe generują dźwięki będące połączeniem hałasu powstającego w wyniku pokonywania oporu powietrza przez obracające się końcówki łopat wirnika oraz hałasu mechanicznego, którego źródłem jest generator oraz mechaniczne elementy gondoli. W nowoczesnych konstrukcjach wpływ elementów mechanicznych jest skutecznie ograniczany i to, co przede wszystkim można usłyszeć w otoczeniu elektrowni wiatrowych, związane jest z tzw. hałasem aerodynamicznym. W zależności od konstrukcji turbiny i prędkości wiatru hałas generowany przez obracające się śmigła może mieć różny charakter – np. pulsującego dźwięku, brzęczenia, świstu. Z kolei w otoczeniu turbin typu *down-wind* usłyszeć można dźwięki przypominające głucho uderzenia.

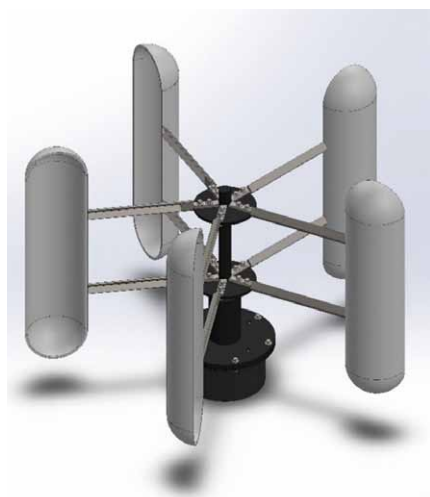
Najczęściej spotykanymi konstrukcjami turbin VAWT w miejskich instalacjach są Darrieus oraz H rotor. Charakteryzują się one łopatami o przekroju skrzydła, co pozwala im osiągać duże prędkości obrotowe. Ma to jednak swoje wady w postaci potrzebnej dużej prędkości wiatru do uruchomienia, a przez to montażu specjalnych mechanizmów rozpędzających turbinę, a także występowania sporej siły odśrodkowej

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia badania eksperymentalne w tunelu aerodynamicznym łopaty zastosowanej w turbinie wiatrowej o pionowej osi obrotu typu karuzelowego. Badania dotyczyły doboru odpowiednich parametrów fizycznych dla zastosowanej metody, budowy stanowiska oraz układu pomiarowego, na podstawie których dokonano pomiarów sił aerodynamicznych działających na model łopaty.

Słowa kluczowe: turbina karuzelowa, tunel aerodynamiczny, siłownia wiatrowa.

**Abstract:** The article presents experimental research in the wind tunnel of a blade used in a wind turbine with a vertical rotary axis of the carousel type. The research concerned the selection of appropriate physical parameters for the applied method, the construction of the station and the measurement system on the basis of which measurements of aerodynamic forces acting on the blade model were made.

Keywords: rotary turbine, wind tunnel, wind turbine.



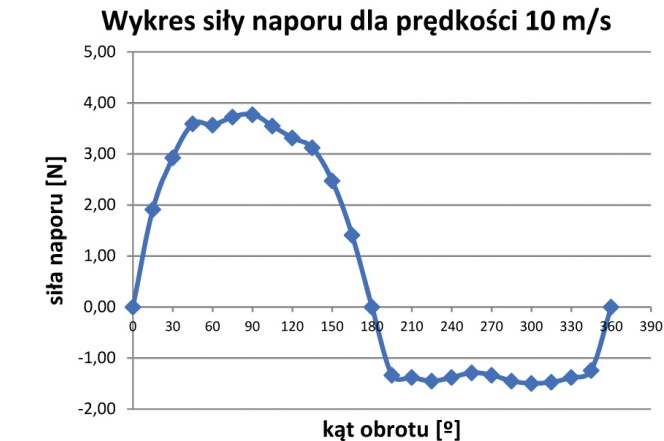
Rys. 1. Turbina karuzelowa

działającej na łopaty. Przeprowadzane symulacje wytrzymałościowe oraz drgań na Politechnice Rzeszowskiej [2] pokazują, że podczas pracy urządzenia przy optymalnych prędkościach wiatru 10 m/s występujące siły są na tyle duże, że konieczne staje się przeprojektowanie konstrukcji łopaty w celu polepszenia jej sztywności oraz wzmocnienia połączenia skrzydła z ramieniem turbiny.

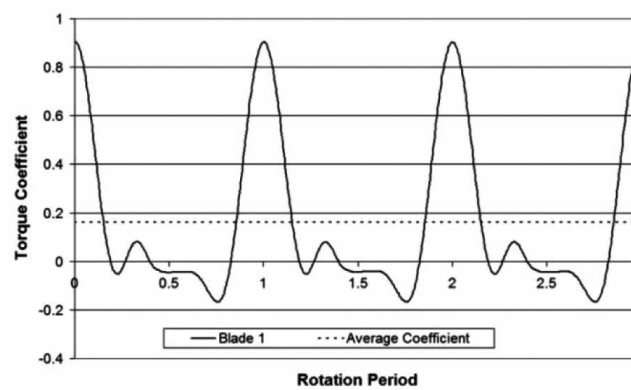
Należy również pamiętać, że średnia roczna prędkość wiatru w Polsce waha się między 2,8 m/s a 3,5 m/s, natomiast jej wartość maksymalna wynosi 10 m/s. W terenach zabudowanych jest jeszcze niższa, a kierunek wiatru wskutek zawirowań ciągle się zmienia. Pod względem opłacalności budowa elektrowni wiatrowej jest uzasadniona tylko tam, gdzie średnia roczna prędkość wiatru przekracza 4 m/s. Małe elektrownie wiatrowe sieciowe (do 100 kW) można lokalizować bezpośrednio u odbiorców energii elektrycznej i przyłączać do ich instalacji elektrycznej. Stąd eliminuje się prawie całkowicie straty energii w instalacji elektrycznej oraz poprawia warunki napięciowe pracy odbiorników elektrycznych włączonych do tej instalacji. Systemowe i autonomiczne małe elektrownie wiatrowe instalowane masowo w gospodarstwach rolnych byłyby dużym wsparciem planów redukcji emisji i oszczędności paliw kopalnych. Wykorzystanie energii wiatru w ten sposób nie napotyka takich barier technicznych, ekologicznych, społecznych, jak to ma miejsce w przypadku dużych elektrowni wiatrowych systemowych.

Wobec powyższych wymagań stawianych turbinom o pionowej osi obrotu i biorąc pod uwagę ograniczenia, jakie mają obecnie stosowane rozwiązania, optymalną konstrukcją do zastosowania w mieście może być turbina karuzelowa (rys. 1), która pomimo mniejszych mocy niż podobnej wielkości konstrukcje H rotor lub Darrieus, potrzebuje mniejszych prędkości wiatru do startu i lepiej reaguje na ich zmianę. Jest to głównie spowodowane innym kształtem i budową łopaty, która przypomina wydrążony półwalec.

Niestety brak kompletnych badań w tunelu aerodynamicznym takiego kształtu łopaty, w literaturze można jedynie znaleźć wartości współczynnika oporu powietrza dla strony wklęsłej i wypukłej. Wobec tego niniejszy artykuł ma na celu przedstawić wytyczne do budowy stanowiska badawczego i sposób rozwiązania pomiaru sił działających na powierzchnię łopaty oraz konstrukcję turbiny typu karuzelowego, wywołane działaniem wiatru. Otrzymane wyniki w przyszłości posłużą jako punkt odniesienia dla badań i symulacji opływu



Rys. 2. Wykres siły naporu dla pojedynczej łopaty turbiny karuzelowej



Rys. 3. Wykres sił dla pojedynczej łopaty turbiny H-rotor [6]

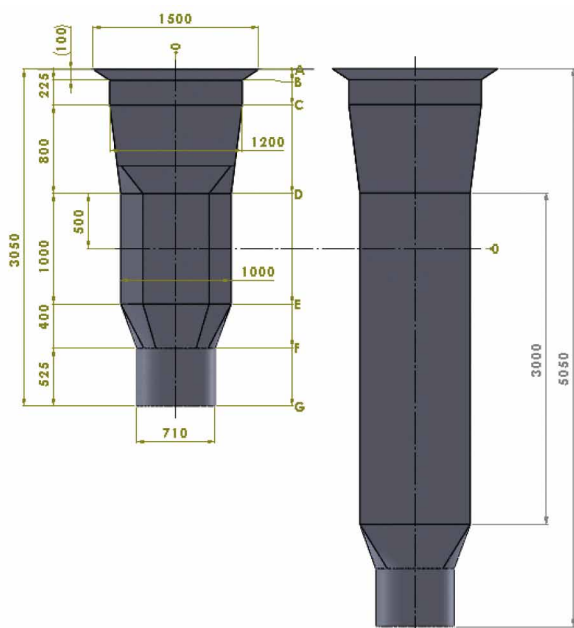
powietrza takiej łopaty oraz całej turbiny, a także obliczeń wytrzymałościowych.

## 2. Materiały i metody

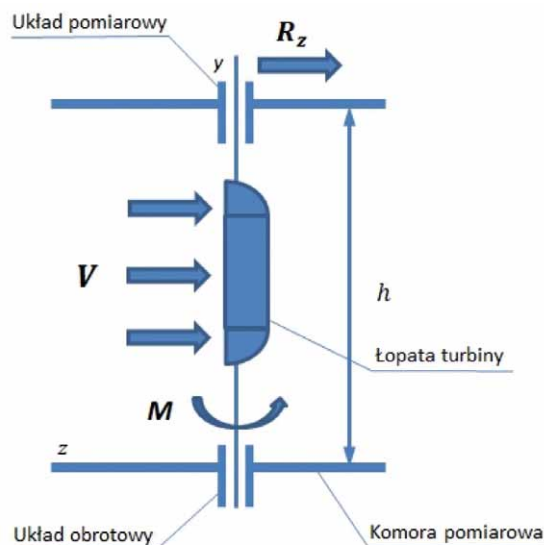
Jak wspomniano wcześniej, zostało przeprowadzonych wiele badań nad turbinami Darrieus i H rotor. Pierwsze kompleksowe badania rozpoczęto już w latach 80. XX wieku [3] w Stanach Zjednoczonych. Obejmowały one również badania zmęczeniowe materiału łopat oraz konstrukcji turbiny czy układu sterującego pracą urządzenia, nie dopuszczając do przekraczania dozwolonych prędkości obrotowych. W przypadku turbin karuzelowych występuje zjawisko samohamowności, co pozwala zrezygnować z tego typu mechanizmów. Również obecnie prowadzone są badania tunelowe oraz symulacje nad turbinami Darrieus i H rotor [4, 5]. Przedstawione stanowiska pozwalają przeprowadzić badania w zakresie od 5 do 15 m/s. Są to wystarczające wartości, ponieważ mają charakterystykę stosowanych na rynku generatorów (rys. 2). Dla porównania przedstawiono wykres sił działających

na pojedynczą łopatę turbiny VAWT typu H-rotor (rys. 3) [6]. Pozwala ona produkować prąd od prędkości wiatru dopiero 5 m/s, a maksimum uzyskuje przy 25 m/s.

Dodatkowo często bada się także częstotliwość drgań konstrukcji turbiny [2], tak aby nie występowały one w zakresie osiąganych prędkości obrotowych urządzenia. W literaturze można znaleźć także badania nad współczynnikiem oporu powietrza dla łopat anemometru [7]. Mają one budowę kubełkową, ale posiadają podobny kształt w przekroju poprzecznym, co pozwala zaobserwować sposób opływu powietrza przez profil łopaty. Biorąc pod uwagę opisane wyżej doświadczenia w budowie stanowiska badawczego dla turbin Darrieus i H rotor, podjęto wcześniej próbę opisanego założenia, jakie powinno spełniać takie stanowisko w przypadku turbin karuzelowych [8]. W tym celu konieczne jest zbudowanie odpowiedniego co do wielkości tunelu aerodynamicznego (rys. 4) z komorą pomiarową, komorą wyrównawczą, urządzeniem



Rys. 4. Schemat tunelu



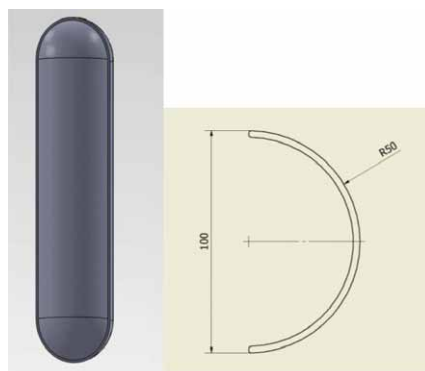
Rys. 5. Schemat pomiaru sił

prostującym strugę powietrza, tzw. laminatorem, i urządzeniem pomiarowym do pomiaru siły naporu oraz pozycjonowania kąta obrotu badanej łopaty. Bardzo istotne jest zastosowanie odpowiedniego wentylatora, zapewniającego wystarczającą siłę ciągu, a co za tym idzie – odpowiednio dużą prędkość strugi powietrza w tunelu. Wentylator powinien posiadać możliwość regulacji siły ciągu za pomocą zmiany prędkości obrotowej wirnika lub za pomocą zmiany sprawnie i w czasie w miarę możliwym do zaakceptowania. Należy niektóre czynności zautomatyzować: pracę rejestratorów i urządzeń nastawczych regulujących kąt ustawienia badanej łopaty i prędkość obrotową wirnika wentylatora. Do realizacji tych zadań służą: komputer lub odpowiednio zaprogramowany mikrokontroler.

Każda łopata o niepowtarzalnym profilu zostanie zamocowana w specjalnym urządzeniu pomiarowym, które pozwoli na pomiar sił działających na łopatę. Dodatkowo łopata będzie miała możliwość obracania się wokół własnej osi za pomocą urządzenia rejestrującego kąt obrotu, co da możliwość rejestracji sił działających na łopatę w zależności od kąta naporu strugi powietrza. Dzięki specjalnemu układowi mostków tensometrycznych możliwe będzie rejestrowanie zarówno siły naporu hydrodynamicznego, jak również kierunku działania tej siły poprzez obliczenie wypadkowej

dwóch składowych, jeżeli pojawią się odpowiednie wartości na dwóch mostkach pomiarowych. Zróżnicowanie kształtu badanych łopat polegać będzie na modyfikacji powierzchni łopat zarówno na stronie zbiegającej, jak i na stronie nabiegającej, przy zachowaniu jednakowej powierzchni badanej łopaty. Modyfikacji podlegać będzie zarówno powierzchnia łopat, jak również ich kształt.

Drugi etap badań polegać będzie na pomiarze siły naporu w zależności od proporcji łopat (rys. 5). Łopata o klasycznym profilu najczęściej stosowanym, tj. wydrążony półwałec zakończony ćwierćkulistymi zakończeniami (rys. 6), zostanie wykonana w dwóch wersjach o szerokości większej od standardowej i dwóch wersjach o szerokości mniejszej od standardowej. Pomiarzy zostaną



Rys. 6. Kształt badanej łopaty

przeprowadzone dla różnych prędkości strugi powietrza w tunelu aerodynamicznym od 5 m/s do 15 m/s. Zmianie podlegać będzie również kąt obrotu.

### 3. Wyniki

Wobec powyższych wiadomości zdecydowano się na budowę stanowiska składającego się z tunelu aerodynamicznego o przekroju kwadratowym 1000 × 1000 mm z możliwością zmniejszenia na 600 × 600 mm w celu przeprowadzenia badań dla wyższych prędkości wiatru. Konstrukcję podzielono na niezależne segmenty składające się na: sekcje dyfuzora, komory badawczej, komory wyrównawczej oraz wentylator o mocy 5,5 kW. Segmenty wykonano z blach i posadowiono na konstrukcji kratowej pozwalającej w zależności od potrzeb na swobodną modyfikację tunelu poprzez zmianę np. komory badawczej (rys. 7).

Wykonano także 5 kompletów łopat testowych o różnych profilach oraz 4 łopaty o różnych proporcjach szerokości do wysokości. Do badań wstępnych przyjęto łopatę (rys. 6) o przekroju wydrążonego pół walca o wysokości 400 mm, zakończonych półsferą. Pomiarzy zaś wykonano dla prędkości wiatru od 5 do 15 m/s, obracając łopatę turbiny w zakresie 360 stopni co 15 stopni.

Układ pomiarowy (rys. 8) obejmuje:

- termometr;
- barometr;



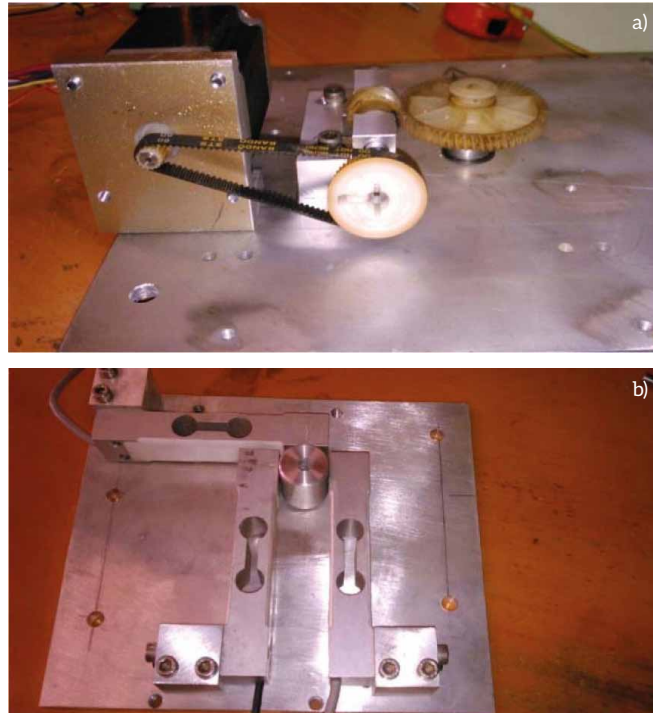


Rys. 7. Komora badawcza

- czujnik prędkości wiatru;
  - pomiaru kąta obrotu elementu badanego;
  - mostek tensometryczny;
  - wyświetlacze.
- Pozwala on na rejestrowanie:
- siły naporu występującej na łopacie [N];
  - prędkości strugi powietrza w tunelu aerodynamicznym [m/s];
  - kąta obrotu łopaty [rad];
  - ciśnienia w komorze badawczej [Pa];
  - temperatury powietrza [K];
  - wilgotności powietrza [g/m<sup>3</sup>].

#### 4. Podsumowanie

W pomiarach zastosowano podobne warunki obciążenia konstrukcji i łopat wiatrem co w przedstawionych doświadczeniach na innych turbinach VAWT. Pomimo innego kształtu łopat i niewielkich różnic w budowie zastosowanych tuneli aerodynamicznych oraz układów pomiarowych, otrzymane wyniki w porównaniu do przedstawionych dla turbin H rotor mają podobny przebieg obciążenia. Wobec tego zastosowana metoda badawcza przy użyciu tunelu aerodynamicznego wydaje się być



Rys. 8.

Układ pomiarowy (a), mechanizm sterowania obrotem łopaty (b), układ pomiaru sił

odpowiednią i wystarczającą do przeprowadzenia tego typu badań.

#### Nomenklatura

Akronimy:

HAWT – *Horizontal Axis Wind Turbine*;  
VAWT – *Vertical Axis Wind Turbine*.

#### Literatura

- [1] FEDAK W., ANWEILER S., ULBRICH R., JAROSZ B.: *The concept of autonomous power supply system fed whit renewable energy sources*, JSDEWES 2017, Volume 5, Issue 4, pp 579–589.
- [2] MAZUR D.: *Obliczenia wytrzymałościowe oraz drgania turbiny typu Darrieus*, PAK, 2012.
- [3] VEERS P.S., GENERAL A.: *Method for Fatigue Analysis of VerticalAxis Wind TurbineBlades*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2014.
- [4] MAZUR D., SZCZERBA Z.: *Badania wstępne turbiny wiatrowej w konfiguracji pionowej w tunelu aerodynamicznym oraz obliczenia przy użyciu metody DMS*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2014.
- [5] CZYŻ Z., KAMIŃSKI Z.: *Badania wirnika turbiny wiatrowej o regulowanym położeniu łopat roboczych*, Politechnika Lubelska, Lublin 2004.
- [6] HOWELL R., QIN N., EDWARDS J., DURRANI N.: *Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine*. „Renewable Energy” 35/2010, pp. 412–422.
- [7] BREVOORT M.J., JOYNER U.T.: *Areodynamic Characteristics of Aneometer Cups*. Washington 1934.
- [8] FEDAK W.: *Wykorzystanie tunelu aerodynamicznego do badania wpływu kształtu łopaty turbiny karuzelowej na wielkość naporu hydrodynamicznego*. X Środowiskowe Warsztaty Doktorantów Politechniki Opolskiej, nr 359/2016.

✉ Stanisław Anweiler, Waldemar Fedak, Wojciech Gancarski, Roman Ulbrich – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny

artykuł recenzowany

reklama

reklama