

*Krzysztof Pytel, Marek Polit*

## **Charakterystyka małej elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu na przykładzie turbiny Savoniusa**

### **Wprowadzenie**

W elektrowni wiatrowej najważniejszym elementem obok generatora jest wirnik. Za jego pośrednictwem pozyskiwana jest energia mechaniczna ze strugi powietrza. Parametry konstrukcyjne oraz zastosowane w jego budowie rozwiązania decydują o właściwościach całej siłowni (przede wszystkim o mocy jaką dysponuje oraz o prędkości). Również waga oraz gabaryty całej elektrowni wiatrowej zależą od konstrukcji koła wiatrowego. Pozostałe elementy zastosowane w elektrowni wiatrowej, takie jak generator, przekładnia czy też sam maszt, dobierane są pod kątem rozwiązania jakie zostało użyte przy budowie samej turbiny.

Turbiny wiatrowe możemy podzielić pod względem budowy na elektrownie o poziomej osi obrotu (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) oraz – elektrownie o pionowej osi obrotu (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine).

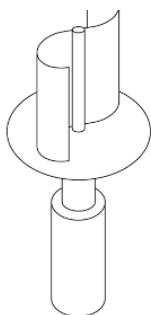
Turbiny o poziomej osi obrotu to te, które można najczęściej spotkać w naszym otoczeniu. Z reguły kiedy myślimy o elektrowni wiatrowej to przed oczami mamy jedną z tego rodzaju turbin. Turbiny te swoim wyglądem mogą kojarzyć się z klasycznymi wiatrakami. Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu są raczej rzadko spotykanym widokiem i przeciętnemu człowiekowi nie kojarzą się z elektrownią wiatrową (przynajmniej te najmniejsze), niemniej jednak na świecie pracują tego typu elektrownie, mocą nieustępujące HAWT.

Siłownie wiatrowe o pionowej osi obrotu rozwijały się znacznie wolniej w porównaniu z siłowniami o poziomej osi obrotu. Nie zdobyły one popularności w energetyce zawodowej. Znalazły jednak szerokie zastosowanie w systemach zamkniętych, np. jako dodatkowe źródło energii w gospodarstwie domowym. Dodatkowo górna granica prędkości wiatru, przy której takie elektrownie mogą jeszcze bezpiecznie pracować, wynosi nawet 60 m/s, dzięki czemu mogą być montowane w miejscach gdzie panują ekstremalne warunki (wysoko w górach lub w okolicy koła podbiegunowego).

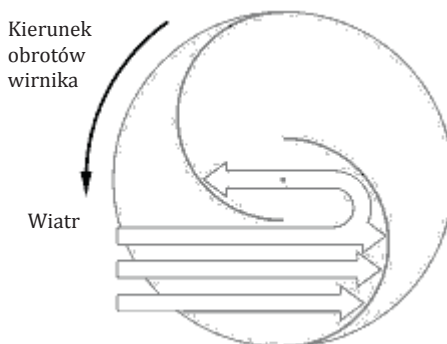
Turbina Savoniusa to typ turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Wynaleziona została przez fińskiego inżyniera S.J. Savoniusa w 1922 r. Przekrój poziomy wirnika turbiny Savoniusa jest zbliżony do litery „S”. Wirnik zwykle posiada dwa lub trzy

ramiona. Różnica sił oddziaływania wiatru na wklęsłą i wypukłą stronę łopaty powoduje obrót wirnika.

Turbina Savoniusa ma mniejszą wydajność niż inne rodzaje turbin o tych samych wymiarach. Obraca się wolno i dlatego ma małe zastosowanie do generowania elektryczności. Używana jest do pompowania wody, anemometrów, zasilania bój głębinowych. Stosowana, gdy niezawodność i koszty są ważniejsze niż wydajność [1]. W turbinie tej wykorzystane zostało zjawisko powstawania siły pod wpływem naporu wiatru na powierzchnie płata (rys. 1–2). Podstawową zaletą tego typu siłowni jest brak konieczności ustawiania turbiny w kierunku, z którego wieje wiatr. Dodatkowo prędkość startowa takiej siłowni wiatrowej jest bardzo niska, a górna granica, przy której może pracować, to nawet 60 m/s. Niestety, z reguły moc osiągnięta przez takie turbiny jest dużo niższa od mocy turbin o poziomej osi obrotu. Specyficzne właściwości turbiny sprawiają, że może ona być instalowana w miejscach gdzie panują ekstremalne warunki lub w pobliżu gospodarstw domowych (emituje niewiele hałasu). Ze względu na stosunkowo duży moment startowy, wirniki te na większą skalę zwykle wykorzystywane są do napędzania pomp wodnych. W trakcie badań w tunelu aerodynamicznym w Sandia Laboratories wykonano kilkanaście testów różnych konfiguracji wirnika.



Rys. 1. Turbina Savoniusa



Rys. 2. Zasada działania turbiny Savoniusa

Najbardziej optymalny jest wirnik o 2 łopatach. W celu wyrównania momentu startowego należy na osi umieścić dwa takie same zestawy wirników obrócone względem siebie o 90 stopni. Średnica otworu (przerwy pomiędzy płatami) powinna zawierać się w granicach 0,1 – 0,15 średnicy jednego płata [2].

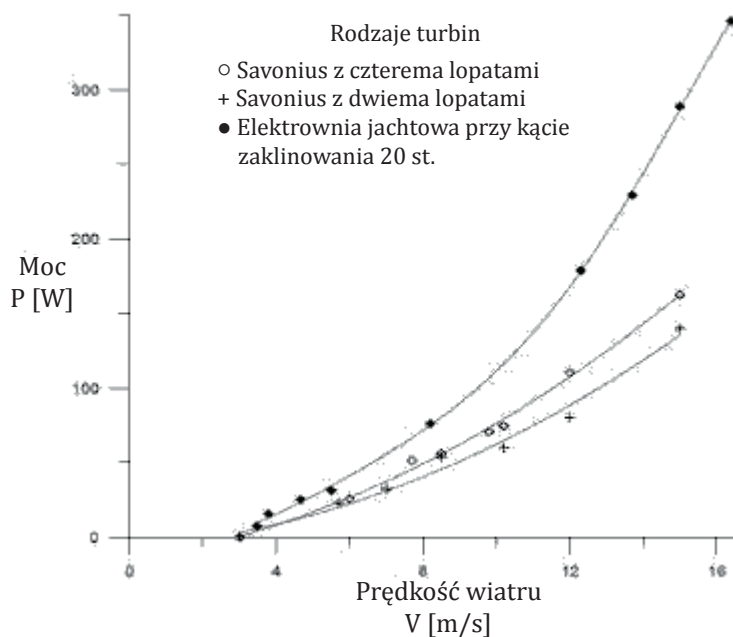
Wirniki typu Savoniusa cechuje prostota konstrukcji oraz duży moment startowy, umożliwiający pracę przy bardzo słabych wiatrach. Zaletą tego typu wirnika jest prawie bezgłośna praca nawet przy maksymalnej prędkości. Do wad można zaliczyć niską sprawność, a co za tym idzie duże wymiary dla uzyskania określonej mocy. Ponieważ konstrukcja tego typu turbiny jest bardzo prosta, koszt produkcji niewielkiej elektrowni wiatrowej, która może zostać wykorzystana do produkcji energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, również będzie stosunkowo niewielki (porównując do elektrowni o poziomej osi obrotu).

Można spotkać wiele przykładów wykonania tego typu elektrowni domowym sposobem. Wystarczy beczkę stalową lub plastikową przeciąć na dwie równe połowy

(wzdłuż pionowej osi). Następnie przesunąć je względem siebie i zamocować na przekładni sprzężonej z generatorem lub bezpośrednio na generatorze. Wykonana w ten lub podobny sposób elektrownia będzie rozpoczynać pracę przy minimalnym wietrze (nawet o sile 1–2 m/s). Swoją maksymalną moc osiągnie już przy ok. 5 m/s, dodatkowo będzie cicha i nie będzie potrzebowała skomplikowanych mechanizmów hamujących jej pracę przy silnym wietrze. Stosunkowo niewielka waga (w zależności oczywiście od sposobu wykonania) oraz specyficzne właściwości (bardzo cicha praca, „odporność” na mocne wiatry, niska prędkość startowa) sprawiają, iż tego typu konstrukcje mogą być umieszczane bezpośrednio na dachach budynków lub na ich elewacji. Taki sposób montażu nie jest możliwy przy elektrowniach o poziomej osi obrotu. Elektrownie wiatrowe zbudowane w oparciu o turbinę Savoniusa z pewnością nie zrewolucjonizują rynków energetycznych, niemniej jednak tego typu konstrukcja w skali „mikro”, wykorzystywana w gospodarstwach domowych np. do podgrzewania wody lub ładowania akumulatorów, z których zasilane będzie oświetlenie mieszkań wykorzystujące źródła LED jako źródła światła, na pewno pozytywnie wpłynie zarówno na nasz klimat, jak i na gospodarkę, pozwalając chociaż minimalnie zmniejszyć zużycie energii elektrycznej.

### Porównanie turbin o osi obrotu pionowej i poziomej

Porównując elektrownie wiatrowe, z reguły opieramy się na podobnych rozwiązaniach, zestawiając ze sobą turbiny o zbliżonych mocach, ale różniących się między sobą ceną, prędkością startową lub też rozwiązaniami jakie oferują nam poszczególni producenci. Celem takiego porównania jest wybór jak najbardziej korzystnej oferty zakupu elektrowni dla planowanej inwestycji.



Rys. 3. Charakterystyka  $P = f(v)$  dla  $1 \text{ m}^2$  powierzchni koła wiatrowego [6]

Rzadziej porównywane są do siebie turbiny o pionowej i poziomej osi obrotu. Jak wynika z teorii, turbiny o poziomej osi obrotu parametrami powinny przewyższać turbiny pionowe. Turbiny te różnią się od siebie pod względem konstrukcyjnym, mają różne parametry pracy, jak i wydajności, jednak patrząc od strony potencjalnego inwestora, niezbędne wydaje się zestawienie jednego i drugiego typu, aby dokonując wyboru, mieć pełną świadomość jak zachowują się one w praktyce. Dodatkowo zestawiając te dwie turbiny ze sobą i porównując ich parametry, mamy możliwości przeanalizowania ich pracy dla podobnych prędkości wiatru. Firma KOMEL z Katowic w swoim laboratorium dokonała porównania ze sobą turbiny o pionowej oraz poziomej osi obrotu. Do porównania użyto trzech małych elektrowni wiatrowych: turbinę jachtową JSW-800-12 (z trzema łopatami), pojedynczą oraz podwójną turbinę Savoniusa [6]. Dla przedstawionych konstrukcji wykonano szereg testów mających na celu porównanie turbin HAWT oraz prostych konstrukcji VAWT. Ze względu na różnice gabarytowe urządzeń przedstawione poniżej charakterystyki zostały przeliczone na  $1\text{m}^2$  powierzchni koła wiatrowego dla wszystkich badanych rozwiązań.

Na podstawie przedstawionej charakterystyki (rys. 3) można wywnioskować, iż turbina o poziomej osi obrotu posiada zdecydowanie wyższą sprawność od turbin pionowych. Natomiast rozpatrując dwie wersje wykonania turbiny Savoniusa zauważamy, iż turbina z czterema łopatami (podwójna) jest sprawniejsza od wersji z dwoma łopatami. Różnica w sprawności pomiędzy tymi dwoma wersjami wprawdzie nie jest duża, jednak koszty produkcji zarówno jednej, jak i drugiej będą zbliżone, dlatego warto wykonać wersję podwójną.

## Wykorzystanie turbiny Savoniusa do ogrzewania wody

Wydatki związane z utrzymaniem domu jednorodzinnego w głównej mierze związane są z ogrzewaniem wody użytkowej oraz ogrzewaniem centralnym, dlatego ostatnio wielką popularnością w naszym kraju cieszą się kolektory słoneczne. Kolektory pozwalają w znacznym stopniu ograniczyć wydatki na ogrzewanie wody użytkowej. Niestety, ogrzewają wodę tylko w słoneczne dni i efektywnie tylko przez około 6 miesięcy (w najlepszym wypadku przez 9 miesięcy) w roku. W pozostałym okresie woda musi być podgrzewana z innego źródła. Rozwiązaniem, które może wspomóc lub ewentualnie zastąpić wspomniane wcześniej kolektory, może być zamontowanie małej elektrowni wiatrowej, do której (jako jedyny odbiornik energii elektrycznej) podpięte będą grzałki elektryczne zamontowane wewnątrz zasobnika wody (bojlera). Dzięki takiemu rozwiązaniu energia wiatru przekształcona w energię elektryczną będzie podgrzewała wodę. Takie rozwiązanie może być stosowane zamiast wspomnianych wcześniej kolektorów słonecznych. Stosując jednocześnie obydwa źródła, w lecie ciepło do ogrzania wody będzie dostarczane ze słońca, natomiast w zimie, gdy energii ze słońca jest najmniej, energia dostarczana będzie z wiatru, który może wiać całą dobę. Następną zaletą tego rozwiązania jest fakt, iż oba te źródła można stosować jednocześnie i jedno nie wyklucza drugiego. Idąc dalej i montując w naszej instalacji ogrzewania akumulator ciepła w postaci dobrze zaizolowanego, dużego zbiornika na wodę, z którego ciepło dostarczane będzie zarówno do instalacji CWU, jak i CO, i podpinając do niego wcześniej wspomniane kolektory słoneczne wraz z elektrownią wiatrową, to energia dostarczona do naszej instalacji,

która nie zostanie spożytkowana, zostanie wykorzystana na przykład do ogrzewania centralnego.

Nasuwa się pytanie: dlaczego do tego typu rozwiązań stosować turbinę wiatrową Savoniusa, skoro elektrownie o poziomych osiach obrotu mają wyższą moc oraz wyższą sprawność? Otóż rozpatrywane powyżej instalacje zastosowane będą w domkach jednorodzinnych. Takie domki z reguły budowane są w większych osiedlach i skupiają wokół siebie sąsiedztwo innych domków. Zastosowanie wiatraka o poziomej osi obrotu w takiej lokalizacji jest bardzo utrudnione, a wręcz niemożliwe. Konieczne jest zastosowanie masztu o sporej wysokości. Montaż na budynku jest w zasadzie wykluczony, ponieważ drgania oraz brak odporności na silny wiatr mogą stwarzać zagrożenie. Dodatkowo emitowany hałas może być uciążliwy dla najbliższego otoczenia. Ponadto elektrownie tego typu swoją moc osiągają przy wietrze o większej prędkości.

Zastosowanie turbiny Savoniusa pozwoli uniknąć większości z wymienionych wcześniej przeszkód. Konstrukcja tej turbiny pozwala zamontować ją bezpośrednio na dachu lub na elewacji, dodatkowo jest ona bardzo cicha i odporna na silne podmuchy wiatru. No i najważniejsze: tego typu elektrownia wiatrowa zaczyna produkować prąd już przy bardzo niskiej prędkości wiatru. Z pewnością ilość otrzymanej energii przy niskim wietrze jest niewielka, niemniej jednak jest to już energia, która może zostać przez nas wykorzystana.

Przykładowy koszt pionowej elektrowni wiatrowej o mocy 3kW (dostępnej na naszym rynku) to kwota ok. 25 tys. zł. Jest to kwota niewiele wyższa lub nawet zbliżona do instalacji, w której do ogrzewania wody wykorzystywane są kolektory słoneczne. Fakt ten sprawia, iż taka instalacja może być bardzo korzystną ekonomicznie alternatywą dla najbardziej popularnego w chwili obecnej rozwiązania (kolektory słoneczne) lub też świetnym dla niego uzupełnieniem (ze względu na możliwość pracy w ciągu całego roku).

## Zestawienie zalet i wad porównywanych konstrukcji

Podstawowym problemem hamującym rozwój elektrowni wiatrowych jest fakt, iż aby można było wykorzystać ją do zasilania gospodarstw domowych, powinna współpracować z bateriami fotoogniw, zestawem akumulatorów oraz inwerterem, co znacznie zwiększa koszty inwestycji i stawia pod znakiem zapytania jej opłacalność.

**Tab. 1.** Porównanie wad i zalet turbin o osiach poziomych i pionowych

Turbin o poziomej osi obrotu	
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> <li>– wyższa sprawność</li> <li>– estetyczny, harmonijny i nowoczesny wygląd</li> <li>– większy wybór typów, konstrukcji oraz producentów</li> <li>– dzięki wyższej sprawności łatwo osiągnąć wyższe moce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysoka prędkość obrotowa wymusza konieczność stosowania mechanizmów ograniczających obroty przy bardzo silnym wietrze</li> <li>– wymagają mechanizmu naprowadzania na wiatr</li> <li>– w przypadku umieszczenia generatora w gondoli wymagają zastosowania połączeń ślizgowych lub połączeń odpornych na zginanie i skręcanie</li> </ul>

Turbiny o pionowej osi obrotu	
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> <li>– jednakowa praca niezależnie od kierunku wiatru</li> <li>– uproszczona konstrukcja mechaniczna – brak mechanizmów ustawiających pod wiatr i ograniczających prędkość</li> <li>– możliwość łatwego montażu bezpośrednio na budynkach</li> <li>– cicha praca – nawet przy maksymalnej prędkości</li> <li>– odporność na silny wiatr</li> <li>– dużo niższy koszt produkcji</li> <li>– brak połączeń ślizgowych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niska sprawność – aby wytworzyć podobną moc co turbina pozioma, potrzebne są znacznie większe gabaryty</li> <li>– ze względu na niską prędkość obrotową potrzebny jest generator wolnobieżny lub przekładnia, która może ograniczyć dodatkowo sprawność i podnieść poziom hałasu</li> <li>– mały wybór dostępnych gotowych rozwiązań</li> </ul>

## Podsumowanie

Małe elektrownie wiatrowe są tematem bardzo „egzotycznym” w naszym kraju. O ile ogromne turbiny wiatrowe o dużych mocach to coraz częstszy widok w otaczających nas krajobrazie, o tyle te najmniejsze zrzyszają wokół siebie tylko wąskie grono zapaleńców i ze względu na wysokie koszty zakupu gotowych rozwiązań są to raczej urządzenia wykonywane sposobem garażowym. Dominuje tutaj konstrukcja oparta na turbinie o poziomej osi obrotu. Turbiny o pionowej osi obrotu wprawdzie coraz częściej zaczynają się pojawiać jako alternatywne rozwiązania, jednak są to tylko pojedyncze egzemplarze. Być może taka sytuacja wynika z małej liczby dostępnych gotowych rozwiązań, może to również wynikać z braku opracowań oraz badań wykonanych na działających i zainstalowanych w terenie elektrowni tego rodzaju.

Zaprezentowana w tej pracy turbina Savoniusa może stanowić świetne rozwiązanie dla wypełnienia tej luki. Warunki wietrzne panujące w naszym kraju są raczej kiepskie, dodatkowo nasze społeczeństwo na chwilę obecną nie jest społeczeństwem bogatym. Prosta konstrukcja tej turbiny, a co za tym idzie jej niski koszt oraz przyzwoite parametry dla niskich prędkości wiatru mogą być cechami, które przyczynią się do wzrostu popularności turbin o pionowych osiach obrotu.

Dodatkowym atutem przemawiającym za rozwojem tego typu elektrowni jest możliwość instalacji tych konstrukcji bezpośrednio na dachu domu lub na jego elewacji.

## Literatura

- [1] Cichy D. (red.), *Edukacja środowiskowa. Założenia i rzeczywistość po reformie szkolnej*, Zeszyty Naukowe 31, IBE, Warszawa 2002.
- [2] Depešová J., Tomková V., *Tradičné technológie a 21. storočie*, [w:] *Zborník Konferencia Katedra pedagogiky*, PF UKF, Nitra 2001, s. 410–413.
- [3] Kozaczyński W., *Edukacja ekologiczna młodzieży szkół ponadpodstawowych w wybranych rejonach Polski południowo-wschodniej*, PAN, Kraków 2003.
- [4] Kozik T., Vargová M., *Štúdium učiteľstva v odbore učiteľstvo profesijných predmetov a praktickej prípravy*, [w:] *Technické vzdelávanie v informačnej spoločnosti. Zborník*, PF UKF, Nitra 2004, s. 55–72.

- [5] Noga H., *Wybrane aspekty edukacji informatycznej dzieci i młodzieży. Technika – Informatyka – Edukacja. Teoretyczne i praktyczne podstawy edukacji informatycznej*, tom VI, R. D. U. Rz. 2006, s. 111–116.
- [6] Polak A., Baranski M., *Porównanie turbin wiatrowych Bobrme Komel, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne* Nr 74/2006.
- [7] *Polityka ekologiczna państwa*, [www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl)

## **Construction, advantages and disadvantages of a small wind turbine with a vertical axis-turbine of the Savonius type**

### **Abstract**

This article describes the construction, advantages and disadvantages of a small vertical wind turbine with savonius rotor. There is also presented the results of comparison of two wind turbines: vertical and horizontal axis. Furthermore, there is shown an alternative use of savonius turbine to heat water in private houses.

**Key words:** didactics, technology, ecology

Krzysztof Pytel, Marek Polit  
UP – Kraków  
Instytut Techniki