

Artur Polak, Marcin Barański
BOBRME Komel, Katowice

PORÓWNANIE TURBIN WIATROWYCH

WIND TURBINES COMPARISON

Abstract: This article describes types of wind turbines, their constructions, advantages and disadvantages. It presents simplify algorithm of wind – mills calculations and comparison: yacht – turbine JSW – 800 – 12 BOBRME “Komel’s“ production and VAWT constructions prototypes. The laboratory tests were performed of both type turbines (3 sets). Figure 6 presents results of tests of power density vs. wind speed of described turbines. The paper describes possibilities of wind – mill exploitations.

1. Wstęp

Pozyskiwanie energii z wiatru to na dzień dzisiejszy jedna z najbardziej efektywnych i opłacalnych metod, bazujących na rozwiązaniach niekonwencjonalnych. Może być ona wykorzystywana zarówno na potrzeby systemów energetycznych, jaki i na potrzeby odbiorców indywidualnych. To w tym rozwiązaniu przewiduje się przyszłość. Świadczy o tym stale rozwijająca się pozycja energetyki wiatrowej na świecie. Zasoby wiatru, które nadają się na wytworzenie energii elektrycznej dają cztery razy większe ilości energii niż wynosi jej globalne zużycie w ciągu roku. Obecnie w Europie prowadzonych jest szereg programów mających na celu promowanie tego sposobu pozyskiwania elektryczności oraz poszukiwanie bardziej efektywnych rozwiązań konstrukcyjnych samych turbin wiatrowych.

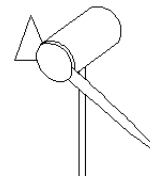
2. Podział turbin wiatrowych

Turbina obok generatora jest najważniejszym elementem elektrowni wiatrowej. Za jej pośrednictwem pozyskiwana jest energia mechaniczna ze strugi powietrza. Jej parametry konstrukcyjne decydują o właściwościach całej siłowni, jaką posiada ona moc i prędkość obrotową. Od konstrukcji koła wiatrowego zależą gabaryty urządzenia. W oparciu o rozwiązanie tego problemu dobierane są kolejne elementy całego urządzenia, jak np. generator, przekładnia lub jej brak oraz wysokość masztu lub konstrukcji nośnej.

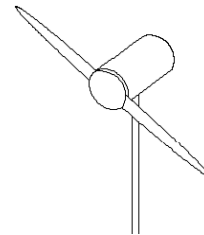
Silniki wiatrowe możemy podzielić na:

- poziomej osi obrotu – HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)

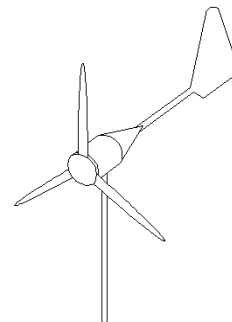
- ✓ jednopłatowe



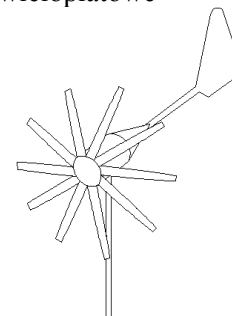
- ✓ dwupłatowe



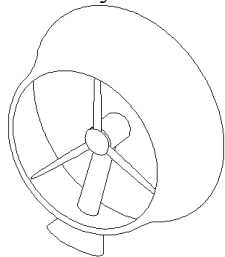
- ✓ z trzema łopatomi



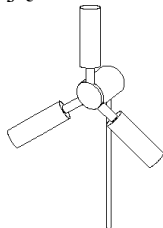
- ✓ silniki wielopłatowe



- ✓ wyposażone w dyfuzor

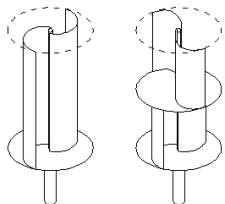


- ✓ wykorzystujące efekt Magnusa

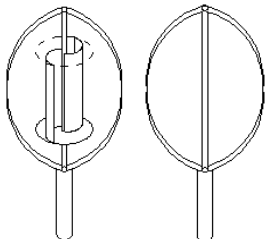


- pionowej osi obrotu – VAWT (Vertical Axis Wind Turbine)

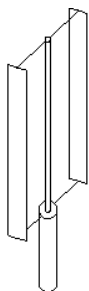
- ✓ Savonius



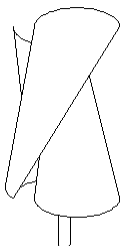
- ✓ Turbina Darrieus'a



- ✓ H-Rotor



- ✓ Turbina świderkowa



3. Algorytm obliczeniowy turbin wiatrowych

W tej części pracy przedstawiono algorytm pozwalający określić w przybliżony sposób optymalne parametry i wytyczne konstrukcyjne dla turbin o osi obrotu poziomej jak i pionowej.

- zakładana jest prędkość wiatru v_0 , temperatura t , ciśnienie powietrza p
- gęstość powietrza

$$\rho = \rho_1 \frac{p_1 t_1}{p_1 (t_1 + t)}$$

t_1 - temperatura dla znanej gęstości powietrza

p_1 - ciśnienie powietrza dla znanej gęstości powietrza

ρ_1 - znana gęstość powietrza

- prędkość wiatru za turbiną

$$v_2 = \frac{v_0}{3}$$

- prędkość w turbinie

$$v_1 = \frac{v_0 - v_2}{2}$$

- ciężar właściwy

$$\gamma = \rho \cdot g$$

- wysokość turbiny h
- liczba łopatek l_p
- średnica turbiny D_w
- średnica wewnętrzna turbiny d
- powierzchnia A

- turbiny HAWT

$$A = \pi \frac{D_w^2}{4}$$

- Savonius

$$A = D_w \cdot h$$

- masa powietrza przepływającego przez koło wiatrowe w ciągu sekundy

$$m = \rho \cdot A \cdot v_1$$

- objętość powietrza w turbinie

$$V = \frac{m \cdot g}{\gamma}$$

- teoretyczny współczynnik wykorzystania wiatru

$$\xi_t = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_0} \right)^2 \right] \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_0} \right)$$

- współczynnik szybkobieżności Z

- i - liczba elementów, na które podzielona jest łopata turbiny HAWT
- długość wycinka łopaty

$$l = \frac{D_w - d}{2 \cdot i}$$

- promień łopaty - łopatę podzielona jest na i kawałków i obliczenia prowadzone są dla tej liczby elementów łopaty, k - k -ty element łopaty - HAWT

$$r_k = \frac{d}{2} + l \cdot k$$

- Savonius

$$r = \frac{D_w}{2}$$

- prędkość obrotowa końcówki łopaty

$$n = \frac{30 \cdot Z \cdot v_1}{\pi \cdot r}$$

- prędkość obwodowa

$$u_k = \frac{\pi \cdot r_k \cdot n}{30}$$

- prędkość względna strugi powietrza w kole wiatrowym

$$w_k = \sqrt{v_1^2 + u_k^2}$$

- szerokość łopatki

$$s_k = \frac{[4\pi \cdot r_k \cdot v_1 \cdot (v_0 - v_2)]}{l_p \cdot w_k (u_k \cdot C_y + v_0 \cdot C_x)}$$

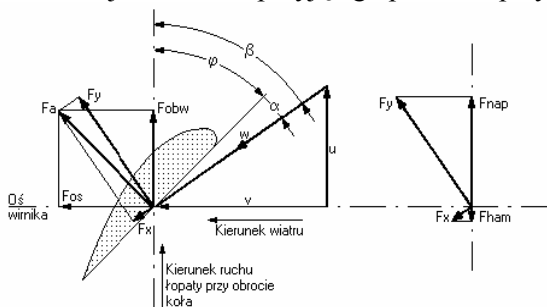
- siła nośna

$$Fy_k = C_y \cdot \rho \cdot s_k \frac{w_k^2}{2}$$

- siła oporu

$$Fx_k = C_x \cdot \rho \cdot s_k \frac{w_k^2}{2}$$

- C_x, C_y – współczynniki siły oporu oraz siły nośnej zależne od przyjętego profilu łopaty



Rys.1. Siły oddziaływujące na łopatę

- siła aerodynamiczna

$$Fa_k = \sqrt{Fy_k^2 + Fx_k^2}$$

- siła wywierająca nacisk osiowy

$$Fos_k = \frac{u_k}{w_k} \cdot Fy_k + \frac{v_0}{w_k} \cdot Fx_k$$

- siła hamująca

$$Fham_k = \frac{u_k}{w_k} \cdot Fx_k$$

- siła napędzająca

$$Fnap_k = \frac{v_0}{w_k} \cdot Fy_k$$

- siła powodująca obrót turbiny

$$Fobw_k = Fnap_k - Fham_k$$

- sprawność aerodynamiczna η_a

- sprawność mechaniczna η_m

- moc turbiny wiatrowej

- HAWT

$$N = \eta_a \eta_m l_p \sum_{k=1}^i Fobw_k u_k$$

- Savonius z dwiema łopatami

$$N = \eta_a \eta_m l_p Fobw \cdot u$$

- Savonius z czterema łopatami

$$N = \eta_a \eta_m \frac{l_p}{2} Fobw \cdot u$$

- moment obrotowy turbiny wiatrowej

- HAWT

$$M = \eta_a \eta_m l_p \sum_{k=1}^i Fobw_k r_k$$

- Savonius z dwiema łopatami

$$M = \eta_a \eta_m l_p Fobw \cdot r$$

- Savonius z czterema łopatami

$$M = \eta_a \eta_m \frac{l_p}{2} Fobw \cdot r$$

4. HAWT vs VAWT

Poniżej przedstawiono porównanie turbiny jachtowej JSW – 800 – 12 z dwoma prototypami turbiny o pionowej osi obrotu, nad którymi prowadzone są badania w laboratorium BOBRME „Komet”.



Rys.2. JSW – 800 – 12



Rys.3. JSW – 800 – 12 – badania

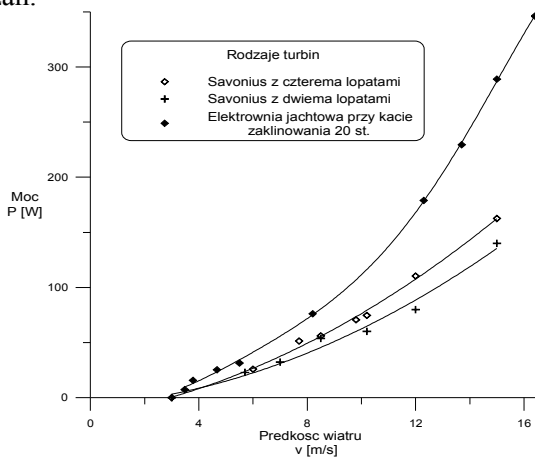


Rys.4. Savonius z dwiema łopatkami – badania



Rys.5. Savonius z czterema łopatkami – badania

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 1m^2 powierzchni koła wiatrowego dla wszystkich badanych rozwiązań.

Rys.6. Charakterystyka $P = f(v)$ dla 1m^2 powierzchni koła wiatrowego

5. Zalety oraz wady silników wiatrowych

- konstrukcje o poziomej osi obrotu
 - zalety:
 - ✓ posiadają wyższą sprawność od turbin o pionowej osi obrotu,
 - ✓ posiadają estetyczny i harmonijny wygląd.
 - wady:
 - ✓ ze względu na wysoką prędkość obrotową
 - ✓ wymagają mechanizmu, który przy bardzo silnym wietrze ogranicza obroty turbiny,
 - ✓ wymagają mechanizmu „naprowadzania na wiatr”,
 - ✓ w przypadku umieszczenia generatora w gondoli wymagają zastosowania połączeń ślizgowych
- konstrukcje o pionowej osi obrotu
 - zalety:
 - ✓ jednakowa praca niezależna od kierunku wiatru - nie wymagają mechanizmu „ustawiania na wiatr”, a więc uproszczona konstrukcja mechaniczna oraz sterowanie,
 - ✓ możliwość łatwego montażu na obiektach - nie jest konieczne budowanie wysokich masztów,
 - ✓ możliwość montażu na dachach budynków, słupach, istniejących konstrukcjach masztów, itp,
 - ✓ cicha praca - nawet przy maksymalnej prędkości obrotowej.
 - ✓ odporność na silny wiatr - nie wymaga zatrzymania nawet przy wietrze o prędkości 40 m/s - kształt wirnika zapewnia aerodynamiczne ograniczenie prędkości obrotowej,
 - ✓ odporność w warunkach zimowych na pokrycie szadzią, szronem czy lepkiem śniegiem - dzięki niewielkiej średnicy i niskiej prędkości obrotowej, niewyważa wirnika z tego powodu nie powoduje dużych niebezpiecznych drgań,
 - ✓ bezobsługowa praca zespołu prądotwórczego – brak połączeń ślizgowych
 - ✓ możliwa jest konstrukcja przenośna dzięki łatwemu montażowi i demontażowi,

- ✓ stosunkowo niski koszt w porównaniu z klasycznym wiatrakiem o poziomej osi obrotu,
- ✓ estetyczny wygląd - podczas pracy wrażenie cyklicznej zmiany kształtu, daje nowe możliwości umieszczenia reklam czy też wykorzystania jako element scenografii krajobrazu,
- wady:
 - ✓ niska sprawność, aby wytworzyć taką samą ilość energii, co tradycyjne turbiny wymagają znacznie większych gabarytów,
 - ✓ ze względu na niewielką prędkość obrotową potrzebny jest generator wolnobieżny lub przekładnia, której zastosowanie zmniejsza dodatkowo sprawność urządzenia i przyczynia się do zwiększenia emisji hałasu.

6. Możliwości wykorzystania

- produkcja energii elektrycznej na skalę lokalną bądź krajową,
- podświetlanie tablic informacyjnych i reklamowych nocą – konstrukcje VAWT nie wymagają wysokich masztów,
- miejsca, gdzie wieją ekstremalnie silne wiatry: górskie chaty, nadmorskie pensjonaty – morze i góry to miejsca gdzie wiatr może osiągać ogromne prędkości. Turbiny o pionowej osi obrotu doskonale sprawdzają się w takich warunkach i dzięki nim osiągają o wiele lepsze parametry niż ma to miejsce w warunkach normalnych,
- dachy budynków, wieżowców – symulacje komputerowe pokazują ok. 30% zwiększenie prędkości wiatru kilka metrów nad dachem w porównaniu do przepływu bez obecności budynku. Daje to ponad dwu-krotny wzrost mocy uzyskanej dzięki usadowieniu turbiny w takim miejscu,
- balkony i tarasy,
- domy jednorodzinne, ogrody, altanki
- morskie znaki nawigacyjne,
- rolnictwo - zasilanie elektryczne maszyn i urządzeń gospodarczych,
- zasilanie pomp melioracyjnych,
- hodowla ryb, zasilanie urządzeń do napowietrzania i rekultywacji zbiorników wodnych, podgrzewanie wody

- ogrzewanie elektryczne w produkcji szklarniowej.

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono kilka rozwiązań konstrukcyjnych małych siłowni wiatrowych. Porównaniu poddano dwa typy turbin, będących reprezentatywnymi dla swojej grupy:

- turbinę z poziomą osią obrotu (trój-planetową) o średnicy koła wiatrowego 800 mm,
- turbinę z pionową osią obrotu (Savonius),

Opisano możliwości wykorzystania tych urządzeń, a także sposób projektowania turbiny wiatrowej. Porównano urządzenia o poziomej i pionowej osi obrotu. Tradycyjnie spotykane turbiny z trzema łopatom doskonale wykorzystują strugę wiejącego wiatru i są przez to bardzo efektywne, lecz mają kilka wad, które ograniczają ich zastosowanie. Turbiny VAWT mają niską sprawność oraz duże gabaryty, lecz odznaczają się kilkoma zaletami, które w pewnych warunkach sprawiają, że stają się one atrakcyjną alternatywą.

Literatura

- [1]. W. Jagodziński “*Silniki wiatrowe*”; PWT. Warszawa 1959
- [2]. W. Nowak, A. Stechel “*Ocena możliwości wykorzystania energii wiatru w Polsce na tle krajów europy i świata*”; FRPZ. Szczecin 2004
- [3]. R.Konieczny “*Silnik wiatrowy Savoniusa*” - artykuł: Czysta Energia 03/2005
- [4]. M.Hackleman “*Electricity from the wind*” - Backwoods Home Magazine: 03/04 2000
- [5]. P. Cooper, O. Kennedy “*Development and analysis of a novel vertical axis wind turbine*”; Australia 1998
- [6]. S. Krohn “*Guided tour on wind energy*”; 2002
- [7]. T.Burton, D.Sharpe, N.Jenkins, E.Bosanyi “*Wind energy handbook*”; 2001
- [8]. G.L.Johnson “*Wind energy systems*”; 2001
- [9]. H.Dobesch, G.Kury “*Basic Meteorological concepts and recommendations for the exploitation of wind energy in the atmospheric boundary layer*”; Austria. 2000

Autorzy

dr inż. Artur Polak
BOBRME Komel, 41-209 Sosnowiec,
ul. Moniuszki 29; tel. (032) 299-93-81 wew.21;
e-mail: labor@komel.katowice.pl
mgr inż. Marcin Barański
BOBRME Komel, 41-209 Sosnowiec,
ul. Moniuszki 29; tel. (032) 299-93-81 wew.22;
e-mail: labor@komel.katowice.pl