

ZAGOSPODAROWANIE ENERGII WIATRU PRZY UŻYCIU MAŁYCH TURBIN WIATROWYCH O PIONOWEJ OSI OBROTU

Anna OSTROWSKA-BUĆKO*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W opracowaniu dokonano charakterystyki energii wiatru i sposobu jej przetwarzania w energię elektryczną. Zaprezentowano dwa rozwiązania konstrukcji turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu i o poziomej osi obrotu uwzględniając ich wady i zalety. Ponadto przeanalizowano warunki klimatyczne w Polsce pod kątem zasobów wiatru i lokalizacji turbin wiatrowych. W opracowaniu wskazano turbiny o pionowej osi obrotu jako rozwiązania pozwalające na szersze i lepsze wykorzystanie zasobów wiatrów w Polsce. Pozyskiwana w ten sposób energia wspomaga istniejące indywidualne instalacje grzewcze bądź oświetleniowe i poprawia lokalne bezpieczeństwo energetyczne.

Słowa kluczowe: energia wiatru, turbina wiatrowa.

1. Wprowadzenie

Pojawiające się w ostatnich latach w Europie Wschodniej konflikty dotyczące dostaw gazu ziemnego dotyczą istotnego problemu zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego tych krajów, których gospodarka opiera się na konwencjonalnych źródłach energii. Współczesna energetyka bazuje na eksploatacji zasobów surowców kopalnianych, takich jak: węgiel kamienny, ropa naftowa czy gaz ziemny. Surowce te charakteryzują się ograniczeniem zasobów i uzależniają wiele państw od potentatów rynku paliwowego. W związku z tym, pojawia się potrzeba dywersyfikacji i zastępowania tych źródeł, przede wszystkim poprzez szersze wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych. Odnawialne źródła energii (OZE) stają się coraz atrakcyjniejszą alternatywą ze względu na swój niewyczerpalny, bo ciągle odnawialny potencjał, przystępność oraz obecność bardziej zaawansowanych technicznie urządzeń pozwalających na jej coraz efektywniejsze pozyskiwanie i przetwarzanie. OZE ze względu na szereg swych zalet i zmniejszoną emisję zanieczyszczeń są niewątpliwie cennym i pożądanym źródłem energii sprzyjającym uniezależnieniu gospodarki światowej od konwencjonalnych źródeł energii.

W polityce energetycznej Polski istotne znaczenie ze względu na dostępność i potencjał do wykorzystania ma energia wiatru. Technologia pozyskiwania tej energii w ostatnich latach rozwija się bardzo intensywnie. Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej i opłacalność związanych z nią inwestycji sprawia, że staje się ona interesującym sposobem rozwiązania problemów energetycznych obszarów pozbawionych tradycyjnych

źródeł energii i jednocześnie nabiera niebagatelного znaczenia w energetyce.

Współczesna, zaawansowana technika przetwarzania energii wiatru w elektryczną energię użytkową koncentruje się na instalowaniu coraz większych zespołów turbin wiatrowych o wale poziomym. Potężne konstrukcje wieżowe dochodzą do wysokości nawet 100 metrów, przez co zakłócają naturalny pejzaż Ziemi i są źródłem uciążliwego hałasu. Obiekty takie nastroją poważnych trudności, które są nie do przeczytżenia w warunkach klimatycznych Polski. W dużych elektrowniach produkcja energii zależy od silnych wiatrów – powyżej 5 m/s.

Na obszarze Polski wiatry o takiej prędkości i wyższe występują zaledwie przez 20% dni i tylko w wąskim pasie terenów nadmorskich (Lebiedowski, 2008). Na pozostałym obszarze przeważają wiatry słabe i bardzo słabe o prędkości 2-5 m/s. Rozwiązaniem konstrukcyjnym dającym obiecujące wyniki generowania mocy już przy średniorocznych prędkościach wiatru powyżej 2 m/s są rotory wiatrowe o pionowej osi obrotu.

Uzasadnione są zatem rozważania i poszukiwanie rozwiązań najbardziej efektywnego zagospodarowania energii wiatrowej w warunkach klimatycznych Polski.

2. Charakterystyka energii wiatru

Energia wiatru jest przekształconą formą energii słonecznej. Zjawisko wietrzności atmosfery (wiatru) jest powodowane ruchem mas powietrza generowanym nierównomiernym rozkładem ciśnienia atmosferycznego nad powierzchnią Ziemi.

Różnica potencjałów w atmosferze wynika z kulistego kształtu Ziemi i nierównomiernego ogrzewania

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: ana.ostrowska@o2.pl

jej powierzchni przez promieniowanie słoneczne. Na kierunek przemieszczania się mas powietrza wpływ ma również różnica temperatury między lądem a oceanem, ruch wirowy Ziemi i zjawisko szybszego nagrzewania i schładzania lądu w porównaniu do powierzchni wód.

Szacuje się, że do powierzchni Ziemi dociera około 1-2 % energii słonecznej ulegającej przekształceniu w energię kinetyczną wiatru, której jest około 2700 TW. (Lewandowski, 2010).

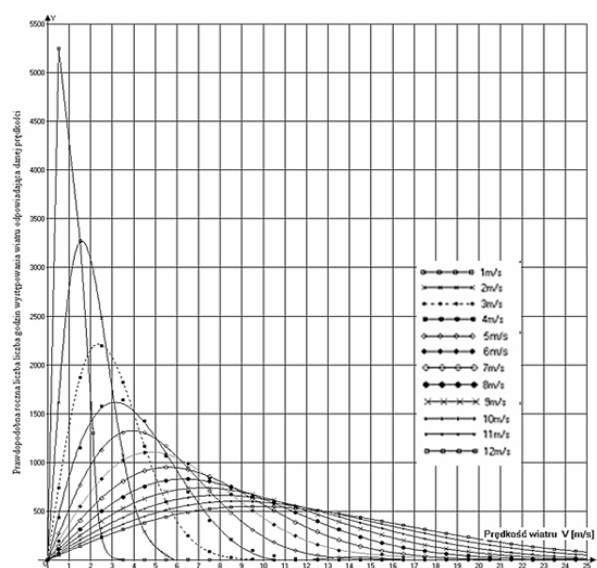
Światowy potencjał energetyczny wiatrów pod względem możliwości zainstalowania siłowni wiatrowych szacuje się na poziomie 40 TW nad powierzchnią lądów i 20 TW nad otwartym morzem (Gumułka i in., 2006).

2.1. Moc wiatru

Zjawisko wiatru można opisać za pomocą szeregu parametrów: takich jak prędkość wiatru wraz z przypisaną mu odpowiednią skalą, gęstość powietrza i ciśnienie atmosferyczne. W zagadnieniach wykorzystania wiatru w energetyce za pomocą urządzeń przetwarzających energię kinetyczną powietrza na energię mechaniczną znaczenie ma prędkość oraz jej rozkład przestrzenny i czasowy.

Opłacalność inwestycji w energetykę wiatrową jest silnie uzależniona od prędkości średniorocznych wiatru i częstotliwości jego występowania.

Prędkość wiatru jest wielkością zmieniającą się w sposób stochastyczny i można ją opisywać jedynie w sposób statystyczny. Podstawowym parametrem charakteryzującym wielkość zmieniającą się w sposób losowy jest jej wartość średnia w czasie. Średnioroczne prędkości wiatru dla danego obszaru, będące efektem wieloletnich pomiarów, są przedstawiane dla danego terenu w postaci map (Lewandowski, 2010). Zmienność prędkości wiatru jest z dobrym przybliżeniem opisywana przez rozkład Weibulla (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład Weibulla. Charakterystyka lokalnych prędkości wiatru (zasobów energii) w zależności od prędkości średniorocznych. (Gumułka i Wodniak, 2008)

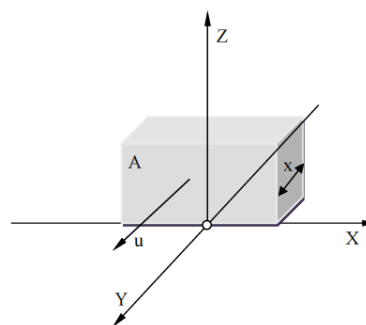
W oparciu o taki rozkład określa się charakterystykę lokalnych zasobów wiatru. Rozkład Weibulla w postaci zbioru charakterystyk przedstawia zależność przewidywanej liczby godzin wiania wiatru z określoną prędkością. (Gumułka i Wodniak, 2008).

Prędkość wiatru, przy określonej gęstości powietrza, pozwala określić energię kinetyczną strumienia wiatru napływającego na wirnik elektrowni. Z kolei znajomość energii kinetycznej umożliwia określenie mocy strugi wiatru (www.baza-oze.pl).

Energię kinetyczną masy powietrza m (rys. 2) poruszającej się z prędkością u w kierunku x można wyrazić zależnością (Johnson, 1985):

$$U = \frac{1}{2} \rho A u^3 = \frac{1}{2} (\rho A x) u^3 \quad (1)$$

gdzie: A jest przekrojem powierzchni czołowej strumienia powietrza w m^2 , ρ jest gęstością powietrza w kg/m^3 , x jest szerokością strumienia powietrza w m , a u to prędkość strumienia powietrza w m/s .



Rys. 2. Objętość powietrza o powierzchni natarcia A poruszająca się z prędkością u (Johnson, 1985)

Wówczas moc wiatru można wyrazić jako różniczkowy wzrost energii kinetycznej względem czasu:

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad [W] \quad (2)$$

Strumień energii wiatru można wyrazić następująco (Chmielniak, 2004):

$$E_w = \frac{1}{2} \rho A \int_0^T u^3 dt \quad [J/m] \quad (3)$$

gdzie T jest okresem czasu w którym wyznacza się energię, wyrażonym w h .

Dla energetyki wiatrowej obliczenia przeprowadza się dla temperatury $15^\circ C$ i ciśnienia 1013 hPa , przy których $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Przyjmując jednostkową powierzchnię natarcia $A = 1,0 \text{ m}^2$ otrzymuje się moc zawartą w wietrze w funkcji jego prędkości (Michalak, 2009):

$$P_w = 0,6125 u^3 \quad [W/m^2] \quad (4)$$

Z powyższych zależności wynika, że prędkość wiatru występuje w trzeciej potędze i determinuje wartość mocy jaką możemy z niego uzyskać. W związku z tym,

podwojenie wartości prędkości wiatru prowadzi do ośmiokrotnego zwiększenia energii w nim zawartej.

Punktem wyjścia w przypadku wykorzystania energii wiatru jest jego średnioroczna prędkość, która decyduje o opłacalności inwestycji pod względem ekonomicznym. W warunkach Polski (Soliński, 1999) przyjmuje się, że prędkość > 4 m/s kwalifikuje dany obszar jako korzystny dla energetyki wiatrowej. Prędkość średnia nie jest jednak jedynym czynnikiem decydującym o przydatności danego miejsca na inwestycję aeroenergetyczną. Rozkład prędkości wiatru może mieć różne kształty przy takiej samej średniorocznej prędkości wiatru. Istotne są udziały prędkości o niskich i wysokich wartościach (Michalak, 2009). Podczas planów lokalizacji turbiny wiatrowej bardzo ważne jest określenie wpływu właściwości terenu, na którym wiatry występują i zmiany szybkości wiatru w zależności od wysokości występowania jego strumienia. Średnia prędkość wiatru wzrasta wraz z wysokością nad powierzchnią ziemi. Korzystne jest zatem usytuowanie turbin na wysokich wierzchołkach, gdyż na większych wysokościach są lepsze warunki wiatrowe.

Do opisu rozkładu prędkości wiatru w funkcji wysokości i wpływu właściwości terenu na jego rozkład służy zależność logarymiczna (Flaga, 2008):

$$\frac{u(z_1)}{u(z_2)} = \frac{\ln(z_2) - \ln(z_0)}{\ln(z_1) - \ln(z_0)} \quad [\text{m/s}] \quad (5a)$$

gdzie: $u(z_1)$ i $u(z_2)$ oznaczają odpowiednio prędkości wiatru na wysokościach z_1 i z_2 , natomiast z_0 oznacza szorstkość terenu.

lub zależność wykładnicza:

$$\frac{u(z_1)}{u(z_2)} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad [\text{m/s}] \quad (5b)$$

gdzie α jest wykładnikiem zależny od szorstkości i czasu uśredniania pomiarów prędkości wiatru.

Z obu wyżej przedstawionych zależności wynika, że na pionowy profil wiatru największy wpływ ma szorstkość terenu. Przez szorstkość terenu rozumie się różnorodność jego powierzchni będącej wynikiem znajdujących się w strefie przemieszczania wiatru przeszkód. Powierzchnia bardzo szorstka hamuje przepływ wiatru i powoduje silne zawirowania. Wielkość ta wpływa w istotnym stopniu na ocenę opłacalności inwestycji.

Fakt, że prędkość wiatru wzrasta znacząco wraz z wysokością, przekłada się na wysokość nowoczesnych elektrowni wiatrowych, które osiągają wysokość od 60 m do 160 m. Według Radziejewicza usytuowanie gondoli turbozespołu wiatrowego na wysokości 160 m nad poziomem gruntu umożliwi zwiększenie energii wiatru od 35% do 45% w odniesieniu do takiego samego turbozespołu umieszczonego na wysokości 100 m.

Daje to potencjalnie dużo większe możliwości produkcji energii elektrycznej oraz zwiększenie przychodu z jej sprzedaży (www.ecoenergia.pl).

3. Przetwarzanie energii wiatru

W energetyce wykorzystywane są turbiny z osią poziomą (najbardziej rozpowszechnione) lub pionową, w których przekształcanie energii kinetycznej wiatru w energię mechaniczną związane jest z siłą nośną generowaną na łopacie wirnika. Przez siłę nośną rozumie się siłę oddziaływania płynu na profil łopatki wirnika turbiny prostopadłą do kierunku prędkości (Chmielniak, 2004; www.itdg.org).

Należy mieć świadomość, że pozyskanie całkowitej energii niesionej przez wiatr nie jest możliwe. W 1919 roku Betz określił maksymalną teoretyczną sprawność elektrowni wiatrowej i do tej pory żadna z istniejących konstrukcji elektrowni wiatrowych jej nie przekroczyła, ani nawet nie osiągnęła. Według Betza w turbinie wiatrowej można zmienić jedynie 16/27, czyli 59% energii kinetycznej zawartej w wietrze na użyteczną energię mechaniczną. Przy czym, ma to miejsce przypadku gdy stosunek prędkości powietrza u_2 (za) do u_1 (przed) turbiną wiatrową wynosi 1/3 (www.intechopen.com).

3.1. Turbiny wiatrowe

Najważniejszym elementem każdej elektrowni wiatrowej bez względu na to czy funkcjonuje ona na poziomie energetyki zawodowej, czy jedynie lokalnie zaspakają potrzeby indywidualnego odbiorcy, jest turbina wiatrowa. To za jej pośrednictwem ze strumienia powietrza pozyskiwana jest energia mechaniczna, a jej parametry konstrukcyjne decydują o właściwościach i osiąganej mocy całej siłowni wiatrowej. Dopiero w oparciu o konkretne rozwiązanie konstrukcji silnika wiatrowego i jego gabaryty dobierane są pozostałe elementy kompletnego już urządzenia, jak na przykład generator, przekładnia lub jej brak czy konstrukcja wsporcza (Polak i Barański, 2006).

Turbiny wiatrowe można podzielić na:

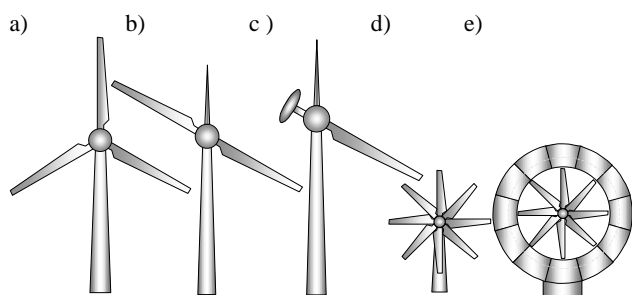
- turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu,
- HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbines*) – rysunek 3,
- rotory wiatrowe o pionowej osi obrotu VAWT (*Vertical Axis Wind Turbines*) – rysunek 4.

Wśród konstrukcji silników wiatrowych o poziomej osi obrotu HAWT wyróżnia się turbiny:

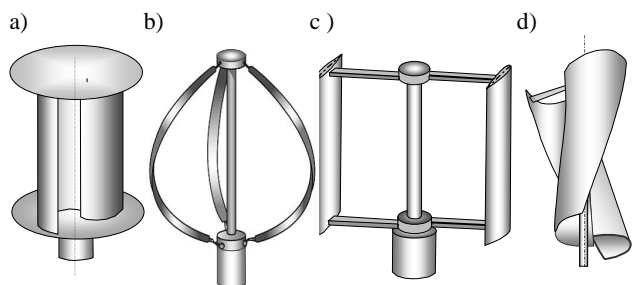
- jednopłatowe,
- dwupłatowe,
- z trzema łopatkami,
- silniki wielopłatowe,
- silniki wielołopatowe wyposażone w dyfuzor.

Do rotorów (turbin) o pionowej osi obrotu zalicza się:

- rotor Savoniusa,
- rotor Darrieusa,
- H-rotory.



Rys. 3. Konstrukcje turbin HAWT (Sorko, 2012):
a) trójłopatowe, b) dwułopatowe, c) jednołopatowe,
d) wielołopatowe, e) wyposażone w dyfuzor



Rys. 4. Konstrukcje turbin VAWT (Sorko, 2012):
a) Savoniusa, b) turbina Darrieusa, c) H-rotor,
d) turbina świderkowa

4. Turbiny o wale poziomym

Powszechnie zastosowanie znalazły turbiny z osią poziomą i stanowią one 95% turbin wiatrowych. Typowa turbina wiatrowa składa się ze stalowej wieży o wysokości 30-100 metrów i ma dwie lub trzy łopaty o średnicy 20-100 m. Istnieją także modele o jednej łopacie z przeciwwagą. Największe turbiny wiatrowe osiągają moce rzędu 5 MW i mają rozpiętość łopat 120 m. Maszyny dużych mocy są instalowane na morzach. W końcu pierwszej dekady tego wieku miały pojawić się na morzach elektrownie wiatrowe o mocy rzędu 6-10 MW, a ostateczny limit wielkości osiowych turbin wiatrowych nie został jeszcze osiągnięty.

5. Turbiny o osi pionowej

Turbiny z osią pionową stanowią około 5% turbin wiatrowych obecnie stosowanych i mają zazwyczaj wysokość do około 30 m i średnicę do 15 m. Historycznie są to pierwsze konstrukcje silników wiatrowych, jednak różne tego typu rozwiązania były dyskredytowane ze względu na wspólny mankament, jakim jest okresowe zginanie łopat w funkcji kąta obrotu (azymut łopaty) oraz pulsujący moment obrotowy wirnika (funkcja azymutu). W celu ograniczenia pulsacji momentu pojawiły się rozwiązania z zastosowaniem łopat helikoidalnych, na przykład turbina Turby opracowana w TU Delft będąca modyfikacją turbiny Darrieusa albo turbina świderkowa będąca modyfikacją rotora Savoniusa.

Wśród turbin wiatrowych o osi pionowej można zasadniczo wyróżnić dwie podstawowe konstrukcje: Savoniusa i Darrieusa przy czym żaden z tych typów nie jest obecnie szeroko stosowany.

5.1. Turbina Darrieusa

Turbina Darrieusa została opatentowana we Francji w 1931 roku. Jej autor G. J.-M. Darrieus, w zasadzie opatentował dwie turbiny – najpopularniejszy obecnie typ, z łopatami wygiętymi w kształt litery C (rys. 4b), oraz tak zwany Giromill, czyli H-rotor z prostymi łopatami.

Działanie tego typu elektrowni wiatrowej opiera się na zjawisku wytwarzania siły nośnej. Siła ta powstaje na specjalnie wyprofilowanych płatach turbin. Każda z łopat turbiny Darrieusa wytwarza maksymalny „ciąg” (moment) jedynie dwa razy na obrót, więc moment obrotowy, ma więc charakter sinusoidalny (Utkin, 2005).

Turbiny o osi pionowej mają szereg zalet: ich praca jest niezależna od kierunku wiatru, nie potrzebują wieży, charakteryzują się cichą pracą nawet przy maksymalnych prędkościach wiatru, ponadto obsługa jest prostsza ze względu na możliwość umieszczenia generatora i skrzyni biegów na powierzchni terenu, a same urządzenia mechaniczne i elektryczne są na ogół prostsze. Nie są pozbawione wad: wiatr nad powierzchnią terenu jest znacznie słabszy i obniża znacznie sprawność konstrukcji, a wymiana samego łożyska wymaga rozbioru całej elektrowni. Ponadto wirnik Darrieusa wymaga, ze względu na praktycznie zerowy moment startowy, wstępnego rozpędzenia. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie dwóch pomocniczych wirników Savoniusa.

5.2. Turbina Savoniusa

Wynaleziona w Finlandii w 1922 roku turbina Savoniusa w widoku z góry przypomina literę S. Koncepcja wirnika typu Savoniusa opiera się przede wszystkim na wykorzystaniu zjawiska siły parcia aerodynamicznego. Rotor tego typu obraca się relatywnie powoli, lecz generuje spory moment obrotowy. Pod względem sprawności nie może konkurować z klasycznymi konstrukcjami o osi poziomej czy też z wirnikiem Darrieusa, ale jego niewątpliwą zaletą jest prosta konstrukcja. Wirniki tego typu zwykle wykorzystywane są do napędzania pomp oraz produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych o małych mocach. Prostota konstrukcji i możliwość jej wykonania z materiałów ogólnie dostępnych, przy użyciu podstawowych narzędzi sprzyja rozprzestrzenianiu się konstrukcji typowo amatorskich (budowanych z blachy falistej lub stalowych beczek).

Model Savoniusa ma liczne zalety – duży dodatni moment obrotowy umożliwia pracę przy niskich prędkościach wiatru. Rotor pracuje niezależnie od kierunku wiatru, przez co nie potrzebuje mechanizmu „ustawiania na wiatr” i sterowania, a jednocześnie jest odporny na silny wiatr. Nawet przy wietrze 40 m/s nie wymaga zatrzymania, gdyż kształt wirnika zapewnia aerodynamiczne ograniczenie prędkości obrotowej. Ponadto, charakteryzuje się możliwością łatwego montażu na obiektach (dach budynku, słup) bez konieczności budowania wysokich masztów. Generator do produkcji energii elektrycznej można zlokalizować na poziomie

gruntu co umożliwia łatwy do niego dostęp. Sama konstrukcja może być przenośna dzięki łatwemu montażowi i demontażowi. Dodatkowo, posiada estetyczny wygląd – podczas pracy cykliczne wrażenie zmiany kształtu daje nowe możliwości wykorzystania jako element architektury krajobrazu. Dodatkowym atutem jest cicha praca przez co nie jest źródłem uciążliwego hałasu (Polak i Barański, 2006; Hunter, 2007; www.uwm.edu.pl).

Konstrukcja ta nie jest pozbawiona wad, jednak jest ich znacznie mniej niż zalet. Wadą tego typu konstrukcji są wolne obroty łopat, porównywalne z prędkością wiatru, uniemożliwiające bardziej efektywne wykorzystanie ich do produkcji energii elektrycznej, zwłaszcza w zawodowych sieciach elektroenergetycznych. Maksymalną moc tej turbiny można oszacować na poziomie 55% (Gomułka i in., 2006). Niska sprawność, sprawia, że aby wytworzyć taką samą ilość energii, co tradycyjne turbiny, turbina Savoniusa wymaga znacznie większych gabarytów. Ponadto ze względu na niewielką prędkość obrotową, potrzebny jest generator wolnobieżny lub przekładnia, której zastosowanie zmniejsza dodatkowo sprawność urządzenia i zwiększa emisję hałasu (Hunter, 2007; Nalepa i in., 2011).

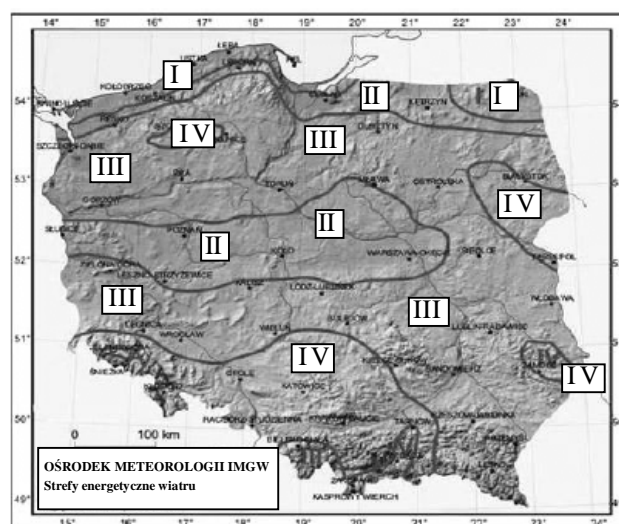
6. Zasoby energii wiatru w Polsce

Podstawowym parametrem przybliżającym możliwość oceny warunków wiatrowych jest średnia roczna lub sezonowa prędkość wiatru. Z punktu widzenia opłacalności inwestowania w energetykę wiatrową prędkość wiatru na danym terenie musi przekraczać 4 m/s. Wieloletnie obserwacje i pomiary dostarczają informacji na temat kierunków i prędkości wiatrów jednak oceniając zasobności energetycznej wybranego terenu istotne znaczenie ma sezonowa zmienność energii wiatru informująca o zmianach i wahaniami średniorocznej prędkości wiatru. Na terenie Polski roczna sezonowość przejawia się występowaniem w okresie letnim prędkości wiatru wynoszącej średnio od 50 do 70% średnich prędkości rocznych, natomiast w zimie wartości te są wyższe i wynoszą około 150-170% (www.imgw.pl).

Oceny zasobów energetycznych wiatru opierają się na materiale obserwacyjnym gromadzonym przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW). Według prof. Haliny Lorenc z IMGW obszar Polski można podzielić na 5 stref energetycznych warunków wiatrowych:

- strefa I – wybitnie korzystna,
- strefa II – bardzo korzystna,
- strefa III – korzystna,
- strefa IV – mało korzystna,
- strefa V – niekorzystna.

Zaprezentowana mapa zawiera opis jakościowy, a nie ilościowy stref energetycznych wiatru. Jest to informacja mogąca prowadzić do nieporozumień, gdyż warunki wiatrowe, tak zwane wybitnie korzystne w Polsce są dalekie od najbardziej korzystnych warunków wiatrowy w Europie, takich jak Dania, Szkocja, Norwegia (Lubośny, 2009).



Rys. 5. Strefy energetyczne wiatru w Polsce (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej)

Potencjał energetyczny wiatru na terenie Polski został oszacowany na poziomie 80-90 mld kWh rocznie, co byłoby w stanie pokryć prawie dwie trzecie krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną. Około 60% powierzchni Polski można zakwalifikować do obszarów o dobrych warunkach umożliwiających eksploatację wiatru jako odnawialnego źródła energii. Należy jednak uwzględnić to, że na terenie naszego kraju występują znaczne regionalne różnice w zasobach wiatru. W rzeczywistych warunkach produkcja energii elektrycznej przez elektrownie wiatrowe może osiągnąć 17% pokrycia bilansu energetycznego naszego kraju. Świadczy to o tym, że energetyka wiatrowa nie będzie miała decydującego udziału w ogólnym bilansie produkcji energii krajowej, ale pozwoli zmniejszyć emisję zanieczyszczeń do atmosfery (Boczar, 2008; energiazwiatru.w.interia.pl).

6.1. Wykorzystanie energii wiatru w Polsce

Biorąc pod uwagę kryterium możliwości wykorzystania energii wiatru obszary najbardziej korzystne na lokalizację elektrowni wiatrowych, gdzie średnie roczne prędkości wiatru przekraczają 4 m/s, to:

- środkowa część wybrzeża morza Bałtyckiego, szczególnie obszary najbardziej wysunięte na północ od Koszalina po Hel oraz pobrzeże Słowińskie i Kaszubskie;
- rejon wyspy Wolin;
- Suwalszczyzna;
- Mazowsze i środkowa część pojezierza Wielkopolskiego;
- Beskid Śląski i Żywiecki;
- Bieszczady i Pogórze Dynowskie;
- dolina Sanu od Sandomierza po granice państwa.

Gomułka i Woźniak (2008) przedstawili stopień wykorzystania mocy elektrowni wiatrowej. W celu określenia stopnia wykorzystania mocy elektrowni wiatrowej zainstalowanej przy różnych lokalnych zasobach energii wiatru przyjęli elektrownie

z wirnikiem trójłopatkowym typ EW 160 NOWOMAG (tab. 1).

Tab. 1. Dane techniczne elektrowni EW 160 NOWOMAG przyjętej do analizy

Moc EW P	160 kW
Średnica wirnika D	22 m
Wysokość wieży H	30 m
Prędkość obrotowa n	46,6 obr./min
Prędkość wiatru – startu u_r	4 m/s
Prędkość wiatru – obl. u_n	14 m/s
Masa całkowita m	13 800 kg
Łopaty o regulowanym kącie nastawienia	

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzili, że w warunkach wiatrowych Polski godny analizy jest przedział średniorocznych prędkości wiatru od 4 m/s do 6 m/s. Poniżej średniorocznej prędkości 4 m/s budowa elektrowni wiatrowej nie ma uzasadnienia ekonomicznego, bowiem czas zwrotu inwestycji jest większy niż żywotność obiektu. Natomiast 6 m/s to największa średnioroczna prędkość spotykana na terenie Polski. Dla terenów, gdzie średnioroczna prędkość wiatru mieści się w przedziale od 4 m/s do 6 m/s, czyli dla warunkowych Polski, stopień wykorzystania mocy będzie mieścić się w granicach od 7 % do około 25 %.

Aktualnie w Polsce pracuje ponad 80 profesjonalnych turbin wiatrowych, które wyposażone są w generatory asynchroniczne i podłączone są do zawodowych sieci energetycznych. Przestrzenny rozstaw elektrowni wiatrowych pokrywa się z najbardziej korzystnymi strefami energetycznymi. Największa liczba pracujących elektrowni wiatrowych skupia się na wybrzeżu na zachód od Władysławowa i ich łączną moc przekracza 80% sumarycznej mocy w całym kraju. Wskaźnik ten będzie wzrastał, gdyż w województwach pomorskich jest przewidywana największa liczba inwestycji.

Hamulcem w rejonie północnym Polski dla rozwoju energetyki wiatrowej mogą być ograniczone możliwości przesyłowe istniejących sieci elektroenergetycznych. Przy słabo rozwiniętej sieci wysokich napięć (110 kV), w dłuższej perspektywie mogą pojawić się problemy z odbiorem energii z elektrowni wiatrowych na Pomorzu i Suwalszczyźnie. Rozwój energetyki wiatrowej jest uwarunkowany nie tylko odpowiednimi warunkami meteorologicznymi, ale także dostępem do sieci elektroenergetycznej.

Bilans energetyczny zagospodarowania energii wiatru w skali kraju nie uwzględnia możliwości wykorzystania energii wiatru o prędkościach średniorocznych mniejszych niż 4 m/s. Natomiast rozwiązanie konstrukcyjne rotorów o osi pionowej umożliwiają pozyskiwanie energii już przy wiatrach o sile około 2 m/s, które dominują na terenie Polski (występują prawie 70% dni w ciągu roku). Wykorzystanie tej energii ma miejsce głównie w indywidualnych gospodarstwach domowych, a nie dla celów przemysłowych, to jest sprzedaży jej do sieci zawodowej, jest niemniej interesującą formą poprawy bilansu energetycznego.

7. Wykorzystanie energii wiatru przy użyciu rotorów wiatrowych o osi pionowej

Na terenie Polski występuje wiele regionów pozbawionych tradycyjnych źródeł energii oraz takich, na których sieć energetyczna jest słabo rozwinięta. Obszarem takim jest północno-wschodnia część naszego kraju, gdzie często w przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych wiele gospodarstw pozostaje pozbawionych energii elektrycznej. Takie obszary mogą być wspomagane farmami wiatrowymi pod warunkiem występowania dostatecznie dużej prędkości wiatru, jak i posiadaniem odpowiedniego terenu pod ich lokalizację. W przypadku mniej korzystnych warunków wiatrowych, strategicznego znaczenia nabierają małe elektrownie wiatrowe zaspakajające potrzeby odbiorcy indywidualnego. W skali elektroenergetyki krajowej rozwiązania takie nie mają wielkiego znaczenia, ale w przypadku zaspokojenia lokalnych potrzeb nabierają istotnego wydzźwięku. Przede wszystkim wpływają na poprawę lokalnego bezpieczeństwa energetycznego pozwalając uzyskać szereg korzyści gospodarczych, ekologicznych jak i społecznych.

Instalacja takiej siłowni z reguły nie wymaga dużych nakładów finansowych, ani nie pociąga za sobą potrzeby specjalnego wydzielenia terenu do ich montażu. Posiadają one szereg istotnych zalet: nie są źródłem uciążliwego hałasu czy też innych niedogodności zaliczanych w poczet czynników degradujących bądź zagrażających środowisku naturalnemu. Stosowanie turbin wiatrowych małej mocy jest możliwe zarówno w gospodarstwach wiejskich, jak i miejskich. Można je zalecać do stosowania na obszarach przyrodniczo cennych, nawet na terenach chronionego krajobrazu oraz wszędzie tam gdzie nie ma sieci przesyłowych energetyki zawodowej (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Nowoczesna odmiana konstrukcyjna turbiny Savonius'a (świderkowa) firmy Windside do zasilania indywidualnego odbiorcy energii elektrycznej (www.windside.com)



Rys. 7. Nowoczesna odmiana konstrukcyjna turbiny Savonius'a (świderkowa) wykonana przez firmę Windside w zabudowie miejskiej – Japonia (www.windside.com)

Przyszłościowe mogą się okazać się rozwiązania budowy siłowni wiatrowych małej mocy od 1,3 do 6 kW z stosowaniem turbiny z wirnikami pionowymi. Można je montować na stosunkowo niewielkiej wysokości 6-8 m. Pracują one niezależnie od kierunku strumienia wiatru. Godny uwagi jest fakt, że takie działania przynoszą znaczne oszczędności i w perspektywie czasu przyczynią się poprawy stanu środowiska naturalnego.

Turbiny małej mocy o wale pionowym mogą być traktowane jako alternatywne urządzenia produkujące energię elektryczną dla indywidualnego użytkownika do podgrzewania wody, funkcjonowania drobnego sprzętu w gospodarstwach domowych, systemów wentylacji i oświetlenia. Zastosowanie zespołu tych turbin pozwala zaspokoić zapotrzebowanie na energię elektryczną w wysokości 10 kWh/d.

Pozyskiwanie energii z wiatru na potrzeby indywidualnego odbiorcy różni się od produkcji energii przeznaczonej do sprzedaży zawodowej sieci elektroenergetycznej. Produkowana na własne cele energia nie musi spełniać rygorystycznych parametrów i może być produkowana w systemie buforowanym i dopiero w późniejszym etapie przekształcona do parametrów wymaganych przez odbiorniki znajdujące się w gospodarstwie domowym.

W przypadku energetyki wiatrowej małej mocy również tereny zabudowane dużych miast są miejscem atrakcyjnym dla jej zastosowania. Wynika to z możliwości łatwego montażu elektrowni wiatrowych na znacznych wysokościach, na przykład na dachach budynków lub wykorzystania efektu zwiększania się prędkości wiatru przy krawędziach budynków. Preferowanie w tym przypadku rozwiązania elektrowni wiatrowych z wirnikami o osi pionowej mogą pracować przy wiatrach wiejących z różnych, nawet ciągle zmieniających się kierunków. Dodatkowo, zabudowa

miejska charakteryzuje się dużym udziałem występowania zjawisk turbulencyjnych. Można wyodrębnić wiele sytuacji przestrzennych, gdzie występują obszary wzrostu prędkości, czy miejsca gdzie występują korytarze o podwyższonej turbulencji przepływu mas powietrza, które z powodzeniem mogą być wykorzystane do lokalizacji rotorów wiatrowych o pionowej osi obrotu

8. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wykorzystania energii wiatru wynikają następujące wnioski:

1. Energia wiatru jest ogólnie dostępnym źródłem energii odnawialnej, a jej potencjał jest niewyczerpalny. Istnieje możliwość jej konwersji w energię elektryczną i możliwość stosowania w energetyce zawodowej na obszarach gdzie średnia prędkość strumienia wiatru jest wyższa od 4 m/s.
2. Energia wiatru może być stabilnym źródłem energii na obszarze Polski z przyczyn naturalnych. Okres występowania silnych wiatrów o prędkości powyżej 5,5 m/s jest ograniczony – wynosi około 15% dni w roku i tylko w wąskim pasie terenów nadmorskich. Dość stabilnym źródłem energii odnawialnej dla Polski może być energia słabych i średnich wiatrów o prędkości 2,0-5,5 m/s, które występują przez okres ponad 73% dni w roku:
 - energię słabych i średnich wiatrów można przetwarzać przy zastosowaniu turbin o pionowej osi obrotu w energię do indywidualnego wykorzystania w instalacjach domowych i małych przedsiębiorstwach;
 - turbiny o pionowej osi obrotu dają możliwość pozyskiwania energii już przy wiatrach powyżej 1,5 m/s i mają szereg istotnych zalet;
 - zastosowanie turbin o pionowej osi obrotu jest interesującą alternatywą dla tradycyjnych elektrowni wiatrowych o wale poziomym montowanych na wysokich masztach, które zanieczyszczają naturalny krajobraz i są ekonomicznie trafnymi rozwiązaniami tylko dla pasa przybrzeżnego.

Literatura

- Boczar T. (2008). Energetyka wiatrowa: aktualne możliwości wykorzystania. *Wydawnictwo Pomiar Automatyka Kontrola*, Warszawa.
- Chmielniak J.T. (2004). Technologie energetyczne. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Flaga A. (2008). Inżynieria wiatrowa: podstawy i zastosowania. *Arkady*, Warszawa.
- Gumułka S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z. (2006). Energetyka Wiatrowa. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH*, Kraków.
- Gumułka S., Woźniak A. (2008). Czysta Energia - Jak określić stopień wykorzystania mocy elektrowni wiatrowej? *Wydawnictwo Komunalne Abrys*.
- Hunter B. (2007). My Savonius Rotor-Making Electricity. www.homesopen.com/wind/savonius.pdf
- Johnson G.L. (1985). Wind energy systems. *Prentice Hall*.

- Lebiedowski A. (2008). Proekologiczne uwarunkowania potrzeby wykorzystania energii słabych wiatrów. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*.
- Lewandowski W.M. (2010). Proekologiczne odnawialne źródła energii. *WNT*, Warszawa.
- Lubośny Z. (2009). Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. *WNT*.
- Michalak P. (2009). Ocena zasobów energii wiatru na potrzeby małej energetyki wiatrowej. *Elektrotechnika i Elektronika*, Tom 28. Zeszyt 1-2.
- Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P. (2011). Poradnik małej energetyki wiatrowej. Olsztyn.
- Polak A., Barański M. (2006). Porównanie turbin wiatrowych. Komel, Katowice, *Zeszyty problemowe, Maszyny Elektryczne* Nr 74,
- Soliński I. (1999). Energetyczne i ekonomiczne aspekty wykorzystania energii wiatrowej. *Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, Kraków.
- Sorko S.A. (2012) Studium odnawialnych źródeł energii materiały SD WBiŚ PB
- Utkin M. (2005) Turbiny wiatrowe. *Młody Technik*, 2/2005.
- Fundamental and Advanced Topics in Wind Power 2011 Edited by Rupp Carriveau, Ch-2 M. Ragheb and A. M. Ragheb: Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, <http://www.intechopen.com/books>
- Portal internetowy: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, <http://www.imgw.pl>
- Odnawialne źródła energii, Publikacje elektroniczne Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/>

Walory energetyczne wiatru w Polsce, energiawiatru.w.interia.pl

Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego, Metody oceny zasobów energetycznych wiatru, www.baza-oze.pl

WIND ENERGY UTILISATION BASED ON SMALL VERTICAL AXIS WIND TURBINES

Abstract: The purpose of this paper is to characterise the wind energy and to describe its conversion into electric energy. The article presents two design variants for wind energy conversion which are vertical axis wind turbine and horizontal axis wind turbine, pointing out their advantages and disadvantages. Furthermore the climatic conditions in Poland were analysed, regarding wind resources and possible locations of wind turbines. As a result of analyses the vertical axis wind turbine was appointed as the solution which is more suitable for Polish region, allowing for better and wider utilisation of wind energy (in comparison to the other design). The power obtained this way is used as a support for existing individual light and heating systems, and improves local energy security.

Opracowanie wykonano w ramach realizacji studium badawczego na Studiach Doktoranckich na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej