

Możliwości wykorzystania energii wiatru

Wstęp

Rozwój technologiczny siłowni wiatrowych pozwala na szersze wykorzystanie energii wiatru do produkcji energii. Energia wiatru w silnikach wiatrowych była wykorzystywana do pompowania wody lub mielenia ziarna, do wytworzenia siły napędowej żaglowców. Wiatr jest przekształconą formą energii słonecznej. Jest to ruch mas powietrza wywołany nierównomiernym nagrzewaniem się powierzchni Ziemi. Około ¼ tej energii to ruch mas powietrza bezpośrednio przylegających do powierzchni ziemi. Biorąc pod uwagę możliwości rozmieszczenie urządzeń przetwarzających energię wiatru, niewielka część tych zasobów jest możliwa do wykorzystania. Zasoby wiatru technicznie możliwe do wykorzystania ocenia się na około 40 TW [Lewandowski 2001].

Obecnie silniki wiatrowe wykorzystuje się do napędu generatorów prądu, pomp wodnych, sprężarek powietrzna. Zwiększa się asortyment dostępnych siłowni wiatrowych począwszy od małych przydomowych elektrowni wiatrowych do bardzo dużych konstrukcji włączonych do systemu energetycznego. Moc elektryczna turbin wiatrowych dochodzi do 5MW przy średnicy wirnika ok. 130m [www.repower.de 2007]. Turbiny wiatrowe są źródłem energii pracującym całkowicie bez wytwarzania zanieczyszczeń. Jednakże podczas pracy wytwarzany jest hałas pochodzący od wirnika, którego łopaty przecinają powietrze i od przekładni. Prace rozwojowe siłowni wiatrowych zmierzają do zwiększenia sprawności oraz obniżenia poziomu hałasu wytwarzanego w trakcie pracy.

Energia wiatru

Wiatr jest zjawiskiem wynikającym z ruchu cząstek powietrza. Powstaje pod wpływem nagrzewania się powierzchni ziemi w wyniku działania promieniowania słonecznego. Energia niesiona przez wiatr jest proporcjonalna do jego prędkości w trzeciej potęgze. Przechodząc przez wirnik silnika wiatrowego prędkość wiatru ulega zmniejszeniu od prędkości początkowej v_o do końcowej v_k . Część energii zostaje przejęta przez wirnik. Moc użyteczna wytwarzana w silniku wiatrowym, przejęta od strumienia powietrza wynika z różnicy energii kinetycznej powietrza przed i za wirnikiem. Moc niesiona przez wiatr przechodzący przez powierzchnię kołową określoną obrotem wirnika [Lewandowski 2001]:

$$P_u = \rho \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot v_s \cdot \frac{v_o^2 - v_k^2}{2}$$

Gdzie: P – moc użyteczna wiatru [W],

ρ – gęstość powietrza [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

v_s – prędkość średnia powietrza przepływającego przez wirnik [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

v_o – prędkość wiatru przed wirnikiem [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

v_k – prędkość wiatru za wirnikiem [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

r – promień wirnika [m]

¹ dr inż. Krzysztof Nalepa – Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie



Lokalizacja siłowni wiatrowych

Wybór miejsca pod lokalizację siłowni wiatrowej powinien opierać się na analizie warunków wiatrowych. Wstępna ocena może zostać dokonana w oparciu o atlasy i mapy wietrzności. Czynnikiem decydującym o powodzeniu lokalizacji siłowni wiatrowej są rzetelne informacje o prędkościach i kierunkach wiatrów w obszarze planowanej inwestycji oraz częstotliwości i długości okresów występowania wiatrów o określonych prędkościach. Prawidłowa ocena potencjału energetycznego wymaga uzyskania długookresowych informacji o parametrach wiatru. Zgodnie z przyjętymi standardami pomiary i rejestracja parametrów wiatru powinny być prowadzone w sposób nieprzerwany przez okres co najmniej jednego roku [Latko, Latko 2007].

Do pomiaru prędkości i kierunku wiatru wykorzystywane są anemometry skrzydełkowe, ultradźwiękowe lub urządzenia wykorzystujące efekt Dopplera.



Rys. 1. Mierniki kierunku i prędkości wiatru LB-746 i LB-747 firmy Label oraz ultradźwiękowy czujnik prędkości i kierunku wiatru WMT50 firmy Vaisala

Wyniki pomiarów zapisywane są w pamięci urządzeń pomiarowych i cyklicznie przenoszone są do komputerów umożliwiających porządkowanie i analizę zebranych danych pomiarowych.

Na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych przeprowadzane są analizy wartości prędkości wiatru i częstości występowania wiatrów o określonej prędkości oraz ocena potencjału energetycznego wiatru w badanym obszarze [Soliński 1999].

Rodzaje siłowni wiatrowych

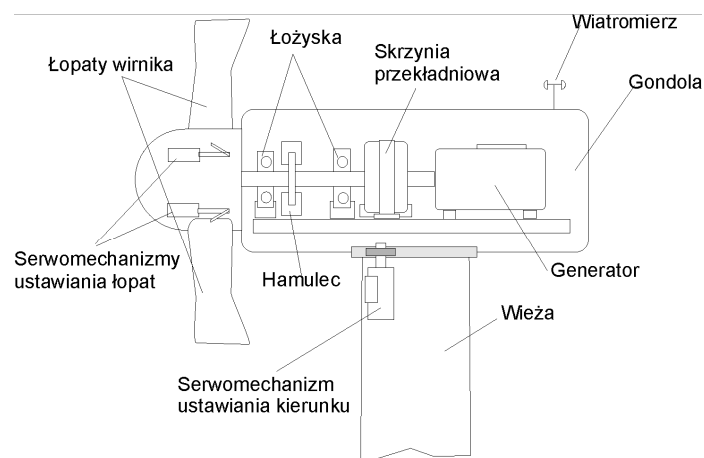
Siłowniki wiatrowe służą do przekształcania energii wiatru na energię elektryczną. Podstawowym elementem każdej siłowni jest wirnik. To on zamienia energię kinetyczną ruchu cząstek powietrza w energię mechaniczną ruchu obrotowego. Następnie ruch obrotowy przekazywany jest do urządzeń wykonawczych (generator prądu elektrycznego, pompa). W zależności od położenia osi obrotu wirnika wyróżnia się siłownie z poziomą osią obrotu (HAWT) – uznawane za klasyczne oraz siłownie wiatrowe z pionową osią obrotu (VAWT).

Siłownie wiatrowe z poziomą osią obrotu wirnika - HAWT

Budowę typowej konstrukcji elektrowni wiatrowej ilustruje Rys. 2., natomiast na Rys. 3. przedstawiono budowę profesjonalnej elektrowni wiatrowej o mocy 2 MW pracującej na potrzeby sieci energetyki zawodowej.

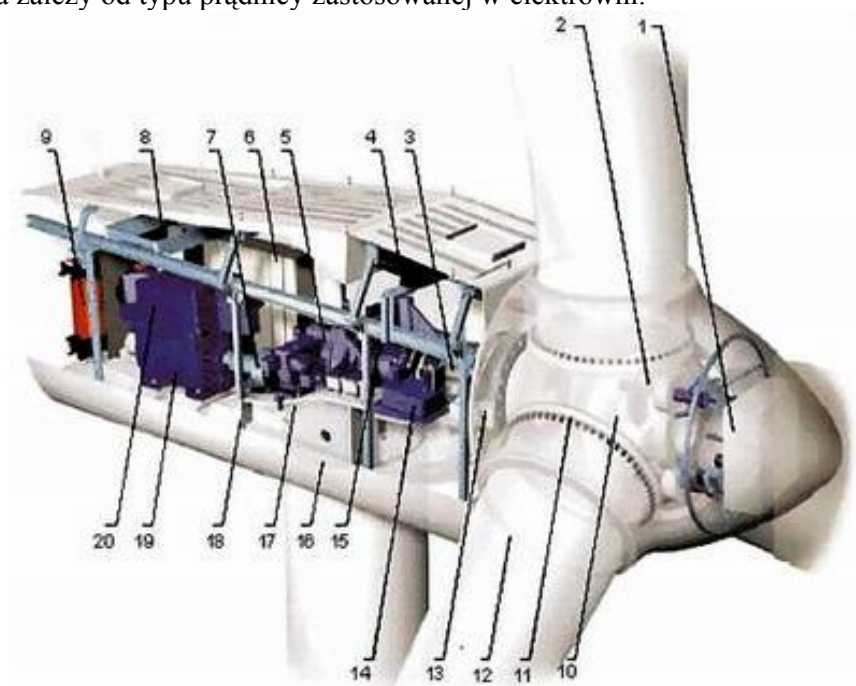
Najważniejszym elementem siłowni wiatrowej jest wirnik przekształcający energię wiatru w energię mechaniczną przekazywaną do generatora. Zazwyczaj wykonuje się wirniki trójpłatowe chociaż występują również konstrukcje dwupłatowe i jedнопłatowe. Większość płatów wykonana jest z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem. Każda łopata składa się z dwóch powłok przymocowanych do belki nośnej. Wiatr działający na powierzchnię płata powoduje powstanie siły nośnej, która wprawia wirnik w ruch [Jagodziński 1959].





Rys. 2. Uproszczony schemat budowy siłowni wiatrowej

W niektórych rozwiązaniach istnieje ponadto możliwość zmiany kąta ustawienia łopat wirnika dzięki zastosowaniu siłowników hydraulicznych. Wirnik osadzony jest na wale wolnoobrotowym, którego obroty poprzez skrzynię przekładniową przekazywane są do wału szybkoobrotowego. Wał szybkoobrotowy połączony jest z wałem generatora. Spotykane są też układy pracujące bez przekładni. Najczęściej wirnik obraca się z prędkością 15-30 obr./min., przekładnia zwiększa tę prędkość obrotową 50-krotnie do 1500 obr./min. Stopień przełożenia zależy od typu prądnicy zastosowanej w elektrowni.



Rys. 3. Budowa elektrowni wiatrowej (model V80-2.0MW firmy Vestas)

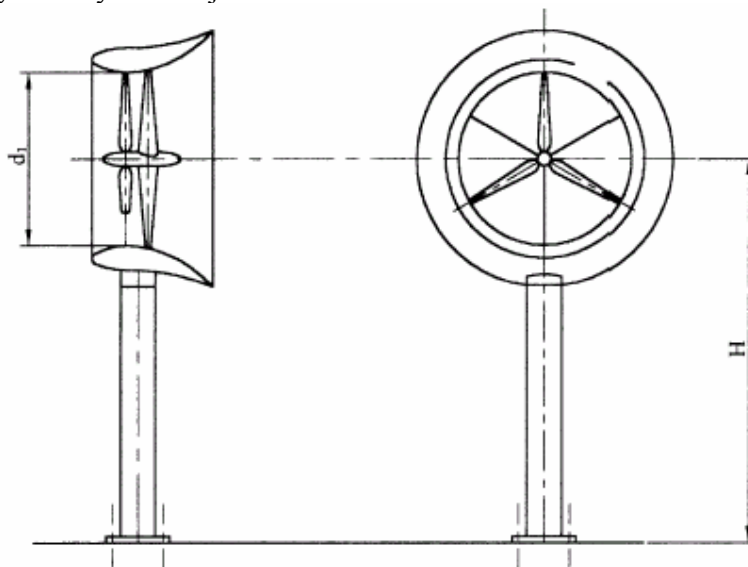
- 1) kontroler
- 2) mechanizm ustawiania łopat
- 3) główny wał
- 4) chłodnica oleju
- 5) przekładnia
- 6) wieloprocesorowy układ sterowania
- 7) hamulec postojowy
- 8) dźwig dla obsługi
- 9) transformator
- 10) piasta łopaty
- 11) łożysko łopaty
- 12) łopata
- 13) układ hamowania wirnika
- 14) układ hydrauliczny
- 15) tarcza układu hamowania wirnika
- 16) pierścień układu kierunkowania
- 17) fundament
- 18) koła zębate układu kierunkowania
- 19) generator
- 20) chłodnica generatora powłok przymocowanych do belki nośnej.



W czasie rozruchu generatory łączone są do sieci przez układy tyrystorowe, które następnie są bocznikowane stycznikami. Mikroprocesorowy system sterowania monitoruje stan siłowni i pobiera dane do obliczeń i sterowania. Generator, transformator, przekładnia i urządzenia sterujące umieszczone są w gondoli. Ponadto gondola zawiera układy smarowania, chłodzenia, hamulec tarczowy itp. Gondola i wirnik obracane są w kierunku wiatru przez silniki i przekładnię zębatą znajdującą się na szczycie wieży, na której umieszczona jest gondola. Wieża wykonana jest ze stali lub z betonu zbrojonego, w kształcie rury, rzadziej stalowa o konstrukcji kratownicowej.

Przedstawione powyżej urządzenia dużej mocy wyposażane są w układy automatyki sterowane komputerowo. Urządzenia mniejszych mocy, przeznaczone dla małych, indywidualnych użytkowników charakteryzują się znacznie prostszą budową. Nie są wyposażane w mechanizmy zmiany kąta ustawienia łopatek wirnika a nastawianie kierunku odbywa się poprzez wykorzystanie sił aerodynamicznych działających na chorągiewkę kierunkową, a nie za pomocą serwomechanizmów jak w przypadku dużych turbin wiatrowych. Zabezpieczenie przed zbyt silnymi wiatrami często realizowane jest w nich poprzez odchylenie gondoli do pionowego ustawienia osi co praktycznie oznacza wyłączenie siłowni.

Koncepcją rozwojową typowej turbiny z poziomą osią obrotu wirnika jest zastosowanie dyfuzora. Umieszczenie wirnika wewnątrz dyfuzora teoretycznie może zwiększyć sprawność przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną. Charakterystyka pracy wirnika z dyfuzorem pozwala na uzasadnione ekonomicznie zastosowanie turbiny wiatrowej przy niższych prędkościach wiatru. Turbiny z dyszą mogą pracować przy prędkości wiatru $v < 4$ m/s. Tak więc praktycznie na całym obszarze Polski można stosować instalacje wiatrowe z wykorzystaniem turbin z dyfuzorem. Jednocześnie opłacalne może być stosowanie turbin o mniejszych średnicach przy montażu na niższych wieżach, co może znacząco obniżyć koszty instalacji.



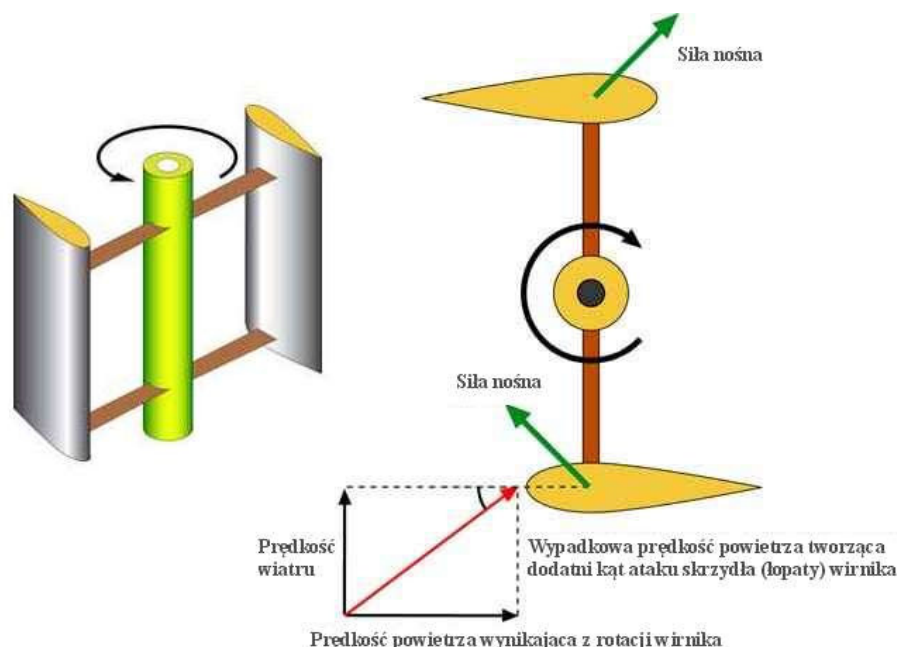
Rys. 5. Turbina wiatrowa z dyfuzorem [Franković, Vrsalović 2001]

Turbiny wiatrowe tego typu pracują o 3200 godz. rocznie dłużej niż konwencjonalne turbiny wiatrowe. Roczna produkcja energii turbiny wiatrowej z dyszą przy mocy $P_s=660$ kW na poziomie 4,3 GWh jest o około 3 GWh większa niż roczna produkcja energii z turbiny konwencjonalnej, produkującej rocznie 1,3 GWh. Zapewnia to efektywną pracę siłowni



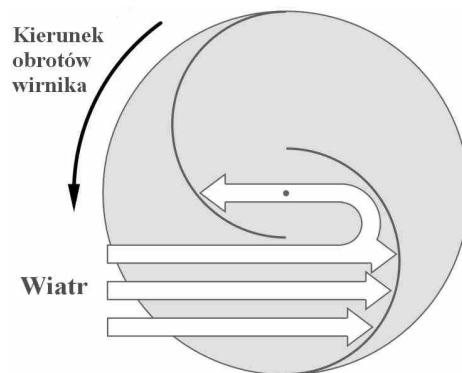
wiatrowych nawet w terenie o nienajlepszych warunkach wiatrowych [Franković, Vrsalović 2001]

Siłownie wiatrowe z pionową osią obrotu wirnika – VAWT



Rys. 4. Zasada działania wirnika Darrieusa [http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine]

Prace nad turbinami z pionową osią obrotu nie postępowały w takim tempie jak nad turbinami z wirnikiem o poziomej osi obrotu. W porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami stanowią one niewielką część pracujących obecnie instalacji. W 1931 Darrieus opatentował wirnik który jest obecnie nazywany od jego nazwiska. Na płatach wirnika powstaje siła nośna wywołująca powstanie momentu napędowego wprawiającego wirnik w ruch obrotowy. Zasada działania wirnika Darrieusa przedstawiona została na Rys. 4. Wirnik tego typu ma praktycznie zerowy moment startowy, w związku z czym konieczne jest wstępne rozpedzenie. Przykładem wirnika o zupełnie innej konstrukcji jest rotor Savoniusa. Wykorzystane tu zostało zjawisko powstawania siły pod wpływem naporu wiatru na powierzchnię płata wirnika.



Rys. 5. Działanie rotora Savoniusa [http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine]



Podstawową zaletą siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu jest brak konieczności ustawiania wirnika w kierunku wiatru. Inną cechą pozytywną jest niski poziom emitowanego hałasu oraz możliwość pracy przy niskich prędkościach wiatru.

Przykłady konstrukcji o małych, średnich i dużych mocach

Siłownie wiatrowe produkowane są przez wytwórców na całym świecie. Z tego powodu spotykane są turbiny wiatrowe o różnicowanej konstrukcji, począwszy od małych przydomowych elektrowni wiatrowych czy pomp wiatrowych o mocach od 100W do około 30kW aż po olbrzymie konstrukcje posadowione na wieżach o wysokości 120m i wirnikach średnicy 126m, generujących moc 5MW. Przykłady siłowni z poziomą osią obrotu przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Przykłady siłowni wiatrowych z poziomą osią obrotu: a) mała przydomowa elektrownia wiatrowa o mocy 10 kW BWC Excel [<http://www.bergey.com>], b) wirnik z dwoma łopatomy [<http://www.windturbinecompany.com>], c) turbiny wiatrowe GE Power na farmie wiatrowej Walchum, Niemcy [<http://www.gepower.com>], d) turbina wiatrowa firmy Vortec z dyfuzorem DAWT



Rys. 7. Przykłady siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu: a) zmodyfikowany wirnik Savoniusa [<http://www.windside.com>], b) elektrownia wiatrowa o mocy 4MW z wirnikiem Darrieusa – Quebec [<http://www.wind-works.org>], c) zmodyfikowany wirnik Darrieusa – Francja [<http://www.wind-works.org>], d) wirnik typu H-Darrieus

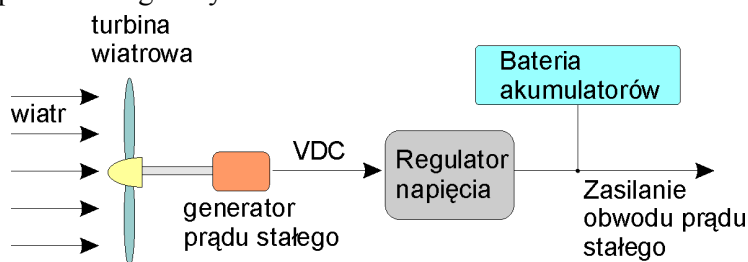


Istnieje duża różnorodność konstrukcji siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu np. "świderkowe" turbiny fińskiej firmy WINDSIDE, będące modyfikacją tradycyjnego wirnika Savoniusa. Wirniki tych siłowni potrafią przetrwać wiatry o ekstremalnie wysokich prędkościach oraz wykorzystują wiatry nawet od 1,5 m/s. Turbiny o takiej konstrukcji praktycznie nie generują prawie żadnych dźwięków. Dla porównania tradycyjny wiatrak, w którym końcówki łopat poruszają się z szybkością 250 km/h (wirnik 52m przy 26 obr./min.) emituje hałas na poziomie 100dB. [V52-850 2007]. Przykłady siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu przedstawione zostały na rysunku 7.

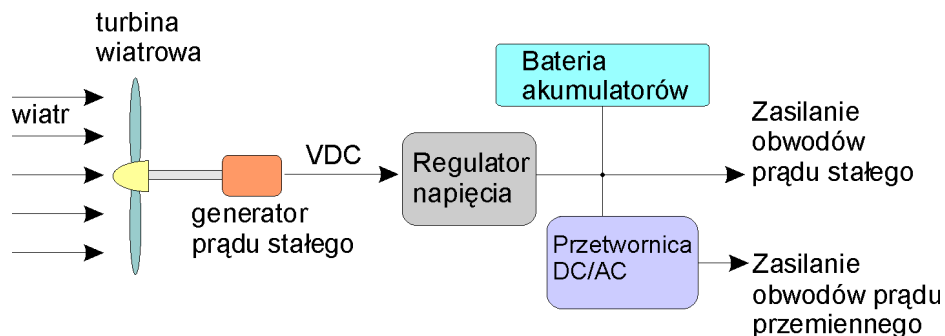
Energia na potrzeby własne czy na sprzedaż

Energia elektryczna wytworzona w siłowni wiatrowej może zostać wykorzystana na potrzeby własne zasilając obwody wydzielone lub sprzedana do przedsiębiorstwa obrotu energią czyli zasilac sieć energetyki zawodowej.

Elektrownia wiatrowa wytwarzająca energię wyłącznie na potrzeby odbiorników autonomicznych dołączonych do wydzielonego obwodu jest całkowicie niezależnym źródłem energii. Źródłami energii w tego typu elektrowniach są prądnice prądu stałego lub małe prądnice prądu przemiennego, często z magnesami trwałymi (nie wymagające dodatkowych obwodów wzbudzenia). Ze względu na zależność ilości i jakości produkowanej energii od prędkości wiatru siłownie te współpracują z systemami magazynowania energii w baterii akumulatorów [Klugman-Radziemska 2006]. Schemat takiego układu przedstawiono na rysunku 8. Gdy istnieje potrzeba zasilania odbiorników prądu przemiennego, układ taki można doposażyć w przetwornicę napięcia stałego na napięcie prądu przemiennego – rysunek 9.



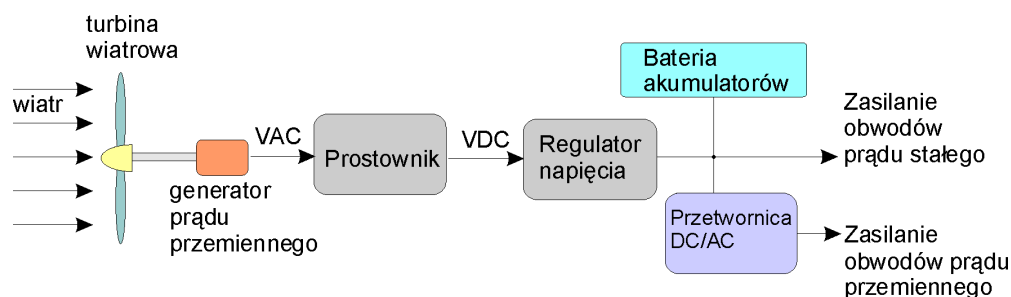
Rys. 8. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu stałego i obwodem odbiorczym prądu stałego.



Rys. 9. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu stałego i obwodem odbiorczym prądu stałego oraz przemiennego.

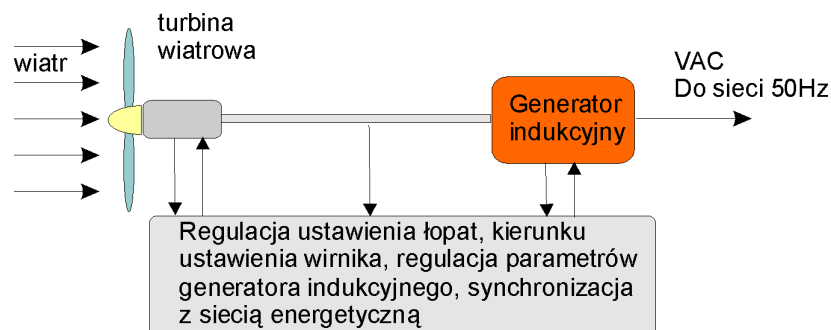


Generator prądu zmiennego użyty w elektrowni wiatrowej również pozwala na uzyskanie odpowiedniej jakości energii prądu stałego po uprzednim wyprostowaniu i regulacji napięcia. Ponieważ prędkość obrotowa turbin wiatrowych zależna jest od prędkości wiatru, również wartość generowanego napięcia i jego częstotliwość jest zmienna. Z tego powodu stosowany jest pośredni obwód prądu stałego wyposażony w regulator napięcia współpracujący z przetwornicą napięcia stałego na napięcie przemiennie (AC/DC) – rysunek 10.



Rys. 10. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu zmiennego

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach pracujących w sprzęgnięciu z siecią energetyki zawodowej musi mieć takie same parametry (częstotliwość i napięcie) jak sieć, z którą elektrownia wiatrowa współpracuje. Wymusza to stosowanie odpowiednich układów i urządzeń automatycznego sterowania, które zapewnią synchronizację z siecią energetyczną – rysunek 11.



Rys. 11. Schemat układu synchronizowanego z siecią energetyki zawodowej

Przetwarzanie energii wiatru na energię elektryczną przy użyciu elektrowni wiatrowej z zamiarem sprzedaży tej energii wiąże się z koniecznością prowadzenia działalności gospodarczej. Działalność polegająca na wytwarzaniu energii ze źródeł odnawialnych podlega koncesjonowaniu niezależnie od mocy źródła energii. Sytuacja ta wymuszona została wejściem w życie z dniem 1 maja 2004 r. ustawy z dnia 2 kwietnia 2004 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne i ustawy - Prawo ochrony środowiska.

Koncesja udzielana jest przez prezesa URE, po ocenie z punktu widzenia zapisów ustawy - Prawo energetyczne - czy wnioskodawca:

1. ma siedzibę lub miejsce zamieszkania na terytorium państwa Unii Europejskiej;
2. dysponuje środkami finansowymi w wielkości gwarantującej prawidłowe wykonywanie działalności bądź jest w stanie udokumentować możliwość ich pozyskania;
3. ma możliwości techniczne gwarantujące prawidłowe wykonywanie działalności;



4. zapewni zatrudnienie osób o właściwych kwalifikacjach zawodowych,
5. uzyskał decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.
[http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/por_koncesje.htm 2007]

Podsumowanie

Zobowiązania jakie ciąży na Polsce w efekcie przystąpienia do Unii Europejskiej wymuszają poszukiwanie możliwości pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Jednocześnie rozwój technologiczny w zakresie siłowni wiatrowych stwarza możliwości budowania instalacji przetwarzających energię wiatru na energię użyteczną. Wzrasta również świadomość społeczeństwa a w szczególności władz samorządowych, które coraz przychylniej podchodzą do lokalizowania na ich terenie inwestycji energetyki wiatrowej. Wpływ na to mają przepisy wymuszające zakup energii produkowanej ze źródeł odnawialnych przez przedsiębiorstwa zajmujące się obrotem energią. Dzięki temu inwestycja w energetykę wiatrową, mimo wymaganych dużych nakładów finansowych staje się atrakcyjne nawet przy nie najkorzystniejszych warunkach wiatrowych panujących na terenie Polski.

Literatura

- Franković B., Vrsalović I. 2001. New high profitable wind turbine. Renewable energy 24 (2001) 491-499
- Jagodziński W. 1959. Silniki wiatrowe. PWN Warszawa
- Klugman-Radziemska W. 2006. Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
- Latko A., Latko A. 2007. Analiza warunków wiatrowych dla potrzeb energetycznych. EMPIRIA. www.windhunter.com.pl/latko.pdf
- Lewandowski W. M. 2001. Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT. Warszawa
- Soliński I. 1999. Energetyczne i ekonomiczne aspekty wykorzystania energii wiatrowej. WIG SMiE PAN. Kraków
- RePower 5M. 2007 – broszura informacyjna produktu 5M firmy RePower systems
- V52-850. 2007. Vestas – broszura informacyjna produktu V52-850 firmy Vestas.
- V80-2.0MW 2007. Vestas – broszura informacyjna produktu V80-2.0MW firmy Vestas.

http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/por_koncesje.htm

<http://www.windturbinecompany.com/>

<http://www.bergey.com/>

http://www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en/image_gallery/walchum.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine

http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine

<http://www.windside.com>

<http://www.wind-works.org/photos/PhotosVAWTs.html>

<http://www.repower.de> 2007

