



Przegląd istniejących technologii w dziedzinie energetyki wiatrowej- obecnie stosowane rozwiązania pozwalające na pozyskanie energii z wiatru

Bartłomiej MILEWICZ¹, Artur CZACHOR¹, Krzysztof PIKOŃ¹

¹ Politechnika Śląska, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, adres: ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice.

Streszczenie

Celem pracy jest przybliżenie czytelnikowi technicznych aspektów wykorzystania energii wiatru. W przedstawionej pracy przedstawiono przegląd rozwiązań stosowanych w dziedzinie konstrukcji wirników elektrowni wiatrowych. Krótko scharakteryzowano poszczególne typy urządzeń stosowanych w celu zamiany energii strugi wiatru na energię mechaniczną. Przegląd zawiera zarówno najpopularniejsze w naszym kraju wirniki typu HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine), jak i rzadziej stosowane VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) oraz inne rozwiązania konstrukcyjne. W artykule poruszono najważniejsze zalety oraz problemy eksploatacyjne różnych konstrukcji wirników, wynikające zarówno z warunków pracy, jak i obecnie obowiązującego prawodawstwa,

Słowa kluczowe: wirniki, turbiny wiatrowe, energia z wiatru, odnawialne źródła energii

1. Wprowadzenie

Współcześnie człowiekowi uzależniony jest od dostaw energii elektrycznej, nawet chwilowe przerwy w jej dostawie skutkują dezorganizacją oraz zakłóceniem czynności towarzyszącym nam na co dzień. Energia elektryczna jest wykorzystywana do zapewnienia ludziom komfortowego życia (ogrzewanie, oświetlenie itp.) jak i dostarczaniu rozrywki. Mało kto zastanawia się skąd tak naprawdę ona pochodzi, i jakie są jej źródła. W Polsce głównym źródłem energii elektrycznej jest w dalszym ciągu spalanie węgla kamiennego oraz brunatnego [1]. Odnawialne źródła energii w finalnym bilansie produkcji energii elektrycznej stanowiły w roku 2014 11,45%, z czego niecałe 8,18% z tej wartości przypadło na energetykę wiatrową[2]. Światowe zasoby wiatru nadające się do wytworzenia energii elektrycznej pozwoliłyby na czterokrotne zaspokojenie globalnego zużycia energii elektrycznej.[3] Polityka UE kładzie duży nacisk na rozwój energetyki wiatrowej w krajach członkowskich. Biorąc pod uwagę inwestycje w Polsce oraz Niemczech można zauważyć, że największy przyrost produkowanej energii elektrycznej miał miejsce w energetyce wiatrowej i wynosił ok. 4,1 GW, co odpowiada 50-krotnemu wzrostowi pomiędzy rokiem 2005,a 2015).Dla porównania w sektorze biogazu przyrost ten był sześciokrotny, a dla biomasy pięciokrotny[4].W pierwszej połowie bieżącego roku zakończono budowę 182 turbin wiatrowych w formie morskich farm wiatrowych zlokalizowanych na wodach przybrzeżnych Dani oraz Niemiec. Jest to 32% wzrost w stosunku do ubiegłego roku[5]. Można więc przypuszczać, że energetyka wiatrowa jest właściwym kierunkiem rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce jak i na świecie, tym bardziej, iż ich planowany udział bilansie energii wytworzonej w krajach wspólnoty europejskiej w roku 2020 ma wynosić 15%. Obecnie tylko 2 kraje zostały sklasyfikowane przez Komisję Europejską jako zagrożone nie dotrzymaniem tego zobowiązania tj. Polska i Węgry[6].

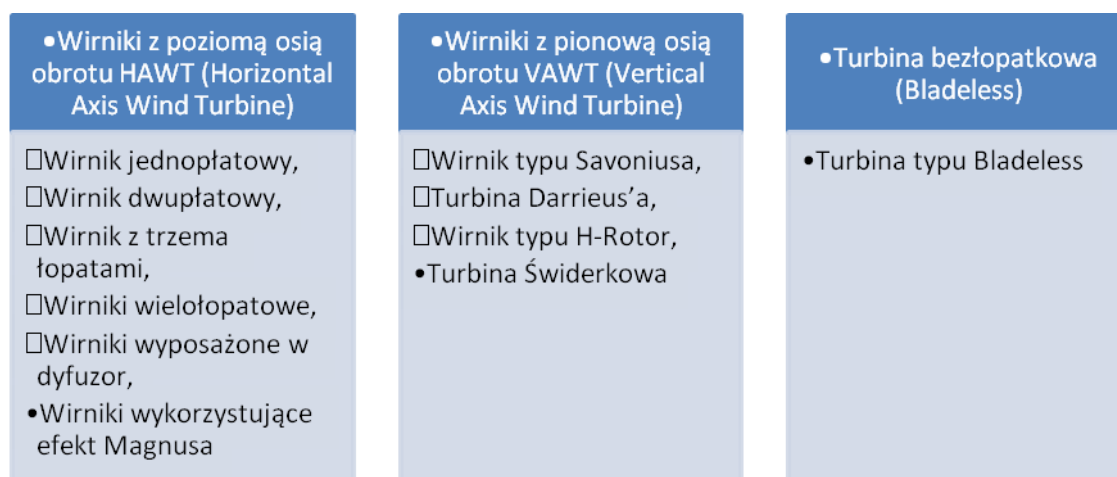
1.1 Prawodawstwo

Międzynarodowa firma konsultingowa TPA Horwath przeanalizowała krajowe przepisy dotyczące energetyki wiatrowej, przedstawione wnioski są pesymistyczne. Według powyższej opinii narzucenie odległości wiatraków od zabudowań na poziomie 10-krotnej wysokości instalacji oraz zwiększenie podstawy opodatkowania przyczyni się do utraty przez Polskę reputacji miejsca bezpiecznego dla inwestycji. Według danych podawanych przez ekspertów wprowadzenie tego typu przepisów będzie skutkowało zmniejszeniem zwrotu z inwestycji z obecnego poziomu 6,2% do nawet 1,5%, a także utratą wartości przedsiębiorstw posiadających farmy wiatrowe o 15% [10].Ustanowienie minimalnej odległości od zabudowań na poziomie 10- krotnej wysokości turbiny (odległość od podstawy do najwyżej położonego punktu osiąganego przez łopatę wirnika) dotyczy również

odległości od obiektów ochrony przyrody. Wprowadzenie takich rozwiązań w prawie polskim jest wyjątkiem w skali europejskiej. Kraje takie jak Francja czy Niemcy nie posiadają przepisów określających minimalną odległość turbiny od innych obiektów budowlanych. W krajach tych zastosowano przepisy które regulują odległość turbin od zabudowań mieszkalnych na podstawie emitowanego przez nie hałasu. Ważną dla inwestorów informacją może być fakt iż wszystkie obostrzenia prawne skupiają się na tradycyjnych turbinach wiatrowych o poziomej osi obrotu pozostawiając rzadziej wykorzystywane rozwiązania o pionowej osi obrotu całkowicie wyłączone z wprowadzonych obostrzeń.

2. Wirnik jako element odzyskujący energię z wiatru

Wirnik turbiny stanowi jeden z najważniejszych elementów elektrowni wiatrowej. Za jego pomocą możliwe jest przekształcenie energii zawartej w strudze wiatru na energię mechaniczną. Położenie, warunki pracy, a także rodzaj zastosowanej konstrukcji pozwalają na oszacowanie efektywności danego rozwiązania.



Rys. 2.1. Podstawowy podział turbin wiatrowych.

2.1 Turbiny z poziomą osią obrotu

Konstrukcje tego rodzaju są najbardziej rozpowszechnione w Unii Europejskiej. Najszerzej rozpoznawanym modelem należącym do tego typu rozwiązań jest wiatrak wyposażony w trzy łopaty. Charakteryzują się one szybkobieżnością i wysoką efektywnością. Do zalet tego typu konstrukcji z całą pewnością można zaliczyć wysoką sprawność. Do wad: konieczność zastosowania mechanizmu ustawiania na wiatr, mechanizmów hamujących oraz uniemożliwiających pracę wirnika przy wyższych prędkości wiatru, a także niebezpieczeństwo jakie stwarzają one dla ptactwa. Powszechnie wymienianymi przez społeczeństwo wadami są również hałas w tym infradźwięki oraz stwarzane przez transformatory pole magnetyczne oraz pole elektryczne. W rzeczywistości, jak widać w Tab. 2.1 poziomy hałasu towarzyszący mieszkańcom miasta na co dzień przyjmują wartości podobne bądź też większe niż wartości emitowane przez Turbinę. Podobnie pola generowane przez elektrownie wiatrowe nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla terenów zabudowanych (Tab. 2.2).

Tabela 2.1. Poziomy hałasu emitowanego przez różne źródła [7]

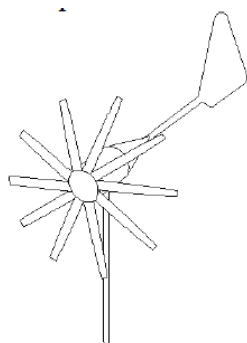
Źródło hałasu	Poziomy hałasu [db]
Cicha sypialnia	35
Elektrownia wiatrowa oddalona o 350 m	35-45
Droga o dużym ruchu pojazdów oddalona o 5km	35-45
Samochód jadący z prędkością 65km/h oddalony o 100m	55
Rozmowa	60
Miejski ruch uliczny	90

Tabela 2.2. Wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego- porównanie [9]

Rodzaj pola	Wartość dopuszczalna dla terenów zabudowanych	Elektrownia wiatrowa (na wys1,8m)	Suszarka do włosów
Wartość elektrycznego pola	1000 V/m	9 V/m	800 V/m
Wartość magnetycznego pola	600 A/m	4,5 A/m	4 A/m

Turbina Wielołopatowa

Turbiny wielołopatowe są rozpowszechnioną konstrukcją, w której zazwyczaj wykorzystywany jest wirnik z co najmniej ośmioma łopatomi. Konstrukcje takie charakteryzują się niskim współczynnikiem szybkobieżności, co oznacza, że działają już przy niskich podmuchach wiatru, a także mają wysoki moment napędowy. Wykorzystywane są przede wszystkim jako napęd w pompach wodnych, rzadziej znajdują zastosowanie przy wytwarzaniu energii elektrycznej.



Rys. 2.2. Schemat budowy wirnika wielołopatowego [11].

Turbina z dyfuzorem

Konstrukcje te stosują dyfuzor w kształcie zwężającej się do środka rury. Poprzez zastosowanie takowej modyfikacji możliwe jest zwiększenie sprawności konwersji energii strugi powietrza na energię mechaniczną jednocześnie obniżając minimalną prędkość przy której zastosowanie turbiny staje się opłacalne. Wirniki wyposażone w dyfuzor mogą pracować już przy prędkościach wiatru $v_0 \geq 2 \text{ m/s}$.



Rys. 2.3. Przykładowa siłownia wiatrowa z dyfuzorem [12]

Turbina z wirnikiem trójłopatowym

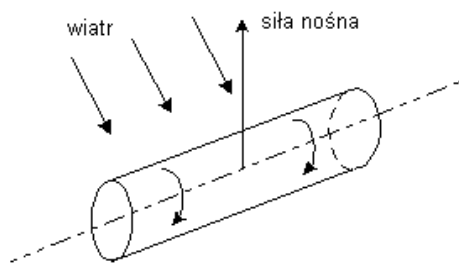
Pierwsza turbina tego typu spełniająca współczesne założenia techniczne powstała w 1957 roku na wybrzeżu Gedser w Dani i została wybudowana przez Johanna Juula. Użycie trzech łopatek rozstawionych równomiernie, co 120° zapewnia stały moment bezwładności wirnika. Konstrukcje tego rodzaju zapewniają wysoki współczynnik wykorzystania energii wiatru, dochodzący nawet do 60%. Wirnik taki może pracować przy prędkościach od 5 do 25 m/s

Turbina z wirnikami jedno i dwułopatowymi

Są to rzadko stosowane rozwiązania konstrukcyjne. W przypadku turbin z jedną łopata konieczne jest stosowanie swego rodzaju przeciwwagi pozwalającej na wytworzenie momentu obrotowego. Oba typy turbin wymagają wyraźnie większych prędkości wiatru w celu osiągnięcia optymalnych warunków pracy porównywalnych do konstrukcji trójłopatowych. Ich zaletą są niższe koszty inwestycyjne, natomiast zdecydowaną wadą jest hałas przez nie emitowany. Konstrukcje dwułopatowe znajdują zastosowanie przede wszystkim w energetyce morskiej, w której osiągnięcie odpowiednich prędkości wiatru jest łatwiejsze. Należy jednak zaznaczyć iż budowa morskiej elektrowni wiatrowej wymaga dwukrotnie większych nakładów inwestycji niż budowa odpowiednika lądowego[13].

Turbina Magnusa

Główną cechą tego rodzaju elektrowni jest zastąpienie obrotowych łopatek obracającymi się wirnikami. Zjawisko zwane Efektem Magnusa polega na tym, że podczas ruchu obrotowego wirnika powstaje siła nośna oraz siła boczna, która z kolei wywołuje ruch obrotowy całej siłowni. Wirnik tak zbudowany może pracować przy prędkościach wiatru od 2 do 40 m/s, podczas gdy standardowe turbiny trójłopatowe pracują przy 5-25m/s. Budowa taka sprawia, iż rotor obraca się trzykrotnie wolniej od wirników tradycyjnych, co wpływa na zmniejszenie emisji hałasu[14].



Rys. 2.4. Powstawanie siły nośnej wykorzystywanej przy turbinie Magnusa



Rys. 2.5. Wirnik wykorzystujący efekt Magnusa [15].

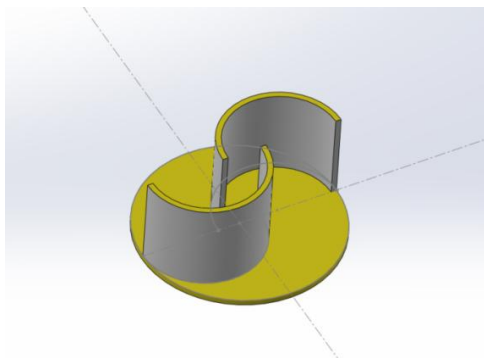
2.2 Turbiny z pionową osią obrotu

Rozwiązania te znane były ludzkości już 400 lat p.n.e. jednak wyparte zostały w średniowieczu przez tak zwane wiatraki europejskie o poziomej osi obrotu. Powracają jednak stopniowo do łask i znajdują swe zastosowanie na terenach zurbanizowanych, jako element zintegrowany z zabudową mieszkalną (montowane bezpośrednio na budynkach). Śmigła konstrukcji typu VAWT pracują ciszej w porównaniu z turbinami typu HAWT, i przede wszystkim nie wymagają zastosowania mechanizmów ustawiania na wiatr. Charakteryzują się prostą budową, która umożliwia ich szybki montaż oraz demontaż, a także pozwala na uniknięcie stosowania wysokich masztów, z których budową związane są wysokie koszty inwestycyjne. Dodatkową zaletą tego typu konstrukcji jest fakt, że prace są rozpoczynają przy prędkościach wiatru już od 2 m/s, a ich wytrzymała budowa pozwala ją kontynuować nawet przy prędkościach dochodzących do 56 m/s. W przeciwieństwie do Turbin o poziomej osi obrotu nie stwarzają zagrożenia dla ptactwa[11,15,16].

Do wad tego typu rozwiązań należy przede wszystkim niska sprawność. Osiągnięcie produkcji energii podobnej do tej z konstrukcji trójłopatowych jest możliwe przy zdecydowanie wyższych prędkościach wiatru. Z powodu niskiej prędkości obrotowej wirnika koniecznym staje się również zastosowanie generatora wolnoobrotowego, bądź też przekładni, które dodatkowo zmniejszają sprawność całego urządzenia[3].

Rotor Savoniusa

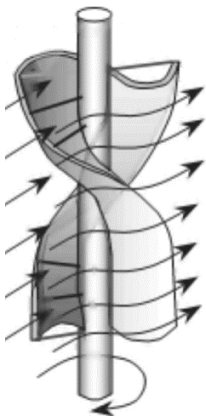
Konstrukcja wynaleziona przez S.J. Savoniusa w 1922 roku jest najprostszym pod względem konstrukcji wirnikiem o pionowej osi obrotu. Wyróżniamy dwa rodzaje wirników Savoniusa: klasyczny oraz Bacha. Konstrukcja ta charakteryzuje się niskim współczynnikiem mocy, jednocześnie jej zaletami jest bardzo prosta, więc mało awaryjna konstrukcja, i cicha praca. Budowa wirnika oparta jest na wykorzystaniu siły nośnej oraz sił parcia hydrostatycznego. Teoretyczne obliczenia wskazują, że współczynnik wykorzystania wiatru dla tego typu turbiny wynosić może maksymalnie 21%, co stanowi około połowy wartości osiąganego przez turbiny typu HAWT, w praktyce jest nawet mniejszy. Przyczyną tego są opory łopatek poruszających się „pod wiatr”. Ważną zaletą wirnika jest jednak rozpoczęcie pracy przy bardzo niskiej prędkości wiatru, nawet 2m/s, dlatego często stosowany jest w połączeniu z innymi siłowniami o pionowej osi obrotu. Dzięki łopacie poruszającej się pod wiatr może pracować nawet przy bardzo wysokich prędkościach wiatru, a zasada działania tej konstrukcji zapewnia samoistne hamowanie, bez konieczności użycia dodatkowych systemów bezpieczeństwa [11,15,17].



Rys. 2.6. Przekrój klasycznego wirnika Savoniusa [wykonanie własne]

Turbina świderkowa

Zaliczana jest do modyfikacji turbiny Savoniusa. Ten typ turbiny może pracować w pełnym zakresie prędkości, swą pracę rozpoczyna przy $V_0=1\text{m/s}$, nie określa się przy tym górnej granicy prędkości. Konstrukcję można scharakteryzować jako śrubowe skręcenie łopatek wokół osi obrotu. Do zalet tej turbiny należy cicha i stabilna praca.



Rys. 2.7. Turbina Świderkowa [19].

Turbina Darrieus'a

Została zaprojektowana i zbudowana przez francuskiego konstruktora Darrieusa w 1931 roku, i składa się z dwóch - trzech wygiętych łukowato łopatek połączonych od góry i dołu z osią obrotu. Cała konstrukcja charakteryzuje się wysoką sprawnością aerodynamiczną, lecz również nie jest pozbawiona wad. Najważniejszą z nich jest zerowy moment rozruchowy, co oznacza, że swą pracę rozpoczynają dopiero przy relatywnie silnym wietrze. Aby wyeliminować wspomnianą wadę turbinę Darrieus'a stosuje się w połączeniu z rotorem Savoniusa lub rozpędza z użyciem dodatkowego źródła zasilania [11].



Rys. 2.8. Wirnik Darrieus'a [18].

Wirnik typu H-Rotor

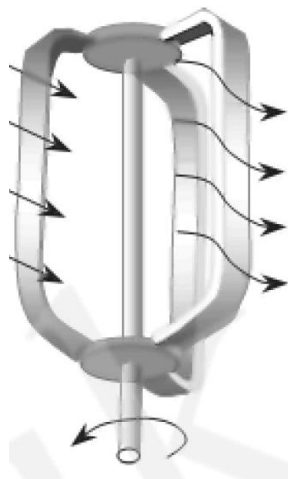
Jest jedną z odmian turbiny Darrieus'a wynalezioną w Wielkiej Brytanii w trakcie badań prowadzonych na przełomie lat 70 i 80 ubiegłego wieku. Najistotniejszym elementem różniącym ją od pierwowzoru jest zewnętrzna część wirnika, przy projektowaniu której brano pod uwagę uzyskanie największego moment obrotowego. Dlatego w tej konstrukcji cała powierzchnia (prostej) łopaty położona jest w maksymalnej odległości od osi obrotu. Jest to rzadko stosowane rozwiązanie, gdyż łopaty w trakcie ruchu obrotowego stale zmieniają kąt natarcia w stosunku do strugi wiatru, a jedna z łopat zawsze wytwarza opór rzeczywisty, który w istotny sposób obniża sprawność oraz generowaną moc[4,13].



Rys. 2.9. Wirnik H-Rotora [20].

Turbina EHD

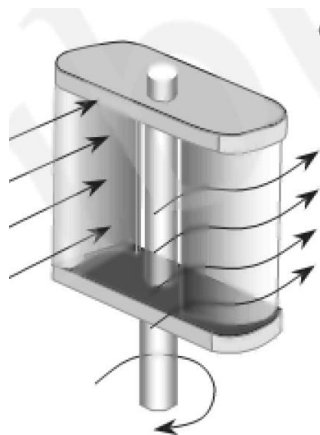
Opracowana została w Sandia National Laboratories w USA. Pierwsza turbina tego rodzaju została zainstalowana w elektrowni wiatrowej (farmie wiatrowej) w Tehachapi w Californi w styczniu 1994 roku. Konstrukcje typu EHD przedkładają wysokość wirnika nad jego średnicą. Optymalne wymiary tych rozwiązań konstrukcyjnych to około 42 do 63m wysokości przy 17 do 21m szerokości. Łopaty w wirniku nie poddane są żadnemu ukosowaniu- są proste [20].



Rys.2.11. Turbina EHD.[19]

Turbina Wind Rotor

W rozwiązaniu tym zastosowane są dwie łopaty, które są szersze niż łopaty stosowane w przypadku turbiny Darrieus'a, a także większe niż w przypadku turbiny Savoniusa. Produkowane są przez firmę Rapatec Ag i mogą pracować w warunkach od 2 do 56 m/s. Oferty Firmy obejmują trzy turbiny tego rodzaju. Najmniejszy z proponowanych wirników ma moc około 0,75kW, powierzchnię łopat 2,25m² i waży około 120kg. [19]



Rys.2.12. Turbina typu Wind Rotor.[19]

2.3 Turbina bezłopatkowa (Bladeless)

Jest to nowo zaproponowane rozwiązanie przedstawione przez Hiszpańską firmę Vortex. Jej autorem jest David Yáñez, który wpadł na pomysł wykorzystania energii kinetycznej amplitudy drań wywołanych przez wiatr obserwując katastrofę budowlaną mostu w Tacoma w roku 1940. Zgodnie z informacjami podawanymi przez firmę wykorzystanie tej technologii pozwala na znaczne obniżenie kosztów inwestycyjnych, o53% kosztów

wytworzenia, -80% na utrzymanie[20]. Ponadto to zgodnie z informacjami podanymi przez grupę zajmującą się badaniami nad tą technologią zaproponowana konstrukcja zajmuje zdecydowanie mniej miejsca niż tradycyjne turbiny trójłopatowe. Ważną zaletą tego rozwiązania jest również całkowite wyeliminowanie zagrożenia jakie tradycyjne turbiny o poziomej osi obrotu stwarzały dla ptactwa. Turbina nie wymaga mechanizmów ustawiania na wiatr oraz hamujących, które są niezbędne w przypadku rozwiązań tradycyjnych[23].

Jak każda technologia również ma grono sceptyków. Wśród wad, jakie są zarzucane tej metodzie pozyskiwania energii, jest przede wszystkim jej niska, trudna w przewidzeniu skuteczność. Autorzy twierdzą jednak, że pomimo że ich rozwiązanie wytwarza o 30% mniej energii niż tradycyjne wiatraki to jednocześnie zajmuje ono zdecydowanie mniejszy obszar. Sceptycy uważają, iż zwiększenie rozmiarów konstrukcji i przeprowadzenie badań przy wysokich prędkości wiatru udowodni małą skuteczność tej metody wykorzystaniu potencjału wiatru. Twierdzą również, że częstotliwość drgań wprawiających w ruch cylinder wykorzystywany do pozyskania energii będzie wpływać się na emisję hałasu. Zarzut ten jest jednak całkowicie odrzucany przez twórcę pomysłu[22,23].



Rys. 2.11. Turbina bezłopatkowa (Bladeless)

2.Przegląd rozwiązań dostępnych na rynku

Na rynku polskim dostępnych jest wiele rozwiązań możliwych do montażu na prywatnych posesjach, jako element zintegrowany z zabudową mieszkalną lub „tradycyjnie” mocowany na wolnostojącym maszcie. Są to rozwiązania, które użytkownicy wybierają w celu zminimalizowania ilości energii uzyskiwanej z sieci, a tym samym ograniczenia rachunków z tytułu opłaty za energię elektryczną. Rozwiązania te nie jednak są w stanie całkowicie pokryć zapotrzebować użytkownika na energię elektryczną. W Tab. 3.1 przedstawiono konkretne przykłady rozwiązania technicznych, które polski klient zakupić i zamontować w swoim gospodarstwie domowym.

Tabela 3.1 Przykłady rozwiązań technologicznych elektrowni wiatrowych oferowanych na polskim rynku

Pełna nazwa urządzenia	Typ	Rodzaj	Moc nominalna	Startowa prędkość wiatru	Cena
Generator wiatrowy Tuuli 400 z kontrolerem ładowania	HAWT	Trójłopatowa	200 W	3,8m/s	2 679,09 zł
Turbina wiatrowa przydomowa HWT 3kW	HAWT	Wielołopatowa	3k W	2m/s	11 033,10 zł
Elektrownia wiatrowa pionowa VAWT - PŁETWA 400W - 12 lub 24V	VAWT	Świdrowa	400 W	1,3m/s	5 570,00 zł
Elektrownia wiatrowa pionowa VAWT do 400W - ŚMIGŁA	VAWT	H-rotor	400 W	-	1 270,00 zł
generator wiatrowy Energiewind 10 KW -FB	HAWT	Trójłopatowa	10 kW	2,5 m/s	274 900,00 zł
turbina wiatrowa pionowa 1 KW FDCS-10B CarbonfreeEnergy	VAWT	Świdrowa	1 kW	2 m/s	27 500,00 zł
Urban Green Energy turbina wiatrowa UGE - 4K zestaw sieciowy on-grid 4KW	VAWT	Turby	4 kW	3,5m/s	123 900,00 zł

4. Podsumowanie

Rozwój energetyki wiatrowej postępuje na całym świecie. Rozwiązania technologiczne, które do tej pory stosowano są ciągle doskonalone, a ich skuteczność powoli rośnie. Wybierając jedną z dostępnych technologii należy kierować się miejscem, w którym będzie ona zainstalowana, siłą wiatru jaka będzie tam uzyskiwana oraz budżetem jaki mamy do wykorzystania. Chcąc pozyskiwać energię wiatru na terenie silnie zurbanizowanym powinniśmy zwrócić szczególną uwagę na turbiny o pionowej osi obrotu. Jeżeli chcemy jednak pozyskiwać energię z większą skutecznością należy swe zainteresowania przenieść na tradycyjne rozwiązania bądź też nowe np. turbina typu Bladeless. Prawodawstwo polskie utrudnia inwestorom pozyskiwanie energii z wiatru. Należy zadać sobie pytanie czy energetyka wiatrowa, która w innych krajach takich jak Dania i Niemcy rozwija się w sposób dynamiczny zagraża właśnie nam. Każdy przypadek budowy nowej turbiny należy rozpatrywać osobno gdyż w każdym z tych przypadków warunki pracy, warunki akustyczne i inne, które mogą mieć wpływ na opłacalność inwestycji oraz zadowolenie okolicznej ludności.

Literatura

1. ARE S.A, Podstawowe dane dotyczące rynku energii elektrycznej <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,207,tr,75,13,18,0,246057,0,podstawowe-dane.html#komentarz>, dostęp 14.06.17r.
2. Berent-Kowalska G, Kacprowska J, Moskal I, Jurgaś A, Kacperczyk G. Energia ze źródeł odnawialnych w 2014r.http://gramwzielone.pl/uploads/files/produkcja_energia_ze_zrodel_odnawialnych_w_Polsce_w_2014_roku_GUS.pdf, dostęp 14.06.17r
3. Polak A, Barański M. Turbiny Wiatrowe, miesięcznik Nowa Elektrotechnika styczeń 2007
4. Wiszniewska B, Zainstalowana moc elektrowni wiatrowych w Polsce i Niemczech, miesięcznik Czysta Energia kwiecień 2016
5. Witoński M, Morska energetyka wiatrowa łapie drugi oddech, miesięcznik Czysta Energia wrzesień 2016

6. Wiśniewski G, Realizacja unijnych zobowiązań w zakresie udziału energii z OZE, miesięcznik Czysta Energia luty 2016
 7. Fairley P. Two-Bladed Wind Turbines Make a Comeback <https://www.technologyreview.com/s/528581/two-bladed-wind-turbines-make-a-comeback/> , dostęp 25.06.16r.
 8. Hałas <http://www.oddzialywaniawiatrakow.pl/odzia%C5%82ywaniawiatrak%C3%B3w,menu,72,81.html> , dostęp 14.06.17r
 9. Kierys T, Kilka uwag o walce z wiatrakami, miesięcznik Czysta Energia marzec 2016
 10. Gajowiecki J, Koniec energetyki wiatrowej w Polsce odczuje cała gospodarka, miesięcznik Czysta Energia lipiec-sierpień 2016
 11. Strzelczyk P, Szczerba Z. Turbiny Wiatrowe Z Pionową Osią Obrotu, Pneumatyka nr1 2011r.
 12. http://magnus-larsen.pl/s_02/ dostęp 07.11.16r.
 13. <https://www.technologyreview.com/s/528581/two-bladed-wind-turbines-make-a-comeback/> , Fairley P. dostęp 25.06.16r.
 14. Bychkov N M, Dovgal A V, Kozlov V V, Magnus wind turbines as an alternative to the blade ones, Journal of Physics: Conference Series 75
 15. Baworski A, Garbala K, Czech P, Witaszek K. Ocena Możliwości Wykorzystania Pędu Mas Powietrza Od Jadących Pojazdów Do Napędu Turbiny Powietrznej, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej
 16. Sondej M. Turbiny Wiatrowe O Pionowej Osią Obrotu, Czysta Energia nr 5 2010r.
 17. Islam M. Esfahanian V. Ting D. S-K. Fartaj A. Applications of Vertical Axis Wind Turbine for Remote Areas
 18. Piwowarski K, Więckiewicz M, Siłownie wiatrowe o osi pionowej <http://eas.itc.pw.edu.pl/?p=324>,dostęp 07.11.16r.
 19. Lewandowski W.M. Proekologiczne odnawialne źródła energii, wydanie 4, Warszawa 2007
 20. Bell B, FloWind's advanced EHD series wind turbine, Conference: American Society of Mechanical Engineers (ASME) energy sources technology conference and exhibition, Houston, TX (United States), 29 Jan - 1 Feb 1995
 21. Vortex Bladeless, <http://www.vortexbladeless.com/technology.php> dostęp 07.11.16r.
 22. Vortex Bladeless: a wind generator without blades, <https://www.indiegogo.com/projects/vortex-bladeless-a-wind-generator-without-blades--3#/dostęp> 07.11.16r.
 23. McKenna P, Bladeless Wind Turbines May Offer More Form Than Function, <https://www.technologyreview.com/s/537721/bladeless-wind-turbines-may-offer-more-form-than-function/> ,dostęp 07.11.16r.
-