

**WIBROAKUSTYKA TURBIN WIATROWYCH O PIONOWEJ OSI OBROTU
(VAWT)**

mgr inż. Jacek SZULCZYK,
prof. dr hab. Czesław CEMPEL dr hc. multi
Politechnika Poznańska, Instytut Mechaniki Stosowanej,
Zakład Wibroakustyki i Biodynamiki Systemów
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, fax: +48 061 665 2307,
e-mail: jacek.szulczyk@doctorate.put.poznan.pl,
e-mail: czeslaw.cepmel@put.poznan.pl

Streszczenie

W referacie przedstawiono celowość i zasadność podjętych badań nad zdefiniowaniem zjawisk wibroakustycznych silników wiatrowych o poziomej osi obrotu (VAWT). Realna groźba wyczerpania naturalnych zasobów energetycznych, prawny wymóg uzyskania 7,5% energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych do 2010 roku, łatwość montażu turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu, odporność na wysoką prędkość wiatru, stan wiedzy o wyznaczaniu współczynnika wykorzystania energii wiatru przy rozważaniach dwuwymiarowych (prawo Betza – rozważania jednowymiarowe) oraz prawdopodobna charakterystyka niskoczęstotliwościowa widma akustycznego pracy turbiny stały się motywacją do podjęcia badań identyfikacyjnych i modelowych nad zjawiskami towarzyszącymi pracy VAWT.

Słowa kluczowe: **turbina wiatrowa, hałas, klimat akustyczny**

Wstęp

Stosunkowo dobre warunki wietrzne na terenie naszego regionu powodują znaczne zainteresowanie uzyskaniem „zielonej energii” właśnie z turbin wiatrowych. Stan wiedzy o najbardziej powszechnie stosowanych turbinach wiatrowych o poziomej osi obrotu (Horizontal Axis Wind Turbine HAWT) jest już obszerny. Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu (Vertical Axis Wind Turbine VAWT), charakteryzujące się niskim momentem obrotowych (możliwość pracy już przy prędkości wiatru nawet 2 m/s), łatwością montażu, brakiem potrzeby budowy wysokich masztów oraz odpornością na silne podmuchy wiatru stanowią ciekawą alternatywę dla gospodarstw cechujących się niewielkim zapotrzebowaniem na energię elektryczną (np. do 3 - 5 kW). Najbardziej prawdopodobnymi zastosowaniami turbin VAWT mogą stać się obszary zurbanizowane i rolne, gdzie odległość instalacji turbiny między sąsiadującymi budynkami może wynieść nawet kilka metrów. Dlatego ważne jest, aby poznać wszystkie cechy klimatu WA podczas pracy VAWT.

1. Ochrona środowiska

Pierwszorzędnym celem budowy farm wiatrowych jest chęć uzyskania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł, czyli uzyskanie tzw. „zielonej energii”. Dyrektywa Europejska 2001/77/WE w sprawie wspierania na rynku wewnętrznym produkcji energii



elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych (Dz. Urz. WE L 283 z 27.10.2001), która obowiązuje w Polsce od 4 marca 2005 roku zakłada, że do 2010 roku ilość energii odnawialnej ma wynieść w Polsce 7,5% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Rys. 1. EKO-STATYSTYKA [Źródło nieznane]

2. Dlaczego farmy wiatrowe

Wiatr jako odnawialne źródło energii, pochodzenia słonecznego jest ruchem powietrza spowodowany różnicą gęstości mas powietrza kierujących się ku górze. Potencjał energetyczny wiatrów wiejących nad powierzchnią lądów dla miejsc odpowiednich do zainstalowania siłowni wiatrowych (z uwzględnieniem strat), wynosi 40 TW. Dla porównania potencjał śródlądowej energii wodnej nie przekracza mocy 4 TW [Lewandowski2006]. W krajach Europy zachodniej (Niemcy, Holandia, Dania) rozwój energetyki wiatrowej został przyjęty z dużym sukcesem, dlatego uzyskanie energii odnawialnej z wiatru może być dobrym kierunkiem w uzyskaniu wymaganych 7,5% energii ze źródeł niekonwencjonalnych w Polsce. Korzystnie wypadają również badania wiatru dla obszaru kraju, czyli określenie tzw. Stref energetycznych wiatru. Pokazują one, że opłacalność budowy, szczególnie dla obszarów północnych może być wyjątkowo ekonomiczne.



Rys. 2. Strefy energetyczne wiatru

3. Energia wiatru

Energia wiatru jest proporcjonalna do prędkości wiatru podniesionej do trzeciej potęgi, a dodatkowo prędkość wiatru wzrasta się wraz z wysokością, ciśnieniem atmosferycznym i zależy od ukształtowania terenu.

$$P_A = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (1) \quad \text{gdzie:}$$

ρ - gęstość powietrza, [kg/m³]
 v - prędkość powietrza, [m/s]

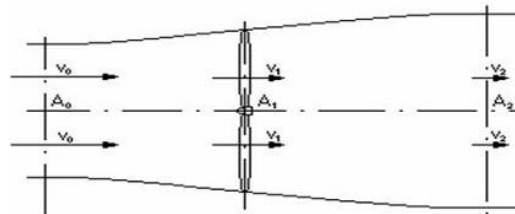
Przy powierzchni ziemi prędkość wiatru równa się zero, co jest spowodowane siłami tarcia. Siły te powodują, że tylko 1/4 energii kinetycznej wiatru przypada na wiatry wiejące na wysokości do 100m, resztę 3/4 energii mają wiatry wiejące wyżej niż 100m.

Przebieg strumienia powietrza przez turbinę aerogeneratora przedstawia się w następujący sposób: prędkość początkowa wiatru v_0 w wyniku przejścia przez skrzydła turbiny wiatrowej ulega zahamowaniu do prędkości v_s , aby za turbiną uzyskać

prędkość zmniejszoną do v_k . Zmniejszenie prędkości v_0 przed turbiną i v_k za turbiną oraz ciśnień p'_s przed turbiną i p'_s za turbiną powoduje powstanie momentu sił obwodowych działających na łopatki, który jest przenoszony na wał wirnika przez przekładnię do generatora.

Wartość największego współczynnika teoretycznego wykorzystania energii wiatru wynosi $\xi_{t \max} = 16/27 = 0,593$, które zostało nazwane Prawem Betza, od nazwiska niemieckiego fizyka Alberta BEZTA. Sprawność przetwarzania energii wiatru silnika wiatrowego o pionowej osi obrotu (VAWT) według obecnej wiedzy wynosi około $\xi_{t \max} = 0,18$ dla typu wiatraka Savoniusa i około $\xi_{t \max} = 0,4$ dla typu wiatraka Darriusa przy ustalonych wyróżnikach szybkobieżności z .

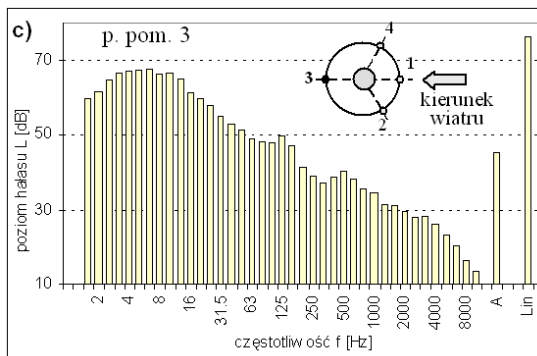
Rozważania, które były prowadzone przez Betza bazowały na ujęciu przepływu wiatru w układzie jednowymiarowym. Obecnie istnieją przesłanki, że wartość współczynników wykorzystania energii wiatru mogą być wyższe, gdy przepływ wiatru przez silniki wiatrowe obejmować będzie układ dwuwymiarowy [Agren, Berg, Leijon 2005]. Autorzy sugerują, że turbiny o pionowej osi obrotu posiadają znacznie większy potencjał wartości teoretycznego współczynnika wykorzystania energii wiatru.



Rys. 3. Przebieg strumienia powietrza przez HAWT

4. Charakterystyka akustyczna turbin wiatrowych

Źródłem hałasu turbin wiatrowych podczas eksploatacji jest hałas pochodzenia mechanicznego (skrzynia biegów, przekładnia, generator) oraz aerodynamicznego (ruch łopatek powodujący turbulencje w ośrodku sprężystym).



Skład widmowy hałasu turbin wiatrowych nie korygowany żadną charakterystyką częstotliwościową

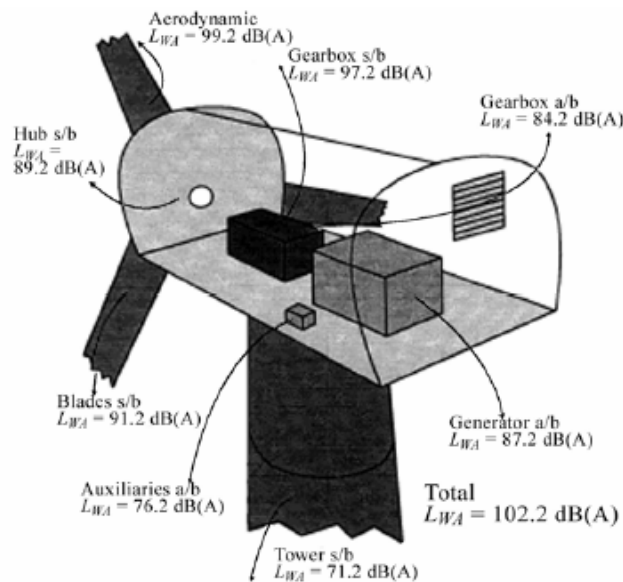


Figure 6: Components and Total Sound Power Level of a Wind Turbine, showing structure-borne (s/b) and airborne (a/b) transmission paths [Wagner, 1996].

Rys. 5. Poziom mocy akustycznej elementów HAWT

jest przykładem typowego hałasu niskoczęstotliwościowego, a niekiedy nawet infradźwiękowego. Kształt widma częstotliwościowego wynika głównie z prędkości obrotowej turbiny, która kształtuje się w zakresie 9.0 – 15.0 obr/min dla turbin o poziomej osi obrotu. Kolejne przejścia obracających się łopatek w odniesieniu do wieży wiatraka powodują charakterystyczny, powtarzalny szum, który w widmie hałasu objawia się w zakresie infradźwięków. Część mechaniczna generuje hałas głównie w zakresie słyszalnym, a elementami wpływającymi na poziom dźwięku jest praca poszczególnych części mechanicznych.

5. Motywacja podjęcia badań WA nad VAWT

Stosunkowo dobre warunki wietrzności panujące w Polsce oraz potrzeba wytwarzania energii odnawialnej powoduje coraz większe zainteresowanie energetyką wiatrową.

Sytuacja gdy turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu produkowane są już w postaci aerogeneratorów o mocach powyżej 4 MW, nastąpiła potrzeba implementacji turbin wiatrowych mniejszych mocy i bardziej mobilnych. Te możliwości dają turbiny o pionowej osi obrotu, dla których prędkość i kierunek wiatru nie stanowią przeszkód technicznych i eksploatacyjnych.

Niestety przy rozpatrywaniu zagadnień wielkości emisji wibroakustycznej turbin wiatrowych i pionowej osi obrotu (VAWT) istnieje mało danych literaturowych, czy

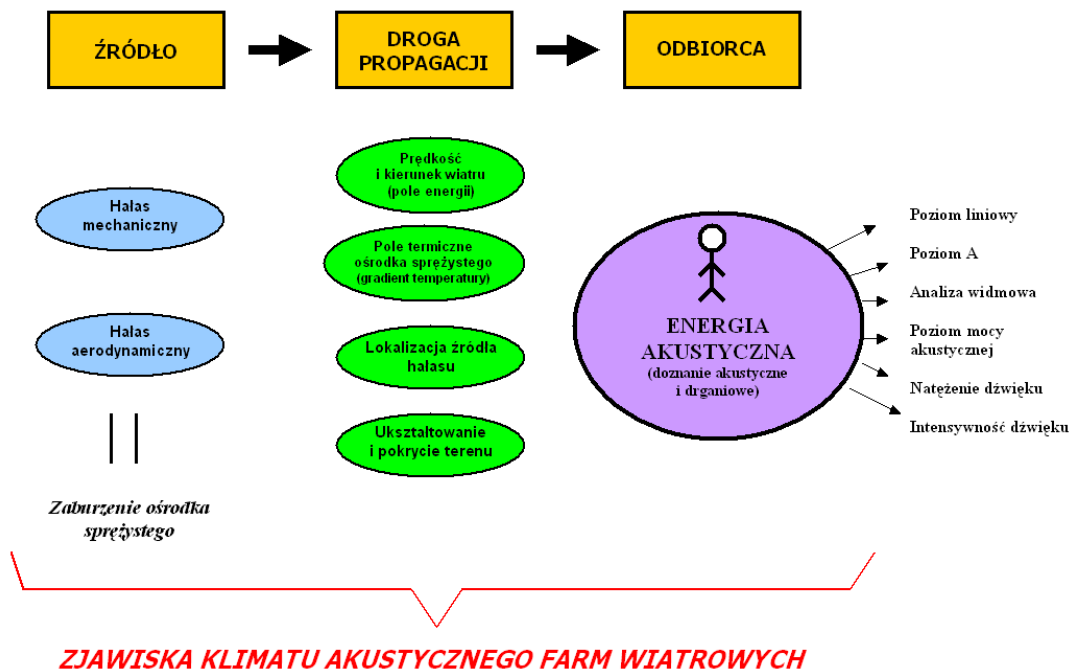
realizowanych prac badawczych. Mając na uwagę potrzebę opisu zjawisk i identyfikacji wskaźników klimatu akustycznego (wibroakustycznego) Autorzy odnieśli się podstawowych problemów obejmujących:

- a) małą odległość miejsca instalacji VAWT od obszaru chronionego akustycznie
- b) generacji hałasu infradźwiękowego lub niskoczęstotliwościowego i narażenia osób zamieszkałych w obszarze zurbanizowanym
- c) metodyki oceny poziomu zagrożenia akustycznego

Praca turbin wiatrowych VAWT zakłada mobilność, łatwość montażu i odporność na zmienne warunki atmosferyczne. Przewiduje się również, że większość przypadków montażu mini turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu dokonywana będzie w samym obszarze zurbanizowanym, gdzie odległość do potencjalnego sąsiada może wynosić nawet kilka metrów. Dlatego ważne jest, aby umieć zdefiniować elementarne współczynniki klimatu wibroakustycznego, panującego w bezpośrednim polu eksploatacyjnym.

Istotne jest również umiejętność określenia i sparametryzowania czynników mających wpływ na proces generacji hałasu przez źródło, jego drogi propagacji oraz wpływu na potencjalnego odbiorcę w obszarze chronionym akustycznie.

Poniżej przedstawiono propozycję definicji Klimatu Akustycznego Farm Wiatrowych (Acoustic Climate Wind Turbine, CAWT):



Rys. 6. Próba definicji Klimatu Akustycznego Farm Wiatrowych (CAWT)

Propozycja zdefiniowania CAWT stanowi pierwsze przybliżenie Autorów do określenia zachodzących zjawisk i występujących parametrów podczas eksploatacji turbin wiatrowych.

Kolejnym ważnym aspektem jest czas narażenia odbiorcy (lub samej osoby korzystającej z energii odnawialnej wytworzonej przy pomocy VAWT). W najmniej korzystnym wariantcie pracy turbiny, czyli z punkty widzenia narażenia na działanie hałasu niskoczęstotliwościowego czy infradźwiękowego odbiorca może być poddany ekspozycji 24 godzinnej przez 365 dni w roku. Nie istnieją wytyczne normowe określające wartości dopuszczalne narażenia na hałas niskoczęstotliwościowy czy infradźwiękowy w odniesieniu do ciągłej ekspozycji.

Warto również wspomnieć o aspekcie ekonomicznym, który może powodować zwiększenie mocy wiatru (W/m^2) przez odpowiednie kształtowanie architektoniczne zabudowy mieszkaniowej. Istnieją już propozycje takiego ukształtowania budynków, aby spowodować zwiększenie prędkości wiatru i poprawy efektywności pracy turbin wiatrowych [Boczar 2007, s130].

6. Podsumowanie

W referacie przedstawiono aspekty środowiskowe, strefy energetyczne oraz podstawowe zależności opisujące energię wiatru. Zwrócono uwagę, że rozpatrywanie sprawności przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną w turbinach wiatrowych o pionowej osi obrotu (VAWT) na podstawie prawa Betza może do końca nie być słuszne. Dokonano krótkiego przedstawienia źródeł hałasu silników wiatrowych, podczas eksploatacji oraz omówiono zasadność podjęcia badań wibroakustycznych (WA) nad identyfikacją zjawisk podczas pracy turbin wiatrowych. Efektem stało się przedstawienie propozycji definicji Klimatu Akustycznego Farm Wiatrowych (Acoustic Climate Wind Turbine, **CAWT**), które stanowi pierwsze przybliżenie Autorów do określenia zachodzących zjawisk i występujących parametrów podczas eksploatacji turbin wiatrowych.

Literatura

1. O. Argen, M. Berg, M. Leijon, *A time-dependent potential flow theory for the aerodynamic of vertical axis wind turbine*, J. of Applied Physisc, 97 (2005)
2. M. Golec, Z. Golec, C. Cempel, *Noise of Wind Power Turbine V80 in a Farm Operation*, First International Meeting On Wind Turbine Noise: Perspectives for Control, Berlin 17 - 18 October 2005
3. T. Boczar, *Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*, PAK, Warszawa 2007
4. W. Jagodziński, *Silniki wiatrowe*, PWT, Warszawa 1956
5. W. M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006

6. S. Wagner, R. Bareis, G. Guidati, *Wind Turbine Noise*, Springer, 1996
7. Serwis poświęcony zmianą klimatycznym i odnawialnym źródłom energii, <http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=40&art=35>, kwiecień 2008,
8. Serwis informacyjny nt. elektrowni wiatrowych, http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/art_europa.htm, kwiecień 2008.