



Wyniki pomiarów i analiz oddziaływania farm elektrowni wiatrowych na klimat akustyczny

Adam Zagubień
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Jednym z podstawowych oddziaływań towarzyszącym eksploatacji farm wiatrowych jest hałas emitowany do środowiska. Dlatego też, każda projektowana lokalizacja farmy wiatrowej powinna być poddana ocenie wpływu na środowisko ze względu na emitowany hałas. Na etapie projektowania prognoza skutków lokalizacji farmy wiatrowej ze względu na emitowany hałas może być wykonana jedynie na drodze obliczeniowej (Zagubień & Ingielewicz 2017). Po uruchomieniu farmy wiatrowej prowadzone są pomiary terenowe hałasu przy najbliższych terenach chronionych akustycznie zlokalizowanych w otoczeniu farmy wiatrowej, a na podstawie uzyskanych wyników wykonywana jest ocena zagrożenia dla środowiska. Aktualnie w Polsce do pomiarów hałasu farm wiatrowych stosowane są metody referencyjne obowiązujące w pomiarach hałasu przemysłowego (Dz. U. poz. 1542. 2014). Ponadto należy mieć na uwadze, że w widmie hałasu emitowanego od elektrowni wiatrowych występują również składowe z zakresu infradźwiękowego (Boczarski i in. 2012, Ingielewicz & Zagubień 2013, Ingielewicz & Zagubień 2014, Jabben & Verheijen 2012, Jacobsen 2001, Pierzga i in. 2013, Pleban & Radosz 2015, Szulczyk & Cempel 2010).

Oceniając oddziaływanie na środowisko elektrowni wiatrowych w zakresie hałasu, należy mieć na uwadze trzy podstawowe aspekty:

1. Ograniczenia w postaci dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku dla otaczających farmę terenów, dotyczące zakresu częstotliwości słyszalnych korygowanych krzywą A.

2. Specyfikę zjawisk akustycznych związanych z pracą turbin wiatrowych, dotyczącą zmian poziomów mocy akustycznych zastosowanych turbin i poziomu tła w otoczeniu, w zależności od prędkości wiatru.
3. Emisję infradźwięków przez turbiny wiatrowe.

Obszerny opis tych zagadnień został zamieszczony w publikacji (Ingielewicz & Zagubień 2016).

W artykule podjęto próbę dokonania oceny zmierzonych poziomów równoważnego poziomu dźwięku w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych hałasu słyszalnego obowiązujących w różnych krajach na świecie. Badania terenowe prowadzono zgodnie z polską metodyką pomiarową (Dz. U. poz. 1542. 2014). Dlatego do porównań wybrano tylko te kraje, w których poziom dopuszczalny hałasu wyrażony jest wskaźnikiem – równoważny poziom dźwięku korygowany krzywą A. Nie uwzględniono wskaźników zależnych od prędkości wiatru, które występują przykładowo w Danii lub Kandy (Ontario). Obszerne zestawienie poziomów dopuszczalnych hałasu pochodzącego od turbin wiatrowych w różnych krajach prezentują (Koppen & Fowler 2015).

W różnych krajach na świecie oceny oddziaływania farm wiatrowych na środowisko prowadzi się odmiennymi metodami. Ustalanie poziomów dopuszczalnych odbywa się głównie za pomocą trzech metod. Pierwszy sposób realizowany jest poprzez ustalenie bezwzględnych wskaźników, uzależnionych najczęściej od pory doby i sposobu zagospodarowania terenu. Drugi sposób, polega na ustalaniu wskaźników względnych, które zależą od aktualnego stanu warunków akustycznych na analizowanym terenie. Trzeci sposób, to połączenie dwóch wcześniejszych, czyli stosowanie łącznie wskaźników względnych i bezwzględnych.

Należy zauważyć, że część krajów uzależnia swoje wskaźniki hałasu od prędkości wiatru i precyzuje poziomy dopuszczalne dla źródła hałasu, jakim są turbiny wiatrowe.

2. Metodyka pomiarowa

W Polsce pomiary hałasu przemysłowego, w tym hałasu od farm wiatrowych prowadzone są zgodnie z referencyjną metodyką pomiarową zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (Dz. U. poz. 1542. 2014). Metodyka pomiarowa ustala szereg ograniczeń, co do warunków

atmosferycznych panujących podczas pomiarów, lokalizacji punktów pomiarowych, zestawów pomiarowych oraz określa sposób wykonywania pomiaru.

Ustalony podczas pomiaru wynik w postaci równoważnego poziomu dźwięku A, porównywany jest z poziomami dopuszczalnymi określonymi dla pory dziennej i pory nocnej (Ingielewicz & Zagubień 2016).

Zasadniczym problemem podczas rejestracji hałasu farm wiatrowych jest dobór optymalnych parametrów prędkości wiatru napędzającego turbiny, przy jednoczesnym zachowaniu warunków meteorologicznych określonych metodyką referencyjną. Fakt ten potwierdzają także autorzy innych opracowań jak np. w publikacji (Wszolek & Kłaczyński 2014). Prowadząc pomiary należy dążyć do takich warunków, by prędkość wiatru na wysokości osi wirników turbin wiatrowych osiągała wartości odpowiadające maksymalnej mocy akustycznej turbin lub bliskie tym wartościom. Wykonując pomiary zgodnie z polską metodyką referencyjną należy spełnić warunek prowadzenia pomiarów przy średniej prędkości wiatru w punkcie kontrolnym (najczęściej 4,0 m nad terenem) nie przekraczającej wartości 5 m/s. Zachowanie tego warunku łącznie z dążeniem do sytuacji, by pomiary wykonać przy maksymalnym poziomie mocy akustycznej turbin w praktyce jest trudne do osiągnięcia, a możliwości jego spełnienia zależą od konfiguracji i zagospodarowania terenu (Bullmore i in. 2009), lokalizacji punktów pomiarowych i występujących w otoczeniu elementów ekranujących. Zdarza się jednak, że podczas pomiarów zostają spełnione oba warunki, czyli turbiny pracują z pełną mocą, a prędkość wiatru nie przekracza 5 m/s na wysokości 4,0 m w punkcie pomiarowym. Wynika to z nieprzewidywalnej zmienności pionowych profili prędkości wiatru w czasie (Ro & Hunt 2007).

Do najbardziej istotnych aspektów dotyczących pomiarów hałasu turbin wiatrowych należy zaliczyć:

- Wybór metody pomiarów, tj. pomiar ciągły lub metoda próbkowania.
- Czas pomiaru próbki w przypadku metody próbkowania.
- Lokalizację punktów pomiarowych.
- Sposób pomiaru tła akustycznego.
- Warunki atmosferyczne podczas pomiarów, a w szczególności prędkość i kierunek wiatru.

2.1. Wybór metody pomiarów

Prowadząc pomiary dążono do wykluczenia wszelkich zakłóceń od innych źródeł hałasu, niezwiązanych z pracą farmy wiatrowej. Najczęściej spotykanymi w praktyce źródłami zakłócającymi pomiar jest ruch samochodowy na pobliskich drogach, praca maszyn rolniczych, wszelkie prace gospodarskie w gospodarstwach domowych, porywy wiatru oraz tak prozaiczne, jak szczekanie psa, pianie koguta, czy śpiew ptaków i inne odgłosy przyrody. Opisane zakłócenia należy eliminować zarówno w czasie pomiarów hałasu od źródeł, jak i podczas pomiarów tła akustycznego. Stosowanie zapisów pomiarów ciągłych i późniejsze próby eliminacji zakłóceń mogą prowadzić do zbyt dużych błędów. W związku z powyższym prezentowane wyniki uzyskano stosując metodę próbkowania.

2.2. Metoda próbkowania

Liczebność próbek oraz czas pomiaru pojedynczej próbki ustalano w zależności od sytuacji akustycznej towarzyszącej pomiarom. Zaobserwowano, że czas pomiaru próbki umożliwiający eliminację wpływu zakłóceń, nie przekracza 60 s, a często wymaga skrócenia do 10 s. Taki dobór czasu pomiaru dotyczy zarówno rejestracji hałasu turbin wiatrowych, jak i tła akustycznego po ich wyłączeniu i zatrzymaniu. Liczba próbek w poszczególnych punktach pomiarowych zawierała się w przedziale 3 do 5.

2.3. Lokalizacja punktów pomiarowych

Położenie punktu pomiarowego określa jego lokalizacja w terenie np. współrzędne geograficzne oraz wysokość nad poziomem terenu.

Wysokość pomiarową ustalono na 4,0 m nad poziomem terenu. Lokalizację punktów pomiarowych przyjęto na granicach działek terenów chronionych akustycznie, najbliższych w stosunku do farmy wiatrowej. Sytuowanie punktów przy elewacji budynków zwiększa odległość od najbliższych turbin, ogranicza możliwość rozbudowy obiektów chronionych w przyszłości i wymaga korekty zmniejszającej wyniki pomiarów kontrolnych o 3 dB. Wykonywanie pomiarów kontrolnych, w punktach położonych na granicy działek najbliższych terenów akustycznych, jest bardziej bezpieczne dla środowiska i ludzi.

2.4. Pomiar tła akustycznego

Pomiary tła akustycznego wykonywano po zatrzymaniu wszystkich turbin wiatrowych. Pomiary prowadzono w tych samych punktach pomiarowych, w których mierzono hałas, przyjmując ten sam czas pomiaru próbki i zasady eliminacji zakłóceń. Podczas pomiarów nie napotymano problemów z zatrzymaniem turbin na czas pomiarów tła, mając stałą łączność podczas pomiarów z operatorem farmy wiatrowej.

Nieodłącznym składnikiem wpływającym na wynik pomiaru jest hałas powodowany wiejącym wiatrem, szumem drzew, zawirowaniami wiatru na przeszkodach, itp. Składowa hałasu wywołana wiatrem jest możliwa do określenia, ponieważ stanowi podstawowy składnik tła akustycznego mierzonego po zatrzymaniu turbin, z zastrzeżeniem, że pomiary tła wykonuje się eliminując zakłócenia od innych źródeł hałasu w otoczeniu farmy. Po zakończonych badaniach wynik pomiaru tła akustycznego odejmowano od wyniku pomiaru hałasu farm wiatrowych zmierzonego łącznie z tłem akustycznym.

2.5. Warunki atmosferyczne podczas pomiarów

Obowiązująca w Polsce referencyjna metoda wykonywania pomiarów hałasu ogranicza prędkość wiatru podczas pomiarów hałasu do wartości średniej 5 m/s na wysokości min. 3,5 m nad poziomem terenu. Warunek ten dotyczy wszystkich pomiarów środowiskowych i wynika z faktu, że przy prędkościach wiatru na wysokości mikrofonu powyżej 5 m/s, pomiary stają się nierozróżnialne z tłem, ze względu na wysoki poziom tła akustycznego. Wartości średniej prędkości wiatru rejestrowane w punktach pomiarowych zestawiono w tabelach 1 i 3. W tabelach podano również wartości prędkości wiatru rejestrowane podczas pomiarów na wysokości wież turbin wiatrowych. Wyniki tych rejestracji otrzymano po zakończeniu pomiarów od operatorów farm wiatrowych.

Pozostałe parametry meteorologiczne, takie jak: ciśnienie atmosferyczne, wilgotność i temperatura, zawierały się w granicach dopuszczalnych określonych w rozporządzeniu (Dz. U. poz. 1542. 2014).

3. Wyniki pomiarów

W artykule przedstawiono materiał zebrany podczas pomiarów terenowych hałasu na 5 farmach elektrowni wiatrowych liczących od 6 do 15 turbin wiatrowych, o mocach od 2,5 MW do 3,0 MW i wysokości wieży w przedziale 100-120 m. Ze względu na zachowanie poufności nie podano informacji szczegółowych o lokalizacji farm, wynikach ocen akustycznych oraz konkretnych typach turbin. Przedstawiono jedynie wyniki pomiarów i ogólne dane istotne dla ocen akustycznych, umożliwiające sformułowanie wniosków.

W tabeli 1 zestawiono prędkości wiatru zarejestrowane podczas pomiarów na wysokości punktów pomiarowych (4,0 m nad terenem) oraz na wysokości osi turbin (120 m nad terenem).

Tabela 1. Wyniki pomiarów wiatru w poszczególnych porach roku w czasie wykonywanych pomiarów

Table 1. Results of wind speed measurements in particular seasons at the time of making measurements

Pora roku	Średnie prędkości wiatru na poszczególnych turbinach	Średnia prędkość wiatru na farmie wiatrowej	Kierunek wiatru	Średnie prędkości wiatru w punktach pomiarowych
	[m/s]	[m/s]	-	[m/s]
Jesień	10,2 – 11,9	10,7	SW	4,3 – 5,0
Zima	8,3 – 9,5	9,1	NE	3,1 – 4,4
Wiosna	7,2 – 9,1	8,5	W	2,9 – 4,6
Lato	8,8 – 9,5	9,0	E	3,5 – 4,8

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych czterokrotnie w ciągu roku (jesień, zima, wiosna, lato) na farmie złożonej z 11 elektrowni wiatrowych o mocy 3,0 MW i wysokości wieży 120 m. Pomiarzy wykonano w 5 punktach pomiarowych, których najmniejsza odległość od najbliższej turbiny wynosiła 540 m, natomiast największa 660 m. W otoczeniu wszystkich punktów pomiarowych, w odległościach do 10 m, występowały skupiska wysokich drzew wpływających na poziomy mierzonego tła i hałasu, szczególnie przy wzrastających prędkościach wiatru. Wszystkie pomiary dotyczą pory nocnej.

Tabela 2. Wyniki rocznych pomiarów hałasu na farmie wiatrowej**Table 2.** Results of annual noise measurements on a wind farm

Nr	L _{Aeq}	L _{AT}	L _{Aeq,im}	L _{Aeq}	L _{AT}	L _{Aeq,im}	L _{Aeq}	L _{AT}	L _{Aeq,im}	L _{Aeq}	L _{AT}	L _{Aeq,im}
	[dBA]											
	Jesień			Zima			Wiosna			Lato		
P1	44,5	43,2	w tle	43,1	41,8	w tle	44,2	39,7	42,2	44,3	40,1	42,2
P2	44,0	42,6		43,7	40,2	41,1	43,0	40,4	w tle	44,8	41,0	42,4
P3	45,1	44,7		43,9	41,6	w tle	43,6	41,8	w tle	43,9	41,5	w tle
P4	43,9	42,7		43,4	39,8	41,0	43,0	38,8	40,9	43,2	38,9	41,2
P5	44,4	42,8		42,8	38,5	40,8	43,4	38,9	41,6	43,6	39,0	41,8

Oznaczenia w tabeli 2.:

Nr – numer punktu pomiarowego,

L_{Aeq} – wyniki pomiaru łącznie z tłem,

L_{AT} – wynik pomiaru tła,

L_{Aeq,im} – wynik pomiaru po odjęciu tła – równoważny poziom dźwięku A w czasie odniesienia.

W tabeli 4 zestawiono przedziały uzyskanych wyników pomiarów hałasu dla czterech farm elektrowni wiatrowych, o różnej liczbie i typach turbin wiatrowych, ale o zbliżonych mocach. Wyniki pomiaru hałasu, które zawierały się w tle pomiarowym odrzucono z zestawienia. W otoczeniu wybranych punktów nie występowały przeszkody znacznie wpływające na wyniki pomiarów hałasu i tła akustycznego spowodowane wzrostem siły wiatru (kompleksy leśne, sady, szpalery drzew itp.). Punkty oddalone były od dróg o znaczącym natężeniu ruchu o co najmniej 400 m. Ogólne dane farm wraz z wynikami pomiarów prędkości wiatru w czasie prowadzonych badań zestawiono w tabeli 3.

Pomiary hałasu wykonano w punktach położonych w najmniejszych odległościach od skrajnych turbin farmy na wysokości 4,0 m. Wybrano punkty, których odległości zawierały się w przedziale 450 m do 650 m, a więc stanowiły najczęściej wynikające z obliczeń numerycznych odległości, umożliwiające zachowanie poziomów dopuszczalnych hałasu w środowisku.

Przedstawione wyniki zmierzonego równoważnego poziomu dźwięku A uzyskano przy zachowaniu przedziałów niepewności rozszerzonej U₉₅ mniejszej od ± 2,0.

Tabela 3. Dane ogólne przykładowych farm wraz z wynikami pomiarów wiatru w czasie prowadzonych badań

Table 3. General data of sample wind farms with results of wind measurements at the time of making measurements

Numer Farmy	Liczba turbin (Moc jednej turbiny)	Wysokość wieży	Średnie prędkości wiatru na poszczególnych turbinach		Średnia prędkość wiatru na farmie wiatrowej		Średnie prędkości wiatru w punktach pomiarowych	
			Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc
	[szt.] [MW]	[m]	[m/s]					
WF 1	15 (2,5)	100	7,4÷9,5	6,5÷8,6	9,1	7,9	2,8÷4,6	2,9÷4,5
WF 2	16 (2,5)	100	9,1÷9,4	9,6÷10,1	9,2	9,8	3,1÷4,4	3,0÷4,7
WF 3	6 (2,5)	100	6,6÷7,7	6,7 – 8,0	7,3	7,4	2,7÷4,1	2,9÷4,3
WF 4	7 (3,0)	105	6,8÷9,0	6,5 – 8,6	8,2	7,8	2,9÷4,6	2,6÷4,3

Tabela 4. Zakres wartości wyników pomiarów hałasu dla 4 farm wiatrowych

Table 4. The ranges of values of noise measurements results at 4 wind farms

Oznaczenie farmy	Pora	Wynik pomiaru łącznie z tłem akustycznym	Wynik pomiaru tła akustycznego	Wynik poziomu emisji po uwzględnieniu tła
		L_{Aeq}	L_{AT}	$L_{Aeq,im}$
[dBA]				
WF 1	dzień	43,1 ÷ 44,8	38,4 ÷ 42,0	41,8 ÷ 43,3
	noc	41,9 ÷ 43,9	36,9 ÷ 38,9	39,5 ÷ 42,8
WF 2	dzień	40,7 ÷ 44,9	38,6 ÷ 41,9	40,9 ÷ 43,1
	noc	41,2 ÷ 44,7	38,2 ÷ 42,1	42,9 ÷ 43,5
WF 3	dzień	39,0 ÷ 42,3	36,3 ÷ 39,2	37,3 ÷ 40,3
	noc	39,6 ÷ 42,6	36,0 ÷ 38,6	37,5 ÷ 40,6
WF 4	dzień	40,7 ÷ 44,6	37,6 ÷ 40,1	39,8 ÷ 42,9
	noc	40,1 ÷ 44,0	36,3 ÷ 38,4	37,4 ÷ 42,8

4. Podsumowanie i wnioski

Porównanie uzyskanych wyników pomiarów z wybranymi obowiązującymi poziomami dopuszczalnymi w różnych krajach na świecie pokazano w tabeli 5. W tabeli zestawiono tylko te kraje w których podobnie jak w Polsce wskaźnikiem oceny jest równoważny poziom dźwięku $A - L_{Aeq}$.

Tabela 5. Porównanie wyników pomiarów z wybranymi poziomami dopuszczalnymi

Table 5. Comparison measurements with selected permissible noise levels

Kraj	Poziom dopuszczalny dla zabudowy zagrodowej L_{Aeq}		Przekroczenie poziomu dopuszczalnego	
	Dzień	Noc	Dzień	Noc
Polska	55	45	nie	nie
Finlandia	45	40	nie	tak
Belgia (Flandria)	48	43	nie	tak (nieznacznie)
Belgia (Walonia)	45	45	nie	nie
Kanada (Alberta)	50	40	nie	tak
Niemcy	60	45	nie	nie
USA (Georgia)	55	55	nie	nie
USA (Minnesota)	50	50	nie	nie
USA (Wisconsin)	50	45	nie	nie
USA (Wyoming)	50	50	nie	nie

Analiza wyników pomiarów prowadzonych dla pięciu farm elektrowni wiatrowych oraz zaobserwowanych zjawisk i uwarunkowań występujących podczas pomiarów pozwoliły sformułować następujące wnioski ogólne:

1. W przypadku pomiarów i oceny hałasu farm elektrowni wiatrowych prowadzenie pomiarów w porze dziennej, z praktycznego punktu widzenia, jest nieuzasadnione. Najniższy z zestawionych w tabeli 5 poziomów dopuszczalnych pory dziennej dla terenów wiejskich, przeważających w otoczeniu farm wiatrowych wynosi 45 dB.
2. W Europie poziomy dopuszczalne hałasu w porze nocnej, określone wskaźnikiem L_{AeqN} (poziom równoważny dźwięku A) zawierają się w przedziale 40-45 dB. Ewentualne obniżanie tych poziomów skutkować będzie uzyskiwaniem wyników pomiarów nierozróżnialnych z tłem pomiarowym (LUBW 2016).
3. Prowadzenie badań terenowych metodą próbkowania pozwala na wybranie najkorzystniejszego czasu pomiaru. Jest to istotne ze względu na dużą zmienność prędkości wiatru i innych parametrów meteorologicznych w ciągu doby.
4. Podczas oceny pomiarowej emisji hałasu w punktach kontrolnych, należy mieć na uwadze również fakt, że w tym samym czasie poszczególne turbiny farmy wiatrowej pracują z różnymi poziomami mocy akustycznej.

5. W celu uzyskania kompleksowych informacji o emisji hałasu badanej farmy elektrowni wiatrowych wskazane jest prowadzenie pomiarów w okresie rocznym, np. w kolejnych 4 porach roku. Można wtedy uzyskać wyniki dla różnych warunków atmosferycznych, a w szczególności przy różnych kierunkach i prędkościach wiatru. Wykonanie czterokrotnych pomiarów w ciągu roku daje większe prawdopodobieństwo wykonania pomiarów przy prędkości wiatru odpowiadającej maksymalnym lub bliskim maksymalnym poziomom mocy akustycznej turbin. Stosując tę zasadę uzyskuje się znacznie szerszy materiał do analizy, co umożliwi kompleksowe wykonanie oceny.
6. W przypadkach, gdy zmierzony poziom emisji hałasu jest nierozróżnialny z tłem akustycznym, a jednocześnie poziom emisji nie przekracza wartości poziomów dopuszczalnych pory dziennej i nocnej w danym punkcie, celowym byłoby wprowadzić zapis interpretacyjny, że w takim przypadku poziom emisji hałasu w danym punkcie nie stanowi zagrożenia dla środowiska i ludzi.

Literatura

- Boczar, T., Malec, T., Wotzka, D. (2012). Studies on Infrasound Noise Emitted by Wind Turbines of Large Power. *Acta Physica Polonica A*. 122, (5), 850-853.
- Bullmore, A., Adcock, J., Jiggins, M., Cand, M. (2009). Wind Farm Noise Predictions and Comparison with Measurements. *Third International Meeting on Wind Turbine Noise*. Aalborg, Denmark.
- Dz. U. 2012 Nr 0 poz. 1109. (2012). *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*. Warszawa: Dziennik Ustaw.
- Dz. U. 2014 Nr 0 poz. 1542. (2014). *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody*. Warszawa: Dziennik Ustaw.
- Dz. U. Nr 120 poz. 826 (2007). *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*. Warszawa: Dziennik Ustaw.
- Ingielewicz, R., & Zagubień, A. (2013). The infrasound noise measurement emitted by wind farm. *Measurement Automation and Monitoring*. 59, (7), 725-727.
- Ingielewicz, R., & Zagubień, A. (2014). Infrasound noise of natural sources in environment and infrasound noise of wind turbines. *Pol. J. Environ. Stud.* 23, 1323-1327.

- Ingielewicz, R., & Zagubień, A. (2016). Problemy oceny hałasu farm elektrowni wiatrowych na podstawie terenowych pomiarów kontrolnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 18, 531-549.
- Jabben, J., & Verheijen, E. (2012). Options for Assessment and Regulation of Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. 31(4), 225-238.
- Jacobsen J. (2001), *Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration*, *Journal of Low Frequency Noise. Vibration and Active Control*, 20(3), 141-148.
- Koppen, E., & Fowler, K. (2015). International legislation for wind turbine noise. *Tenth European Conference on Noise Control, EuroNoise 2015*. Maastricht, Netherlands.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016). *Hałas niskoczęstotliwościowy zawierający infradźwięki pochodzący od turbin wiatrowych i innych źródeł*. Germany: Baden-Württemberg.
- Pierzga, R., Boczar, T., Wotzka, D., Zmarzły, D. (2013). Studies on Infrasound Noise Generated by Operation of Low-Power Wind Turbine. *Acta Physica Polonica A*. 124(3), 542-545.
- Pleban, D., Radosz, J. (2015). Hałas emitowany przez turbinę wiatrową podczas pracy. *Rynek Energii*. 3(118), 109-114.
- Ro, K.S., Hunt, P.G. (2007). Characteristic Wind Speed Distributions and Reliability of the Logarithmic Wind Profile. *Journal of Environmental Engineering*, 133(3), 313-318.
- Szulczyk, J., & Cempel, Cz. (2010). Hałas turbin wiatrowych w zakresie infradźwięków. *Międzynarodowa konferencja Monitoring Środowiska*. Kraków.
- Wszolek, T., & Kłaczyński, M. (2014). Problems in Measurements of Noise Indicators for Wind Turbines in Poland. *Forum Acusticum*. Poland: Cracow.
- Zagubień, A., & Ingielewicz, R. (2017). The Analysis of Similarity of Calculation Results and Local Measurements of Wind Farm Noise. *Measurement*, 106, 211-220.

The Results of the Measurements and Analyses of Impact of Wind Farms on Acoustic Climate

Abstract

Noise emitted to environment is one of the basic factors connected with wind farm operation. That is the reason why each wind farm localization should be analysed to assess the impact on environment considering noise. At the stage of the project, the prognosis of localization results considering emitted noise may be only predicted theoretically, mostly by computer simulation. The exist-

ing farm can be assessed by performing local measurements. Conducting local measurements of wind farms, minding the specificity of their work, requires generally applied and suggested modifications of noise measuring methods. The basic problem while carrying out noise measurements is choosing the proper wind speed, which should not exceed 5 m/s at the height of measurement point (usually 4 m). In the article there are presented examples of own local measurements conducted at more than 5 big wind farms. It was proved that at the distance of more than 500 m from the farm, lots of results of measurements are comparable to measurements of existing acoustic background. For cases when noise measurement results, including background noise, were unrecognizable when compared with only acoustic background and the values were lower than permissible level in the measurement point, some interpretations of such situations were suggested. In the article, there has been made an attempt to assess measured levels of equivalent sound level regarding admissible levels of audible noise applicable in various countries in the world. Local measurements were carried out according to Polish measurement methodology. That is why, for comparison, there have been chosen only those countries in which admissible level of noise is defined by index A - which is an equivalent sound level. Indices dependent on wind speed - which are used in Denmark or Canada (Ontario) for example, were not considered. To get complex info about noise emission of analyzed windfarm it is suggested to conduct measurements in a year period for example in four following seasons. Then we can get results for different weather conditions and especially for different directions and speeds of wind. Conducting such measurements four times a year give us greater probability of making measurements at wind speed equal or close to maximum levels of acoustic power of turbines. Applying this rule we can get wilder material for analysis which preparing complex assessment.

Streszczenie

Hałas emitowany do środowiska jest podstawowym negatywnym czynnikiem towarzyszącym eksploatacji elektrowni wiatrowych. Dlatego też, każda projektowana lokalizacja farmy wiatrowej powinna być poddana ocenie wpływu na środowisko ze względu na emitowany hałas. Na etapie projektu, prognoza skutków lokalizacji farmy wiatrowej ze względu na emitowany hałas, może być wykonana jedynie na drodze teoretycznej, najczęściej są to symulacje komputerowe. Istniejącą farmę wiatrową ocenia się przy wykorzystaniu pomiarów terenowych. Metodyka wykonywania pomiarów terenowych, ze względu na specyfikę pracy elektrowni wiatrowych, różni się od ogólnie przyjętych i zalecanych metod pomiaru hałasu środowiskowego. Podstawową różnicą jest zalecana w typowych pomiarach środowiskowych dopuszczalna prędkość wiatru

podczas pomiarów, która w zgodzie z ogólnie przyjętą metodyką pomiarów środowiskowych w Polsce nie powinna przekraczać 5 m/s na wysokości 4 m. Natomiast podczas pomiaru hałasu pochodzącego od turbin wiatrowych należy dążyć do pomiaru przy prędkości wiatru bliskiej 5 m/s. W artykule przedstawiono przykłady własnych pomiarów terenowych przeprowadzonych na pięciu istniejących farmach wiatrowych. Wykazano, że w odległościach powyżej 500 m od skrajnej turbiny farmy wiatrowej wiele wyników pomiarów hałasu zawarte jest w tle pomiarowym. Część wyników mimo nierozróżnialności z tłem akustycznym miała wartość poniżej poziomu dopuszczalnego. Zaproponowano własną interpretację tej sytuacji pomiarowej.

W artykule podjęto próbę dokonania oceny zmierzonych poziomów równoważnego poziomu dźwięku w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych hałasu słyszalnego obowiązujących w różnych krajach na świecie. Badania terenowe prowadzono zgodnie z polską metodyką pomiarową. Dlatego do porównań wybrano tylko te kraje w których poziom dopuszczalny hałasu wyrażony jest wskaźnikiem – równoważny poziom dźwięku korygowany krzywą A. Nie uwzględniono wskaźników zależnych od prędkości wiatru które występują przykładowo w Danii lub Kanadzie (Ontario). W celu uzyskania kompleksowych informacji o emisji hałasu badanej farmy elektrowni wiatrowych wskazane jest prowadzenie pomiarów w okresie rocznym, np. w kolejnych czterech porach roku. Uzyskuje się wtedy wyniki dla różnych warunków atmosferycznych, a w szczególności przy różnych kierunkach i prędkościach wiatru. Wykonanie czterokrotnych pomiarów w ciągu roku daje większe prawdopodobieństwem wykonania pomiarów przy prędkości wiatru odpowiadającej maksymalnym lub bliskim maksymalnym poziomom mocy akustycznej turbin. Stosując tę zasadę uzyskujemy znacznie szerszy materiał do analizy, co umożliwia kompleksowe wykonanie oceny.

Słowa kluczowe:

pomiar hałasu, farma wiatrowa, poziomy hałasu

Keywords:

noise measurement, wind farm, noise levels