



Problemy oceny hałasu farm elektrowni wiatrowych na podstawie terenowych pomiarów kontrolnych

Ryszard Ingielewicz, Adam Zagubień
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Pierwsze elektrownie wiatrowe zaczęły powstawać w Polsce w latach 1998-2000. Obecnie obiekty te są coraz częściej spotykane w polskim krajobrazie. Przykłady rozwiązań technicznych urządzeń wykorzystujących siłę wiatru znajdziemy w publikacji (Boczar 2008). W miarę rozwoju tej gałęzi energetyki daje się zauważyć, zarówno w Polsce, jak i na świecie, podział społeczeństwa na jej zwolenników oraz przeciwników. Przytaczane są różne argumenty „za” oraz „przeciw” budowie farm wiatrowych. Do zasadniczych argumentów przeciwników budowy elektrowni wiatrowych należy między innymi zaliczyć hałas emitowany podczas ich pracy, a w ostatnim okresie również hałas w zakresie infradźwiękowym. Autorzy artykułu, już od 1999 roku, uczestniczą w wielu procesach projektowania farm wiatrowych. W wyniku prowadzonych obliczeń numerycznych dla ponad 50 projektów budowy farm wiatrowych oraz podczas pomiarów na ponad 15 dużych farmach wiatrowych autorzy artykułu zgromadzili bazę danych związanych z numeryczną analizą akustyczną i pomiarami hałasów generowanych przez elektrownie wiatrowe. Zawarte w artykule propozycje zmian obowiązującej metodyki pomiarowej wynikają z własnych doświadczeń pomiarowych. W artykule podjęto próbę opisanie i wyjaśnienia specyfiki zagadnień akustyki farm wiatrowych oraz przedstawiono propozycje uzupełnienia obowiązujących w Polsce metod pomiaru i oceny hałasu

farm wiatrowych. Rozważania dotyczą hałasu słyszalnego korygowanego krzywą korekcji A, zgodnie z aktualnie obowiązującymi metodami prowadzenia pomiarów i oceny zanieczyszczenia środowiska naturalnego hałasem. Pominięto problemy oceny i analiz hałasu infradźwiękowego związanego z pracą elektrowni wiatrowych, które obszernie omówione są w pracach (Boczar i in. 2012, Ingielewicz & Zagubień 2013, Ingielewicz & Zagubień 2014, Jabben & Verheijen 2012, Pierzga i in. 2013, Pleban & Radosz 2015, Szulczyk & Cempel 2010).

W Europie i na świecie oceny oddziaływania farm wiatrowych na środowisko prowadzi się różnymi 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. W Polsce stosuje się bezwzględne wskaźniki określone w rozporządzeniach Ministra Środowiska (Dz. U. poz. 826. 2007, Dz. U. poz. 1109. 2012). Oceny hałasu pochodzącego od turbin wiatrowych oparte są na analizach sygnału korygowanego krzywą korekcji A. Do oceny, powszechnie stosowanymi są dobowe poziomy równoważne np. $L_{A,eq,D}$ /pora dzienna/ i $L_{A,eq,N}$ /pora nocna/ np. w Polsce oraz oparte na nich wskaźniki roczne L_{DWN} , L_N np. Holandia lub L_R np. Dania. Wyjątek stanowią takie kraje jak: Anglia (ETSU-R-97 1996) czy Australia, gdzie stosowane są wskaźniki statystyczne np. L_{90} . Kilka krajów, jak np. Francja, stosuje względne kryteria oceny sprawdzając naddatek hałasu ponad tło akustyczne, co ze względu na zmienne tło akustyczne, podczas pracy elektrowni wiatrowych, może prowadzić do niejednoznacznych ocen.

2. Aktualny stan prawny dotyczący pomiarów i oceny hałasu środowiskowego w świetle pomiarów hałasu turbin wiatrowych w Polsce

Metodykę wykonywania pomiarów hałasu środowiskowego w Polsce określa Rozporządzenie (Dz. U. poz. 1542. 2014). Zalecana referencyjna metodyka pomiarowa ustala szereg ograniczeń, co do wa-

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

Ocenę zagrożenia hałasem, wykonuje się na podstawie rozporządzeń (Dz. U. poz. 826. 2007, Dz. U. poz. 1109. 2012), które określają poziomy dopuszczalne hałasu dla różnych typów źródeł. Turbiny wiatrowe nie stanowią wydzielonych źródeł hałasu, dlatego zaliczane są do kategorii „Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu”. Pomiary poziomów emisji hałasu wykonuje się zgodnie z zalecaną metodyką referencyjną (Dz. U. poz. 1542. 2014), a ustalony wynik pomiaru w postaci równoważnego poziomu dźwięku, porównywany jest z poziomami dopuszczalnymi określonymi dla pory dziennej i pory nocnej. Poziomy równoważne dźwięku określane są w odniesieniu do 8 kolejnych najmniej korzystnych godzin pory dziennej i 1 najmniej korzystnej godziny pory nocnej. Do najistotniejszych zapisów obowiązującej w Polsce metodyki referencyjnej, ze względu na pomiary hałasu turbin wiatrowych, należy ograniczenie prędkości wiatru na wysokości mikrofonu, do wartości średniej nie większej od 5 m/s. Zapis ten budzi wiele kontrowersji i często stawiane są zarzuty, że zachowanie tego warunku jest błędne. Postuluje się np. w dokumencie Najwyższej Izby Kontroli (Nr ewid. 131/2014/P/13/189/LWR. 2014), prowadzenie pomiarów przy większych prędkościach wiatru, co uzasadnia się koniecznością uzyskania przez turbiny maksymalnego poziomu mocy akustycznej.

3. Pomiary hałasu turbin wiatrowych w świetle obowiązującego w Polsce prawa

Do najbardziej istotnych aspektów dotyczących pomiarów i oceny hałasu turbin wiatrowych, w świetle zalecanej metodyki referencyjnej wykonywania pomiarów hałasu środowiskowego, należy zaliczyć:

1. Wybór metody pomiarów, tj. pomiar ciągły lub metodą próbkowania.
2. Czas pomiaru próbki w przypadku metody próbkowania.
3. Lokalizację punktów pomiarowych.
4. Sposób pomiaru tła akustycznego.
5. Warunki atmosferyczne podczas pomiarów, a w szczególności prędkość i kierunek wiatru.
6. Sposób oceny zagrożenia.

Zaproponowane w artykule zmiany sposobu wykonywania pomiarów hałasu pochodzącego od farm wiatrowych w środowisku, wymagają również wyjaśnienia podstawowych, istotnych aspektów związanych z pracą i emisją hałasu od turbin wiatrowych.

3.1. Cel prowadzenia kontrolnych pomiarów hałasu po uruchomieniu farmy wiatrowej

Celem kontrolnych pomiarów hałasu jest ocena pomiarowa pracującej farmy wiatrowej pod względem zagrożenia dla środowiska i ludzi. Ponadto pomiary terenowe stanowią weryfikację wyników obliczeń numerycznych i oceny akustycznej zadania inwestycyjnego, określających lokalizację poszczególnych turbin wiatrowych. W prowadzonych na etapie projektowania farmy obliczeniach numerycznych zakłada się najbardziej niekorzystny przypadek mogący zaistnieć w przyszłości, poprzez przyjęcie do obliczeń maksymalnych poziomów mocy akustycznej zastosowanych typów turbin podczas całego okresu ich pracy. Zakłada się, że przyjęte do obliczeń poziomy mocy akustycznej turbin nie zostaną przekroczone w praktyce.

3.2. Specyfika zjawisk akustycznych towarzyszących pracy turbin wiatrowych

Wykonanie oceny zagrożenia hałasem powinno uwzględniać następujące zjawiska akustyczne towarzyszące pracy turbin wiatrowych:

- Poziom mocy akustycznej oferowanych na rynku typów turbin jest zróżnicowany, a ponadto, jest zmienny podczas ich pracy w zależności od prędkości wiatru, wzrasta wraz ze wzrostem prędkości wiatru i po osiągnięciu pewnej prędkości granicznej praktycznie jest stały.
- Prędkość wiatru wzrasta wraz ze zmianą wysokości nad poziomem terenu, tzn. im wyżej tym prędkość wiatru jest większa.
- Poziom tła akustycznego środowiska zmienia się wraz ze zmianą prędkości wiatru – wzrasta z jego prędkością.
- Wyniki przeprowadzonych badań (Item no.: 943111.R2. 2000), Ingenieurbüro für akustik BUSCH GmbH. 1998) wykazują, że wraz ze wzrostem prędkości wiatru udział tła akustycznego w mierzonym sumarycznym poziomie hałasu ma tendencję wzrostową. Przy większych prędkościach wiatru, bliskich uzyskania maksymalnej wydajności i maksymalnego poziomu mocy akustycznej turbin, poziom tła

w punkcie pomiarowym staje się porównywalny z poziomem hałasu od pracy turbin. Stwierdza się wówczas, że hałas od pracy turbin jest nierozróżnialny z tłem akustycznym. Jedną z istotnych przyczyn takiej sytuacji jest znaczne oddalenie od źródła, kontrolnych punktów pomiarowych (ponad 400 m), lokalizowanych przy najbliższej zabudowie mieszkalnej. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wzrost poziomu tła w otoczeniu punktów pomiarowych jest często występująca większa „szorstkość” terenu wokół zabudowy. Powodem tego mogą być występujące w otoczeniu punktu pomiarowego drzewa, krzewy, budynki i inne obiekty. Zjawisko to zostało potwierdzone w pracy (Bullmore i in. 2009) oraz w kilkunastu pomiarowych ocenach akustycznych, przeprowadzonych przez autorów artykułu dla dużych farm wiatrowych w Polsce.

W celu wykonania oceny dla możliwie najbardziej niekorzystnego akustycznie przypadku pracy turbin wiatrowych, pomiary należałoby wykonać przy prędkości wiatru odpowiadającej maksymalnym poziomom mocy akustycznej turbin.

Prędkości wiatru i odpowiadające mu poziomy mocy akustycznej podawane są przez producentów turbin w zróżnicowany sposób. Najczęściej w dokumentacji technicznej zależność ta przedstawiana jest w postaci wykresu lub w formie tabelarycznej. Wielu producentów podaje również dane o poziomie mocy akustycznej w rozbiciu na wartości w oktawach i tercjach, co umożliwia prowadzenie obliczeń zasięgu hałasu z uwzględnieniem wpływu gruntu metodą ogólną, zgodnie z obowiązującą normą (PN-ISO 9613-2:2002 2002). W niektórych dokumentacjach technicznych turbin, podawany jest maksymalny poziom mocy akustycznej dla dwóch prędkości wiatru, tj. na poziomie 10 m i odpowiadającej jej prędkości wiatru na poziomie wirnika turbiny wiatrowej. Ten sposób podawania informacji wydaje się być najlepszym z punktu widzenia zarówno możliwości obliczeniowych różnych programów komputerowych wykorzystywanych do analiz akustycznych farm wiatrowych, jak również dla zespołów wykonujących pomiary terenowe.

Komplet niezbędnych informacji akustycznych przedstawiono przykładowo dla turbiny General Electric typ GE 2,5 – 100 w tabeli 1.

Przykładowa turbina osiąga maksymalną moc akustyczną przy prędkości wiatru 7 m/s na wysokości 10 m nad terenem.

Tabela 1. Poziomy mocy akustycznej turbiny General Electric typ GE 2,5 – 100 w zależności od prędkości wiatru (GE 2012)

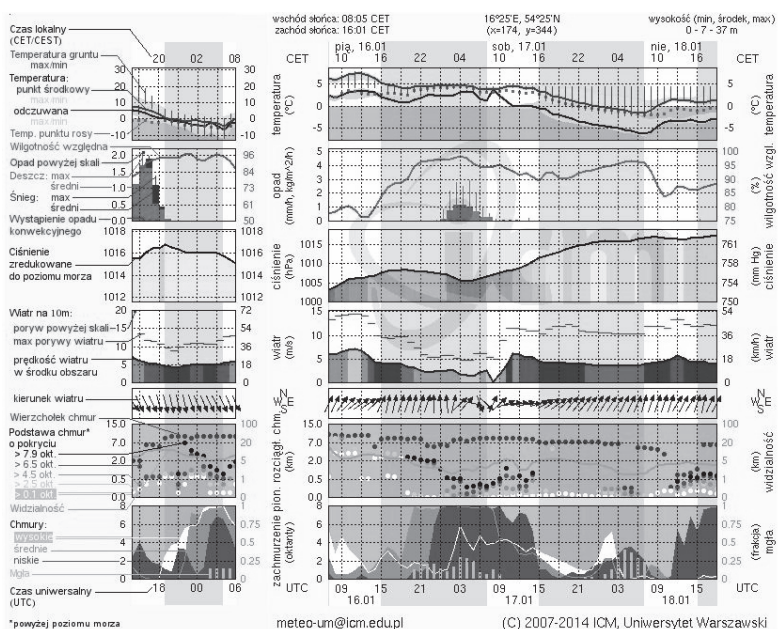
Table 1. Levels of sound power of General Electric type GE 2,5 – 100 depending on wind speed (GE 2012)

Prędkość wiatru na wysokości 10 m npt [m/s]	3	4	5	6	7	8	9	10 do max	
Prędkość wiatru na wysokości osi wirnika 98 m npt [m/s]	4,3	5,7	7,2	8,6	10,0	11,4	12,9	14 do max	
Częstotliwość [Hz]	31,5	68,7	68,5	72,9	76,9	79,3	80,2	80,5	80,8
	63	77,8	77,6	82,2	86,4	88,9	90,0	90,1	90,3
	125	82,1	82,4	87,3	91,6	94,7	95,3	95,2	95,3
	250	85,6	86,1	91,3	96,0	99,9	99,0	98,1	97,6
	500	88,4	87,9	93,4	98,6	102,2	101,6	101,3	100,5
	1000	87,9	87,5	92,1	96,6	99,0	100,1	101,0	101,8
	2000	84,4	85,9	90,7	94,7	96,9	97,7	98,1	98,5
	4000	74,5	77,7	93,8	88,6	91,5	91,7	90,7	89,8
	8000	55,1	56,9	63,4	69,6	73,6	73,0	70,8	70,5
16000	8,4	12,7	18,8	24,2	28,6	27,5	28,4	27,7	
Łączny wynik mocy akustycznej L_{WA} [dB]	93,4	93,6	98,6	103,3	106,5	106,5	106,5	106,5	

3.3. Wybór metody pomiarów hałasu turbin wiatrowych

Celem pomiarów jest dokonanie oceny zagrożenia dla środowiska od konkretnego źródła hałasu. W omawianym przypadku jest to sumaryczny poziom hałasu emitowanego od turbin wchodzących w skład badanej farmy wiatrowej, imitowany w kontrolnych punktach pomiarowych. Zatem prowadząc pomiary należy dążyć 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 oraz tak prozaiczne, jak szczekanie psa, pianie koguta, czy śpiew ptaków i inne odgłosy przyrody. Powyższe zakłócenia należy eliminować zarówno w czasie pomiarów hałasu od źródeł, jak i podczas pomiarów tła akustycznego. 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. Wielokrotne własne pomiary hałasu farm wiatrowych wykazały, że podczas badań terenowych konieczna jest obecność zespołu pomiarowego, w celu bieżącego podejmowania decyzji o momencie wykonania pomiaru, liczbie próbek i czasie pomiaru pojedynczej próbki. Bezwarunkowa obecność zespołu pomiarowego umożliwia w maksymalnym stopniu eliminację wszelkich źródeł zakłócających pomiar. Stosowanie zapisów pomiarów ciągłych i późniejsze próby eliminacji zakłóceń mogą prowadzić do zbyt dużych błędów. Nie można też zapominać, że prędkość wiatru jest zmienna w czasie i w ciągu doby może być bliska zeru lub przekraczać wartość 5 m/s. Mogą też wystąpić opady deszczu. Fakt ten zilustrowano na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowe warunki meteorologiczne

Fig. 1. Sample weather conditions

Dlatego też, należy podczas pomiarów hałasu turbin wiatrowych stosować metodę próbkowania, a liczebność próbek oraz czas pomiaru pojedynczej próbki ustalać zgodnie z obowiązującą metodą referencyjną (Dz. U. poz. 1542. 2014), w zależności od sytuacji akustycznej towarzy-

szącej pomiarom. Z dotychczas przeprowadzonych pomiarów wynika, 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.

3.4. Lokalizacja punktów pomiarowych

Położenie punktu pomiarowego określa jego lokalizacja w terenie np. współrzędne geograficzne oraz wysokość nad poziomem terenu w punkcie pomiaru. W pomiarach hałasu turbin wiatrowych należy uwzględnić również wykonaną wcześniej, numeryczną analizę akustyczną, zawartą w raporcie oddziaływania na środowisko. Prawidłowo wykonana analiza numeryczna, zgodnie z obowiązującą w Polsce i wielu krajach normą (PN-ISO 9613-2:2002 2002), określa zasięgi dla izofon hałasu (mapy hałasu). Analiza numeryczna powinna określać położenie punktów obliczeniowych dla najbliższej położonych terenów chronionych akustycznie, podając jednocześnie wyniki obliczeń poziomów imisji hałasu w tych punktach oraz poziomy dopuszczalne. Charakter zabudowy chronionej akustycznie ustala się na podstawie planów zagospodarowania przestrzennego lub na podstawie informacji z gminy o rzeczywistym zagospodarowaniu terenu, w przypadku braku takich planów. Z wykonanych własnych obliczeń numerycznych dla wielu projektów farm wiatrowych wynika, że zachowanie poziomów dopuszczalnych w środowisku wymaga odsunięcia skrajnych turbin od najbliższych terenów chronionych akustycznie na odległość w granicach 400-700 m, zależnie od typu i możliwości regulacyjnych turbin wiatrowych. Zatem pomiary kontrolne, wykonywane są również w odległościach około 400-700 m od najbliższej turbiny. Pomiary hałasu turbin wykonywane w takich odległościach, przy średnich prędkościach wiatru bliskich 5,0 m/s na wysokości 4,0 m, jak wykazuje praktyka, bardzo często są nierozróżnialne z tłem akustycznym, co uniemożliwia ocenę na podstawie pomiarów.

Sugeruje się, lokalizację punktów obliczeniowych i pomiarowych na granicach działek, najbliższych terenów chronionych akustycznie, wynikających z map ewidencyjnych. Lokalizacja tych punktów przy elewacji najbliższych budynków zwiększa odległość od najbliższych turbin, ogranicza możliwości rozbudowy obiektów chronionych w przyszłości i wymaga korekty zmniejszającej wyniki pomiarów kontrolnych

o 3,0 dB. Wykonywanie obliczeń i pomiarów kontrolnych, w punktach położonych na granicy działek najbliższych terenów akustycznych, jest bardziej bezpieczne dla środowiska i ludzi, co potwierdza szereg badań własnych wykonanych na pracujących farmach wiatrowych.

Istotnym elementem pomiaru jest zalecane w rozporządzeniu (Dz. U. poz. 1542. 2014) położenie mikrofonu pomiarowego na wysokości 4,0 m nad poziomem terenu. To zalecenie wydaje się być nieuzasadnione w przypadku turbin wiatrowych, ze względu na fakt niższych prędkości wiatru bliżej powierzchni terenu. Sugeruje się zatem lokalizację mikrofonu podczas pomiaru hałasu turbin na wysokości 1,5-1,8 m nad poziomem terenu, zbliżoną do położenia odbiornika słuchu, jakim jest ucho ludzkie.

3.5. Pomiary tła akustycznego

Pomiary tła akustycznego należy wykonać w tych samych punktach pomiarowych, w których mierzono hałas, przyjmując ten sam czas pomiaru próbki i zasady eliminacji zakłóceń. Pomiar tła wykonuje się po wyłączeniu i zatrzymaniu turbin wiatrowych. Obowiązująca metodyka referencyjna dopuszcza pomiar tła w innym punkcie o podobnych właściwościach, w przypadku braku możliwości wyłączenia źródeł, przykładowo w cieniu akustycznym za przegrodą. W przypadku pomiarów hałasu turbin wiatrowych, należy unikać takiego wyboru, ponieważ w cieniu akustycznym, za przegrodą, eliminuje się zarówno wpływ źródła, czyli turbin wiatrowych oraz wpływ wiatru, rejestrując zdecydowanie inne tło akustyczne niż w punkcie pomiarowym. W dotychczas wykonanych pomiarach nie napotymano problemów z zatrzymaniem turbin na czas pomiarów tła, mając stałą łączność podczas pomiarów z operatorem farmy wiatrowej. Obowiązkowy pomiar tła w punkcie pomiarowym, w przypadku źródła, jakim są turbiny wiatrowe, powinien być wpisany do zalecanej metodyki referencyjnej.

3.6. Prędkość i kierunek wiatru oraz warunki atmosferyczne podczas pomiarów

Obowiązująca referencyjna metoda wykonywania pomiarów hałasu (Dz. U. poz. 1542. 2014) ogranicza prędkość wiatru podczas pomiarów do wartości średniej 5 m/s. 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. Zjawisko to występuje również, podczas większości pomiarów od źródeł hałasu nie będących turbinami wiatrowymi.

Należy podkreślić, że obowiązujące ograniczenie średniej prędkości wiatru, nie dotyczy prędkości wiatru na wysokości osi turbiny wiatrowej, które najczęściej położone są na wysokości 100 i więcej metrów nad poziomem terenu. W praktyce prędkość wiatru, mierzona podczas pomiarów, określana jest na poziomie mikrofonu pomiarowego, najczęściej jest to wysokość 4,0 m nad poziomem terenu. Mając na uwadze, że na poziomie punktu pomiarowego występuje duża zmienność prędkości i kierunku wiatru, proponuje się wykonywanie pomiarów kontrolnych hałasu turbin wiatrowych przy średniej prędkości wiatru w przedziale 2,5-5,0 m/s, mierzonej na wysokości 3,0 m, co jest zgodne z warunkami obowiązującej normy obliczeniowej (PN-ISO 9613-2:2002 2002). Do oceny zagrożenia, należy przyjmować wyniki pomiarów zarejestrowane dla prędkości wiatru maksymalnie zbliżonej do 5 m/s, pod warunkiem, że są one rozróżnialne z tłem lub łączny wynik pomiaru hałasu i tła, nie przekracza poziomu dopuszczalnego w punkcie pomiarowym. W tym samym czasie, na poziomie osi wirnika, prędkość wiatru jest znacznie większa i może być zbliżona, a nawet osiągać wartość odpowiadającą maksymalnym poziomom mocy akustycznej. Zależy to od ukształtowania terenu, typu turbin i wysokości wieży nośnej turbin.

Autorzy artykułu prowadząc pomiary dodatkowo rejestrowali godzinę pomiarów w każdym punkcie pomiarowym, co pozwalało na określenie odpowiadającej im prędkości wiatru na poziomie osi wirnika, każdej turbiny wiatrowej badanej farmy. Dane takie, uzyskuje się od dyspozytora farmy wiatrowej, w postaci plików zapisów komputerowych pomiarów prędkości wiatru w funkcji czasu, wykonywanych i rejestrowanych ciągle, w czasie rzeczywistym na wysokości gondoli turbin wiatrowych. Informacje te mogą być podawane w różnych formach, z których najlepszą są zapisy średniej prędkości wiatru w kolejnych 10 minutowych przedziałach dla całej doby obejmującej czas pomiarów. Informacje te, łącznie z charakterystyką akustyczną badanego typu turbiny i znajomością wysokości wieży, pozwalają określić poziom mocy akustycznej poszczególnych turbin w trakcie pomiarów. W tabeli 2 podano przykładowe wyniki badań własnych (pora nocna), dla farmy złożonej

z 11 turbin wiatrowych, każda o mocy 3,0 MW, pokazujące średnie prędkości wiatru podczas pomiarów na wysokości punktu pomiarowego i odpowiadające im prędkości wiatru na wysokości pracujących turbin.

Tabela 2. Przykładowe wyniki pomiarów własnych

Table 2. Sample results of own measurements

Nr punktu	Prędkość i kierunek wiatru		Prędkość i kierunek wiatru		Prędkość i kierunek wiatru	
	Na wysokości 4,0 m 3,8-4,9 m/s, SW		Na wysokości 4,0 m 2,9-4,4 m/s, NE		Na wysokości 4,0 m 2,7-4,5 m/s, W	
	Na wysokości 120,0 m 9,1-10,6 m/s, SW		Na wysokości 120,0 m 8,3-9,5 m/s, NE		Na wysokości 120,0 m 5,8-8,9 m/s, W	
	Zmierzony łączny poziom równoważny L_{Aim} (dB)	Zmierzony poziom tła L_{At} (dB)	Zmierzony łączny poziom równoważny L_{Aim} (dB)	Zmierzony poziom tła L_{At} (dB)	Zmierzony łączny poziom równoważny L_{Aim} (dB)	Zmierzony poziom tła L_{At} (dB)
	12/2013		03/2014		06/2014	
P1	44,6	42,2	43,1	41,8	43,7	39,2
P2	43,8	42,0	43,7	40,2	42,7	38,9
P3	44,7	43,8	43,9	41,6	43,5	39,7
P4	44,1	42,9	43,4	39,8	43,1	39,1
P5	44,3	41,9	42,8	38,5	43,0	38,3
P6	43,9	42,5	42,5	38,2	42,8	38,4

Wyniki pomiarów oznaczone w tabeli 2 kolorem szarym wskazują, że poziom imisji hałasu w punktach kontrolnych był nierozróżnialny z tłem akustycznym, ($\Delta L = L_{Aim} - L_{At} < 3$).

Podczas pomiarów prowadzonych na ponad 15 farmach wiatrowych zaobserwowano, że w tym samym czasie prędkość wiatru na poszczególnych turbinach farmy różni się od siebie, często różnice te są znaczne. W tabeli 3 pokazano przykładowe rzeczywiste prędkości wiatru występujące podczas pomiarów w porze nocnej. Badania prowadzone były na farmie składającej się z 11 turbin, każda o mocy znamionowej 3,0 MW o wysokości wieży $H=120$ m. Prędkość wiatru w tym samym czasie na wysokości 4 m zawierała się w przedziale 3,4-4,7 m/s.

W analizowanym przypadku, różnice prędkości wiatru dla poszczególnych turbin w tym samym czasie (np. 05:30:00), zawierały się w przedziale od 4,4 m/s (turbina T5) do 9,6 m/s (turbina T11). Podobne zjawisko zaobserwowano na wszystkich badanych farmach wiatrowych. Podkreślić należy, że w obliczeniach numerycznych zakłada się najbar-

dziej niekorzystny przypadek pracy wszystkich turbin przy prędkości wiatru odpowiadającej maksymalnemu poziomowi mocy akustycznej. W praktyce, przypadek taki może zaistnieć tylko przy bardzo dużych prędkościach wiatru, znacznie przekraczających 5 m/s, na wysokości mikrofonu w punkcie pomiarowym. Przy takich prędkościach wiatru w punktach pomiarowych, odległych od turbin o ponad 400 m, poziom tła akustycznego powodowany wiatrem, przekracza poziomy hałasu rejestrowanego od turbin wiatrowych, a wykonanie poprawnego pomiaru i oceny staje się niemożliwe.

Tabela 3. Pomiary prędkości wiatru na wysokości osi wirnika
Table 3. Measurements of wind speed at the height of rotor axis

Godz.	Prędkość wiatru [m/s]											Średnia z turbin [m/s]
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	
5:30:00	8,3	8,8	8,2	4,7	4,4	7,7	9,1	9,3	5,8	8,8	9,6	7,7
5:40:00	9,7	10,1	9,5	5,9	5,4	7,8	9,5	9,9	7,5	9,2	9,4	8,5
5:50:00	9,3	9,9	9,5	7,4	6,8	7,7	9,7	10,1	7,0	9,5	9,8	8,8
6:00:00	10,3	10,5	10,4	5,9	5,7	8,2	10,9	9,7	5,5	10,2	10,3	8,9
	Średnia prędkość wiatru dla każdej turbiny [m/s]											
	9,4	9,8	9,4	6,0	5,6	7,8	9,8	9,7	6,4	9,4	9,8	

Na wyniki pomiarów hałasu mają wpływ również kierunek wiatru oraz warunki atmosferyczne: wilgotność, temperatura i ciśnienie. W trakcie roku zmienia się również poszycie terenu. Wiosną i latem grunt pokryty jest roślinnością, jesienią i zimą grunt jest zaorany lub pokryty pokrywą śnieżną. Uzasadnione jest zatem prowadzenie pomiarów w czterech porach roku, co pozwala na uwzględnienie tych parametrów i daje znacznie więcej informacji na temat klimatu akustycznego w otoczeniu badanej farmy wiatrowej.

3.7. Sposób oceny zagrożenia

Ocena zagrożenia hałasem emitowanym przez farmy wiatrowe, polega na porównaniu wyników pomiarów z poziomami dopuszczalnymi, określonymi dla najbliższych terenów chronionych akustycznie. Aktualnie pomiary hałasu wykonywane w otoczeniu farm wiatrowych zgodnie z obowiązującą metodyką referencyjną (Dz. U. poz. 1542. 2014) budzą wiele kontrowersji, co spowodowane jest uniwersalnością tych

przepisów. W przypadku pomiarów i oceny hałasu farm wiatrowych, metodyka ta powinna być zmodyfikowana w sposób uwzględniający specyfikę pracy turbin wiatrowych, których poziom mocy akustycznej, uzależniony jest od prędkości wiatru. W analizach akustycznych turbin wiatrowych wskazane jest prowadzenie pomiarów przy prędkościach wiatru bliskich maksymalnej, dopuszczalnej przepisami wartości, a więc zbliżonej do 5 m/s. Jednak w wielu pomiarach wykonanych dla takich prędkości wiatru stwierdzono (tabela 2), że poziom emisji hałasu był nierozróżnialny z tłem akustycznym, ponieważ $\Delta L = L_{Aim} - L_{At} < 3$, zatem brak było możliwości określenia poziomu emisji hałasu od elektrowni wiatrowych na podstawie pomiarów. Nie wyklucza to jednak możliwości stwierdzenia braku przekroczeń poziomów dopuszczalnych hałasu w środowisku w przypadku, gdy sumaryczny, zmierzony poziom hałasu od farmy wiatrowej i tła akustycznego, nie przekraczał wartości poziomu dopuszczalnego pory dziennej i nocnej w danym punkcie. W przypadkach takich nie można określić wartości równoważnego poziomu dźwięku od farmy wiatrowej. Można natomiast stwierdzić, że poziom ten, o nieznannej wartości, nie stanowi zagrożenia dla środowiska i ludzi. Przetawiony sposób interpretacji powinien być zapisany w obowiązującej metodyce referencyjnej wykonywania pomiaru hałasu farm wiatrowych. Przypadki pomiaru hałasu nierozróżnialnego z tłem akustycznym są często rejestrowane w praktyce pomiarowej hałasu od farm wiatrowych. Na problemy związane z doбором optymalnych parametrów prędkości wiatru podczas pomiarów, zwracają uwagę także autorzy innych publikacji (Wszółek & Kłaczyński 2014).

4. Podsumowanie i wnioski

Obowiązująca metoda referencyjna pomiarów hałasu (Dz. U. poz. 1542. 2014), po wprowadzeniu modyfikacji uwzględniającej specyfikę pracy turbin wiatrowych, może być stosowana do pomiarów i oceny hałasu farm wiatrowych.

Proponuje się następujące zmiany, zalecenia i uzupełnienia metodyki referencyjnej wykonywania pomiarów hałasu w odniesieniu do turbin wiatrowych:

- Wprowadzić zalecenie prowadzenia pomiarów wyłącznie metodą próbkowania ze względu na zmienność prędkości wiatru i innych parametrów meteorologicznych w ciągu doby.
- Czas pomiaru próbki umożliwiający eliminację wpływu zakłóceń ustalić na 60 s, a przy częstych zakłóceniach skrócić do 10 s. Warunek ten dotyczy zarówno pomiaru hałasu turbin, jak i tła akustycznego po wyłączeniu i zatrzymaniu turbin.
- Pomiary tła akustycznego należy wykonywać wyłącznie po zatrzymaniu turbin w tych samych punktach kontrolnych, w których mierzono hałas podczas ich pracy.
- Lokalizację kontrolnych punktów pomiarowych należy ustalić na granicach działek najbliższych terenów chronionych akustycznie na wysokości 1,5 m nad poziomem terenu, a nie przy elewacji budynku chronionego.
- Pomiary hałasu należy wykonywać przy prędkości wiatru zawartej w granicach od 2,5 m/s do 5,0 m/s, mierzonej w pionie pomiarowym na wysokości 3,0 m.
- Wprowadzić zalecenie prowadzenia pomiarów w czterech porach roku, co pozwoli na uwzględnienie zmiennych w ciągu roku warunków atmosferycznych takich, jak: wilgotność, temperatura, ciśnienie i kierunek wiatru oraz zmiennego poszycia terenu wpływającego na propagację fali dźwiękowej.
- Przed pomiarami zespół pomiarowy powinien zapoznać się z częścią akustyczną raportu oddziaływania na środowisko oraz z dokumentacją techniczną turbin wiatrowych i ustalić, przy jakich prędkościach wiatru dany typ turbiny osiąga maksymalny poziom mocy akustycznej.
- Wprowadzić obowiązek udostępnienia zespołowi pomiarowemu przez dyspozytora farmy wiatrowej informacji, o średnich prędkościach wiatru na poszczególnych turbinach, podczas wykonywania zaleconego w decyzji środowiskowej monitoringu hałasu.
- Na podstawie zapisów komputerowych dyspozytora farmy wiatrowej należy ustalić, przy jakich prędkościach wiatru na wysokości osi poszczególnych turbin wykonano pomiary emisji hałasu. W raporcie z badań należy podać przedział uśrednionych wartości prędkości wiatru, odpowiadający czasowi wykonywania pomiarów.

- 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, wprowadzić zapis interpretacyjny, że w takim przypadku poziom emisji hałasu w danym punkcie nie stanowi zagrożenia dla środowiska i ludzi.

Łączne informacje odnośnie zagrożenia hałasem od farm wiatrowych uzyskane z poprawnie przeprowadzonej analizy numerycznej na etapie projektowania farmy oraz porealizacyjnych pomiarów terenowych, prowadzonych w sposób uwzględniający opisane zalecenia i uzupełnienia, umożliwią obiektywną ocenę akustyczną farm wiatrowych na środowisko.

Literatura

- Boczar, T. (2008). *Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*. Gliwice: Wydawnictwo PAK.
- 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.
- ETSU-R-97 (1996). *The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms*. England: UK Department of Trade and Industry.
- GE (2012). *Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems 2.x-100 - 50 Hz, Product Acoustic Specifications Noise-Reduced Operation according to IEC, Incl. Octave Band Spectra, Incl. 1/3rd Octave Band Spectra*. General Electric Company.

- Ingenieurbüro für akustik BUSCH GmbH. (1998). *Summary of an acoustical report*. Germany: Westensee.
- 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.
- Item no.: 943111.R2. (2000). *General Specification 660 kW Variable Slip Wind Turbines*. Denmark: Vestas.
- 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.
- Nr ewid. 131/2014/P/13/189/LWR. (2014). *Informacja o wynikach kontroli. Lokalizacja i budowa lądowych farm wiatrowych*. Warszawa: Najwyższa Izba Kontroli.
- 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.
- PN-ISO 9613-2:2002 (2002). *Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej, Ogólna metoda obliczania*. Warszawa: Wydawnictwo PKN.
- Szulczyk, J., Cempel, Cz. (2010). *Hałas turbin wiatrowych w zakresie infradźwięków*. Kraków: Międzynarodowa konferencja Monitoring Środowiska.
- Wszolek, T., Kłaczyński, M. (2014). Problems in Measurements of Noise Indicators for Wind Turbines in Poland. *Forum Acusticum*. Poland: Cracow.

Problems of Assessment of Wind Farm Noise on the Basis of Local Control Measurements

Abstract

In the article we made an attempt of description and explanation of specificity of wind farm noise issues and also we have suggested some ideas of supplementing methods of measurement and assessment of wind farm noise which are in force in Poland. The discussion concerns audible noise corrected by corrective curve – A. Suggested reference method of measurement sets up many limitations regarding weather conditions during measurements, localiza-

tion of measuring points, measurements sets and it also determines the way of performing measurements.

The assessment of noise risk is made on the basis of the result of measurement in a form of equivalent noise level which is compared to permissible noise levels for both day and night time.

The authors suggest following changes, recommendations and supplements of reference methodology of noise measurement regarding wind turbines:

- Introducing recommendation of measurements only by sampling method, regarding changeable wind speed and other weather parameters during the day and night.
- The time of sample measurement enabling elimination of influence of disruptions should be 60 seconds; in cases of frequent disruptions – 10 seconds. This concerns both the measurement of turbine noise and acoustic background after switching off and stopping the turbines.
- The measurements of acoustic background should be done only after stopping the turbines, in the same control points where the measurements of noise were done when the turbines were working.
- All control points should be set up on the borders of closest acoustically protected areas, at the height of 1.5 m above the ground level – not next to the walls of the protected building.
- Noise measurements should be done at the speed of wind – from 2.5 m/s to 5.0 m/s, measured vertically at 3.0 m.
- There should be recommendation to carry out the measurements in four year seasons, which will enable considering changeable weather conditions such as: humidity, pressure and wind direction and also changeable undergrowth of the area influencing the sound wave propagation.
- Before measurements, the team should get acquainted with the acoustic part of the report of impact on environment and with the technical documentation of the wind turbines to establish at what wind speed the certain type of a turbine reaches maximum sound power level.
- There should be the obligation to make it accessible for the team to get information about average wind speed for each turbine during performing noise monitoring, recommended in environmental decision.
- On the basis of computer records of wind farm dispatcher it should be established at what wind speeds, at the height of the axis of certain wind turbines, noise immersion measurements were done. In the report there should be given the range of averaged values of wind speed related to the time of doing measurements.

- In cases when the measured noise immission level is undifferentiated from acoustic background and in the same time, the immission level does not exceed the permissible levels for day and night time, in a certain point there should be an interpretation record, stating that in this case the level of noise immission in this certain point is not a threat to the environment and people.

Joint information regarding the noise threat connected with wind turbines gained from properly conducted numerical analysis at the stage of wind farm project and after-realisation local measurements, carried out in a way considering all recommendations and supplements will enable the objective acoustic assessment of wind farm impact on the environment.

Streszczenie

W artykule podjęto próbę opisanie i wyjaśnienia specyfiki zagadnień akustyki farm wiatrowych oraz przedstawiono propozycje uzupełnienia obowiązujących w Polsce metod pomiaru i oceny hałasu farm wiatrowych. Rozważania dotyczą hałasu słyszalnego korygowanego krzywą korekcji A. Zalecana referencyjna metodyka pomiarowa ustala szereg ograniczeń, co do warunków atmosferycznych panujących podczas pomiarów, lokalizacji punktów pomiarowych, zestawów pomiarowych oraz określa sposób wykonywania pomiaru. Do najistotniejszych zapisów obowiązującej w Polsce metodyki referencyjnej, ze względu na pomiary hałasu turbin wiatrowych, należy ograniczenie prędkości wiatru na wysokości mikrofonu, do wartości średniej nie większej od 5 m/s. Ocenę zagrożenia hałasem, wykonano na podstawie wyniku pomiaru w postaci równoważnego poziomu dźwięku, który jest porównywany z poziomami dopuszczalnymi określonymi dla pory dziennej i pory nocnej. W celu wykonania oceny dla możliwie najbardziej niekorzystnego akustycznie przypadku pracy turbin wiatrowych, pomiary należałoby wykonać przy prędkości wiatru odpowiadającej maksymalnym poziomom mocy akustycznej turbin.

W wyniku prowadzonych obliczeń numerycznych dla ponad 50 projektów budowy farm wiatrowych oraz podczas pomiarów na ponad 15 dużych farmach wiatrowych autorzy artykułu zgromadzili bazę danych związanych z numeryczną analizą akustyczną i pomiarami hałasów generowanych przez elektrownie wiatrowe. Zawarte w artykule propozycje zmian obowiązującej metodyki pomiarowej wynikają z własnych doświadczeń pomiarowych. W artykule podjęto próbę opisanie i wyjaśnienia specyfiki zagadnień akustyki farm wiatrowych oraz przedstawiono propozycje uzupełnienia obowiązujących w Polsce metod pomiaru i oceny hałasu farm wiatrowych.

Zaproponowano szereg zmian i uzupełnień metodyki referencyjnej wykonywania pomiarów hałasu w odniesieniu do turbin wiatrowych. Zwrócono uwagę na częste przypadki występujące w praktyce rejestracji hałasu od elektrowni wiatrowych jak np.: pomiar nierozróżnialny z tłem akustycznym. Uzasadniono konieczność wprowadzenia zalecenia wykonywania pomiarów hałasu elektrowni wiatrowych wyłącznie metodą próbkowania oraz podano sposób eliminacji zakłóceń. Podano kryteria lokalizacji punktów pomiarowych. Zaproponowano konieczność wykonywania pomiarów w czterech porach roku. Podano zakres prędkości wiatru, podczas którego powinno wykonywać się pomiar hałasu. Zwrócono uwagę na konieczność podawania w raporcie z badań prędkości wiatru rejestrowanych na wieżach turbin. Zaproponowano interpretację przypadku, gdy zmierzony poziom imisji hałasu jest nierozróżnialny z tłem akustycznym, a jednocześnie poziom imisji nie przekracza wartości poziomów dopuszczalnych pory dziennej i nocnej w danym punkcie, że w takim przypadku poziom imisji hałasu w danym punkcie nie stanowi zagrożenia dla środowiska i ludzi.

Słowa kluczowe:

pomiar hałasu, farma wiatrowa, metodyka pomiarowa

Keywords:

noise measurement, wind farm, measurement methodology