

Uciążliwości hałasowe elektrowni wiatrowych

RYSZARD INGIELEWICZ, ADAM ZAGUBIEŃ



Hałas emitowany do środowiska jest głównym, negatywnym czynnikiem towarzyszącym eksploatacji elektrowni wiatrowych. Dlatego każda projektowana inwestycja w postaci budowy farmy wiatrowej powinna być poddana ocenie wpływu na środowisko ze względu na emitowany hałas. Ocena taka powinna określić zasięgi i poziomy emitowanego hałasu, z uwzględnieniem charakterystyki terenu i otoczenia, mając jednocześnie na uwadze miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego i dopuszczalne poziomy hałasu dla terenów otaczających.

rowych na etapie projektu rzeczywistymi pomiarami terenowymi. Przeanalizowane dodatkowo materiały i wyniki badań prowadzone przez inne wyspecjalizowane jednostki pozwoliły na sformułowanie wniosków oraz zasygnalizowanie problemów związanych z emisją hałasu elektrowni wiatrowych, wykonywaniem pomiarów terenowych oraz interpretacją ich wyników. W niniejszej pracy podjęto próbę podsumowania wła-

nych, związanych z pracą turbin wiatrowych, oraz innych badań z zakresu akustyki, wykonanych przez wyspecjalizowane ośrodki badawcze w Europie można stwierdzić, że:

- poziom mocy akustycznej źródeł hałasu turbin wiatrowy różnych producentów (o mocach od 660 do 2000 kW) zawarty jest w granicach 98,8 do 105,5 dBA, przy prędkości wiatru 8 m/s ustalonej na wysokości 10 m nad poziomem terenu,

- wzrost poziomu mocy akustycznej w zależności od prędkości wiatru w przedziale prędkości 5 m/s do 10 m/s kształtuje się na poziomie 0,3 do 0,4 dBA na m/s, przy prędkościach wiatru powyżej 10 m/s (według niektórych źródeł 8 m/s) wzrost poziomu mocy akustycznej jest przyjmowany na poziomie 0 dB,

- w widmowych analizach hałasu emitowanego przez turbiny, szczególnie przy wyższych prędkościach, stwierdzono dominujące częstotliwości pojedynczych tonów na poziomie 69 Hz i 306 Hz,

- przy prędkościach wiatru w zakresie do 12 m/s nie stwierdzono hałasu o charakterze impulsowym,

- podczas startu i zatrzymywania pojedyncze zdarzenia towarzyszące, o wartościach poziomu dźwięku większym o 10 dBA

Wprowadzenie

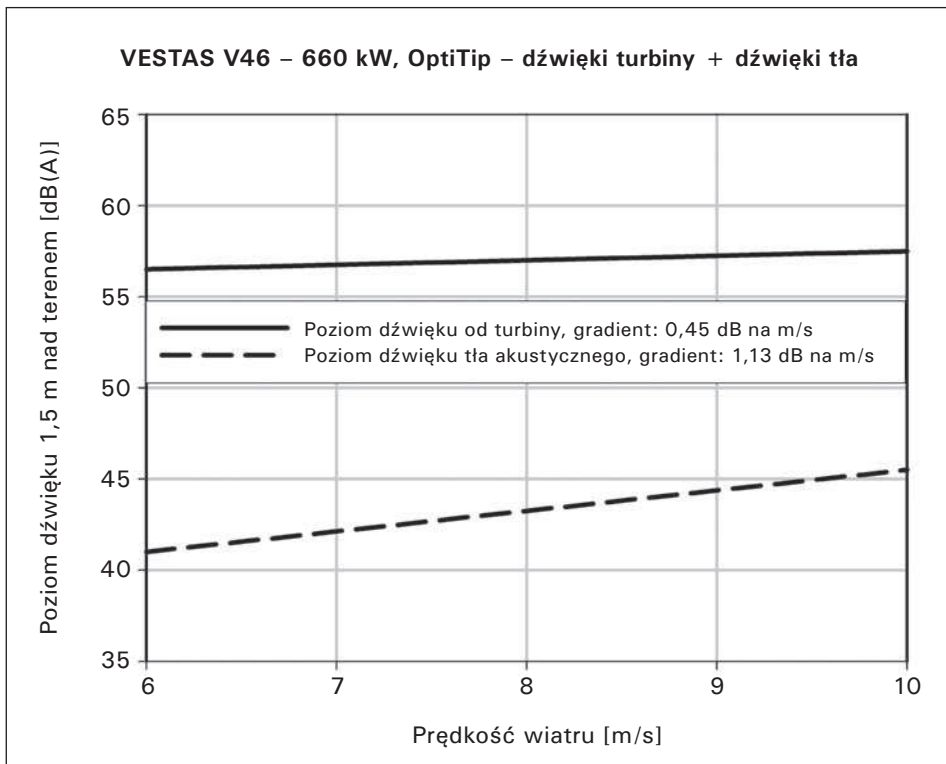
Wieloletnia współpraca z inwestorem jednej z największych w Polsce, aktualnie pracującej farmy wiatrowej w Cisowie koła Darłowa, poczynając od jej projektu, poprzez poszczególne etapy budowy, aż do pełnego uruchomienia elektrowni, umożliwiła autorom przeprowadzenie szeregu pomiarów terenowych i obliczeń komputerowych hałasu emitowanego do środowiska podczas pracy elektrowni. Zebrane w ciągu czterech lat materiały umożliwiły weryfikację prognozowanych wyników obliczeń kompute-

nych doświadczeń w powiązaniu z dostępnymi innymi pracami oraz wskazano kierunki i problemy, które zdaniem autorów powinny być dalej badane.

Specyfika zjawisk akustycznych związanych z pracą elektrowni wiatrowych

Analiza dostępnej literatury specjalistycznej i raportów

Po przeanalizowaniu pozycji literatury dotyczących danych konstrukcyjno-technicz-



Rysunek 1. Poziom ciśnienia akustycznego turbiny oraz tła (na podstawie: *General Specification 660 kW Variable Slip Wind Turbine, Item no.: 943111.R2, 1998*).

ponad hałas emitowany przy normalnej pracy, nie zostały stwierdzone.

Na rysunku 1 przedstawione zostały wyniki badań przeprowadzonych w roku 1997 w Danii, dotyczące poziomów hałasu turbiny Vestas V47 – 660. Wykresy ilustrują zmiany poziomów hałasu w zakresie prędkości wiatru 6,0 m/s do 10,0 m/s.

Wykres górny dotyczy zmierzonych wartości poziomu hałasu imitowanego przez środowisko, pochodzącego od turbiny łącznie z poziomem tła akustycznego, natomiast wykres dolny stanowi wartości poziomów samego tła akustycznego. Pomiary wykonano w odległości 75 m od pionowej osi wieży turbiny. Charakterystycznym jest to, że gradient prostej ilustrujący zmiany sumaryczne poziomu hałasu turbiny i tła jest mniejszy (0,45 dB na m/s) niż gradient prostej ilustrującej zmiany poziomu hałasu samego tła (1,13 dB na m/s). Można zatem założyć, że udział tła akustycznego, w mierzonym sumarycznym poziomie hałasu w punktach pomiarowych imisji środowiska, będzie miał tendencję wzrostową wraz ze wzrostem prędkości wiatru. Dotyczyło to będzie w szczególności punktów zlokalizowanych

w większych odległościach od pracujących elektrowni, co jest istotne przy pomiarach terenowych hałasu.

Badania własne

Elektrownie wiatrowe, z racji charakteru pracy i wymogów odnośnie odpowiedniej siły wiatru, są niewątpliwie również źródłem hałasu infradźwiękowego, który według wielu obiegowych opinii osiąga duże poziomy i stanowi zagrożenie dla otoczenia. Infradźwięki mogą wystąpić w środowisku nawet w znacznych odległościach od źródeł. Podstawową drogą percepcji infradźwięków są receptory czucia wibracji człowieka. Energia towarzysząca infradźwiękom może wywoływać zjawisko rezonansu narządów wewnętrznych człowieka, odczuwalne już od 100 dB. Poziom ciśnienia akustycznego 162 dB, przy częstotliwości 2 Hz, wywołuje ból ucha środkowego. Celowym zatem było wykonanie pomiarów własnych i analiza zjawisk akustycznych z zakresu infradźwięków towarzyszących pracy elektrowni wiatrowych, które coraz częściej będą pojawiały się w otaczającym nas krajobrazie. Po-

miary wykonano na farmie wiatrowej złożonej z dziewięciu elektrowni typu VESTAS V80 – 2,0 MW OptiSpeed.

Praktycznie nie istnieją kryteria oceny hałasu infradźwiękowego w odniesieniu do środowiska naturalnego. Kryteria oceny hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy, w różnych krajach, wraz z propozycjami nowych wartości dopuszczalnych hałasu infradźwiękowego w Polsce, zostały szeroko zaprezentowane w pracy M. Pawlarczyk-Łuszczynskiej pt. „Nowelizacja wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy”, co zacytowano poniżej:

1. Aktualne przepisy krajowe zgodnie z Rozporządzeniem MPiPS z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 79 z 1998 r., poz. 513) zawęża ocenę narażenia na hałas infradźwiękowy do pasm oktawowych 8–31,5 Hz i jako najwyższe dopuszczalne natężenie przyjmuje wartości dopuszczalne ze względu na ochronę zdrowia dla poszczególnych częstotliwości środkowych pasm oktawowych następująco: 4 Hz – 110 dB, 8 i 16 Hz – 110 dB, 31,5 Hz – 105 dB,

2. Propozycje nowych wartości dopuszczalnych hałasu infradźwiękowego w Polsce, uwzględniające obecny stan wiedzy i stosowane w innych krajach kryteria oceny (a w szczególności Szwecji i USA), zatwierdzone przez Międzyresortową Komisję ds. NDS i NDN Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy w dniu 10.12.1999 r., zakładają, że podstawą oceny hałasu infradźwiękowego będzie:

– dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy lub tygodnia pracy wynosi 102 dB (102 dBG),

– szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego równy 145 dB (145 dB Lin),

– dla grup o szczególnej wrażliwości (kobiety ciężarne, osoby młodociane) dopuszczalny równoważny poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-go-

| Częstość środkowa oktawy [Hz] | 4 | 8 | 16 | 31,5 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Wartość zmierzona podczas pracy siłowni [dB] | 98,2 (82,7) | 95,1 (78,2) | 92,1 (70,4) | 84,4 (61,8) |
| Wartość tła akustycznego [dB] | 83,0 (79,4) | 78,0 (76,4) | 69,1 (68,1) | 59,7 (62,0) |

Tabela 1. Wyniki pomiarów na farmie wiatrowej złożonej z dziewięciu elektrowni typu VESTAS V80 – 2,0 MW OptiSpeed; podano wartości w punkcie pomiarowym nr 1 – przy wieży elektrowni oraz w punkcie nr 2 odległym o 500 m (wartości w nawiasach).

dziennego dnia pracy wynosi 86 dB (86 dBG), a szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego równy 145 dB (145 dB Lin).

W celu podsumowania badań uzyskane wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1.

Ze względu na brak kryteriów oceny hałasu infradźwiękowego w środowisku naturalnym, posiłując się kryteriami dotyczącymi stanowisk pracy, można wnioskować, że praca elektrowni wiatrowych nie stanowi źródła infradźwięków o poziomach mogących zagrozić zdrowiu ludzi. Szczególnie, że elektrownie wiatrowe lokalizowane są w odległościach niemniejszych niż 400 m od zabudowy mieszkalnej. W odległości 500 m, zgodnie z tabelą, uzyskane wartości osiągają maksymalnie 82,7 dB (Lin) i 78,4 dBG. Ponadto daje się zauważyć, że w odległości 500 m od wieży turbiny zmierzone poziomy infradźwięków zbliżone są praktycznie do poziomów tła.

Praktyczne aspekty lokalizacji i eksploatacji elektrowni wiatrowych z punktu widzenia akustyki

Każda lokalizacja projektowanej farmy wiatrowej wymaga analizy akustycznej i określenia ewentualnego zagrożenia dla środowiska. Po realizacji przedsięwzięcia wskazane jest wykonanie pomiarów kontrolnych na sąsiednich, najbliższych terenach chronionych. Zatem problemy związane z analizą hałasu w początkowej fazie dotyczą prognozowania poziomów i zasięgu hałasu na etapie projektu zagospodarowania terenu, a następnym krokiem jest wykonanie pomiarów kontrolnych poziomów imisji hałasu, w charakterystycznych punktach terenu, po zrealizowaniu przedsięwzięcia.

Prognozowanie hałasu na etapie wykonywania projektu zagospodarowania terenu

Na etapie projektu prognoza skutków lokalizacji farmy wiatrowej, ze względu na emitowany hałas, może być wykonana jedynie na drodze teoretycznej, najczęściej są to obliczenia komputerowe. Ocena taka powinna określić zasięgi i poziomy emitowanego hałasu, z uwzględnieniem charakterystyki terenu i okolicznego otoczenia. Autorzy niniejszego opracowania, oprócz oceny pozycji lokalizacji, dokonują, w razie konieczności, korekty rozstawienia elektrowni, zgodnie z zasadami uwzględniającymi ich poprawną pracę. Ponadto, dobierają poziomy mocy akustycznej dla fabrycznego zaprogramowania siłowni, zgodnie z możliwościami regulacyjnymi dla danego typu, uwzględniając optymalizację łącznej mocy produkcyjnej energii całej projektowanej farmy, przy spełnieniu warunków zabezpieczenia przed hałasem okolicznych terenów chronionych. Do oceny klimatu akustycznego dla terenów farm wiatrowych autorzy wykorzystują program komputerowy HPZ – 2001 Windows ITB, szeroko wykorzystywany w Polsce, oraz instrukcję 338/96 „Metody określania emisji i imisji hałasu przemysłowego w środowisku”. Uzyskane wyniki przedstawione są graficznie w postaci map określających poziomy i zasięgi hałasu. Na mapach hałasu dodatkowo oznaczane są położenia charakterystycznych punktów kontrolnych najbliższych terenów chronionych i obliczone poziomy imisji hałasu w tych punktach. W przypadku możliwości pozyskania map ewidencyjnych analizowanych terenów w postaci cyfrowej, mapy hałasu wykonywane są na tle map ewidencyjnych, co pozwala zobrazować całość klimatu aku-

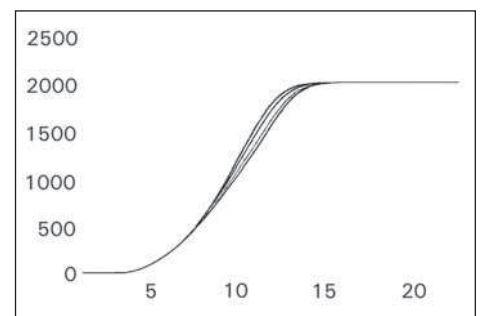
stycznego w odniesieniu do terenu lokalizacji elektrowni i ich otoczenia.

Przygotowując dane do programu uwzględnia się w założeniach:

- generatory i wszystkie urządzenia pomocnicze zamocowane na szczycie wieży nośnej traktowane są jako zastępcze źródła punktowe wszechkierunkowe,

- przykładowo, poziom mocy akustycznej elektrowni wiatrowych typu VESTAS V80 – 2.0 MW OptiSpeed, często aktualnie instalowanych w Polsce, posiadają pięć możliwych stopni regulacji mocy akustycznej, od 101 dBA do 105,5 dBA,

- wyregulowanie elektrowni wiatrowej na niższy poziom mocy akustycznej powoduje spadek maksymalnej wydajności elektrowni, co dla elektrowni wiatrowych typu VESTAS V80 – 2.0 MW OptiSpeed ilustruje rys. 2,

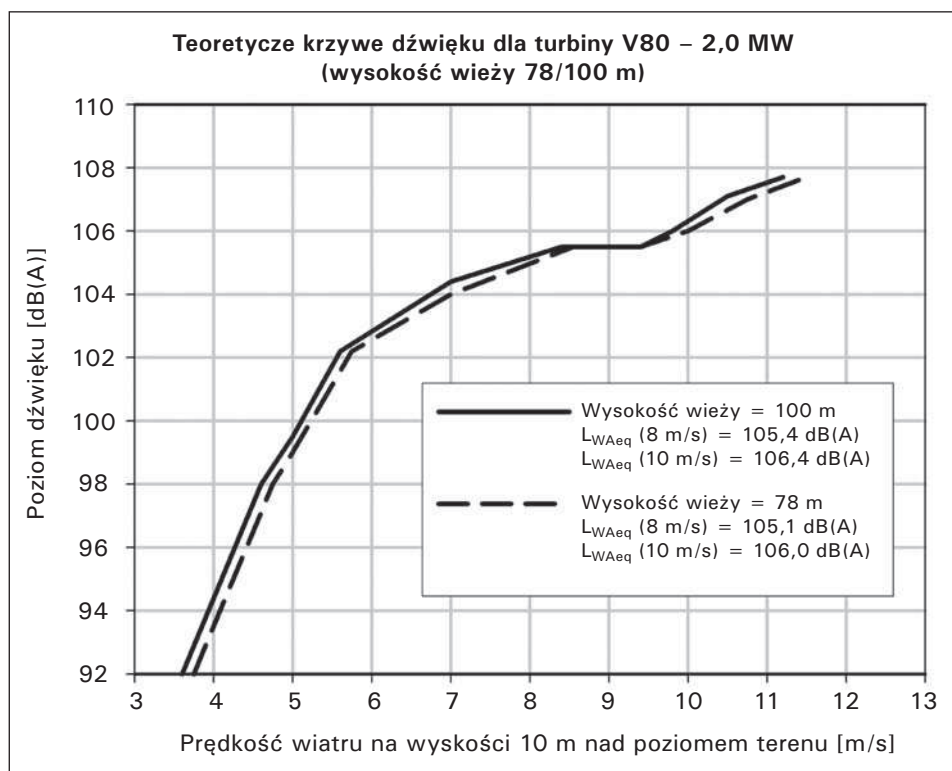


Rysunek 2. Wykres zależności mocy efektywnej turbiny od prędkości wiatru dla różnych poziomów regulacji mocy akustycznych (dane katalogowe).

- poziom mocy akustycznej podczas pracy każdej elektrowni wiatrowej zależy w danej chwili od prędkości wiatru, co dla elektrowni wiatrowych typu VESTAS V80 – 2.0 MW OptiSpeed, wyregulowanej na poziom mocy 105,5 dBA, ilustruje rys. 3,

- ostatecznie do obliczeń przyjmuje się poziom mocy akustycznej zgodnie z danymi katalogowymi producenta, który przyjmowany jest dla prędkości wiatru 8 m/s na wysokości 10 m nad poziomem terenu, co odpowiada prędkości wiatru w granicach 14 m/s na wysokości 80 m (częste położenie turbiny), przy której osiąga się najwyższą moc turbiny i praktycznie ustalony poziom mocy akustycznej.

Oczywistym wydaje się fakt, że zasięg hałasu zależy od przyjętej mocy aku-



Rysunek 3. Zależność poziomu mocy akustycznej od prędkości wiatru na wysokości 10 metrów nad poziomym terenem elektrowni VESTAS V80 – 2,0 MW, wyregulowanej na najwyższy stopień mocy i wydajności (na podstawie: *General Specification V80 – 2,0 MW OptiSpeed™ – Wind Turbine, Item no. 944406.R3, 2000*).

stycznej turbiny i wysokości wieży nośnej. Zatem wykonano obliczenia w celu określenia zasięgów i poziomów emisji hałasu do środowiska w zależności od poziomu mocy akustycznej, przy założonej stałej wysokości wieży wynoszącej 100 m. W tym celu przyjęto zmienne poziomy mocy akustycznej turbiny V80 – 2000 kW o wartościach 101 dBA, 103,5 dBA oraz 105,5 dBA, które może zapewnić producent poprzez odpowiednie wyregulowanie fabryczne. Dla tak przyjętych danych obliczono poziomy imisji hałasu na wysokości 1,5 m nad poziomym terenem, w punktach odległych co 50 m od osi pionowej wieży na odległość do 600 m. Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rysunku 4. Dodatkowo na rysunku zaznaczono poziomy dopuszczalne; dla pory nocnej (22⁰⁰–6⁰⁰) o wartości 40,0 dBA oraz dla pory dziennej (6⁰⁰–22⁰⁰) o wartości 50,0 dBA.

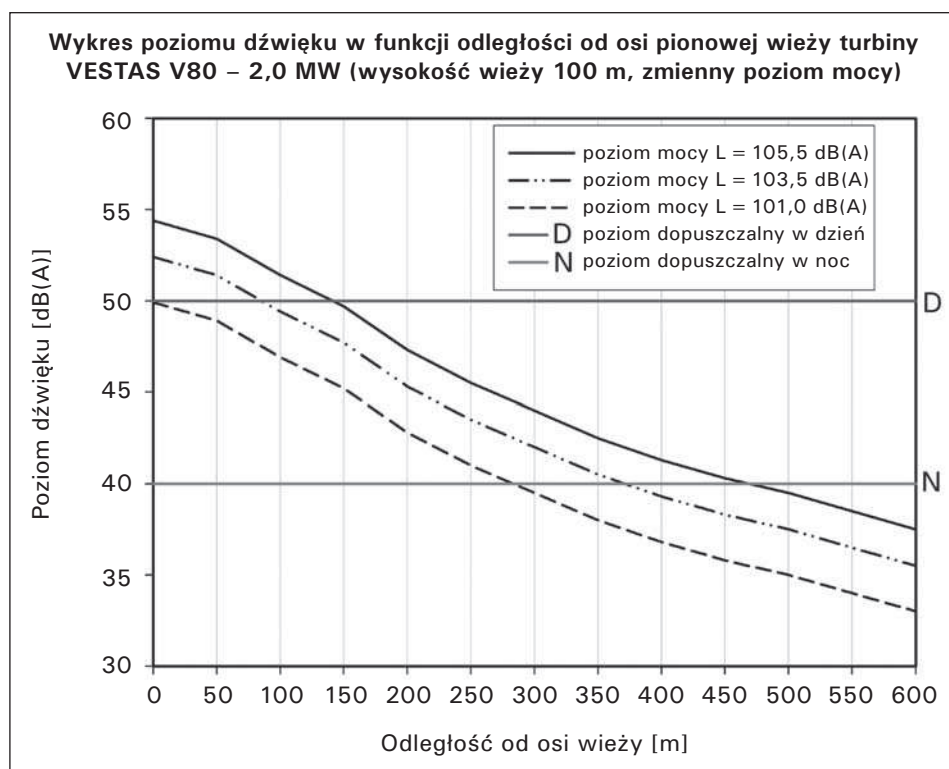
Następnie przeprowadzono obliczenia w celu określenia zasięgów i poziomów emisji hałasu do środowiska w zależności od wysokości wieży. W tym celu przyjęto stały poziom mocy akustycznej turbiny V47 – 660 kW o wartości 101 dBA oraz zmienną wartość wysokości wieży, zgodnie z danymi

technicznymi 40,7 m, 45,7 m, 50,1 m, 55,1 m, 59,7 m, 64,6 m i 100 m. Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rysunku 5. Jak wynika z analizy wyników obliczeń, przy

analizie akustycznej zagospodarowania terenu pod farmy wiatrowe należy kierować się przede wszystkim możliwościami regulacji turbin na odpowiednie moce akustyczne. Drugorzędne i znikome znaczenie ma wysokość wieży nośnej turbiny, której wpływ na zasięg hałasu jest z praktycznego punktu widzenia pomijalnie mały.

Ocena klimatu akustycznego na etapie eksploatacji elektrowni wiatrowych

Na etapie eksploatacji klimat akustyczny wokół elektrowni wiatrowych określa się na podstawie wykonanych pomiarów terenowych. Metodyka pomiarów terenowych, ze względu na specyfikę pracy elektrowni wiatrowych, różni się od ogólnie przyjętych i zalecanych metod pomiaru hałasu środowiskowego. Podstawową sprzecznością jest zalecana w typowych pomiarach środowiskowych dopuszczalna prędkość wiatru podczas pomiarów, która zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką pomiarów środowiskowych nie powinna przekraczać 5 m/s. Przy tej prędkości wiatru elektrownie wiatrowe praktycznie rozpoczynają produkcję energii, praca ich zapoczątkowana jest wiatrem



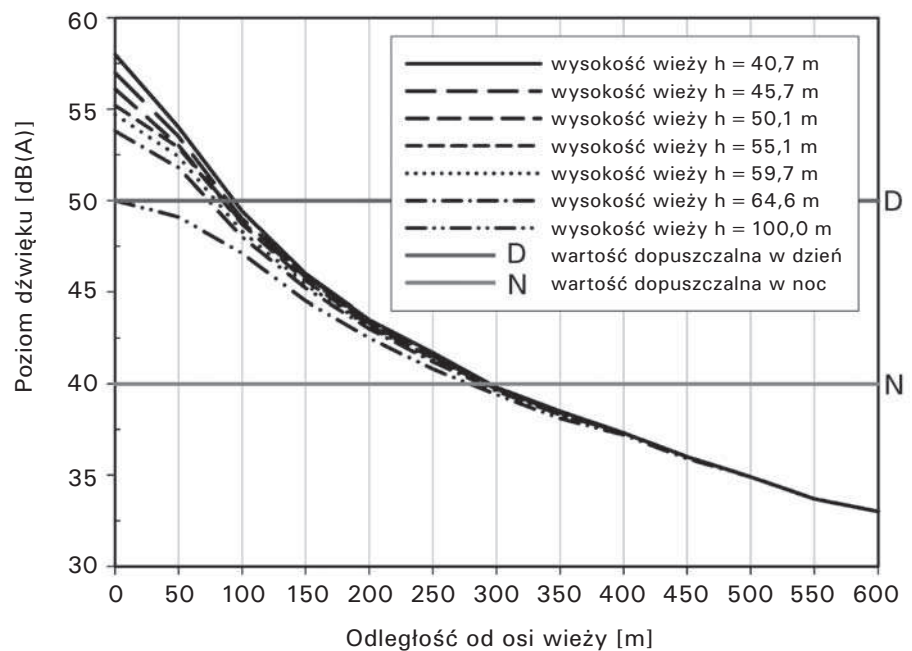
Rysunek 4. Zasięg hałasu turbiny VESTAS V80 – 2,0 MW w funkcji zmiennego poziomu mocy akustycznej.

o prędkości minimalnej 4 m/s. Zatem pomiary należy prowadzić przy większych prędkościach wiatru, co uwarunkowane jest również faktem wzrostu poziomu mocy akustycznej turbin, wraz z wzrostem prędkości wiatru. Nasuwa się więc pytanie w jaki sposób powinno się prowadzić kontrolne pomiary terenowe hałasu dla farm wiatrowych?

Przede wszystkim, prowadząc pomiary terenowe należy mieć na uwadze specyfikę zjawisk akustycznych towarzyszących pracy elektrowni wiatrowych oraz stosować, w miarę możliwości, metodykę prowadzenia pomiaru hałasu środowiskowego zgodnie z najnowszymi wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z 30 czerwca 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz. U. z 2003 r. nr 110, poz. 1057). Zgodnie z cytowanym rozporządzeniem określa się wartość równoważnego poziomu hałasu wraz z jego niepewnością oszacowania. Rozporządzenie określa metodyki pomiarów i obliczeń równoważnego poziomu hałasu, sposoby lokalizacji punktów pomiarowych, natomiast nie opisuje sposobów wyznaczania niepewności wartości poziomu równoważnego.

Przeprowadzone przez autorów obliczenia i pomiary terenowe hałasu emitowanego przez farmę dziewięciu elektrowni wiatrowych VESTAS V80 – 2000 kW oraz anali-

Wykres poziomu dźwięku w funkcji odległości od osi pionowej wieży turbiny VESTAS V47 – 660 kW (poziom mocy stały, zmienna wysokość wieży)



Rysunek 5. Zasięg hałasu turbiny V47 – 660 kW w funkcji zmiennej wysokości wieży nośnej.

za ich wyników wykazała, że różnice wartości obliczonych i mierzonych poziomów hałasu, w wybranych kontrolnych punktach, nie przekraczały 1,5 dBA.

Przyjmując zastosowaną przez autorów metodykę pomiarów terenowych, proponuje się przyjęcie następujących zasad wykonywania pomiarów kontrolnych dla określenia hałasu przenikającego do środowiska od elektrowni wiatrowych:

- podczas pomiarów konieczne należy stosować osłonę przeciwwietrzną mikrofonu,
- do oceny zagrożenia dla środowiska należy wykonywać pomiary przy prędkości wiatru 8 m/s, na wysokości 10 m nad poziomem terenu, co odpowiada poziomom mocy akustycznej źródeł przyjmowanych do obliczeń teoretycznych, zbliżonych do maksymalnych,
- ze względu na duże oddalenie od siebie punktów pomiarowych i zróżnicowaną szorstkość terenu w poszczególnych punktach, pomiary tła należy wykonać niezależnie dla poszczególnych punktów,
- w sprawozdaniu z pomiarów należy podawać, oprócz ogólnie za-

lecanych informacji, również prędkość i kierunek wiatru, w stosunku do usytuowania kontrolnych punktów pomiarowych,

– ocenę zagrożenia środowiska należy prowadzić dla wyników pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego odpowiadającego prędkości wiatru zbliżonej do 8 m/s, na wysokości 10 m nad poziomem terenu.

Podsumowanie

Podkreśla się, że prezentowany materiał dotyczy jedynie problemów związanych z emisją hałasu spowodowanego pracą farm wiatrowych. Lokalizacja farm elektrowni wiatrowych wymaga rozwiązania wielu dodatkowych problemów, które w niniejszym materiale nie zostały opisane, takich jak: oddziaływanie na awifaunę, problemy transportowe oraz subiektywne odczucia zmian krajobrazowych zagospodarowywanego terenu. W przygotowaniu jest artykuł, który będzie obejmował wszystkie problemy związane z lokalizacją, budową i eksploatacją farm elektrowni wiatrowych.

dr inż. Ryszard Ingielewicz
dr inż. Adam Zagubień
Politechnika Koszalińska

