



Analysis of wind turbine noise at the planning stage of a Wieliszewo wind farm (Pomorskie Province)

Piotr GNYP¹

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, ul. Stanisława Konarskiego 18, e-mail: piotr@gnyp.pl

Abstract

The noise analysis of wind turbines was performed using wind energy software WindPRO. For the calculation parameters of Vestas V100 wind turbine with a nominal power of 2 MW generator, the tower height of 95 m and a maximum sound power level of 105 dB was used. Considered acceptable levels of noise emissions of wind turbines in accordance with „Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, (Dz. U. Nr 120 poz. 826).” Analysis of noise propagation was performed in accordance with „Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 7 listopada 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody, (Dz. U. z 2014 r., poz. 1542)”. The calculation method has been applied in accordance with ISO standard PN-ISO 9613-2. The map showing the propagation of noise with isolines for a Wieliszewo wind farm was generated. The results analysis show no exceeding noise limit values at the calculation points.

Keywords: Wind turbine noise, PN-ISO 9613-2, wind turbine, micrositng, WindPRO, digital elevation model.

Streszczenie

Analiza propagacji hałasu siłowni wiatrowych na etapie planowania farmy wiatrowej Wieliszewo (województwo pomorskie)

Analizę propagacji hałasu siłowni wiatrowych wykonano przy użyciu specjalistycznego oprogramowania dla energetyki wiatrowej WindPRO. Do obliczeń wykorzystano parametry siłowni wiatrowej Vestas V100 o mocy nominalnej generatora 2 MW, wysokości wieży 95 m i maksymalnej mocy akustycznej na poziomie 105 dB. Zostały uwzględnione dopuszczalne poziomy emisji hałasu siłowni wiatrowych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska, z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, (Dz. U. Nr 120 poz. 826). Analiza propagacji hałasu została wykonana w zgodzie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 7 listopada 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. z 2014 r., poz. 1542). Zastosowano metodę obliczeniową zgodną z normą PN-ISO 9613-2. Wygenerowano izofony obrazujące propagację hałasu dla farmy wiatrowej Wieliszewo. Wyniki analizy wskazują na brak przekroczeń dopuszczalnych poziomów immisji hałasu dla przyjętych punktów obliczeniowych.

Słowa kluczowe: Hałas siłowni wiatrowych, PN-ISO 9613-2, siłownia wiatrowa, lokalizowanie siłowni wiatrowych, WindPRO, numeryczny model terenu.

1. Wstęp

Przed podjęciem decyzji o wyborze lokalizacji poszczególnych siłowni wiatrowych konieczna staje się szczegółowa analiza emisji hałasu, aby uniknąć przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Dopuszczalne poziomy emisji hałasu reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, (Dz. U. Nr 120 poz. 826). Dopuszczalne poziomy emisji hałasu zależą od wielu czynników, do których zaliczane są [1]:

- Rodzaj źródła hałasu,

- Charakterystyka zagospodarowania terenu,
- Pora oddziaływania hałasu (dzień i noc).

Bardzo ważnym parametrem jest czas oddziaływania hałasu. Dla siłowni wiatrowych dopuszczalny poziom emisji hałasu w zależności od pory dnia kształtuje się następująco [1]:

- Pora dzienna od godziny 6:00 do godziny 22:00 (czas odniesienia 8 godzin),
- Pora nocna od godziny 22:00 do godziny 6:00 (czas odniesienia 1 godzina).

Tabela 1.1 przedstawia dopuszczalne poziomy emisji hałasu siłowni wiatrowych w odniesieniu do rodzaju terenu będącego w zasięgu oddziaływania.

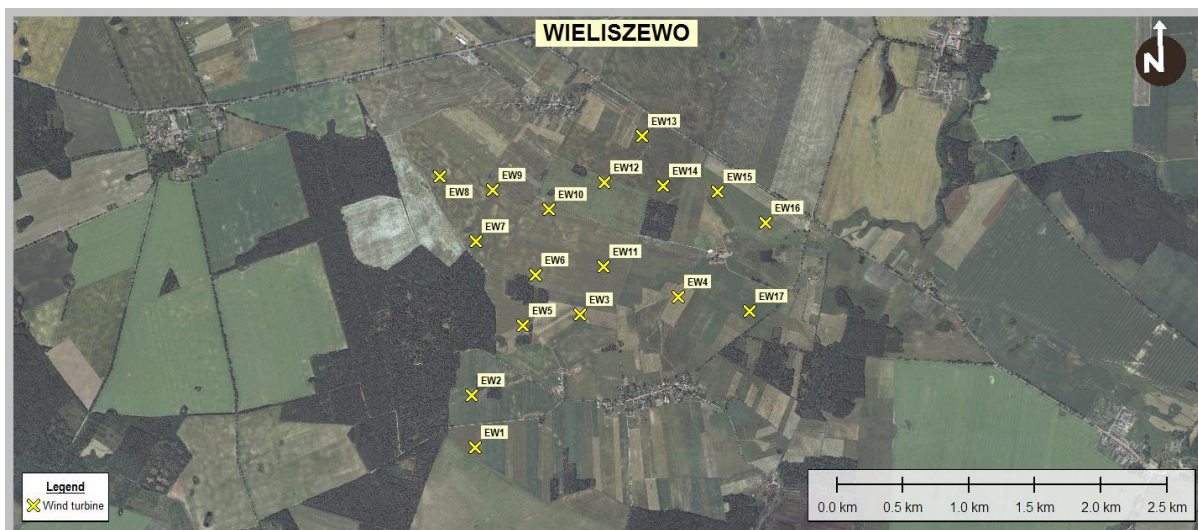
Tabela 1.1. Dopuszczalne poziomy emisji hałasu siłowni wiatrowych L_{Aeq} [1]

| Przeznaczenie terenu | Dopuszczalny poziom emisji hałasu w dB | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|
| | Pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu | |
| | L_{Aeq} dzień T=8h | L_{Aeq} noc T=1h |
| a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodz. i zamieszkania zbiorowego. | 55 | 45 |
| b) Tereny zabudowy zagrodowej. | | |
| c) Tereny rekr. – wypoczynkowe. | | |
| d) Tereny mieszk. – usługowe. | | |

Do analizy propagacji hałasu wybrano siłownię wiatrową Vestas V100 o mocy nominalnej generatora 2 MW oraz wysokości wieży 95 m. Wszystkie obliczenia propagacji hałasu wykonano w specjalistycznym oprogramowaniu dla energetyki wiatrowej WindPRO w module obliczeniowym DECIBEL. Analiza propagacji hałasu została wykonana dla planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo w województwie pomorskim. Farma wiatrowa obejmuje 17 siłowni wiatrowych [2, 3].

2. Opis analizowanego terenu

Planowana farma wiatrowa Wieliszewo jest zlokalizowana w północnej części Polski na terenie gminy Potęgowo w województwie pomorskim. Rysunek 2.1. ilustruje położenie planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo. Planowana farma wiatrowa składa się z 17 siłowni wiatrowych, których współrzędne posadowienia przedstawia tabela 2.1. a ich graficzne rozmieszczenie rysunek 2.1. Współrzędne siłowni wiatrowych zostały wyznaczone na podstawie Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Potęgowo. Rzędne posadowienia turbin wiatrowych według numerycznego modelu terenu mają wartości od 76,0 m do 103,2 m. Teren wokół planowanej farmy wiatrowej można zakwalifikować, jako równinny w większości uprawiany rolniczo z dużymi zwartymi kompleksami leśnymi. W pobliżu planowanej farmy wiatrowej nie występują obiekty, które można zakwalifikować, jako przeszkody terenowe dla napływających mas powietrza (brak wysokich budynków, kominów i innych konstrukcji budowlanych oraz znaczących naturalnych przeszkód terenowych). Należy zwrócić uwagę, że planowana farma wiatrowa Wieliszewo zlokalizowana jest w pasie nadmorskim, który charakteryzuje się najbardziej korzystnymi warunkami wiatrowymi. Właśnie w tych rejonach lokalizowanych jest najwięcej siłowni wiatrowych [4, 5, 6].

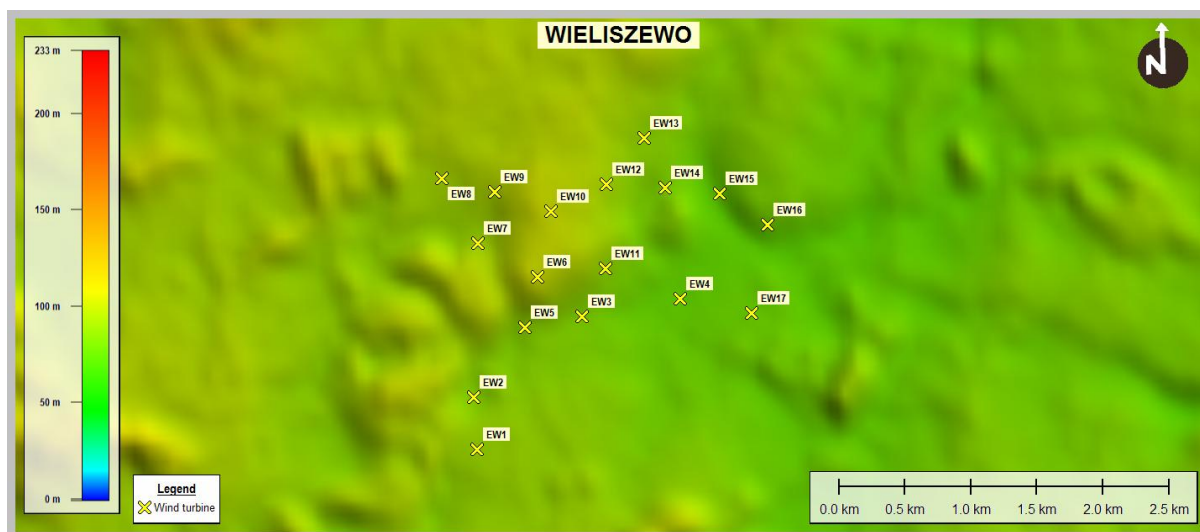


Rys. 2.1. Lokalizacja farmy wiatrowej Wieliszewo [4]

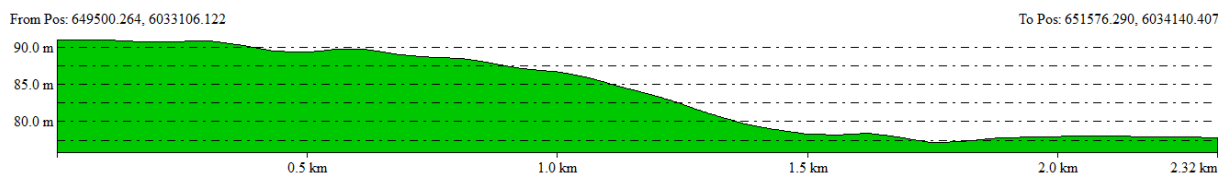
Tabela 2.1. Współrzędne posadowienia siłowni wiatrowych dla farmy wiatrowej Wieliszewo [6]

| Siłownia wiatrowa | Współrzędne geograficzne WGS84 | |
|-------------------|--------------------------------|-----------|
| | E | N |
| EW 01 | 17°18'16" | 54°25'25" |
| EW 02 | 17°18'50" | 54°26'23" |
| EW 03 | 17°19'12" | 54°26'08" |
| EW 04 | 17°19'14" | 54°26'29" |
| EW 05 | 17°19'30" | 54°26'40" |
| EW 06 | 17°19'38" | 54°26'28" |
| EW 07 | 17°20'01" | 54°26'26" |
| EW 08 | 17°20'21" | 54°26'18" |
| EW 09 | 17°20'13" | 54°25'56" |
| EW 10 | 17°18'15" | 54°25'38" |
| EW 11 | 17°19'02" | 54°25'57" |
| EW 12 | 17°19'43" | 54°26'00" |
| EW 13 | 17°18'38" | 54°25'55" |
| EW 14 | 17°18'44" | 54°26'07" |
| EW 15 | 17°18'19" | 54°26'16" |
| EW 16 | 17°18'05" | 54°26'32" |
| EW 17 | 17°18'27" | 54°26'28" |

Zagadnienia związane ze zdefiniowaniem warunków terenowych zostały rozwiązane za pomocą map lotniczych oraz topograficznych w skali 1: 25000 z zasobów Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, numerycznego modelu terenu opracowanego na podstawie danych misji SRTM-3. Numeryczny model terenu został poddany obróbce w oparciu o mapę topograficzną celem najdokładniejszego określenia terenu wokół planowanej farmy wiatrowej. Próbkę modelu oraz profil terenu pomiędzy siłowniami wiatrowymi EW 01 – EW 17 przedstawiają rysunki 2.2. i 2.3 [4, 7].



Rys. 2.2. Próbką numerycznego modelu terenu dla farmy wiatrowej Wieliszewo [4]



Rys. 2.3. Profil terenu pomiędzy siłowniami EW 01 – EW 17 [4]

3. Metodyka obliczeń hałasu siłowni wiatrowych

Sposób obliczenia hałasu siłowni wiatrowych został opisany w przepisach prawa polskiego w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 7 listopada 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody, Dz. U. z 2014 r., poz. 1542. Zgodnie z tym rozporządzeniem należy stosować metodę obliczeniową zgodną z normą PN-ISO 9613-2 (Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania.). Obliczenia dla farmy wiatrowej Wieliszewo wykonano w oprogramowaniu dla energetyki wiatrowej WindPRO, które jest w stanie wykonać obliczenia zgodnie z normą PN-ISO 9613-2. Punkt immisji hałasu powinien być zlokalizowany na wysokości 4 m nad poziomem terenu ($\pm 0,2$ m) [2, 8, 9].

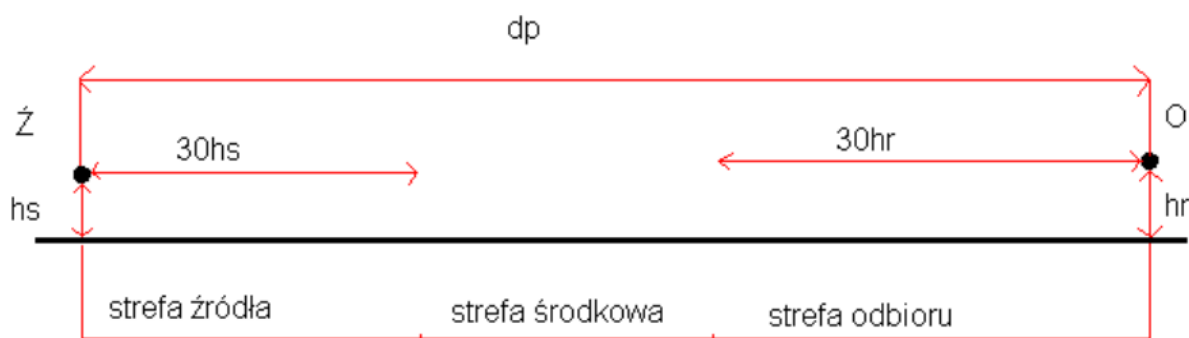
Norma PN-ISO 9613-2 uwzględnia tłumienie gruntu A_{gr} , które jest wynikiem interferencji odbitej fali akustycznej od gruntu i fali rozprzestrzeniającej się bezpośrednio od źródła do punktu immisji. Pochłanianie gruntu zdefiniowane jest następującym wzorem [8]:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (3.1)$$

gdzie: A_s – tłumienie dla strefy źródła, A_r – tłumienie dla strefy w punkcie odbioru, A_m – tłumienie dla strefy środkowej

Zakrzywienie drogi propagacji hałasu ku powierzchni ziemi sprawia, że tłumienie jest głównie określone przez powierzchnię gruntu w pobliżu źródła i w pobliżu punktu immisji. Ta metoda obliczania ma zastosowanie tylko do gruntu płaskiego, poziomego lub o stałym nachyleniu. Dla tłumienia przez grunt określono trzy charakterystyczne strefy [10]:

- Strefa źródła (rozciąga się od źródła w kierunku punktu odbioru),
- Strefa środkowa (rozciąga się od punktu odbioru w kierunku źródła),
- Strefa odbioru (rozciągającą się pomiędzy strefą źródła i strefą odbioru).



Rys. 3.1. Trzy charakterystyczne strefy do określenia tłumienia gruntu [10]

Właściwości akustyczne każdej strefy gruntu charakteryzuje współczynnik pochłaniania gruntu G , który określa się dla trzech typów powierzchni [10]:

- Grunt twardy ($G=0$), obejmuje bruk, asfalt, beton, wodę, lód oraz inne powierzchnie o małej porowatości,
- Grunt porowaty ($G=1$), obejmuje lasy, łąki, pola uprawne lub inne tereny zielone,
- Grunt mieszany (G od 0 do 1), obejmuje powierzchnie złożone z gruntu twardego i mieszanego.

Metoda opisana w normie PN-ISO 9613-2 nie uwzględnia prędkości wiatru, natomiast w oprogramowaniu WindPRO można założyć prędkość wiatru dla maksymalnej mocy akustycznej (zazwyczaj jest to około 7 m/s w osi siłowni wiatrowej). W ten sposób można z dużą dokładnością wymodelować izofony oraz obliczyć poziom hałasu w punkcie emisji [2, 8].

Wilgotność i temperatura powietrza mają istotny wpływ na obliczenia propagacji hałasu dla analizowanego terenu. Norma PN-ISO 9613-2 uwzględnia tłumienie fal akustycznych w atmosferze wynikające z efektu lepkości powietrza oraz dyfuzji termicznej. Na tłumienie fal akustycznych w atmosferze ma wpływ relaksacja wibracji i obrotowości cząstek powietrza, co prowadzi do absorpcji dźwięku przez powietrze. Zgodnie z normą PN-ISO 9613-2 należy przyjmować średnie wartości warunków atmosferycznych, które definiuje się w oprogramowaniu WindPRO jako współczynnik meteorologiczny C_0 (Meteorological coefficient) [2, 8, 10].

Należy zauważyć, że norma PN-ISO 9613-2 ma pewne ograniczenia, jednym z nich jest możliwość zastosowania jej dla źródeł hałasu maksymalnie do 30 m nad terenem. Przeważnie siłownie wiatrowe mają wysokości wież na poziomie około 100 m. Nie przeszkadza to jednak w zastosowaniu tej normy do obliczeń propagacji hałasu wokół planowanej farmy wiatrowej, ponieważ producenci siłowni wiatrowych podają maksymalną moc akustyczną na wysokości 10 m nad poziomem terenu [3, 8].

4. Dane techniczne siłowni wiatrowej Vestas V100

Do analizy propagacji hałasu wykorzystano parametry siłowni wiatrowej Vestas V100 o mocy nominalnej generatora 2 MW i wysokości wieży 95 m. Siłownia wiatrowa Vestas V100 oferowana jest również w konfiguracji z wieżami 80 m i 120 m. Siłownia Vestas V100 została sklasyfikowana według IEC (International Electrotechnical Commission) jako siłownia klasy IIIA, czyli pasująca do warunków wiatrowych gdzie średnia prędkość wiatru w osi turbiny wynosi 7,5 m/s a klasa turbulencji według normy PN-IEC 61400-1 to A (średnie turbulencje na poziomie 18%) [3, 11].

Maksymalna moc akustyczna siłowni wiatrowej Vestas V100 to 105 dB. Taka wartość została przyjęta w analizie propagacji hałasu planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo [3].

5. Metoda badań

Analiza i obliczenia propagacji hałasu zostały wykonane w specjalistycznym oprogramowaniu dla energetyki wiatrowej WindPRO w module obliczeniowym DECIBEL zgodnie z normą PN-ISO 9613-2. Moduł obliczeniowy DECIBEL pozwala na analizę propagacji hałasu uwzględniając dane techniczne siłowni wiatrowej,

wysokości posadowienia poszczególnych siłowni wiatrowych, współczynnik pochłaniania gruntu, współczynnik meteorologiczny oraz określenie punktów immisji. Do obliczeń można przyjąć różne poziomy mocy akustycznej siłowni wiatrowych, aby uniknąć przekroczenia dopuszczalnych poziomów immisji. Tabela nr 5.1. przedstawia przyjęte założenia do obliczeń propagacji hałasu w module DECIBEL dla farmy wiatrowej Wieliszewo [2, 8].

Tabela 5.1. Założenia do obliczeń propagacji hałasu w module DECIBEL dla farmy wiatrowej Wieliszewo [2, 8]

| | |
|---------------------------------------------|---------------|
| Model obliczeniowy | PN-ISO 9613-2 |
| Prędkość wiatru | 7,0 m/s |
| Współczynnik pochłaniania gruntu | 0,5 |
| Współczynnik meteorologiczny | 1,0 |
| Maks. poziom hałasu w punkcie obliczeniowym | 45 dB |
| Wysokość punktów immisji (n.p.t.) | 4 m |

Podczas wykonywania analizy propagacji hałasu w oprogramowaniu WindPRO w module obliczeniowym DECIBEL generowane są izofony, których styl i zagęszczenie można dowolnie określać, aby czytelność powstałej mapy była na jak najlepszym poziomie. Dla farmy wiatrowej Wieliszewo poziom 45 dB wyznacza główną izofonę, jest to poziom odpowiadający dopuszczalnemu poziomowi hałasu dla zabudowy zagrodowej. Maksymalna moc akustyczna siłowni wiatrowej Vestas V100 przyjęta do obliczeń to poziom 105 dB [2, 3].

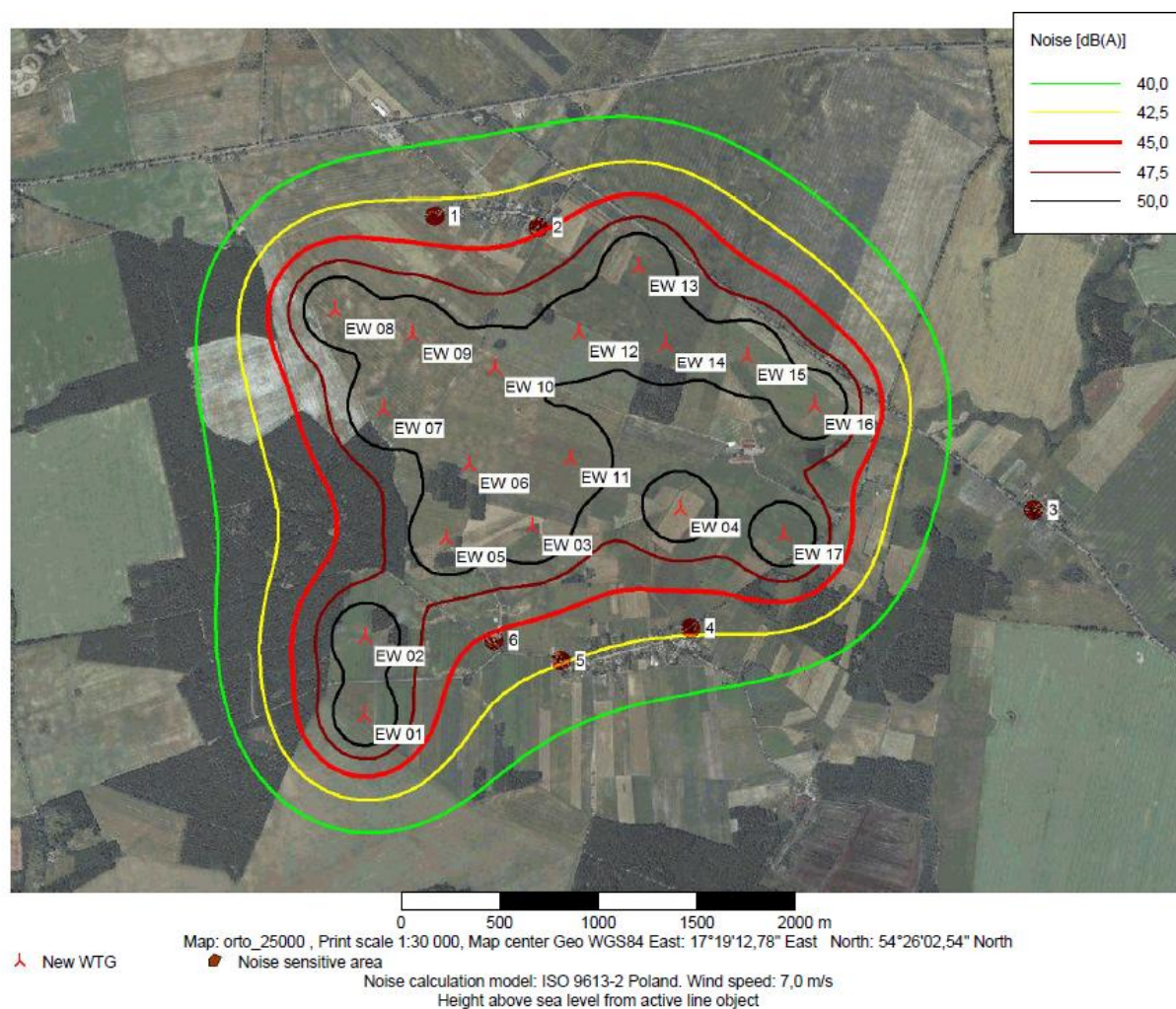
Siłownie wiatrowe Vestas V100 zostały zlokalizowane zgodnie z obszarami wyznaczonymi w Miejscowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Potęgowo. Uwzględnione zostały wytyczne dotyczące wymiarów oraz danych technicznych dopuszczonych przez Miejscowy Plan Zagospodarowania Gminy Potęgowo. Punkty immisji zostały oznaczone, jako zabudowa zagrodowa (dopuszczalny poziom immisji na wysokości 4m nad terenem to 45 dB) [1, 6].

6. Wyniki analizy

Podczas przeprowadzonej analizy propagacji hałasu planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo obliczono wysokości immisji w poszczególnych punktach obliczeniowych, przedstawionych w tabeli 6.1. Wygenerowano izofony dla farmy wiatrowej złożonej z 17 siłowni wiatrowych Vestas V100 2 MW o maksymalnej mocy akustycznej na poziomie 105 dB. Mapę wraz z rozkładem izofon przedstawia rysunek 6.1. [2].

Tabela 6.1. Wysokość immisji w punktach obliczeniowych dla planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo [2]

| Punktu obliczeniowy | Współrzędne geograficzne WGS84 | | Maks. poziom immisji | Obliczony poziom immisji | Spełnienie wymagań |
|---------------------|--------------------------------|-----------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| | E | N | | | |
| 1 | 17°18'32" | 54°26'47" | 45 dB | 43,4 dB | TAK |
| 2 | 17°19'02" | 54°26'46" | 45 dB | 44,7 dB | TAK |
| 3 | 17°21'23" | 54°26'02" | 45 dB | 35,8 dB | TAK |
| 4 | 17°19'47" | 54°25'41" | 45 dB | 42,8 dB | TAK |
| 5 | 17°19'11" | 54°25'35" | 45 dB | 42,6 dB | TAK |
| 6 | 17°18'52" | 54°25'38" | 45 dB | 44,6 dB | TAK |



Rys. 6.1. Rozkład izofon dla farmy wiatrowej Wieliszewo [2, 7]

7. Podsumowanie

Inwestowanie w obszarze energetyki wiatrowej wiąże się z wieloma trudnościami wynikającym ze skomplikowania procesu inwestycyjnego. Jedną z tych trudności jest obliczenie oddziaływania hałasu siłowni wiatrowych na otaczające środowisko. Jest to bardzo ważne, ponieważ w przypadku nie wykonania takiej analizy lub zrobienia jej w sposób sprzeczny z obowiązującym przepisami i normami może doprowadzić to do braku możliwości rozpoczęcia eksploatacji. Polskie przepisy szczegółowo określają jak powinna wyglądać rzetelnie wykonana analiza propagacji hałasu planowanej farmy wiatrowej, główne akty prawne to:

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007r. W sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. Nr 120 poz. 826),
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 07 listopada 2014r. W sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. z 2014 r., poz. 1542).

Wyniki obliczeń dla farmy wiatrowej Wieliszewo jednoznacznie wskazują, że nie występują przekroczenia dopuszczalnych poziomów immisji dla poszczególnych punktów obliczeniowych. Dopuszczalny maksymalny poziom immisji dla zabudowy zagrodowej to 45 dB. Poziom immisji kształtuje się w zależności od punktu obliczeniowego od 35,8 dB do 44,7 dB. Siłownia wiatrowa Vestas V100 o maksymalnej mocy akustycznej na poziomie 105 dB będzie dobrym wyborem dla planowanej farmy wiatrowej Wieliszewo.

Nie należy podchodzić do programu obliczeniowego bezkrytycznie, ponieważ jest to tylko narzędzie i od projektanta zależy czy zostanie ono prawidłowo wykorzystane. Niekorzystną sytuacją byłoby gdyby po zakończonej budowie farmy wiatrowej okazało się, że monitoring po realizacyjny wykazałby inny stan od zakładanego. Istotne jest, aby analiza propagacji hałasu została poprzedzona szczegółową analizą terenu w różnych porach roku, gdy zmienia się współczynnik pochłaniania gruntu. Tego typu analiza powinna być uzupełniona o wizje lokalne na terenie planowanej inwestycji.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. Nr 120 poz. 826)
 2. Nielsen, P. (2012). WindPRO 2.8 User Guide. Aalborg: EMD International A/S.
 3. Vestas Wind Systems A/S. (2015-10-06). 2 MW Platform. Pobrano z lokalizacji: <http://www.vestas.com/en/system/links/media-links/product-media/brochures/uk/2mw-product-brochure>
 4. CGIAR - Consortium for Spatial Information. (2015). SRTM 90m Digital Elevation Data. Pobrano z lokalizacji: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/srtm3/
 5. Lorenc, H. (1996). Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Warszawa: IMiGW.
 6. Uchwała Rady Gminy Potęgowo z dnia 19 lutego 2008r. W sprawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego parku elektrowni wiatrowych WIELISZEWO (XIX/130/2008)
 7. Główny Urząd Geodezji i Kartografii. (2015). Ortofotomapa. Pobrano z lokalizacji: http://mapy.geoport.gov.pl/imap/?gpmmap=gp0&actions=acShowWgButtonPanel_kraj_ORTO
 8. PN-ISO 9613-2:2002:2002. Akustyka -- Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej -- Ogólna metoda obliczania.
 9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 07 listopada 2014r. W sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. z 2014 r., poz. 1542)
 10. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. (2007). ALGORYTMY OBLICZEŃ HAŁASU DROGOWEGO I KOLEJOWEGO. Pobrano z lokalizacji: http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_halasu/metody_oblicz_v_2010.pdf
 11. PN-IEC 61400-1:2000:2000. Turbozespoły wiatrowe -- Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.
-