

Głównym celem niniejszego projektu jest zbadanie zjawiska generacji i propagacji fal infradźwiękowych, czyli niesłyszalnych przez ludzi, które mogą być emitowane przez pracujące elektrownie wiatrowe. Zakres pierwszego etapu zaplanowanych zadań będzie obejmował opracowanie modelu numerycznego turbiny wiatrowej, uwzględniającego główne źródła emisji akustycznych sygnałów niskoczęstotliwościowych, tj.: hałas mechaniczny, pochodzący z gondoli i szum aerodynamiczny generowany pracującymi łopatkami. Zaproponowany model będzie uwzględniał parametry konstrukcyjne i rozwiązania techniczne wykorzystywane w obecnie stosowanych turbinach wiatrowych. Do jego opracowania zostaną zastosowane nowoczesne narzędzia komputerowe, które umożliwią integrację zjawisk fizycznych z różnymi dziedzinami, w tym mechaniki konstrukcji, akustyki, aerodynamiki i zjawisk cieplnych w jeden multifizyczny model.

W numerycznym modelu elektrowni wiatrowej zostaną szczegółowo określone następujące parametry: rodzaj (geometria) źródła emisji fal akustycznych: punktowe, powierzchniowe, liniowe, moc akustyczna źródła z podziałem na dźwięki pochodzące od gondoli i od obracających się łopatek, miary akustyczne opisujące zakres częstotliwości niskich i infradźwiękowych, parametry meteorologiczne: kierunek wiatru, wilgotność, temperatura, ciśnienie atmosferyczne, etc., współczynnik pochłaniania przez atmosferę, rodzaj gruntu, dane dotyczące parametrów pochłaniania dźwięku przez grunt, topografia terenu z możliwością uwzględnienia przeszkód (przygotowanie cyfrowego modelu terenu na podstawie informacji hipsometrycznych zawartych na mapach topograficznych). Ponadto model będzie uwzględniał tzw. tła akustyczne.

W kolejnym kroku opracowany model zostanie wykorzystany do obliczeń numerycznych przy zastosowaniu metody elementów skończonych. Badania symulacyjne będą miały na celu określenie wpływu na uzyskiwane wyniki wybranych parametrów konstrukcyjno-technicznych turbiny. Ponadto poddane zostaną ocenie: wpływ warunków atmosferycznych (prędkość i kierunku wiatru, temperatury, wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego, itp.) i topografii terenu, otaczającego elektrownię wiatrową (rodzaj gruntu, pochłanianie i odbicia od powierzchni, ekranowanie przez przeszkody) na drogę propagacji (trajektorie) niskoczęstotliwościowych fal akustycznych zarówno w polu bliskim jak również dalekim. Na podstawie wyników uzyskanych z badań symulacyjnych zostaną wyznaczone rozkłady powierzchniowe i przestrzenne pola akustycznego wokół elektrowni wiatrowej.

Implementacja numerycznego modelu turbiny wiatrowej wiąże się z koniecznością opracowania zależności matematycznej opisującej w sposób cyfrowy sygnały akustyczne generowane podczas jej pracy. Wykorzystane do tego celu zostaną algorytmy estymacyjne i optymalizacyjne takie jak: metoda najmniejszych kwadratów, simpleksowa metoda Nelder-Meada i algorytmy ewolucyjne, które zostaną zintegrowane w specjalnie do tego celu stworzonym programie komputerowym. W badaniach zostaną wykorzystane wyniki wstępnych badań przeprowadzonych dotychczas przez zespół projektowy. W procesie estymacji i optymalizacji parametrów modelu zostanie wykorzystana wartość normy reszt, a jako wskaźnik dopasowania modeli do danych empirycznych zastosowany zostanie współczynnik korelacji. W zadaniu tym zintegrowane zostaną istniejące algorytmy do określenia takich parametrów opracowanego modelu matematycznego, które w efekcie umożliwią zidentyfikowanie cyfrowej postaci sygnału źródła fali infradźwiękowej generowanej przez turbinę. Rozpatrywane w projekcie zjawiska fizyczne, związane z generacją i propagacją fal infradźwiękowych podczas pracy turbin wiatrowych, dotyczą po pierwsze przepływu masy powietrza pomiędzy łopatkami i masztami i po drugie, fal wibroakustycznych, wytwarzanych przez elementy mechaniczne i elektryczne znajdujące się w gondoli, rozchodzące się w przestrzeni powietrznej i wzdłuż masztu do podłoża i dalej po powierzchni ziemi. Równania ruchu generalnie opierają się na dwóch podstawowych zasadach, tj. na zasadzie zachowania energii i na zasadzie zachowania masy (warunek ciągłości). Do prowadzenia badań nad propagacją fali akustycznej w stanie nieustalonym (ang. transient) i w dziedzinie częstotliwości (ang. harmonic) stosowane jest równanie dynamiki ruchu fali akustycznej. Natomiast wiatr zostanie zamodelowany z wykorzystaniem równania opisującego mechanikę płynów, tj. Naviera-Stokesa. Ponadto w modelu zostaną uwzględnione prawa opisujące dynamikę naprężeń mechanicznych powstających w ośrodkach liniowych oraz prawa dotyczące przewodnictwem ciepła.

Ostatnim etapem badań będzie przeprowadzenie weryfikacji uzyskanych zależności numerycznych z wynikami prac eksperymentalnych, wykonanych m.in. w pracowni naukowo-badawczej małej energetyki wiatrowej w Instytucie Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej Politechniki Opolskiej oraz z wynikami badań przeprowadzonych w terenie na rzeczywistych turbinach wiatrowych.

Dla potrzeb realizacji projektu przyjęto następujące hipotezy badawcze: istnieje możliwość zamodelowania procesów związanych z generacją, rozwojem w czasie i propagacją, w zróbnionych ośrodkach akustycznych, sygnałów niskoczęstotliwościowych emitowanych przez turbiny wiatrowe dużej mocy, różnorodnej konstrukcji i zasadzie działania, w taki sposób aby uzyskać zgodnie z modelem z danymi pomiarowymi. W szczególności dotyczy to utworzenia modelu matematycznego opisującego źródła zaburzeń, w wyniku których następuje generacja fal akustycznych.

Zaproponowane prace naukowo-badawcze mają charakter pionierski zarówno w Polsce jak również w skali światowej. Dotychczas nie były podejmowane próby utworzenia multifizycznego modelu źródła hałasu infradźwiękowego pochodzącego od turbiny wiatrowej, który dodatkowo zostałby zweryfikowany do wiadczalności. W prowadzonych do tej pory badaniach traktowano turbinę jako jedną całość i w opracowywanych modelach zakładano punktowe źródło fali akustycznej. Zdecydowanie nowym podejściem jest opracowanie modelu multifizycznego, który będzie uwzględniał wszystkie źródła hałasu i szereg parametrów meteorologicznych, topograficznych oraz parametry konstrukcyjno-techniczne turbiny wiatrowej. Nie opublikowano do tej pory matematycznego opisu sygnału akustycznego generowanego przez turbiny wiatrowe, który uwzględniałby poszczególne elementy mające wpływ na jego propagację w różnych środowiskach. Należy podkreślić, że nie zostały dotychczas opublikowane wyniki podstawowych badań naukowych mających na celu zrozumienie zjawiska generacji oraz propagacji hałasu infradźwiękowego emitowanego podczas pracy elektrowni wiatrowej. Takie próby planują podjąć wykonawcy projektu. Zbadanie tego zjawiska oraz wykonanie jego obiektywnej i wieloparametrycznej oceny jest niezwykle istotne zarówno z poznawczego

punktu widzenia jak również aplikacyjnego. Problem powstawania, propagacji, wielkości i możliwości oddziaływania infradźwięków generowanych przez źródła sztuczne na środowisko naturalne, a w szczególności na organizmy żywe jest aktualny oraz szczególnie istotny zarówno z poznawczego jak i użytkowego punktu widzenia. W szczególności dotyczy to energetyki wiatrowej, której infrastruktura w ostatnich latach jest dynamicznie rozwijana w Polsce, UE oraz w skali światowej. Natomiast problematyka zagrożenia, a w szczególności skutków zdrowotnych, wynikających z możliwości powstawania i oddziaływania na organizmy żywe sygnałów w zakresie niskich częstotliwości o dużych poziomach ciśnienia akustycznego oraz długotrwałym czasie oddziaływania jest coraz częściej podejmowana przez mieszkańców obszarów, na których mają być lokalizowane zarówno pojedyncze turbiny jak również duże farmy wiatrowe.

Efektami końcowymi realizacji projektu będą modele matematyczne drgań akustycznych fal niskoczęstotliwościowych i zależności opisujące ich propagację. W konsekwencji umożliwi to dokonanie oceny procesów fizycznych towarzyszących badanemu zjawiskowi i określenie wpływu szeregu czynników zewnętrznych oraz parametrów, które mogą wpływać na ich przebieg w czasie i przestrzeni. Dodatkowo, w oparciu o zaproponowany model numeryczny, będzie istniała możliwość przeprowadzenia symulacji komputerowych dotyczących warunków pracy planowanych inwestycji energetyki wiatrowej w zakresie możliwości oddziaływania hałasu infradźwiękowego bez konieczności wykonywania długotrwałych, kosztownych, wymagających zastosowania specjalistycznej aparatury badawczej oraz szerokiej wiedzy eksperckiej, prac pomiarowych. Możliwość zamodelowania, a tym samym poznania zjawisk związanych z powstawaniem i propagacją sygnałów akustycznych niskich częstotliwości może przyczynić się do jednoznacznego określenia ich na etapie prac projektowych i w czasie opracowywania raportów oddziaływania na środowisko naturalne poziomów ciśnienia akustycznego emitowanych przez turbiny wiatrowe w zakresie hałasu niskoczęstotliwościowego.

W ocenie autorów zaproponowana metodologia umożliwi zbadanie zjawisk fizycznych związanych z generacją, rozwojem w czasie oraz propagacją fal akustycznych niskiej częstotliwości emitowanych przez turbiny wiatrowe. Zaproponowany zespół badawczy posiada będzie odpowiednią wiedzę merytoryczną o charakterze eksperckim w zakresie tematyki projektu, a także praktyczne doświadczenie w prowadzeniu prac naukowo-badawczych i rozwojowych, realizowanych zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak również przemysłowych. Na wyposażeniu Instytutu Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej (EiEO) znajduje się profesjonalna aparatura badawcza, która umożliwia wykonywanie pomiarów i analiz sygnałów akustycznych w zakresie słyszalnym i niskoczęstotliwościowym, a także drgań wibroakustycznych. W szczególności Instytut EiEO dysponuje układami do rejestracji i analizy drgań oraz dźwięku, a także pakietem oprogramowania MATLAB, pakietem podstawowym COMSOL Multiphysics oraz systemem do pomiarów i analiz sygnałów akustycznych niskoczęstotliwościowych. Natomiast dla potrzeb realizacji projektu planuje się zakup drugiego układu do pomiarów i analiz akustycznych sygnałów niskoczęstotliwościowych, co umożliwi równoległe prowadzenie prac badawczych w polu bliskim i dalekim. Planuje się również dodatkowo zakup licencji wybranych modułów programu COMSOL, niezbędnych do realizacji zaplanowanych prac naukowo-badawczych. Ponadto w Instytucie EiEO znajduje się laboratorium CentrumITLab, które wyposażone jest w kilkanaście komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Laboratorium to zapewni wykonanie szczegółowych symulacji numerycznych oraz wszystkich analiz uzyskanych danych w określonym w projekcie terminie.