

Streszczenie

Jednym z głównych problemów związanych z odnawialną energią wiatrową jest powiązana emisja hałasu, która powoduje niechęć społeczeństwa do jej powszechnego stosowania. Badania nad dźwiękiem emitowanym przez łopaty wirnika turbiny wiatrowej, szczególnie w warunkach pracy niezgodnych z projektem, takich jak w obecności oderwania przepływu w turbulentnej warstwie przyściennej, są ograniczone. Szczególny typ urządzenia do sterowania przepływem - prętowe generatory wirów wzdłużnych RVGs (ang. Rod Vortex Generators) badano pod kątem redukcji oderwania w zastosowaniu do łopat turbin wiatrowych. Jednak ich wpływ akustyczny nie jest poznany.

Głównym celem tej pracy badawczej jest podstawowe zrozumienie fizyki oraz mechanizmów wytwarzania i propagacji dźwięku, które umożliwią projektowanie urządzeń przeznaczonych do sterowania przepływem i ograniczających hałas turbin wiatrowych. Osiągnięto to poprzez opracowanie ogólnego kodu aeroakustycznego przeznaczonego do badania emisji i propagacji dźwięku, którego źródłem są ciała poruszające się z prędkością poddźwiękową w przestrzeni (np. rotacja). Opiera się na całkowym rozwiązaniu Farassata dla analogii akustycznej Ffowcsa-Williamsa i Hawkingsa (FW-H). Sygnał akustyczny wraz z jego różnymi składowymi jest szczegółowo sprawdzany (walidowany) w oparciu o rozwiązania analityczne opracowane dla elementarnych źródeł akustycznych (monopolowych i dipolowych). Dodatkowo, w celu uzyskania rozwiązań analitycznych, opracowano dodatkowe kody numeryczne, zarówno dla źródła monopolowego nieruchomego/wirującego, jak i dipolowego, dla źródeł punktowych i rozproszonych. Umożliwia to również wstępną analizę akustyczną dla nowych projektów.

Opracowany kod numeryczny jest następnie wykorzystywany do badania nisko-częstotliwościowego hałasu harmonicznego w płaszczyźnie rotacji (ang. LF-IPH – low-frequency in-plane rotor harmonic noise) modelu wirnika śmigłowca w zawisie (University of Maryland). Uzyskano zadowalające porównanie przewidywanego hałasu monopolowego z danymi literaturowymi. Szczegółową analizę hałasu obciążeniowego (dipolowego) przeprowadzono zarówno za pomocą symulacji RANS (ang. Reynolds-averaged Navier-Stokes), jak i metod BEMT (ang. Blade Element Momentum Theory). Uzyskano dobrą zgodność z sygnałami z literatury (względem kodu referencyjnego FW-H, University of Maryland). W stosunku do wyników pomiarów całkowity poziom ciśnienia akustycznego był podobnie przewidywany w stosunku do kodu literaturowego.

Kod FW-H wykorzystuje się następnie do badania wpływu RVGs na hałas rotacyjny emitowany przez wirnik turbiny wiatrowej NREL Phase VI. Głównym celem tego badania była względna różnica w poziomie dźwięku emitowanego przez łopaty wirnika z/bez RVGs. Ani analiza globalna, ani lokalna nie wykazały znaczących różnic w ogólnych poziomach ciśnienia akustycznego zarówno dla mikrofonu bliskiego, jak i dalekiego pola. Zatem RVGs nie powodują podwyższenia poziomu hałasu rotacyjnego, poprawiając jednocześnie właściwości aerodynamiczne poprzez zmniejszenie oderwania turbulentnej warstwy przyściennej.

Ponieważ dla wirnika turbiny wiatrowej NREL Phase VI analizowano numerycznie jedynie hałas rotacyjny (ze względu na niedostępność danych obliczeniowych dotyczących niestacjonarnego pola ciśnienia na powierzchni łopat), wpływ generatorów wirów na emisję szerokopasmową płyta DU96 turbiny wiatrowej zbadano za pomocą technik pomiarowych w Delft University of Technology. Wpływ prętów na warstwę przyścienną zbadano za pomocą różnych metod – rejestracji ciśnienia na powierzchni, wizualizacji olejowej i PIV (ang. Particle Image Velocimetry). Wykorzystując technikę kształtowania wiązki akustycznej (ang. acoustic beamforming) do analizy pomiarów dźwięku z układu mikrofonów, przeprowadzono analizę porównawczą dystrybucji źródeł akustycznych oraz poziomów ciśnienia akustycznego przy różnych kątach napływu (oderwanie). Dzięki wdrożeniu RVGs uzyskano redukcję hałasu przy niskich częstotliwościach. Jednakże pręty generują więcej szumu szerokopasmowego przy średnich i wysokich częstotliwościach. RVGs generują dodatkowy szum własny tylko przy wyższych częstotliwościach. Wzrost poziomu hałasu powodowanego przez pręty mieści się w granicach <2 dB i występuje przy całkowitych poziomach ciśnienia akustycznego, które są znacznie niższe niż wartości szczytowe generowane przy niskich częstotliwościach, co utrudnia percepcję, szczególnie w przypadku zastosowań w turbinach wiatrowych.