

Zaostrzenie w ostatnich dekadach norm emisji spalin i hałasu (agenda badawcza ACARE, Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) zmusza inżynierów do wprowadzania nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych, umożliwiających znaczne podwyższenie sprawności aerodynamicznych wybranych elementów silników lotniczych. Poprawa jakości projektowania może odbywać się tylko pod warunkiem, że dostępne będą w niedalekiej przyszłości wysokiej jakości narzędzia obliczeniowe, umożliwiające analizy trójwymiarowych i niestacjonarnych przepływów turbulentnych i przepływów w których występuje przejście laminarno-turbulentne w warstwach przyściennych.

Obliczeniowa mechanika płynów jest obecnie szeroko wykorzystywana do symulacji przepływów laminarnych jak i turbulentnych w wielu zagadnieniach akademickich jak i w praktyce inżynierskiej. Jednym z powszechnie stosowanych podejść w symulacji przepływów turbulentnych jest wykorzystanie technik opartych na uśrednionych w czasie równaniach Naviera-Stokesa. Metody te charakteryzują się relatywnie niskimi kosztami realizacji obliczeń numerycznych. W praktyce inżynierskiej, występują jednak przepływy które charakteryzują się złożoną dynamiką procesu turbulentnej wymiany pędu. W przypadku takich zagadnień konieczne jest wykorzystanie kosztownej obliczeniowo metody bezpośredniego rozwiązania równań Naviera-Stokesa. Metoda ta wymaga stosowania bardzo gęstych siatek obliczeniowych i użycia drobnych kroków całkowania równań w czasie. Wymogi te wynikają z konieczności symulowania w przepływie, poza procesem turbulentnej wymiany pędu w obszarze dużych, zorganizowanych, struktur wirowych, również dynamiki struktur drobnych nazywanych strukturami Kołmogorowa. Duże koszty obliczeń ograniczają jednak stosowalność tej metody do przepływów z niską liczbą Reynoldsa.

Niestacjonarny przepływ który ma miejsce wewnątrz współczesnego silnika turbowentylatorowego jest przykładem przepływu, w przypadku którego ze względu na złożoność występujących tam procesów przepływowych i akustycznych, zastosowanie klasycznych metod opartych na uśrednionych w czasie równań Naviera-Stokesa może prowadzić do znaczących różnic w uzyskiwanych wynikach obliczeń w porównaniu z tymi które uzyskuje się w badaniach laboratoryjnych. Przepływ w warstwach przyściennych na powierzchni łopat wykazuje cechy przepływu laminarnego. Ponadto, ze względu na dużą koncentrację energii akustycznej wewnątrz obudowy współczesnego silnika lotniczego przepływ w laminarnych warstwach przyściennych może być silnie modyfikowany przez fale akustyczne. Prowadzić to może do przyspieszenia przejścia przepływu laminarnego do przepływu turbulentnego w warstwie przyściennej. Tak złożone zjawiska przepływowo-akustyczne nie mogą być w poprawny sposób modelowane z pomocą klasycznych metod symulacji przepływów turbulentnych, ze względu na brak uwzględnienia faktu istnienia procesu sprzężenia przepływowo-akustycznego na etapie definiowania i kalibrowania tych modeli. Celem niniejszego projektu jest wytworzenie nowych wiarygodnych narzędzi obliczeniowych, opartych na rozwiązaniu uśrednionych w czasie równań Naviera-Stokesa, umożliwiających uwzględnienie procesu sprzężenia przepływowo-akustycznego.

W celu osiągnięcia zamierzonych celów, konieczne będzie poznanie podstaw fizycznych analizowanego zjawiska oddziaływania fal akustycznych na przepływ w laminarnej warstwie przyściennej. W tym celu wykonane zostaną badania eksperymentalne w których analizowany będzie przepływ i towarzyszące mu zjawiska akustyczne w oderwanej laminarnej warstwie przyściennej rozwijającej się wokół elementu o wypukłej powierzchni. Zrealizowane zostaną dokładne symulacje przepływu wokół profilu łopatki z wykorzystaniem bezpośredniego rozwiązania równań Naviera-Stokesa, celem poznania mechanizmów utraty stabilności przepływu w obecności i bez obecności zaburzeń akustycznych. W oparciu o pozyskaną wiedzę, opracowane zostaną dwie nowe techniki modelowania procesu sprzężenia akustyczno-przepływowego. Pierwsza metoda oparta będzie na symulacji procesu utraty stabilności przepływu w oderwanej laminarnej warstwie przyściennej przy całkowaniu uśrednionych równań ruchu w czasie. Druga technika oparta będzie na wytworzeniu zastępczego poziomu fluktuacji turbulentnych w przepływie poza warstwą przyściennej, odpowiadającego występującym w przepływie energii fal akustycznych. Następnie, podwyższony poziom turbulencji w przepływie na zewnątrz warstwy aktywował będzie zjawisko przejścia laminarno-turbulentnego w warstwie przyściennej. Opracowane techniki pozwolą znacząco zmniejszyć koszty prowadzenia symulacji numerycznych przepływów i obliczeń procesu sprzężenia akustyczno-przepływowego w stosunku do kosztów jakie wymagane są przy bezpośrednim rozwiązaniu równań Naviera-Stokesa.