

## Streszczenie

Laminarne oderwanie warstwy przyściennej jest często obserwowane w kluczowych procesach lotniczych, w tym w przepływie powietrza wokół profili lotniczych lub łopatek maszyn wirnikowych. Może to mieć ogromny wpływ na sprawność poprzez znaczną zmianę właściwości aerodynamicznych, prowadzących do zwiększonego oporu, zmniejszenia siły nośnej i zmniejszenia ogólnej wydajności. Kolejnym czynnikiem, który może oddziaływać na przepływ, jest wysokie stężenie energii akustycznej w silnikach lotniczych i sprężarkach. W związku z tym, celem pracy było zbadanie wpływu wymuszeń akustycznych na oderwaną laminarną warstwę przyścienną. W szczególności zbadanie mechanizmu, za pomocą którego akustyka, generowana jako szum szerokopasmowy lub wzbudzenie harmoniczne, wpływa na różne fazy rozwoju laminarnego pęcherza oderwania, a zwłaszcza na proces przejścia laminarno-turbulentnego.

Aby osiągnąć ten cel przeprowadzono badania eksperymentalne w tunelu aerodynamicznym z obiegiem otwartym i specjalnie zaprojektowaną sekcją pomiarową, w której warstwa przyścienne rozwijała się na dolnej płaskiej płycie. Ścianę górną ukształtowano zgodnie z założonym rozkładem gradientu ciśnień odpowiadającym warunkom panującym w łopatkach sprężarki osiowej. W badaniach wykorzystano zaawansowane techniki pomiarowe (anemometria z gorącym włóknem i systemy pomiaru pola akustycznego) oraz przeprowadzono analizę danych pomiarowych. Do kontroli warunków akustycznych wewnątrz sekcji pomiarowej zaprojektowano i opracowano odpowiedni system wymuszania akustycznego.

W pracy przeprowadzono badania dla dwóch liczb Reynoldsa tj. 185 000 i 370 000. Wykazano, że wzrost liczby Reynoldsa powoduje zmniejszenie wielkości pęcherza oderwania, co potwierdza  $C_f$  oraz parametry całkowite warstwy przyściennej, w tym  $H$ ,  $\delta^*$ ,  $\gamma$  i  $\theta$ . Zmniejszenie wielkości pęcherza zostało dodatkowo potwierdzone przez wizualizację dymową przeprowadzoną dla niższej liczby Reynoldsa. W obu przypadkach zaobserwowano niestabilności Kelvina-Helmholtza i Klebanoffa, których obserwację

potwierdzono na podstawie liczb Strouhala, parametrów całkowych i danych statystycznych.

Celem drugiej części pracy było opisanie wpływu wzbudzenia akustycznego na oderwaną laminarną warstwę przyścienną. Dla lepszego zrozumienia zbadano dwa poziomy ciśnienia akustycznego (SPL) i porównano wpływ szumu różowego i wzbudzenia monoharmonicznego na warstwę przyścienną. Na podstawie dotychczasowych badań przyjęto, że najlepsza wrażliwość oderwanej warstwy przyściennej na wzbudzenie akustyczne jest w zakresie częstotliwości fluktuacji własnych. W celu określenia właściwego zakresu generowanych częstotliwości przeprowadzono analizę charakterystyki pola akustycznego w badanym odcinku oraz częstotliwości niestabilności warstwy przyściennej.

Badania wykazały istotny wpływ wzbudzenia akustycznego na położenie początku przejścia laminarno-turbulentnego, co prowadzi do zmian parametrów całkowych warstwy przyściennej, przesunięcia punktu ponownego przylgnięcia w górę przepływu oraz zmniejszenia wielkości oddzielonego pęcherza. Zastosowanie wyższego poziomu ciśnienia akustycznego prowadzi do szybszej utraty stabilności przepływu i lub nawet całkowitego zaniku oderwania. Główny efekt obserwuje się w tylnej części pęcherza oderwania. Zjawisko to przypisano jako interakcja między falami dźwiękowymi, generowanymi przez głośnik, a niestabilnością Kelvina-Helmholtza. Oddziaływanie akustyczne nie wykazało znaczącego wpływu na początkową część pęcherza oderwania, w którym wykryto tryb Klebanoffa. Porównanie efektów wymuszania szerokopasmowego i monoharmonicznego, przy jednakowych poziomach SPL, ujawnia wyraźne różnice w widmach i dla obserwowanych niestabilności. Nie wykazało to jednak istotnego wpływu na parametry całkowite warstwy przyściennej.

Badanie to dostarcza cenną informację na temat fizyki leżącej u podstaw interakcji między falami dźwiękowymi a niestabilnością oderwanej warstwy przyściennej. Powiększenie wiedzy w tej skomplikowanej zależności, głębsze zrozumienie mechanizmów, otwiera drogę do postępu w różnych dziedzinach. Takie zrozumienie ma znaczny potencjał w zakresie optymalizacji

projektowania i wydajności systemów aerodynamicznych, strategii redukcji hałasu i ogólnej wydajności systemów w szerokim zakresie zastosowań.