
Sz. Pani
Dziekan
Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechniki Częstochowskiej
prof. dr hab. inż. Małgorzata Klimek



**Opinia o rozprawie doktorskiej
mgr inż. Wasyla Sokolenko**

**„Analysis of the impact of acoustic excitation on the
loss of flow stability in the boundary layer”**

dla postępowania w sprawie nadania stopnia doktora
w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna

Opinia została sporządzona zgodnie z życzeniem Pani prof. dr hab. inż. Małgorzaty Klimek, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej wyrażonym w piśmie nr R-WIMiI-BOD510-6/21 z dnia 17 sierpnia 2023r., powołującym mnie na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, zgodnie z Uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej nr 43/2022/2023 z dnia 11 lipca 2023 roku.

Przedstawiana praca dotyczy zjawisk przepływowych, występujących w obrębie oderwania warstwy przyściennej. Jest więc umiejscowiona w obszarze badań inżynierii mechanicznej, dla której stanowi przedmiot rozważań zarówno teoretycznych jak i aplikacyjnych.

Tworzący się w obrębie oderwania warstwy przyściennej tzw. laminar separation bubble (LSB) jest prekursorem szeregu zjawisk, w tym przejścia laminarno-turbulentnego. Zjawisko to może wystąpić w szeregu sytuacjach, począwszy od negatywnego oddziaływania na siłę nośną w profilach lotniczych, poprzez szkodliwy wpływ na sprawność maszyn wirnikowych do wzrostu siły nośnej i zmniejszania oporu lotu niektórych ptaków i biomimetycznych skrzydeł o niskiej liczbie Reynoldsa.

Sterowanie pęcherzem oderwania i zmniejszenie jego negatywnego oddziaływania w urządzeniach technicznych jest przedmiotem zainteresowania aerodynamiki od najwcześniejszych jej zastosowań. Efektywne sterowanie LSB wymaga poznania zjawisk fizycznych z nim związanych i opracowania modeli w oparciu o tę wiedzę.

W tym świetle tematyka przedstawionej pracy, która stawia sobie za cel zbadanie wpływu wymuszenie akustycznego na warstwę przyścienną, jest ważna, ciekawa i ambitna.

Szczegółowym celem, jaki stawia sobie autor, jest zbadanie mechanizmu, w którym szerokopasmowy szum akustyczny lub wzbudzenie harmoniczne oddziałuje na przejście laminarno-turbulentne w warstwie przyściennej, z możliwym wykorzystaniem tej wiedzy dla sterowania przepływem.

Jako metodę badania zjawisk wybrano eksperyment w tunelu aerodynamicznym, przy czym wymuszenie akustyczne generowane było przez zestaw trzech głośników, umożliwiających uzyskanie wysokiego poziomu ciśnienia akustycznego. Pomiarów wykonywano przy pomocy sond termoanemometrycznych.

Pracę otwiera przegląd literatury, który omawia historię badań, począwszy od Ludwiga Prandtla do najnowszych symulacji komputerowych LES.

Mowa jest o badaniach nad przejściem laminarno-turbulentnym LSB, metodach pasywnego i aktywnego sterowania, ze szczególnym uwzględnieniem wymuszenia akustycznego.

Na podstawie przeglądu literatury autor formułuje własne, oryginalne problemy naukowe, jakie zamierza rozwiązać w pracy. Są nimi określenie wpływu liczby Reynoldsa na zjawiska zachodzące w warstwie przyściennej z oderwaniem i ocena wpływu wymuszenia

akustycznego na poszczególne etapy rozwoju warstwy ścinanej, takie jak pojawienie się oderwania, pojawienie się przejścia laminarno-turbulentnego, określenie grubości LSB, określenie wartości całkowitych rozwijającej się warstwy przyściennej, wpływu charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej wymuszenia czy zidentyfikowanie towarzyszących temu zjawisk fizycznych.

Dalsza część pracy zawiera szczegółowy opis stanowiska badawczego, parametrów tunelu aerodynamicznego, lokalizacji punktów pomiarowych, użytego oprogramowania.

W pracy przedstawiono, kolejno, wyniki pomiarów. Zdefiniowano i zmierzono rozkład prędkości na wlocie do badanego obszaru, wyznaczając poziom turbulencji. Wyznaczono widmową gęstość mocy akustycznej w obszarze warstwy przyściennej. Pomiarów prowadzono dla dwóch liczb Reynoldsa. W pierwszej kolejności szczegółowo zbadano naturalny przepływ bez wymuszenia akustycznego, wyznaczając profile prędkości i wszystkie podstawowe parametry warstwy przyściennej, identyfikując wzdłużne i poprzeczne mody, Kelvina-Helmholtza i Klebanoff'a a także identyfikując punkt przejścia laminarno-turbulentnego z wykorzystaniem funkcji intermittencji i położenie punktu turbulentnego przyłgnięcia warstwy przyściennej (reattachment).

Badania te zostały powtórzone dla przypadku wymuszenia akustycznego, przy czym zastosowano dwa poziomy wymuszenia akustycznego i widmo sygnału szerokopasmowe oraz harmoniczne.

Dla przepływu z wymuszeniem akustycznym omówiono obserwowany wpływ aktuacji na topologię oderwania, obserwowane częstotliwości, obszar laminarny i turbulentny, mody obecne w przepływie a także charakterystyczne punkty oderwania.

Prace kończą wnioski, zawierające sugestie kierunków dalszych badań, dodatek opisujący metody obliczeń parametrów i obszerna literatura.

Praca poświęcona jest głównie wymuszeniu akustycznemu dla przepływu w warstwie przyściennej z oderwaniem, przy czym wymuszenie posiada stosunkowo wysoką energię. W tym kontekście, obszarem zastosowania jest raczej zbadanie warunków, jakie mogą panować we wnętrzu maszyn wirnikowych niż zastosowanie wyników do sterowania

przepływem. W pracy zwraca uwagę staranne przygotowanie eksperymentu, przez co uzyskane pomiary są wiarygodne.

W trakcie omawiania wyników pomiarów autor odnosi obserwowane zjawiska i wartości do istniejących lub podobnych badań eksperymentalnych i numerycznych, wykazując dużą znajomość literatury zagadnienia i dużą umiejętność wyciągania głębszych wniosków, dotyczących np. struktury przepływu, na podstawie, dającego stosunkowo niewiele informacji badania termoanemometrycznego. Wynika to, z jednej strony, ze znajomości zagadnienia i technik pomiarowych, z drugiej, z umiejętnego przetworzenia mierzonego sygnału.

Z pewnością dane uzyskane w pracy, oprócz wypełnienia celów pracy - poznania mechanizmów wymuszenia akustycznego dla warstwy przyściennej - stanowią bezcenne źródło dla walidacji metod numerycznych, używanych do obliczeń maszyn wirnikowych z uwzględnieniem oddziaływania akustycznego.

Praca odwołuje się w swoim tytule i celu do utraty stabilności przepływu w warstwie przyściennej z oderwaniem. Tu należy zaznaczyć, iż mimo szerokiej znajomości tematu i stosowania najnowszej literatury przez autora, można dodać pozycje ważne i wymagające uwzględnienia. Temat badany był, różnymi metodami od dawna, nie jest to kwestia „ostatnich lat”. Wystarczy wspomnieć, że Michalke, Kachanov i Kozlov badali ten temat przeszło 40 lat temu w Hermann-Foettinger-Institut. Grupa Theofilisa, w tym Rodriguez prowadziła badania stabilności (globalnej) takich przepływów dla USAF. Barkley, Sherwin, Akervik, Wei He, Hoepffner, grupa Heningssona na KTH, Gaster, Fasel, Dallman, Gennaro - wszyscy oni zajmowali się stabilnością oderwania warstwy przyściennej i co istotne - wyznacali, przy użyciu różnych metod, mody i częstotliwości, wrażliwość (receptivity), struktury i przejścia. Znajomość możliwych odpowiedzi układu i mechanizmów przepływu stanowi nieocenioną pomoc w planowaniu eksperymentu i dobrze stałoby się, gdyby dołączono ją do „kierunków przyszłych badań”.

Oceniając zdecydowanie pozytywnie zawartość przedstawionej pracy wspomnieć należy również o starannym jej przygotowaniu w poprawnym języku angielskim, co znakomicie zwiększa impakt naukowy. Ze względu na zawarte w pracy dane, może ona być szeroko wykorzystywana przez innych badaczy a język nie ogranicza jej przydatności. Służą temu również publikacje, powstałe w trakcie przygotowywania pracy, wymienione poniżej.

V. Sokolenko jest autorem i współautorem następujących prac:

- A. Drózdź, P. Niegodajew, M. Romańczyk, V. Sokolenko, W. Elsner, Effective use of the streamwise waviness in the control of turbulent separation, *Experimental Thermal and Fluid Science*. 121 (2021)
- V. Sokolenko, W. Elsner, A. Drózdź and R. Gnatowska, Physics of Acoustic Excitation on Boundary Layer Development, *ACTA Physica Polonica A*. 139, (2021)
- V. Sokolenko, W. Elsner, A. Drózdź, R. Gnatowska, Z. Rarata, & S. Kubacki, (2022). Experimental analysis of the impact of an acoustic excitation on a separated boundary layer behaviour. *Journal of Physics: Conference Series*, 2367(1), 012021.
- S. Kubacki, Z. Rarata, A. Drózdź, R. Gnatowska, V. Sokolenko, W. Elsner, (2023). Prediction of laminar-to-turbulent transition in a separated boundary layer subjected to an external acoustic forcing, (2023), *Archives of Mechanics* (w druku)

Z pewnością, jak wskazano wyżej, omawiana rozprawa doktorska prezentuje wysoką, ogólną wiedzę teoretyczną autora w trudnych zagadnieniach mechaniki płynów oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stanowi również oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, gdyż temat warstwy przyściennej z oderwaniem w warunkach silnego wymuszenia akustycznego jest słabo znany a jego badanie wymaga złożonych metod i dużych umiejętności.

Autor rozprawy wykonał wartościową pracę dla jego zbadania, wykazując wysokie kompetencje zarówno w kwestii eksperymentu jak i interpretacji uzyskanych wyników i formułowanych na tej podstawie konkluzji, publikując ponadto artykuły w znanych czasopismach.

Konkluzja

Zważywszy wymienione wyżej przesłanki. przedstawiona tu praca doktorska mgr inż. Wasyla Sokolenko spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i może być podstawą dla dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.