

Zastosowanie ruchomej ściany do sterowania
oddziaływaniem prostopadłej fali uderzeniowej
z turbulentną warstwą przyścienną
na profilu lotniczym

O. Szulc¹, P. Doerffer², P. Flaszynski¹

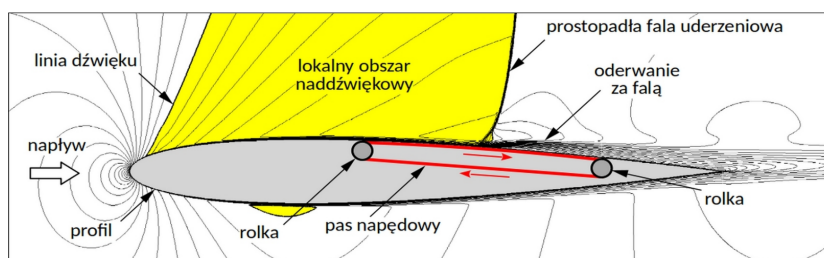
¹*Instytut Maszyn Przepływowych
Polskiej Akademii Nauk,
ul. Fiszerza 14, 80-231 Gdańsk*

²*Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
Politechnika Gdańska,
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
e-mail: oskar.szulc@imp.gda.pl*

Od kilku dziesięcioleci zjawisko oddziaływania fali uderzeniowej z warstwą przyścienną (ang. Shock wave-Boundary Layer Interaction, SBLI) jest przedmiotem intensywnych badań, rozpoczętych przez Ackereta, Feldmana i Rotta w 1946 roku. Potrzeba kontroli przebiegu interakcji (ang. SBLI Control, SBLIC) była głównym powodem implementacji licznych metod sterowania przepływem. Podstawową motywacją tych wysiłków była konieczność zmniejszania lub nawet przeciwdziałania wystąpieniu oderwania warstwy przyściennej spowodowanego obecnością fali uderzeniowej, które zazwyczaj prowadzi do znacznego wzrostu oporu aerodynamicznego, niepożądanych strat przepływowych i niebezpiecznych niestabilności. Jako przykłady metod sterowania zjawiskiem SBLI można podać techniki pasywne: wentylację i lokalną deformację powierzchni płata lub różne rodzaje generatorów wirów wzdłużnych (strumieniowych, blaszkowych czy prętowych).

Streszczenie opisuje propozycję innowacyjnej metody sterowania zjawiskiem oderwania warstwy przyściennej, spowodowanego obecnością prostopadłej fali uderzeniowej na profilu lotniczym. Głównym celem tego badania numerycznego metodami Obliczeniowej Mechaniki Płynów (Computational Fluid Dynamics, CFD), opartymi na uśrednionych zasadach bilansu masy, pędu i energii dla płynu ściśliwego i turbulentnego (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations, RANS), jest wstępna ocena potencjału zastosowania ruchomej (stycznie) powierzchni do sterowania zjawiskiem SBLI i ograniczenia oderwania (SBLIC-MW). Analiza efektywności metody SBLIC-MW jest oparta na porównaniu pozycji i intensywności fali uderzeniowej, struktury stopy- λ , kształtu warstw przyściennych (napływających i poddanych oddziaływaniu) i zasięgu oderwania, a także charakterystyk aerodynamicznych płata dla klasycznego profilu lotniczego NACA 0012, pracującego w warunkach transonicznych.

Jest powszechnie wiadome, że dla typowych liczb Macha M przed falą uderzeniową rzędu od 1.3 do 1.5 wartość tarcia powierzchniowego jest stosunkowo wysoka, zwłaszcza dla przepływów turbulentnych. Obecność prostopadłej fali uderzeniowej znacznie zaburza kształt napływającej warstwy przyściennej, powodując istotne zmniejszenie naprężenia stycznego, co często prowadzi do oderwania. Proponuje się tu skorzystanie z tego układu, wprowadzając powierzchnię ruchomą stycznie do obszaru interakcji, lokalnie przed falą uderzeniową, pod nią oraz w dole przepływu, tam gdzie powstaje oderwanie. Mechanizm sterowania może być zaimplementowany jako zamknięty pas unoszący się na poduszce powietrznej i przesuwający się po rolkach, tworzący zewnętrzne poszycie strony ssącej profilu lotniczego w obszarze sterowania (szczegóły na Rysunku 1). Dwa warianty metody są rozważane pod względem napędu systemu. Po pierwsze, działanie w pełni pasywne polega na transferze pędu z przepływu głównego przed falą uderzeniową dzięki obecności wysokiego naprężenia stycznego na ścianie w tym rejonie. Ten pęd zostaje przeniesiony przez pas napędowy do obszaru znajdującego się za falą uderzeniową, podwyższając odporność warstwy przyściennej na niekorzystny gradient ciśnienia i przeciwdziałając oderwaniu. Z drugiej strony, dzięki zastosowaniu dedykowanego systemu napędowego (wariant aktywny), prędkość powierzchni ruchomej mogłaby być kontrolowana, pozostawiając możliwość dalszej optymalizacji pod kątem poprawy charakterystyk aerodynamicznych płata.



Rysunek 1: Sterowanie oddziaływaniem prostopadłej fali uderzeniowej z warstwą przyścienną za pomocą ruchomej ścianki (profil lotniczy NACA 0012 w warunkach transonicznych: $M = 0.8$, $Re = 4 \times 10^6$ i $\alpha = 2.1^\circ$)