

# Numeryczna analiza wpływu warstwy przyściennej na falę uderzeniową na profilu sprężarki transonicznej

M. Piotrowicz<sup>1</sup>, P. Flaszynski<sup>1</sup>, P. Kaczyński<sup>1</sup>, P. Doerffer<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,  
Politechnika Gdańska,  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk*

Współczesne wyzwania stawiane nowoczesnym silnikom lotniczym, takie jak stabilna praca, zmniejszenie zużycia paliwa, poprawa sprawności, prowadzą do tego, że poszczególne komponenty stają się coraz bardziej kompaktowe i silnie obciążone.

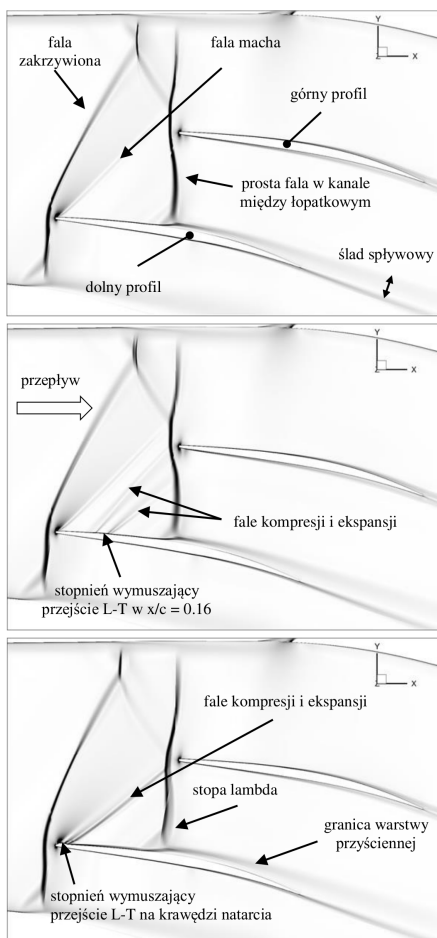
Zwiększone obciążenie prowadzi do osiągnięcia przepływów naddźwiękowych, które nieodłącznie związane są z pojawieniem się fal uderzeniowych, oddziałujących z laminarną warstwą przyścienną, jeśli silnik pracuje na dużych wysokościach i przy niskich liczbach Reynoldsa. Taka interakcja może generować efekty niestacjonarne, które wpływają na obciążenie dynamiczne, zmniejszenie sprawności, fluktuację masowego natężenia przepływu, co w konsekwencji prowadzi do drgań całego silnika na skutek drgań łopatek wentylatora [1].

Obecnie prowadzone są badania z wykorzystaniem innowacyjnych technik sterowania i redukcji oderwania poprzez turbulizację warstwy przyściennej [2]. Oddziaływanie turbulentnej warstwy przyściennej z falą uderzeniową charakteryzuje się mniejszą separacją warstwy przyściennej, w porównaniu do oddziaływania z laminarną warstwą przyścienną [3], co pozytywnie wpływa na stabilizację układu.

Zmniejszenie oporu poprzez laminarną warstwą przyścienną przed falą uderzeniową oraz pozytywny wpływ turbulentnej interakcji fali uderzeniowej z warstwą przyścienną wywołuje problem z lokalizacją przejścia laminarno-turbulentnego. Kluczowe zatem jest pytanie, jak blisko fali uderzeniowej może znajdować się indukowane przejście, przy jednoczesnym zachowaniu typowego turbulentnego oddziaływania.

Symulacje numeryczne przeprowadzono przy pomocy solvera FINE/Turbo<sup>TM</sup> Numeca, z wykorzystaniem dwurównaniowego nieliniowego modelu turbulencji EARSM (Explicit Algebraic Reynolds Stress Model) z dodatkowym modelem przejścia laminarno-turbulentnego. Przeanalizowano przepływ w konfiguracji eksperymentalnej. Dodatkowo wykonano pomiary w liniowej sekcji transonicznej.

Wyniki symulacji numerycznej CFD (Computational Fluid Dynamics) prowadzą do identyfikacji i analizy złożonych zjawisk przepływowych oraz pokazują, że lokalizacja przejścia laminarno-turbulentnego ma istotny wpływ na oddziaływanie warstwy przyściennej z falą uderzeniową. Jednym z proponowanych zaburzeń prowadzących do przejścia jest wykonanie stopnia na stronie ssącej profilu. Powoduje to lokalne zaburzenie, które wymusza turbulizację warstwy przyściennej.



Rysunek 1: Porównanie numerycznej wizualizacji schlierena

W pracy przedstawiono trzy konfiguracje, które ilustrują wpływ na strukturę przepływu. Wyniki symulacji numerycznych porównano z pomiarami ciśnienia, farbą czułą na ciśnienie PSP (Pressure Sensitive Paints), wizualizacją Schlierena, zdjęciem przepływu oleju na stronie ssącej oraz pomiarem prędkości w śladzie splotowym. Porównano profile prędkości w warstwie przyściennej oraz wyznaczono całkowite parametry, definiujące warstwę przyścienną dla wybranych trawersów.

### Podziękowania

Badania te były wspierane przez 7 Ramowy Program Badań UE i zostały przeprowadzone w ramach projektu badawczego o akronimie TFAST (Transition Location Effect on Shock Wave Boundary Layer Interaction). Badania zostały wsparte przez CI TASK oraz częściowo przez ogólnopolską infrastrukturę obliczeniową PL-Grid.

**Bibliografia**

- [1] Becker B., Reyer M., Swoboda M., Steady and unsteady numerical investigation of transitional shock-boundary-layer-interactions on a fan blade, *Aerosp. Sci. Technol.* 11, 507-517 (2007).
- [2] Doerffer P., Flaszynski P., Dussauge J. P., Babinsky H., Grothe P., Petersen A., Billard F., Transition Location Effect on Shock Wave Boundary Layer Interaction: Experimental and Numerical Findings from the TFAST Project, Springer (2021).
- [3] Doerffer P., Hirsch C., Dussauge J. P., Babinsky H., Barakos G. N., Unsteady Effects of Shock Wave Induced Separation, Springer (2011).