

Zpráva ze stáže v IMP PAN Gdaňsk (Polsko) 14.10. 2014 - 13.12.2015

Martin Kožíšek



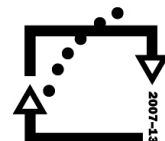
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1 Informace o projektu

Stáž v IMP PAN Gdaňsk v Polsku probíhající od 14.10. 2014 do 13.12.2015 byla financována v rámci projektu **Budování excelentního vědeckého týmu pro experimentální a numerické modelování v mechanice tekutin a termodynamice**. Číslo projektu: CZ.1.07/2.3.00/20.0139.

2 Informace o hostující instituci

Hostující instituce „Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego Polskiej Akademii Nauk“ (dále jen IMP PAN) byla založena v roce 1956. Jejím posláním bylo a je provádět základní výzkum v oblasti provozu, navrhování a konstrukce strojů sloužících pro přeměnu energie. V současné době se IMP PAN věnuje širokému spektru oborů spjatých s energetickým průmyslem: mechanikou tekutin, vícefázovým prouděním, termodynamikou a přenosem tepla, fyzikou plazmatu, laserovými technologiemi, strojírenstvím a diagnostikou energetických strojů. Kromě základního výzkumu institut nabízí také výpočty a vývoj praktických inženýrských aplikací, jakými jsou: turbíny, čerpadla a měniče točivého momentu, ventilátory, vrtule, solární kolektory.

3 Popis vlastní činnosti na půdě IMP PAN

Náplní stáže byla implementace a testování $k-k_L-\omega$ modelu turbulence pro proudění stlačitelné tekutiny a případně také další vývoj tohoto modelu. V první fázi pobytu (cca 2 týdny) byly kromě seznámení s hostující institucí studovány dostupné prameny o teorii přechodu mezi laminární a turbulentní mezní vrstvou a $k-k_L-\omega$ modelu turbulence, zejména:

1. Furst, J.: Numerical simulation of transitional flows with laminar kinetic energy. Engineering Mechanics 18th International Conference, Svratka, Czech Republic: (2012) pp. 309-315.
2. Walters, D. K. & Leylek, J. H.: A new model for boundary layer transition using a single-point RANS approach. Journal of Turbomachinery 126: (2004) pp. 193-202.
3. Walters, D. K. and Leylek, J. H.: Computational fluid dynamics study of wake-induced transition on a compressor-like flat plate. Journal of Turbomachinery 127: (2005), 52–63.
4. Coupland, J.: Flat plate transitional boundary layers, ERCOFTAC classic database, (2009).
5. Canepa E., Cattanei A., Pittaluga F., Ubaldi M., Zunino P.: Transitional boundary layer on the suction side of a turbine blade at different Reynolds numbers. In: 5th European conference on turbomachinery, Prague, Czech Republic: (2003), pp 911– 923.
6. Cutrone L., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M.: An evaluation of bypass transition models for turbomachinery flows, Int. Jour. Heat and Fluid Flow, 28, 161-177, 2007.
7. Cutrone L., De Palma P., Pascazio G., Napolitano M.: Predicting transition in two- and three-dimensional separated flows, Int. Jour. Heat and Fluid Flow, 29, 504-526, 2008.
8. Ubaldi M., Zunino P., Campora U., Ghiglione A.: Detailed velocity and turbulence measurements of profile boundary layer in a large scale turbine cascade. ASME Paper (1996), 96-GT-42.
9. Ubaldi M., Zunino P.: An experimental study of the unsteady characteristics of the turbulent wake of a turbine blade, In: Engineering Turbulence Modelling and Experiments – 4 (Eds. Rodi W., Laurence D.), Elsevier, 741-750, 1999.
10. Schlichting, Hermann, Gersten, Klaus: Boundary-Layer Theory, 8th edition (2000), ISBN 978-3-540-66270-9.
11. Ferziger, J. H. and M. Perić (1999). Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer.
12. Narasimha R. (1985): The laminar-turbulent transition zone in the boundary layer, Progress in Aerospace Science, pp. 29-80.

13. van Driest E.R., Blumer C.B. (1963): Boundary layer transition: Freestream turbulence and pressure gradient effects, AIAA Jour., 1, 6, 1303-1306.
14. Falkner V.M., Skan S.W.: Some approximate solutions of the boundary layer equations, Phil. Mag., 12, 865-896, 1930.
15. Fasihfar A., Johnson M.V.: An improved boundary layer transition correlation, ASME Paper No.92-GT-245, 1992.
16. Menter F.R.: Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, AIAA Jour., 32, 1598-1605, 1994.

V druhé fázi pobytu (cca 1 týden) byl $k - k_L - \omega$ model turbulence pro proudění stlačitelné tekutiny naprogramován do C++ prostředí programového balíku OpenFOAM 2.3.0.

Ve třetí fázi pobytu (cca 2 týdny) byl nový kód testován na dostupných úlohách schopných otestovat schopnost modelu vypočítat pozici přechodu mezi laminárním a turbulentním prouděním. Konkrétně to byly:

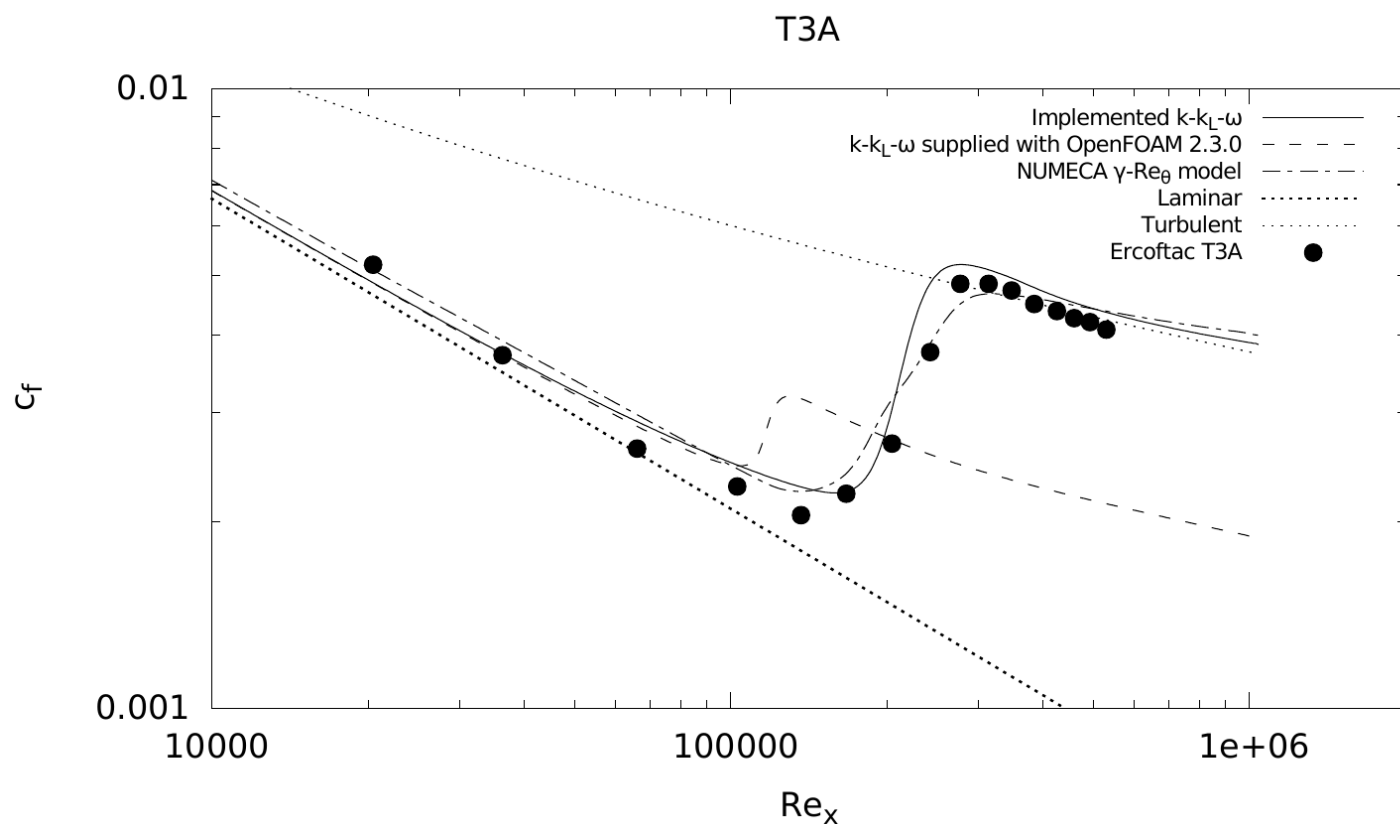
1. Paralelní proudění okolo desky v nastavení parametrů ERCOFTAC T3A.
2. Paralelní proudění okolo desky v nastavení parametrů ERCOFTAC T3A-.
3. Turbinová mříž VKI z databáze Ercoftac v režimu $Re_{2c} = 590000$ a $Re_{2c} = 1600000$.

Tato fáze přinesla zkušenosti s chováním, nastavením okrajových podmínek a nastavením modelových konstant. Bylo zjištěno, že buďto vliv tlakového gradientu a nebo příliš vysoká rychlost proudění jsou příčinou zneprůhlednění schopnosti zachycení přechodu. Ve třetí fázi, pobytu (2 týdny) proto byla provedena série pokusů o vyvinutí vhodné metodiky k zavedení vlivu tlakového gradientu do $k - k_L - \omega$ modelu. Žádný z těchto pokusů nebyl úspěšný také díky nedostatku experimentálního výzkumu mezní vrstvy s vlivem tlakového gradientu vnějšího proudu. Přesto přinesla třetí fáze náhled budoucího směru zaměření se na strukturu členů spojených se zkráceným přechodem (namísto přirozeného) a využití porovnání s výsledky komerčního software namísto chybějících experimentálních ověření testovacích případů.

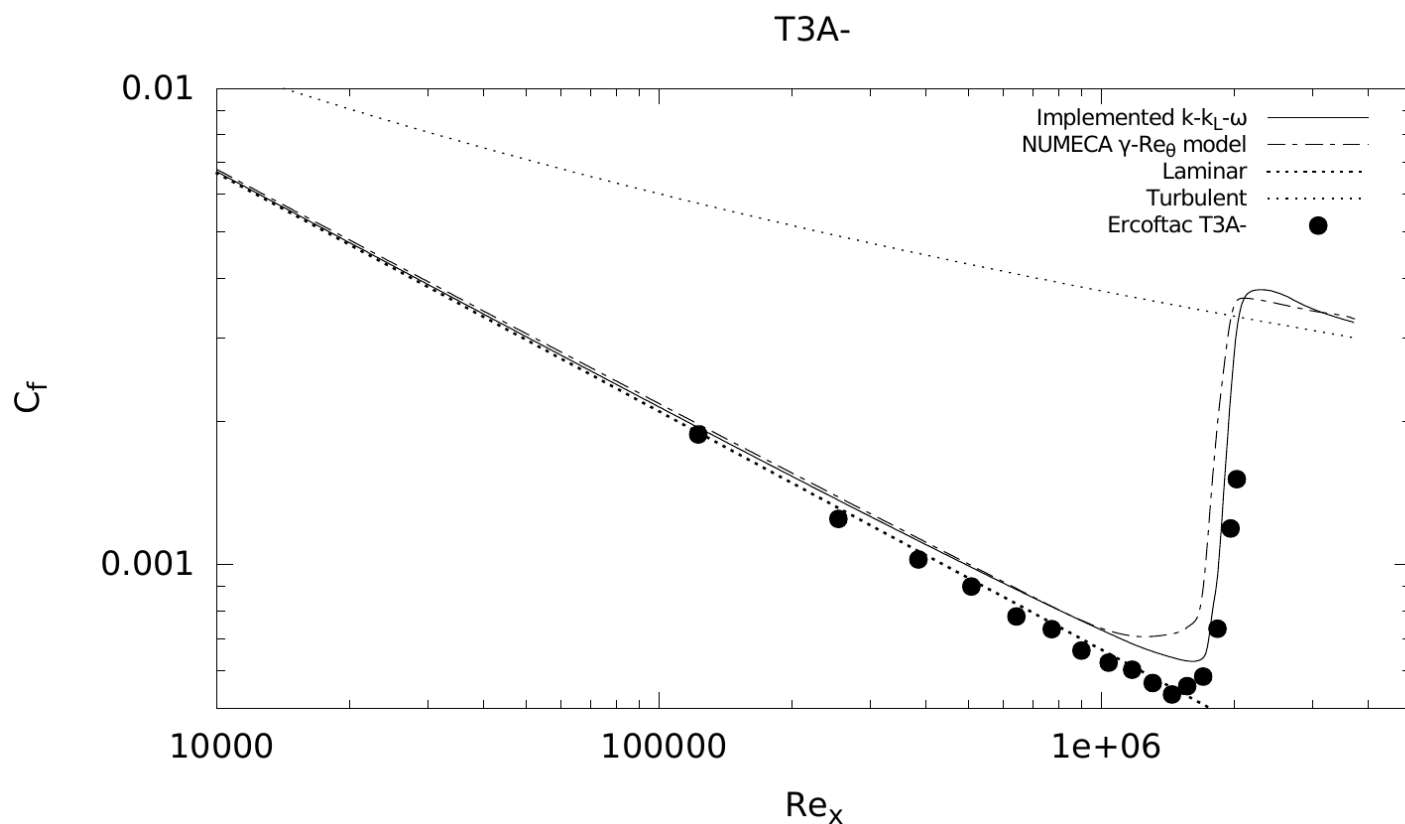
4 Popis potřebných administrativních kroků na začátku stáže

1. Bezproblémový nákup jízdenek MHD Gdaňsk v automatech na hlavních zastávkách tramvajové sítě. V automatech je možné platit kartou. Automaty se nacházejí např. na zastávce Brama Wyzynna, Gdansk Glowny, Galeria Balticka.
2. Pro častější využívání MHD je potřeba zřídit "Gdansk City Card", na 30 dní přednabitou elektronickou jízdenku. Karta se dá koupit na některé z poboček tamního dopravního podniku. Pobočky je možné dohledat na <http://www.ztm.gda.pl>
3. Jízdenky vlakového spojení je možné zakoupit na hlavním vlakovém nádraží (tram. zastávka Gdansk Glowny) v centru města.
4. Při delším pobytu (měsíc a více) mimo turistickou sezónu doporučuji zvážit pobyt v jiném zařízení než v domě pro hosty (ul. Swietojanska v centru města) hostující instituce. Za cenu tamního ubytování s relativně nekomfortním zařízením lze sehnat bydlení v některém turistickém zařízení i s možností vlastní kuchyně.

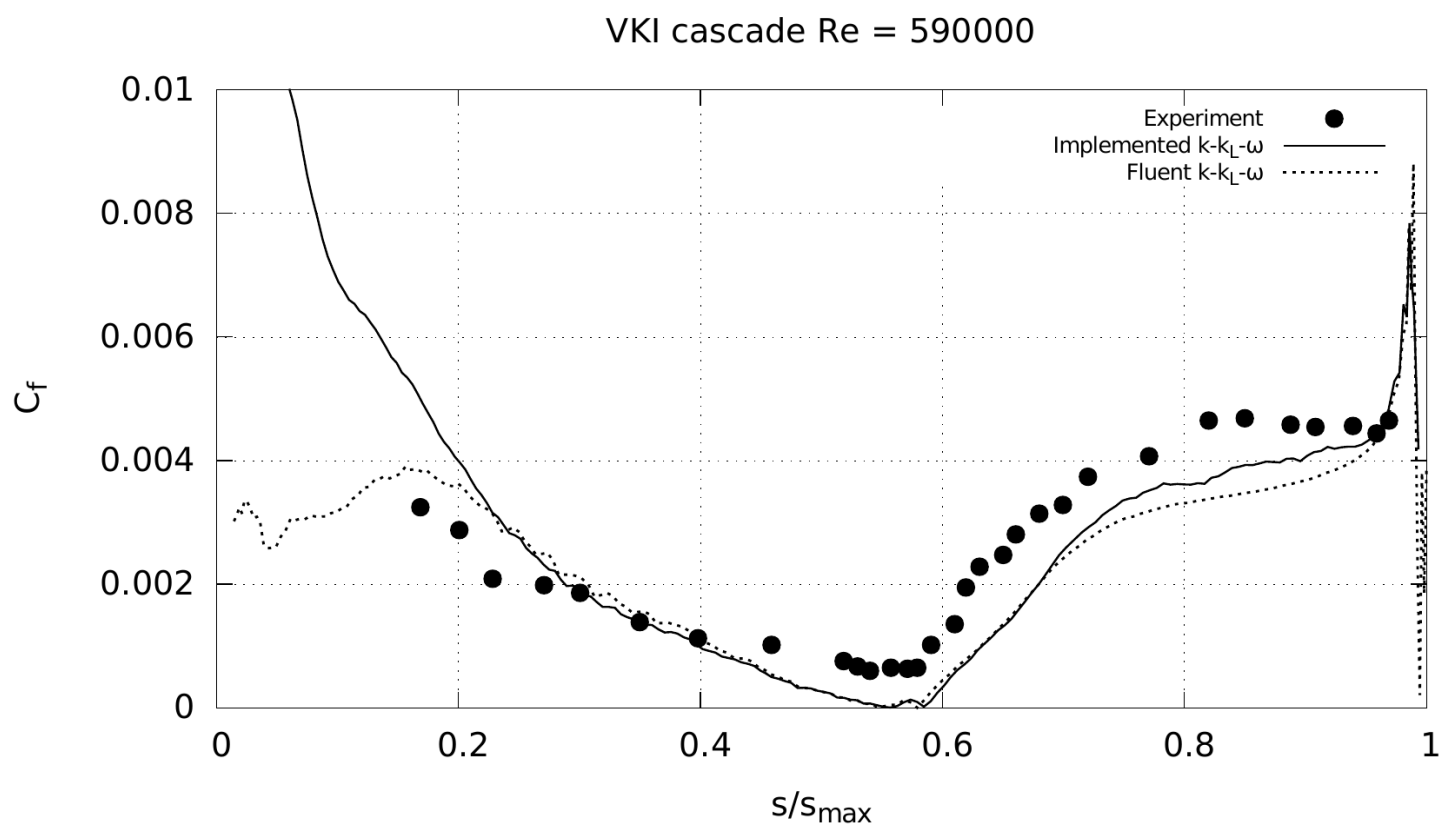
5 Souhrn výsledků v nezpracované podobě



Obrázek 1: Rozložení třecího součinitele C_f z testování implementovaného OpenFOAM $k-k_L-\omega$ modelu turbulence pro proudění stlačitelné tekutiny. Proudění nad deskou T3A (okrajové podmínky formulovány pro stlačitelnou tekutinu). Na obrázcích je patrný přechod z laminární do turbulentní mezní vrstvy v porovnání s výsledky získanými implementovaným modelem a komerčním kódem NUMECA používaným v hostující instituci.



Obrázek 2: Rozložení třecího součinitele C_f z testování implementovaného OpenFOAM $k-k_L-\omega$ modelu turbulence pro proudění stlačitelné tekutiny. Proudění nad deskou T3A- (vyšší rychlost oproti T3A, okrajové podmínky formulovány pro stlačitelnou tekutinu). Na obrázcích je patrný přechod z laminární do turbulentní mezní vrstvy v porovnání s výsledky získanými implementovaným modelem a komerčním kódem NUMECA používaným v hostující instituci.



Obrázek 3: Rozložení třecího součinitele C_f z testování implementovaného OpenFOAM $k-k_L-\omega$ modelu turbulence pro proudění stlačitelné tekutiny. Proudění v turbínové mřížce VKI. Porovnání s experimentem a dalším velmi často používaným komerčním CFD programem Fluent.