

Modelování proudění nevazké tekutiny v oblastech s pohyblivou hranicí

Jitka Klečková¹

1 Úvod

Při navrhování mnoha průmyslových aplikací je potřeba brát v úvahu vzájemnou interakci proudící tekutiny a obtékaného tělesa, která může způsobit nestabilní chování tělesa a vést až k jeho poškození. Příkladem jsou vibrace turbínových lopatek, rozkmitání křídla letadla či nestabilní chování konstrukcí visutých mostů. Tyto problémy spadají do oblasti aeroelasticity a jejich počítačové modelování je složitou úlohou sestávající z modelování obtékání pevné struktury, výpočtu sil působících na těleso a výpočtu deformace tělesa vlivem těchto sil. Cílem této práce bylo vytvoření výpočetního kódu pro numerické modelování proudění nevazké stlačitelné tekutiny v oblasti s pohybující se hranicí, jejíž pohyb je zadán časově závislou funkcí.

2 Popis numerické metody

Proudění nevazké tekutiny je popsáno systémem nelineárních Eulerových rovnic. Pro modelování proudění v deformující se oblasti je vhodné použít ALE popis kontinua, který kombinuje Eulerův a Lagrangeův přístup. ALE formulaci systému Eulerových rovnic uvádí ve své práci například Feistauer et al. (2010). Pro řešení proudění nevazké tekutiny byla použita metoda prvního řádu v čase i v prostoru. Prostorová diskretizace výpočtové oblasti byla provedena metodou konečných objemů přizpůsobenou pro nestrukturovanou výpočetní síť s trojúhelníkovými elementy. Nevazké toky hranicí výpočetní oblasti byly aproximovány pomocí Rusanovova numerického toku.

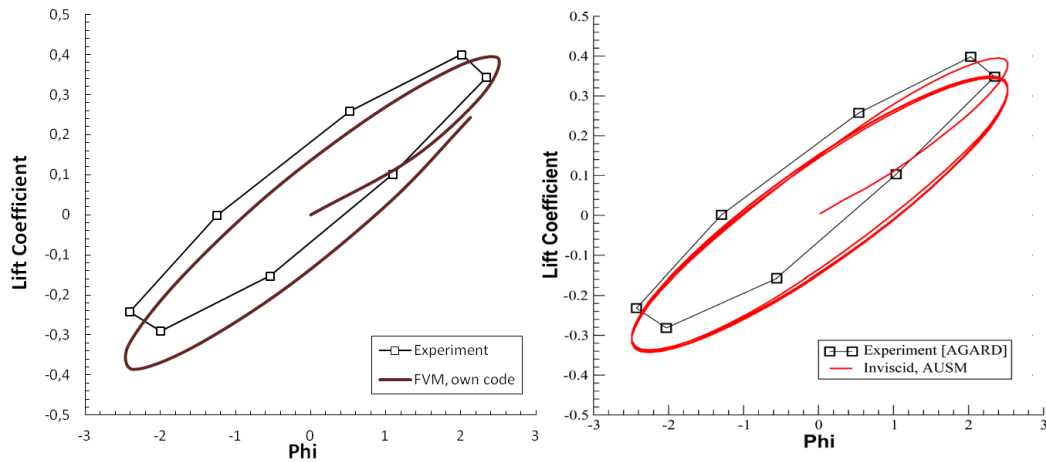
Pro výpočet souřadnic uzlů deformující se sítě byl použit algoritmus vhodný pro případy modelování obtékání kmitajícího tělesa, uvedený například v pracích Persson et al. (2009) a Bublík et al. (2015). Tento přístup je založen na interpolaci souřadnic uzlů pomocí polynomiální funkce (tzv. blending function).

3 Validace výpočetního kódu

Výpočetní kód byl ověřen pomocí dat uvedených ve zprávě Landon (1982) naměřených při experimentu v aerodynamickém tunelu. Jedná se o obtékání leteckého profilu NACA 0012 rotujícího kolem bodu umístěného v jedné čtvrtině tětiny profilu. Natočení profilu bylo zadáno pomocí časově závislé funkce $\varphi(t) = \varphi_0 + \varphi_1 \sin(\omega t)$ s maximální amplitudou $\varphi_1 = 2,51^\circ$ a s frekvencí $f = 2\pi/\omega = 62,5$ Hz. Vstupní okrajové podmínky byly dány nulovým úhlem náběhu tekutiny a Machovým číslem o hodnotě 0,755. Jako srovnávací parametr byla zvolena závislost vztlakového koeficientu c_L na úhlu natočení profilu, graf této funkce je vykreslen na obrázku 1. Vztlakový koeficient v případě experimentálně naměřených dat vychází mírně vyšší, než v případě numerické simulace. To bude dáno zřejmě chybou měření, či jeho vyhodnocení, uvažujeme-li symetrii profilu a jeho pohybu i graf funkce $c_L(\varphi)$ by měl

¹ studentka doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Mechanika, specializace Aplikovaná mechanika, e-mail: jkleckov@kme.zcu.cz

být symetrický vůči bodu $[0, 0]$. To lze posoudit i z grafu na obrázku 1 vpravo, který je dostupný v práci Furmánek et. al. (2010), kde autoři dospěli ke stejnému závěru.



Obrázek 1: Srovnání numerických výsledků s experimentálně naměřenými daty. Vlevo: výsledky získané pomocí vlastního kódu. Vpravo: výsledky autorů Furmánek et al. (2010)

4 Závěr

Z uvedených srovnání plyne poměrně dobrá shoda numerických výsledků získaných pomocí prezentovaného výpočetního kódu s daty získanými měřeními v aerodynamickém tunelu a s numerickými výsledky dalších autorů. Nepřesnosti ve výsledcích mohou být způsobeny tím, že použité schéma je prvního řádu přesnosti v čase i v prostoru a vykazuje disipativní chybu, což se projevuje rozmazáním rázové vlny vznikající v blízkosti profilu. Proto je vhodné dále pracovat na zvýšení řádu přesnosti použitého schématu.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantovým projektem SGS-2013-036.

Literatura

- Bublík, O., Vimmr, J., Jonášová, A., 2015. Comparison of discontinuous Galerkin time integration schemes for the solution of flow problems with deformable domains. *Applied Mathematics and Computation*, (přijato k publikování).
- Feistauer, M., Kučera, V., Prokopová, J., 2010. Discontinuous Galerkin solution of compressible flow in time-dependent domains. *Mathematics and Computers in simulation*, Vol. 80. pp 1612-1623.
- Furmánek, P., Fürst, J., Kozel, K., 2010. ALE method for unsteady flow computations. *V. European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD*.
- Landon, R., H., 1982. NACA 0012. Oscillatory and transient pitching. *Compendium of unsteady aerodynamics measurements*, AGARD Report 702.
- Persson, P., O., Bonet, J., Peraire, J., 2009. Discontinuous Galerkin solution of the Navier – Stokes equations on deformable domains. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 198. pp 1585-1595.