

CFD simulace proudění v lidských hlasivkách

Ing. Martin Lasota, doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

Abstrakt

Tento příspěvek si dává za cíl seznámit účastníky konference s CFD simulacemi (Computational-Fluid-Dynamics), díky kterým lze podchytit i ty fyzikální fenomény, jež jsou jen velmi těžce viditelné a změřitelné, jedná se např. o komplikované proudění při naprosto přirozeném projevu člověka – lidské řeči.

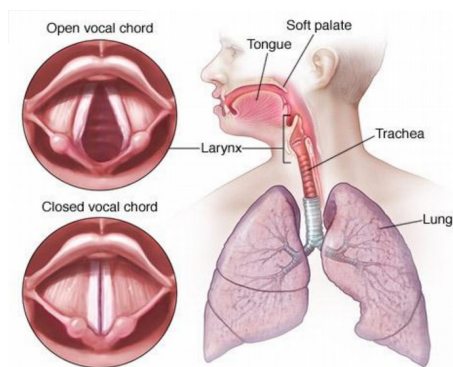
Téma se dělí na tyto body:

- 1) Základní fyzikální princip tvorby lidského hlasu
- 2) Numerické řešení samotného proudění mezihlasivkovým kanálem
- 3) Možnosti pomoci při ztrátě hlasu způsobené např. rakovinou hrtanu *(poster)

Úvod

Cílem doktorské práce je vytvořit numerický model proudění hlasivkami (Obr. 1), který bude obsahovat klíčové mechanismy vzniku fonace a bude dostatečně věrně kopírovat fyziologické parametry kmitání skutečných hlasivek (tvar, amplituda, frekvence) a reálným podmínkám při vyrovnávání tlaku vzduchu mezi plicemi a vokálním traktem (výdechu). Jinými slovy se jedná o zdokonalení modelů, které se již ve světové vědě vyskytují, viz např. [1] a [3]

Jednou z cest je použití metody LES (Large-Eddy-Simulation), která je dobrým kompromisem mezi přesností simulace a výpočetními nároky. Oproti metodě RANS (Reynolds-Averaged-Navier-Stokes) popisuje proudění nikoliv jako v čase průměrná pole, ale vystupují zde veličiny nestacionární (okamžité). Tento fakt způsobí, že napočítání jedné sekundy v simulaci trvá týdny či měsíce pozemského času, nicméně řešení se blíží DNS (Direct-Numerical-Simulation) metodě, která je kvalitativně rovnocenná experimentu. Při použití metody LES je nutné čelit úskalím, a to zejména nárokům na výpočetní doménu, rozřešení přístěnné oblasti a turbulence samotné. Náročnost této metody roste s třetí mocninou Reynoldsova čísla a většina výpočetního výkonu se spotřebuje na rozřešení malých disipativních vírů, i když nedochází k přímé reprezentaci těchto malých vírů (modelují se). Hlavní energie a anizotropie turbulence je obsažena především ve vírech velkých. [6]

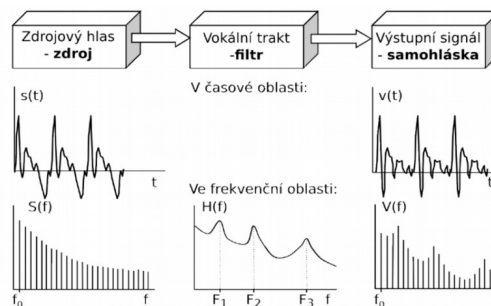


Obr. 1 - Hlasové ústrojí [2]

1) Vznik fonace

Teorii zdroj-filtr, osvětluje Obr. 2, kde hlasivky (zdroj) jsou budičím efektem vokálního traktu, konkrétně změny tlaku vzduchu. Vokální trakt (dásně, zuby, dutina ústní atd.) jsou zde vnímány jako akustický filtr a zesilují jen některé frekvenční složky. [4]

Druhá teorie je myo-elasticko aerodynamická, kde je základním parametrem objemová rychlost vzduchových pulzů. Tyto pulzy vznikají přerušováním



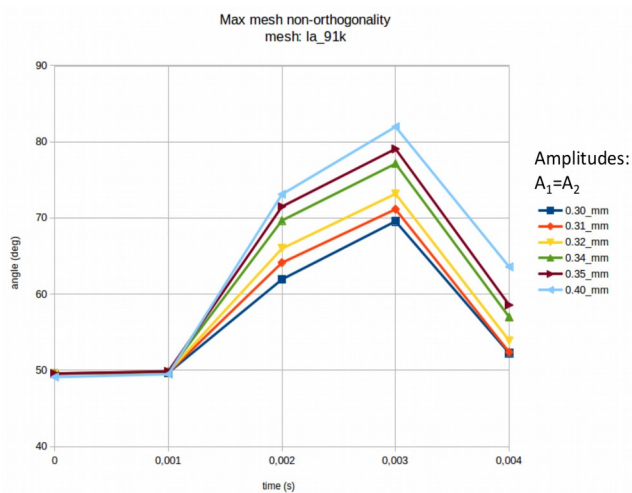
Obr. 2 - Teorie zdroj-filtr [5]

Rozšířený abstrakt

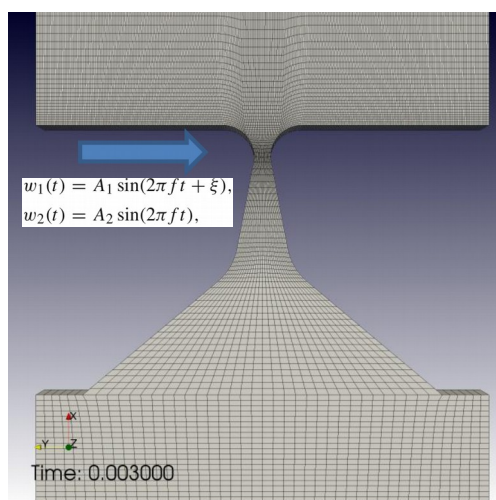
proudu vzduchu u průdušnice vibrujícími hlasivkami. Pohyb hlasivek, zejména při uzavírání, je způsoben podtlakem proudícího média při průchodu mezihlasivkovou mezerou. [4]

2) Numerická simulace

Byla vytvořena výpočetní doména, na Obr. 3. Jedná se o strukturovanou dynamickou síť, jejíž pohyb je programován ve směru inferior-superior jako sinusoidální a ve směru medial-lateral odpovídá pohyb rovnicím na Obr. 3 pod šipkou. Amplitudy kmitání pravé a současně levé hlasivky jsou na Obr. 4, kde si všimněme, že v čase 3 ms jsou hlasivky nejblíže u sebe (odpovídá tomuto času i Obr. 3) a dochází k největší deformaci této sítě (tomu odpovídá ten vysoký úhel maximální neorthogonalnosti sítě). Nutno podotknout, že při těchto úhlech je potřeba kontrolovat stabilitu numerického řešení.



Obr. 4 – Amplitudy kmitání hlasivek



Obr. 3 – Hlasivkový kanál

Závěr

Bylo vygenerováno několik výpočetních sítí v blockMesh, což je nástroj pro tvorbu strukturovaných sítí ve výpočetním open-source balíku OpenFOAM. Byla provedena kvalitativní komparace parametrů sítí v limitních případech stlačení hlasivek a zvolená doména (na Obr. 3) bude dále testována a upravena pro použití LES. Pro simulace LES bude rovněž aplikován tento balík OF s otestováním subgridních modelů, který OpenFOAM standardně nabízí.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl využít příležitosti a poděkovat lidem, bez kterých si své studium neumím představit. Děkuji!

- 1) Vedoucímu ústavu NTI: Ing. Josefu Novákovi, Ph.D.
- 2) Vedoucímu své dizertační práce: doc. Ing. Petru Šidlovi, Ph.D.
- 3) Poradcům pro věci matematické: Mgr. Janu Stebelovi, Ph.D.
- 3) Kolegům z kanceláře: Ing. Janu Hybšovi, Ing. Radku Srbovi

Reference

- [1] ALIPOUR, F., FAN, CH., SCHERER, R. C. A numerical simulation of laryngeal flow in a forced-oscillation glottal model. *Computer Speech and Language*, 1996, Vol. 10 pp. 75-93
- [2] Atos Medical AB, *Život po totální laryngektomii*. LaryCare Patient Information, Hörby, Sweden
- [3] HORÁČEK, J., ŠVEC, J. G., ŠIDLOF, P. Numerical simulation of videokymographic images of self-oscillating vocal folds. *Proceedings of 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop*, 2009, Madrid, Spain, pp. 13-16
- [4] MATUG, M. *Náhradní hlasivky pro generování zdrojového hlasu: Počítačové modelování funkce hlasivek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 147 s.
- [5] VAŠEK, M. *Náhradní hlasivky pro generování zdrojového hlasu*. Dizertační práce, VUT FSI, Brno, 2013
- [6] VOLAVÝ J. *Řešení turbulentního dvoufázového proudění metodou Large Eddy Simulation*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 98 s.