



THE INTERACTION SOLUTION BETWEEN AIR FLOW AND VOCAL CORDS BY MEANS OF FINITE ELEMENT METHOD

Petr HOSTIČKA*

Summary: *The contribution aims at simulation of the vocal cords movement. There is a plane finite element model created in Ansys program package. The simulation investigates the influence of the airflow from the lungs on the deformation of the vocal cords. The analysis finds out pressures, streams and velocity in the airflow space.*

1. Úvod

Jedním z nejvýraznějších znaků lidského projevu je řeč, která je dána schopností člověka vyjadřovat se artikulovanými zvuky. Tato schopnost je jedním z důkazů vyšší nervové činnosti člověka a výrazným prostředkem lidské osobnosti. Řeč je významným komunikačním nástrojem lidí se svým okolím. Z těchto důvodů se stal vznik, úprava a šíření hlasu cílem vědeckého bádání.

Je zřejmé, že studiu hlasu se věnovaly vždy různé profese. Dnes je snad tento trend ještě výraznější – studiu fyziologie hlasu, jeho tvorby, jeho akustickým vlastnostem se věnují lékaři, hlasoví pedagogové, a konečně v neposlední řadě technici.

2. MODELOVÁNÍ HLASIVEK A OKOLNÍ TEKUTINY

Geometrie modelu hlasivek vychází z [4.]. V tomto modelu byl brán homogenní materiál pro tělo hlasivek a to tak, že mu byl přiřazen Youngův modul odpovídající střední hodnotě z hodnot Yangova modulu pro nehomogenní materiál, který se skládá z jednotlivých vrstev. V tomto případě byla jeho hodnota brána $E = 8e3[\text{Pa}]$ a Poissonova konstanta $\mu=0,3$.

Hlasivky jsou obklopeny vazkou nestlačitelnou tekutinou a vyplňující prostor mezi nimi. Tato tekutina je zadána parametry udanými v tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry tekutiny

Kinematická viskozita $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	0.00015
Hustota tekutiny $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	1.02

3. INTERAKCE TEKUTINY S HLASIVKAMI

Ustálené proudění tekutiny v interakci s strukturním celkem zastupujícím hlasivky pomocí metody konečných prvků se tento problém řeší, jako nelineární strukturální celek

* Ing. Petr HOSTIČKA, VUT FSI BRNO, Ústav mechaniky těles, Technická 2,
e-mail: HOSTICKA@centrum.cz

propojený s fluidní oblastí pomocí „neexistujících“ elementů nastavených jako fyzikální propojení prostředí. Spodní hrana hlasivek je zatížena prouděním tekutiny, jenž má počáteční rychlost $v = 1 \text{ m.s}^{-1}$. Cíl problému je determinovat tlaky v tekutině a posunutí hlasivky díky ustálenému proudění tekutiny.

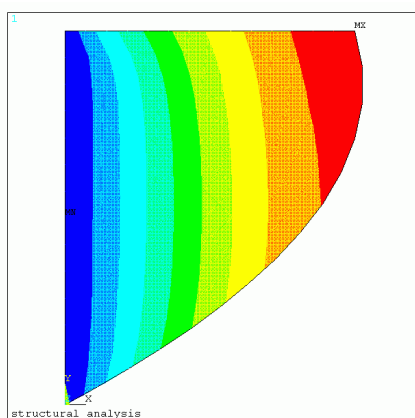
4. CHARAKTERISTIKA VÝPOČETNÍHO SYSTÉMU

Pro řešení bylo použito výpočetního systému ANSYS. ANSYS je produktem americké firmy ANSYS Inc., jehož aplikačními oblastmi jsou: základní výzkum v oblasti mechaniky kontinua, aplikační výzkum v různých vědních oborech, počítačová podpora v oblasti návrhu technických objektů a inženýrských analýz, pedagogický proces. Jeho modelář nabízí: automatické generování sítě, adaptivní zjemňování sítě, generace mapované i volné sítě, řízené zjemňování sítě v rovině a prostoru, spojitý automatický přechod sítě ze šestihranů na čtyřstěn.

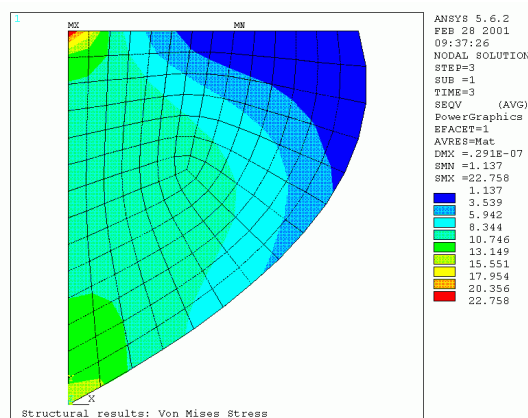
Programový systém je k dispozici na Ústavu mechaniky těles a bylo možno se s ním seznámit v průběhu studia na tomto ústavu.

5. VÝSLEDKY

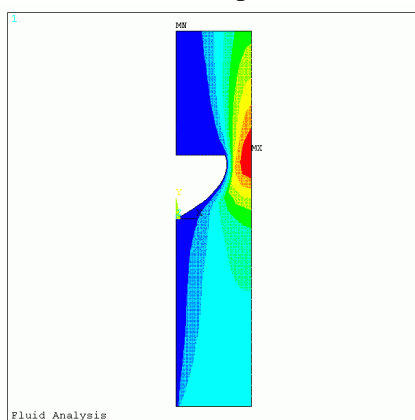
Výsledky obdržené po dokončení iteračních postupů řešících odděleně stacionární proudění s proměnnou geometrií díky svázané deformační strukturální úloze jsou znázorněny v obrázcích číslo 1 až 4.



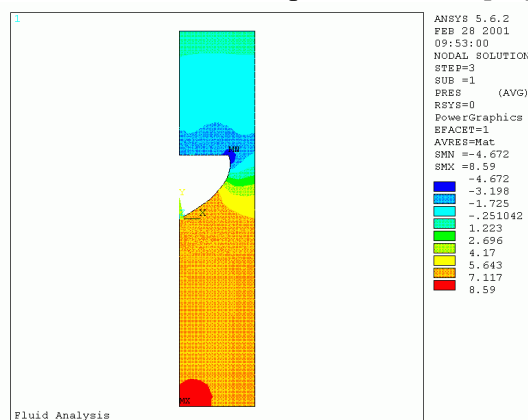
Obr.1: Maximální posuv hlasivky [m]



Obr.2: Redukované napětí v hlasivce [Pa]



Obr. 3: Průběh maximálních rychlostí [m.s^{-1}]



Obr. 4: Průběh tlaků v tekutině [Pa]

6. ANALÝZA VÝSLEDKŮ

Z výsledků strukturální části reprezentované vlastní hlasivkou je patrné rozložení deformace a napětí. Na obrázku 1 je zachyceno rozložení maximálních posuvů vzniklých působením proudící tekutiny a s tím související napjatostní poměry znázorněné v obrázku 2 prostřednictvím rozložení redukovaného napětí.

Výsledky obdržené z flotran analýzy, neboli řešení stacionárního proudění jsou v obrázcích 3 a 4. Obrázek 3 vyobrazuje průběh maximálních rychlostí, tedy amplitudy rychlostí proudění. Největších hodnot rychlostí je dosahováno v oblasti zúžení mezi hlasivkami, v těchto místech má tlak nejmenší hodnoty a to dokonce záporné, takže zde dochází k podtlaku, což dokazuje obrázek 4.

7. ZÁVĚR

V tomto příspěvku je hodnocena interakce mezi proudící tekutinou a hlasivkou. Jak je patrné z prezentovaných výsledků, deformace vzniklé proudící kapalinou jsou velmi malé řádově 10^{-8} [m]. To může být způsobeno buď nízkou hodnotou vstupní rychlosti nebo příliš velkou mezerou mezi hlasivkami a tím relativně malým tlakem, jenž vzniká v prostoru pod hlasivkami. V dalších výpočtech a simulacích se proto soustředím na vliv velikosti mezery na deformace hlasivky a změnu poměrů v tekutině při jejím proudění touto mezerou.

Příspěvek má úzkou návaznost na Výpočtové modelování pohybu hlasivek pomocí MKP z konference AM2001 a vznikl v rámci řešení grantových projektů GA ČR č. 106/98/K019 a názvu Matematicko – fyzikální modelování vibroakustických systémů v biomechanice hlasu a sluchu se zaměřením na vývoj náhradních materiálů a protéz a dále grantového projektu GA ČR č.101/96/038

8. POUŽITÁ LITERATURA

1. Manuál ANSYS, verze 5.6
2. Janíček, P.: Řešení problémů modelováním, skriptum VUT Brno, 1999
3. Damašek A.: Kmitání hlasivek vlivem proudící tekutiny, IaZV Praha, 2000
4. Horáček J., Švec J.: Numerical analysis of aeroelastic behaviour of vocal folds, IaZV Praha, 2000
5. Hostička P.: Simulace rovinného konečnoprvkového modelu hlasivek, IaZV PRAHA, 2000
6. Hostička P.: Výpočtové modelování pohybu hlasivek pomocí MKP, AM2001 Nečtiny, 2001