



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**MODELOVÁNÍ SMĚROVOSTI A VYZAŘOVÁNÍ AKUSTICKÉHO VÝKONU
LIDSKOU LEBKOU PŘI FONACI**

Karel Přikryl*

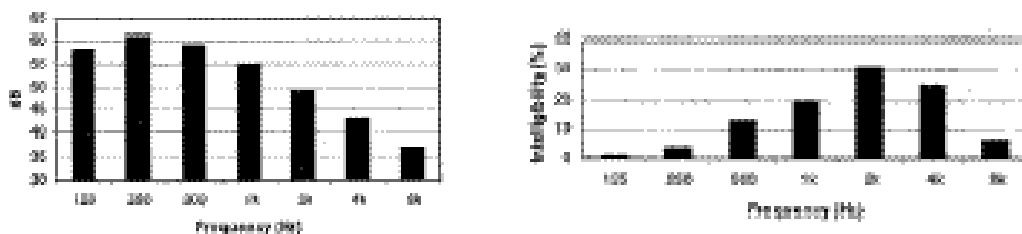
Abstrakt: Pomocí metody konečných a hraničních prvků a výpočtového modelování je zkoumána směrovost a akustický výkon lidské lebky při fonaci. Buzení se předpokládá v dutině ústní na horním tvrdém patře a v dutině nosní. Zkoumá se vliv přínosu hlavových vibrací při nasalisaci.

Klíčová slova: směrovost, lidská lebka, vibrace

Úvod

Lidský vokální trakt je akustická trubice s měnící se průřezovou plochou. Vstupní energie od vibrujících hlasivek řízená podhlasivkovým tlakem vzduchu z plic působí šíření akustických vln uvnitř této trubice. Odrazy v důsledku změn průřezu a okrajové podmínky vedou k (charakteristickým) akustickým resonancím kavit. Je potřeba si uvědomit, že pouze část energie, která dosáhne ústa, je vyzářena do okolí. Zbytek je odražen zpět do vokálního traktu. Modelování vyzářovacích charakteristik je jeden z problémů artikulační syntézy. Tento příspěvek se zabývá vyzářováním vlnění lidskou lebkou při fonaci.

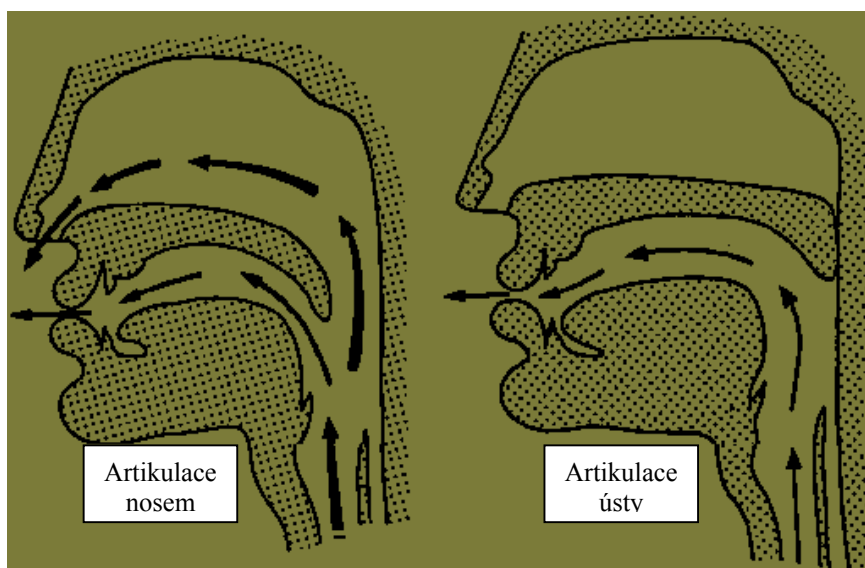
Řeč pokrývá frekvenční rozsah přibližně od 100 Hz do 8 kHz. Jsou zde však i vyšší harmonické až do 12 kHz, působící na celkovou kvalitu hlasu (zvuku). Na obr. 1 je znázorněno spektrum řeči a relativní rozložení frekvencí v oktávových pásmech. Maximální výkon je v pásmech 250 a 500 Hz pásmech. Výkon na ostatních pásmech docela rapidně klesá. Spodní frekvence náleží samohláskám a vyšší frekvence souhláskám. Přínosy ke srozumitelnosti řeči však nenásledují předešlé rozložení. Z obr. 1 je jasné vidět, že vyšší frekvence ke srozumitelnosti přispívají nejvíce.



Obr. 1 Relativní rozložení frekvencí ve spektru řeči a srozumitelnosti v oktávových pásmech

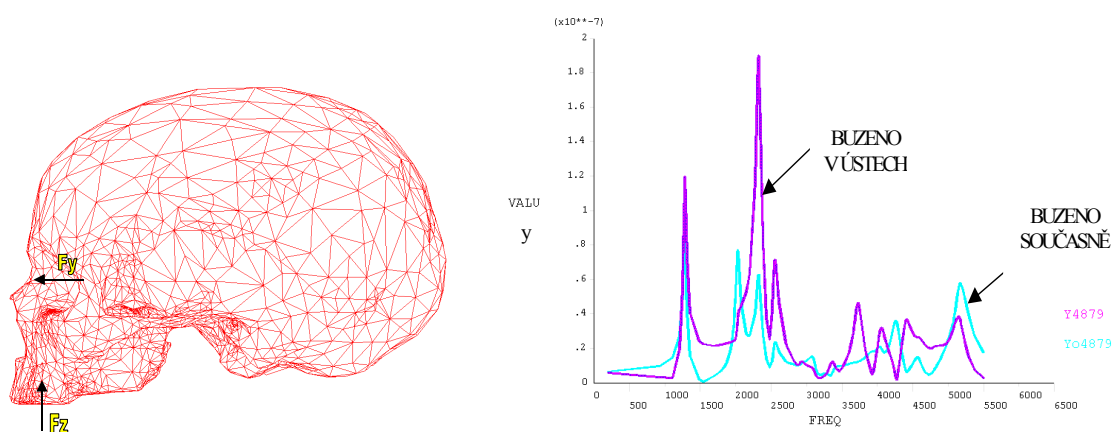
*Doc.Ing.Karel Přikryl,Csc., VUT Brno, FSI,ÚMT, Technická 2, 616 69 Brno, e-mail: prikryl@umtn.fme.vutbr.cz

Horní část hltanu pracuje jako křižovatka. Proud vzduchu může opustit hltan ve dvou cestách. Tyto cesty záleží na postavení zadní části měkkého patra. Sníží-li se tato část jak je naznačeno na obr. 2, část vzduchu začne procházet skrze nosní kavitu a část ústní dutinou. Je-li měkká část patra úplně zvednuta, je přístup do nosní dutiny uzavřen a vzduch může procházet pouze ústní dutinou. Zvuky způsobené první cestou jsou nosové, druhé jsou orální.



Obr. 2 Průchod vzduchu ústy a nosem, průchod vzduchu čistě ústiv

Dvojí cestou je také určeno buzení lebky. Protože výpočtový model nemá vymodelovanou dolní čelist, neexistuje zde ani dutina ústní, ani dutina nosní. Jsou zde však plochy, kterými je lebka ve styku s těmito dutinami. V těchto místech bylo provedeno její buzení při harmonické analýze.



Obr. 3 Výpočtový model a amplitudofrekvenční charakteristika odezev v místě nosní dutiny směrem k posluchači-horizontálně při buzení v ústech a současném buzení v ústech a ve stěně nosní dutiny.

Harmonická analýza

Model byl buzen ve směru vertikálním v místě horního tvrdého patra a byla sledována odezva ve směru horizontálním směrem k posluchači. Následovalo buzení současně bez fázových posuvů v místě horního patra svisle a horizontálně v místě nosních dutin, kterými se šíří budící tlak při nasalizaci řeči. Odezvový diagram v rozmezí 100-5500 Hz v horizontálním směru směrem k posluchači je na obr. 3. Spolupůsobení v obou dutinách se projeví až na frekvenci okolo 5000 Hz.

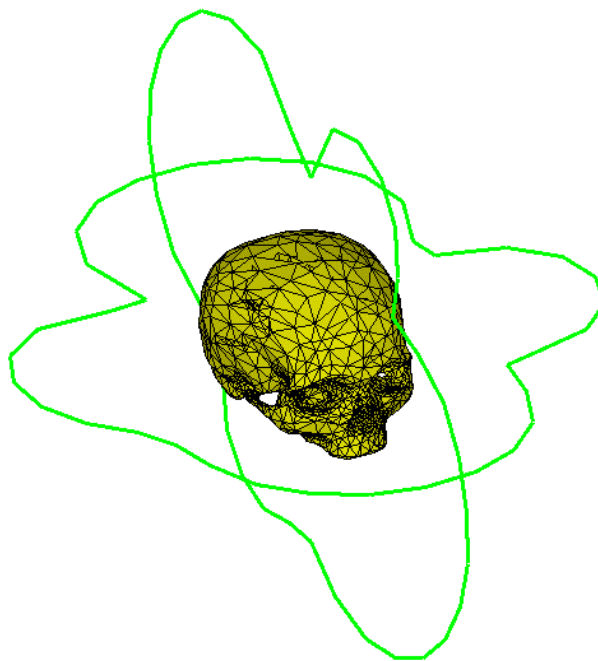
Tab. 1. Vlastní frekvence prázdné lebky

Tvar	f_i [Hz]	Tvar	f_i [Hz]	Tvar	f_i [Hz]	Tvar	f_i [Hz]
1	1278	5	2326	9	2914	13	3319
2	1793	6	2536	10	3101	14	3379
3	1966	7	2548	11	3131	15	3603
4	2027	8	2895	12	3281	16	3672

Dále z porovnání tabulky tab. 1 modální analýzy, frekvenční odezvy podle obr. 3 a frekvenčního rozložení formantů podle obr. 1 je vidět, že se nejedná o rezonanční jevy při vyslovování samohlásek. Amplitudofrekvenční spektrum je až do oblasti první vlastní frekvence 1278 Hz ploché. Žádná vlastní frekvence se neshoduje s nejnižšími formanty. Je však možné, že rozložení vynucených amplitud má vliv na srozumitelnost řeči, což je vidět z obrázku spekter obr. 1 v oktavových pásmech 1-4 kHz.

O nosnosti a směrovosti vyslovované řeči se lze orientovat podle vyzařovacích diagramů. Lebka je zdroj akustické energie v důsledku vibrací které vznikají proudem vzduchu v orální a nosní kavitě.

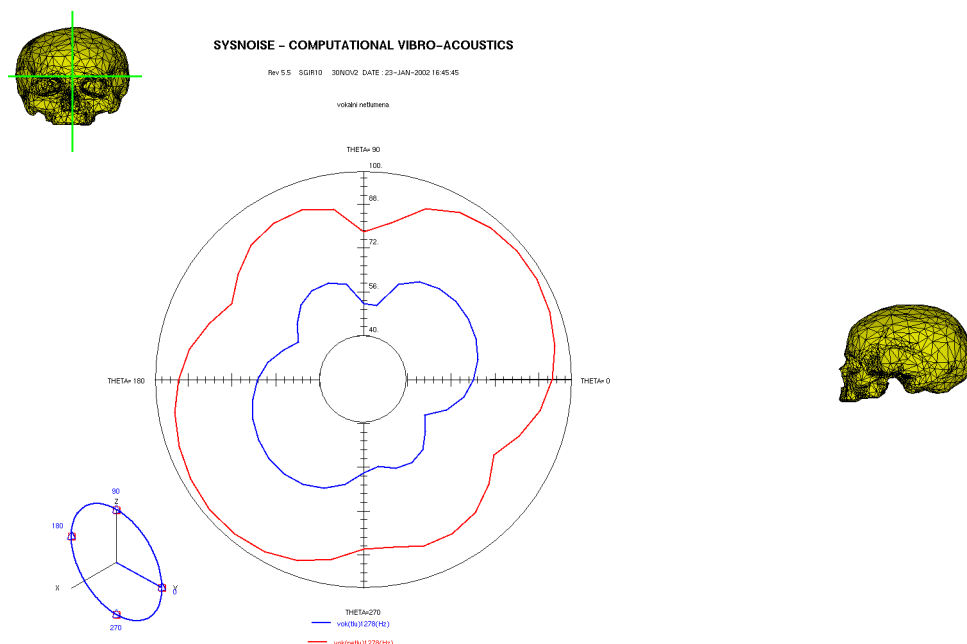
Určitou roli hraje tlumení lebeční kostí. Jak je tlumení významné se lze přesvědčit výpočtovým modelováním. Za tím účelem byly vypočítány deformace (výchyly) na lebce bez tlumení a s 1,5% tlumením na každý tvar kmitu. Řešení bylo provedeno pomocí modální superposice programovým souborem ANSYS silami o amplitudě 1 N, resp 0,5 N v případě současného buzení. Výsledky byly transformovány na



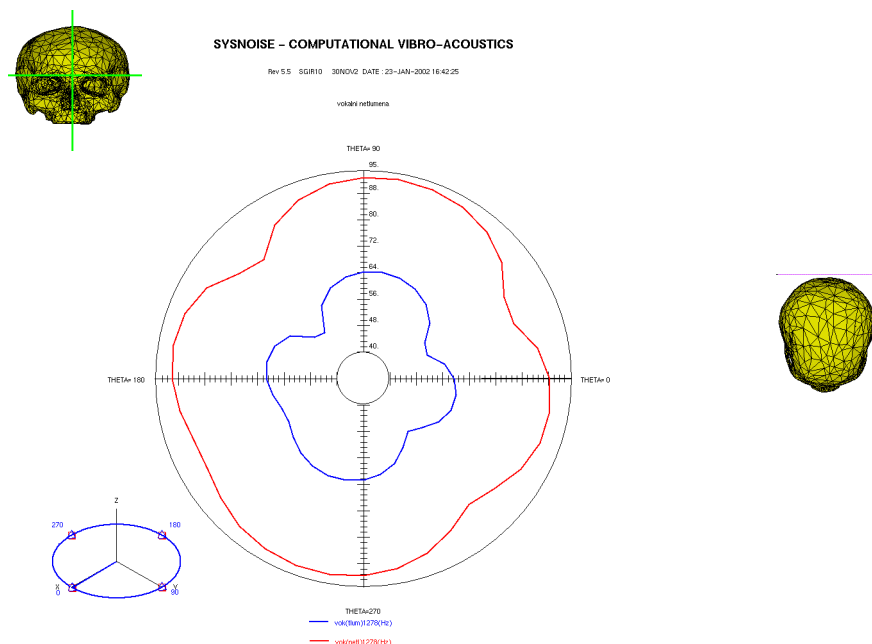
Obr. 4 Směry vyzařování

budící rychlosti v systému SYSNOISE a byla provedena analýza na

směrnost zdroje. Směrnost byla sledována ve dvou rovinách. V rovině vertikální a v rovině horizontální ve vzdálenosti 1m od středu lebky (zdroje) jak je vidět na předcházejícím obr. 4.



Obr. 5 Vyzařování vertikálně při buzení v ústech při první vlastní frekvence lebky 1278 Hz (první tvar kmitu). Lebka bez tlumení (červená křivka) a s 1,5% tlumením (modrá křivka).



Obr. 6 Vyzařování horizontálně při buzení v ústech při první vlastní frekvence lebky 1278 Hz (první tvar kmitu). Lebka bez tlumení (červená křivka) a s 1,5% tlumením (modrá křivka).

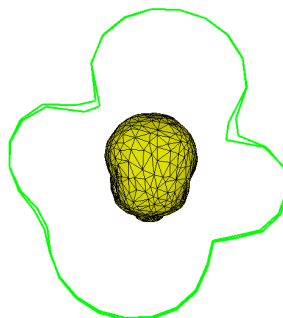
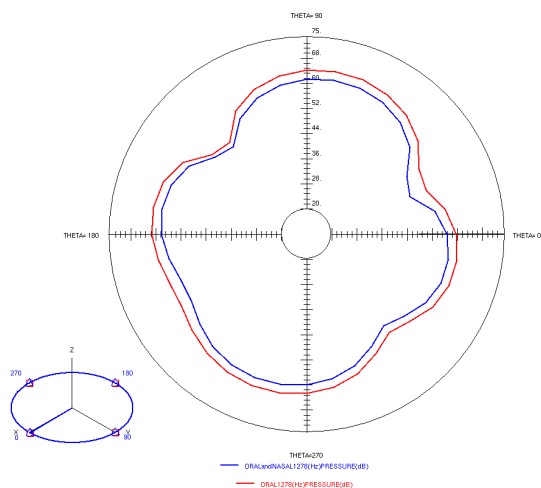
Bylo zjištěno, že tlumení způsobuje snížení hladiny akustických tlaků až o 26 dB. V dalším se budeme zabývat pouze kmity tlumenými, protože tyto odpovídají realitě.



SYSNOISE – COMPUTATIONAL VIBRO-ACOUSTICS

Rev 5.5 SGR10 30NOV02 DATE: 30-JAN-2002 12:15:05

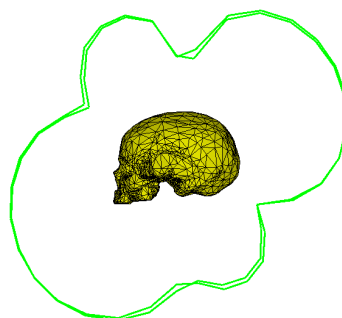
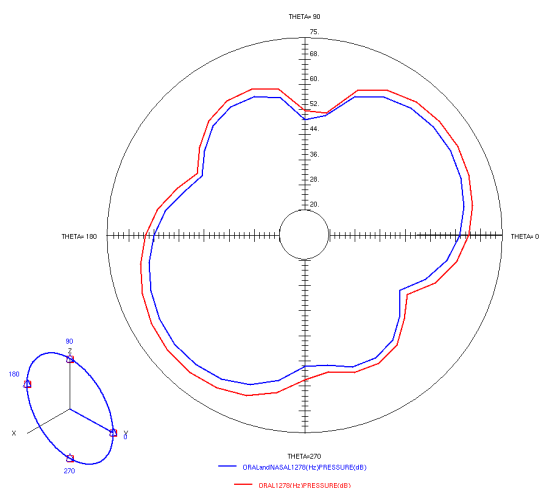
vol prvn1 b1e1



SYSNOISE – COMPUTATIONAL VIBRO-ACOUSTICS

Rev 5.5 SGR10 30NOV02 DATE: 30-JAN-2002 12:19:40

vol prvn1 b1e1



Obr. 7 Vyzařování při první vlastní frekvenci lebky 1278 Hz při buzení jenom v ústech svisle (červená křivka) a při buzení v ústech a v čele nosní dutiny současně.

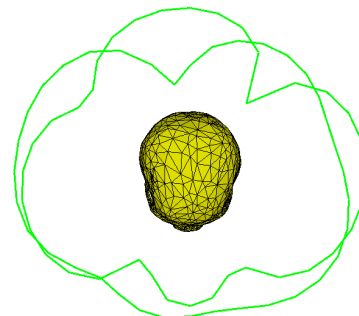
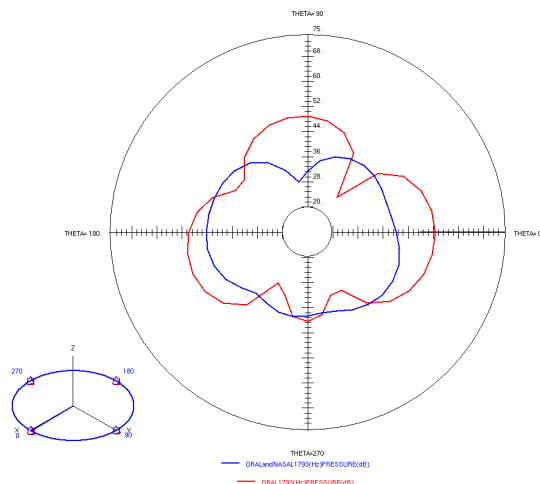
Dále následuje vyzařování při druhém tvaru kmitu ve směru vertikálním a horizontálním.



SYSNOISE – COMPUTATIONAL VIBRO-ACOUSTICS

Rev 5.5 SGRI10 30NOV12 DATE: 30-JAN-2002 12:28:30

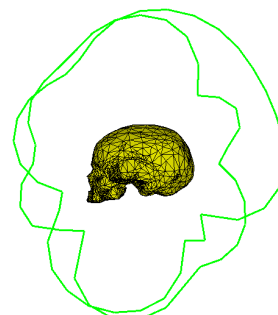
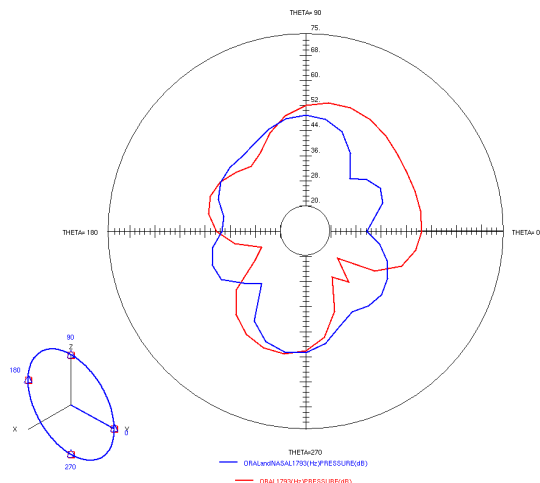
druby tvar



SYSNOISE – COMPUTATIONAL VIBRO-ACOUSTICS

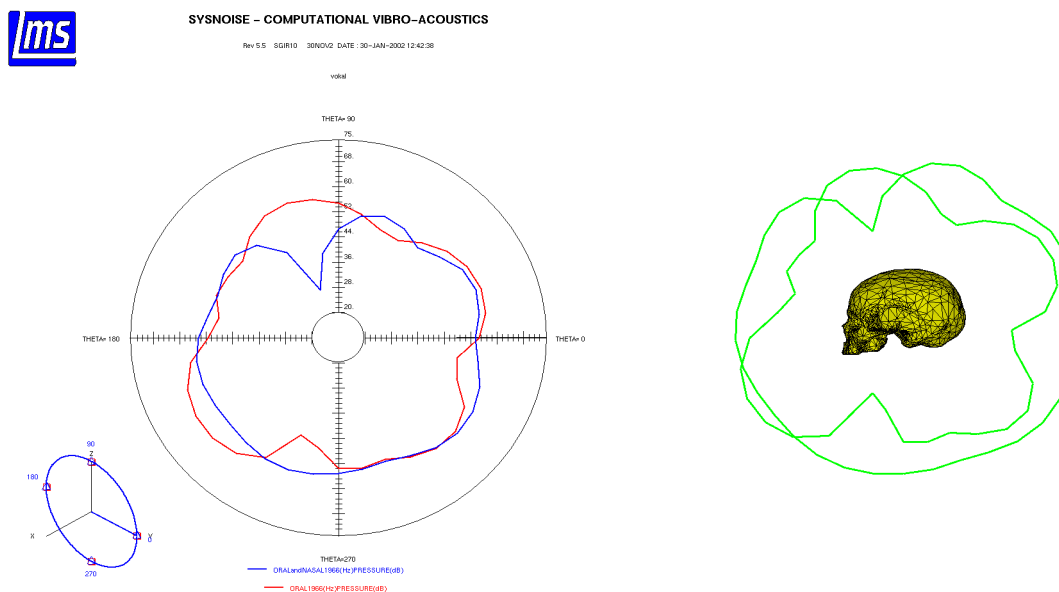
Rev 5.5 SGRI10 30NOV12 DATE: 30-JAN-2002 12:30:48

druby tvar

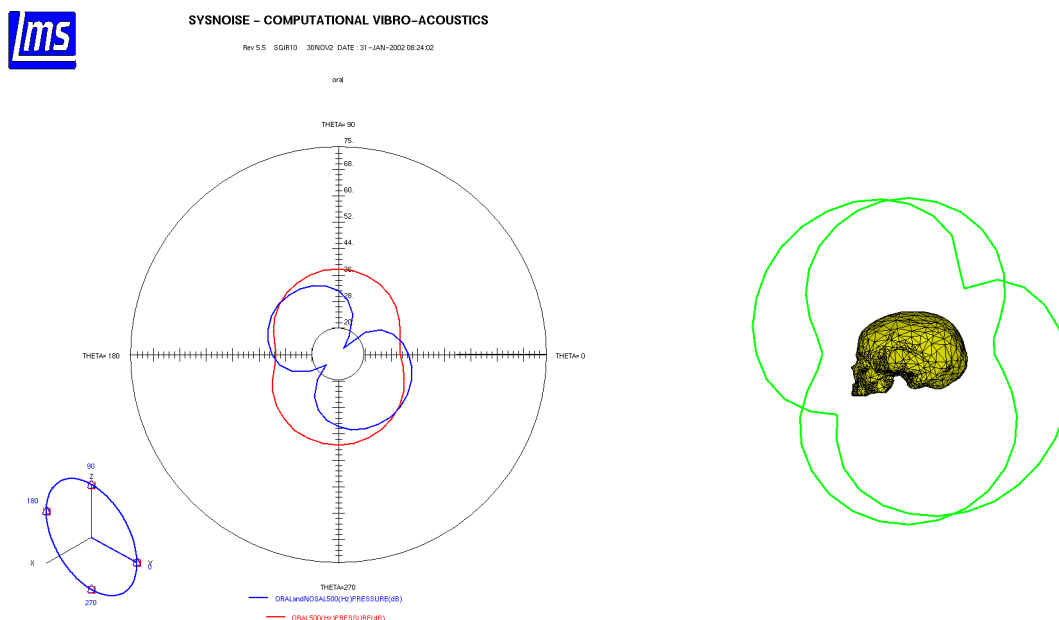


Obr. 8 Vyzařování při druhé vlastní frekvenci lebky 1793 Hz při buzení jenom v ústech svisle (červená křivka) a při buzení v ústech a v čele nosní dutiny současně (modrá křivka).

Zajímavé jsou vyzařovací diagramy ve směru svislém. Každá část lebky vytváří ji odpovídající pole akustických tlaků. Je to zobrazeno na dalších obrázcích.

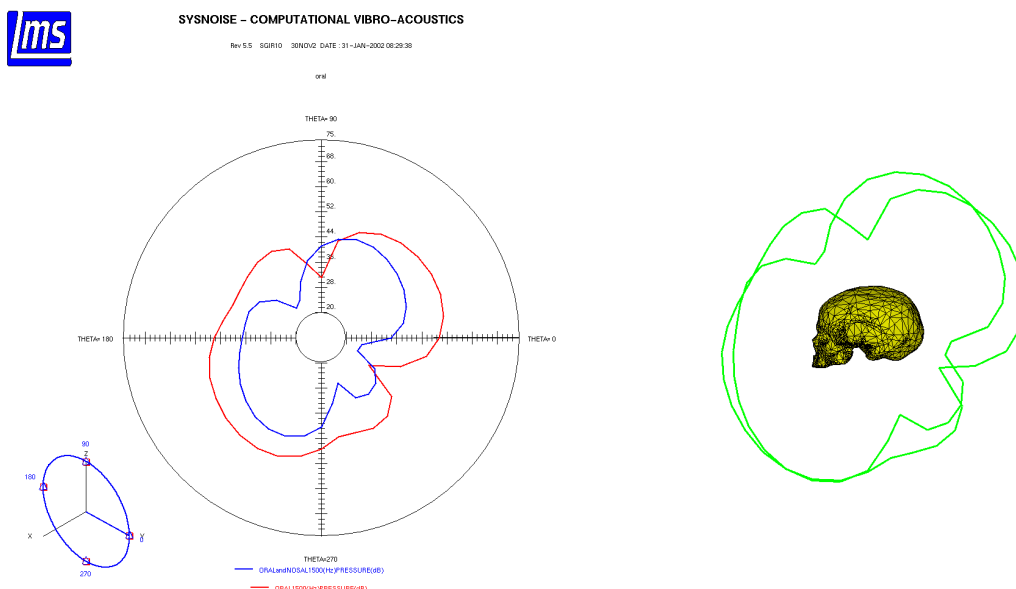


Obr. 9 Vyzařování při třetí vlastní frekvenci lebky 1966 Hz při buzení jenom v ústech svisle (červená křivka) a při buzení v ústech a v čele nosní dutiny současně (modrá křivka).



Obr. 11 Vyzařování při prvním formantu orální kavity 500 Hz svisle při buzení jenom v ústech (červená křivka) a při buzení v ústech a v čele nosní dutiny současně (modrá křivka).

Považujeme-li vokální trakt za trubici na jednom konci uzavřenou (hlasivky) a na druhém konci otevřenou (ústa), která je u dospělých lidí délky asi 17 cm, jsou resonance takové kavity okolo 500, 1500, 2500 Hz. Odpovídající vyzařovací diagramy jsou na obr. 11 a obr. 12.



Obr. 12 Vyzařování při druhém formantu orální kavity 1500 Hz svísele při buzení jenom v ústech (červená křivka) a při buzení v ústech a v čele nosní dutiny současně (modrá křivka).

Závěr

Bylo provedeno porovnání vyzařování lebky jednocestným a dvojcestným buzením, které je způsobeno uzavíráním a otevíráním zadní části měkkého patra. Rychlé střídání otevírání a uzavírání může způsobit, že buzení je syále dvojcestné. Dochází k nasalisaci a zapojení hlavy do vyzařování. Podle tab. 1 vlastních frekvencí hlavy, amplitudofrekvenčního diagramu na obr. 3 a vlastních frekvencí modelu vokálního traktu jako trubice dlouhé asi 17 cm, kterému odpovídají formanty 500, 1500, 2500 Hz lze říci, že se nejedná o rezonanční jevy u prvního a druhého formantu. Snad třetí formant může způsobit resonanci lebky jak je to vidět na obr. 3 v okolí 2500 Hz, kde je shoda s vlastní frekvencí lebky, která odpovídá šestému tvaru kmitu 2536 Hz.

Literatura

- [1] Pickett J.M. The Acoustics of Speech Communication, USA 1999
- [2] SYSNOISE Manual.

Tento příspěvek vznikl za podpory Výzkumného záměru MŠMT CEZ: MSM 2600001 a grantové agentury ČR č. 106/98/K019