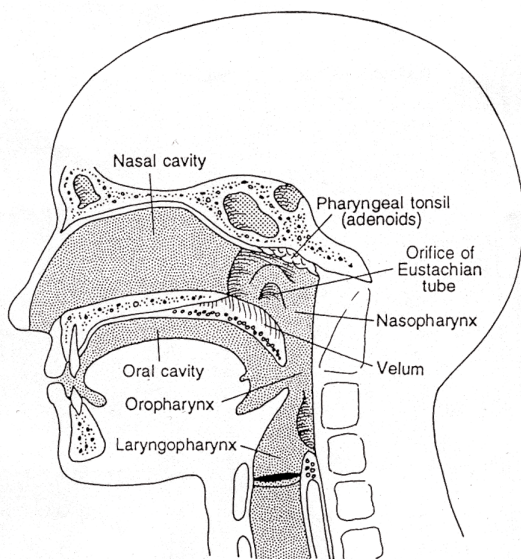


## ACOUSTIC ANALYSIS OF VELOPHARYNGEAL INSUFFICIENCY

J. Vokřál\*, L. Černý\*, S. Měřínská\*\*

**Summary:** *The aim of this study was to compare the approximate finite element model of acoustic spaces corresponding to the human adult male vocal tract and nasal cavity with the influence of the cleft palate to the clinical observations. The FE models for Czech vowels „A” and „I” were analyzed for increasing size of a cleft by using modal analysis of the FE models. The experimental verification was performed by normal subjects (continual changes of opening of the soft palate and nasalization of vowels following nasal consonant) and patients with velopharyngeal insufficiency. The results of numerical solutions are in a reasonable agreement with clinical observations.*



Obr. 1: Schéma rezonančních dutin, tvrdého a měkkého patra.

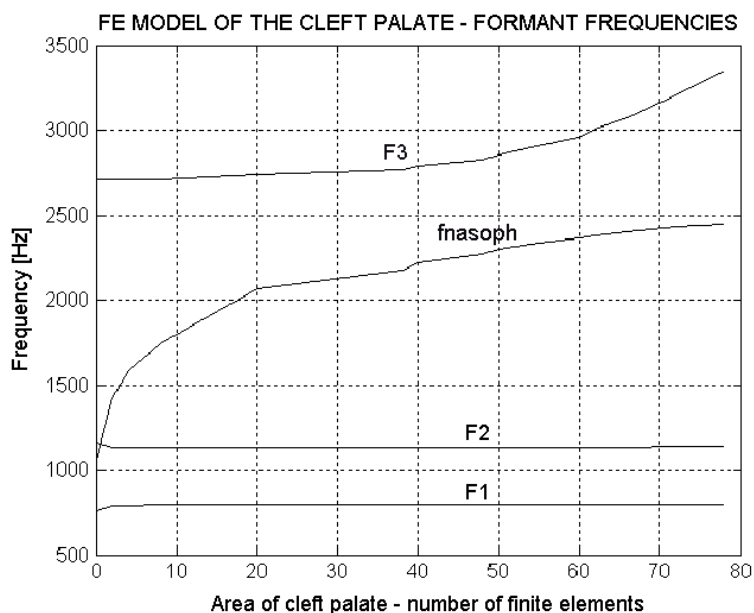
### 1. Úvod

Velofaryngeální insuficience (VFI) označuje nedostatečný uzávěr mezi ústní a nosní dutinou v situacích, kdy pro správnou realizaci hlásek mají být tyto dutiny od sebe izolovány. Tento stav může mít řadu příčin. Může se jednat o získané poruchy velofaryngeálního uzávěru, např. poruchy inervace po náhlých mozkových příhodách a stavy po operačních zásazích v orofaciální oblasti např. pro maligní tumory. Druhou skupinou jsou vrozené vady, kde se jedná zejména o rozštěpové vady a vrozené zkrácení patra. Obličejové rozštěpy patří mezi poměrně časté vrozené vady s incidencí jeden rozštěp na 500 - 600 živě narozených dětí. Rozštěpy rtu a/nebo patra představují závažné postižení obličeje s důsledky estetickými, funkčními i psychickými (Vohradník, 2001).

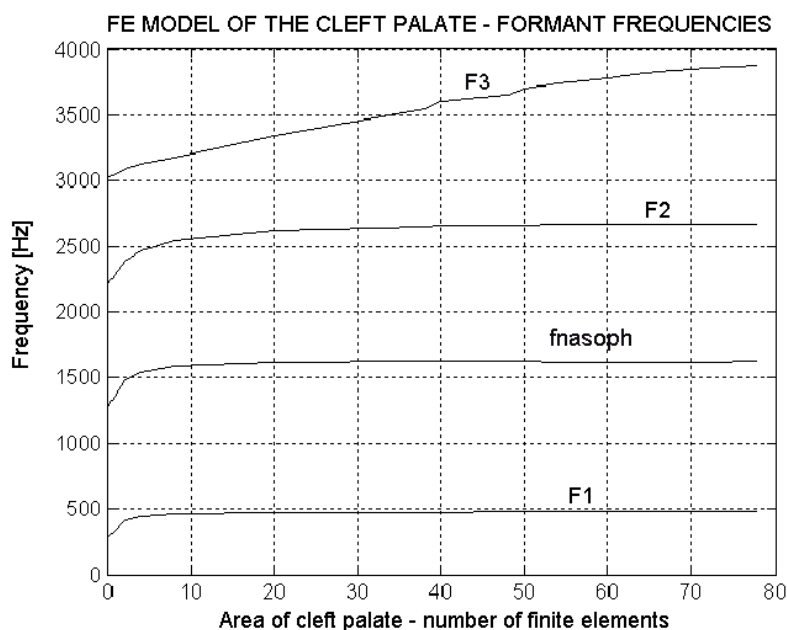
\* Dr.Ing. Jan Vokřál, MUDr. Libor Černý, Foniatriká klinika 1.LF UK, Žitná 24, 120 00 Praha 2, e-mail: vokral@lf1.cuni.cz

\*\* RNDr. Simona Měřínská, Matematicko-fyzikální fakulta UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Pro stanovení diagnózy a míry VFI se užívá velké množství velmi různorodých metod: aerodynamické metody (např. vyhodnocování toku vzduchu orálního a nazálního), fotoelektrické metody, endoskopické metody, elektromyografie, roentgen, ... . Neinvazivní metodou vyšetření je pak akustická analýza hlasu, příkladem může být použití přístroje Nasometer fy Kay Elemetrics Corp., přístroj obsahuje dva oddělené směrové mikrofony, které snímají nazální a orální část produkovaného zvukového signálu (Dalston et al. 1991). Akustickou analýzou hlasu a řeči u VFI se zabývala řada autorů, u nás se touto problematikou soustavně zabýval foniatr M. Vohradník (1986, 2001).



Obr. 2a: Vlastní frekvence pro samohlásku "A" s uvažováním rozštěpu.



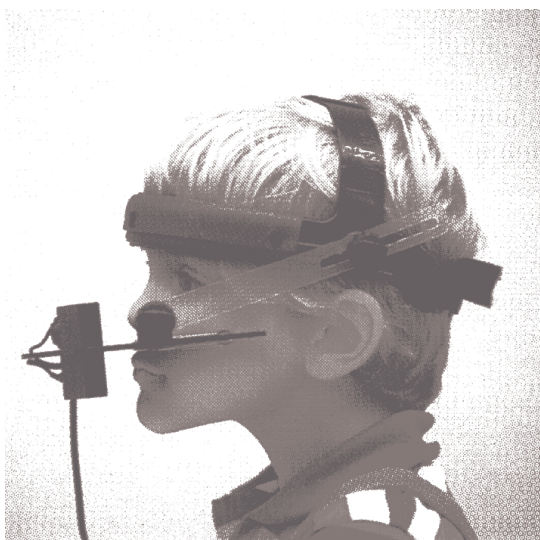
Obr. 2b: Vlastní frekvence pro samohlásku "I" s uvažováním rozštěpu.

Matematickým modelováním supraglotického prostoru, ústní a nosní dutiny, za normálního stavu a u VFI se zabývají práce řešené ve spolupráci ČVUT a ČSAV a Foniatrické kliniky 1.LF UK. Na obr. 2a je ukázán výsledek modální analýzy vokálu "A" dospělého muže při změně počtu elementů spojujících ústní a nosní dutinu. Objevuje se nová rezonanční frekvence, zde označená „fnasoph“, která nejprve mění svou polohu velmi rychle již při malém počtu propojujících elementů. Při zvyšujícím se počtu elementů pak již svou polohu mění téměř lineárně. Prvé dva formanty mají stabilní polohu.

Při modální analýze vokálu "I" bylo zjištěno, že již od poměrně malé štěrbině mezi ústní a nosní dutinou, že se objevuje nová rezonance „fnasoph“ mezi původním prvním a druhým formantem vokálu "I" (viz obr. 2b, Dedouch et al., 2001, 2002).

## 2. Cíl práce

Cílem práce bylo porovnat výsledky modální analýzy výpočetních konečně prvkových modelů supraglotického prostoru při uvažování VFI u vokálů "A" a "I" s nálezy u pacientů s velofaryngeální insuficiencí a se simulacemi změn otevření měkkého patra u normálních osob.



Obr. 3: Přípravek s mikrofony  
- Nasometer 6200-3.

## 3. Metodika a materiál

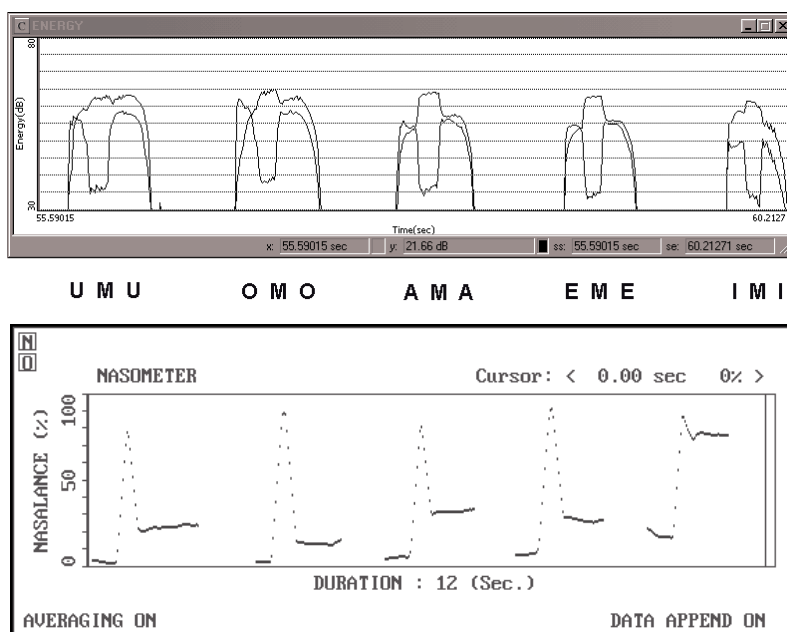
Pro akustickou analýzu byly nově pořízeny nahrávky v nahrávacím studiu Foniatrické kliniky 1.LF UK a VFN při použití přístroje Nasometer 6200-3 fy Kay Elemetrics Corp. (Nasometer Manual, 1999). Akustické záznamy orálního a nazálního signálu byly analyzovány programem Multi-Speech (Kay Elemetrics Corp.). Jednalo se o standardizovaný postup záznamu používaný na Foniatrické klinice.

Pro demonstraci příkladů jsme vybrali ukázky několika pacientů (věk 9, 16, 37 let) s VFI různého původu (rozštěp patra, submukózní rozštěp, VFI po tonzilektomii). Dále jsme provedli simulace rezonančních změn při otevírání měkkého patra u 4 normálních kontrolních osob (muži 35 až 45 let) pro vokály "U", "O", "A", "E", "I". Tito

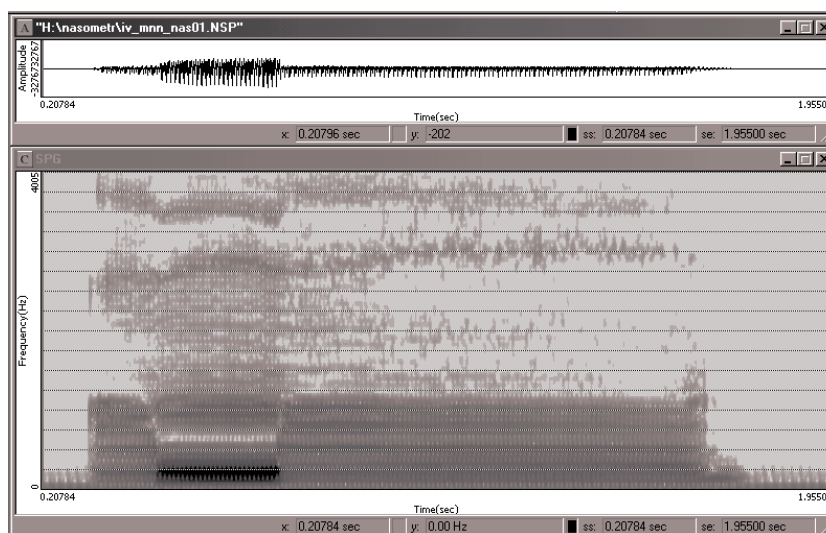
probandi dále četli spojení "UMU OMO AMA EME IMI". Kdy druhý z vokálů následující nazál "M" je v českém jazyce na rozdíl od prvního vokálu nazalizován - měkké patro není ještě uzavřeno.

## 4. Výsledky

Na obr. 4a jsou porovnány záznamy (hladiny akustického tlaku) signálu sejmutého mikrofonom před nosem a před ústy. Je zde demonstrována nazalizace vokálů následujících nazál "M", což je pak patrné na tzv. "nasogramu" na obr. 4b, kde je vynesena v závislosti na čase "nasalance" (0% značí nulový příspěvek nazálního signálu, 100% naopak nulový příspěvek orálního signálu).



Obr. 4: a) Záznamy hladin akustického tlaku orálního a nazálního signálu pro spojení "UMU OMO AMA EME IMI",  
b) Nasogram - ukázka zvýšené nazaloty vokálů, které následují po nazálu "M".



Obr. 5: Spektrální analýza "AMA", záznam nazálního signálu.

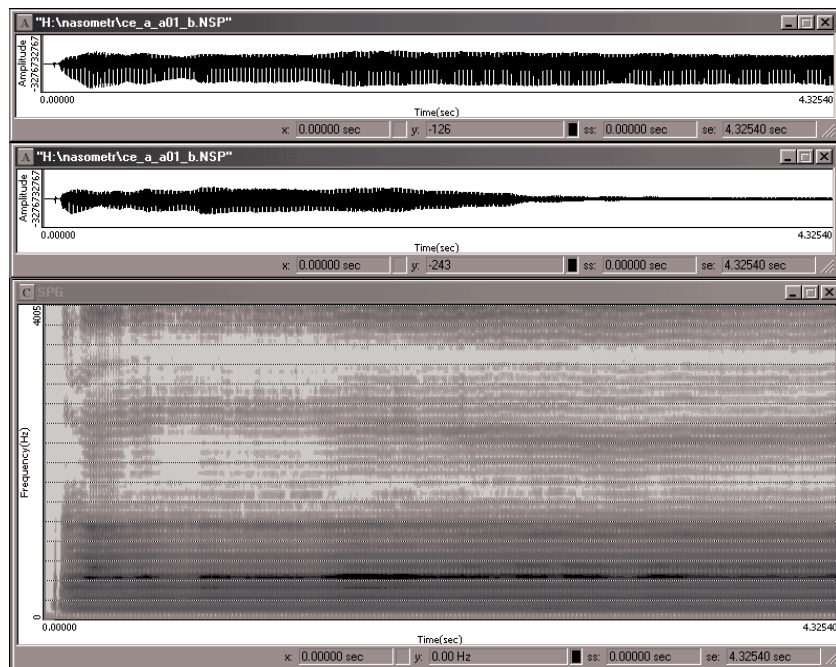
Pozice formantů prvního a druhého vokálu:

$$F1=F1' = 800 \text{ [Hz]}$$

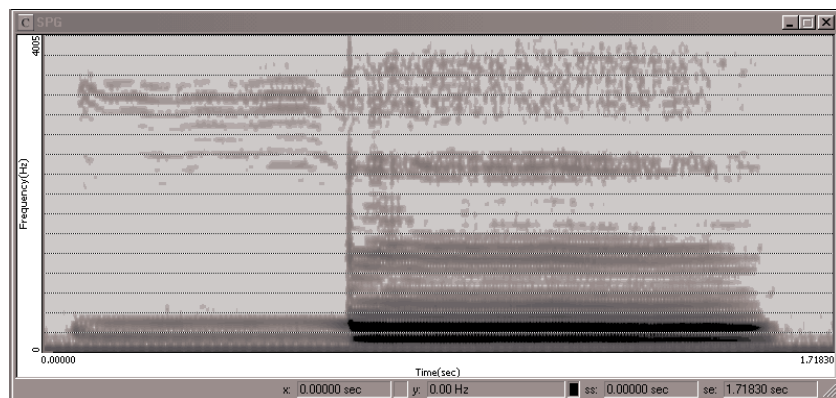
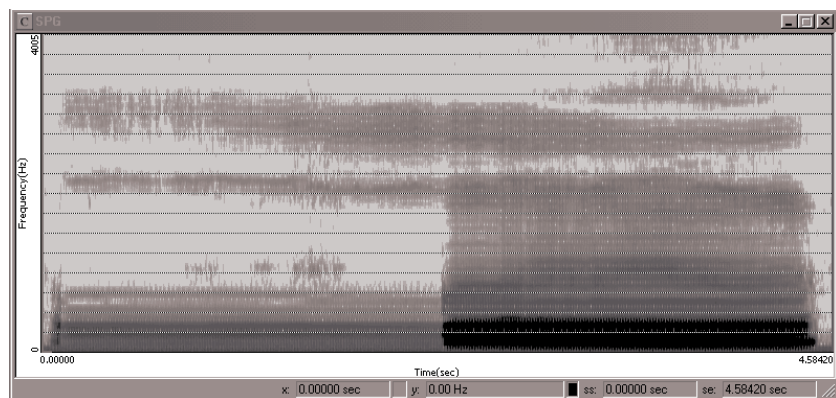
$$F2=F2' = 1100 \text{ [Hz]}$$

F3 (oronazální) změnil polohu z 2600 Hz na 2900 Hz.

$$F4=F4' = 3700 \text{ [Hz]}$$



Obr. 6: Efekt spojitého uzavírání měkkého patra na formanty vokálu "A".  
 Poloha formantů: F1= 680 [Hz], F2= 1100 [Hz], F4=3950 [Hz].  
 F3 změnil polohu z 2700 Hz na 2350 Hz.



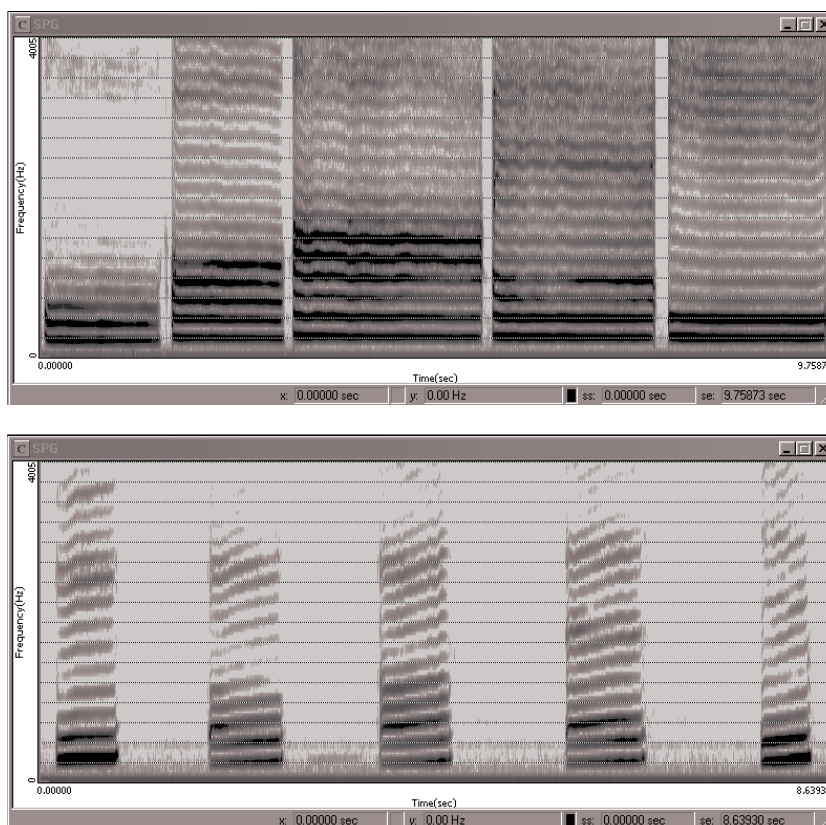
Obr. 7a,b: Skoková změna nazalizace - vokál "I".  
 V prvním případě nová rezonance na 1000 Hz, ve druhém případě 1200 Hz.

Na obr. 5 je pak provedena detailní spektrální analýza spojení "AMA" signálu sejmutého před nosem, druhá samohláska "A" je více nazální než prvá v důsledku ještě neuzavřeného měkkého patra. Pozice formantů F1, F2 a F4 je stalá. Pozice třetího formantu (oronazálního) se změnila z 2600 Hz na 2900 Hz, jak bylo předpovězeno matematickým modelem.

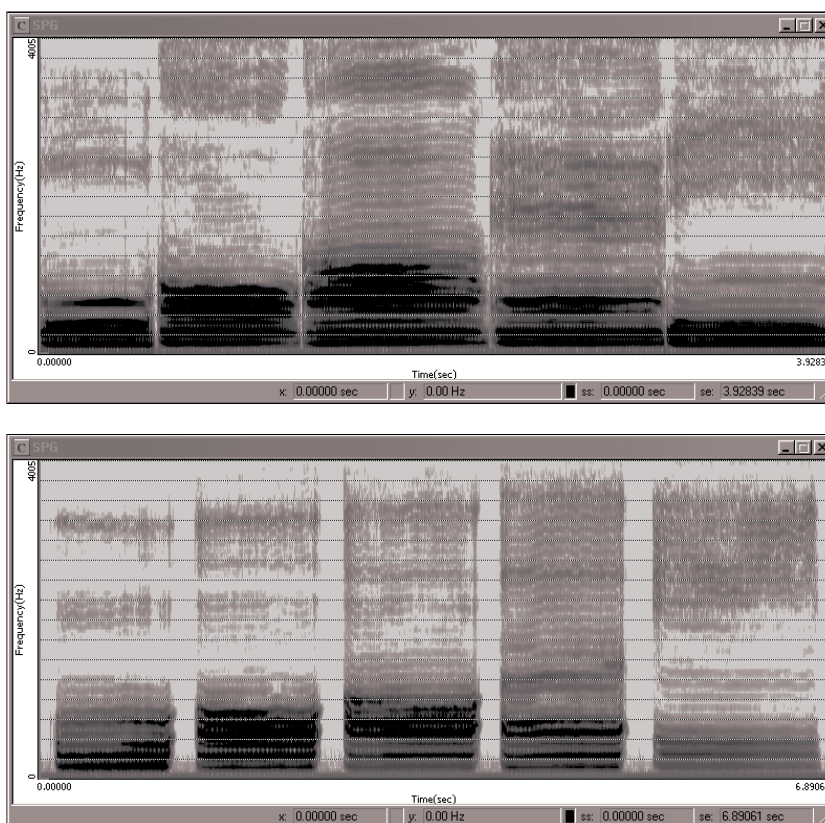
Kontinuální změny uzavírání měkkého patra pro vokál "A" jsou ukázány na obr. 6. Signál byl sejmut před ústy. Formanty F1, F2, F4 zůstávají prakticky neměnné, třetí "oronazální" formant změnil svou pozici z 2700 Hz na 2350 Hz.

U samohlásky "A" je ústní dutina maximálně prostorná a při fonaci dochází k prostému otevření úst. Při velofaryngeální insuficienci je změněna nejméně. U vokálů "I" a "U" dochází k výraznému snížení vzdálenosti jazyka a patra, daleko lépe se může uplatnit rezonance nazálního rezonátoru. Proto jsou při otevřené hůňavosti tyto samohlásky změněny nejvíce. Nálezy odpovídají i subjektivnímu hodnocení nazality hlasu v klinické praxi.

Na obr. 7a,b jsou demonstrovány změny frekvenčních charakteristik u dvou normálních osob při skokové změně nazality, při rychlém otevření měkkého patra. Jedná se o záznamy nazálního signálu. V prvním případě se objevuje nová rezonance v oblasti se středem okolo 1000 Hz, ve druhém 1200 Hz. Tento nálezy odpovídá výsledku matematického modelování, kde však nová přídatná rezonance se vyskytovala okolo 1600 Hz.



Obr. 8a,b: Mírný stupeň otevřené hůňavosti. Fonace vokálů "U", "O", "A", "E", "I".  
Poloha „oronazálního“ formantu je v prvním případě 3500 Hz, ve druhém v rozmezí 2600 – 2900 Hz.



Obr. 9a,b: Střední stupeň otevřené huhňavosti pacienta s VFI  
a simulovaný střední stupeň otevřené huhňavosti normální osobou.

Při simulacích VFI normálními osobami je možno dosáhnou prakticky obdobných výsledků jako u pacientů s velofaryngeální insuficiencí.

Příklad spektrogramu mírného stupně otevřené huhňavosti je na obr. 8a,b. Postupně jsou fonovány vokály "U", "O", "A", "E", "I". V prvním případě se jedná se 9ti letého chlapce s VFI (stav po operaci rozštěpu), základní frekvence hlasu 202 Hz - 245 Hz. V druhém případě se jedná o 16ti letou dívku se submukózním rozštěpem, základní frekvence hlasu 232 Hz - 270 Hz. Kromě prvních dvou formantů vokálů na spektrogramech zřetelně vidíme přítomnost třetího formantu, který si udržuje přibližně stejnou polohu (v prvním případě 3500 Hz, ve druhém 2600 Hz - 2900 Hz). Netěsný uzávěr mezi nosní a ústní dutinou při prodloužené fonaci vokálů vedl tedy ke zdůraznění "oronazálního" formantu. Rozdílné rozměry dutin vedou i k různé poloze formantů (9 let vs. 16 let).

U pacienta se středním stupněm VFI na obr. 9a (muž 36 let) je opět u vokálu "I" patrná nová rezonance - 960 Hz, obdobný jev je patrný na obr. 9b, kde je vyobrazen výsledek simulovaného středního stupně VFI normální osobou.

## 5. Závěr

Tato práce se zaměřila na kvalitativní porovnání některých zjištění získaných při matematickém modelování změn modálních charakteristik supraglotických prostorů. Výsledky matematických modelů přibližně odpovídají klinickým nálezům zjištěným v praxi. Konečněprvkový model může tak napomoci při správné interpretaci akustických signálů v situaci s velofaryngeální insuficiencí. Demonstované ukázky však poukazují na známý fakt

- na interindividuální rozdíly mezi osobami a různé možnosti realizace téže hlásky stejnou osobou.

Přirozená rozmanitost prostorů násadní trubice, prohlubující se ještě za patologických stavů u velofaryngeální insuficience, vysvětluje i různorodost rezonančních změn ve hlase a tedy i rozptyl hodnot u akustické analýzy hlasu a řeči. Důležitá není jen vlastní velikost dutin, ale i velikost otevření ústní dutiny a nosních dutin. Tyto faktory jsou různé při vyslovování různých hlásek. Tato skutečnost vysvětluje část nejednotností v popisech akustických jevů u různých autorů.

## 6. Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory grantového projektu GA ČR 106/98/K019 „Matematicko-fyzikální modelování vibroakustických systémů v biomechanice hlasu a sluchu se zaměřením na vývoj náhradních materiálů a protéz“.

## 7. Literatura

- Dalston, R.M., Warren, D.W., Dalstone, E.T. (1991), Use of nasometry as a diagnostic-tool for identifying patients with velopharyngeal impairment, *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 28, pp. 184-188
- Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Vohradník, M. (2001) Acoustic analysis of finite element models of supraglottal tract considering cleft palate, *Proceedings Interaction and Feedbacks*, 27.-28.11.2001, Praha, 2001, pp. 25-32
- Dedouch K., Horáček J. (2002) Finite element modelling of male vocal tract with consideration of cleft palate, In: *FORUM ACUSTICUM*, 16-20 Sept. 2002, Sevilla, Spain, (CD ROM - Ref. No SPE-01-006), 6 p.
- Story, B.H., Titze, I.R. and Hoffman, E.A.: Vocal tract area functions from magnetic resonance imaging, *J.Acoust.Soc.Am.*, 100(1), pp. 537-554
- Vohradník, M. (1986) Subjektivní a objektivní hodnocení velofaryngeální insuficience, Dizertační kandidátská práce, Fakulta všeobecného lékařství UK, Praha
- Vohradník, M. (2001) Poruchy řečové komunikace u velofaryngeální insuficience, Scriptorium, Praha