

Hodnocení kvality závěru glottis

Evaluating the quality of the glottis closure

PEŠTA, J.¹⁾, SLÍPKA, J.¹⁾, NOVÝ, P.²⁾, VÁVRA, F.³⁾

¹⁾ ORL klinika FN Plzeň

přednosta kliniky: Doc. MUDr. J. Slípka, CSc.

²⁾ Fakulta aplikovaných věd ZČU Plzeň, Katedra informatiky a výpočetní techniky

vedoucí katedry: Prof. Ing. J. Šafařík, CSc.

³⁾ Fakulta aplikovaných věd ZČU Plzeň, Katedra matematiky

vedoucí katedry: Prof. RNDr. P. Drábek, DrSc.

PROHLÁŠENÍ:

Autoři tohoto příspěvku prohlašují, že práce s názvem „Hodnocení kvality závěru glottis“ nebude po dobu jednoho roku nabídnuta jinému časopisu či médiu ke zveřejnění.

Souhrn:

Cílem práce je prezentace nových poznatků, které jsou využitelné pro hodnocení kvality závěru glottis. Zdrojem těchto poznatků je analýza záznamu audiosignálu jedné periody hrtanového tónu, který je získán měřením změn akustického tlaku mikrofonem před ústy pacienta. Podstatou metody je Fourierova analýza této periody s cílem detekce přechodového děje jako odezvy na tlakový puls, který je vyvolán závěrem glottis. Pro hodnocení kvality závěru je použito regresního SCORE modelu. Proměnnými v modelu jsou normované amplitudy, které jsou vypočítány z koeficientů Fourierovy řady, parametry modelu jsou pak koeficienty odvozené komparací se znaleckým ohodnocením jednotlivých záznamů. Ve znaleckém ohodnocení jsou zohledněny jak výsledky vyšetřovacích metod analýzy kvality hlasu, tak mnohaletá zkušenost. Používané vyšetřovací metody a nové poznatky vyjádřené hodnotou SCORE lze využít k hodnocení funkce hlasivek a případnému stanovení diagnózy hlasové poruchy. Uvedená metoda měří pouze kvalitu závěru glottis, nezkoumá příčiny projevu a ignoruje rozdíly v síle fonace.

Klíčová slova:

hlasové ústrojí, glottis, přechodový děj, regresní analýza, score model, Fourierova analýza.

Abstract:

The aim of this work is to present new knowledge, which is useful for evaluating the quality of the glottis closure. The source of knowledge is the analysis of one period of the laryngeal tone record, which is obtained by measuring the changes of sound pressure, through the microphone placed in front of the patient's mouth. The principle of the method is the Fourier analysis of this period to detect the transition process as a response to pressure pulse. Which process is caused through closure of glottis. For the evaluation the quality of the glottis closure is used the regression SCORE model. The variables in the model are standardized amplitudes, which are calculated from the coefficients of Fourier series. The parameters of SCORE model are the coefficients, which are derived comparisons with the expert rating of individual records. The expert rating reflects the results of medical examination methods of quality analysis of voice and experience of expert, too. Used examination methods and new knowledge expressed SCORE value, can be used for evaluating the vocal cord function and determination of the diagnosis of voice disorders. That method measures only the quality of the closure of the glottis and does not cause and ignores the differences in the strength of phonation.

Key Words:

vocal fold, glottis, transition process, regression analysis, score model, Fourier analysis.

1. Úvod

Na foniatrickém oddělení ORL kliniky FN Plzeň se používá již několik let řada vyšetřovacích metod k analýze a k hodnocení kvality hlasu. Jsou to jednak popisné metody typu laryngostroboskopie (DVS), záznam vysokorychlostní kamerou (HSV) a videokymografie (VKG), a metody funkční akustické, jako např. multidimenzionální analýza (MDVA) a vyšetření hlasového pole (VRP). Funkční akustické metody hlasové analýzy, které hodnotí kvalitu hlasu, jsou aplikovány na hlasové vzorky dlouhodobé fonace české samohlásky „a“. Tento vzorek obsahuje několik desítek až stovek period základního hrtanového tónu. Při analýze se pak zkoumá, jaké je ve vzorku frekvenční a amplitudové kolísání, jaký je obsah šumu, subharmonických a tremoru a jsou-li přítomny hlasové zlomy či bezhlasí.

Výsledky uvedených metod ne vždy uspokojivě popisují kvalitu hlasu (závěru glottis). Proto jsme v poslední době obrátili svoji pozornost k detailnějšímu studiu hlasového vzorku, zaostřené na úroveň jedné periody záznamu hrtanového tónu. Na základě dlouhodobého pozorování a zkušeností předpokládáme, že určité vlastnosti hlasu se odráží v tvaru periody základního hrtanového tónu. Hrtanový tón je měřen mikrofonom jako změny akustického tlaku před ústy pacienta a je zaznamenán jako audiosignál.

2. Teoretické předpoklady

Z popisu funkce hlasivek, literatura [4] [7] [8], vyplývá, že hlasivky pracují jako ventil, který na základě svých fyzikálních a biologických vlastností a anatomické stavby propouští přerušovaný proud vzduchu v podobě vzduchových tlakových pulsů. Tento vzduchový tlakový puls prochází vokálním traktem, kde je modulován, a vychází ven ústy. Vokální trakt z hlediska akustiky představuje určité spojení rezonátorů, které jsou vytvářeny anatomickými útvary. Má-li se projevit jejich vliv na kvalitu hlasu, musí být v průběhu jedné periody hrtanového tónu splněny dvě podmínky. První podmínkou je dostatečné vybudování rezonátorů tlakovým pulsem. Druhou podmínkou je pak následné oddělení rezonančních dutin od zdroje vzduchu po ukončení pulsu na nezbytně dlouhou dobu. Splnění první podmínky nastane za předpokladu, že tlakový puls, který je generovaný závěrem glottis, bude mít kromě postačující amplitudy také bohaté frekvenční spektrum. Toho se dosáhne dostatečně strmou sestupnou hranou pulsu. Druhou podmínkou je oddělení rezonančních dutin od zdroje. To je zajištěno správnou kinematikou a dobrou funkcí a stavem jednotlivých struktur hlasivek. Reakcí rezonančních dutin na tlakový puls za uvedených podmínek je pak obecně modulační děj, který budeme ideálně chápat jako děj přechodový, viz [2]. Tento přechodový děj vzniká jako odezva systému vymezeného supraglotickým prostorem na jednotkový tlakový skok. Splnění obou podmínek právě zajišťuje kvalitní závěr glottis.

Kdybychom chtěli sledovat časový průběh tlakových pulsů, bylo by nutné provádět měření změn akustického tlaku těsně nad hlasivkami. Jen tak by bylo možné, a není jisté zda zcela, vyhnout se zkreslení způsobené rezonancemi vokálního traktu. Toto sledování je ovšem nesmírně obtížné a pro klinickou praxi nepoužitelné. Nabízí se ale i jiné řešení, které využívá modulace pulsu způsobené rezonancemi příslušných dutin vokálního traktu. Vychází z předpokladu, že existuje těsný vztah mezi kvalitou uzávěru a charakterem odezvy na tlakový puls.

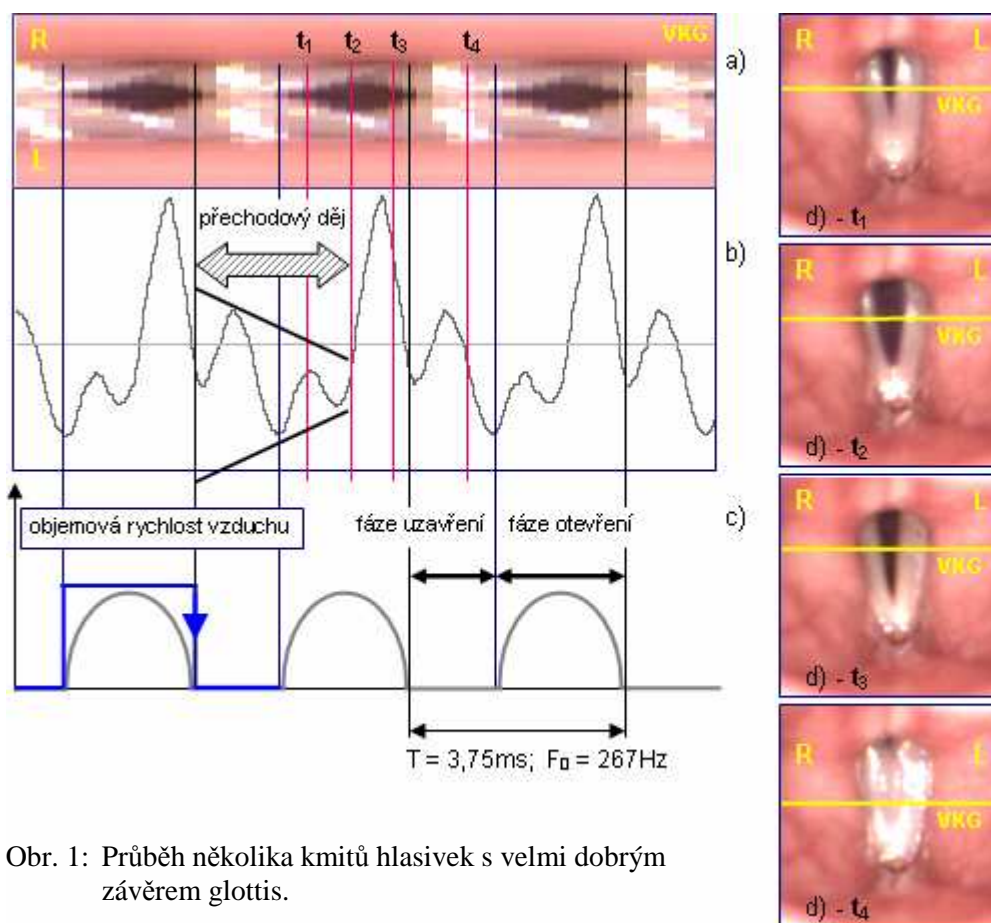
Na obr. 1 a 2 je zobrazeno několik period hrtanového tónu při fonaci vokálu „a“.

Oba obrázky obsahují:

- odvozený videokymografický záznam (VKG) zvoleného místa na hlasívkách;
- průběh zaznamenaného audiosignálu během fonace, který je posunut o zpoždění způsobené vzdáleností mikrofonu od hlasivek (cca 0,75ms);
- schématickou ilustraci modulace akustické vlny otevřením a uzavřením hlasivek; jedná se o průtok proudy vzduchu přes glottis vyjádřený objemovou rychlostí vzduchu, viz [7];
- vybrané snímky z vysokorychlostní kamery (HSV) pro ilustraci jednotlivých fází závěru glottis (4000 snímků / 1 s, tj. 1 snímek HSV = 0,25ms):
 - t_1 ... počáteční fáze otevírání hlasivek,
 - t_2 ... úplné otevření hlasivek,
 - t_3 ... fáze uzavírání hlasivek,
 - t_4 ... úplné uzavření hlasivek.

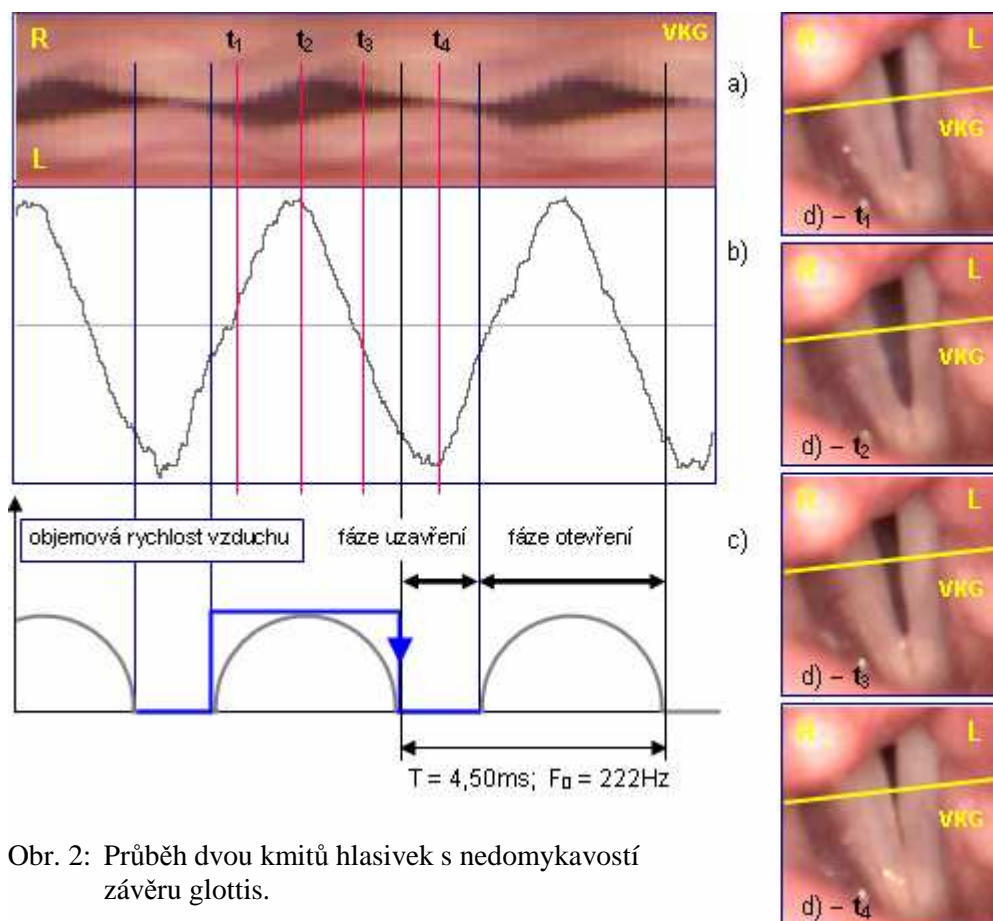
Záznam je proveden pro velmi dobrý, obr. 1, a neúplný, obr. 2, závěr glottis. Na obrázcích jsou vidět výrazné změny v kvalitě přechodového děje s tím, že jsou z důvodu názornosti prezentovány extrémní průběhy.

Na obr. 1 je v části b) zobrazení audiosignálu patrný kmitavý průběh přechodového děje po uzavření glottis. Ten, použijeme-li terminologie z teorie systémů, silně připomíná odezvu systému druhého či vyššího řádu na jednotkový skok, viz [2]. Z grafu je také zřejmé, že je přechodový děj výrazněji utlumen (přerušen) od okamžiku otevření závěru glottis.



Obr. 1: Průběh několika kmitů hlasivek s velmi dobrým závěrem glottis.

Na obr. 2 je zobrazeno několik period hrtanového tónu pro případ neúplného závěru glottis (diagnóza paresis n. lar. rec. l. dx.) s odpovídajícím videokymogramem a audiozáznamem. Na audiozáznamu je vidět, že zde nevzniká žádný přechodový děj. Průběh periody se blíží průběhu sinusovému s délkou periody, která odpovídá frekvenci základního hrtanového tónu F_0 .



Obr. 2: Průběh dvou kmitů hlasivek s nedomykavostí závěru glottis.

Na základě těchto zjištění můžeme vyslovit některé předpoklady či hypotézy.

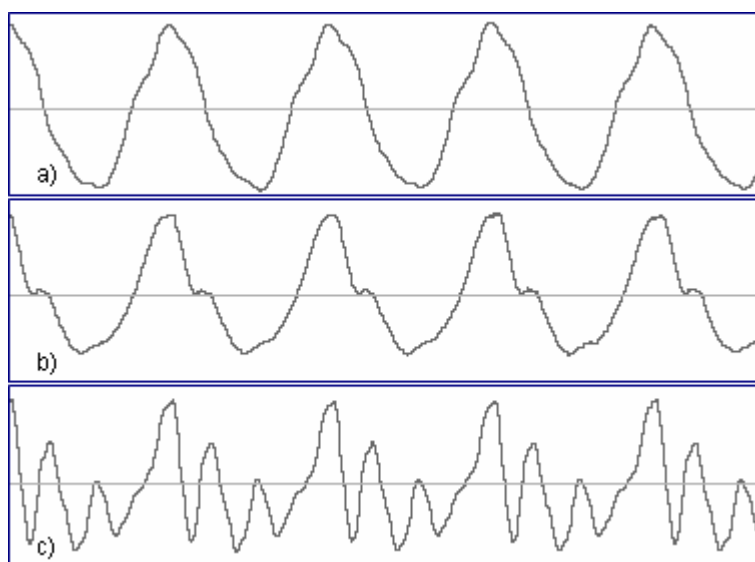
- Funkce hlasového aparátu se dá v určitém smyslu a za určitých podmínek považovat za analogickou s chováním dynamického systému vyššího řádu, přibližně lineárního, viz [2].
- Změna charakteru odezvy na tlakový puls může být způsobena buď změnou rezonančních dutin, či rezonátorů vůbec, nebo tvarem tlakového pulsu. Změna rezonančních dutin při fonaci vybraného vokálu je velmi málo pravděpodobná, viz [4]. S velkou pravděpodobností ale dochází ke změně tvaru tlakového pulsu, tedy ke změně funkce závěru glottis. To lze dokumentovat na předložených videokymogramech a snímcích s vysokorychlostní kamery, obr. 1 a 2.
- Existuje určitá vazba mezi tvarem průběhu jedné periody základního hrtanového tónu a funkcí závěru glottis.

Při hodnocení kvality závěru glottis je zapotřebí přihlídnout k následujícím skutečnostem.

- Kvalitu závěru neovlivňují pouze patologické projevy měnící vlastnosti hlasivek.
- Kvalita závěru se může měnit s intenzitou fonace.

Toto tvrzení jsme ověřili porovnáním výsledků z vysokorychlostní kamery a záznamu dlouhodobé fonace vokálu „a“. Při malých intenzitách fonace se hlasivky nedovírají nebo se pouze dotýkají. Jejich pohyb je plynulý, nenarážejí na sebe, nedochází k jejich úplnému uzavěru. V tomto případě se průběh akustického tlaku blíží k sinusovému průběhu, obr. 3a. Se zvyšující se intenzitou fonace se pohyb hlasivek stává nelineární, zvýrazňuje se pohyb sliznice, dochází k úplnému uzavěru. Průběh akustického tlaku dostává pilovitý charakter, obr. 3b. S dalším zvyšováním intenzity fonace se objevuje přechodový děj, který se stává zřetelnější se zvyšující se intenzitou fonace, obr. 3c. Dalo by se tedy říci, že kvalita závěru je v jistém smyslu funkcí intenzity fonace.

- Kvalitu závěru glottis ovlivňuje řada dalších faktorů, které zatím patrně nelze popsat exaktnějším modelem působení. Patří sem, např. emoce, stres, apod.



Obr. 3: Záznam dlouhodobého vokálu „a“ u jednoho pacienta při různých intenzitách fonace:

- tichá fonace;
- středně silná fonace;
- silná fonace.

Problém s vyjádřením a následně se standardizací podmínek, za kterých proběhlo vyšetření, může způsobit jistou neurčitost ve výsledku hodnocení projevů kvality závěru.

3. Způsob hodnocení kvality závěru glottis

V běžné klinické praxi se hodnotí kvalita závěru na základě zkušenosti poslechem, měřením délky fonace a pomocí popisných metod (DVS, HSV, VKG). Výsledky pak mohou být doplněny hlasovou analýzou MDVA, kde je kvalita uzávěru hodnocena indexem měkké fonace SPI, viz [4], popř. funkčním vyšetřením hlasového pole VRP. Výsledky všech vyšetřovacích metod jsou zatíženy jistou dávkou nejistoty. Jejich kombinací je však někdy možné tuto nejistotu snížit. Rozšířením o dále uvedenou metodu se snažíme o zvýšení přesnosti v hodnocení kvality závěru glottis a následně i zpřesnění diagnózy.

Jak již bylo naznačeno, chceme se pokusit o hodnocení kvality závěru glottis na podkladě zjištění existence či neexistence přechodového děje, který se objevuje v jedné periodě hrtanového tónu, měřeného jako změny akustického tlaku před ústy pacienta při fonaci prodlouženého vokálu „a“. Počátek takového děje se předpokládá v okamžiku uzavření hlasivek.

Jako první krok k objektivnímu hodnocení kvality závěru je volba vhodného matematického aparátu k popisu vyšetřované periody hrtanového tónu. Protože chceme nalézt v periodě jistý typ kmitavého děje, ukázalo se jako účelné popsat průběh jedné periody pomocí Fourierova rozvoje.

3.1 Fourierův rozvoj

Jedná se o rozvoj záznamu jedné periody hrtanového tónu pomocí trigonometrické řady pro definovaný konečný počet jejích členů, viz [3]. Pro účely analýzy uzávěru hlasivek byl na základě podrobného rozboru zvolen následující signálový popis:

$$X(k) = \sum_{i=0}^{15} \left(a_x[i] \cos\left(i \frac{2\pi}{L} k\right) + b_x[i] \sin\left(i \frac{2\pi}{L} k\right) \right), \quad (3.1)$$

kde: $X[k]$... k - tý vzorek periodické křivky na intervalu $k \in \langle 1, L \rangle$;
 L ... délka záznamu fonace v počtu vzorků;
 k ... pořadí vzorku periodické křivky $X[k]$;
 i ... i - tý člen Fourierovy řady, který má význam harmonické Fourierovy řady;
 $a_x[i]$, $b_x[i]$... koeficienty Fourierovy řady.

Pro koeficienty Fourierovy řady pak po úpravě platí:

$$a_x[i] = \frac{2}{L} \sum_{k=1}^L \left(X[k] \cos\left(i \frac{2\pi}{L} k\right) \right), \quad b_x[i] = \frac{2}{L} \sum_{k=1}^L \left(X[k] \sin\left(i \frac{2\pi}{L} k\right) \right). \quad (3.2)$$

Ke koeficientům Fourierovy řady lze vytvořit tzv. *invarianty* [9], které popisují tvar křivky nezávisle na její poloze a relativně na jejím posunutí. K tomu bylo použito amplitudové spektrum:

$$AA_x[i] = \sqrt{(a_x[i])^2 + (b_x[i])^2}, \quad \text{pro všechna } i = 1, 2, \dots, 15.$$

Toto spektrum je normováno tak, aby byla vyloučena variabilita způsobená intenzitou fonace.

Potom platí:

$$a[i] = \frac{AA_x[i]}{\sqrt{\sum_{j=1}^{15} (AA_x[j])^2}}; i=1, \dots, 15, \text{ a tedy } \sum_{i=1}^{15} a[i]^2 = 1. \quad (3.3)$$

3.2 Zvolená metodika hodnocení

Je-li k dispozici matematický popis jedné periody hrtanového tónu, dalším nezbytným krokem je nalezení kvalitativního kritéria, kterým budeme hodnotit (kvantifikovat) kvalitu závěru glottis. Jednou z mnoha možností, které se nabízí pro řešení dané úlohy, je použití váhové funkce. Tato funkce může být obecně popsána ve tvaru:

$$K(\alpha, x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i, \quad (3.4)$$

kde α_i jsou parametry váhové funkce a x_i jsou nezávisle proměnné váhové funkce, které odpovídají hodnotám sledované veličiny pro $\forall i = 1$ až n .

V našem případě odpovídá proměnným váhové funkce x_i koeficient Fourierovy řady, resp. normovaná hodnota amplitudového spektra $a[i]$. Parametry α_i určíme na základě trénovací množiny záznamů. Prvky této množiny tvoří průběhy jedné periody hrtanového tónu, ke kterým je přiřazeno znalecké hodnocení podle definované stupnice kvality závěru glottis.

3.3 Výběr váhové funkce – model „SCORE“

Při stanovení váhové funkce, pomocí které bude možné na základě analýzy jedné periody hrtanového tónu hodnotit kvalitu hlasivkového uzávěru, jsme vycházeli ze znaleckého hodnocení.

Jako základ znaleckého hodnocení hlasového vzorku byl použit výsledek vyšetření MDVA (hodnoty SPI, NHR a frekvenční kolísání), výsledek vyšetření hlasivek HSV nebo DVS, využití poznatků z teorie systémů a vlastní zkušenost, která vychází z pozorovaného tvaru periody, hlasového projevu a pocitů pacienta. Výsledky uvedených vyšetření byly kvantifikovány a byla vytvořena stupnice znaleckého hodnocení. Tato stupnice má rozsah 1 až 5, kde hodnocení 1 reprezentuje interval hodnot, kterých dosahovali mladí lidé a hlasoví profesionálové, kteří nikdy netrpěli hlasovou poruchou. Hodnota 5 byla přiřazena výsledkům vyšetření od pacientů, u kterých se hlasivky evidentně nedovíraly po celé jejich délce, viz vyšetření HSV a VKG. Intervaly přiřazené známám 2 až 4 byly u některých vyšetření určeny interpolací. Každý analyzovaný vzorek byl ohodnocen dle výsledku jednotlivých vyšetření a jako výsledná známka byl vybrán jejich průměr.

Následně byl hledán empirický předpis znaleckého hodnocení pomocí prvních šesti normovaných amplitud koeficientů Fourierovy řady. Realizována byla řada pokusů a nakonec se pozornost soustředila na regresní modely.

Jako výsledný byl nakonec použit model typu:

$$\text{SCORE} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^6 \alpha_i \lg(a[i]), \quad (3.5)$$

kde \lg je přirozený logaritmus. Pro odhad koeficientů α_i byl zvolen standardní postup lineární regrese, viz [1], str. 404 a následující.

Výsledný SCORE model je ve tvaru:

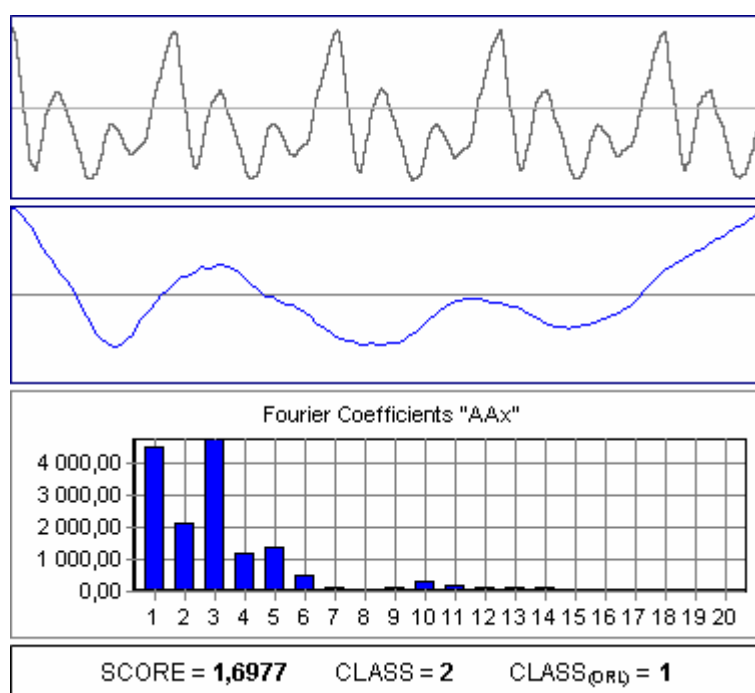
$$\begin{aligned} \text{SCORE} = & 1,0789 * \lg(a[1]) - 0,0864 * \lg(a[2]) - 0,4306 * \lg(a[3]) - 0,2736 * \lg(a[4]) - \\ & - 0,0971 * \lg(a[5]) - 0,1905 * \lg(a[6]) + 0,7629 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Tento SCORE model byl sestaven pro 509 znalecky ohodnocených záznamů hrtanového tónu bez rozdílu diagnóz, pohlaví, věku a intenzity fonace. Zajímala nás tedy pouze a jen pouze kvalita závěru glottis odvozená z daného záznamu.

3.4 Ilustrace použití SCORE modelu

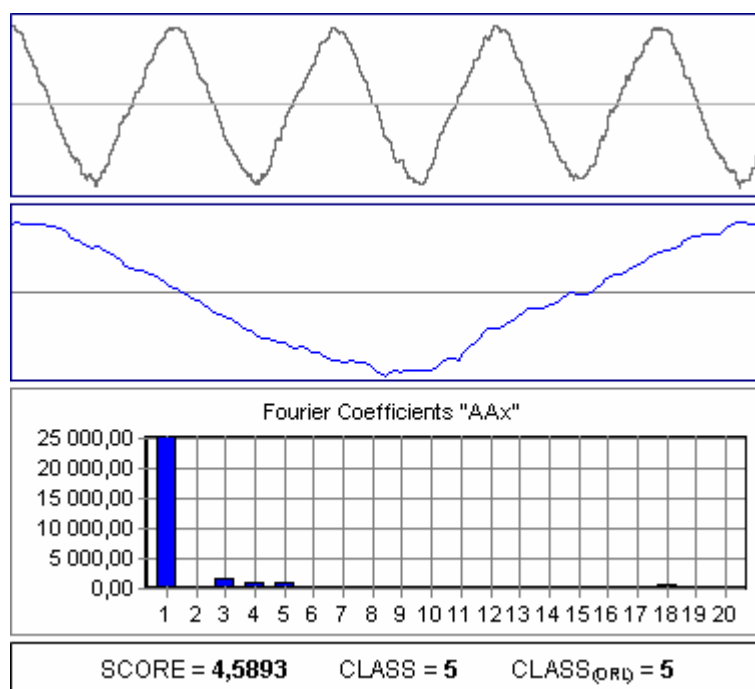
K ilustraci metody jsou uvedeny výsledky několika hlasových vzorků různých diagnóz, bez rozdílu věku a pohlaví pacienta, které souvisí s kvalitou závěru glottis. Na obrázcích je vždy zobrazen průběh naměřeného signálu, jedna analyzovaná vybraná perioda základního hrtanového tónu, graf hodnot Fourierových koeficientů Ax a ohodnocení kvality závěru glottis. Toto ohodnocení obsahuje vypočítané SCORE podle vztahu 3.6, stanovení klasifikačního stupně CLASS podle výsledku SCORE a znalecké ohodnocení $CLASS_{(ORL)}$.

Na obr. 4 je příklad, který reprezentuje záznam hrtanového tónu velmi dobrého závěru glottis. Tento záznam odpovídá záznamu signálu a snímekům VKG a HSV prezentovaným na obr. 1. Záznam byl pořízen při silné fonaci.



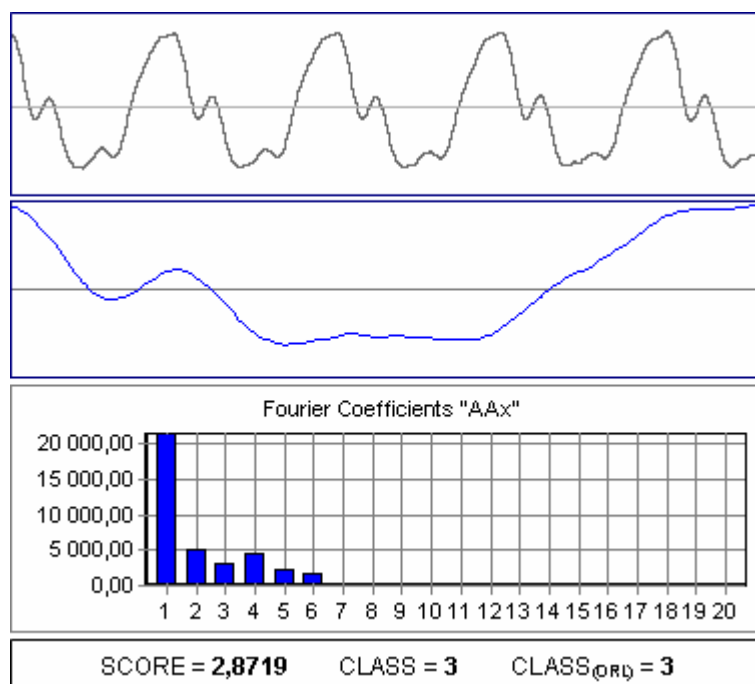
Obr. 4: Příklad velmi dobrého závěru glottis.

Patologickým příkladem je paréza zvratného nervu, viz obr. 5, který koresponduje se záznamem signálu a snímky VKG a HSV, uvedenými na obr. 2 tohoto textu. Jedná se o závěr glottis s výraznou nedomykavostí. Podobného výsledku bylo dosaženo při všech stupních síly fonace, resp. pacient nebyl schopen výrazně měnit sílu fonace.



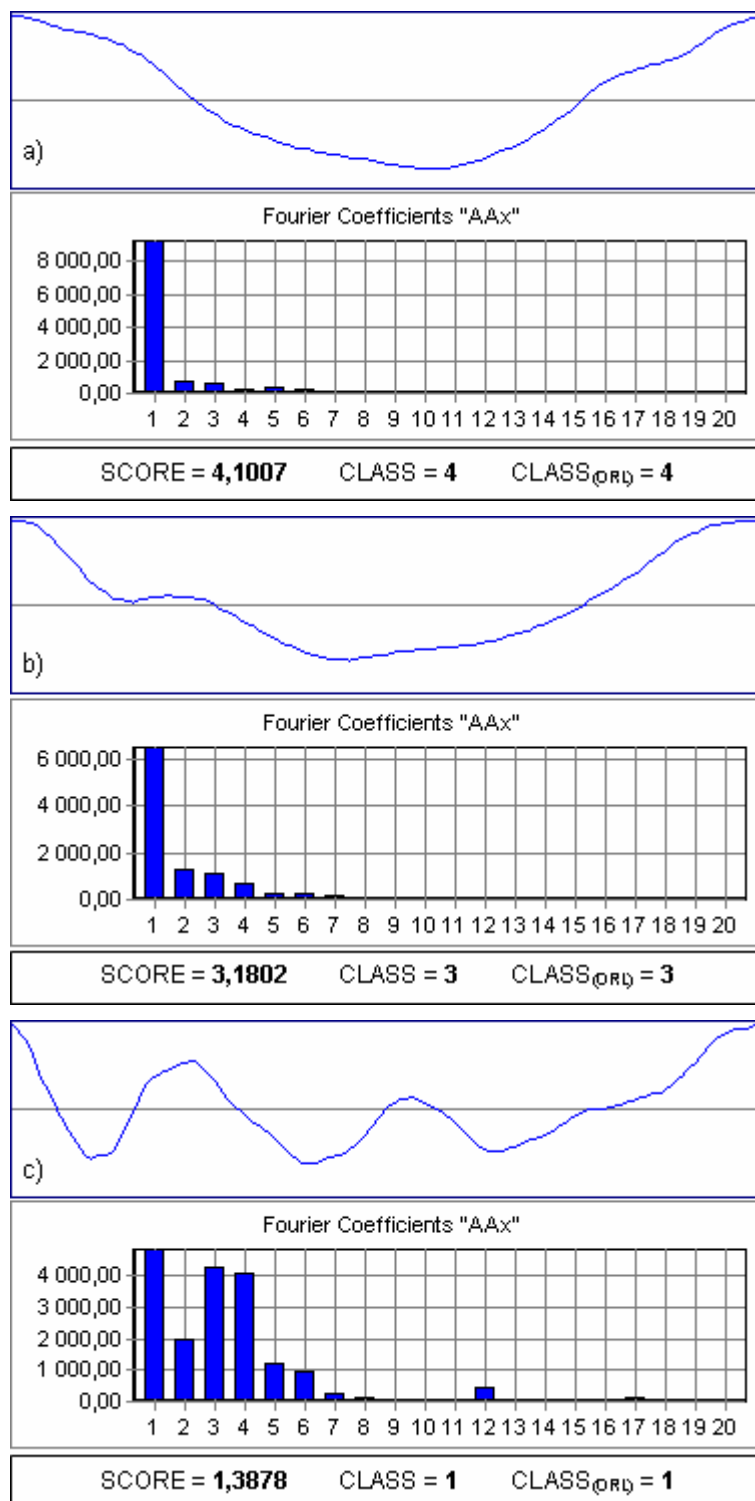
Obr. 5: Příklad záznamu hrtanového tónu při nedomykavosti závěru glottis pro případ parézy zvratného nervu.

Jiným patologickým příkladem je záznam hrtanového tónu u pacienta s parézou zvratného nervu vlevo, viz obr. 6. Tento záznam byl opět pořízen při silné fonaci.



Obr. 6: Příklad nedomykavosti závěru glottis pro parézu zvratného nervu vlevo.

Pro ilustraci výsledků ohodnocení kvality uzávěru glottis při různé síle fonace jsou na obr. 7 uspořádány výsledky měření jednoho pacienta, které navazují na obr. 3.



Obr. 7: Příklad vlivu síly fonace na kvalitu závěru glottis u jednoho pacienta:
 a) tichá fonace;
 b) středně silná fonace;
 c) silná fonace.

3.5 Testování modelu SCORE a dosažené výsledky

Vlastnosti navrženého SCORE modelu byly testovány nad srovnávací množinou záznamů, které nebyly zahrnuty do trénovací množiny použité pro odhad koeficientů SCORE. Jednalo se celkem o 116 testovaných znalecky ohodnocených záznamů. Test byl prováděn podle stejných podmínek jako stanovení SCORE, tj. bez rozlišení diagnózy, pohlaví, věku a intenzity fonace.

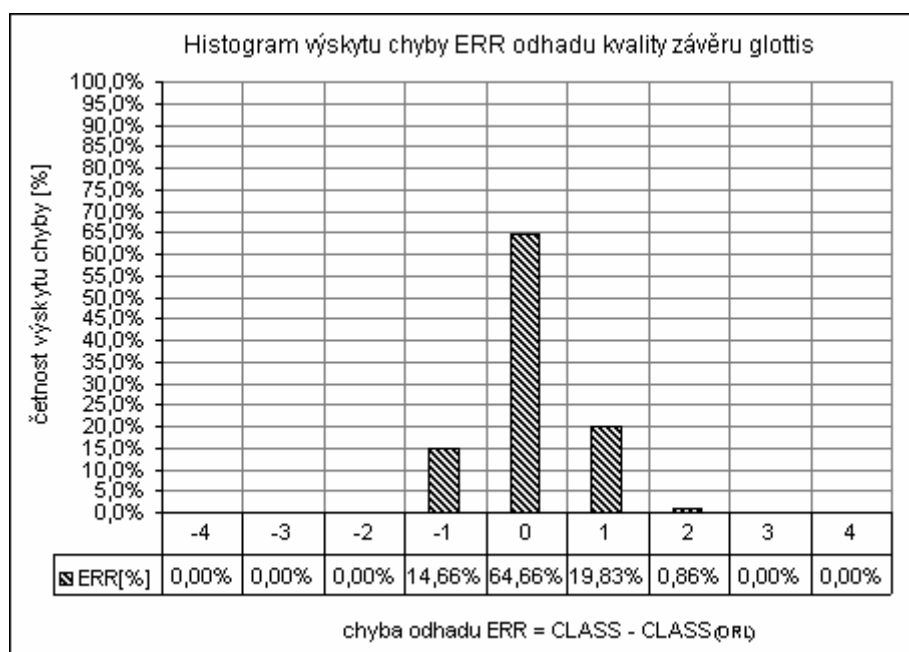
Znalecké subjektivní ohodnocení $CLASS_{(ORL)}$ bylo porovnáno s vypočítanou hodnotou SCORE a z něj odvozeného klasifikačního stupně CLASS. Pro chybu ERR odhadu hodnocení kvality hlasivkového uzávěru pak platí:

$$ERR = CLASS - CLASS_{(ORL)}. \quad (3.7)$$

Pro vztah 3.7, který má význam chyby odhadu, platí následující interpretace:

- $ERR > 0$... klasifikátor vyvolává planý poplach;
- $ERR < 0$... klasifikátor propásl špatný, resp. horší závěr glottis, vzhledem ke znaleckému hodnocení $CLASS_{(ORL)}$.

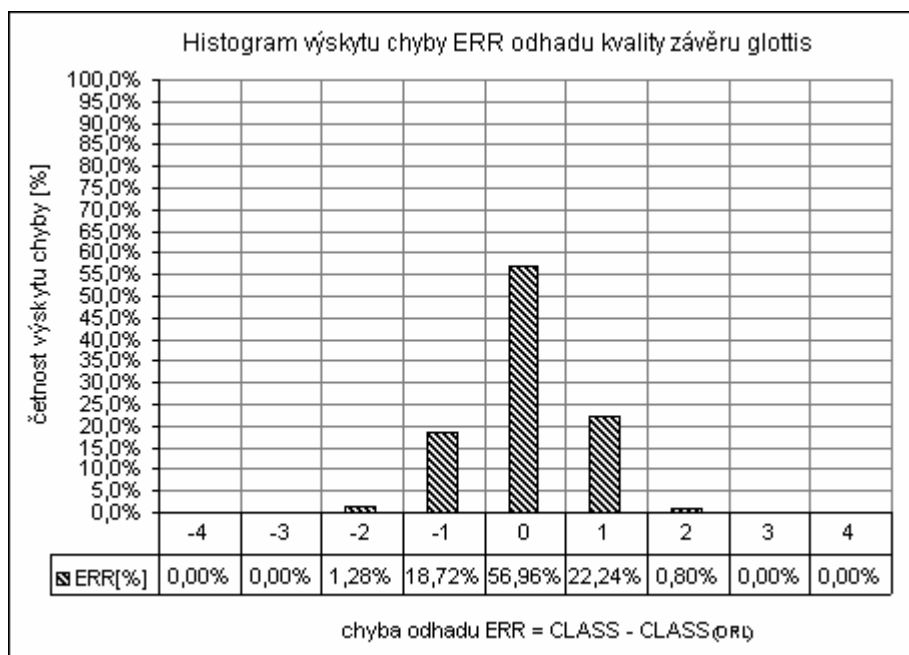
Výsledek srovnávacího testu je zobrazen pomocí histogramu chyby ERR odhadu kvality závěru glottis, viz obr. 8.



Obr. 8: Histogram četnosti výskytu chyby ERR odhadu hodnocení kvality závěru glottis pomocí SCORE pro testovací soubor v rozsahu 116 znalecky ohodnocených záznamů.

Poznámka: nesouhlas v součtech u procentního zobrazení je dán zaokrouhlením procentních hodnot na dvě platná místa.

Pro celkový přehled ještě uvádíme výsledky srovnávacího testu SCORE pro úplný, v současné době dostupný a znalecky ohodnocený soubor 625 záznamů. Výsledky jsou opět shrnuty do histogramu výskytu chyby ERR odhadu kvality závěru glottis na obr. 9.



Obr. 9: Histogram četnosti výskytu chyby ERR odhadu hodnocení kvality závěru glottis pomocí SCORE pro úplný soubor 625 znalecky ohodnocených záznamů.

Poznámka: nesoulad v součtech u procentního zobrazení je dán zaokrouhlením procentních hodnot na dvě platná místa.

POZNÁMKY:

- Použité SCORE je „opatrné“ v hodnocení kvality závěru glottis, tj. procento „promeškaných diagnóz“ je mírně nižší než procento „planých poplachů“.
- V případech $|ERR| > 1$ bylo znalecké hodnocení podrobena další analýze a ve většině případů vedlo na korekci ex-post směrem k výsledku hodnocení podle SCORE (analýza MDVP, HSV, VKG, VRP). Tato korekce ex-post však nebyla v žádném případě zohledněna při odhadu parametrů SCORE a v prezentaci dosažených výsledků. To kvůli testu robustnosti předkládané metody.

4. Podmínky vyšetření

Pro vyšetření se používá elektretový nebo kondenzátorový měřicí mikrofon. Vzhledem k tomu, že tato metoda nevyžaduje absolutní hodnoty měření (sledovaný průběh se během zpracování normalizuje), nejsou vzdálenost mikrofonu od úst pacienta a nastavení zesílení mikrofonního zesilovače kritické (až na extrémní polohy je metoda umí kompenzovat). Jedinou limitující podmínkou je získání průběhu periody bez poruch způsobených okolním prostředím. Při měření je zaznamenána dlouhodobá fonace české samohlásky „a“, viz např. obr. 4. Samohláska „a“ byla vybrána záměrně, protože je jednak nejčastěji používána, ale hlavně generuje reprezentativní tvar přechodového děje jako odezvu na tlakový puls. Vhodné tvary mají i samohlásky „o“ nebo „u“, zcela nevhodné jsou pak samohlásky „e“ a „i“, viz [8]. Akustický signál vzniklý fonací je vzorkován standardní vzorkovací frekvencí 44 100 Hz a bipolárně kvantován s rozlišením 16 bitů. Při analýze záznamu, tj. stanovení SCORE a následně klasifikačního stupně CLASS, je vybrána jedna perioda základního hrtanového tónu, která je speciálně vytvořeným programovým vybavením podrobena Fourierově analýze, je vypočítáno SCORE a navržen klasifikační stupeň kvality závěru glottis CLASS, viz kap. 3.

Z výše uvedeného vyplývá, že je tato metoda omezena na zpracování záznamů, u kterých je možno spolehlivě určit periodu kmitu hlasivek. Při hodnocení period, které obsahují větší množství šumu (vyšší hodnota NHR, tj. přibližně převrácená hodnota signál/šum, viz multidimenzionální analýza MDVA), může dojít ke zkreslení hodnocení.

5. Závěr

Navržená metoda dovoluje ohodnotit podle empirické stupnice kvalitu závěru glottis. Metoda je poměrně jednoduchá, minimálně zatěžuje pacienta a v současné době je snadno realizovatelná. Výsledkem hodnocení je jednoznačné přiřazení - číselná hodnota. Tuto hodnotu, která charakterizuje okamžitý stav závěru glottis, lze použít jako jeden z možných příznaků při stanovení diagnózy hlasové poruchy. Při hlasové rehabilitaci nebo jiné terapii, může být časová posloupnost těchto hodnot měřítkem úspěšnosti léčby. Vedlejším produktem je frekvenční spektrum, které určitým způsobem vypovídá společně s tvarem periody základního hrtanového tónu o kinematice hlasivek. Při interpretaci výsledků je dobré dát tyto výsledky do souvislosti s výsledky dalších, zejména popisných vyšetřovacích metod, jsou-li k dispozici. To proto, že tato metoda stejně jako většina akustických metod má zobecňující (filtrující, příznakový) charakter, tj. dokáže určit a ohodnotit přítomnost nějakého jevu, ale nedokáže vždy určit místo na zkoumané struktuře, kde jev proběhl. Nepříliš, leč v extrémních polohách, je dalším omezením pro použití této metody kvalita analyzovaného vzorku.

PODĚKOVÁNÍ:

Při této práci byly použity záznamy z vysokorychlostní kamery, které nám dala k dispozici MUDr. Monika Vohlídková, ORL klinika FN Plzeň. Za to jí na tomto místě co nejvřeleji děkujeme.

7. Použitá literatura

- [1] **HÁTLE, J., LIKEŠ, J.:** Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. SNTL Praha, 1974.
- [2] **KUBÍK, S., KOTEK, Z., STREJC, V., ŠTECHA, J.:** Teorie automatického řízení I., Lineární a nelineární systémy. TKI-SNTL, Praha, 1982.
- [3] **KUFNER, A., KADLEC, J.:** Fourierovy řady. ACADEMIA Praha, 1969.
- [4] **NOVÁK, A.:** Foniatrie a pedaudiologie II. UNITISK spol. s r.o., Praha, 1996.
- [5] **RAO, C. R.:** Lineární metody statistické indukce a jejich aplikace. ACADEMIA Praha, 1978.
- [6] **RÉNYI, A.:** Teorie pravděpodobnosti. ACADEMIA Praha, 1972.
- [7] **ŠVEC, G. J.:** Fyziologická akustika zpěvního hlasu: Nový pohled na starý problém. 60. akustický seminář & 36. akustická konference, Kouty, 2000, edited by O. Jiříček. Praha ČVUT & Česká akustická společnost, ISBN 80-01-02179-3.
- [8] **ŠVEC, J.:** Studium mechanicko-akustických vlastností zdroje lidského hlasu. dizertační práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 1996.
- [9] **ZHANG, D., LU, G.:** A Comparative Study of Fourier Descriptors for Shape Representation and Retrieval. The 5th Asian Conference on Computer Vision, Melbourne, Australia, 2002.