

AKUSTICKÉ ANALÝZY PORUCH HLASU A ŘEČI U ONEMOCNĚNÍ CENTRÁLNÍ NERVOVÉ SOUSTAVY

Roman Čmejla, Jan Rusz

Abstrakt

Řada onemocnění centrální nervové soustavy (CNS) je doprovázena poruchami hlasu a řeči, často již od brzkých stádií nemoci. U pacientů s poruchami komunikačních schopností je tak negativně ovlivněna kvalita jejich života jak v sociální tak i v pracovní oblasti. Pacienti mají problémy s uplatněním na trhu práce a také stoupají náklady na jejich zdravotní péči, což má v důsledku negativní dopad na národní ekonomiku.

Mezi nejčastější projevy komunikačních poruch pacientů s CNS patří koktavost, dysartrie a dysfázie. Pro hodnocení míry hlasových a řečových poruch používáme akustické analýzy, které představují kvantitativní, objektivní a přesný nástroj využitelný při diagnostice, pro sledování efektů léčby, stanovení míry progresu nemoci i při terapii řeči.

Onemocnění CNS bývají doprovázena poškozením některých aspektů řeči, mezi něž patří fonace, artikulace, respirace a prozodie. V raných stádiích nemoci bývají ovlivněny pouze některé aspekty, ve vyšších jsou pak často ovlivněny již všechny. Jako fonace se označuje proces vytváření zvuku v hlasivkách; respiraci rozumíme proces dýchání, který je nezbytný k produkci řeči; artikulace představuje vytváření hlásek pomocí pohybu mluvidel; a prozodie zahrnuje zvukové vlastnosti jazyka, které se uplatňují na vyšší lingvistické úrovni, než jsou jednotlivé fonémy (fráze, tvar vět, přízvuk).

Neboť v současnosti je diagnostika komunikačních poruch založena především na subjektivních poslechových testech, předpokládáme, že aplikace nových automatických algoritmů digitálního zpracování signálů přispěje k lepší diagnostice, rehabilitaci a následnému snížení ceny poskytované zdravotnické péče u pacientů s různými poruchami řeči a hlasu nejen v rámci onemocnění CNS.

Cílem příspěvku je rozbor tradičních a nových diagnostických a terapeutických metod a technik založených na neinvazivním měření řečového signálu.

Klíčová slova

Základní frekvence, formanty, poruchy hlasu, patologická řeč, onemocnění CNS

1. Úvod – základní pojmy

Hlas a řeč jsou vytvářeny proudícím vzduchem vycházejícím z plic a prostupujícím hlasivkovou šterbinou mezi hlasovými vazami, které se příčně rozechvívají, do dalších vzduchových prostorů skládajících se z hltanu, ústní dutiny a nosní dutiny.

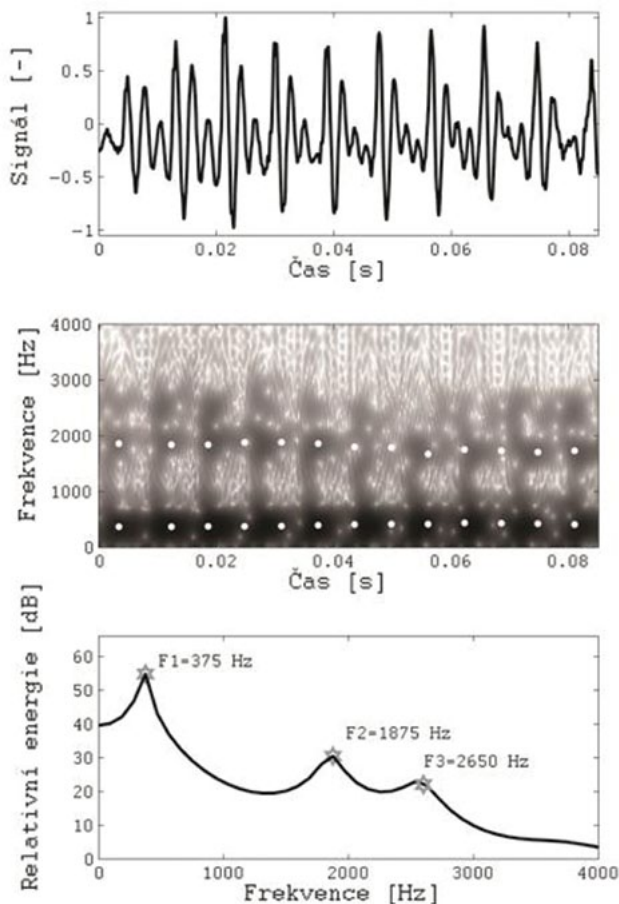
Veliká proměnlivost zvuku lidského hlasu je dána značným rozsahem možných změn síly proudu vzduchu (úměrné hlasitosti či energii signálu), napětí hlasivek, šířka a tvaru hlasivkové štěrbiny (podílí se na výšce a rozsahu základního tónu hlasu F_0) a také na velikosti a tvaru vzduchových prostorů (jsou rozhodující pro barvu a artikulaci zvuků a odráží se do velikosti rezonančních frekvencí, tzv. formantů F_1 , F_2 a F_3).

Změny v rychlosti kmitání hlasivek vnímáme tedy jako změny v základní periodě hlasivkového tónu T_0 , resp. v základní frekvenci F_0 . Základní perioda je ovlivněna vlastnostmi hlasivek (jejich pružností, hmotností a délkou). Typický rozsah základního hlasivkového tónu v řeči je mezi 80 až 180 Hz u mužů, 160 až 360 Hz u žen a 200 až 500 Hz u dětí. Rozsah mluvené řeči bývá polovina oktávy, u zpěvu dvě oktávy a u profesionálů tři oktávy. Nejčastěji používanou metodou detekce základní periody hlasivkového tónu bývá autokorelační funkce. Pro analýzu hlasu pro diagnostické účely však potřebujeme znát přesné odchylky v délce jednotlivých period (frekvenční nestabilitu – jitter) a odchylky ve velikosti maximálních amplitud v jednotlivých periodách (amplitudovou nestabilitu – shimmer). Pro tyto účely není použití samotné autokorelační funkce možné, proto detekční algoritmy probíhají ve více iteracích a detailně analyzují tvar vlny.

Formanty jsou energeticky významné frekvence, které odpovídají rezonančním frekvencím hlasového ústrojí. Pro přesnost artikulace samohlásek jsou nejdůležitější první dva až tři formanty (viz Obr. 1). Typické hodnoty prvních formantů českých samohlásek u mužů bývají pro /I/ 300 až 500 Hz, pro /E/ 480 až 700 Hz, pro /A/ 700 až 1100 Hz, pro /O/ 500 až 700 Hz a pro /U/ 300 až 500 Hz. Pro druhý formant jsou frekvence pro /I/ 2000 až 2800 Hz, pro /E/ 1550 až 2100 Hz, pro /A/ 1100 až 1500 Hz, pro /O/ 850 až 1200 Hz a pro /U/ 600 až 1000 Hz. Základem detekčních metod formantových frekvencí bývá autoregresní modelování nebo kepstrální analýza. Získání formantových trajektorií však vyžaduje následné použití sofistikovanějších metod (adaptivní filtrace, neuronové sítě, atd.). Automatickým vyhodnocením formantových frekvencí se často zabýváme při hodnocení správnosti artikulace. Určitou zajímavostí je takzvaný pěvecký formant, kdy školený operní zpěv se liší od naivního zpěvu významným zvětšením objemu rezonančních prostor nad hlasivkami a to všemi směry nahoru a dolů, dopředu i dozadu a v důsledku toho dochází ke sblížení až propojení 3 původně oddělených rezonancí vokálního traktu (3., 4. a 5. formantu) a k navýšení akustické energie v oblasti kolem 3 kHz až o 20 dB.

Od narození až do dospělosti se délka vokálního traktu prodlužuje přibližně na dvojnásobek, tudíž se výrazně mění geometrické proporce jednotlivých tkání relativně k délce vokálního traktu (zakřivení v oblasti nosohltanu, sestupují hrtan a příklopka hrtanová a dochází k poklesu zadní části jazyka). Také různé struktury vokálního ústrojí dorůstají v různém věku dospělých rozměrů (od 7 do 18 let věku). To vše způsobuje věkovou závislost akustických parametrů (např. základního tónu F_0 , formantových frekvencí F_1 a F_2 ,

sibilantů – posun spektrálního těžiště /s/ i parametry popisující srozumitelnost řeči). Rovněž u starších osob lze sledovat věkovou závislost základních parametrů hlasu a řeči, kdy např. u mužských hlasů dochází ke zvýšení frekvence základního hlasivkového tónu a naopak u žen k jeho poklesu.



Obrázek 1 — Znárodnění formantů F1, F2 a F3 u zdravého jedince mužského pohlaví

Poruchy komunikačních schopností mají silně negativní efekt na náš každodenní život v sociální i pracovní oblasti. Cena zdravotnické péče zároveň se zhoršením uplatnitelnosti na trhu práce pro lidi s řečovými poruchami má zásadní dopad na národní ekonomiku. Tyto okolnosti indikují, že poruchy komunikace jsou jedním z největších medicínských úkolů vědy 21. století (Ruben, 2000).

Existuje řada důkazů, že onemocnění centrální nervové soustavy (CNS) mají negativní efekt na řeč postižených osob, dokonce již od brzkých stádií nemoci. Tato onemocnění CNS ovlivňují jednotlivé aspekty řeči, kterými jsou fonace, artikulace, respirace a prozodie. Jako fonace se označuje proces vytváření zvuku v hlasivkách. Respirací rozumíme proces dýchání, který je nezbytný k produkci řeči. Artikulace je vytváření hlásek pomocí pohybu mluvidel a prosodie zahrnuje zvukové vlastnosti jazyka, které se uplatňují na vyšší lingvistické úrovni, než jsou jednotlivé fonémy (fráze, tvar vět, přízvuk).

Mezi jedny z nejběžnějších projevů poruch komunikace u nemocných CNS patří koktavost, dysartrie a dysfázie. Koktavost je chronická porucha plynulosti řeči neznámé příčiny, která se vyskytuje asi u 1% populace (v Čechách až 4% populace) a projevuje se mnohočetným opakováním slov či částí slov, zvýšeným počtem pauz a strachem z mluveného projevu. Parkinsonova nemoc (PN), jejíž výskyt je až 2% u populace starší 65 let, je způsobena nadměrnou ztrátou nervových buněk produkujících dopamin. Důsledkem nedostatku dopaminu v mozku vznikají poruchy hybnosti. Vedle charakteristických motorických příznaků PN jako je bradykineze, rigidita, porucha stoje a chůze a klidový třes, dochází u 70–90% pacientů k rozvoji poruchy řeči označované jako hypokineticá dysartrie, která může být jedním z prvních indikátorů nemoci. Vývojová dysfázie je porucha postihující vývoj řeči, jejíž etiologie sahá od doby těhotenství (toxické poškození plodu), přes dobu porodu (porodní trauma), po dobu postnatální (prodloužená novorozenecká žloutenka). U dětí s vývojovou dysfázií dochází k postižení různých aspektů řečového projevu.

Akustické analýzy jsou kvantitativní, objektivní a přesný nástroj pro hodnocení míry hlasových a řečových poruch a mohou být užitečným nástrojem pro podporu při diagnostice, při sledování efektů léčby a při stanovení míry progresu nemoci (Kent et al., 1999). Zavedení automatických algoritmů digitálního zpracování signálů (DSP, digital signal processing) by mohlo zásadně přispět ke zlepšení rehabilitace pacientů s onemocněními CNS. S využitím těchto hodnotících metod může řeč sloužit jako „biomarker“ pro diagnózu a vzdálené monitorování nemoci (Harel et al., 2004) a tím snížit cenu poskytované zdravotnické péče pro tyto osoby (Hartelius and Svensson, 1994).

2. Poruchy hlasu a jejich hodnocení

Klasické členění rozděluje poruchy hlasu na *organické* a na *funkční*. Organické poruchy bývají podloženy patologickým nálezem na hlasovém ústrojí, například záněty, nádory, parézy a úrazy hrtanu, hormonální poruchy a vrozené anomálie hrtanu. Mezi funkční poruchy hlasu se řadí poruchy z přemáhání, psychogenní poruchy a hlasové neurozy. U některých funkčních poruch lze také nalézt charakteristické organické změny na hlasivkách (např. uzlíky), avšak až po určité době chybného používání (přemáhání) hlasu.

Subjektivní metody hodnocení hlasu, ať už lékařem či pacientem, jsou v logopedii i v neurologii velmi často používané. Ačkoliv se lze setkat s velikou

růzností dotazníků subjektivního hodnocení, jejich podstata bývá velmi podobná. Např. pacient s poruchou hlasu vyplňuje odpovědi na 30 různých otázek podle svých pocitů na stupnici: nikdy (0), téměř nikdy (1), čas od času (2), téměř vždy (3), vždy (4). Z výsledného součtu jednotlivých pacientových odpovědí vyplyne závěrečné hodnocení: 0–30 minimální potíže s hlasem, 31–60 střední potíže (uzlíky, polypy, atd.), 61–120 vážné poškození hlasu (paresy atd.). Pro subjektivní testování experty (lékaři, logopedi), se v závislosti na tradici odborného pracoviště používají nejrůznější stupnice, např.: normální hlas (0), zastřený hlas (1), mírná dysfonie (2), středně těžká dysfonie (3), těžká dysfonie (4), afonie (5), bezhlasí po odstranění hrtanu (6). Při jiných testech se při subjektivním testování hodnotí např. chraptavost (drsnost), dyšnost, napětí, slabost, výška hlasu, hlasitost a z nich se usoudí na celkovou poruchu.

Objektivní metody hodnocení hlasu jsou zpravidla založeny na hodnocení fonetogramu (měření hlasového pole zpěvního a mluvního hlasu) a na akustických analýzách. Mezi tradiční akustické analýzy patří: hodnocení fonace u prodloužených samohlásek (shimmer, jitter, noise-to-harmonics ratio), artikulace (formantové charakteristiky, vokální oblast, voice onset time) a prosodie (variace hlasitosti a intonace, artikulární rychlost, charakteristiky pauz, plynulost řeči). Tyto různé řečové charakteristiky jsou pak u pacientů s poruchou řeči obvykle srovnávány s výkony zdravých jedinců. V současné době je bohužel stále nedostatek robustních algoritmů, a proto je většina těchto parametrů ve výzkumné či klinické praxi analyzována „ručně“ s využitím různých programů pro zpracování řečových analýz. Takto prováděné analýzy jsou však časově velmi náročné, a proto je jejich zavádění do klinické praxe značně složité.

V současnosti je dostupná řada softwarových produktů pro hodnocení hlasu (Boersma and Weenink, 2001; Kay Elemetrics, 2003), bohužel algoritmy použité v těchto softwarech vyžadují uživatelskou kontrolu správnosti provedených analýz.

3. Poruchy řeči a jejich hodnocení

Porozumění řeči je lokalizováno především v zadní části korové oblasti, tzv. Wernickeově centru. Poruchy v této oblasti vedou k senzorické afázii. Pacienti sice mluví plynule, ale často nesrozumitelně, což si vzhledem k poruše porozumění řeči neuvědomují. Nerozumí ani komplikovaným větám nebo přečtenému textu. Tvorba řeči se uskutečňuje především v Brocově centru, které je nadřazeno primárním řečovým centrům v motosenzorické kůře. Při poruchách Brocova centra trpí tvorba řeči. Pacienti nejsou schopni mluvit, nebo mluví jen telegraficky. Je-li porušena prováděcí řečová motorika, dochází k poruchám fonace (dysfonie a afonie), či artikulace (dysartrie).

Ačkoliv se poruchy hlasu a řeči vyskytují u celé řady onemocnění CNS, patofyziologie příčin vzniku a vývoje poruch řeči v rámci onemocnění zůstává vzhledem k současné světové literatuře neznámá (Benke et al., 2000; Schultz and Grant, 2000). Pro snadnější porozumění problematice zde uvedeme dva

příklady. Přestože původ poruch řeči u PN je obecně chápán jako motorický, v současné literatuře nebyly nalezeny téměř žádné důkazy o korelaci mezi motorickou stránkou nemoci a poruchami řeči (Schultz and Grant, 2000). Jako druhý příklad zde uvedeme nedostatek přesvědčivých důkazů o původu koktavosti, která je běžně asociována se zvýšeným množstvím dopaminu v mozku (Benke et al., 2000). Oproti koktavosti, PN vzniká s nedostatkem dopaminu v mozku. Pokud je tedy hypotéza vzniku koktavosti správná, mělo by u PN s nadměrnými dávkami levodopy (slouží ke zvýšení hladiny dopaminu v mozku) dojít ke zvýšení neplynulosti promluv. Potvrzení této hypotézy u PN by tedy přispělo i k objasnění příčin koktavosti. S využitím moderních metod akustických analýz může být tato ale i jiné hypotézy objasněny.

Diagnostické testování míry poruch řeči je v klinické praxi typicky založeno na poslechovém hodnocení odborníků (Dejonckere et al., 2001), tedy především na *subjektivních metodách*. Např. u dysartrií (sem patří Parkinsonova nemoc, amyotrofická laterální skleróza, a mnoho dalších neurologických onemocnění), kde jsou poruchy řeči charakterizované špatnou artikulací v důsledku onemocnění nervové soustavy, která brání kontrole například nad jazykem, hrdlem, rty či plícemi, je velmi rozšířené používání různých modifikací dysartrického 3F testu. Symbol 3F zde představuje testování tří kategorií – faciokineze (rty, čelist, jazyk), fonorespirace (respirace, respirace při fonaci, fonace) a fonetiky (artikulace, prozodie, srozumitelnost). Subjektivní testování pak spočívá v ohodnocení správnosti provedení 45 úkolů (v každé kategorii 15). Při správném provedení úkolu dostává pacient 2 body, při částečném 1 bod a při nesplnění 0 bodů. Výsledný součet pak udává míru postižení dysartrií.

V případech poruchy plynulosti řeči – koktavosti – si nemocní poruchu uvědomují a často trpí strachem z mluvení (logofobie). Porucha se vyskytuje po celém světě bez ohledu na vzdělání, rasu, či hospodářskou úroveň. V minulosti býval výskyt nemoci uváděn 0,5 až 1,5%, dnes až u 5% dětské populace. Výrazně častěji se porucha vyskytuje u mužů (až 8x častěji než u žen), u dvojčat (14,4% u jednovaječných, 22,7% u dvouvaječných), u leváků (22,5%), avšak její příčina dosud není známa. Určitou roli zde hraje dědičnost, negativní vliv sociálního prostředí a psychotraumata. Koktavost se v řečové promluvě může projevovat klony (repetice), tony (prolongace) a bloky uvnitř slov. V terapii je popisováno až 250 postupů, mezi úspěšnější patří terapie s pomocí zpětné vazby DAF (Delayed Auditory Feedback).

Příklad stupnice pro subjektivní hodnocení koktavosti (Rileyho škála): neplynulost se neprojevuje (0), je nepostřehnutelná, pokud se nezačne hledat (1), náhodným posluchačům je nepostřehnutelná (2), uvádí posluchače do rozpaků (3), velmi rozptyluje (4), je úporná a těžká (5). Dále je možné popisovat stupeň neplynulosti např. pomocí indexů vztažených na počet slov. Indexy stanovuje foniatr – každý je však často posuzuje jinak (někdy bývá shoda pouhých 60%), z čehož vyplývá velká potřeba objektivní metody pro posouzení vážnosti nemoci.

U *objektivního testování řečových promluv* se v poslední době řada inovativních studií pokouší o rozvoj analýz hlasu a řeči s využitím nových automatických metod na bázi rozpoznávání řeči (Middag et al., 2008), strojového učení (Henriquez et al., 2009) či akustického modelování (Bocklet et al., 2011).

V našem výzkumu objektivizace hodnocení patologických promluv soustřeďujeme úsilí na výzkum fonace, prosodie a artikulace. Prvotní výsledky, svědčící o původnosti a originalitě řešení, byly nedávno publikovány ve špičkových mezinárodních časopisech. Studie (Rusz et al., 2011a) se zabývá návrhem řady tradičních i původních algoritmů pro automatické hodnocení řeči, s jejichž pomocí bylo prokázáno, že poruchy řeči u PN jsou akusticky zachytitelné již v brzkých stádiích nemoci v době, kdy je pacientovi teprve stanovena diagnóza. Dalším významným výsledkem této práce, je potvrzení hypotézy, že poruchy řeči u PN se projevují individuálně a nemusí se tedy vyskytovat ve všech aspektech řeči, ale mohou být narušeny pouze některé. Tento nálezný poukazuje na důležitost komplexního přístupu a zkoumání všech klíčových aspektů řeči. Aplikací jednotlivých měření na různé typy řečových poruch pak můžeme získat důležité poznatky o jednom typu nemoci, které mohou vést k zásadnímu nálezu u jiného druhu onemocnění CNS. Navazující studie (Rusz et al., 2011b) se zabývá možnostmi diagnostiky. Studie prokázala, že již v brzkých stádiích nemoci je možné pacienty s PN oddělit od věkově srovnatelných mluvčích zdravé populace s přesností 85% a to pouze na základě dvouminutového řečového signálu. Výsledky této práce ukazují, že testy na bázi neinvazivních akustických měření mohou být využity jako nástroj pro „vytipování“ jedinců potenciálně ohrožených vznikem PN. Včasná diagnóza je přitom u řady onemocnění zásadní zejména z důvodu nutnosti rychlého zahájení léčby, která pak zásadně zvýší kvalitu života takto postižených osob.

V současné době pracujeme také na dalších tématech v oblasti patologie řeči. Prvotní výsledky některých z nich již byly prezentovány v českých recenzovaných časopisech a na mezinárodních konferencích – algoritmy pro automatické hodnocení vokálních parametrů u patologických hlasů (Bauer et al., 2011), automatická segmentace hlásek u rychlé artikulace (Novotný et al., 2011), analýzy promluv dětí s vývojovou dysfázií (Nejepsová et al., 2010), analýza a hodnocení českých sibilantů (Stranik and Čmejla, 2011) a nové metody pro hodnocení plynulosti řeči u koftavých (Lustyk et al., 2011). Např. metody objektivního hodnocení neplynulosti jsou založeny na analýze celé řady parametrů v časové i frekvenční oblasti zkoumající např. poměr ticha a řeči, počet úseků ticha a řeči, průměrnou délku ticha, počet hran energetické obálky, obsazení hladin řečového signálu, energii, znělost a výstup celé řady pravděpodobnostních detektorů náhlých změn.

Ve všech případech se jedná o návrhy původních algoritmů, metod a hypotéz, na kterých dále pracujeme, optimalizujeme je a na větších databázích ověřujeme jejich vhodnost.

4. Závěr

Výzkum v oblasti řečové patologie hraje zásadní roli v praktické i teoretické rovině a může napomoci při diagnostice a léčbě různých onemocnění CNS. Naším cílem je výzkum a vývoj nových diagnostických a terapeutických metod a technik založených na neinvazivním měření řeči. Tyto metody mohou přispět k lepšímu porozumění základních fyziologických principů nemoci, což může v důsledku vést i k celkovému zvýšení kvality života pacientů. Úspěšné řešení uvedené problematiky představuje vyřešení řady úloh z techniky a medicíny, tedy několika vědních oborů jako je akustika, digitální zpracování signálů, statistické zpracování dat a strojové učení, neurologie a logopedie.

Poděkování

Tato práce je podporována z grantů GAČR „Analýza hlasu a řeči pacientů s onemocněními centrální nervové soustavy“ (102/12/2230) a SGS „Akustické analýzy a nové metody hodnocení pro objektivizaci poruch hlasu a řeči u neurologických onemocnění“ (OHK4–003/12).

Literatura:

- [1.] Bauer, L., Ruzs, J., Čmejla, R., 2011. Hodnocení vokálních parametrů u patologických hlasů. *Akustické Listy* 17: 13–18.
- [2.] Benke, T., Hohenstein, C., Poewe, W., Butterworth, B., 2000. Repetitive speech phenomena in Parkinson's disease. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 69: 319–324.
- [3.] Bocklet, T., Riedhammer, K., Noth, E., et al., 2011. Automatic intelligibility assessment of speakers after laryngeal cancer by means of acoustic modelling. *J. Voice: in press*.
- [4.] Boersma, P., Weenink, D., 2001. PRAAT, a system for doing phonetics by computer. *Glott International* 5: 341–345. Dejonckere, P., Bradley, P., Clemente, P., et al., 2001. A basic protocol for functional assessment of voice pathology. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 258: 77–82.
- [5.] Harel, B.T., Cannizaro, M.S., Cohen, et al., 2004. Acoustic characteristics of Parkinsonian speech: A potential biomarker of early disease progression and treatment. *J. Neurolinguistics* 17: 439–453.
- [6.] Hartelius, L., Svensson, P., 1994. Speech and swallowing symptoms associated with Parkinson's disease and multiple sclerosis: A survey. *Folia Phoniatr. Logop.* 46: 9–17.
- [7.] Henriquez, P., Alonso, J.B., Ferrer, Met al., 2009. Characterization of healthy and pathological voice through measures based on nonlinear dynamics. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* 17: 1186–1195.
- [8.] Kay Elemetrics Corp., 2003. Multi-Dimensional Voice Program (MDVP): Software Introduction Manual. Lincon Park, Kay Elemetrics.
- [9.] Kent, R., Weismer G., Kent, J., et al., 1999. Acoustic studies of dysarthric speech: Methods, progress, and potential. *J. Commun. Disord.*, 32: 141–186.
- [10.] Lustyk, T., Bergl, P., Čmejla, R., Vokral, J., 2011. Change evaluation of Bayesian detector for dysfluent speech assessment. In *International Conference on Applied Electronics 2011, Pilsen, Czech Republic*, 231–234.

- [11.] Middag, C., Van Nuffelen, G., Martens, J.P., De Bodt, M., 2008. Objective intelligibility assessment of pathological speakers. In: Proc. Internat. Conf. On Spoken Language Processing (Interspeech 08), Brisbane, Australie, pp. 1745–1748.
- [12.] Nejepps, M., Janda, J., Čmejla, R., Vokral, J., 2010. Akustická analýza promluv dětí s vývojovou dysfázií. *Akustické Listy* 16: 4–8.
- [13.] Novotný, M., Rusz, J., Čmejla, R., 2011. Automatická segmentace hlásek při rychlém opakování slabik (/pa-/ta-/ka/) u hypokinetická dysartrie. *Akustické Listy* 18: in press.
- [14.] Ruben, R., 2000. Redefining the survival of the fittest: communication disorders in 21st century. *Laryngoscope*, 110, 241–245
- [15.] Rusz, J., Čmejla, R., Ruzicková, H., Ruzicka, E., 2011a. Quantitative acoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson's disease. *J. Acoust. Soc. Am.* 129: 350–367.
- [16.] Rusz, J., Čmejla, R., Ruzicková, et al., 2011b. Acoustic assessment of voice and speech disorders in Parkinson's disease through quick vocal test. *Mov. Disord.* 26: 1951–1952.
- [17.] Schulz, G.M., Grant, M.K., 2000. Effect of speech therapy and pharmacologic and surgical treatments on voice and speech in Parkinson's disease: a review of the literature. *J. Commun. Disord.* 33: 59–88.
- [18.] Stránil, A., Čmejla, R., 2011. Spectral approximations for sibilant classification. In *International Conference on Applied Electronics 2011, Pilsen, Czech Republic*, 385–388.

Kontakt:

Roman Čmejla

Jan Rusz

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra teorie obvodů

Technická 2

160 00, Praha 6