

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická**

Czech Technical University in Prague
Faculty of Electrical Engineering

doc. Ing. Roman Čmejla, CSc.

Hodnocení patologických promluv

Speech Pathology Assessment

Summary

Voice and speech disorders have a major impact on our daily lives in social and work areas, including a negative impact on the national economy. The acoustic analysis have unique potential as an objective, accurate, noninvasive, easy to implement and inexpensive method to accurately assess the type and degree of speech disorders.

Speech and voice assessments include research of standard and finding of new acoustic parameters; systematic production of unique extensive databases of patients and the corresponding control groups of healthy individuals; their labeling, acoustic-phonetic analysis, neurological, speech and phoniatic evaluation; development and optimization of new DSP algorithms and the design and realisation of expert evaluation systems.

The presented theses summarizes the current state of speech pathology assessment based subjective perceptual and objective acoustic analysis, show the latest results obtained in our research team, and possibilities of further development.

Souhrn

Poruchy hlasu a mluvené řeči mají zásadní vliv na náš každodenní život v sociální i pracovní oblasti včetně negativního dopadu na národní ekonomiku, přičemž akustické analýzy mají jedinečný potenciál jakožto objektivní, přesná, neinvazivní, jednoduše proveditelná a levná metoda pro přesné hodnocení typu a stupně řečových poruch.

Hodnocení promluv zahrnuje výzkum standardních a nových akustických parametrů; systematickou tvorbu rozsáhlých unikátních databází pacientů a příslušných kontrolních skupin zdravých jedinců; jejich labelování, akusticko-fonetické analýzy, neurologická, logopedická a foniatrická hodnocení; vývoj a optimalizaci nových DSP algoritmů a návrh a tvorbu expertních hodnotících systémů.

Předložená práce shrnuje současný stav hodnocení patologických promluv na základě subjektivních poslechových a objektivních akustických analýz, ukazuje nejnovější výsledky dosažené na našem pracovišti a možnosti dalšího vývoje.

Klíčová slova:

Hlas; řeč; subjektivní a objektivní hodnocení; prosodie; artikulace; fonace; detekce změn.

Key words:

Speech; voice; subjective and objective assessment; prosody; articulation; phonation; change detection.

Obsah

1.	Hlas a řeč	6
2.	Metody hodnocení hlasu a řeči	7
2.1	Subjektivní metody	7
2.2	Objektivní metody	10
3.	Automatické hodnocení patologických promluv	12
3.1	Detekce signálových změn	13
3.2	Hodnocení neplynulosti	15
3.3	Hodnocení artikulace	19
4.	Další původní metody hodnocení promluv	21
4.1	Automatická hodnocení	21
4.2	Akustické analýzy	23
5.	Závěr	25
6.	Literatura	26
6.1	Základní reference (kapitola 1. a 2.)	26
6.2	Vybrané publikace autora (kapitola 3. a 4.)	28
	doc. Ing. Roman Čmejla, CSc.	30

1. Hlas a řeč

Hlasem, nebo také vokalizací, se rozumí zvuk, který člověk a ostatní obratlovci vytváří pomocí plic a vokálního ústrojí. Hlas však nemusí představovat vždy jenom řeč. Hlasem je také např. dětské žvatlání a pobrukování; štěkot, bučení, vrčení, či mňoukání u zvířat; nebo smích, zpěv, a pláč u dospělých. Pro tvorbu hlasu (*fonaci*) je nezbytné dýchání (*respirace*), neboť hlas je vytvářen výdechovým proudem vzduchu z plic, přičemž hlasivky se přiblíží k sobě. Vytváří-li procházející vzduch dostatečný tlak, pak hlasivky vibrují, pokud ne, výsledkem je šepot. Tlak vzduchu v hlasovém ústrojí má tedy souvislost s hlasitostí.

Závažné poruchy hlasu postihují přibližně 3 % populace. Poruchy hlasu zahrnují problémy s tvorbou a s rozsahem základního tónu, jeho hlasitostí a kvalitou. Mnoho lidí s normálním mluveným projevem může mít problémy s hlasem a komunikací, neboť jejich hlasové ústrojí selhává. Tato situace nastává v případech, kdy nervy ovládající hlasivky a hrtan jsou postiženy následkem nehody, chirurgického zákroku, virovou infekcí, nebo rakovinou.

Převod základního hlasivkového tónu do srozumitelné řeči je umožněn pomocí *artikulace*, ke které může docházet na řadě míst vokálního ústrojí, např. rtech, zubech, patru, jazyku, hlasivkách, nosní dutině, uvule a čelistech. Řeč je artikulovaný zvukový projev člověka, sloužící především ke vzájemné komunikaci. Pomocí řeči tak můžeme vyjadřovat své myšlenky, pocity a představy. Všechny činnosti související s řečí jsou řízeny mozkem. V mozkové kůře se nachází centra řeči a odtud vycházejí složitě koordinované instrukce (signály) do svalů plic, hrtanu, jazyka a obličejů. Zvukové vlastnosti jazyka, které se uplatňují na vyšší lingvistické úrovni, než jsou jednotlivé fonémy (fráze, tvar vět, přízvuk), popisuje *prosodie*.

Poruchy řeči postihují přibližně 7 % obyvatelstva. U mnohých dospělých dochází k poruchám řeči v důsledku cévní mozkové příhody, poranění hlavy, demence, nebo nádoru na mozku. Závažné poruchy jsou také jedinců, u kterých nedošlo k normálnímu vývoji řeči pro mentální retardaci, autismus, sluchové postižení, případně kvůli jiným vrozeným či získaným postižením mozku.

Podobné změny, ke kterým dochází u lidského těla v důsledku stárnutí - kdy ubývá svalů a síly, přibývá tělesného tuku, zpomaluje se pohyb, dochází k degeneraci tkání - ovlivňují také hlas. Ve stáří se hlasivky stávají tužší a tenčí, což může vést k slabšímu a dyšnějšimu hlasu. Menší pružnost hlasového ústrojí může mít za následek redukci hlasového rozsahu a v důsledku změn v respiračním ústrojí se řeč může stát obtížnější. Řeč seniorů tak může provázet pomalejší tempo spojené s prodlužováním slabik a slov a větším počtem nádechových pauz. Ke snížené hlasitosti se může přidat hlasový tremor. Stárnutím se hrtan mužů mění více než u žen a tyto změny nastávají dříve. Základní perioda hlasu starších mužů má tendenci stoupat s věkem, zatímco základní perioda ženského hlasu zůstává stejná, případně se mírně snižuje. Ztráta sluchu u starších lidí může mít za následek hlasitější projev, který zpětně ovlivňuje stav hlasivek.

Pacienti s poruchami komunikačních schopností mají negativně ovlivněnou kvalitu svého života jak v sociální tak i v pracovní oblasti. Mívají problémy s uplatněním na trhu práce a také náklady na jejich zdravotní péči rostou, což má v důsledku negativní dopad i na národní ekonomiku HAR04.

2. Metody hodnocení hlasu a řeči

2.1 Subjektivní metody

Subjektivní hodnocení kvality jsou založená na kvantifikaci percepčního vjemu posluchače - lékaře či pacienta. Tyto metody jsou v logopedii i v neurologii velmi často používané. Ačkoliv se lze setkat s velkou růzností dotazníků subjektivního hodnocení, jejich podstata bývá velmi podobná.

Poruchy hlasu

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

neurózy. U některých funkčních poruch lze také nalézt charakteristické organické změny na hlasivkách (např. uzlíky), avšak až po určité době chybného používání (přemáhání) hlasu.

Při subjektivním hodnocení hlasu odpovídá pacient s poruchou hlasu např. 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.), více viz HOG99 a SVE09.

Pro subjektivní testování experty (lékaři, logopedi), se v závislosti na tradici odborného pracoviště používá nejrůznějších stupnic, např. REC79: normální hlas (0), zastřený hlas (1), mírná dysfonie (2), středně těžká dysfonie (3), těžká dysfonie (4), afonie (5), bezhlasí po odstranění hrtanu (6).

Pro subjektivní hodnocení chraptivosti bývá často používána metoda GRBAS (HIR81), která popisuje všechny aspekty chraptivého hlasu: G (grade - celkový dojem z hlasu), R (roughness - chraplavost, míra nepravidelnosti kmitání hlasivek), B (breathiness - dyšnost, míra šumové příměsi v hlase), A (esthenticity - slabost) a S (strain - napětí v hlase). Každý aspekt je hodnocen čtyřbodovou stupnicí v rozmezí 0-3 body, přičemž 0 bodů znamená, že daný aspekt není v hlasovém projevu přítomný, zatímco 3 body značí, že daný faktor je zastoupen v extrémní míře. Výsledné hodnocení je zapsáno například následovně: G₂R₁B₃A₁S₁. V Čechách se také používá modifikovaná metoda GRBT (DEB99) (kde T představuje tension - dojem spojený s hlasovou slabostí, nebo naopak s přemáháním hlasu).

Nevýhodou subjektivních měř je nutnost značné zkušenosti testujícího, která nezajistí stejné hodnocení totožné nahrávky s delším časovým odstupem, ani stejné hodnocení totožné nahrávky dvěma testujícími. Praxe však ukazuje, že zkušení testující jsou ve svém hodnocení značně konzistentní, avšak v řadě případů jsou při opakovaném poslechu přísnější (DEB97, KAR07).

Poruchy řeči

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).

Diagnostické testování míry poruch řeči je v klinické praxi typicky založeno na poslechovém hodnocení odborníků, tedy především na subjektivních metodách (DAR75, DEJ01, MCN09). Např. u dysartrií, kde jsou poruchy řeči charakterizované špatnou artikulací v důsledku onemocnění nervové soustavy, která brání kontrole například nad jazykem, hrdlem, rty či plicemi, je velmi rozšířené používání různých modifikací dysartrického 3F testu ROU11. Symbol 3F zde představuje testování tří kategorií – faciokineze (rty, čelist, jazyk), fonorespirace (respirace, respirace při fonaci, fonace) a fonetiky (artikulace, prosodie, 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 případě poruchy plynulosti řeči – koktavosti – si nemocní poruchu uvědomují a často trpí strachem z mluvení (logofobie), viz BLO95. 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 5% u 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 projevat klony (repetice), tony (prolongace) a bloky uvnitř slov. V terapii bývá popisováno až 250 postupů, mezi úspěšnější patří terapie s pomocí zpětné vazby DAF (Delayed Auditory Feedback).

Příklad stupnice pro subjektivní hodnocení koktavosti (Rileyho škála RIL09): 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 jsou stanovovány foniatrem. Protože je však často každý posuzuje jinak (někdy bývá shoda pouhých 60%), vyplývá z toho velká potřeba objektivní metody pro posouzení vážnosti nemoci.

2.2 Objektivní metody

Objektivní metody hodnocení hlasu bývají založeny na hodnocení fonetogramu (měření hlasového pole zpěvního a mluvního hlasu) a na akustických analýzách, které mohou být snadno použity pro přesné hodnocení typu a stupně řečových poruch, viz KEN99.

Nahrávky pro akustickou analýzu se pořizují v odhlučněné místnosti (< 45 dB), s použitím klopového kondenzátorového mikrofону s lineární frekvenční charakteristikou, umístěného přibližně 5 cm od úst. Vyšetřované osoby jsou požádány o provedení různých řečových úloh, velmi často následujícího typu, např.: (1) prodlouženou fonaci hlásky /a/ (jak je to jen možné); (2) rychlé opakování slabik /pa-/ta-/ka/; (3) referenční čtený text a případně řadu dalších obdobných úloh (udržované nazály, sykavky, zpěv, monolog, po dobu přibližně 90 sekund na určené téma, rozkazovací a tázací věty, a další). Pořizovaný materiál se může lišit s ohledem na cíl prováděné analýzy. Ze statistických důvodů jsou některé úlohy často také opakovány.

Analyzované akustické parametry můžeme rozdělit do kategorií popisujících jednotlivé aspekty řeči (*fonace, artikulace a prosodie*).

Hodnocení *fonace* se provádí na prodloužené fonaci samohlásek. Důležitým parametrem bývá délka samotné prodloužené fonace. Zpravidla se také hodnotí základní frekvence hlasivek, která odpovídá vnímané výšce hlasu. Důležitější, než samotná hodnota základního tónu, je pro analýzu hlasu její směrodatná odchylka, přičemž pro její výpočet se frekvence převádí na pultóny, čímž se eliminuje vliv pohlaví. Dalšími

důležitými parametry prozrazujícími hlasové patologie jsou kmitočtová (jitter) a amplitudová (shimmer) nestabilita základního tónu. Přítomnost šumu v patologických hlasech bývá vyjadřována pomocí různých definovaných energetických poměrů signál/šum. Úroveň znělosti fonace bývá hodnocena pomocí normované autokorelační funkce.

Pro posouzení artikulace může být požit monolog a opakování slabik exploze-samohláska. Důležitým parametrem je samohláskový artikulační index, počítaný z rezonančních frekvencí hlasového ústrojí (tzv. prvního a druhého formantu) během vyslovení samohlásek /a/, /i/ a /u/ v monologu. Na stav artikulačních schopností ukazují také parametry vyjmuté z explozív během opakování - délka přechodu od počátku exploze k samohlásce a rychlost a pravidelnost opakování slabik.

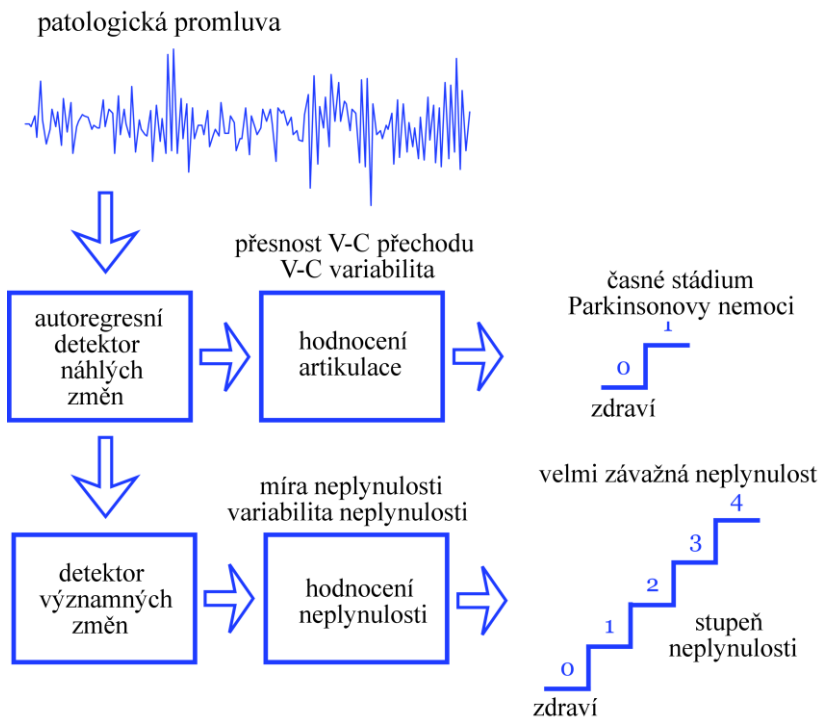
Pro hodnocení prosodie se používá opět monologu. Důležitými parametry pro hodnocení prosodie u dysartrií bývá některá z akustických charakteristik popisující průměrnou hlasitost a její směrodatnou odchylku, rozptyl frekvence základního tónu v půltónech a různé časové poměry řeč/pauza.

Většina objektivních parametrů ve výzkumné a klinické praxi bývá analyzována „ručně“, nejčastěji s využitím programů pro zpracování řečových analýz PRAAT (v akademickém výzkumu, viz BOE01) a Multidimensional Voice Program (na klinikách, viz KAY14). Takto prováděné analýzy jsou však časově velmi náročné, a proto je jejich zavádění do klinické praxe složité. Výsledky pořízené v uvedených programech vyžadují velmi pečlivou uživatelskou kontrolu správnosti provedených analýz.

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 (MID08), strojového učení (HEN09), či akustického modelování (BOC11).

3. Automatické hodnocení patologických promluv

Hodnocení patologických promluv zahrnuje kromě řady dalších úloh také vývoj a optimalizaci nových DSP algoritmů. Uvedenou problematiku ilustruje následující kapitola na příkladu použití detektoru změn pro automatické hodnocení stupně nepřynulosti a kvality artikulace, která byla publikována v práci CME13, viz obr. 1.



Obr. 1: Automatické hodnocení nepřynulosti a artikulace založené na detekci náhlých a významných změn

Hodnocení nepřynulosti řeči bylo testováno na čteném úryvku od 118 osob s různým stupněm závažnosti poruchy, zatímco hodnocení přesnosti artikulace bylo testováno na rychlém opakování slabik u 24 pacientů s časnou Parkinsonovou nemocí a 22 zdravých kontrolních mluvčích. Pro každý typ řečové poruchy byly navrženy dvě míry.

Zatímco neplynulost řeči (koktavost) je spojena s větší vzdáleností mezi spektrálními změnami, tak na přesnost dysartrické artikulace ukazuje velikost spektrálních změn - malé spektrální změny souvisí se špatnou artikulací. Tyto závěry jsou potvrzeny statisticky významnými rozdíly a významnou korelací mezi automatickým a subjektivním hodnocením.

3.1 Detekce signálových změn

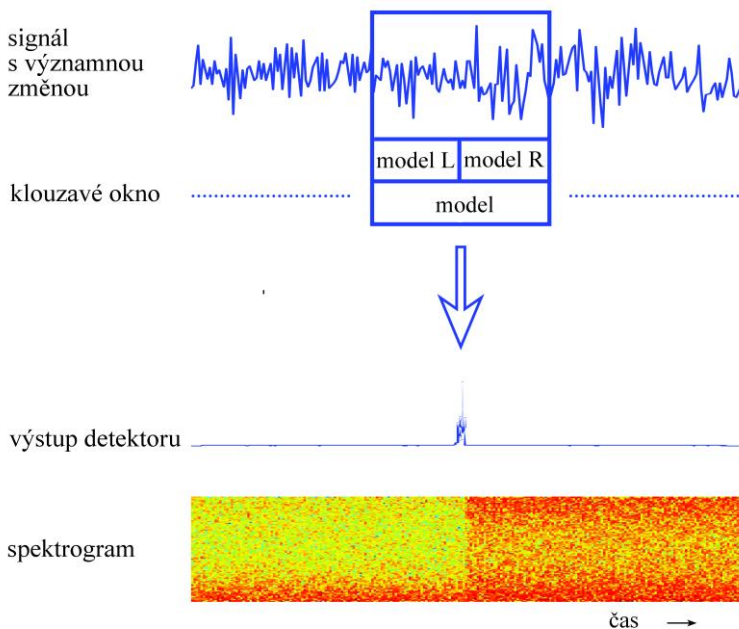
Pro hodnocení bylo použito autoregresního detektoru změn. Při odvození detektoru byl uvažován signál složený ze dvou úseků, popsáný dvěma různými autoregresními modely, mezi nimiž byla hodnocena velikost změny. Analytickým řešením Bayesova teorému lze nalézt vztah, který je funkcí pouze analyzovaných dat, jejich délky a řádu autoregresních modelů. Místo s největší změnou v signálu je pak určeno maximální pravděpodobností, která se vypočítá z odvozeného vztahu. Obsahuje-li však signál více změn, pak odvozený vztah nelze přímo použít. Tento předpoklad jediné změny bývá v praxi velmi omezujícím, neboť v řečovém signálu je vždy přítomno více změn. Nevýhodu však lze překonat výpočtem pravděpodobnosti v klouzavém okně pevné délky a použitím normování. Pravděpodobnost změny se počítá pro vzorek signálu ležícího uprostřed okna, viz obr. 2. Jinými slovy, výstup algoritmu je jakousi mírou nepodobnosti mezi signálem v levé a pravé polovině okna, ve kterém celý signál vzorek po vzorku procházíme dle následujícího vztahu:

$$p(\{m\} | \mathbf{x}, M) \approx \frac{\left(\mathbf{x}^T \mathbf{x} - \mathbf{x}^T \mathbf{G}_A (\mathbf{G}_A^T \mathbf{G}_A)^{-1} \mathbf{G}_A^T \mathbf{x} \right)^{\frac{-(N-M_1-M_2)}{2}}}{\sqrt{\det(\mathbf{G}_A^T \mathbf{G}_A)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\det(\mathbf{G}_E^T \mathbf{G}_E)}} \cdot \frac{\left(\mathbf{x}^T \mathbf{x} - \mathbf{x}^T \mathbf{G}_E (\mathbf{G}_E^T \mathbf{G}_E)^{-1} \mathbf{G}_E^T \mathbf{x} \right)^{\frac{-(N-M_1)}{2}}}{1}$$

kde N je délka klouzavého okna, M_1 , M_2 jsou řády AR modelů zleva a zprava a básová matice \mathbf{G}_A a normující matice \mathbf{G}_E jsou popsány následovně:

$$\mathbf{G}_A = \begin{bmatrix} x[0] & x[-1] & \dots & 0 & 0 & \dots \\ x[1] & x[0] & \dots & 0 & 0 & \dots \\ x[2] & x[1] & \dots & 0 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots \\ x[N/2-1] & x[N/2-2] & \dots & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & x[N/2] & x[N/2-1] & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & \dots & x[N-1] & x[N-2] & \dots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_E = \begin{bmatrix} x[0] & x[-1] & \dots \\ x[1] & x[0] & \dots \\ x[2] & x[1] & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots \\ x[N/2-1] & x[N/2-2] & \dots \\ x[N/2] & x[N/2-1] & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots \\ x[N-1] & x[N-2] & \dots \end{bmatrix}.$$

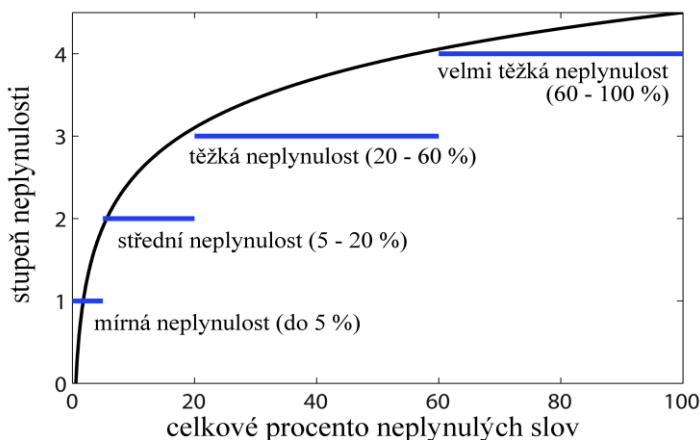
Protože výpočet aposteriorní pravděpodobnosti je časově náročný, byl v práci CME13 publikován původní rekurzivní algoritmus, jehož vstupem jsou analyzovaná data \mathbf{x} , délka okna N a řády AR modelu M_1 a M_2 .



Obr. 2: Princip normovaného detektoru změn. Výpočet aposteriorní pravděpodobnosti místa změny předpokládá klouzavé okno, ve kterém uvažujeme dva AR modely o stejné délce a normování je pomocí AR modelu celého okna. Modely jsou posouvány s každým novým vzorkem signálu.

3.2 Hodnocení neplynulosti

U typické neplynulé řeči, v porovnání se stejnou promluvou od zdravého člověka, se vyskytuje více ticha a nepravidelných prodloužení. Zároveň klesá množství výrazných spektrálních změn za jednotku času. Lze tedy předpokládat, že počet spektrálních změn v signálu řeči se bude snižovat i s ohledem na závažnost neplynulosti řeči. Oproti tomu rozptýlení vzdáleností mezi jednotlivými spektrálními změnami poroste s vyšším stupněm neplynulosti. Na základě těchto předpokladů byly navrženy dvě nové charakteristiky neplynulosti řeči. *Míra plynulosti řeči* (ESF) se počítá jako celkový počet spektrálních (výrazných) změn podělený celkovou dobou trvání řečové promluvy. *Variabilita plynulosti řeči* (SFV) je stanovena jako logaritmus směrodatné odchylky aplikované na vzdálenost mezi dvěma následujícími spektrálními (výraznými) změnami. Motivací pro použití logaritmu na výsledky byly následující důvody. Zaprvé, v literatuře řada charakteristik řeči je lépe vyjádřena v logaritmické doméně a za druhé, hodnocení závažnosti řeči provedené odborníky ukazuje logaritmickou závislost. Účinnost použití logaritmu je zobrazena na obr. 3, kde je ukázán nelineární vztah mezi počtem neplynulostí a odpovídající třídou podle hodnocení klinických expertů.

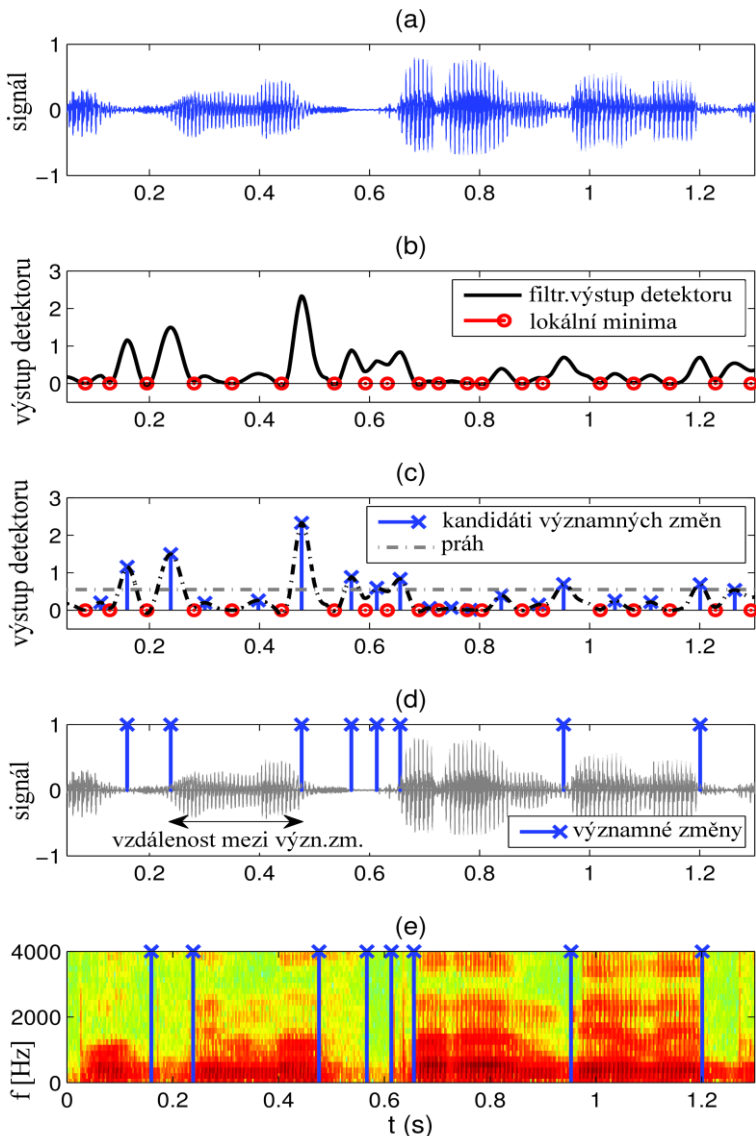


Obr. 3: Průběh zobrazuje logaritmický vztah mezi počtem neplynulostí a hodnocením klinických expertů. Modře jsou zobrazeny jednotlivé stupně závažnosti neplynulosti.

Automatické hodnocení závažnosti neplynulosti řeči je tedy založeno na hodnocení výstupního signálu z detektoru náhlých změn. Protože na výstupu detektoru je velký počet menších lokálních maxim, které odpovídají menším spektrálním změnám, za významné změny – vhodných pro hodnocení neplynulosti – lze uvažovat pouze některé. Jednotlivé kroky algoritmu významných změn popisuje obr. 4. Nejprve je řečový signál (viz obr. 4a) převzorkován na 16 kHz. Výstup získaný z normovaného rekurzivního detektoru změn je dále filtrován dolní propustí s mezní frekvencí 20 Hz, čímž získáme hladký filtrovaný signál (viz obr. 4b). Dále jsou u tohoto vyhlazeného signálu vyznačena lokální minima, mezi nimiž jsou hledáni kandidáti významných změn (viz obr. 4c). Lokální maxima přesahující prahovou hodnotu jsou označena jako významné změny (viz obr. 4d). Obr. 4e znázorňuje finální výstup detektoru významných změn zobrazený ve spektrogramu řečové promluvy.

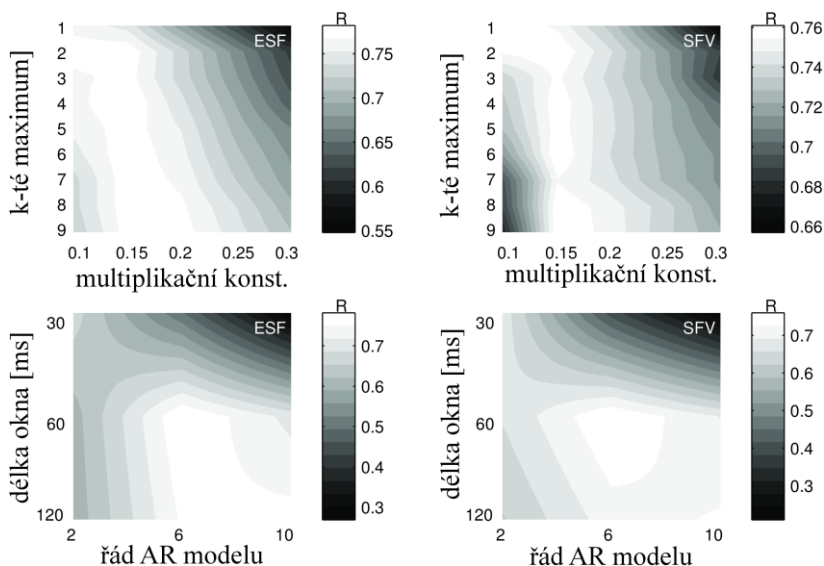
Nicméně, analýzy provedené pro různé mluvčí ukázaly, že amplituda kandidátů náhlých změn je velmi variabilní. Z tohoto hlediska, je vhodnější použít adaptivní práh pro každého mluvčího zvlášť. Kromě toho musíme optimalizovat vstupní parametry detektoru náhlých změn, včetně délky okna a řádu AR modelu. Všechny parametry lze experimentálně s pomocí klinických hodnocení koktavosti.

Výběr reprezentativních hodnot parametrů detektoru ilustruje obr. 5. Hodnota prahu je počítána jako zlomek z k-té nejvyšší špičky výstupního signálu detektoru náhlých změn, násobeného multiplikační konstantou. Horní část obr. 5 zobrazuje Pearsonovu korelaci mezi percepčním hodnocením odborníků a obě míry (ESF a SFV) pro různé definované multiplikační konstanty. Svislá osa reprezentuje pořadí největšího detekovaného maxima a vodorovná osa představuje konstanty (od 0,1 do 0,3) z k-té maximální špičky. Jak lze na obr. 5 sledovat, nejvýznamnější korelační koeficienty přesahující hodnotu 0,77 jsou zobrazeny bíle. V tomto případě dosahoval koeficient korelace hodnoty 0,78 pro čtvrté maximum a multiplikační konstanta byla 0,15. Následně byly tyto hodnoty použity jako hodnoty adaptivního prahu.



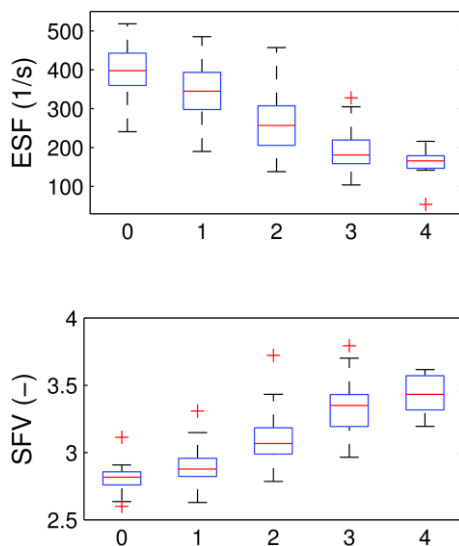
Obr. 4: Princip algoritmu detekce významných změn. (a) Vybraná promluva od pacienta s kocktavostí; (b) výstup z normovaného detektoru změn vyhlazený dolní propusti; (c) kandidáti významných změn; (d) významné změny; (e) významné změny ve spektrogramu.

Obdobný postup byl použit k nalezení optimální délky okna a řádu AR modelu pro autoregresní detektor změn. Dolní část obr. 5 zobrazuje vztahy mezi percepčním hodnocením odborníků a oběma mírami pro různé délky okna a různý řád AR modelu. Testovací rozsah pro řád AR modelu byl uvažován 2-10 s krokem 2 a pro délku okna od 30 ms do 120 ms s krokem 10 ms. Nejlepší klasifikace byla dosažena pro šestý řád AR modelu ($M1, M2 = 6$) a délku okna 60 ms. Tyto parametry byly použity pro další analýzu.



Obr. 5: Korelace mezi parametry neplynulosti a percepčním hodnocením odborníky při různém nastavení prahů (nahore) a délky okna a řádu AR modelu (dole).

Na obr. 6 vidíme, že počet významných spektrálních změn reprezentovaných parametrem ESF klesá s rostoucí tíží neplynulosti řeči. Naopak, parametr SFV, vyjadřující variabilitu vzdáleností mezi spektrálními změnami, se zvyšuje se stupněm neplynulosti. Oba parametry významně korelují s hodnocením expertů (pro ESF $r = -0,75$, $p < 0,001$ a pro SFV $r = 0,74$, $p < 0,001$).

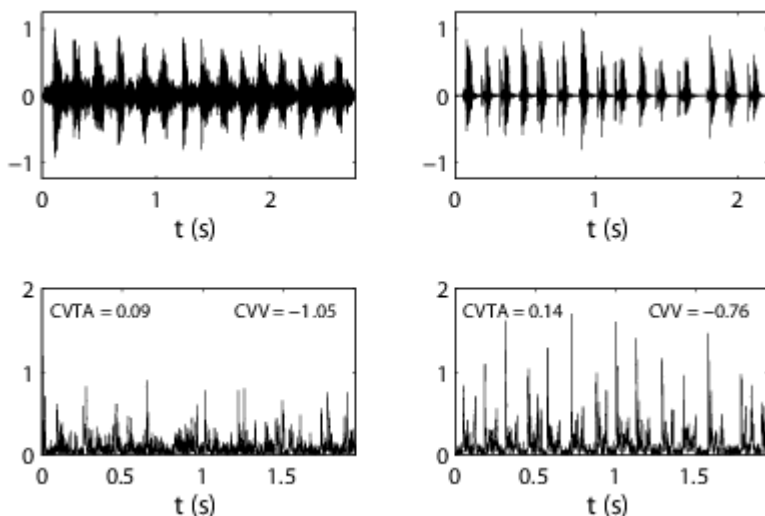


Obr. 6: Krabicové grafy pro nové parametry - míra plynulosti řeči (ESF) a variabilita plynulosti řeči (SFV) - pro různé stupně neplynulosti na základě hodnocení klinických expertů.

3.3 Hodnocení artikulace

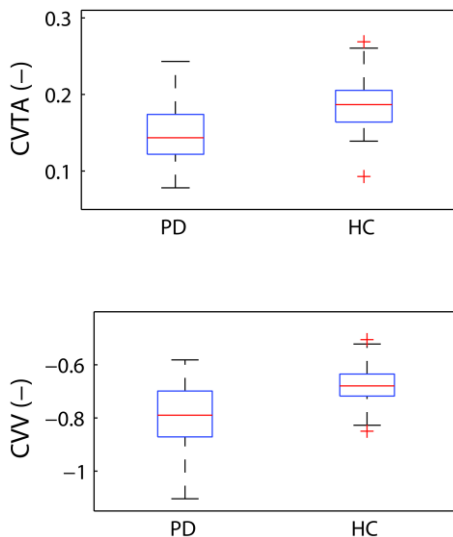
Na rozdíl od neplynulosti řeči je dysartrie spojena s nepřesnou artikulací, která se může projevovat v menších spektrálních změnách. Tedy, u lépe artikulované řeči se očekává, že bude odpovídat větším spektrálním změnám v důsledku změn souhláska-samohláska. Jinými slovy, aposteriorní pravděpodobnosti jsou úměrné spektrální vzdálenosti mezi dvěma sousedními segmenty a tudíž jejich vyšší hodnoty představují lepší artikulaci. Na základě výstupu z normovaného rekurzivního autoregresního detektoru změn jsme tedy schopni definovat parametry pro posuzování dysartrie řeči. *Přesnost přechodu souhláska-samohláska* (CVTA) se vypočte jako průměr ze všech spektrálních změn, které jsou na výstupu detektoru změn. *Variabilita souhláska-samohláska* (CVV) se počítá jako logaritmus směrodatné odchylky všech spektrálních změn. Obr. 7 ukazuje příklad řeči

parkinsoniků (PD) a zdravých mluvčích (HC) v promluvách opakovaných slabik /pa-/ta-/ka/ a signálů na výstupu detektoru náhlých změn. Podobně jako u měření plynulosti řeči bylo třeba nalézt optimální parametry detektoru změn jako je délka okna a řád AR modelu. K tomu byla použita analýza rozptylu (ANOVA). Pro řád AR modelu byly testované hodnoty v rozmezí od 2 do 10 s krokem 2 a pro délku okna od 5 ms do 40 ms s krokem 5 ms. Jako nejvhodnější se jeví šestý řád AR modelu ($M1, M2 = 6$) a okno o délce 20 ms. Tyto parametry byly použity pro další analýzy.



Obr. 7. Měření parametrů souhláska-samohláska při rychlém opakování slabik /pa-/ta-/ka/. Horní průběhy zobrazují řečové signály, spodní průběhy normovaný výstup detektoru změn. V levém sloupci jsou průběhy od pacienta s Parkinsonovou chorobou, zatímco v pravém sloupci jsou kontrolní průběhy od zdravého mluvčího.

Na grafech v obr. 8 vidíme, že lidé s Parkinsonovou chorobou hůře artikulují v promluvách souhláska-samohláska ve srovnání se zdravými mluvčími. Pro oba parametry byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi skupinami ($p < 0,001$).



Obr. 8. Krabicové grafy pro nové parametry - přesnost přechodu souhláska-samohláska (CVTA) a variabilita souhláska-samohláska (CVW) - pro diferenciaci mezi kontrolní skupinou zdravých (HC) a pacientů s Parkinsonovou chorobou (PD).

4. Další původní metody hodnocení promluv

V posledních letech byla na našem pracovišti publikována celá řada nových původních prací z oblasti analýzy a automatického hodnocení patologických promluv.

4.1 Automatická hodnocení

Cílem práce STR14 bylo studium možností *objektivní klasifikace dyšnosti* v souvislé řeči podle subjektivního hodnocení hlasu založeného na stupnici GRBAS. V této experimentální studii pět expertů hodnotilo dvakrát, s časovou prodlevou 2 týdnů, 593 záznamů čteného textu. Pro akustickou analýzu nahrávek byly použity parametry, které nevyžadují přesný odhad frekvence základního tónu, jakými jsou: poměr hlasivkového a šumového signálu (Glottal-to-Noise Excitation ratio),

výraznost keprální špičky (Cepstral Peak Prominence), maximum v autokorelační funkci (Pearson r at autocorrelation peak), index dyšnosti (Breathiness Index), a poměr energi ve vysoko a nízkofrekvenčních pásmech (the ratio of high- to mid/lowfrequency energy). Pomocí uvedených parametrů pak bylo pro každý záznam vypočteno 92 charakteristik, které byly následně redukovány na čtyři parametry a dále použity ke klasifikaci dyšnosti. Přesnost klasifikátoru objektivního hodnocení dyšnosti dosáhla 77% a bylo prokázáno, že dyšnost v souvislé řeči může být hodnocena automatickým systémem na základě analýzy akustických parametrů s dostatečnou přesností.

Práce LUS14 se zabývá ověřením možnosti *určení stupně plynulosti* na základě automatických měření akustických charakteristik. Tyto charakteristiky, beroucí do úvahy příznaky koktání, jsou založeny na analýze poměrů řeč/pauza a na počtu spektrálních náhlých změn v signálu řeči. V experimentu bylo použito 118 zvukových záznamů čteného projevu od českých rodilých mluvčích ohodnocené experty. Výsledky ukazují vysokou korelaci ručních a automatických měření. Nejvhodnější mírou, popisující celkovou promluvu, je počet náhlých spektrálních změn v segmentech řeči.

Práce LUS15 navazuje na předchozí práce LUS14 a CME13 a experimentálně ověřuje vhodnost algoritmů automatické akustické analýzy, navržené původně pro české koktavé mluvčí, pro použití na databázi 34 německých koktavých mluvčích. Měření založené na počtu náhlých spektrálních změn v řečových segmentech, dosahují korelace se subjektivním hodnocením plynulosti 0,85, a tudíž naše původní algoritmy vykazují *vysokou jazykovou nezávislost*. Měření založené na počtu náhlých spektrálních změn v řečových segmentech, dosahují korelace se subjektivním hodnocením plynulosti 0,85.

Cílem studie NOV14 byl návrh robustního *automatického hodnocení artikulace* u dysartrií. Databáze zahrnovala rychlé opakování slabik /pa/-/ta/-/ka/ od 24 pacientů s časnou Parkinsonovou chorobou a 22 věkově srovnatelných zdravých kontrol. Na základě ručního labelování byl navržen algoritmus automatické segmentace. Dále bylo vybráno a analyzováno 13 charakteristik popisujících šest různých artikulačních aspektů řeči (kvalitu samohlásky, koordinaci hrtanu, přesnost artikulace souhlásky, pohyb jazyka, oslabení okluze a časový

popis). Výsledný detekční algoritmus, rozlišující mezi pacienty s časnou Parkinsonovou chorobou a zdravými kontrolami, dosahuje lepší než 80% přesnosti. Dysartričtí pacienti (s časnou Parkinsonovou chorobou) ukazují zhoršené artikulační schopnosti ve všech zkoumaných řečových aspektech ($p < 0,05$).

Práce NOV15 se zabývá *automatickým robustním algoritmem vhodným pro detekci přechodu exploze - samohláska* (VOT - Voice Onset Time) pro různé typy dysartrií. Analyzovaná databáze obsahovala 24 pacientů s hypokinetickou dysartrií (Parkinsonova choroba) a 40 pacientů s hyperkinetickou dysartrií (Huntingtonova nemoc), neboť uvedené typy dysartrií obsahují většinu dysarthrických vzorců nalezených i u ostatních podtypů dysartrií. Navržený algoritmus dosahuje přibližně 90% přesnosti pro hyperkinetické dysartrie a přesnost 80% pro hypokinetické dysartrie pro hranici detekce 10 ms.

Práce RUS15 se zabývá *automatickým hodnocením rytmu* u dysartrií (měří akustické charakteristiky představující nestabilitu a zrychlení rytmu). Je zde publikován původní algoritmus automatické detekce spektrálně odlišných samohláskových slabik, který je schopen odstranit chybné detekce, vzniklé v důsledku nádechů a dalších neřečových zvuků, s velmi vysokou přesností 99,6%. Dále se práce zabývá specifickými vzorci různých neurodegenerativních poruch.

4.2 Akustické analýzy

Práce RUS11a prokazuje na základě objektivních akustických měření, statistické teorie rozhodování a hodnocení logopedy, že 78 % pacientů v časném neléčeném stádiu Parkinsonovy nemoci ukazuje nějakou formu řečového postižení v některém ze základních aspektů (fonace, artikulace, a prosodie), avšak v různých charakteristikách se individuálně liší.

Předmětem práce RUS13a byla analýza artikulace samohlásek pomocí různých řečových úloh (prodloužené fonace, opakování vět, čtení úryvku a z devadesáti sekundového monologu) ve skupině 20ti pacientů s časnou Parkinsonovou chorobou a 15ti zdravými kontrolními účastníky odpovídajícího věku. Objektivní akustická analýza založená

na měření prvního a druhého formantu samohlásek /a/, /i/ a /u/ ukázala, že prodloužená fonace není vhodným úkolem pro analýzu artikulace samohlásek u pacientů v časném stádiu Parkinsonovy nemoci, ale je jím monolog, na které byla přesnost klasifikace okolo 80%.

Objektivní akustické analýzy ve studii RUS13b ukazují, že pomocí nich a při použití statistických metod lze prokázat zlepšení řeči u pacientů s Parkinsonovou chorobou po zavedení dopaminergní léčby a také, že řeč může být cenným markerem progresu onemocnění a účinnosti léčby.

Studie TYK15 zkoumá dlouhodobý účinek dopaminergních léků na plynulost řeči u 14 pacientů s Parkinsonovou chorobou. Výsledky studie prokazují nepříznivý účinek dlouhodobé dopaminergní léčby, která tak přispívá ke vzniku koktavosti u Parkinsoniků. Závěry studie mohou mít významný dopad v klinické praxi, kde by měla být plynulost řeči brána v úvahu při optimalizaci dopaminergní terapie.

Práce TYK16a zkoumá účinnost 2-týdenní intenzivní rehabilitace ve skupině deseti pacientů s mozečkovou degenerací (před, během a 4 týdny po poslední rehabilitaci) na úlohách rychlého opakování slabik a pro monolog. Na základě vyhodnocení akustických charakteristik řeči byl potvrzen mírně příznivý vliv intenzivní rehabilitace na jemné pohyby a na řeč pacientů s mozečkovou ataxií.

Práce TYK16b představuje pilotní studii, ve které byl použit zvířecí model prasete pro výzkum neurodegenerativního onemocnění - Huntingtonovy choroby, neboť poruchy hlasu a řeči byly pozorovány u většiny pacientů s tímto onemocněním. I přes zjevné rozdíly v anatomii artikulačních orgánů mezi prasaty a lidmi lze očekávat stejné trendy u patofyziologických mechanismů s ohledem na chrochtání i lidskou fonaci. Hlavním cílem studie byl návrh vhodného experimentu, který umožní získání dostatečně dlouhý záznamu chrochtání od co největšího počtu prasátek. Protože se podařilo získat 24 dostatečně dlouhých a čistých nahrávek (20 chrochtnutí a více), lze říci, že experiment je proveditelný.

5. Závěr

Poruchy hlasu a mluvené řeči u celé řady onemocnění znamenají závažný problém. Akustické analýzy mají jedinečný potenciál jakožto objektivní, přesná, neinvazivní, jednoduše proveditelná a levná metoda pro přesné hodnocení typu a stupně řečové poruchy. Přesná identifikace narušených řečových charakteristik se může uplatnit v diferenciální diagnostice, umožnit optimalizaci řečové terapie a tím přispět ke zvýšení kvality života pacientů.

Možnosti přesného objektivního sledování řeči byly donedávna značně omezené pouze na poslechové testy. Díky propojení klinické a výzkumné erudice s moderními technologiemi a počítačovou analýzou dat se zavádí nové vyšetřovací postupy a vyvíjí automatizované technologie pro přesné objektivní sledování řeči.

V uplynulých letech byly na našem pracovišti pořízeny a zpracovávány zcela unikátní anotované databáze patologických promluv a na základě provedených analýz vyvinuty a odladěny původní algoritmy.

V současné době připravujeme tvorbu norem akusticko-fonetických charakteristik dětské řeči, analýzu věkově závislých parametrů v promluvách dětí školního věku a vyhodnocujeme možnosti určení závažnosti vývojové dysfázie dětí.

Připravujeme také normativní studii zabývající se vývojem řeči dospělých v závislosti na stárnutí. Studie bude vycházet z analýzy 180 českých rodilých mluvčích ve věku 20 až 80 let a předpokládáme, že přispěje k hlubšímu pochopení problematiky týkající se obecných anatomických, fyziologických a lingvistických modelů řeči v důsledku stárnutí hlasu a rovněž i k lepšímu pochopení fyziologických mechanismů zodpovědných za progresi řady řečových poruch a významně tak přispěje k vědeckým i klinickým poznatkům.

V budoucnu budou dále hledány vhodné postupy a algoritmy pro diagnostiku a screening pacientů v reálném čase a pro hodnocení účinnosti různých léčebných postupů.

6. Literatura

6.1 Základní reference (kapitola 1. a 2.)

- BLO95 Bloodstein O.. (1995). *A handbook on stuttering*. San Diego, CA: Singular publishing.
- BOC12 Bocklet, T., Riedhammer, K., Noth, E., et al., 2011. Automatic intelligibility assessment of speakers after laryngeal cancer by means of acoustic modelling. *J. Voice* 26, 390-397.
- BOE01 Boersma, P., Weenink, D., 2001. PRAAT, a system for doing phonetics by computer. *Glott International* 5: 341-345.
- DAR75 Darley F. L., Aronson, A. E., Brown. J. R. (1975). *Motor speech disorders*. Saunders, Philadelphia, PA.
- DEB99 DeBodt MS, Wuyts FL, Van de Heyning PH, Croux Ch. Test-retest study of the GRBAS scale: influence of experience and professional background on perceptual rating of voice quality. *J Voice*. 1997;11(1):74–80.
- DEJ01 Dejonckere, P., Bradley, P., Clemente, P., et al., 2001. A basic protocol for functional assessment of voice pathology. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol*. 258: 77-82.
- HAR04 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.
- HEN09 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.
- HIR81 Hirano M. *Clinical Examination of Voice*. Springer London, 1981

- HOG99 Hogikyan N. D., Sethuraman G. *Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (v-rqol)*. *Journal of Voice*, 13(4):559–569, 1999.
- KAR07 Karnell M.P., Melton S.D., Childes J.M., Coleman T.C., Dailey S.A., Hoffman H.T.. *Reliability of Clinician-Based (GRBAS and CAPE-V) and Patient-Based (V-RQOL and IPVI) Documentation of Voice Disorders*. *Journal of Voice*, 21(5):576–590, 2007.
- KAY14 Kay Elemetrics Corp., 2014. *Multi-Dimensional Voice Program (MDVP): Software Introduction Manual*. Lincon Park, Kay Elemetrics.
- KEN99 Kent, R., Weismer G., Kent, J., et al., 1999. Acoustic studies of dysarthric speech: Methods, progress, and potential. *J. Commun. Disord.*, 32: 141-186.
- MCN09 McNeil. M. R. (2009). *Clinical management of sensomotoric speech disorders*. Thieme Medical Publishers, Inc., New York.
- MID08 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.
- REC79 Recommendations of the Union of European Phoniaticians for the assessment of the voice disorders, 1979. 25 p.
- RIL09 Riley, G. (2009). *The stuttering severity instrument for adults and children (SSI-4)* (4th ed.). Austin, TX: PRO-ED.
- ROU11 Roubíčková J. et al. (2011) *Test 3F - Dysartrický profil*. 3. vyd. Galén, Praha.
- SVE09 Švec J. G., Lejska M., Frostová J., Zábrodský M., Dršata J., Král P.. *Česká verze dotazníku voice handicap index pro kvantitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem*. *Otorinolaryng. a Foniatic.*, 58(3):132–139, 2009.

6.2 Vybrané publikace autora (kapitola 3. a 4.)

- ČME13 **Čmejla, R.** - Rusz, J. - Bergl, P. - Vokřál, J.: Bayesian changepoint detection for the automatic assessment of fluency and articulatory disorders. *Speech Communication*. 2013, vol. 55, no. 1, p. 178-189.
- LUS14 Lustyk, T. - Bergl, P. - **Čmejla, R.**: Evaluation of disfluent speech by means of automatic acoustic measurements. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2014, vol. 135, no. 3, p. 1457-1468.
- LUS15 Lustyk, T. - Bergl, P. - Haderlein, T. - Nöth, E. - **Čmejla, R.**: Language-independent method for analysis of German stuttering recordings. In *INTERSPEECH 2015*. Bochum: ISCA - International Speech Comm. Assoc., 2015, art. no. 2947.
- NOV14 Novotný, M. - Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Růžička, E.: Automatic Evaluation of Articulatory Disorders in Parkinson's Disease, *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON AUDIO, SPEECH, AND LANGUAGE PROCESSING*, vol. 22, no. 9, September 2014.
- NOV15 Novotný, M. - Pospíšil, J. - **Čmejla, R.** - Rusz, J.: AUTOMATIC DETECTION OF VOICE ONSET TIME IN DYSARTHIC SPEECH, *Proceedings of the IEEE Signal Processing Society, International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Brisbane, Australia, 2015, 4340-4344.
- RUS11a Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Růžičková, H. - Růžička, E.: Quantitative acoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson's disease. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2011, vol. 129, no. 1, p. 350-367.
- RUS11b Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Růžičková, H. - Klempíř, J. - Majerová, V. - Picmausová, J. - Roth, J. -E. Růžička. (2011). "Acoustic assessment of voice and speech disorders in Parkinson's disease through quick vocal test," *Movement Disorders*, 26(10): 1951-2.

- RUS13a Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Tykalová, T. - Růžičková, H. - Klempíř, J. - et al.: Imprecise vowel articulation as a potential early marker of Parkinson's disease: Effect of speaking task. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2013, vol. 134, no. 3, p. 2171-2181.
- RUS13b Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Růžičková, H. - Klempíř, J. - Majerová, V. - et al.: Evaluation of speech impairment in early stages of Parkinson's disease: a prospective study with the role of pharmacotherapy. *Journal of Neural Transmission*. 2013, vol. 120, no. 2, p. 319-329.
- RUS15 Rusz, J. - Hlavnička, J. - **Čmejla, R.** - Růžička, E.: Automatic evaluation of speech rhythm instability and acceleration in dysarthrias associated with basal ganglia dysfunction. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2015, vol. 3, art. no. 104, p. 1-11. ISSN 2296-4185.
- STR14 Stráník, A. - **Čmejla, R.** - Vokřál, J.: Acoustic Parameters for Classification of Breathiness in Continuous Speech According to the GRBAS Scale. *Journal of Voice*. 2014, vol. 28, no. 5, p. 653.e9-653.e17.
- TYK15 Tykalová, T. - Rusz, J. - **Čmejla, R.** - Klempíř, J. - Růžičková, H. - et al.: Effect of dopaminergic medication on speech dysfluency in Parkinson's disease: a longitudinal study. *Journal of Neural Transmission*. 2015, vol. 122, no. 8, p. 1135-1142.
- TYK16a Tykalová, T. - Pospíšilová, M. - **Čmejla, R.** - Jeřábek, J. - Mareš, P. - Rusz, J.: Speech changes after coordinative training in patients with cerebellar ataxia: A pilot study. *Neurological Sciences*. 2016, vol. 37, no. 2.
- TYK16b Tykalová, T. - Hlavnička, J. - Macakova, M. - Baxa, M. - **Čmejla, R.** - Motlík, J. - Klempíř, J. - Rusz, J.: Grunting in a Genetically Modified Minipig Animal Model for Huntington's Disease – Pilot Experiments. *Ceska a Slovenská Neurologie*. 2015; 78/111(Supplementum 2): 61-65.

Doc. Ing. Roman Čmejla, CSc.

* 25. 4. 1962 Louny

1968 – 1977 Základní devítiletá škola v Roudnici nad Labem
1977 – 1981 SPŠE, Ječná 30, Praha 2
1981 – 1986 ČVUT-FEL, Telekomunikační technika
1986 – 1987 Základní vojenská služba
1987 – 1991 Vědecká aspirantura, katedra teorie obvodů ČVUT FEL
1991 – 2002 Odborný asistent ČVUT FEL
2002 – dosud Docent na katedře teorie obvodů ČVUT FEL

Tituly:

1986 Ing. ČVUT FEL, telekomunikační technika
1993 CSc. ČVUT FEL, sdělovací technika
2002 docent ČVUT FEL, habilitace, obor Teoretická elektrotechnika

Studijní pobyt:

1996 United Kingdom, University of Cambridge, Department of Engineering, Signal Processing Group (Visiting Scholarship Open Society Fund - 1 měsíc)

Odborné zaměření:

Zabývá se analýzou a interpretací řečových a biologických signálů. V roce 2010 vytvořil v rámci Katedry teorie obvodů ČVUT FEL výzkumný tým SAMI - Signal Analysis, Modelling, and Interpretation <http://sami.fel.cvut.cz/>, který se ve spolupráci s lékařskými pracovišti věnuje teoretickým otázkám i praktickým aplikacím z foniatrie, logopedie a neurologie, zejména analýze patologií hlasu a řeči a analýze intrakraniálních EEG signálů (ve spolupráci s Foniatrickou a Neurologickou klinikou 1. LF UK a VFN a s 2. LF UK a FN Motol) a zpracování a modelování fyziologických signálů (spolupráce s FTVS UK).

Řešitel grantů:

- Věkově závislé změny akustických charakteristik řeči dospělých mluvčích (hlavní řešitel GAČR, 16-19975S, 2016-2018)
- Akustická analýza hlasu a řeči u pacientů s onemocněními CNS (hlavní řešitel GAČR, P102/12/2230, 2012-2015)

- Analýza a modelování biomedicínských a řečových signálů (hlavní řešitel GAČR, GD102/08/H008, 2008-2011)
- Modelování biologických a řečových signálů (hlavní řešitel GAČR, GD102/03/H085, 2003-2007)
- Poruchy řeči a analýza jejich mechanismů u Parkinsonovy nemoci a dalších extrapyramidových onemocnění (spoluřešitel AZV MZ ČR 15-28038A, 2015-2017)
- Analýza funkční organizace epileptogenních sítí s využitím teorie grafů: význam pro předoperační diagnostiku pacientů s neokortikální epilepsií (spoluřešitel AZV MZ ČR 15-29835A, 2015-2017)
- Dynamika a kritické chování neuronálních populací a jejich význam v přechodu do epileptického záchvatu (spoluřešitel GAČR 14-02634S, 2014-2017)
- Pochopení funkční organizace neuronálních okruhů epilepsie temporálního laloku za účelem zkvalitnění předoperační diagnostiky a predikce výsledku chirurgické léčby (spoluřešitel, IGA MZ, NT14489/2013, 2013-2015)
- Komplexní analýza intrakraniálního EEG záznamu a identifikace epileptogenní zóny u pacientů s nelezionální farmakorezistentní epilepsií (spoluřešitel, IGA MZ, NT11460-4/2010, 2010-2013)
- Hlavní řešitel dalších projektů z oblasti číslicového zpracování biologických signálů (FRVŠ: 2010, SGS ČVUT: 2010-2012, 2013-2014, 2015-2017, SVK ČVUT: 2012, 3 x 2014, 2015, MŠMT 2000).

Výuka:

Garant a přednášející předmětů bakalářského (Základy zpracování signálů, Elektrické obvody), magisterského (Biologické signály, Syntéza audio signálů) a doktorského studia (Zpracování biologických signálů) na ČVUT FEL. Přednášející Teorie signálů a Biologických signálů pro IPVZ a Zpracování biologických signálů pro VŠCHT (2009, 2011, 2014).

Členství v radách a odborných společnostech:

- externí člen Vědecké rady 2. lékařské fakulty UK (2011–13, 2014–17),
- člen ediční rady Akustických listů (od roku 2003),
- člen oborové rady Teoretická elektrotechnika ČVUT FEL (od 2011),
- člen oborové rady Akustika ČVUT FEL (od roku 2014),
- člen Rady programu Elektronika a komunikace (od roku 2015),
- člen České akustické společnosti.

Výchova doktorandů:

Školitel 8 doktorandů, kteří úspěšně obhájili doktorské práce v oboru Teoretická elektrotechnika:

- Ing. Radek Janča, PhD. Analýza invazivních EEG signálů v epileptologii, 2014
- Ing. Adam Stránil, PhD. Automatické hodnocení chraptivosti v řečových signálech, 2014
- Ing. Jan Rusz, PhD. Akustická analýza hlasu a řeči u Parkinsonovy nemoci, 2012
- Ing. Jan Janda, PhD. Posuzování logopedického věku u dětí, 2012
- Ing. Petr Bergl, PhD. Objektivizace poruch plynulosti řeči, 2010
- Ing. Petr Zlatník, PhD. Posuzování srozumitelnosti dětské řeči pomocí DTW, 2008
- Ing. Jan Prokš, PhD. Vybrané metody měření časového zpoždění v EEG, 2005
- Ing. Petr Prášek, PhD. Měření impedance dýchacích cest a parametrizace poruch, 2005

Ing. Daniel Špulák, Ing. Michal Novotný a Ing. Tomáš Lustyk již odevzdali své disertační práce. Jejich obhajoba proběhne v průběhu roku 2016. V současné době školitel dalších 6 doktorandů.

Publikace:

Autor a spoluautor řady publikací z oblasti číslicového zpracování signálů a teorie obvodů.

Monografie ČR	1
Článek v impaktovaném časopise	17
Článek v mezinárodním recenzovaném časopise	3
Příspěvek na mezinárodní konferenci (ve sborníku)	38
Vysokoškolská skripta	7
Původní článek v českém vědeckém a odborném časopise	20
Původní příspěvky na ostatních konferencích (ve sborníku)	110

108 WoS citací bez autocitací

H-index: WoS = 5; Scopus = 6; Scholar Google = 9