

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2016

Denis Herinek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VÝZKUM ROZDÍLŮ PŮSOBENÍ HYPOKINETICKÉ DYSARTRIE U MUŽŮ A ŽEN

ACOUSTIC ANALYSIS OF GENDER-RELATED PATTERNS IN PARKINSON'S DISEASE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Denis Herinek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zoltán Galáž

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**
Ústav telekomunikací

Student: Denis Herinek

ID: 164279

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Výzkum rozdílů působení hypokinetické dysartrie u mužů a žen

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Hypokinetická dysartrie je porucha motorické realizace řeči, která se vyskytuje přibližně u 60 - 90% pacientů s Parkinsonovou nemocí. Projevuje se u všech subsystémů podílejících se na tvorbě řeči: respirace, fonace, artikulace a prozodie. Kvůli rozdílné povaze hlasového traktu u mužů a žen jsou také poruchy řeči často různé. Cílem bakalářské práce je analýza hypokinetické dysartrie se zaměřením na kvantifikace rozdílů u mužů a žen. V práci bude parametrizováno řečové cvičení: čtení standardizovaného textu. Výsledkem parametrizace bude sada parametrů kvantifikujících poškození řečové produkce u pacientů s Parkinsonovou nemocí. Následně bude provedena analýza těchto parametrů za účelem popisu různých aspektů Hypokinetické dysartrie u obou pohlaví. Uvedené postupy budou naprogramovány v jazyce MATLAB.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PSUTKA, J.; et al. Mluvíme s počítačem česky. Praha: Academia, 2006. 752 s. ISBN 80-200-1309-1.

[2] SMÉKAL, Z. Číslíkové zpracování řeči (MZPR). Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.

[3] J. Mekyska, E. Janousova, P. Gomez-Vilda, Z. Smekal, I. Rektorova, I. Eliasova, M. Kostalova, M. Mrackova, J. B. Alonso-Hernandez, Robust and complex approach of pathological speech signal analysis, Neurocomputing (2015), s. 716–722.

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 1.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Zoltán Galáž

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá výskumom rozdielov pôsobenia hypokinetickej dyzartrie u mužov a žien, analyzovaním rečového cvičenia čítanie štandardizovaného textu. Parkinsonova choroba sa prejavuje u všetkých subsystémov podieľajúcich sa na tvorbe reči (dýchanie, fonácia, artikulácia a prozódia). Cieľmi práce je oboznámenie sa s príznakmi tohto poškodenia a rečovými parametrami, ktoré sú týmto poškodením ovplyvnené. Práca obsahuje popísané predspracovanie, parametrizáciu rečového signálu a následnú štatistickú analýzu vybraných parametrov. Systém na spracovanie rečových záznamov je vytvorený v programovacom jazyku MATLAB.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Hypokinetická dyzartria, Parkinsonova choroba, predspracovanie rečového signálu, spracovanie rečového signálu, rečový parameter, štatistická analýza

ABSTRACT

The bachelor's thesis is about acoustic analysis of gender-related patterns in Parkinson's disease by analysing speech task: reading passage. Parkinson's disease manifests in all subsystems involved in speech production (respiration, phonation, articulation and prosody). The aim of this thesis is familiarization with symptoms of this disorder and speech parameters influenced by this disorder. Thesis contains preprocessing, parametrization of speech signal and statistic analysis of parameters. System of speech signal processing is created in MATLAB programming language.

KEYWORDS

Hypokinetic dysarthria, Parkinson's disease, speech signal pre-processing, speech signal processing, speech parameter, statistic analysis

HERINEK, Denis *Výzkum rozdílů působení hypokinetické dysartrie u mužů a žen: bakalárska práca*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 39 s. Vedúci práce bol Ing. Zoltán Galáž

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Výzkum rozdílů působení hypokinetické dysartrie u mužů a žen“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právoch súvisajúcich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Zoltánovi Galážovi za odborné vedenie, vzorný prístup ku konzultáciám, trpezlivosť, poskytnutie kvalitných materiálov a za dôležité pripomienky potrebné pre realizáciu bakalárskej práce.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	11
1 Úvod do spracovania rečového signálu	12
1.1 Tvorba reči	12
1.2 Rečové ústrojenstvo	12
1.2.1 Dýchacie ústrojenstvo	12
1.2.2 Hlasové (fonačné) ústrojenstvo	13
1.2.3 Artikulačné ústrojenstvo	13
1.3 Matematický model generovania reči	14
2 Parkinsonova choroba a Hypokinetická dyzartria	15
2.1 Parkinsonova choroba	15
2.2 Hypokinetická dyzartria	15
2.2.1 Fonácia	15
2.2.2 Artikulácia	16
2.2.3 Prozódia	16
2.2.4 Plynulosť reči	16
3 Predspracovanie rečového signálu	17
3.1 Preemfázový číslicový filter	17
3.2 Rozdelenie na segmenty	17
4 Parametrizácia rečového signálu	19
4.1 Parametre hodnotiace fonáciu	19
4.1.1 Frekvencia základného tónu	19
4.1.2 Jitter a shimmer	19
4.2 Parametre hodnotiace artikuláciu	20
4.2.1 Formantové frekvencie	20
4.3 Parametre hodnotiace prozódium	20
4.3.1 Plynulosť reči	20
4.3.2 Melódia rečového signálu	21
4.4 Post-processing parametrov	21
5 Návrh systému	22
5.1 Blokové schéma	22
5.2 Popis systému	22

6	Realizácia systému	24
6.1	Popis databázy záznamov	24
6.2	Načítanie záznamov	24
6.3	Vytvorenie pola štruktúr	24
6.4	Predspracovanie	24
6.5	Získanie parametrov	24
6.6	Export parametrov	25
7	Analýza parametrov	26
7.1	Výber parametrov	26
7.2	Porovnanie parametrov	26
8	Záver	27
	Literatúra	28
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	29
	Zoznam príloh	30
A	Histogramy rečových parametrov	31
B	Tabuľky rečových parametrov	33
C	Obsah priloženého CD	39

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Rečové ústrojenstvo človeka	13
1.2	Matematický model generovania reči	14
5.1	Blokové schéma systému analýzy dyzartrickej reči	22
A.1	Histogramy pre zdravých rečníkov. Modrá farba: muži; žltá farba: ženy.	31
A.2	Histogramy pre pacientov s PN. Modrá farba: muži; žltá farba: ženy. .	31
A.3	Histogramy pre ženy. Modrá farba: zdraví; žltá farba: pacienti s PN. .	32
A.4	Histogramy pre mužov. Modrá farba: zdraví; žltá farba: pacienti s PN.	32

ZOZNAM TABULIEK

B.1	Tabuľka vybraných rečových parametrov pre zdravých rečníkov ženského pohlavia.	33
B.2	Tabuľka vybraných rečových parametrov pre zdravých rečníkov mužského pohlavia.	34
B.3	Tabuľka vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou (ženy).	35
B.4	Tabuľka vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou (muži).	36
B.5	Tabuľka jednotlivých rečových parametrov udávajúca percentuálny nárast hodnôt vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou v porovnaní so zdravými rečníkmi. V tabuľke sú uvažovaní rečníci ženského pohlavia.	37
B.6	Tabuľka jednotlivých rečových parametrov udávajúca percentuálny nárast hodnôt vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou v porovnaní so zdravými rečníkmi. V tabuľke sú uvažovaní rečníci mužského pohlavia.	38

ÚVOD

Počet pacientov s Parkinsonovou chorobou neustále rastie. Toto neurodegeneratívne ochorenie spôsobené úbytkom dopaminergických neurónov nie je možné zatiaľ úplne vyliečiť, no niekedy sa darí zmierniť jeho priebeh. S vierou, že časom bude na toto ochorenie existovať účinná liečba, bude veľmi potrebné túto chorobu správne a včas diagnostikovať. Tejto diagnostike by mohol pomôcť aj fakt, že sprievodným javom Parkinsonovej choroby býva aj poškodenie reči tzv. hypokinetická dyzartria. Toto poškodenie reči je spôsobené negatívnym ovplyvňovaním napr. dýchania alebo artikulačných orgánov, čo ohrozuje plynulosť a iné vlastnosti reči. Jednou z diagnostických metód je analýza rečových signálov, ktorá ale nemusí byť presná z dôvodu variability spôsobenej napr. odlišným spôsobom artikulácie rôznych rečníkov. Táto analýza má však do budúcnosti veľký potenciál a určite dokáže urýchliť a zjednodušiť diagnostiku Parkinsonovej choroby. Cieľom bakalárskej práce je naštudovanie podstaty poškodenia reči Parkinsonovou chorobou, oboznámenie sa s parametrizáciou rečového signálu a následná analýza hypokinetickej dyzartrie so zameraním sa na kvantifikáciu rozdielov u mužov a žien.

Prvá kapitola obsahuje základné poznatky tvorby reči a popis troch ústrojenstiev, ktoré sa na jej tvorbe podieľajú. Takisto obsahuje popis matematického modelu generovania reči. V druhej kapitole je detailnejšie popísaná Parkinsonova choroba, hypokinetická dyzartria a vplyvy tohto poškodenia reči v jednotlivých oblastiach ako fonácia, artikulácia, prozódia a plynulosť reči. V tretej kapitole je spomínaná úprava vstupného signálu pred samotným spracovaním, ktorá je v niektorých prípadoch veľmi vhodná. Toto predspracovanie popisuje základný princíp preemfázovej filtrácie a takisto rozdelenie rečového signálu na segmenty. Štvrtá kapitola obsahuje zoznámenie sa so základnými pozorovanými parametrami, ktoré hodnotia fonáciu, artikuláciu a prozódium. V piatej kapitole sa nachádza návrh systému, popis a funkcie jednotlivých blokov tohto systému. V ďalšej kapitole je popis realizácie tohto systému, ktorý pozostáva z popisu databázy záznamov rečových signálov, následnom načítaní a spracovaní týchto záznamov. V tejto kapitole je takisto bližšie popísaná parametrizácia a funkcia jednotlivých skriptov vytvorených v prostredí MATLAB. Posledná kapitola porovnáva vybrané parametre na základe hodnôt z tabuliek v prílohe a demonštruje najväčšie rozdiely v pôsobení hypokinetickej dyzartrie u mužov a žien.

1 ÚVOD DO SPRACOVANIA REČOVÉHO SIGNÁLU

Verbálna (ústna) komunikácia je prostriedok na prenos informácií medzi ľuďmi a prebieha pomocou reči. Veda, ktorá sa zaoberá zvukovou stránkou jazyka, sa nazýva fonetika. Táto vedná disciplína skúma fyziologickú činnosť artikulačných orgánov, akustickú podstatu zvukov a zaoberá sa snímaním elementov v hovorených prejavoch.

V rečovej komunikácii je dôležitých niekoľko zložiek reči. V akusticky nepriaznivých podmienkach je prozódia možno jedinou zložkou, ktorej sa dá porozumieť. Celok prozodických vlastností reči je definovaný ako súhrn intonácie, prízvuku, rytmu a rozloženia páuz. Intonácia predstavuje melodické zmeny a prejavuje sa zmenami frekvencie základného tónu. Rytmus zahrňuje rozloženie, silu a pravidelnosť prízvuku a taktiež zmeny intenzity [6].

1.1 Tvorba reči

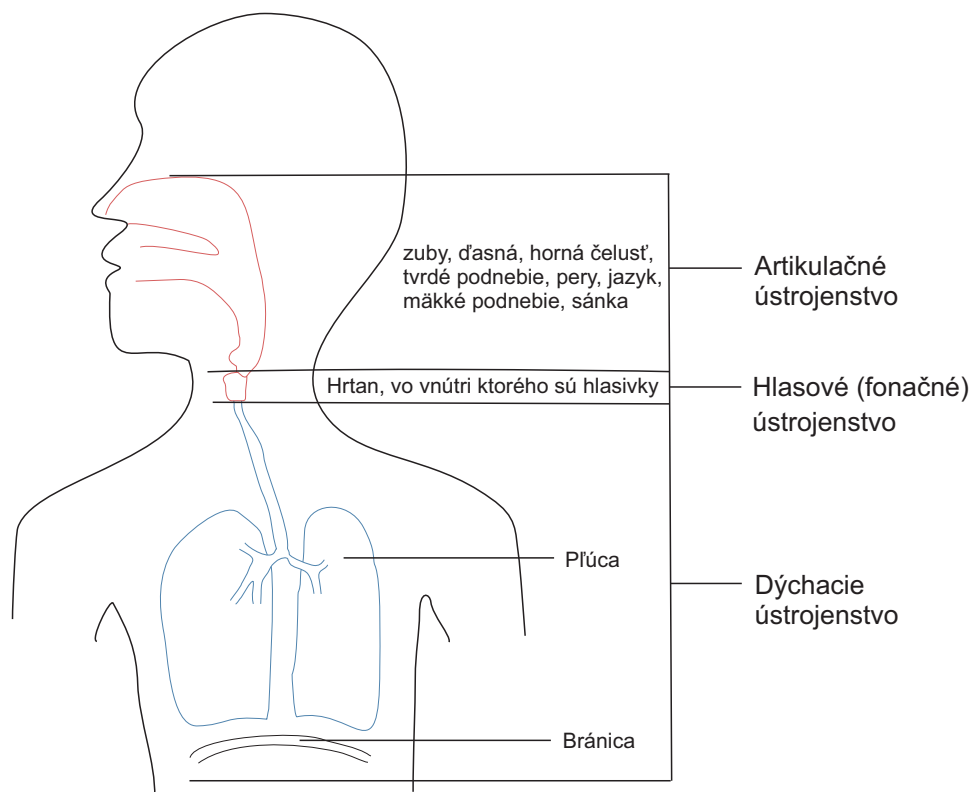
Základ každej reči tvorí myšlienka s vhodne zvolenými slovami a frázami, ktoré sú v poradí podľa gramatických pravidiel jazyka. Tú potom prevedieme do jazykovej formy impulzmi z mozgu, ktoré sú pomocou pohybových nervov prenášané k svalom potrebným k pohybu častí, ktoré sa podieľajú na tvorbe reči (hlasivky, jazyk, čeluste, pery a pod.). Nervové impulzy spôsobia pohyb svalov takým spôsobom, že spôsobujú zmeny akustického tlaku okolného vzduchu a informácia sa začne šíriť akustickou vlnou, ktorá aktivuje sluchové ústrojenstvo [6].

1.2 Rečové ústrojenstvo

Toto ústrojenstvo tvoria orgány, ktorých hlavná úloha môže byť iná ako tvorba reči. Ide o orgány, ktoré nám slúžia aj na dýchanie, príjem potravy alebo iné životne dôležité činnosti. Umiestnenie jednotlivých orgánov v ľudskom tele nám priblíži obrázok 1.1.

1.2.1 Dýchacie ústrojenstvo

Všetko to začína bránicou, ktorá svojim rozťahovaním a zmršťovaním pomocou pľúc vytvára prúd vzduchu, ktorý prúdi cez hlasivky do nosnej a ústnej dutiny. Po kontakte s artikulačnými orgánmi vychádza ústami, no zároveň jeho časť vychádza



Obr. 1.1: Rečové ústrojenstvo človeka

nosnými dierkami. Pri reči sa mení aj dýchanie (predlžuje sa výdych a skracuje vdych) [6].

1.2.2 Hlasové (fonačné) ústrojenstvo

Hlasové ústrojenstvo je uložené v hrtane. Má funkciu vytvárať základný hlasový tón. Základom tohto ústrojenstva sú hlasivky. Sú to dva hlasové väzy pokryté sliznicou, ktoré vibrujú a vytvárajú tlakové impulzy. Prerušovaním výdychového prúdu hlasivkami vzniká kvaziperiodický signál tónového charakteru, ktorý sa označuje ako základná frekvencia F_0 . Vzniknutý kvaziperiodický signál sa nazýva základný tón [6]. Tento tón má u mužov frekvenciu okolo 132 Hz, u žien 223 Hz a u detí sa pohybuje v rozmedzí 200 Hz až 600 Hz [3].

1.2.3 Artikulačné ústrojenstvo

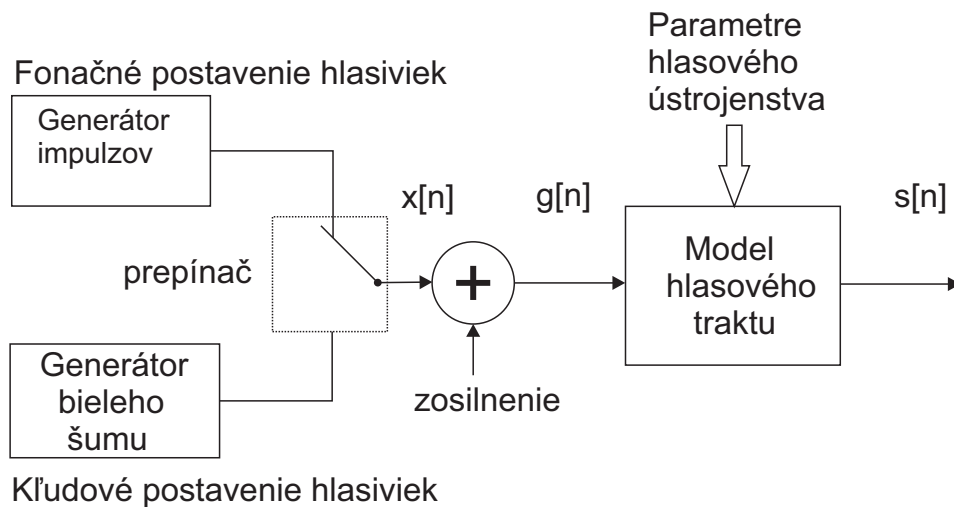
Toto ústrojenstvo sa skladá z nadhrtanových dutín a artikulačných orgánov. Nadhrtanové dutiny sú 3: hrdlová, ústna a nosová dutina. Hrdlová dutina sa nachádza priamo nad hlasivkami. Nosová dutina sa ako rezonátor využíva iba pri niektorých hláskach (pri ostatných je uzavretá pomocou mäkkého podnebia). Ústna dutina je

ďalším rezonančným priestorom obsahujúcim artikulačné orgány, ktoré sú dôležité pre výslednú modifikáciu reči. Objem ústnej dutiny sa mení pohybom jazyka, pier a čelustí [6].

1.3 Matematický model generovania reči

Je to model, ktorý zjednodušene popisuje tvorbu reči. Model sa skladá z blokov ktoré nám približujú prácu rečového ústrojenstva. Na obrázku 1.2 sú zobrazené 3 základné bloky.

1. **Generátor jednotkových impulzov** – simuluje prácu dýchacieho a hlasového ústrojenstva pri tvorbe znelej reči, kedy je vzduch z pľúc upravený hlasivkami do podoby kvaziperiodických impulzov.
2. **Generátor bieleho šumu** – slúži na priblíženie funkcie dýchacieho a hlasového ústrojenstva pri tvorbe neznelej reči (hlasivky sú v tomto prípade otvorené).
3. **Model hlasového traktu** je blok, v ktorom sa signál upraví do podoby výslednej reči. Je to simulácia činnosti artikulačného ústrojenstva.



Obr. 1.2: Matematický model generovania reči

2 PARKINSONOVA CHOROBA A HYPOKINETICKÁ DYZARTRIA

2.1 Parkinsonova choroba

Parkinsonova choroba [2, 7] je neurodegeneratívne ochorenie mozgu vyskytujúce sa predovšetkým u ľudí vo veku nad 65 rokov, ktoré sa vyznačuje progresívnym úbytkom dopaminergných neurónov, predovšetkým v oblasti *substantia nigra pars compacta*, ale aj v ďalších oblastiach. Prvýkrát bolo toto ochorenie popísané v roku 1817 Jamesom Parkinsonom v práci s názvom „An Essay on the Shaking Palsy“. Sprevádza ho svalová stuhnutosť (rigidita), spomalenie pohybov (bradykinéza), kľudový tras (tremor), dokonca aj kognitívne deficity, poruchy pamäte, depresia a v neposlednom rade aj poškodenie rečovej produkcie (hypokinetická dyzartria).

Priebeh zhoršovania stavu pacientov s Parkinsonovou chorobou nie je lineárny. Rýchly nástup symptómov je pozorovateľný hlavne zo začiatku, no s postupom času sú zmeny pomalšieho charakteru. Momentálna medicína nedokáže túto chorobu úplne vyliečiť, ani zabrániť jej zhoršovaniu, preto sa hľadajú spôsoby ako zmierniť jej priebeh. Osvedčila sa napr. hlboká mozgová stimulácia. Existujú rôzne prístupy k diagnostike a liečbe Parkinsonovej choroby, medzi ktoré patrí aj sledovanie poškodenia reči, tzv. hypokinetickej dyzartrie.

2.2 Hypokinetická dyzartria

Reč vyžaduje sekvenčné a paralelné ovládanie rôznych mechanizmov a systémov. Parkinsonova choroba môže všetky tieto systémy negatívne ovplyvňovať (či už dýchanie alebo artikulačné orgány) a tak ohrozovať plynulosť a rôzne vlastnosti reči [1]. Toto postihnutie motorických aspektov reči môžeme zhrnúť pod označenie hypokinetická dyzartria [5].

2.2.1 Fonácia

Fonácia je prvá oblasť, v ktorej sa prejavuje. Kvôli stuhnutosti svalstva je kmitanie hlasiviek poškodené. Prejavuje sa najmä nestabilita vibrácií tzv. mikroprozodická nestabilita. U pacientov je možné pozorovať hypofóniu (zníženú intenzitu hlasu), ktorá sa prejavuje v dôsledku nedokonalnej práce dýchacieho ústrojenstva a dysfóniu (degradáciu kvality hlasu), pretože z dôvodu neúplného zatvárania hlasiviek sa v hlase vyskytuje turbulentné prúdenie vzduchu, ktoré zvyšuje hladinu šumu. Pacienti z dôvodu neefektívneho hospodárenia s hlasom zvyšujú alebo znižujú tempo

reči, vytvárajú neočakávané pauzy atď [2, 5].

2.2.2 Artikulácia

Druhou narušenou oblasťou zvyčajne býva artikulácia. Je to spôsobené nesprávnou prácou (zníženým rozsahom a rýchlosťou) svalov artikulačných orgánov (jazyka, hrtanovej príklopky, hrtanu a pier). Problémy nastávajú hlavne pri vyslovovaní spoluhlások [p], [t], [k], [b], [d], [g].

K hodnoteniu artikulácie sa často využívajú DDK úlohy (Diadochokinetic Tasks). Tieto úlohy spočívajú na opakovaní slabík ako napr. „pa ta ka pa ta ka pa ta ka...“. Vyslovovanie týchto slabík spôsobuje zmenu polohy artikulačných orgánov. Z toho dôvodu u niektorých pacientov pozorujeme neschopnosť týchto rýchlych zmien alebo rýchle zmeny na úkor zrozumiteľnosti [2, 5].

2.2.3 Prozódia

Zrozumiteľnosť a prirodzenosť reči závisí na prozodických charakteristikách obsiahnutých v reči [3]. Prozódia rečníka sa odvíja od fonácie, pretože medzi tri základné rysy patrí intenzita, tempo reči a frekvencia základného tónu. Okrem týchto základných parametrov sem patrí takisto rytmus, intonácia, prízvuk atď. Po zistení narušenia týchto faktorov sa hovorí o tzv. dysprozódii [2, 5].

2.2.4 Plynulosť reči

Môže dôjsť aj k narušeniu plynulosti reči vytváraním neúmyselných páuz alebo zrýchleným opakovaním slabík. Pozorovateľné je aj náhle spomalenie alebo zrýchlenie reči [2, 5].

3 PREDSPRACOVANIE REČOVÉHO SIGNÁLU

Ludská reč je časovo premenná. Zložitejšou z pohľadu analýzy ju robí fakt, že rečník rovnaké slovo nevysloví dvakrát rovnako či už s rovnakým prízvukom, výškou základného tónu, hlasitosťou, tempom atď. Veľké rozdiely sú aj medzi rečníkmi, ktoré sú spôsobené odlišnými parametrami hlasového ústrojenstva, ale aj odlišným spôsobom artikulácie.

Spracovaniu reči neprospieva šum a rušenie, ktoré sa objavuje pri hluku okolného prostredia, ale ani skreslenie, ktoré vzniká pri zázname a prenose reči. Na tomto skreslení majú zásluhu frekvenčné charakteristiky mikrofónov, ekvalizérov, zosilovačov, vlastností prenosových zariadení pri diaľkovom prenose, prenosové vlastnosti počítačovej siete pri prenose cez internet a pod. Rečový signál sa výhradne spracováva v číslicovej podobe, preto je vhodné ho pred prevodom ešte upraviť [6, 3].

3.1 Preemfázový číslicový filter

Podstatná časť celkovej energie rečového signálu leží vo frekvenčnom pásme pod hranicou 300 Hz, aj keď väčšina užitočnej informácie sa vyskytuje nad touto hranicou. Ak uvažujeme, že kvantizačný šum má približne rovnomerné spektrum, tak jeho záporný vplyv sa prejavuje v zložkách spektra na vyšších frekvenciách. Tieto nepriaznivé vplyvy pre analýzu sa obmedzujú pomocou preemfázového číslicového filteru. Preemfázová filtrácia kompenzuje aj frekvenčné skreslenie prenosového prostredia, kedy frekvenčná charakteristika prenosového prostredia má približne charakter dolnej priepusti, čo znamená, že užitočná informácia na vyšších frekvenciách je potlačená. Preemfázový filter má charakteristiku hornej priepusti, ktorá práve toto kompenzuje tým, že vybudí vyššie harmonické zložky. Prenosová funkcia tohto filteru môže byť rovná:

$$H(z) = 1 - a_1 z^{-1}, \quad (3.1)$$

kde koeficient a_1 býva v rozsahu 0,9 až 1 [6].

3.2 Rozdelenie na segmenty

Artikulačné orgány človeka sa pohybujú obmedzenou rýchlosťou, a preto rečový signál obsahuje krátke úseky, v ktorých sa vlastnosti reči menia pomaly. Preto sa rečový signál spracováva metódami krátkodobej analýzy a je rozdelený na segmenty o dĺžke N , ktoré sa môžu, ale nemusia prekrývať. Toto delenie sa realizuje pomocou časových okien. Najpoužívanejšie je pravouhlé a Hammingové okno [6]. U pravouhlého okna je priradená rovnaká váha všetkým vybraným vzorkám. Pravouhle okno

je rovné [3]:

$$\begin{aligned}w[n] &= 1, & \text{pre } n = 0, 1, \dots, N - 1, \\w[n] &= 0, & \text{pre ostatné } n,\end{aligned}\tag{3.2}$$

kde N je počet vybraných vzoriek. Hammingové okno je definované:

$$\begin{aligned}w[n] &= 0,54 - 0,46 \cos \left[n \frac{2\pi}{N} \right], & \text{pre } n = 0, 1, \dots, N - 1, \\w[n] &= 0, & \text{pre ostatné } n.\end{aligned}\tag{3.3}$$

V prípade pravouhlého aj Hammingového okna sa jedná o filtre typu dolnej priepusti. Šírka pásma priepustnosti je u Hammingovho okna približne dvakrát väčšia než u pravouhlého okna a pre frekvencie vo vnútri pásma priepustnosti vykazuje Hammingovo okno aj väčší útlm [3]. Keďže spektrum diskrétného signálu je periodické, tak pri použití pravouhlého okna môžu nastať väčšie chyby vplyvom presakovania spektrálnych zložiek z vedľajších lalokov. Vhodný kompromis preto vyberieme podľa typu spracovávaného signálu. Dĺžkou segmentu sa dá zabezpečiť, aby sa parametre časovo príliš nemenili alebo boli zistené s prijateľnou presnosťou. Táto dĺžka zväčša býva v rozmedzí od 10 ms do 30 ms podľa potreby. Prekrytie 50% nám zaručí spresnenie výpočtu na úkor väčšej náročnosti výpočtu [6].

4 PARAMETRIZÁCIA REČOVÉHO SIGNÁLU

4.1 Parametre hodnotiace fonáciu

4.1.1 Frekvencia základného tónu

Patrí medzi tri základné suprasegmentálne rysy. Tento parameter sa pri diagnóze Parkinsonovej choroby využíva veľmi často, predovšetkým odhady týchto popisných štatistík: odhad strednej hodnoty $\text{mean}(F_0)$ ¹, rozdiel 3. a 1. kvartilu (interquartile range - IQR), rozdiel maxima a minima (variation range) a smerodajná odchýlka $\text{std}(F_0)$. Ešte častejšie sa pracuje s mediánom, ktorý je odolnejší voči tzv. „outlierom“.

Smerodajná odchýlka $\text{std}(F_0)$ dosahuje u pacientov vyššie hodnoty z dôvodu poškodenia hlasiviek čo spôsobuje nesprávnu funkciu, nepravidelnosť kmitania a neschopnosť udržať stabilnú fonáciu. Pre stanovenie frekvencie základného tónu sa najčastejšie využíva autokorelačná metóda. K popisu variability sa najčastejšie využíva smerodajná odchýlka a jitter [6, 2].

4.1.2 Jitter a shimmer

Jitter a shimmer sledujú mikroprozodické vlastnosti ľudského hlasu a sú to takmer najpoužívanjšie fonačné parametre na svete. Rozdiel v dĺžke dvoch susedných periód hlasivkových impulzov delený priemernou dĺžkou periódy je označovaný ako chvenie hlasiviek (jitter) [2]. Hodnota jitteru je miera nepravidelnosti kvaziperiodického signálu a je dobrým ukazovateľom prítomnosti patológií v hrtane [4]. Jitter vypočítame na základe vzťahu [6]:

$$J_g = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_g[i] - T_g[i-1]|}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} T_g[i]} \quad (4.1)$$

Kolísanie veľkosti impulzov, vyjadrené ako rozdiel veľkosti dvoch susedných impulzov delený ich priemernou veľkosťou sa označuje ako kolísanie impulzov (shimmer) [2]. Vzorec pre výpočet shimmeru je nasledovný [6]:

$$S_g = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A_g[i] - A_g[i-1]|}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} A_g[i]} \quad (4.2)$$

¹v našom prípade sa jedná o aritmetický priemer

4.2 Parametre hodnotiace artikuláciu

4.2.1 Formantové frekvencie

Prúdením vzduchu hlasivkami, ústnou a nosovou dutinou vznikajú rezonancie. Frekvencie, na ktorých dochádza k týmto rezonanciám sa nazývajú formanty (F_1, F_2, F_3). Artikulačné orgány ovplyvňujú hodnoty týchto formantov, preto je možné s pomocou formantov sledovať napr. pohyblivosť jazyka. Nevýhodou je silná závislosť formantových frekvencií na veku a pohlaví [2].

4.3 Parametre hodnotiace prozódium

Parametrom v tejto kapitole bude ponechaný anglický názov, pričom preklad je na čitateľovi. Tri suprasegmentálne rysy prozódie sú:

1. **Plynulosť reči**
2. **Melódia** – parameter F_0 ($\text{std}(F_0), \text{var}(F_0)$).
3. **Intenzita** – parametre krátkodobá energia (short-time energy) a Teager-Kaiserov energetický operátor (TKEO).

4.3.1 Plynulosť reči

Tempo reči je možné vyjadriť pomocou niekoľkých charakteristík. Dôležité je oboznámiť sa s niektorými pojmami. TST (Total Speech Time), predstavuje absolútne trvanie rečového signálu, ktoré obsahuje aj medzislovné pauzy. TPT (Total Pause Time) znamená celkové trvanie páuz dlhších ako 10 ms a NST (Net Speech Time) je trvanie čisto rečového signálu. Spomenuté charakteristiky sú:

1. **Total Speech Rate** – pomer celkového počtu slabík v reči a TST (vyjadruje sa v slabikách za sekundu).
2. **Net Speech Rate** – pomer celkového počtu slabík vyskytujúceho sa v reči a NST (taktiež vyjadrené v slabikách za sekundu).
3. **Articulation Rate** – podobné ako NSR, ale pauzy sú dlhšie ako 50 ms [2].

Neúmyselné prerušovanie reči alebo predlžovanie páuz je možné sledovať pomocou parametrov:

1. **Percentual Pause Ratio** – tento parameter vypočítame zo vzťahu $\text{PPR} = \text{TPT}/\text{TST}$
2. **Ratio of Intra-Word Pauses** – hodnota vyjadruje v percentách precíznosť artikulácie expozív a je daná vzťahom $\text{RIWP} = \text{TIPT}/\text{TPT}$, kde TIPT (Total Intra-Word Pause Time) udáva celkovú dĺžku páuz vo vnútri viacslabičných slov.

3. **Interpause Speech Duration** – vyjadruje sa v sekundách.
4. **Speech Index of Rhythmicity** – parameter odrážajúci rytmus reči. Hodnota odpovedá počtu medzislovných páuz za minútu [2].

4.3.2 Melódia rečového signálu

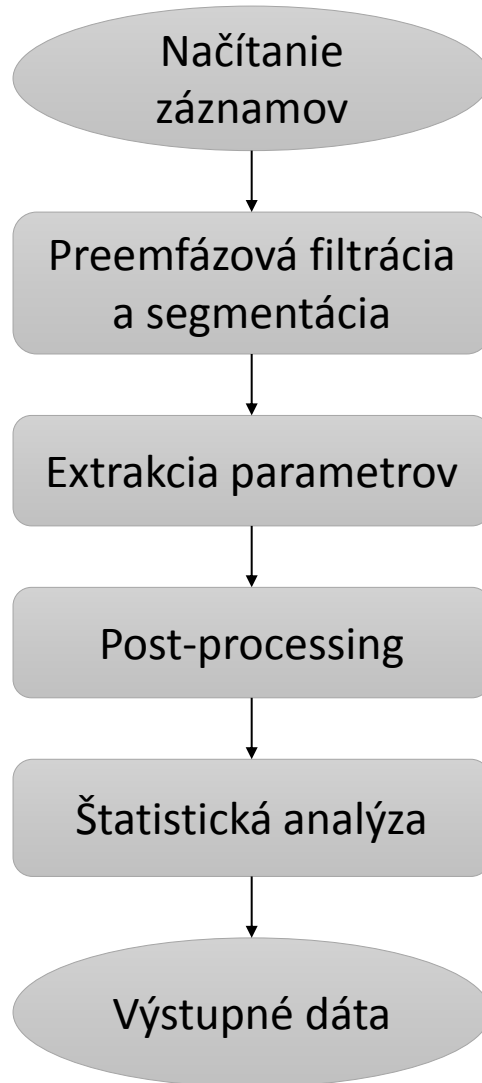
Striedaním intenzity hlasu sa vytvára prízvuk. Túto intenzitu rečového signálu z hľadiska spracovania je možné vyjadriť pomocou krátkodobej energie alebo Teager-Kaiserovým energetickým operátorom (TKEO). Pri intenzite sa nesleduje iba energia, ale aj zmena melódie hlasu, čiže práca so základným hlasivkovým tónom (F_0). Pri pacientoch s Parkinsonovou chorobou sa prejavuje *monopitch* (monotónnosť, reč bez emócií) a *monoloudness* (reč bez zmien intenzity, čiže bez kontrastu). Kolísanie intenzity možno vyjadriť využitím smerodajnej odchýlky [2].

4.4 Post-processing parametrov

Niektoré parametre dávajú vo výsledku vektor alebo maticu. Na reprezentáciu jednotlivých štatistických vlastností týchto parametrov z nich počítame jednoduché štatistiky ako napr. stredná hodnota, smerodajná odchýlka, rozdiel 3. a 1. kvartilu (IQR), koeficient variácie alebo medián.

5 NÁVRH SYSTÉMU

5.1 Blokové schéma



Obr. 5.1: Blokové schéma systému analýzy dyzartrickej reči

5.2 Popis systému

Návrh systému pozostáva z viacerých blokov, z ktorých každý má určitú funkciu. Návrh obsahuje:

1. **Načítanie záznamov** – záznamy rečových cvičení z databázy (konkrétne záznamy čítania štandardizovaného textu) sa uložia do formátu, ktorý je vhodný na následné spracovanie (pole štruktúr, kde má každý pacient uložené dáta vo svojej preddefinovanej štruktúre). Nasleduje predspracovanie (dôležitá úprava vstupných dát).
2. **Preemfázová filtrácia a segmentácia** – preemfázová filtrácia znamená vybudenie vyšších harmonických zložiek a segmentáciou rozdelíme rečový signál na časti (segmenty) o dĺžke N . Z upravených signálov následne môžeme vypočítať jednotlivé parametre.
3. **Extrakcia parametrov** – tu dochádza k extrakcii alebo výpočtu rečových parametrov hodnotiacich jednotlivé oblasti. Ďalej sa rozhodne či nebude treba na niektoré parametre, ktoré dávajú vo výsledku maticu alebo vektor, aplikovať post processing, kedy z týchto parametrov počítame jednoduché štatistiky. Výsledkom bude matica parametrov.
4. **Štatistická analýza** – táto analýza dyzartrickej reči bude predovšetkým zameraná na vyjadrenie odlišností medzi oboma pohlaviami.
5. **Výstupné dáta**

6 REALIZÁCIA SYSTÉMU

6.1 Popis databázy záznamov

K tejto bakalárskej práci bola použitá databáza záznamov rečového cvičenia čítanie štandardizovaného textu. Táto databáza obsahuje celkovo 153 rečníkov. Rečníci sú oboch pohlaví, konkrétne 68 rečníkov ženského pohlavia (z toho 41 rečníkov s Parkinsonovou chorobou) a 85 rečníkov mužského pohlavia (z toho 59 rečníkov s Parkinsonovou chorobou). Záznamy boli zaznamenané v českom jazyku.

6.2 Načítanie záznamov

Systém na načítanie záznamov bol vytvorený v programe MATLAB. Pred samotným načítaním je potrebné vytvoriť textový súbor `_file_list.txt`, kde sú uložené cesty ku všetkým záznamom. Na to slúži súbor `_gen_file_list.bat`.

6.3 Vytvorenie pola štruktúr

Skript vytvorenia pola štruktúr nesie názov `create_database.m`. Tento skript je najdôležitejšia časť systému. Pomocou spomenutého súboru `_file_list.txt` načíta do novej premennej cesty k záznamom rečníkov. Postupným rozborom znakov názvu týchto záznamov zistí pohlavie a zdravotný stav rečníka, pretože tieto údaje sú v názvoch zakódované.

6.4 Predspracovanie

Ako bolo popísané v kapitole 3, rečový signál je pred samotným spracovaním potrebné upraviť. V práci bola použitá segmentácia, ktorá bola aplikovaná pomocou skriptu `segmentation.m`. V hlavnom skripte `create_database.m` je takisto použité odstránenie jednosmernej zložky a preemfázová filtrácia (súbor `preemfaza.m`), pri ktorej bola zvolená hodnota $\alpha = 0.92$.

6.5 Získanie parametrov

Ďalšou časťou bolo získanie jednotlivých parametrov. Niektoré sú v tejto kapitole uvedené s originálnym anglickým názvom.

Frekvencia základného tónu bola získaná pomocou programu *praatcon.exe*, ktorý je voľne dostupný na internete. Vstupom funkcie *praat_F0* je rečový signál a vzorkovacia frekvencia. Táto funkcia následne zavolá program *praatcon.exe* a výstupom je vektor F_0 , z ktorého pomocou post-processingu získame potrebné štatistiky.

Skript *praat_info.m*, ktorý takisto volá program *praatcon.exe*, slúži na získanie parametrov ako **jitter**, **shimmer**, **HNR** (harmonics-to-noise ratio) alebo **NVB** (number of voice breaks), pričom vstupnými parametrami sú rečový signál a vzorkovacia frekvencia.

Formantové frekvencie, nazývané skrátene aj formanty, boli získané skriptom *praat_formants.m*, ktorý takisto ako predchádzajúce 2 skripty volá program *praatcon.exe*. Vstupom tejto funkcie je rečový signál a vzorkovacia frekvencia. Výstupom sú aj veľkosti šírky pásma týchto formantov.

Vstupom funkcie *derive_speech_rate* je rečový signál, vzorkovacia frekvencia a prepis celého znenia štandardizovaného textu, ktorý bol čítaný rečníkmi pre vytvorenie databázy nahrávok. Výstupom sú parametre popísané v kapitole 4.3.1 ako **AR**, **TST**, **NST**, **SPIR** atď.

Ďalšie parametre získané vytvorenými skriptami boli **krátkodobá energia** (funkcia KE) a **Teager-Keiserov energetický operátor** (funkcia TKEO). Vstupom funkcie KE je rozsegmentovaný rečový signál a vzorkovacia frekvencia, zatiaľ čo vstupom funkcie TKEO je iba rečový signál. Tieto parametre ale neboli ďalej využité z dôvodu nízkej výpovednej hodnoty.

6.6 Export parametrov

Následne boli parametre vyexportované do prostredia MS Excel pomocou skriptu *exportExcel.m*, pre uľahčenie ďalšej práce s dátami. Pre všetky parametre boli vypočítané nasledujúce štatistiky: hodnoty 1. kvartilu, 2. kvartilu (medián), 3. kvartilu, odhad strednej hodnoty a smerodajnej odchýlky.

7 ANALÝZA PARAMETROV

7.1 Výber parametrov

Pre demonštráciu rozdielov pôsobenia hypokinetickej dyzartrie u mužov a žien bolo vybraných 9 rečových parametrov, ktoré dosahovali najväčší percentuálny nárast alebo pokles hodnôt pre pacientov s Parkinsonovou chorobou v porovnaní so zdravými rečníkmi. Medzi tieto parametre patrí **AR** (articulation rate), **NST** a **TPT** popísané v kapitole 4.3.1, medián prvého formantu – **median**(F_1) a smerodajná odchýlka tretieho formantu – **std**(F_3) popísané v kapitole 4.2.1, smerodajná odchýlka frekvencie základného tónu – **std**(F_0) z kapitoly 4.1.1, **HNR** (harmonics-to-noise ratio), **NVB** (number of voice breaks) a **shimmer** s indexom APQ11 (eleven-point Amplitude Perturbation Quotient) popísaný v kapitole 4.1.2. Z týchto parametrov boli vytvorené histogramy zobrazené na obrázkoch A.1, A.2, A.3 a A.4. Postupne boli porovnávané jednotlivé kategórie rečníkov.

7.2 Porovnanie parametrov

Nasledujúce porovnania boli vykonané na základe tabuliek v prílohe B. Rozdiely medzi jednotlivými skupinami zobrazujú aj histogramy v prílohe A.

Prvý porovnávaný parameter AR má rovnaký percentuálny nárast u oboch pohlaví pri porovnaní zdravých rečníkov a pacientov. Podobne sú na tom obe pohlavia aj čo sa týka parametru TPT, pričom pokles je znovu približne rovnaký. Najväčší rozdiel je viditeľný pri parametri NST, kedy pokles u mužov predstavuje približne 11%, zatiaľ čo u žien bol zaznamenaný nárast o 12%. Hodnota mediánu prvého formantu sa u mužov výrazne nemení, ale u žien vykazuje pokles približne 10%. Hodnota S_{apq11} u žien klesla takmer dvojnásobne než u mužov. Parameter HNR spolu s NVB a $\text{std}(F_0)$ je u pacientov s Parkinsonovou chorobou nižší ako u zdravých rečníkov (s výraznejším poklesom u mužov). Rozdielne pôsobenie hypokinetickej dyzartrie je aj pri smerodajnej odchýlke tretieho formantu, kde tento parameter u pacientov mužského pohlavia narozdiel od ženských pacientov vykazuje pokles.

Pri zdravých rečníkoch je rozdiel hodnôt mediánu prvého formantu medzi oboma pohlaviami 12%. Pri pacientoch je tento rozdiel 25%. Rozdiel hodnôt parametru TPT zostáva pri tomto porovnaní približne rovnaký. Najväčší rozdiel nastáva pri parametri NST, kde je hodnota parametru pri zdravých rečníkoch o 16,5% vyššia u mužov ako u žien, no u ženských pacientov s Parkinsonovou chorobou je táto hodnota vyššia o 8%. Pri parametroch S_{apq11} a $\text{std}(F_3)$ sa pôsobením hypokinetickej dyzartrie percentuálny rozdiel hodnôt parametrov medzi pohlaviami znižuje.

8 ZÁVER

Prvým cieľom bakalárskej práce bolo naštudovanie podstaty systému tvorby reči, ktorého činnosť nám približuje priložený matematický model a poškodenia reči spôsobené Parkinsonovou chorobou. Sledovanie tohto poškodenia, ktoré sa nazýva hypokinetická dyzartria, má potenciál včas diagnostikovať Parkinsonovu chorobu. V prvej časti práce je popísaný jej negatívny vplyv na jednotlivé ústrojenstvá, ktoré sa podieľajú na tvorbe reči. Táto časť bola náročná, pretože literatúry obsahovali množstvo odborných výrazov.

Ďalším krokom bolo oboznámenie sa s predspracovaním, parametrizáciou a post-processingom parametrov. Znalosti nadobudnuté spracovávaním predchádzajúcich častí práce boli využité na navrhnutie a popis systému analýzy dyzartrickej reči zameraného na kvantifikáciu rozdielov u mužov a žien. Systém bol realizovaný pomocou programu MATLAB a obsahoval najdôležitejší hlavný skript, z ktorého pomocou volania funkcií boli spúšťané ďalšie. Dôležité bolo správne načítanie záznamov rečového cvičenia z databázy pomocou textového súboru obsahujúceho cesty ku všetkým záznamom. V práci je popísané aj predspracovanie rečového signálu, ktoré bolo realizované odstránením jednosmernej zložky, segmentáciou a preemfázovou filtráciou. Získaných parametrov bolo celkovo 61. 18 z nich hodnotilo fonáciu napr. parametre $\text{mean}(F_0)$, J_{local} , J_{rap} atď. z kapitoly 4.1. Popis poškodenia plynulosti reči reprezentovali napr. parametre AR, NST, TPT popísané aj v kapitole 4.3.1. Medzi získané parametre patrili aj formantové frekvencie hodnotiace artikuláciu z kapitoly 4.2.1 a šírky pásiem týchto formantov. Z týchto parametrov sa vybralo k analýze 9 najvhodnejších, ktoré vykazovali najväčšie rozdiely v porovnaní medzi rôznymi kategóriami rečníkov. Najväčšie zhoršenie parametrov pôsobením hypokinetickej dyzartrie u mužov bolo zaznamenané pri parametroch HNR a NVB. U žien to boli parametre NST a $S_{\text{app}11}$. Najväčšie rozdiely pri rovnakom zdravotnom stave medzi pohlaviami vykazovali u zdravých rečníkov hodnoty mediánu 1. formantu, smerodajná odchýlka 3. formantu a parameter NST. U pacientov s Parkinsonovou chorobou to boli hodnoty mediánu 1. formantu a parametre NVB a HNR.

V práci bolo dokázané, že hypokinetická dyzartria sa pre obe pohlavia vyznačuje odlišne. V ďalšom výskume by sa táto práca mohla zamerať na dôkladnejšiu analýzu týchto parametrov s cieľom komplexného profilu rečovej závislosti pre obe pohlavia.

LITERATÚRA

- [1] ASGARI, M., SHAFRAN, I.. *Predicting Severity of Parkinson's Disease from Speech*. 2010, ISBN 978-1-4244-4124-2.
- [2] MEKYSKA, J., SMÉKAL, Z., KOŠTÁLOVÁ, M., MRAČKOVÁ, M. SKUTILOVÁ, S., REKTOROVÁ, I.. *Motorické aspekty poruch řeči u Parkinsonovy nemoci a jejich hodnocení*. Brno, 2011.
- [3] PSUTKA, J.. *et al. Mluvíme s počítačem česky*. Praha: ACADEMIA, 2006. 752 s. ISBN 80-200-1309-1.
- [4] SILVA, D., OLIVEIRA, L., ANDREA, M.. *Jitter Estimation Algorithms for Detection of Pathological Voices*. Hindawi Publishing Corp., 2009.
- [5] SKODDA, S., VISSER, W., SCHLEGEL, U.. *Short- and long-term dopaminergic effects on dysarthria in early Parkinson's disease*. Ruhr-University of Bochum, Germany 2009.
- [6] SMÉKAL, Z. *Číslíkové zpracování řeči (MZPR)*. Elektronická skripta pro magisterská studia, VUT Brno, 2010.
- [7] SMÉKAL, Z., MEKYSKA, J., GALÁŽ, Z., MŽOUREK, Z., REKTOROVÁ, I., FAUNDEZ-ZANUY, M.. *Analysis of Phonation in Patients with Parkinson's Disease using Empirical Mode Decomposition*.

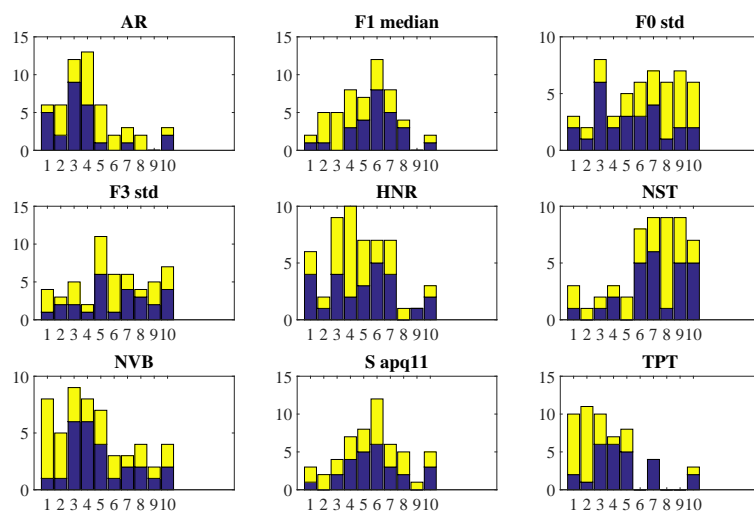
ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

F_0	frekvencia základného tónu
DDK	Diadocho-kinetické úlohy
PN	Parkinsonova choroba
$H(z)$	prenosová funkcia preemfázového filtru
N	počet segmentov
IQR	rozdiel 3. a 1. kvartilu
mean	odhad strednej hodnoty
std	smerodajná odchýlka
median	medián (2. kvartil)
q1	1. kvartil
q3	3. kvartil
J_g	jitter
S_g	shimmer
F_1, F_2, F_3	formantové frekvencie
TKEO	Teager-Kaiserov energetický operátor
KE	krátkodobá energia
TST	absolútne trvanie rečového signálu
TPT	celkové trvanie páuz dlhších ako 10ms
NST	trvanie čisto rečového signálu
AR	articulation rate
HNR	harmonics-to-noise ratio
APQ11	eleven-point Amplitude Perturbation Quotient
NVB	number of voice breaks

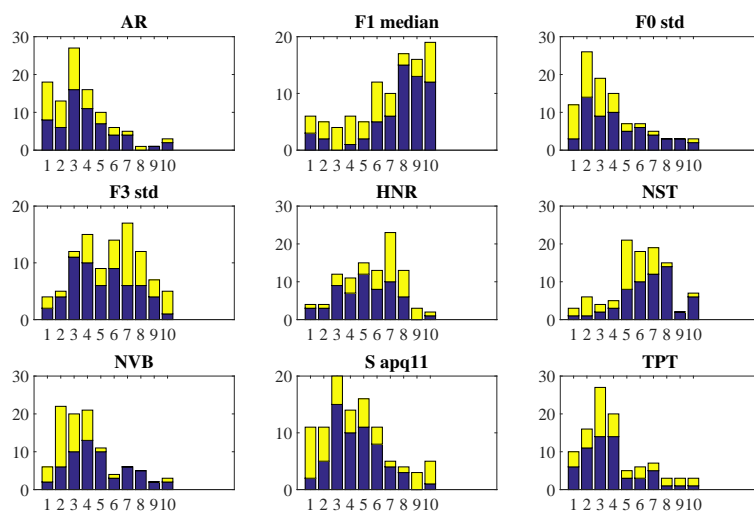
ZOZNAM PRÍLOH

A	Histogramy rečových parametrov	31
B	Tabuľky rečových parametrov	33
C	Obsah priloženého CD	39

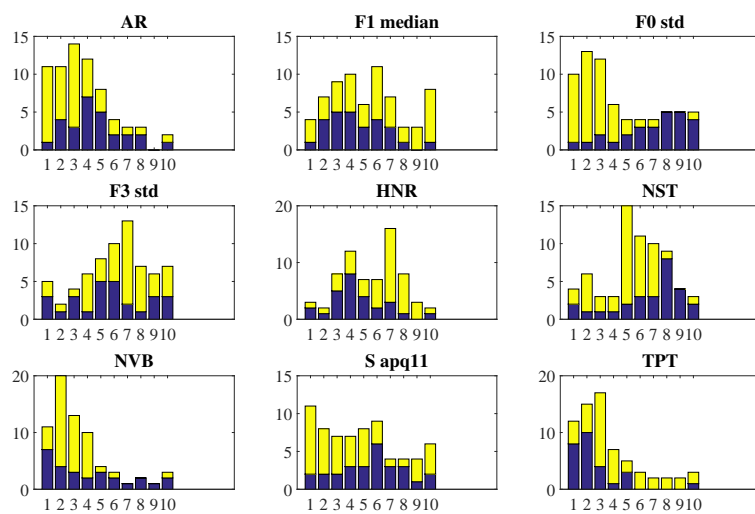
A HISTOGRAMY REČOVÝCH PARAMETROV



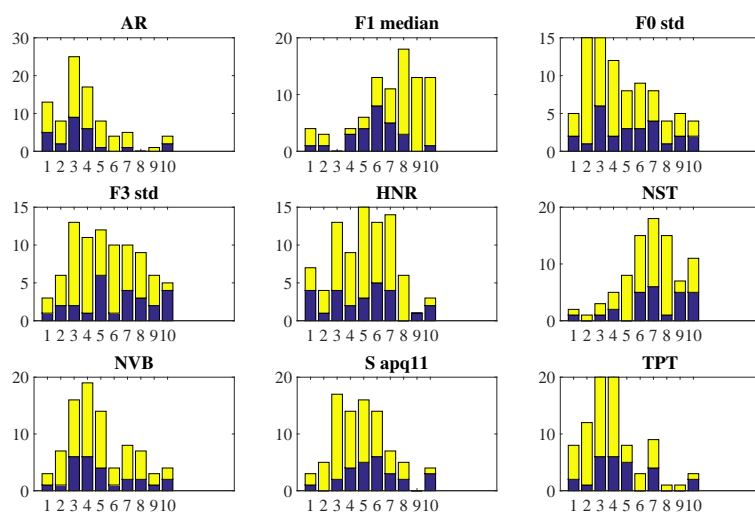
Obr. A.1: Histogramy pre zdravých rečníkov. Modrá farba: muži; žltá farba: ženy.



Obr. A.2: Histogramy pre pacientov s PN. Modrá farba: muži; žltá farba: ženy.



Obr. A.3: Histogramy pre ženy. Modrá farba: zdraví; žltá farba: pacienti s PN.



Obr. A.4: Histogramy pre mužov. Modrá farba: zdraví; žltá farba: pacienti s PN.

B TABUĽKY REČOVÝCH PARAMETROV

Tab. B.1: Tabuľka vybraných rečových parametrov pre zdravých rečníkov ženského pohlavia.

parameters	q1	median	q3	mean	std
AR	14,5915	19,4367	26,3183	20,8861	8,7515
$BWF1_{median}$	589,0050	605,1830	662,3620	623,8132	71,0141
$BWF2_{median}$	797,9650	873,0320	910,5770	870,7584	83,9791
$BWF3_{median}$	923,6950	1111,6460	1282,4070	1089,8007	200,6642
$BWF1_{q1}$	314,5065	344,1273	387,3685	356,2893	57,1285
$BWF2_{q1}$	475,0153	523,7805	562,5655	528,9180	65,2130
$BWF3_{q1}$	564,6393	734,7550	850,5503	725,0868	163,8836
$F0_{mean}$	178,4319	189,3447	208,8410	190,7767	26,1037
$F1_{mean}$	1342,8820	1424,0081	1486,4443	1427,4859	109,3321
$F1_{median}$	1275,7095	1342,7510	1595,4410	1413,5304	243,5924
$F0_{std}$	119,5118	123,0934	143,5180	128,4841	21,8291
$F2_{std}$	719,1405	757,9289	819,8199	772,0562	71,3778
$F3_{std}$	357,8355	419,4804	467,9706	414,0283	66,6652
$F0_{q1}$	136,5077	162,8442	169,7464	143,5585	45,8746
$F1_{q1}$	535,2188	570,0100	661,9453	620,0619	136,9497
$F2_{q1}$	2586,0033	2642,0800	2759,9780	2676,3830	151,1821
HNR	0,2031	0,2381	0,2921	0,2411	0,0644
J_{local}	2,4500	2,7710	3,0990	2,6615	0,5121
J_{rap}	1,1550	1,3130	1,5130	1,2852	0,2733
NST	21,8500	32,4300	35,0300	27,4652	11,6374
NVB	147,0000	160,0000	181,0000	167,7778	22,6361
S_{apq11}	14,6120	16,6970	18,7610	16,7049	2,9588
S_{local}	13,6790	15,2480	16,3430	14,9949	2,1798
SPIR	0,0341	0,0363	0,0395	0,0350	0,0101
TPT	24,9151	32,0376	40,4926	35,9243	18,2734
TSR	8,6182	9,0380	9,9122	9,0258	1,2100
TST	56,3951	61,8501	64,8626	63,3895	11,2465

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

Tab. B.2: Tabuľka vybraných rečových parametrov pre zdravých rečníkov mužského pohlavia.

parameters	q1	median	q3	mean	std
AR	12,9308	18,5345	21,4176	19,8328	8,1892
$BWF1_{median}$	554,6630	612,4220	693,2000	614,1103	85,3964
$BWF2_{median}$	768,1190	838,7670	913,3500	828,3015	121,6361
$BWF3_{median}$	732,5640	951,9465	1158,2910	966,1705	267,2485
$BWF1_{q1}$	331,4750	356,2588	391,7585	355,5447	70,3970
$BWF2_{q1}$	460,8428	502,6955	566,8703	506,0322	103,5780
$BWF3_{q1}$	451,9245	519,2440	808,9115	601,5525	222,9930
$F0_{mean}$	122,8218	137,1031	158,5791	136,7868	25,9590
$F1_{mean}$	1384,7296	1469,9728	1563,0468	1453,2840	188,7031
$F1_{median}$	1529,1800	1640,9635	1730,7430	1582,4314	304,9123
$F0_{std}$	115,8018	126,3408	152,4021	129,9321	30,3830
$F2_{std}$	690,5177	763,8144	833,4867	770,7282	105,0553
$F3_{std}$	405,6340	474,5878	531,4945	467,8219	77,8420
$F0_{q1}$	62,6073	102,7534	116,5186	83,8110	46,1066
$F1_{q1}$	530,4398	618,2890	681,9700	657,2664	239,4054
$F2_{q1}$	2422,0623	2543,9680	2743,8208	2581,7214	221,9716
HNR	0,1943	0,2392	0,2772	0,2409	0,0584
J_{local}	2,3200	2,9640	3,2370	2,9376	0,5850
J_{rap}	1,1070	1,3660	1,5780	1,3800	0,3479
NST	27,1000	32,7900	37,3900	31,9681	8,2133
NVB	145,0000	155,0000	177,0000	160,0370	22,2302
S_{apq11}	14,0590	15,5240	16,9750	15,5863	2,5274
S_{local}	13,7210	14,4900	16,9400	15,1184	2,1901
SPIR	0,0292	0,0343	0,0375	0,0342	0,0061
TPT	28,1501	32,3201	38,0126	34,0781	10,8635
TSR	7,4561	9,0961	9,5990	8,7118	1,4162
TST	58,2351	61,4551	73,3900	66,0463	11,7642

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

Tab. B.3: Tabuľka vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou (ženy).

parameters	q1	median	q3	mean	std
AR	13,9629	21,7425	26,4750	22,8821	11,6777
$BWF1_{median}$	563,5285	605,4500	669,9210	608,2099	101,0703
$BWF2_{median}$	777,1808	827,8530	898,1160	833,9341	91,8929
$BWF3_{median}$	871,0143	1026,6250	1206,1360	1029,7445	223,5136
$BWF1_{q1}$	306,0885	341,6268	373,8478	345,6368	73,4450
$BWF2_{q1}$	440,6996	501,6550	552,2125	497,8890	87,7490
$BWF3_{q1}$	557,6985	673,4200	803,9340	671,3731	180,3773
$F0_{mean}$	166,3475	183,5898	208,4411	186,5811	34,6326
$F1_{mean}$	1266,0983	1347,4424	1480,3589	1369,9929	205,1007
$F1_{median}$	1004,0005	1273,1290	1603,3785	1285,4968	356,9661
$F0_{std}$	103,8310	120,7328	138,8695	123,1636	26,1522
$F2_{std}$	710,5581	776,6608	830,4857	763,0719	98,2049
$F3_{std}$	384,1626	453,1087	502,2792	442,1059	85,2136
$F0_{q1}$	112,5793	160,7985	177,0794	134,4711	64,5077
$F1_{q1}$	470,9743	541,4538	636,5915	625,3164	253,5141
$F2_{q1}$	2499,7399	2632,6060	2845,7684	2673,2891	265,0549
HNR	0,1515	0,2027	0,2560	0,2261	0,1089
J_{local}	1,9920	2,4220	2,9940	2,6682	0,9938
J_{rap}	0,9145	1,1610	1,5065	1,3158	0,5681
NST	25,7500	32,1800	38,0650	31,2363	10,5351
NVB	137,5000	156,0000	178,5000	162,3171	38,5597
S_{apq11}	11,5440	13,9550	17,4910	14,8948	3,7476
S_{local}	12,1115	13,3790	15,8345	13,9554	2,4564
SPIR	0,0301	0,0349	0,0425	0,0360	0,0084
TPT	23,8726	28,4801	41,7851	33,4053	14,6474
TSR	8,3213	9,2830	9,8689	8,9981	1,5647
TST	56,6426	60,2176	67,1851	64,6416	15,2106

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

Tab. B.4: Tabuľka vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou (muži).

parameters	q1	median	q3	mean	std
AR	16,4170	19,6485	26,5558	21,4203	8,0639
$BWF1_{median}$	586,4870	637,0750	692,8860	638,1887	87,8756
$BWF2_{median}$	762,5545	839,1170	910,8980	836,7988	102,0859
$BWF3_{median}$	880,1990	1075,6000	1213,6030	1044,2160	225,1532
$BWF1_{q1}$	351,9650	383,6355	418,6295	376,0902	62,6965
$BWF2_{q1}$	460,7613	530,8590	601,9590	524,0959	83,5885
$BWF3_{q1}$	479,5213	690,5015	795,3853	665,5770	186,6128
$F0_{mean}$	115,0558	131,6988	148,2716	132,7357	29,7337
$F1_{mean}$	1423,0941	1517,0575	1625,2812	1497,1883	161,0347
$F1_{median}$	1532,9250	1696,7120	1821,8340	1609,2906	314,9929
$F0_{std}$	91,0039	115,9217	131,4318	114,6719	31,4170
$F2_{std}$	641,5336	740,2832	796,8710	732,1992	112,9165
$F3_{std}$	367,2045	459,3103	542,4478	457,4230	107,4714
$F0_{q1}$	76,5479	103,4522	121,2201	93,6745	47,4692
$F1_{q1}$	505,0705	669,3448	900,2473	720,5148	267,7379
$F2_{q1}$	2545,8930	2704,5698	2914,9130	2719,7777	249,0113
HNR	0,1532	0,1958	0,2472	0,2057	0,0661
J_{local}	2,3880	2,6990	3,0430	2,7767	0,5754
J_{rap}	1,0360	1,1790	1,3570	1,2641	0,3567
NST	23,4300	29,6000	33,8400	28,7415	8,9524
NVB	123,0000	136,0000	158,0000	139,5763	23,9018
$BWF1_{q1}$	351,9650	383,6355	418,6295	376,0902	62,6965
$BWF2_{q1}$	460,7613	530,8590	601,9590	524,0959	83,5885
$BWF3_{q1}$	479,5213	690,5015	795,3853	665,5770	186,6128
S_{apq11}	12,4610	14,3580	16,1780	14,5684	2,6183
S_{local}	12,2180	14,1340	15,3430	14,0531	2,2180
SPIR	0,0297	0,0322	0,0371	0,0328	0,0064
TPT	23,6476	29,9826	35,3101	31,5880	11,1071
TSR	8,4326	9,4681	10,6400	9,5636	1,6831
TST	52,5376	59,0401	66,2901	60,3295	10,9696

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

Tab. B.5: Tabuľka jednotlivých rečových parametrov udávajúca percentuálny nárast hodnôt vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou v porovnaní so zdravými rečníkmi. V tabuľke sú uvažovaní rečníci ženského pohlavia.

parameters	q1 [%]	median [%]	q3 [%]	mean [%]	std [%]
AR	-4,50	10,61	0,59	8,72	25,06
$BWF1_{median}$	-4,52	0,04	1,13	-2,57	29,74
$BWF2_{median}$	-2,67	-5,46	-1,39	-4,42	8,61
$BWF3_{median}$	-6,05	-8,28	-6,32	-5,83	10,22
$BWF1_{q1}$	-2,75	-0,73	-3,62	-3,08	22,22
$BWF2_{q1}$	-7,79	-4,41	-1,87	-6,23	25,68
$BWF3_{q1}$	-1,24	-9,11	-5,80	-8,00	9,14
$F0_{mean}$	-7,26	-3,13	-0,19	-2,25	24,63
$F1_{mean}$	-6,06	-5,68	-0,41	-4,20	46,69
$F1_{median}$	-27,06	-5,47	0,50	-9,96	31,76
$F0_{std}$	-15,10	-1,96	-3,35	-4,32	16,53
$F2_{std}$	-1,21	2,41	1,28	-1,18	27,32
$F3_{std}$	6,85	7,42	6,83	6,35	21,77
$F0_{q1}$	-21,25	-1,27	4,14	-6,76	28,89
$F1_{q1}$	-13,64	-5,27	-3,98	0,84	45,98
$F2_{q1}$	-3,45	-0,36	3,01	-0,12	42,96
HNR	-34,05	-17,47	-14,11	-6,63	40,87
J_{local}	-22,99	-14,41	-3,51	0,25	48,47
J_{rap}	-26,30	-13,09	-0,43	2,33	51,90
NST	15,15	-0,78	7,97	12,07	-10,46
NVB	-6,91	-2,56	-1,40	-3,36	41,30
S_{apq11}	-26,58	-19,65	-7,26	-12,15	21,05
S_{local}	-12,94	-13,97	-3,21	-7,45	11,26
SPIR	-13,03	-3,96	7,21	2,82	-19,87
TPT	-4,37	-12,49	3,09	-7,54	-24,76
TSR	-3,57	2,64	-0,44	-0,31	22,67
TST	0,44	-2,71	3,46	1,94	26,06

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

Tab. B.6: Tabuľka jednotlivých rečových parametrov udávajúca percentuálny nárast hodnôt vybraných rečových parametrov pre pacientov s Parkinsonovou chorobou v porovnaní so zdravými rečníkmi. V tabuľke sú uvažovaní rečníci mužského pohlavia.

parametres	q1 [%]	median [%]	q3 [%]	mean [%]	std [%]
AR	21,24	5,67	19,35	7,41	-1,55
$BWF1_{median}$	5,43	3,87	-0,05	3,77	2,82
$BWF2_{median}$	-0,73	0,04	-0,27	1,02	-19,15
$BWF3_{median}$	16,77	11,50	4,56	7,47	-18,70
$BWF1_{q1}$	5,82	7,14	6,42	5,46	-12,28
$BWF2_{q1}$	-0,02	5,31	5,83	3,45	-23,91
$BWF3_{q1}$	5,76	24,80	-1,70	9,62	-19,49
$F0_{mean}$	-6,75	-4,10	-6,95	-3,05	12,70
$F1_{mean}$	2,70	3,10	3,83	2,93	-17,18
$F1_{median}$	0,24	3,29	5,00	1,67	3,20
$F0_{std}$	-27,25	-8,99	-15,96	-13,31	3,29
$F2_{std}$	-7,64	-3,18	-4,59	-5,26	6,96
$F3_{std}$	-10,47	-3,33	2,02	-2,27	27,57
$F0_{q1}$	18,21	0,68	3,88	10,53	2,87
$F1_{q1}$	-5,02	7,63	24,25	8,78	10,58
$F2_{q1}$	4,86	5,94	5,87	5,08	10,86
HNR	-26,85	-22,16	-12,16	-17,11	11,64
J_{local}	2,85	-9,82	-6,38	-5,79	-1,67
J_{rap}	-6,85	-15,86	-16,29	-9,17	2,47
NST	-15,66	-10,78	-10,49	-11,23	8,26
NVB	-17,89	-13,97	-12,03	-14,66	6,99
S_{apq11}	-12,82	-8,12	-4,93	-6,99	3,47
S_{local}	-12,30	-2,52	-10,41	-7,58	1,26
SPIR	1,66	-6,49	-1,15	-4,30	4,38
TPT	-19,04	-7,80	-7,65	-7,88	2,19
TSR	11,58	3,93	9,78	8,91	15,86
TST	-10,84	-4,09	-10,71	-9,48	-7,24

q1 – 1. kvartil; median – medián (2. kvartil); q3 – 3. kvartil; mean – stredná hodnota; std – smerodajná odchýlka. Rečové parametre sú popísané v kapitole 4.

C OBSAH PRILOŽENÉHO CD

Na CD sa nachádza 1 priečinok, databáza získaných parametrov a bakalárska práca s názvom **BPHerinek.pdf**. V priečinku **zdrojové kódy** sa nachádzajú všetky použité a vytvorené skripty vrátane najdôležitejšieho s názvom *create_database.m* a textového súboru *_file_list.txt*. Databáza záznamov rečového cvičenia na CD chýba, pretože sa jedná o dôverné dáta.