



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

KOMPARACE PÁROVÝCH ZNĚLÝCH A NEZNĚLÝCH SOUHLÁSEK

THE COMPARISON OF VOICED AND UNVOICED CONSONANT PAIRS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Šablatúra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek,
Ph.D.**

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Šimon Šablatúra

ID: 221490

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Komparace párových znělých a neznělých souhlásek

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vyberte nejméně pět párů znělých a neznělých souhlásek. Nastudujte jejich výslovnost a jejich fonetické varianty nejméně ve čtyřech jazycích. Nahrajte varianty těchto párových souhlásek v různých jazycích nejméně pěti mluvčími, a to jako jednotlivé hlásky, v různých slovech i celých frázích. Proveďte analýzu v prostředí Matlab, kde identifikujete ve spektru složky znělé a neznělé a vztah mezi nimi. Spektrum dejte do souvislosti s fyziologickým tvořením hlásek v patřičném jazyce.

V semestrální práci proveďte analýzu nejméně dvou párů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MIŠUN, V., Tajemství lidského hlasu Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3499-8. [2] SYROVÝ, V., Hudební akustika. Praha: AMU, 2003. ISBN 978-80-7331-127-8. [2] Syrový, V.: Hudební akustika. Praha: AMU, 2003. ISBN 978-80-7331-127-8

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 28.5.2024

Vedoucí práce: MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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 venuje komparácii znělých a neznelých spoluhlások. Cieľom práce je analýza výslovnosti jednotlivých spoluhlások v rôznych jazykoch. Pre túto prácu bolo vybraných päť párov znělých a neznelých spoluhlások, ktoré boli nahrané piatimi rozprávačmi. Následne boli tieto nahrávky analyzované v programe Matlab, Praat a Excel, kde sa porovnávali spektrá, formantové oblasti a smerové charakteristiky jednotlivých spoluhlások. Tieto analýzy sa dali do súvislosti s fyziologickým tvorením spoluhlások v danom jazyku. Vybrané jazyky pre túto prácu sú španielčina, slovenčina, čeština a ruština.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Spoluhlásky, spektrálna analýza, spektrogram, formantová analýza, smerová analýza, tvorba hlasu, delenie spoluhlások, šum, vokálny trakt

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the comparison of voiced and unvoiced consonants. The aim of the work is the analysis of the pronunciation of single consonants in different languages. Five pairs of voiced and unvoiced consonants were selected for this work and were recorded by five narrators. Subsequently, these recordings were analyzed in the Matlab, Praat and Excel programs, where spectra, formant regions and directional characteristics of single consonants were compared. These analyzes were related to the physiological formation of consonants in the given language. The selected languages for this work are Spanish, Slovak, Czech and Russian.

KEYWORDS

Consonants, spectral analysis, spectrogram, formant analysis, directional analysis, Voice formation, division of consonants, noise, vocal tract

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora:	Šimon Šablatúra
VUT ID autora:	221490
Typ práce:	Bakalárska práca
Akademický rok:	2023/24
Téma záverečnej práce:	Komparace párových znělých a neznělých souhlásek

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce MgA. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za vedenie, rady a konzultácie pri zhotovovaní semestrálnej práce. Taktiež ďakujem všetkým rozprávačom, ktorí sa podieľali na nahrávaní.

Obsah

Úvod	12
1 Zvuk a reč	13
1.1 Parametre reči a hlasu	13
2 Fonetika a fonológia	14
2.1 Fonetika	14
2.2 Fonológia	14
3 Tvorba hlasu	15
3.1 Tvorba hlások	15
3.2 Delenie spoluhlások podľa miesta tvorenia	16
3.3 Výslovnosť spoluhlások v rôznych jazykoch	18
3.3.1 Výslovnosť v slovenčine a češtine	18
3.3.2 Výslovnosť v španielčine	18
3.3.3 Výslovnosť v ruštine	18
3.4 Delenie spoluhlások podľa prekážky	18
3.5 Šum	19
3.6 Znelé a neznelé spoluhlásky	19
3.6.1 Znelosť spoluhlások v slovenčine	20
3.6.2 Znelosť spoluhlások v češtine	20
3.6.3 Znelosť spoluhlások v ruštine	20
3.6.4 Znelosť spoluhlások v španielčine	20
4 Meranie	21
4.1 Uskutočnenie	21
4.1.1 Proces nahrávania	21
4.1.2 Proces smerového nahrávania	22
4.2 Rozmery rozprávačov	23
4.3 Scénar rozprávačov	24
4.3.1 Scénar pre slovenčinu	24
4.3.2 Scénar pre ruštinu	25
4.3.3 Scénar pre češtinu	26
4.3.4 Scénar pre španielčinu	26
4.4 Porovnanie spektrogramov	27
4.4.1 Bilabiálna spoluhláska b	28
4.4.2 Bilabiálna spoluhláska p	30
4.4.3 Prealveolárna spoluhláska d	31

4.4.4	Prealveolárna spoluhláska t	33
4.4.5	Prealveolárna spoluhláska z	34
4.4.6	Prealveolárna spoluhláska s	35
4.4.7	Velárna spoluhláska g	37
4.4.8	Velárna spoluhláska k	38
4.4.9	Labiodentálna spoluhláska v	39
4.4.10	Labiodentálna spoluhláska f	40
4.5	Formantové oblasti	41
4.5.1	Formantová oblasť spoluhlásky b	42
4.5.2	Formantová oblasť spoluhlásky p	43
4.5.3	Formantová oblasť spoluhlásky d	44
4.5.4	Formantová oblasť spoluhlásky t	45
4.5.5	Formantová oblasť spoluhlásky s	47
4.5.6	Formantová oblasť spoluhlásky z	48
4.5.7	Formantová oblasť spoluhlásky g	49
4.5.8	Formantová oblasť spoluhlásky k	50
4.5.9	Formantová oblasť spoluhlásky v	50
4.5.10	Formantová oblasť spoluhlásky f	51
4.5.11	Výsledky formantových oblastí	52
4.6	Smerová analýza	55
4.6.1	Smerová charakteristika hlásky b a p	55
4.6.2	Smerová charakteristika hlásky d a t	56
4.6.3	Smerová charakteristika hlásky z a s	57
4.6.4	Smerová charakteristika hlásky k a g	58
4.6.5	Smerová charakteristika hlásky f a v	59
4.6.6	Výsledky smerovej charakteristiky	60
	Záver	61
	Literatúra	62
	Zoznam symbolov a skratiek	64
	A Zoznam príloh	65

Zoznam obrázkov

3.1	Hlasový akustický systém	15
3.2	Delenie spoluhlások podľa miesta tvorenia	17
4.1	Bezodrazová komora	22
4.2	Smerové nahrávanie	23
4.3	Rozmiestnenie mikrofónov pri smerovom nahrávaní	23
4.4	Meranie rozmerov jednotlivých rozprávačov	24
4.5	Spektrogram ruština <i>b</i>	29
4.6	Spektrogram slovenčina <i>b</i>	29
4.7	Spektrogram španielčina <i>b</i>	29
4.8	Spektrogram čeština <i>b</i>	29
4.9	Spektrogram čeština <i>b</i>	29
4.10	Spektrogram slovenčina <i>p</i>	30
4.11	Spektrogram španielčina <i>p</i>	30
4.12	Spektrogram čeština <i>p</i>	30
4.13	Spektrogram čeština <i>p</i>	30
4.14	Spektrogram ruština <i>p</i>	31
4.15	Spektrogram ruština <i>d</i>	32
4.16	Spektrogram slovenčina <i>d</i>	32
4.17	Spektrogram španielčina <i>d</i>	32
4.18	Spektrogram čeština <i>d</i>	32
4.19	Spektrogram čeština <i>d</i>	32
4.20	Spektrogram ruština <i>t</i>	33
4.21	Spektrogram slovenčina <i>t</i>	33
4.22	Spektrogram španielčina <i>t</i>	33
4.23	Spektrogram čeština <i>t</i>	34
4.24	Spektrogram čeština <i>t</i>	34
4.25	Spektrogram ruština <i>z</i>	34
4.26	Spektrogram slovenčina <i>z</i>	35
4.27	Spektrogram španielčina <i>z</i>	35
4.28	Spektrogram čeština <i>z</i>	35
4.29	Spektrogram čeština <i>z</i>	35
4.30	Spektrogram ruština <i>s</i>	36
4.31	Spektrogram slovenčina <i>s</i>	36
4.32	Spektrogram španielčina <i>s</i>	36
4.33	Spektrogram čeština <i>s</i>	36
4.34	Spektrogram čeština <i>s</i>	36
4.35	Spektrogram ruština <i>g</i>	37

4.36	Spektrogram španielčina <i>g</i>	37
4.37	Spektrogram čeština <i>g</i>	37
4.38	Spektrogram čeština <i>g</i>	37
4.39	Spektrogram ruština <i>k</i>	38
4.40	Spektrogram španielčina <i>k</i>	38
4.41	Spektrogram čeština <i>k</i>	38
4.42	Spektrogram čeština <i>k</i>	38
4.43	Spektrogram ruština <i>g</i>	39
4.44	Spektrogram slovenčina <i>v</i>	39
4.45	Spektrogram španielčina <i>v</i>	39
4.46	Spektrogram čeština <i>v</i>	40
4.47	Spektrogram čeština <i>v</i>	40
4.48	Spektrogram ruština <i>f</i>	40
4.49	Spektrogram slovenčina <i>f</i>	41
4.50	Spektrogram španielčina <i>f</i>	41
4.51	Spektrogram čeština <i>f</i>	41
4.52	Spektrogram čeština <i>f</i>	41
4.53	Formantová oblasť čeština <i>b</i>	42
4.54	Formantová oblasť slovenčina <i>b</i>	42
4.55	Formantová oblasť španielčina <i>b</i>	42
4.56	Formantová oblasť ruština <i>b</i>	43
4.57	Formantová oblasť slovenčina <i>p</i>	43
4.58	Formantová oblasť čeština <i>p</i>	43
4.59	Formantová oblasť španielčina <i>p</i>	44
4.60	Formantová oblasť ruština <i>p</i>	44
4.61	Formantová oblasť slovenčina <i>d</i>	45
4.62	Formantová oblasť čeština <i>d</i>	45
4.63	Formantová oblasť španielčina <i>d</i>	45
4.64	Formantová oblasť ruština <i>d</i>	45
4.65	Formantová oblasť slovenčina <i>t</i>	46
4.66	Formantová oblasť čeština <i>t</i>	46
4.67	Formantová oblasť španielčina <i>t</i>	46
4.68	Formantová oblasť ruština <i>t</i>	46
4.69	Formantová oblasť slovenčina <i>s</i>	47
4.70	Formantová oblasť čeština <i>s</i>	47
4.71	Formantová oblasť ruštiny <i>s</i>	47
4.72	Formantová oblasť španielčina <i>s</i>	48
4.73	Formantová oblasť slovenčina <i>z</i>	48
4.74	Formantová oblasť čeština <i>z</i>	48

4.75	Formantová oblasť španielčina <i>z</i>	48
4.76	Formantová oblasť ruština <i>z</i>	49
4.77	Formantová oblasť španielčina <i>g</i>	49
4.78	Formantová oblasť ruština <i>g</i>	49
4.79	Formantová oblasť čeština <i>g</i>	49
4.80	Formantová oblasť španielčina <i>k</i>	50
4.81	Formantová oblasť ruština <i>k</i>	50
4.82	Formantová oblasť čeština <i>k</i>	50
4.83	Formantová oblasť slovenčina <i>v</i>	51
4.84	Formantová oblasť čeština <i>v</i>	51
4.85	Formantová oblasť španielčina <i>v</i>	51
4.86	Formantová oblasť ruština <i>v</i>	51
4.87	Formantová oblasť slovenčina <i>f</i>	52
4.88	Formantová oblasť čeština <i>f</i>	52
4.89	Formantová oblasť španielčina <i>f</i>	52
4.90	Formantová oblasť ruština <i>f</i>	52
4.91	Formantové oblasti v grafe <i>d a t</i>	53
4.92	Formantové oblasti v grafe <i>b a p</i>	53
4.93	Formantové oblasti v grafe <i>z a s</i>	54
4.94	Formantové oblasti v grafe <i>k a g</i>	54
4.95	Formantové oblasti v grafe <i>f a v</i>	54
4.96	Smerová charakteristika <i>b</i>	56
4.97	Smerová charakteristika <i>p</i>	56
4.98	Smerová charakteristika <i>d</i>	57
4.99	Smerová charakteristika <i>t</i>	57
4.100	Smerová charakteristika <i>z</i>	57
4.101	Smerová charakteristika <i>s</i>	58
4.102	Smerová charakteristika <i>k</i>	58
4.103	Smerová charakteristika <i>g</i>	59
4.104	Smerová charakteristika <i>f</i>	59
4.105	Smerová charakteristika <i>v</i>	60

Zoznam tabuliek

4.1	Tabulka s rozmermi rozprávačov	24
4.2	Scénar slovenčina	25
4.3	Scénar ruština	25
4.4	Scénar čeština	26
4.5	Scénar španielčina	26
4.6	Maximálne hodnoty smerovej charakteristiky	60

Úvod

Táto bakalárska práca sa zaoberá komparáciou párových znelých a neznelých spoluhlások. Jej cieľom je analyzovať výslovnosť spoluhlások v rôznych jazykoch. V prvom rade bola potreba vyhotoviť nahrávky jednotlivých spoluhlások v cudzích jazykoch a to piatimi rozprávačmi. Pre tento účel boli vybraní rozprávači, ktorí daný cudzí jazyk majú ako rodný alebo žili v zahraničí dlhšiu dobu. V tejto práci budú analyzované tieto jazyky: španielčina, čeština, slovenčina a ruština. U češtiny sú nahrávky vytvorené u dvoch rozprávačov. Samotné nahrávky sú potom realizované v bezodrazovej komore na VUT FEKT. Pre túto bakalársku prácu bola zvolená analýza párových spoluhlások *b, p, d, t, z, s, k, g, f, v*.

Prvá kapitola sa venuje všeobecne základným parametrom zvuku a reči. Následne druhá kapitola pozostáva z problematiky fonetiky a fonológie.

Tretia kapitola sa zaoberá samotnou tvorbou hlasu, tvorbou hlások a rôznym delením. A to buď podľa miesta tvorenia, podľa prekážky alebo podľa znelosti. Ďalej sú priblížené základné rozdiely vo výslovnosti jednotlivých hlások v cudzích jazykoch, a to konkrétne v našich vybraných.

Štvrtá kapitola je zameraná na samotné meranie a jeho výsledky. Celkovo boli realizované dve nahrávania. Prvé bolo nahrávané na jeden mikrofón a to piatimi rozprávačmi. Druhé meranie bolo zamerané na smerovosť jednotlivých spoluhlások. Toto nahrávanie bolo realizované štyrmi rozprávačmi na 9 mikrofónov umiestnených v polkruhu. Ďalej bola vytvorená analýza v programe Matlab, kde sú zobrazené jednotlivé spektrogramy a ich následné porovnanie v rôznych jazykoch. Ďalej boli určené formantové oblasti, ktoré boli analyzované pomocou programu Praat. V ďalšom bode sa porovnávali rozmery hlasovo-akustického systému rozprávačov. V poslednom bode bola realizovaná smerová analýza jednotlivých hlások, pomocou programu Matlab. Výsledné hodnoty boli vložené do programu Excel, kde boli vygenerované smerové charakteristiky pomocou grafov a následne analyzované.

1 Zvuk a reč

Zvuk predstavuje fyzikálny jav spojený s mechanickým šírením tlakových vln prostredím. Pri tvorbe reči dochádza k vibráciám vzduchu, ktoré sú výsledkom pohybu rečových orgánov, ako sú hlasivky, jazyk, pery a priedušnice. Tieto vibrácie generujú zvukové vlny, ktoré sú následne spracované sluchovým aparátom.

Reč je jedným z najzákladnejších prostriedkov ľudskej komunikácie. Vyjadruje sa prostredníctvom zvukov, ktoré sú produkované pohybom rečových orgánov. Tieto orgány spolupracujú na vytváraní slov a fráz.

1.1 Parametre reči a hlasu

Hladina akustického tlaku rečníka závisí od vzdialenosti od úst k poslucháčovi. Priemerná hladina akustického tlaku pri hovorenom slove je 40 až 60 dB vo vzdialenosti 1 m. Pri silnejšom hlasovom prejave môže byť až 80 dB. Pianissimo je pri opernom speve v hladisku cca 50 dB, fortissimo okolo 85 dB. Rekord, ktorý je zaznamenaný u človeka, je cez 100 dB.

Ľudský hlas sa mení vekom, hlavne v dobe dospievania, kedy dochádza k mutácii. Frekvenčný rozsah u dospelého človeka je okolo 1,5 oktávy. Frekvenčné spektrum hlasu dosahuje do oblasti okolo 10 kHz. V oblasti 1 - 3 kHz je takzvané pásmo zrozumiteľnosti a vyššie frekvencie sa podieľajú hlavne na farbe hlasu.

Každý človek má jedinečný hlas, a preto má aj rôznu farbu hlasu. Na farbe hlasu sa podieľa viac faktorov, ako sú napríklad formanty, artikulácia alebo emócie.

Ďalšími parametrami, ktorými ovplyvňujeme hlas, sú aj samotné rozmery vokálneho traktu v tele alebo tempo reči.

Hlas človeka je pre každého unikátny a identifikovať by sa dal iba z počúvania daného jednotlivca, a to napríklad na základe pohlavia, veku, zdravia alebo etnickej príslušnosti. Identifikáciu hlasu je možné prirovnať k odtlačku prstu. [1] [2]

2 Fonetika a fonológia

Vzájomný vzťah fonetiky a fonológie je daný predmetom ich výskumu. Obidve disciplíny sa zaoberajú štúdiom jednej časti problémov súvisiacich s jazykovou formou.
[3]

2.1 Fonetika

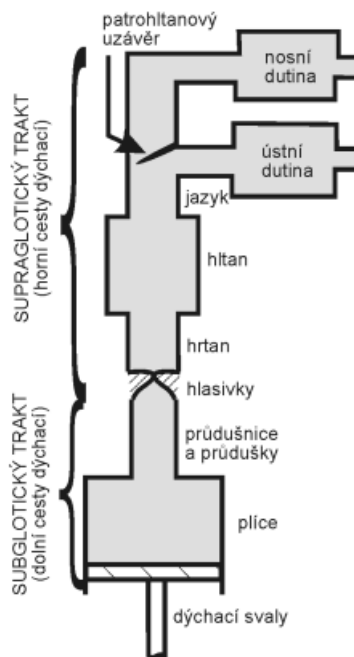
Jej jednotkou je hláska alebo aj tiež fóna. Skúma zvuky ľudskej reči z artikulačného hľadiska, teda z fyziologického. To znamená z hľadiska ich tvorenia artikulačnými orgánmi. Z akustického hľadiska fonetika skúma výsledky artikulácie, ktorými sú zvukové vlastnosti hlások. Príkladom výskumu fonetiky je tvorba hlások, ako jednotlivé hlásky počujeme, ako sa hlásky správajú v spojení s inými hláskami a podobne.
[3]

2.2 Fonológia

Jej jednotkou je fonéma. Skúma jazyk z funkčného hľadiska, teda jeho zvukovú stránku. Skúma tie vlastnosti, ktoré majú rozlišovaciu funkciu. Príkladom výskumu fonológie je napríklad to, aké zvuky sa v ľudskej reči využívajú na dorozumievanie sa v jazyku, aké vlastnosti zvukov sú dôležité pre rozpoznávanie zvukov a podobne.
[3]

3 Tvorba hlasu

Hlas sa tvorí v dýchacom ústrojenstve, ktoré sa tiež nazýva hlasovo-akustický systém. Do tohoto systému patria pľúca, priedušky, priedušnica, hrtan, hltan, ústna a nosná dutina. Na obrázku 3.1 je graficky znázornený hlasovo-akustický systém. Tento systém si následne popíšeme. Pri dýchaní pľúca menia svoj objem, a tým regulujú vzdušný tlak, ten následne vháňa vzduch dovnútra alebo ho naopak vyháňa von. Pri výdychu vzduch prúdi von cez priedušky a priedušnicu do hrtana, kde sú umiestnené hlasivky. Tie sa pri vytlačení vzduchu k sebe priložia a vzdušný prúd ich rozkmitáva. Ich kmity modulujú prúd vzduchu, ktorý je hnaný z pľúc, a tým vytvára periodické zmeny vzdušného tlaku. Týmto javom následne vzniká akustický signál. Tento akustický signál sa potom šíri z hrtana cez hltan do ústnej dutiny, prípadne cez poschodovohltanový uzáver do nosovej dutiny a von do priestoru.[4]



Obr. 3.1: Hlasový akustický systém [4]

3.1 Tvorba hlások

Za tvorbu hlások zodpovedá vokálny trakt. Ten sa skladá z viacerých častí, ktoré sú nevyhnutné pre ich tvorbu. Na začiatku vokálneho traktu sú pery. Tie v kontakte vytvárajú rôzne zvukové efekty v závislosti od toho, či je uzavretie nasledované

explóziou alebo prechodom vzduchu cez nos. Pery sú spojené čelustou, takže pri ich pohybe sa s perami hýbe aj čelusť. Spodná čelusť tiež reguluje aj objem ústnej dutiny. Ďalej k vokálnemu traktu patria aj zuby a ďasná. Za hornými prednými zubami sa nachádza ďasnový mostík. Za ďasnovým mostíkom sa nachádza tvrdšia časť podnebia tzv. tvrdé poschodie. Ďalej tu patrí mäkké poschodie, teda mäkká časť podnebia, ktoré je len kúsok pred uvulou. Za mäkkým poschodím je uvula, ktorá sa podieľa pri tvorbe hlások v cudzích jazykoch. Len kúsok za uvulou je hltanová dutina. Na jej spodku sa nachádza epiglotis. Ten rozdeľuje hltan a hrtan. Epiglotis sa tiež podieľa na tvorení hlások v niektorých cudzích jazykoch. Za správnu artikuláciu je zodpovedný jazyk. Ten sa nachádza od vstupu až po začiatok hltanovej trubice. Je zodpovedný za správnu výslovnosť väčšiny hlások. Je zložený hlavne zo svalov, ktoré sa pohybujú na základe výslovnosti požadovanej hlásky. Ďalej sa na tvorbe podieľajú aj hlasivky, ktoré vibrovaním vytvárajú zvuk. Medzi hlasivkami je medzera, ktorá sa volá glotis. Ku tvorbe hlások prispievajú aj samotné pľúca a vzdušná trubica. Tieto dve časti sa síce nepodieľajú na artikulácii, ale sú potrebnou súčasťou, bez ktorej by hlásky nevznikli. [2].[3].[8]

3.2 Delenie spoluhlások podľa miesta tvorenia

Miestom tvorenia spoluhlások sa rozumie tá časť artikulačného ústrojenstva, kde dochádza k zúženiu alebo k uzavretiu cesty výdychovému prúdu vzduchu. Na obrázku 3.2 sú znázornené polohy artikulačného ústrojenstva. Na základe miesta tvorenia sa spoluhlásky delia do týchto kategórií :

Obojperové

Tiež sa nazývajú aj bilabiálne a patria sem spoluhlásky *b*, *p* a *m*. Tie vznikajú vzájomným dotykom pier alebo ich priblížením.

Perovozubné

Tiež sa nazývajú aj labiodentálne a patria sem spoluhlásky *v* a *f*. Ich vznik je zapríčinený priblížením alebo dotykom horných zubov k spodnej pere.

Zubné

Tiež sa nazývajú aj dentálne a patria sem spoluhlásky *d* a *t*. Tieto spoluhlásky vznikajú priblížením alebo dotykom jazyka k horným zubom.

Prednoďasnové

Tiež sa volajú aj prealveolárne a patria sem *d*, *t*, *n*, *s* a *z*. U týchto spoluhlások sa špička jazyka približuje alebo sa dotýka ďasnového mostíku hneď za hornými zubami.

Zadnoďasnové

Tiež sa volajú aj postalveolárne a patrí sem *č*, *š* a *ž*. Tie vznikajú zúžením špičky jazyka alebo lopatky a to hneď za ďasnovým mostíkom.

Prednopošchodové

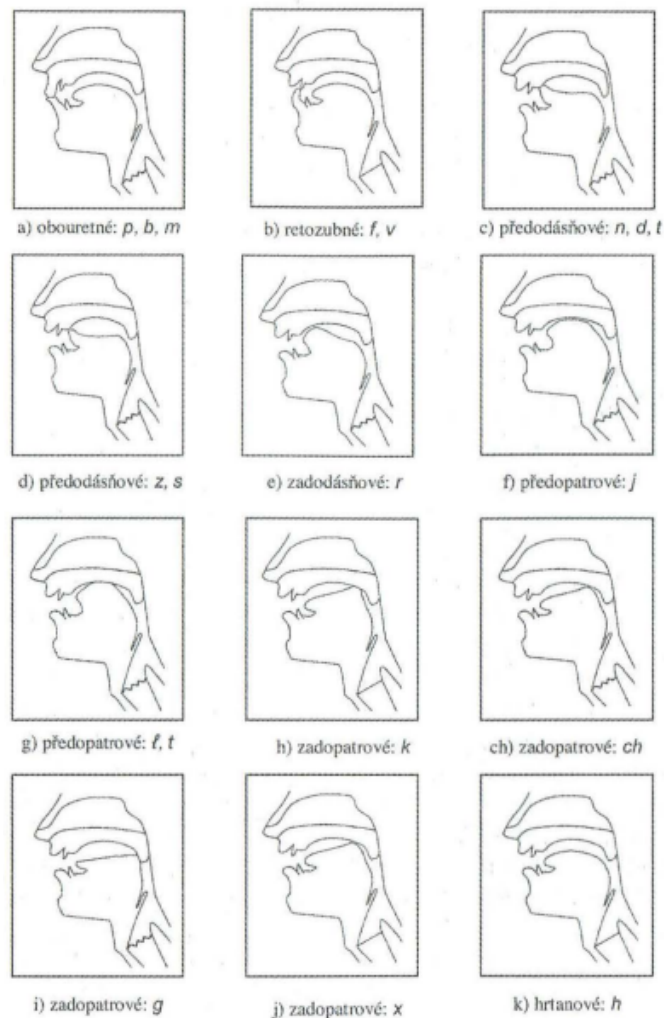
Tiež sa volajú aj paleárne a patria sem *r*, *ř* a *d*, *t* a *ň*. Tieto spoluhlásky vznikajú priblížením alebo dotykom jazyka o tvrdé poschodie, a tak vznikajú turbolencie prúdiaceho vzduchu.

Zadnopošchodové

Volajú sa aj velárne a patria sem spoluhlásky *k*, *g* a *ch*. V tomto prípade sa jazyk približuje k mäkkému poschodiu alebo sa ho dotýka.

Hrtanové

Alebo pod názvom aj laryngálne. Patrí sem spoluhláska *h*. Vzniká, keď je glotis málo otvorený a tým sa vytvorí prúdenie vzduchu cez hlasivky. [11] [2]



Obr. 3.2: Delenie spoluhlások podľa miesta tvorenia[2]

3.3 Výslovnosť spoluhlások v rôznych jazykoch

Na výslovnosti spoluhlások sa podieľa vokálny trakt. Každý jazyk má ale svoje špecifiká pri výslovnosti niektorých hlások. Zatiaľ čo čeština a slovenčina sú bratské jazyky a ich výslovnosť je si veľmi podobná, u španielčiny za vznik niektorých spoluhlások môžu iné polohy artikulačného ústrojenstva. V tejto kapitole budú spomenuté iba niektoré hlavné výnimky.

3.3.1 Výslovnosť v slovenčine a češtine

Výslovnosť spoluhlások v slovenčine a češtine je rovnaká, čo sa týka miesta tvorenia jednotlivých spoluhlások viď. kapitola 3.2. Rozdiel je hlavne vo fonémoch jednotlivých jazykoch. Ďalším rozdielom je, že v slovenčine často dochádza k asimilácii teda spodobovaniu.[12]

3.3.2 Výslovnosť v španielčine

V španielčine je viac rozdielov vo výslovnosti niektorých spoluhlások. Spoluhlásky *d* a *t* sú v španielčine dentálne, zatiaľ čo v češtine sú prealveolárne. Teda špička jazyka vytvára záver s hornými zubami. Ďalším rozdielom je vyslovovanie spoluhlásky *s*, kde je poloha jazyka odlišná. Zároveň má táto spoluhláska viac variant výslovnosti a je dvojzvučná. To znamená, že sa môže vyslovovať ako znelá ale aj ako neznelá hláska. Ďalšou zvláštnosťou je hláska *v*, pri ktorej pery počas výslovnosti nevytvoria pevný záver, ale zostávajú pootvorené. Hlásky *k* a *g* používajú iné časti vokálneho traktu podľa toho, aká hláska po nej nasleduje. [7]

3.3.3 Výslovnosť v ruštine

Výslovnosť spoluhlások v ruštine je veľmi podobná tej v slovenčine alebo češtine. Rozdiel je hlavne medzi mäkkými a tvrdými spoluhláskami. Tento rozdiel sa volá mäkkostná korelácia. Väčšina tvrdých spoluhlások sa vyslovuje rovnako ako v češtine alebo slovenčine, zatiaľ čo väčšina mäkkých spoluhlások sa vyslovuje s jazykom zdvihnutým k poschodiu. To spoluhláske dá nádych mäkkosti. [5][13][14]

3.4 Delenie spoluhlások podľa prekážky

Spoluhlásky sú šumy, čiže vzduchový prúd naráža pri ich tvorbe na nejakú prekážku. V tomto smere sa delia spoluhlásky do 3 kategórií: spoluhlásky záverové, polozáverové a úžinové.

Spoluhlásky záverové sú charakteristické vytvorením úplnej prekážky pomocou artikulačných orgánov (jazyka alebo pier), ktorá je následne uvoľnená, čo je sprevádzané príslušným akustickým efektom. Takéto spoluhlásky sa tiež volajú razené alebo explozívny, radia sa sem: *p, b, t, d, t̥, d̥, k* a *g*. Ďalšie hlásky, ktoré patria do záverovej skupiny sú nosové (nazálne). U týchto spoluhlások sa síce v ústnej dutine vytvorí úplný záver, ale zároveň vzduch uniká uvoľneným priechodom do nosnej dutiny. Patrí sem retozubné *m, n* a *ň*.

Úžinové spoluhlásky sa tvoria priblížením príslušných artikulačných orgánov k sebe, nedôjde tu však k úplnému uzavretiu ako u záverových hlások. Medzi takéto hlásky sa radia: *f, v, s, z, š, ž, ch* a *h*. Medzi úžinové spoluhlásky patria aj takzvané vibranty, pri ktorých špička jazyka kmitá. Sú to hlásky *r* a *ř*.

Spoluhlásky polozáverové sú artikulačne podobné spoluhláskam záverovým, ale aj úžinovým. Krátke uzavretie sa nezruší náhle, ale plynule prejde do úžiny. Medzi takéto hlásky patrí: *c, č, dz* a *dž*. [10] [2]

3.5 Šum

Šum je prirodzene sa vyskytujúci jav, ktorý sa tvorí pri speve, rozprávaní alebo aj pri hraní na rôzne hudobné nástroje. Výnimka nie je ani pri znelých a neznelých spoluhláskach. U šumu je zásadné, že sa nedá určiť jeho základná tónová zložka. Vlna alebo kmity prebiehajú spojito v čase, ale tiež nepravidelne a chaoticky. V spektre nenájdeme hornú ani spodnú hranicu šumu, žiadne kmitočty, kde by šum začínal a končil. Šum, ktorý tvorí spoluhlásky, je možné rozdeliť do troch skupín. [15] [9]

Krátky šum

Tento šum je veľmi krátky a predstavuje jednorázový pulz. Pred vznikom tohoto šumu dochádza k prerušeniu zvukového prúdu. Medzi hlásky s takýmto šumom patria napríklad explozívny, ako sú napríklad *b* a *p*. [15]

Trvajúci šum

Tento šum vzniká súvislým naväzovaním na predchádzajúci zvuk. Medzi takéto hlásky patria napríklad frikatívy, ako sú napríklad *š* a *ž*. [15]

Kombinovaný šum

Tento šum vzniká kombináciou krátkeho šumu a trvajúceho šumu. Medzi takéto hlásky patria afrikáty, ako je napríklad kombinácia hlások *t* a *s*. [15]

3.6 Znelé a neznelé spoluhlásky

Výraznou charakteristikou spoluhlások je aj ich znelosť. Pokiaľ pri artikulácii hlasivky kmitajú, vzniká takzvaný základný tón (základná frekvencia). Tento tón je

súčasťou znelých spoluhlások, ako napríklad *b*, *v*, *z* a *g*. Naopak pri tvorení neznelých spoluhlások hlasivky nekmitajú a tento tón nevzniká. Vzduch, ktorý prúdi cez hlasivky, ich nerozvibruje. Tento základný tón je hlavnou súčasťou delenia hlások v rámci znelosti. Pre znelé hlásky je glotis pri začatí fonácie uzavretý alebo takmer uzavretý, zatiaľ čo pre neznelé hlásky je široko otvorený, aj keď v skutočnosti je vzdialenosť medzi hlasivkami iba zlomok milimetrov. Stupeň otvárania a jeho časovania je relatívny k pohybu artikulátora a závisí na fonetickom prostredí generovanej spoluhlásky. V tomto kontexte spoluhlásky delíme na znelé a neznelé páry. Tieto páry spolu tvoria dvojicu, ktorá sa líši ich znelosťou. V niektorých slovách dochádza k znelostnej asimilácii spoluhlások, kde je prispôsobovanie výslovnosti dvoch susedných spoluhlások podľa znelosti. K takejto znelostnej asimilácii dochádza:

1. Ak sa stretnú vedľa seba dve spoluhlásky, z ktorých je prvá znelá a druhá neznelá, znelá spoluhláska sa vysloví ako neznelá (napr. nadpis - natpis)

2. Ak sa stretnú vedľa seba dve spoluhlásky, z ktorých prvá je neznelá a druhá znelá, neznelá spoluhláska sa vysloví ako znelá. (napr. prosba - prozba)[11] [2] [10]

3.6.1 Znelosť spoluhlások v slovenčine

Spoluhlásky v slovenčine sa delia podľa znelosti na :

znelé – *b*, *d*, *ḍ*, *g*, *dz*, *dž*, *z*, *ž*, *h*, *v*, *m*, *n*, *ň*, *l*, *ḷ*, *l̇*, *r*, *ř*, *j*

neznelé – *p*, *t*, *ṭ*, *c*, *č*, *k*, *ch*, *s*, *š*, *f*

3.6.2 Znelosť spoluhlások v češtine

Spoluhlásky v češtine sa delia podľa znelosti na :

znelé – *b*, *d*, *ḍ*, *g*, *dž*, *z*, *ž*, *h*, *v*

neznelé – *p*, *t*, *ṭ*, *č*, *k*, *ch*, *s*, *š*, *f*

3.6.3 Znelosť spoluhlások v ruštine

Spoluhlásky v ruštine sa delia podľa znelosti na :

znelé – *b*, *d*, *g*, *z*, *ž*, *v*, *m*, *n*, *l*, *r*, *j*

neznelé – *p*, *t*, *k*, *s*, *š*, *f*, *č*, *šč*, *c*

3.6.4 Znelosť spoluhlások v španielčine

Spoluhlásky v španielčine sa podľa znelosti delia na :

znelé – *b*, *d*, *g*, *v*, *m*, *n*, *l*, *r*, *rr*, *s*, *ll*, *ñ*, *y*, *j*

neznelé – *p*, *t*, *k*, *č*, *s*, *f*, *t*, *c*, *z*, *x*

4 Meranie

V bakalárskej práci boli zvolené hlásky v štyroch jazykoch. A to v slovenčine, češtine, španielčine a ruštine. Z hľadiska znelosti boli vybrané tieto páry spoluhlások: *p* a *k* nemu pár *b*, *d* a *k* nemu pár *t*, *k* a *k* nemu pár *g*, *s* a *k* nemu pár *z*, *v* a *k* nemu pár *f*. V semestrálnej práci boli vybrané 2 páry, a to *b* a *p*, *d* a *t*.

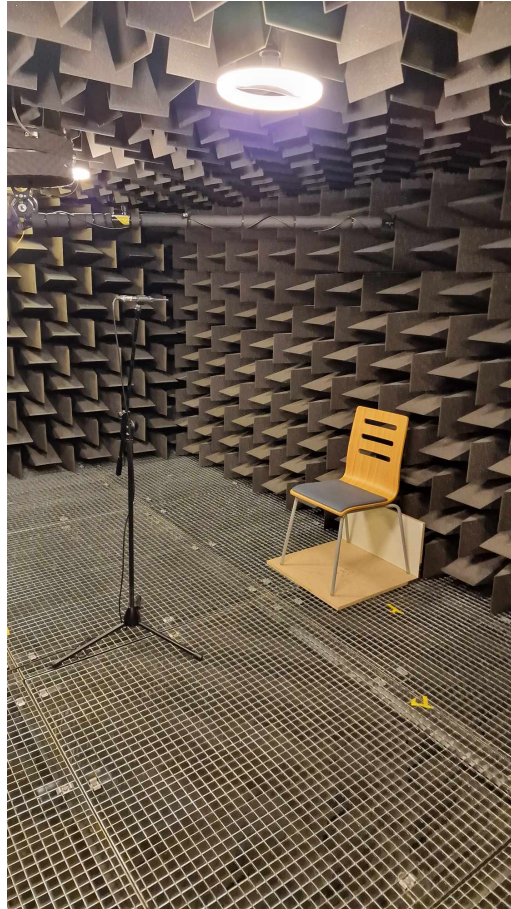
4.1 Uskutočnenie

Nahrávanie materiálov na analýzu bolo uskutočnené v budove VUT FEKT v bezodrazovej komore. Toto nahrávanie bolo realizované na piatich študentoch. Z hľadiska bezpečnosti a ochrane osobných údajov budú zverejnené iba ich krstné mená. Prvý hlas nahrával Chamit, ktorý pochádza z Kazachstánu, kde je rodným jazykom kazachština, ale zároveň aj ruština. Chamitove nahrávky sú v ruskom jazyku. Druhým rozprávačom, ktorý bol nahrávaný, je Lujza. Tá je pôvodom zo Slovenska, no žila v Španielsku viac ako 2 roky, a preto sú jej nahrávky v španielčine. Tretím, kto sa zúčastnil nahrávania, je Veronika. Tá je českej národnosti a jej nahrávka je tým pádom v českom jazyku. Štvrtý rozprávač, ktorý bol nahrávaný, je Zuzana. Zuzana žije na východe Slovenska, jej nahrávky sú po slovensky. Piatym rozprávačom bola Michaela, ktorá je rodáčka z Českej republiky.

4.1.1 Proces nahrávania

Proces nahrávania bol realizovaný v bezodrazovej komore, ktorá je vybavená akustickou penou, viď obrázok 4.1. Pred nahrávaním bola nastavená potrebná aparatúra, ktorá pozostávala z jedného kondenzátorového tužkového mikrofónu. Tento mikrofón bol umiestnený v strede bezodrazovej komory a bol kalibrovaný pomocou tónového kalibrátora. Po nakalibrování mikrofónu a upravení úrovne gain sa prešlo k samotnému nahrávaniu. Rozprávači boli vzdialení od mikrofónu 80 cm. Každý rozprávač mal rovnaké podmienky, aby sa zaistila konzistencia kvality nahrávania. Tento mikrofón bol upevnený na stojane vo výške odpovedajúcej vižarovaciemu miestu subjektu (v tomto prípade 1 cm nad bradou subjektu). Subjekt (rozprávač) stál pri tomto nahrávaní vzpriamene. Následne sa u každého rozprávača nahrali 3 verzie každej hlásky. Prvá verzia obsahovala samotnú spoluhlásku, ktorá bola nahrávaná viackrát pre výber lepšieho vzorku k analýze. Druhá verzia nahrávky pozostávala zo samotného slova, v ktorom sa spoluhláska nachádzala. Tretia verzia nahrávky pozostávala zo slovného spojenia, v ktorom sa taktiež nachádzala daná spoluhláska. Toto nahrávanie bolo realizované v programe Cubase, kde sa všetky vzorky ukladali na jednu zvukovú stopu. Následne sa nahratá stopa vyexportovala do WAV súboru.

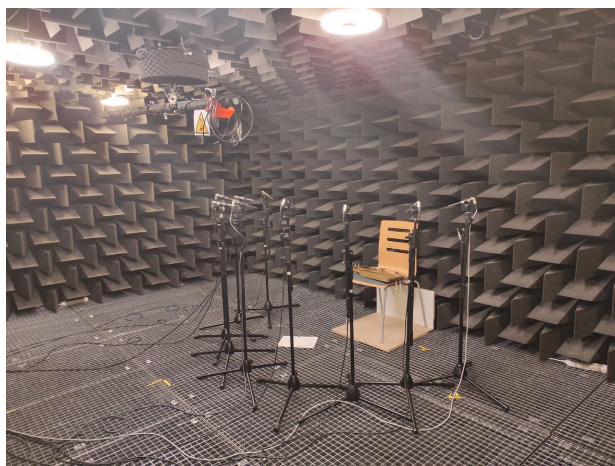
Z vyrenderovanej stopy sa následne vybrali najlepšie vzorky a boli vystrihnuté v programe Audacity do jednotlivých WAV súborov.



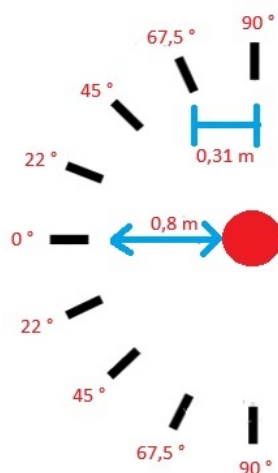
Obr. 4.1: Bezodrazová komora

4.1.2 Proces smerového nahrávania

Následujúce nahrávanie bolo zamerané na smerovosť daných spoluhlások. V tomto konkrétnom nahrávaní bolo použitých 9 mikrofónov, ktoré boli umiestnené v polkruhu, viď obrázok 4.2. V strede je tzv. center mikrofón, ktorý je predvoleným mikrofónom, teda jeho uhol je 0° a od neho boli situované 4 mikrofóny na každú stranu v rozmedzí $22,5^\circ$, 45° , 67° a 90° . Vzdialenosť všetkých mikrofónov od stredu bola 80 cm. Vzdialenosť medzi jednotlivými mikrofónmi bola 31 cm, viď. obrázok 4.3.



Obr. 4.2: Smerové nahrávanie

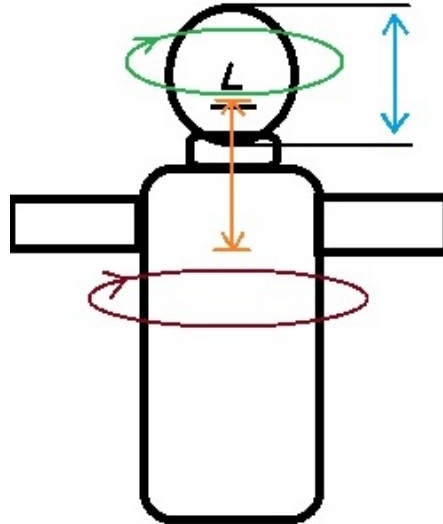


Obr. 4.3: Rozmiestnenie mikrofónov pri smerovom nahrávaní

4.2 Rozmery rozprávačov

Na tvorbe hlasu a hlások závisia aj samotné rozmery hlasovo-akustického systému. Rozmery sú v tomto prípade kľúčové, keďže určujú farbu hlasu, hĺbku, tón a podobne. U mužov je zvykom, že majú napríklad väčší objem pľúc ako ženy. V tomto kontexte bolo urobené základné meranie rozprávačov. Toto meranie je znázornené na obr .4.4. Zelenou farbou je znázornené horizontálne meranie obvodu hlavy u jednotlivých rozprávačov. Modrou farbou je znázornené meranie obvodu hlavy verti-

kálne. Červenou farbou je znázornený obvod hrude. Oranžovou farbou je znázornené meranie od bránice k nosu. V tabuľke pod obrázkom 4.1 sa nachádzajú rozmery jednotlivých rozprávačov. Toto meranie bolo uskutočnené klasickým navíjacím metrom.



Obr. 4.4: Meranie rozmerov jednotlivých rozprávačov

Meno rozprávača	Chamit (ruština)	Lujza (španielčina)	Veronika (čeština)	Michaela (čeština)	Zuzana (slovenčina)
Obvod hlavy H	64	56	46	44	46
Obvod hlavy V	56	59	58	60	55
Od nosa po bránicu	30	24	25	22	26
Obvod hrude	97	85	80	58	85

Tab. 4.1: Tabuľka s rozmermi rozprávačov

4.3 Scénar rozprávačov

V nasledujúcej kapitole je znázornený scénar pre každého z rozprávačov v danom jazyku.

4.3.1 Scénar pre slovenčinu

Scénar pre slovenčinu hovorila Zuzana. Tá je rodená Slovenka a aj jej nahrávky sú v slovenčine. Tabuľka s jej scénarom sa nachádza 4.2.

Spoluhláska	Slovo	Slovné spojenie
p	papier	pekný deň
b	bezdomovec	babka piekla buchy
g	guma	grécke tance
v	vlak	vták lieta na oblohe
f	fretka	fialky vejdú vo vetre
d	dom	deti pijú džús
t	tučniak	teta tancuje
z	zima	zrelé jablká
s	seno	staré tričko
š	šašo	šikovný žiak
ž	žena	žujem žuvačku

Tab. 4.2: Scénar slovenčina

4.3.2 Scénar pre ruštinu

Scénar v ruskom jazyku bol napísaný azbukou. Vzhľadom k slovenskému jazyku, ktorým je písaná táto práca, bol scénar z azbuky prepísaný do latinskej abecedy. Tento scénar nahrával Chamit, Ktorý je pôvodom z Kazachstánu. Tabuľka s jeho scénarom sa nachádza 4.3.

Spoluhláska	Slovo	Preklad	Slovné spojenie	Preklad
p	pivo	pivo	prekrasnaja žena	krásna žena
b	byk	býk	bolšoj buket	veľká kytica
g	gorod	mesto	gitara zvučit gromko	gitara znie hlasno
k	kot	mačka	kartiny na stene	obrazy na stene
v	voda	voda	vodopad v gorach	vodopád v horách
f	foto	fotografia	francuzkij film	francúzsky film
d	dom	dom	dom v derevne	dom na dedine
t	tri	tri	tropičeskij ostrov	tropický ostrov
ž	životnoe	zvieratá	žiraf v zooparke	žirafa v zoo
š	šum	hluk	šumnyj gorod	hlučné mesto
z	zvezda	hviezda	zelenyj les	zelený les
s	solnce	slnko	silnyj veter	silný vietor

Tab. 4.3: Scénar ruština

4.3.3 Scénar pre češtinu

Scénar pre češtinu nahrávali Veronika a Michaela. Obidve rozprávačky sú pôvodom z Českej republiky. Ich scénar sa nachádza 4.4.

Spoluhláska	Slovo	Slovné spojenie
p	pivo	pohodlná pohovka
b	bota	bílý králík
g	galerie	globální oteplování
v	vlak	vítr ve vlasech
f	fakulta	fotografie přírody
d	dům	dobré děti
t	třída	tradiční tance
z	zima	zlatý zámek
s	sušenka	starý sýr
š	škola	šťastný šéf
ž	žena	živá zahrada
k	kytara	krásné kolo

Tab. 4.4: Scénar čeština

4.3.4 Scénar pre španielčinu

Scénar pre španielčinu hovorila Lujza. Tá je pôvodom zo Slovenska, ale žila v Španielsku. Jej scénár je v tabuľke 4.5

Spoluhláska	Slovo	Preklad	Slovné spojenie	Preklad
p	perro	pes	palabras poderosas	silné slová
b	bueno	dobrý	buenos días	dobrý deň
g	gente	ľudia	gran ciudad	veľké mesto
k	kilo	kilogram	kartón de leche	kartón mlieka
v	vino	víno	viaje a la playa	cesta na pláž
f	flor	kvetina	feliz cumpleaños	šťastné narodeniny
d	dulce	sladký	deporte favorito	oblúbený šport
t	tren	vlak	tiempo soleado	slnečné počasie
z	zapato	topánka	zapatos nuevos	nové topánky
s	sol	soľ	salsa picante	pikantná omáčka

Tab. 4.5: Scénar španielčina

4.4 Porovnanie spektrogramov

Na vygenerovanie spektrogramov daných spoluhlások bol použitý program Matlab. V ňom sa pomocou kódu, ktorý je možné vidieť nižšie, vygenerovali spektrogramy. Funkcia *audioread* načíta zvukovú stopu do premennej *x*. Funkcia *spectrogram* vytvorí spektrogram z premennej *x* pomocou krátkodobej fourierovej transformácie (STFT) ktorého popis je vidieť 4.3. V tomto kóde je použité typ vyhladzovacieho okienka takzvané hammingové okno s dĺžkou 2048 vzoriek *window*, ktoré poskytuje lepšie frekvenčné rozlíšenie. Vzorec pre výpočet hammingového okna 4.1. Prekritie okienka je na úrovni 1024 vzorkov čo zlepšuje plynulosť spektra *noverlap*. Počet bodov frekvenčného odčítania (FFT) je 2048 čo zlepšuje frekvenčné rozlíšenie spektrogramu. Vzorkovacia frekvencia *fs* je získaná z audiostopy. Následne sa pomocou *title*, *xlabel* a *ylabel* pomenovali veličiny. Tieto spektrogramy sú generované zo signálu, ktorý bol zaznamenaný mikrofónom v bezodrazovej komore.

Výpis 4.1: Kód v matlabe na vygenerovanie spektrogramu

```
[x, fs] = audioread('veronika.wav');
window = hamming(2048);
noverlap = 1024;
nfft = 2048;
spectrogram(x, window, noverlap, nfft, fs, 'yaxis');
title('Spektrogram (T) Veronika');
xlabel('Čas (ms)');
ylabel('Frekvencia (kHz)');
c = colorbar;
ylabel(c, 'Výkonová spektrálna hustota (dB)');
```

Hammingovo okno je definované vzorcom:

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (4.1)$$

kde:

- $w[n]$ je hodnota okna na pozícii n ,
- N je dĺžka okna (počet vzoriek),
- n je index vzorky, ktorý sa mení od 0 do $N - 1$.

Ako je uvedené vo vzorci (4.1), Hammingovo okno sa používa na redukciu spektrálneho úniku. [16] [17]

Krátkodobá Fourierova transformácia (STFT) použitá v spektrogramovom kóde je definovaná vzorcom:

$$X(t, f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]w[n-t]e^{-j2\pi fn} \quad (4.2)$$

kde:

- $X(t, f)$ je STFT signálu $x[n]$ v závislosti od času t a frekvencie f ,
- $x[n]$ je diskretný časový signál,
- $w[n-t]$ je oknová funkcia posunutá na čas t ,
- j je imaginárna jednotka.

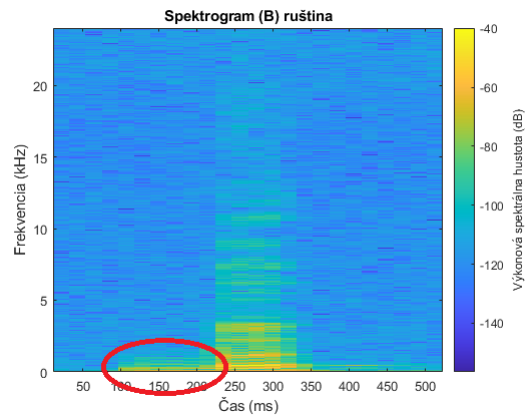
Spektrogram je potom daný ako mocnina (resp. absolútna hodnota zvýšená na druhú mocninu) STFT: [16] [17]

$$S(t, f) = |X(t, f)|^2 \quad (4.3)$$

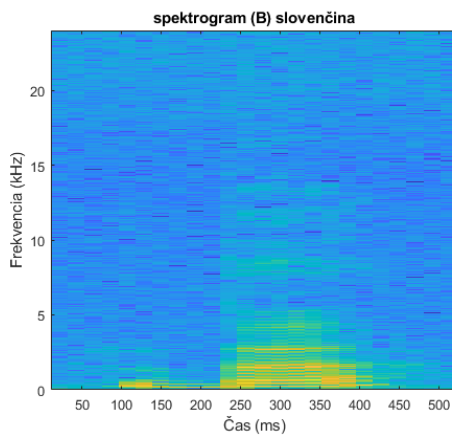
Ako je uvedené vo vzorci (4.2), STFT rozkladá signál na časovo-frekvenčné komponenty a vzorec (4.3) ukazuje, ako sa vypočítava výkonová spektrálna hustota. [16] [17]

4.4.1 Bilabiálna spoluhláska **b**

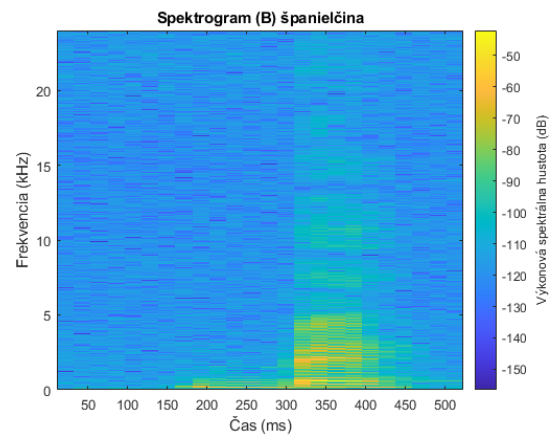
Hláska b je explozívna. Vzniká zatvorením a následne otvorením hornej a spodnej pery. Spektrum tejto spoluhlásky tvoria dve časti. Prvá časť má svoj nábeh a tvorí okolo polovice času trvania celkovej hlásky. Formantová oblasť tejto časti je približne od 0,1 až do 0,4 kHz. Je to takzvaný základný tón, ktorý tvorí prvú časť. Tento tón je vyznačený na spektrograme ruštiny červenou farbou 4.5, ale nachádza sa na každom spektre znej spoluhlásky. Táto zložka vzniká pri vibrovaní hlasiviek a je hlavným faktorom v delení spoluhlások na znelé a neznelé. Druhú časť tejto hlásky tvorí samotná explózia čiže jej charakter. Ten sa pohybuje v pásme od 0,2 až 10 kHz a maximá má v oblasti 1,5 až 5 kHz. U ruštiny je vidieť vysokú energiu v nižších oblastiach a to do 4 kHz narozdiel od ostatných. Tá môže byť zapríčinená aj pohlavím rozprávača ktorý je muž. U ženských rozprávačov (všetky ostatný rozprávači) sa dá spozorovať, že formantové oblasti siahajú až do 12 kHz, ale ich dominancia je tiež hlavne v nižších oblastiach.



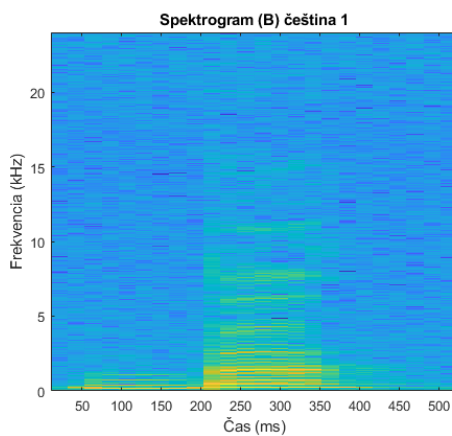
Obr. 4.5: Spektrogram ruština *b*



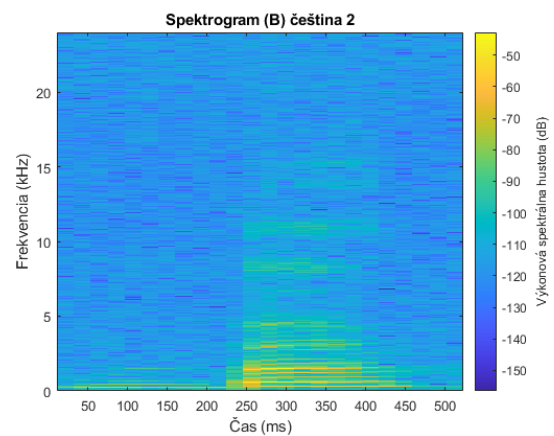
Obr. 4.6: Spektrogram slovenčina *b*



Obr. 4.7: Spektrogram španielčina *b*



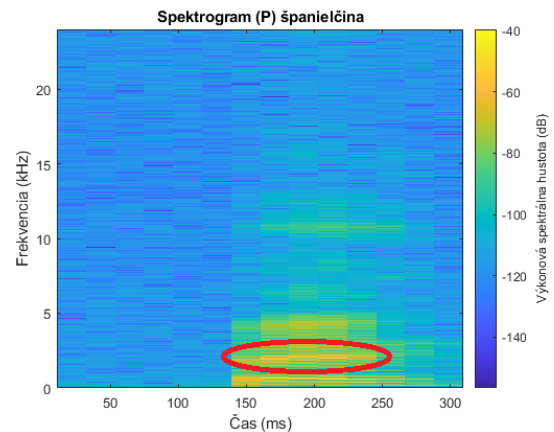
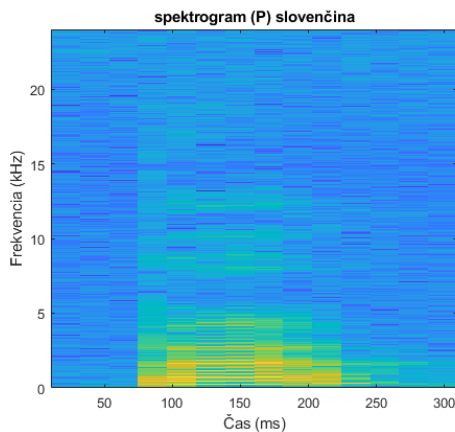
Obr. 4.8: Spektrogram čeština *b*



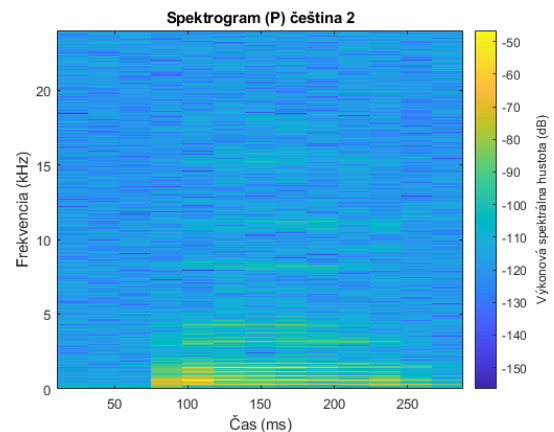
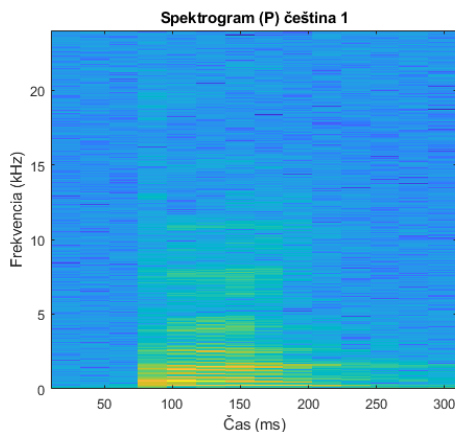
Obr. 4.9: Spektrogram čeština *b*

4.4.2 Bilabiálna spoluhláska p

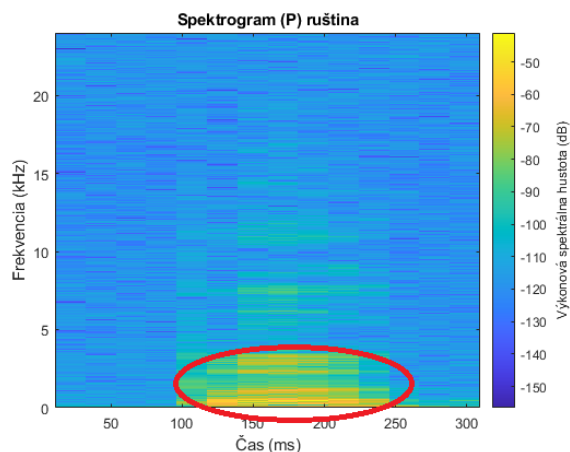
Hláska *p* je tiež explozívna a patrí k neznelým spoluhláskam. Rovnako ako pri hláske *b*, hláska *p* vzniká zatvorením a následne otvorením pier, avšak jej záver pier je tesnejší a napätie v svaloch väčšie. Pri uvoľnení svalov v ústach vznikne vzduchový pulz, ktorý odpovedá zneniu spoluhlásky. Pri jej tvorbe je základom vzduchové napätie a hlasivky v tomto prípade nehrajú zásadnú rolu. Na spektrách je možné vidieť, že hláska *p* má viditeľnejšiu explóziu, ktorá je zapríčinená väčším tlakom vzduchu pred uvoľnením svalov. Frekvenčný rozsah hlásky *p* má najväčšiu dominanciu do 4,3 kHz, ale rovnako ako *b* siaha až do 10 kHz. U španielčiny je vidieť väčšiu energiu aj vo vyšších oblastiach spektra ale so silnou formantovou oblasťou u 2,5 kHz, ktorá je označená červenou farbou 4.11. U ruštiny je možné vidieť hlavnú dominanciu v oblasti do 4 kHz, tá je označená na obrázku 4.14. Ruština je hlbším jazykom ako ostatné, a preto sú aj jeho spektrá viditeľne nižšie ako ostatné jazyky.



Obr. 4.10: Spektrogram slovenčina *p* Obr. 4.11: Spektrogram španielčina *p*



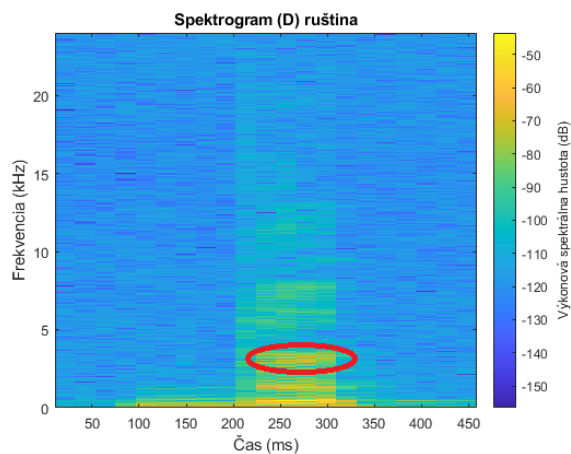
Obr. 4.12: Spektrogram čeština *p* Obr. 4.13: Spektrogram čeština *p*



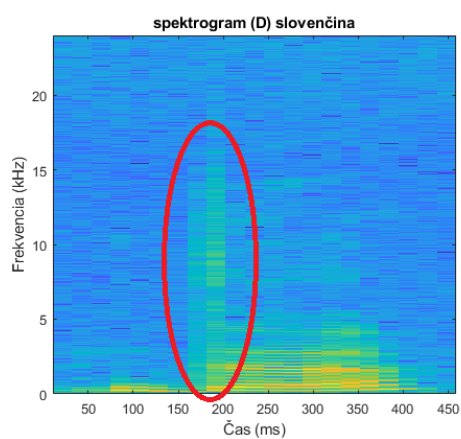
Obr. 4.14: Spektrogram ruština *p*

4.4.3 Prealveolárna spoluhláska *d*

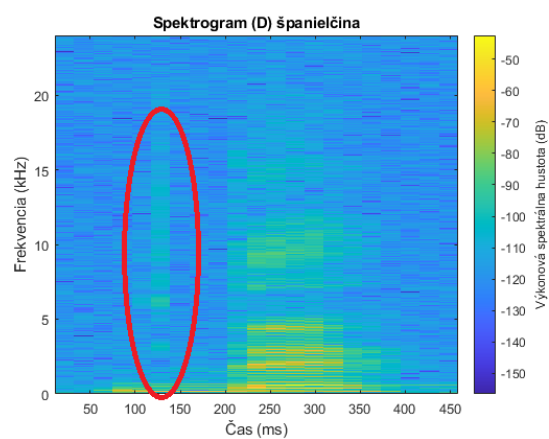
Jedná sa o spoluhlásku explozívnu. Vzniká medzi špičkou jazyka a okrajom prednej časti dasní. Explozíva *d* má dvojité spektrum podobne ako *b*. Prvá časť spektra sa pohybuje od 0,1 až 0,5 kHz a je to takzvaný základný tón. Druhá časť spektra sa pohybuje vo frekvenčnom rozsahu od 0,1 až 12 kHz a tvorí ju samotná explózia. Na začiatku tejto explózie je krátka časová oblasť, v ktorej sa energia tejto spoluhlásky pohybuje až k 15 kHz, ako je znázornené na obrázku 4.16. U ruštiny sa táto pasáž ale neobjavuje, ale zato má silnú formantovú oblasť v 4 kHz. Tá je zobrazená na obrázku 4.15. U španielčiny sa nachádza tento prvotný explozívny jav hneď na začiatku prvej časti spektra, ktorý je vidieť na obrázku 4.17. Taktiež je tu výrazná zložka pri 4,5 kHz. U češtiny je vidno že hlavné formantové oblasti sa nachádzajú do 4 kHz a slabšia formantová oblasť je potom u 4,5 kHz, taktiež si môžeme všimnúť slabšiu spektrálnu hustotu oproti ostatným jazykom. U slovenčiny sú potom formantové oblasti do 4 KHz .



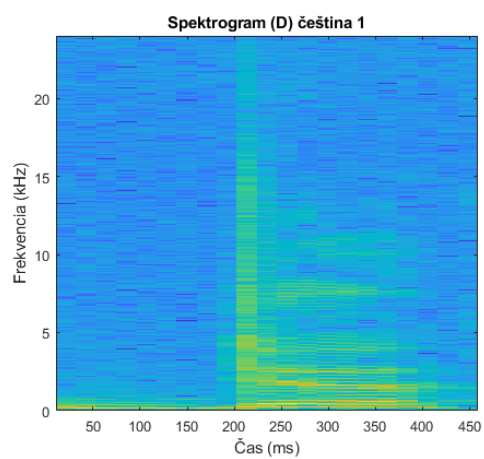
Obr. 4.15: Spektrogram ruština *d*



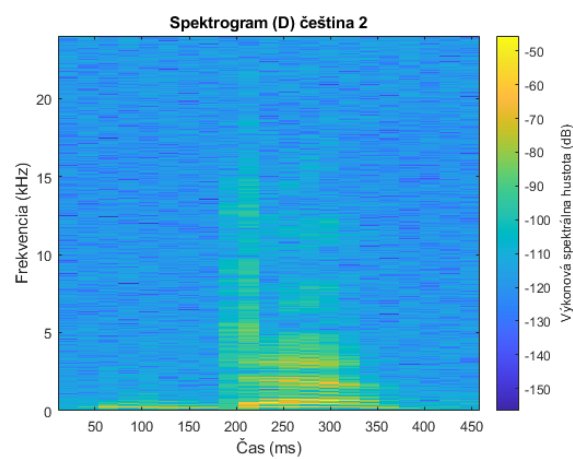
Obr. 4.16: Spektrogram slovenčina *d*



Obr. 4.17: Spektrogram španielčina *d*



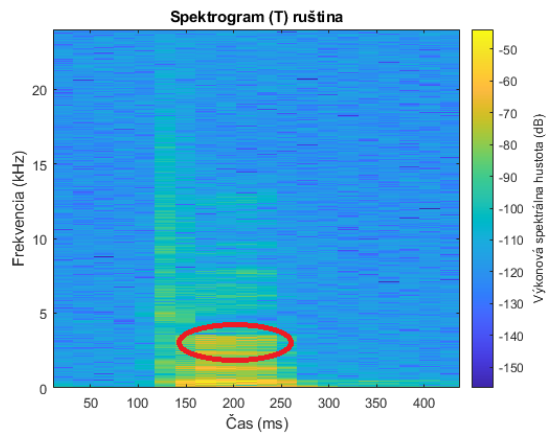
Obr. 4.18: Spektrogram čeština *d*



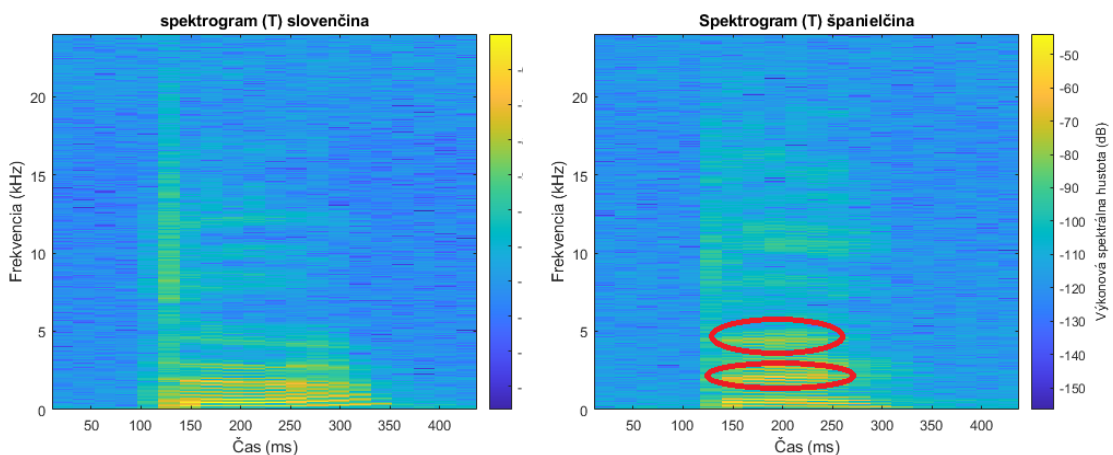
Obr. 4.19: Spektrogram čeština *d*

4.4.4 Prealveolárna spoluhláska *t*

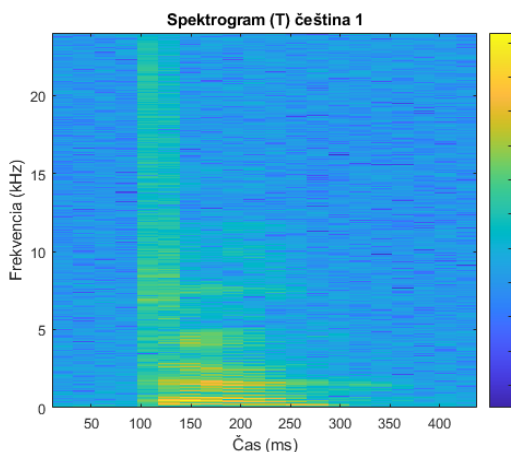
Neznelá expozívna hláska *t* sa od hlásky *d* líši predovšetkým výraznejšou explóziou. Tá je zapríčinená hlavne väčším tlakom jazyka na prednú časť dasní, a tým je väčšia aj samotná explózia. Ďalším rozdielom je aj absencia prvej časti spektra teda základného tónu. Spektrum tejto hlásky sa pohybuje od 0,1 kHz do 12 kHz. Najväčšia energia je pri úrovni 2,5 kHz až 3 kHz u všetkých jazykoch. U slovenčiny sa hlavné formanty pohybujú do 4 kHz. Spektrogram je potom znázornený na obrázku 4.21. Spektrogramy češtiny môžeme vidieť na obrázku 4.23, 4.24 a ich hlavné formanty sa nachádzajú do 4,5 kHz. U ruštiny je vidieť najväčšiu dominanciu u 3 kHz ako je znázornené na obrázku 4.20 a absenciu formantovej oblasti u 5 kHz. Naopak u španielčiny je silná zložka pri 2,5 kHz a 5 kHz, vid. obrázok 4.22.



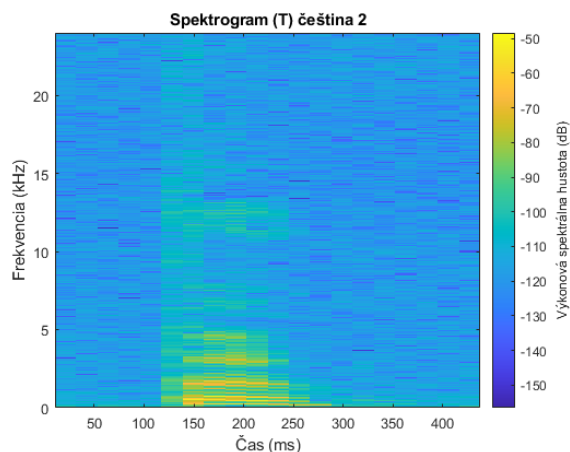
Obr. 4.20: Spektrogram ruština *t*



Obr. 4.21: Spektrogram slovenčina *t* Obr. 4.22: Spektrogram španielčina *t*



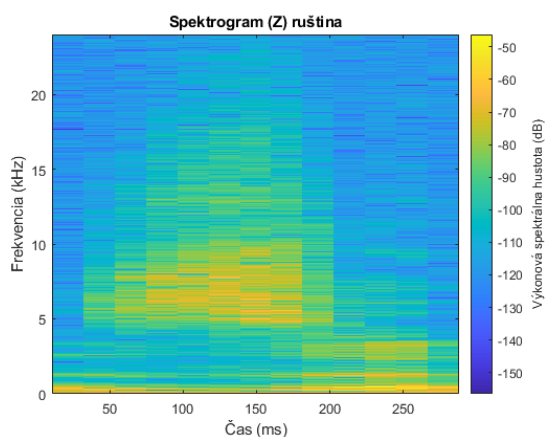
Obr. 4.23: Spektrogram čeština *t*



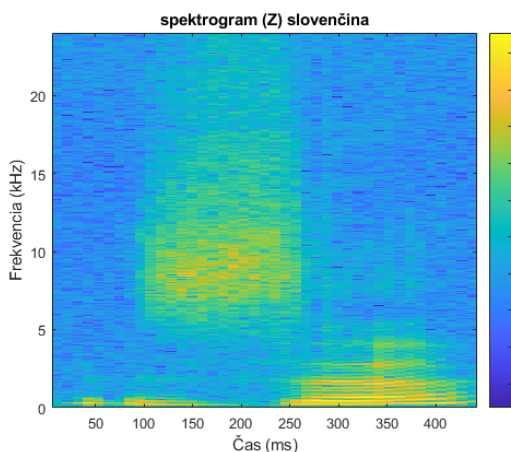
Obr. 4.24: Spektrogram čeština *t*

4.4.5 Prealveolárna spoluhláska *z*

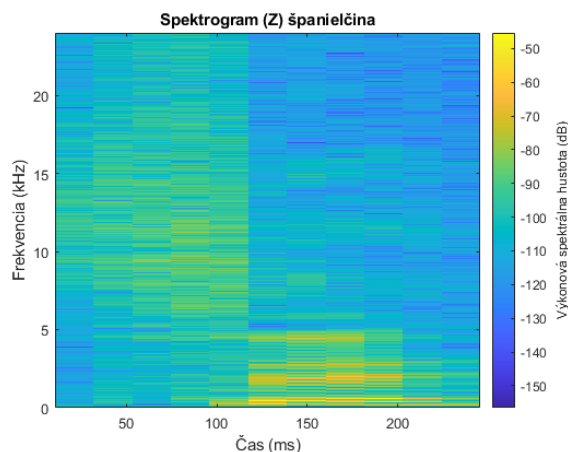
Táto spoluhláska patrí medzi frikatívy a jedná sa o znelú spoluhlásku. Vznik tejto spoluhlásky je generovaný úzkym uzáverom. Vysoká frekvencia turbulentného zvuku behom zúženia je spôsobená turbulenciou vzdušného prúdu. Tento vzduch prechádza medzi jazykom a ďasnovým mostíkom. Jeho hlavnou zložkou je šum, ktorý sa nachádza od 5 kHz až do 20 kHz, avšak najväčšiu energiu má v oblasti od 5 do 12 kHz. V tomto prípade sú si spektrogramy veľmi podobné, až na spektrogram španielčiny obrázok 4.27, kde je šumová zložka tejto hlásky viac rozostrená než u ostatných jazykov.



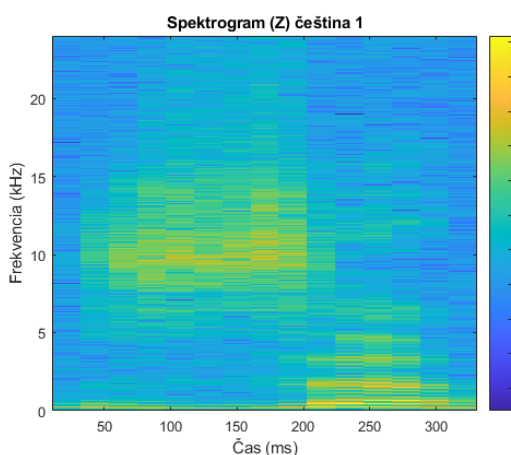
Obr. 4.25: Spektrogram ruština *z*



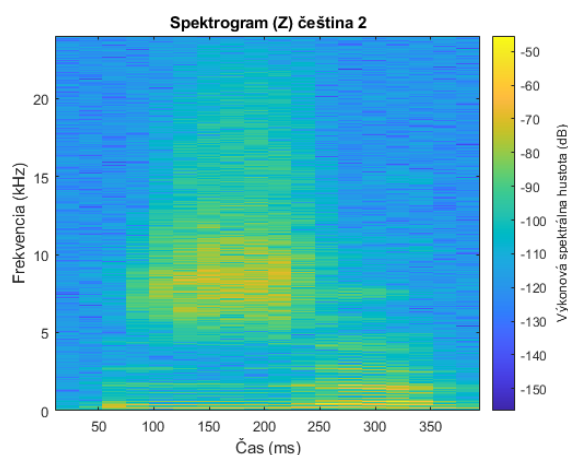
Obr. 4.26: Spektrogram slovenčina z



Obr. 4.27: Spektrogram španielčina z



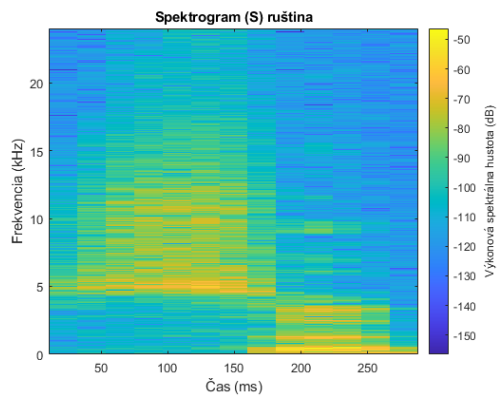
Obr. 4.28: Spektrogram čeština z



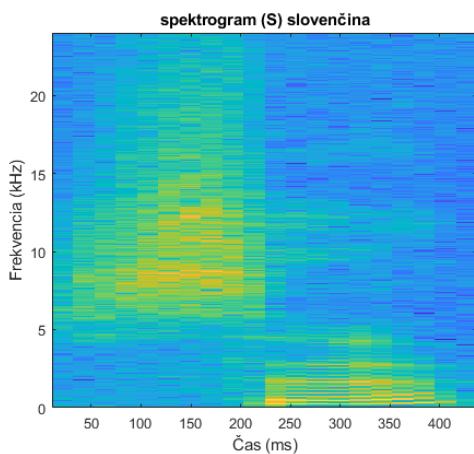
Obr. 4.29: Spektrogram čeština z

4.4.6 Prealveolárna spoluhláska s

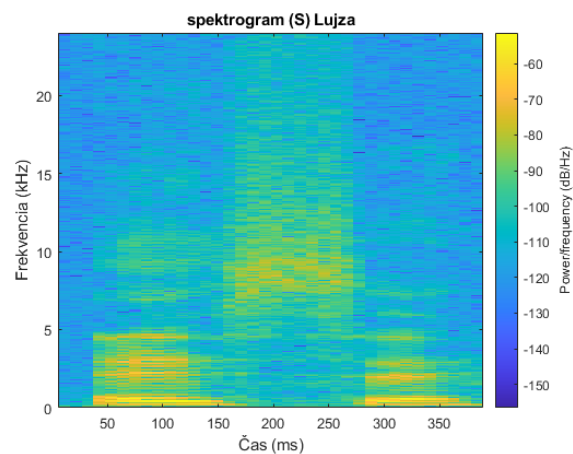
Jedná sa o neznelú spoluhlásku. Rovnako ako spoluhláska *z* patrí medzi frikatívne spoluhlásky, čo znamená, že jej veľká časť spektra tvorí hlavne šumová zložka. Rovnako ako spoluhláska *z* vzniká spoluhláska *s* medzi jazykom a dasnovým mostíkom. Rozdiely medzi *z* a *s* sú skoro zanedbateľné. Jediný rozdiel medzi spoluhláskami je v rámci formantových oblastí, ktoré sú u spoluhlásky *s* nepatrne vyššie. Na spektre rozprávača ruštiny 4.30 je vidieť väčšia energia ako u ostatných rozprávačov, čo je pravdepodobne spôsobené tým, že daný rozprávač je muž a jeho energia hlasu je väčšia. U španielčiny 4.32 je viditeľné trojité spektrum. Toto spektrum je zapríčinené samotným fonetickým znením hlásky v španielčine. Taktiež je možné si všimnúť, že v prvej časti spektra sú formantové oblasti položené vyššie ako u ostatných jazykoch. Druhá časť spektra je potom samotný šum. Tretia časť spektra je jadro samotnej hlásky, ktoré si je podobné s ostatnými jazykmi, čo sa týka aj formantových oblastí.



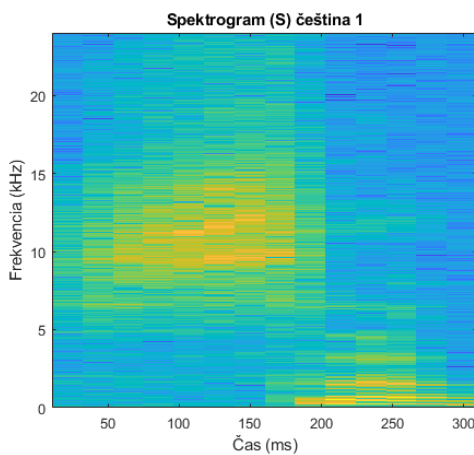
Obr. 4.30: Spektrogram ruština *s*



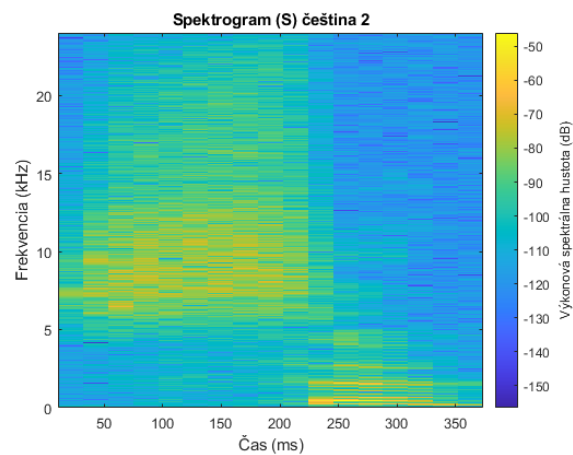
Obr. 4.31: Spektrogram slovenčina *s*



Obr. 4.32: Spektrogram španielčina *s*



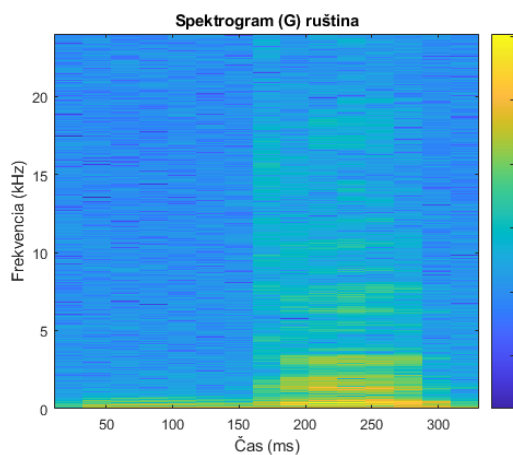
Obr. 4.33: Spektrogram čeština *s*



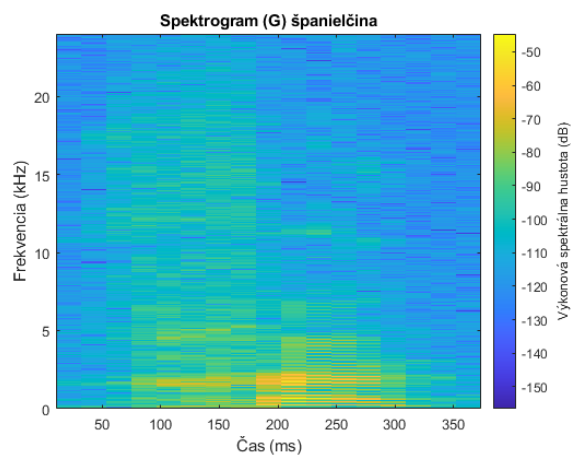
Obr. 4.34: Spektrogram čeština *s*

4.4.7 Velárna spoluhláska g

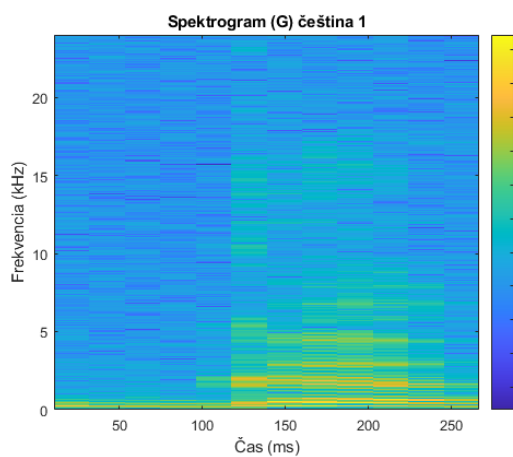
Jedná sa o explozívnu spoluhlásku. Vzniká priblížením jazyka k mäkkému poschodiu a je nasledovaná explóziou. Jedná sa o dvojité spektrum, kde na začiatku výslovnosti tejto spoluhlásky je vidieť nábeh a potom následná explózia. Rozdiely medzi jednotlivými jazykmi sú nepatrné až na španielčinu, 4.36 kde je spektrum celistvé a je tam výrazná šumová zložka. To je zapríčinené hlavne tým, že za jej vznik odpovedá iná časť vokálneho traktu.



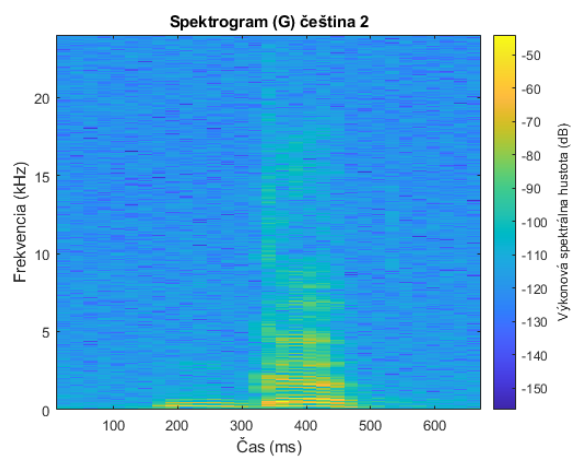
Obr. 4.35: Spektrogram ruština *g*



Obr. 4.36: Spektrogram španielčina *g*



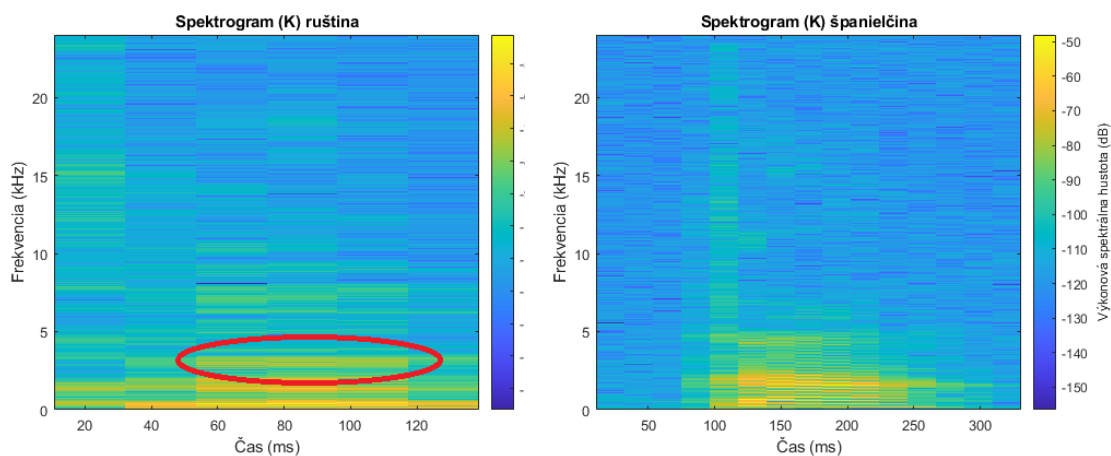
Obr. 4.37: Spektrogram čeština *g*



Obr. 4.38: Spektrogram čeština *g*

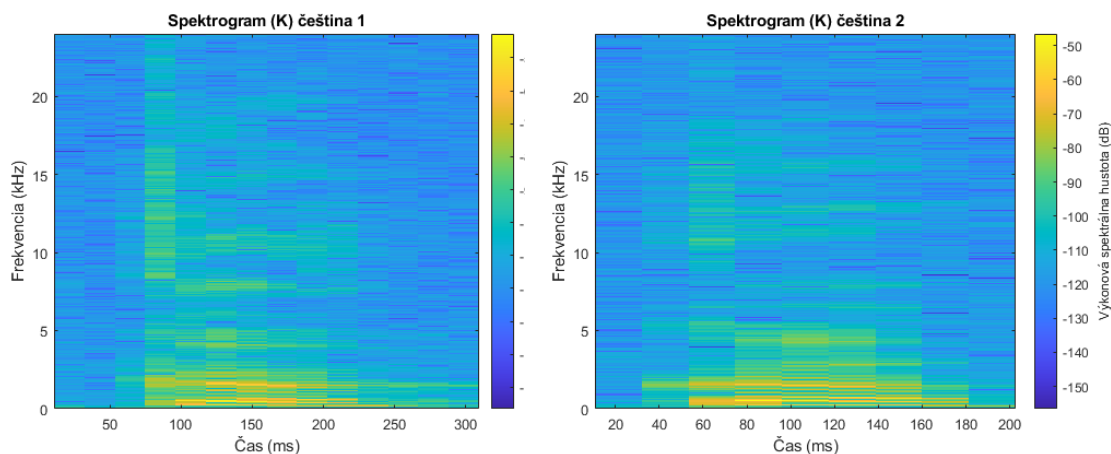
4.4.8 Velárna spoluhláska k

Táto spoluhláska patrí medzi explozívny a jedná sa o neznelú spoluhlásku. Rozdiel medzi *k* a *g* je hlavne v mohutnejšej explózií. Tá je zapríčinená väčším svalovým napätím pri jej výslovnosti. Samotná explózia siaha od 0,2 kHz až po 10 kHz. Hlavné formantové oblasti sa nachádzajú do 3 kHz. Rozdiely medzi jednotlivými jazykmi sú nepatrné až na ruštinu, ktorá má výraznú tretiu formantovú oblasť a to na frekvencii 3,1 KHz, ako je možné pozorovať na obrázku 4.39.



Obr. 4.39: Spektrogram ruština *k*

Obr. 4.40: Spektrogram španielčina *k*

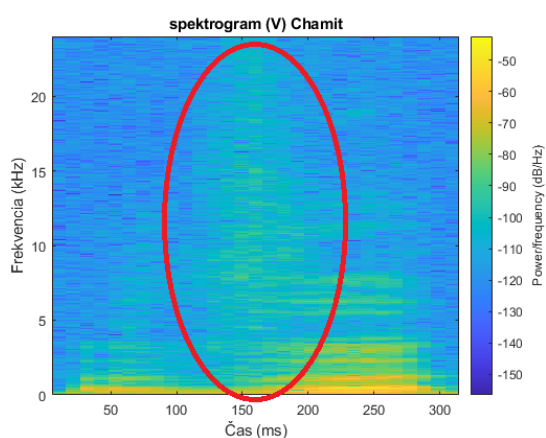


Obr. 4.41: Spektrogram čeština *k*

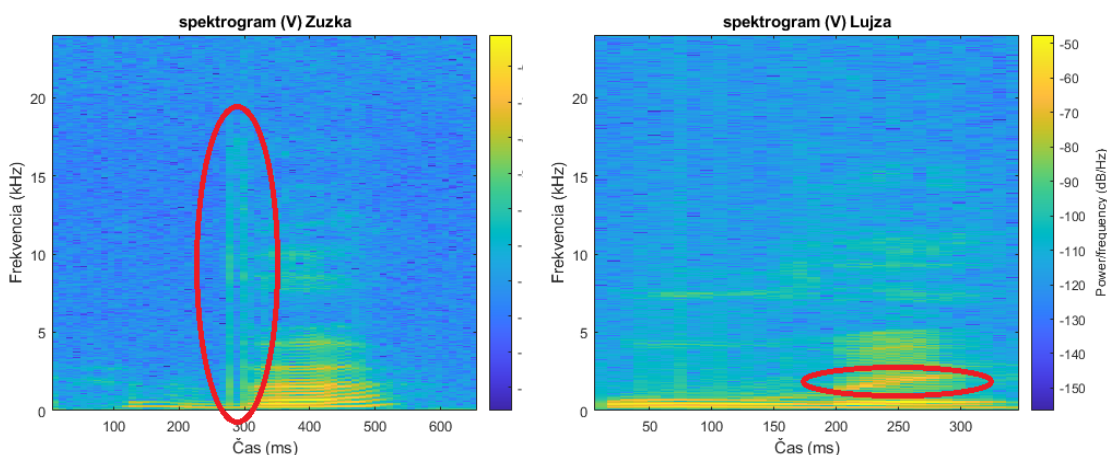
Obr. 4.42: Spektrogram čeština *k*

4.4.9 Labiodentálna spoluhláska *v*

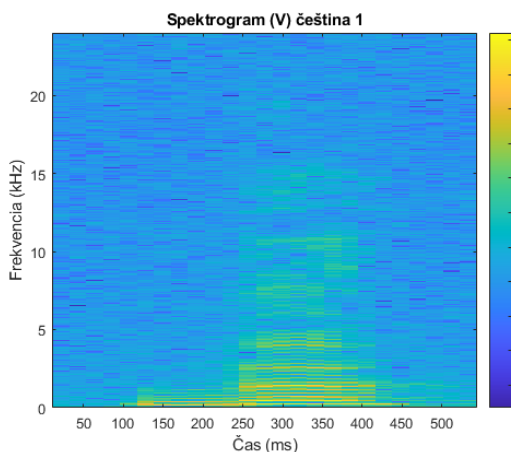
Znelá spoluhláska *v* vzniká tesným uzáverom spodnej pery a horných zubov. Prvá časť spektra je v rozmedzí od 0,2 kHz až po 0,8 kHz. Druhá časť spektra je v rozmedzí od 0,2 až 5 KHz, kde sa najväčšia energia nachádza vo formantovej oblasti 0,5 khz a 2 kHz. U spektrogramu španielčiny 4.45 je táto formantová oblasť zakrivená a tiahne sa od 1,5 Khz až po 2,2 kHz a je označená červenou farbou. U slovenčiny je možné vidieť v čase 300 ms peak, ktorý sa tiahne až do 17 Khz 4.44. Tento jav je možné vidieť aj u ostatných spektrogramov, ale nie je tak výrazný aj na spektrograme ruštiny 4.43. Jedná sa o šum, ktorý je spôsobený samotnou artikuláciou hlásky. U češtiny potom je vidno veľmi slabá vykonová spektrálna hustota 4.46 a 4.47.



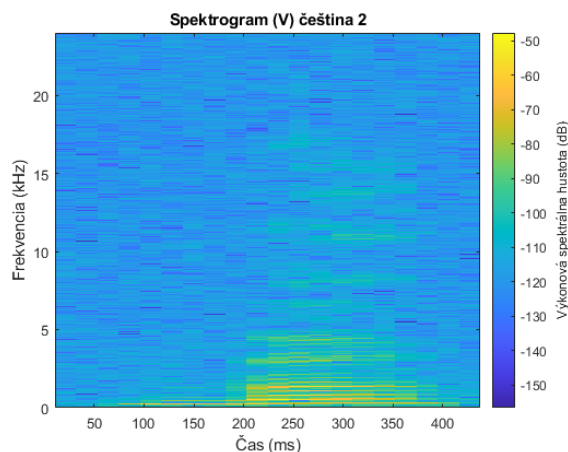
Obr. 4.43: Spektrogram ruština *v*



Obr. 4.44: Spektrogram slovenčina *v* Obr. 4.45: Spektrogram španielčina *v*



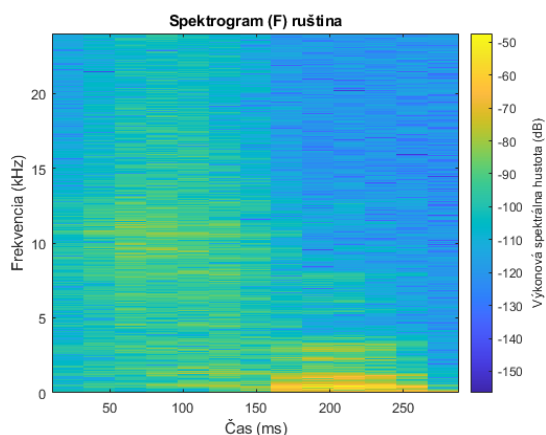
Obr. 4.46: Spektrogram čeština *v*



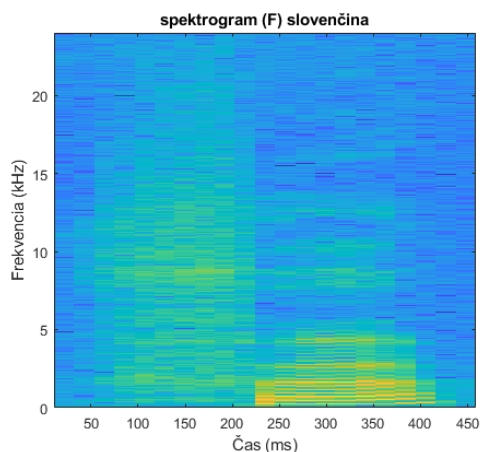
Obr. 4.47: Spektrogram čeština *v*

4.4.10 Labiodentálna spoluhláska *f*

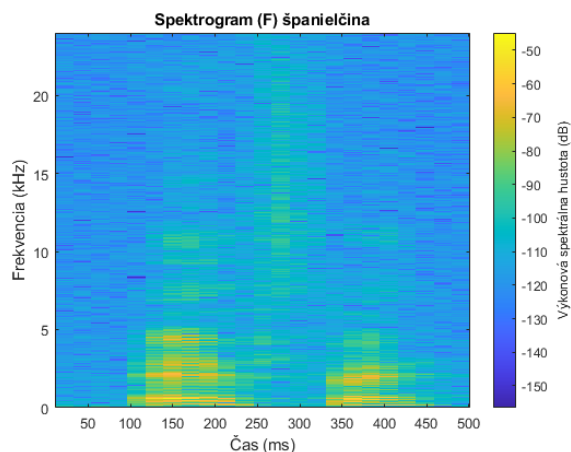
Spoluhláska *f* patrí medzi labiodentálne frikatíva. Táto spoluhláska vzniká, keď prúd vzduchu z pľúc prechádza úzkym uzáverom, ktorý je tvorený priblížením spodnej pery k horným zubom. V tomto prípade je vidieť, že je spektrogram tvorený väčšinovým šumom, ktorý prevláda od 0,5 kHz až 13 kHz. V druhej časti spektra sú potom formantové oblasti ktoré sa nachádzajú do 3 kHz. U španielčiny 4.50 nie je zreteľne viditeľná šumová zložka a spektrum je rozdelené na dve časti. To je zapríčinené inou výslovnosťou tejto hlásky a pootvorenými ústami počas fonácie. U češtiny rovnako ako u spoluhlásky *v* je vidno slabšia výkonová spektrálna hustota ako u ostatných jazykoch.



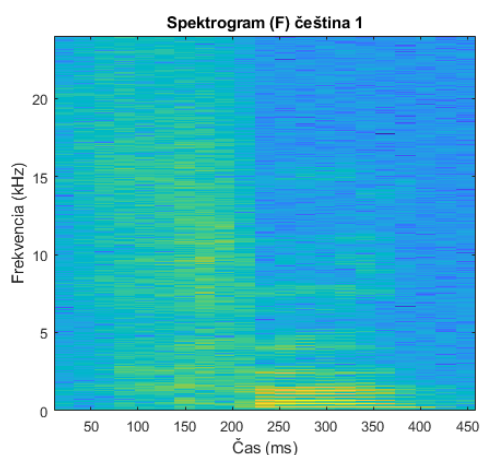
Obr. 4.48: Spektrogram ruština *f*



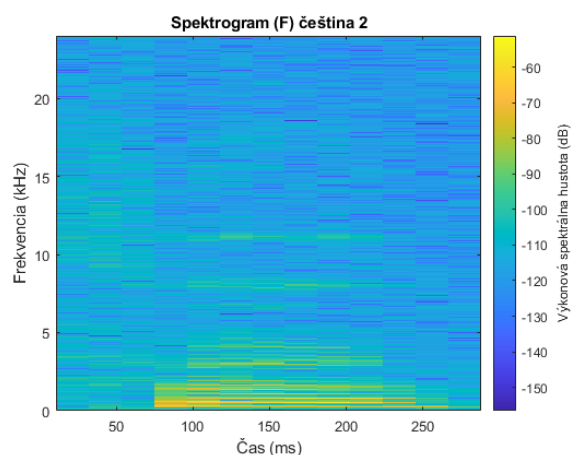
Obr. 4.49: Spektrogram slovenčina *f*



Obr. 4.50: Spektrogram španielčina *f*



Obr. 4.51: Spektrogram čeština *f*



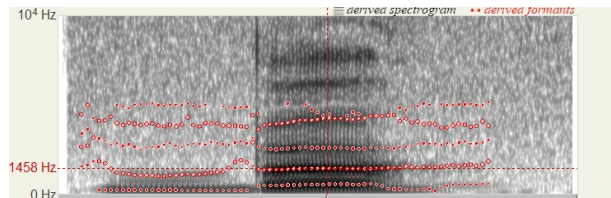
Obr. 4.52: Spektrogram čeština *f*

4.5 Formantové oblasti

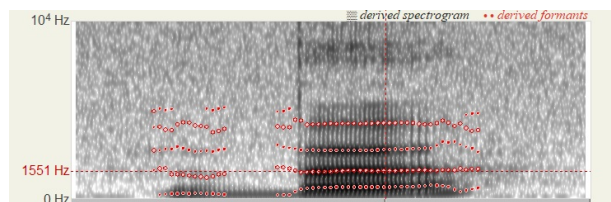
Následující analýza byla zaměřena na formantové oblasti jednotlivých spoluhláсок. Tieto analýzy boli uskutočnené v programe Praat pre ich jednoduchosť zobrazenia a kvalitu výsledku. V programe bol vygenerovaný jednoduchý spektrogram a pomocou funkcie formant listing vypočítané formantové oblasti. Praat počíta formanty pomocou metódy lineárnej predikcie (Linear Predictive Coding, LPC). Tento algoritmus modeluje hlasivkový trakt ako rad digitálnych filtrov. Signál je segmentovaný do krátkych časových okien, na ktoré sa aplikuje Hammingovo okno. Potom sa pre každý segment vypočítajú LPC koeficienty, ktoré slúžia na odhad prenosovej funkcie hlasivkového traktu. Z tejto funkcie sa určia póly, ktorých frekvencie zodpovedajú formantom. Frekvencie formantov sa vypočítajú ako argumenty týchto pólov a ich šírky pásma ako reálne časti pólu. [16]

4.5.1 Formantová oblasť spoluhlásky *b*

Formantové oblasti a všeobecne spektrum slovenčiny a češtiny sú si veľmi podobné. Spektrum týchto jazykov je zobrazené na obrázkoch 4.53 a 4.54. Obidve hlavné formantové oblasti sa nachádzajú okolo 1,5 kHz. Ďalšie formanty sú na hladinách 600 Hz, 2,8 kHz a na 4 kHz. U češtiny je možné vidieť aj slabú formantovú oblasť na 6 kHz.

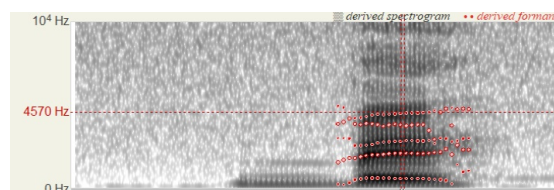


Obr. 4.53: Formantová oblasť čeština *b*



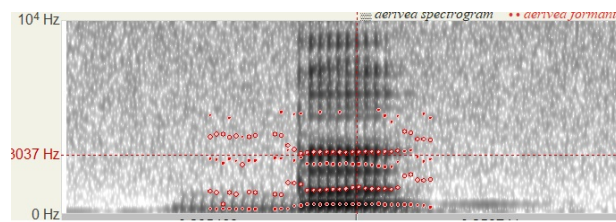
Obr. 4.54: Formantová oblasť slovenčina *b*

Formantové oblasti u španielčiny sa nachádzajú od 0,1 do 1 kHz, 1,8 - 3 kHz a od 3,8 kHz - 5 kHz a sú zobrazené na obrázku 4.55. Narozdiel od slovenčiny a češtiny je druhá formantová oblasť posunutá frekvenčne vyššie.



Obr. 4.55: Formantová oblasť španielčina *b*

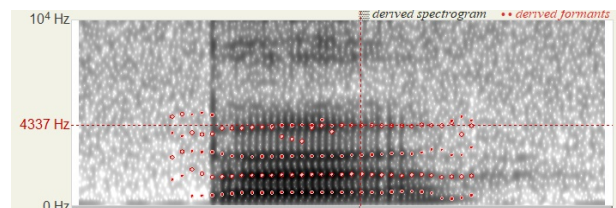
U ruštiny, ktorá je na obrázku 4.56 je možné vidieť hlavne dve formantové oblasti a to v rozmedzí od 0,2 - 1,3 kHz a od 2,5 kHz - 3,5 kHz. Slabé formanty sú aj na hodnotách 6 a 7 kHz. Rozdiel s ostatnými jazykmi je absencia oblasti na 4 kHz.



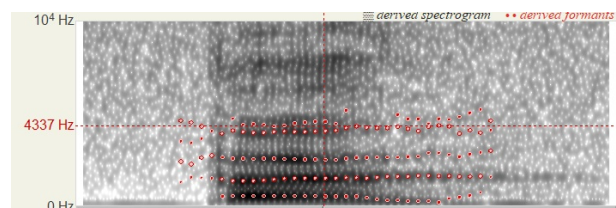
Obr. 4.56: Formantová oblasť ruština *b*

4.5.2 Formantová oblasť spoluhlásky *p*

Formantové oblasti spoluhlásky *p* sú v slovenčine a češtine skoro podobné. Zobrazené sú na obrázkoch 4.57 a 4.58. Ich hlavné časti sú na 800 Hz a 1,7 kHz. Ďalšie slabšie formanty sú na 2,6 kHz a 4,3 kHz. Dôvodom takejto veľkej podobnosti je ich veľmi podobná výslovnosť, ktorá sa aj potvrdila na spektre.

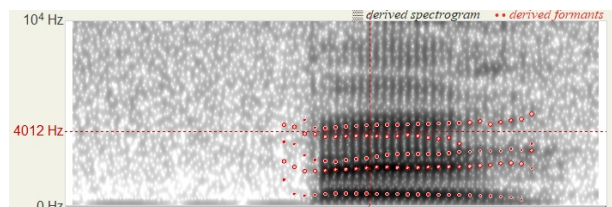


Obr. 4.57: Formantová oblasť slovenčina *p*



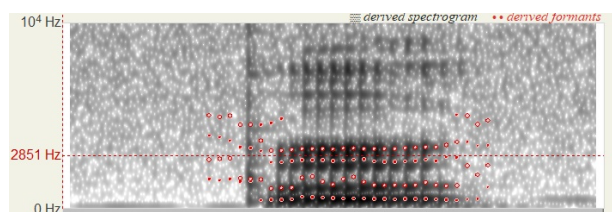
Obr. 4.58: Formantová oblasť čeština *p*

Spektrum formantových oblastí španielčiny je zobrazené na obrázku 4.59. Najvýraznejšie oblasti sú 5 kHz, 1,8 kHz - 2,7 kHz a 4 kHz. V porovnaní so slovenčinou a češtinou je hlavným rozdielom šírka oblastí, zatiaľ čo u češtiny je možné pozorovať 4 hlavné frekvenčné rozsahy, tak u španielčiny sú len 3.



Obr. 4.59: Formantová oblasť španielčina *p*

U ruštiny sú dve hlavné oblasti, ktoré dominujú a to oblasť od 0,1 - 1,3 kHz a od 2,5 - 3,6 kHz. Slabý formant je aj na 7 kHz. V porovnaní s ostatnými jazykmi sa ruština drží v nižších oblastiach frekvenčného spektra. Toto spektrum je vyobrazené na obrázku 4.60.



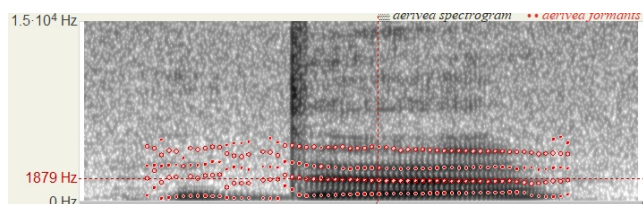
Obr. 4.60: Formantová oblasť ruština *p*

4.5.3 Formantová oblasť spoluhlásky *d*

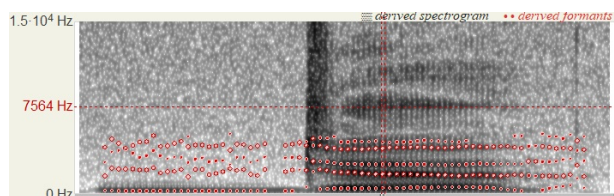
Formantové oblasti pri hláske *d* sa v slovenčine mierne líšia od češtiny. Tieto spektrá sú znázornené na obrázkoch 4.62 a 4.61. Hlavné pásma oboch jazykov sú ale rovnaké. Tie sa nachádzajú pri 500 Hz, 1,5 kHz - 3 kHz a v oblasti 4 kHz. V češtine je ale ešte jedna výrazná oblasť, a to pri 7,5 kHz.

Spektrum španielčiny je znázornené na obrázku 4.63. Jej formanty sú na hodnotách 600 Hz, 2 - 3 kHz a 4,5 kHz. V tomto prípade je aj silná oblasť v 8,5 kHz do 10 kHz. Španielčina sa narozdiel od ostatných jazykov odlišuje hlavne tým, že všetky jej analýzy pôsobia vo vyšších frekvenciách.

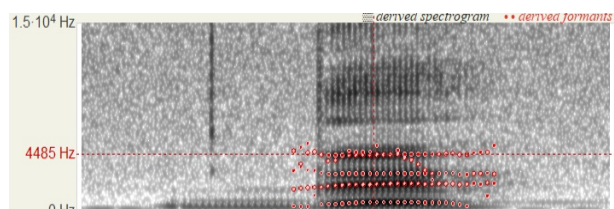
U ruštiny, ktorá je zobrazená na obrázku 4.64, sú formantové oblasti na hodnotách 400 Hz a v rozmedzí 2,5 - 3,5 kHz. Slabšia oblasť sa nachádza aj pri 5,7 kHz



Obr. 4.61: Formantová oblasť slovenčina *d*

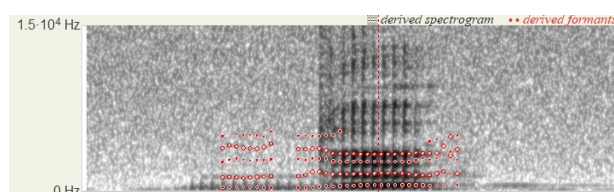


Obr. 4.62: Formantová oblasť čeština *d*



Obr. 4.63: Formantová oblasť španielčina *d*

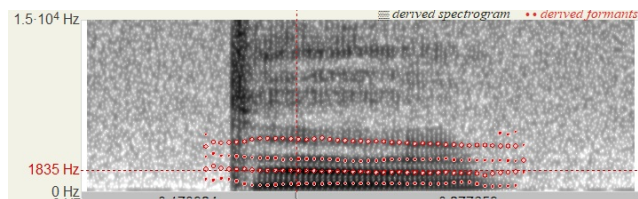
až 8 kHz. Ruština je zase oproti ostatným jazykom dominantná práve v nižších oblastiach spektra.



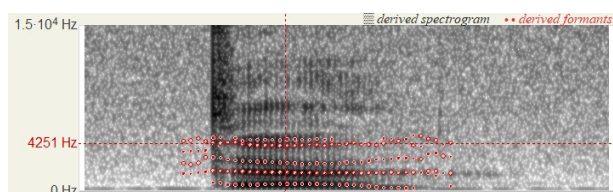
Obr. 4.64: Formantová oblasť ruština *d*

4.5.4 Formantová oblasť spoluhlásky *t*

U spoluhlásky *t* sú formanty v češtine a slovenčine zase veľmi podobné. Ich spektrá sú zobrazené na obrázkoch 4.66 a 4.65. Nachádzajú sa od 400 Hz do 4 kHz. Najsilnejšia formantová oblasť je pri frekvencii 1,7 kHz. Ďalšia oblasť je potom na úrovni 4 kHz.

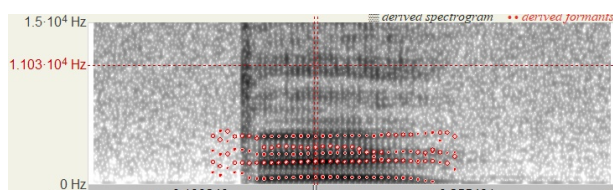


Obr. 4.65: Formantová oblasť slovenčina *t*



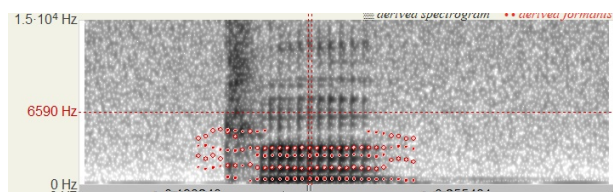
Obr. 4.66: Formantová oblasť čeština *t*

Na obrázku 4.67 je zobrazené spektrum španielčiny, kde je možné pozorovať formantové oblasti od 500 Hz do 5 KHz. Slabá oblasť je potom pri 10 kHz.



Obr. 4.67: Formantová oblasť španielčina *t*

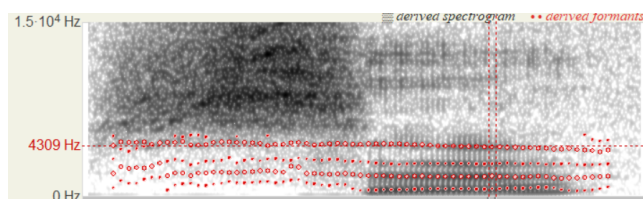
Ruština je v tomto prípade veľmi podobná češtine a slovenčine. Formantová oblasť sa pohybuje od 0,3 do 3,7 kHz. Toto spektrum je na obrázku 4.68.



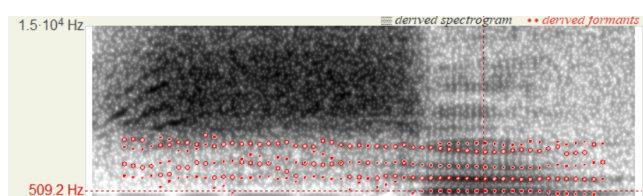
Obr. 4.68: Formantová oblasť ruština *t*

4.5.5 Formantová oblasť spoluhlásky s

Formantové oblasti slovenčiny a češtiny sú si veľmi podobné. Sú zobrazené na obrázkoch 4.70 a 4.69. Tieto formantové oblasti sa nachádzajú od 0,5 kHz až 2 kHz, a potom sa tiež nachádza silná formantová oblasť u 5 KHz.

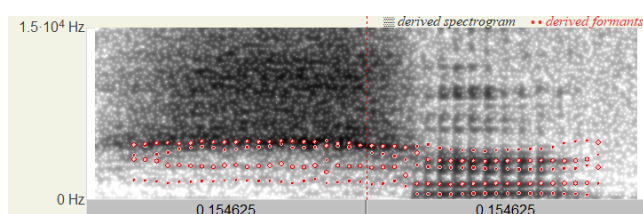


Obr. 4.69: Formantová oblasť slovenčina s



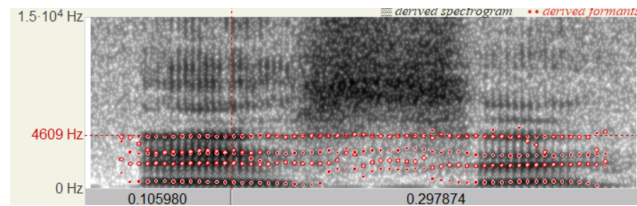
Obr. 4.70: Formantová oblasť čeština s

U ruštiny na obrázku 4.71 je zase možné spozorovať silnejšiu formantovú oblasť na 3,2 KHz a tiež od 0,5 kHz až po 1,2 kHz.



Obr. 4.71: Formantová oblasť ruštiny s

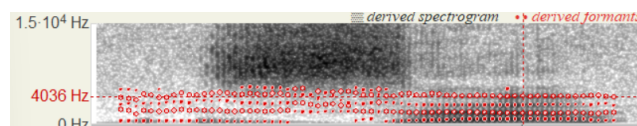
Spektrum španielčiny, ktoré je zobrazené na obrázku 4.72 je rozdelené na 3 časti. Formantové oblasti prvej a druhej časti sú si ale veľmi podobné a nachádzajú sa na hodnotách 0,5 kHz, 2 kHz až 3 kHz a 4,6 KHz . Druhá časť spektra je tvorená hlavne šumovou zložkou.



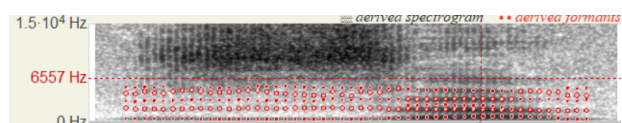
Obr. 4.72: Formantová oblasť španielčina s

4.5.6 Formantová oblasť spoluhlásky z

Formantové oblasti, ktoré sú na obrázku 4.73 v slovenčine sa nachádzajú na hodnotách 0,5 kHz, 2 kHz a 3 kHz a 4,5 Khz. U češtiny sú tieto oblasti na hodnotách 0,5 kHz, 2,2 kHz, 3 kHz a 4,5 kHz a je ich možné vidieť na obrázku 4.74.

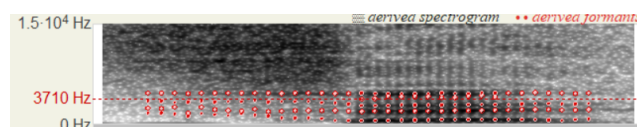


Obr. 4.73: Formantová oblasť slovenčina z

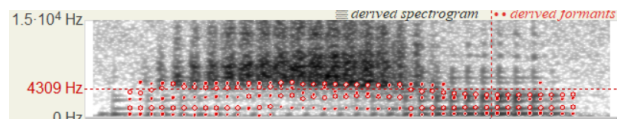


Obr. 4.74: Formantová oblasť čeština z

U španielčiny, ktorá je zobrazená na obrázku 4.75 je zase možné vidieť silnejšie formantové oblasti s väčšou energiou a nachádzajú sa na hodnotách 0,5 kHz, 2 KHz a 4,6 kHz. Ruština nemá v tomto prípade veľkú energiu ako napríklad španielčina. Formantové oblasti sa nachádzajú na hodnotách 0,4 kHz, 1,4 kHz a 3,2 kHz a je zobrazená na obrázku 4.76.



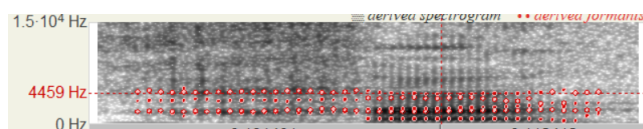
Obr. 4.75: Formantová oblasť španielčina z



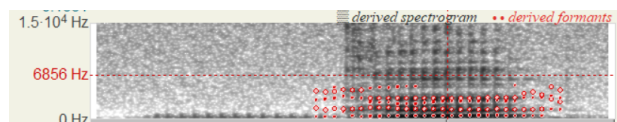
Obr. 4.76: Formantová oblasť ruština *z*

4.5.7 Formantová oblasť spoluhlásky *g*

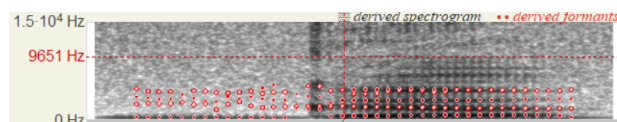
Formantové oblasti sú u češtiny vyobrazené na obrázku 4.79 a nachádzajú sa na hodnotách 0,5 kHz, 1,7 kHz a taktiež na 3 kHz a 5 kHz. Na hodnote 7,3 kHz sa nachádza tiež menšia oblasť, ktorá ale nie je až tak výrazná. U španielčiny, ktorá je zobrazená a obrázku 4.77, je možné vidieť na začiatku fonácie výraznejšiu šumovú zložku, za ktorou sa potom nachádzajú formantové oblasti na 0,7 kHz až 2 kHz a tiež aj na hodnote 4,5 kHz. U ruštiny sú tieto oblasti na 0,5 kHz až 2 kHz, 3 kHz a tiež je vidieť jemná formantová oblasť aj na hodnote 6,8 kHz a je zobrazená na obrázku 4.78



Obr. 4.77: Formantová oblasť španielčina *g*



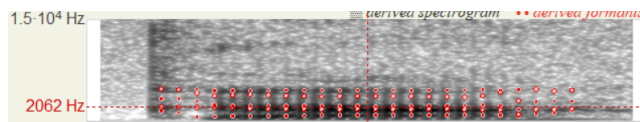
Obr. 4.78: Formantová oblasť ruština *g*



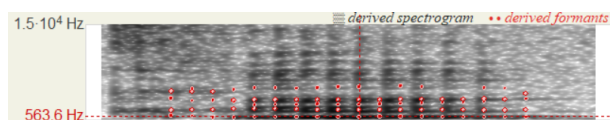
Obr. 4.79: Formantová oblasť čeština *g*

4.5.8 Formantová oblasť spoluhlásky *k*

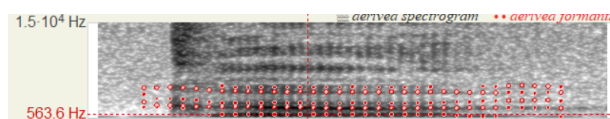
Formantové oblasti neznej spoluhlásky *k* sa v jednotlivých jazykoch veľmi nelíšia. Nachádzajú sa v oblastiach od 0,5 kHz až po 2,5 kHz a potom v oblasti okolo 5 kHz. U češtiny a ruštiny, ktoré je možné vidieť na obrázkoch 4.82 a 4.82 je formantová oblasť s väčšou intenzitou okolo hodnoty 8 kHz. U španielčiny, ktorá je zobrazená na obrázku 4.80 sa táto oblasť nenachádza.



Obr. 4.80: Formantová oblasť španielčina *k*



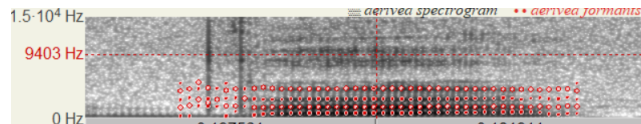
Obr. 4.81: Formantová oblasť ruština *k*



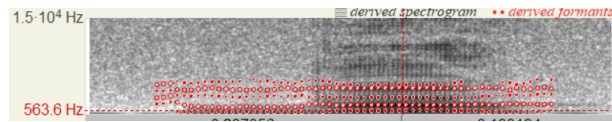
Obr. 4.82: Formantová oblasť čeština *K*

4.5.9 Formantová oblasť spoluhlásky *v*

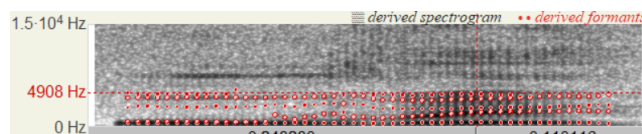
Formantové oblasti znej spoluhlásky *v* sa v slovenčine nachádzajú na hodnotách 0,5 kHz 1,7 kHz, 3 kHz a 4,3 kHz a sú vyobrazené na obrázku 4.83. Tiež sa tu nachádza oblasť vo vyšších frekvenciách a to od 7 kHz až 10 kHz. U češtiny obrázkov 4.84 sa tieto oblasti nachádzajú na hodnotách 0,5 kHz 1,7 kHz, 2 KHz a 4,5 kHz. V španielčine sa prvá formantová oblasť nachádza na hodnote 0,7 kHz 4.85. Druhá formantová oblasť je zakrivená a tiahne sa od 1,4 KHz až 2,8 kHz. Ďalšia oblasť je potom od 4 kHz až 5 kHz. V ruštine ktorá je na obrázku 4.86 sú výrazné hlavne 3 oblasti a to od 0,4 KHz až 1,4 kHz, ďalšia potom od 2,5 až po 4 kHz a 5,5 kHz až 7 kHz.



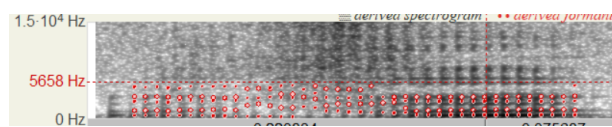
Obr. 4.83: Formantová oblasť slovenčina *v*



Obr. 4.84: Formantová oblasť čeština *v*



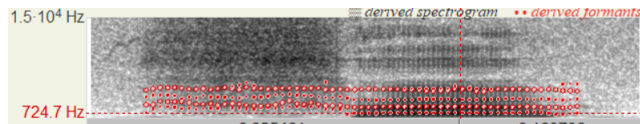
Obr. 4.85: Formantová oblasť španielčina *v*



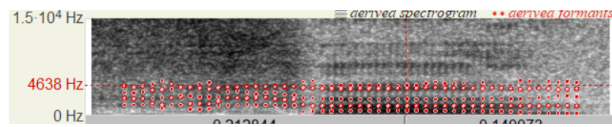
Obr. 4.86: Formantová oblasť ruština *v*

4.5.10 Formantová oblasť spoluhlásky **f**

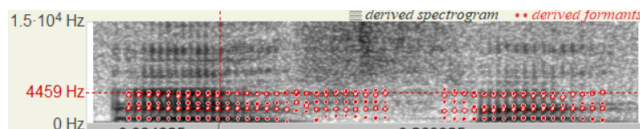
Formantové oblasti spoluhlásky *f* v češtine a slovenčine sú si znova veľmi podobné a sú vyobrazené na obrázku 4.88 a 4.87. Nachádzajú sa na hodnotách 0,5 kHz, 2,5 kHz a 4,6 kHz. Taktiež sa tu nachádza oblasť s výraznejšou intenzitou a to od 7 kHz až 10 kHz. U ruštiny 4.90 sa formantové oblasti nachádzajú na hodnotách 0,5 kHz až 0,8 kHz a 3,2 kHz. V španielčine 4.89 sa spektrum delí na 3 časti. Formantové oblasti prvej a tretej časti v spektre sú ale totožné a nachádzajú sa na hodnotách 0,5 kHz, 2,3 kHz a 4,5 kHz. V druhej časti spektra sa nachádza oblasť so šumovou zložkou, ktorá neobsahuje formantové oblasti.



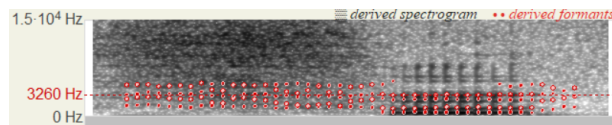
Obr. 4.87: Formantová oblasť slovenčina *f*



Obr. 4.88: Formantová oblasť čeština *f*



Obr. 4.89: Formantová oblasť španielčina *f*

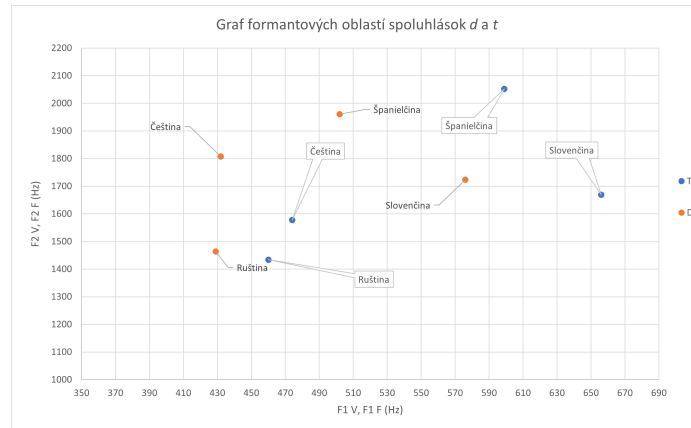


Obr. 4.90: Formantová oblasť ruština *f*

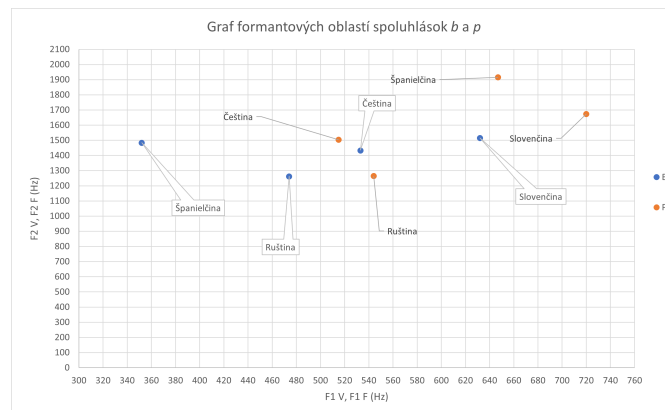
4.5.11 Výsledky formantových oblastí

Pre porovnanie formantových oblastí je vhodné si ich dať do súvislosti v jednom grafe. Pre porovnanie boli použité dáta prvých dvoch formantových oblastí, ktoré sú zásadné pre charakteristiku danej hlásky. V prvom grafe 4.91 sa nachádzajú formantové oblasti F1 a F2 spoluhlások *d* a *t*. V druhom grafe 4.92 sa porovnávajú formantové oblasti *b* a *p*. Ďalej sa porovnávajú formantové oblasti spoluhlások *z* a *s*, ktoré sú znázornené v grafe 4.93, potom formantové oblasti spoluhlások *k* a *g*, ktoré sú zobrazené na grafe 4.94. Posledný graf znázorňuje formantové oblasti spoluhlások *f* a *v*, ktorý je znázornený na grafe 4.95. Z týchto grafov je možné si povšimnúť, že najvyššie položené formantové oblasti má španielčina. Z toho sa dá vyvodiť, že má španielčina z hľadiska porovnávaných jazykov dominujúce frekvenčné pásma na vyšších úrovniach. To môže byť zapríčinené iným zapojením vokálneho traktu a samotnou výslovnosťou týchto spoluhlások. V španielčine sa totiž spoluhlásky *d*, *t*, *p* a *b* vyslovujú na konci s akýmsi zastretým *e*. To znamená, že jej výslovnosť je *de*,

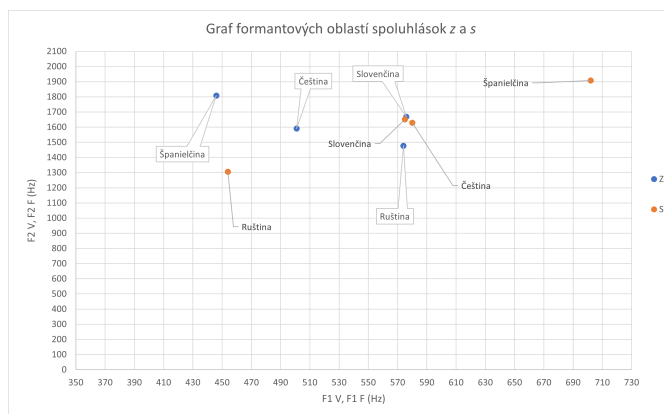
te, be a pe. Taktiež spoluhlásky *s, z, f a v* sa vyslovujú s týmto javom. Toto neplatí u spoluhlások *k a g*, kde sa *k* vyslovuje ako *ka* a *g*, ktoré je veľmi podobné slovenskému *ch*. V ruskom jazyku je možné si povšimnúť, že je dominujúca v nižších frekvenčných pásmach. Výslovnosť týchto hlások je na druhú stranu tvrdšia od ostatných jazykov. To je zapríčinené akcentom, ktorý má ruský jazyk.



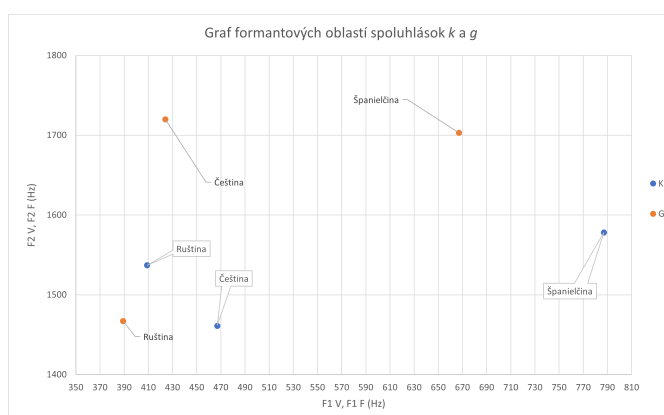
Obr. 4.91: Formantové oblasti v grafe *d a t*



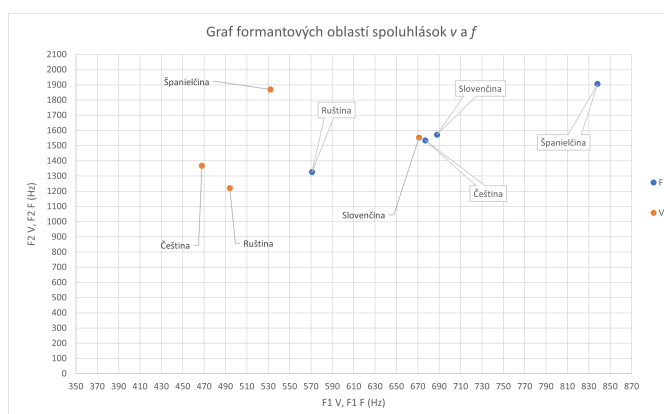
Obr. 4.92: Formantové oblasti v grafe *b a p*



Obr. 4.93: Formantové oblasti v grafe z a s



Obr. 4.94: Formantové oblasti v grafe k a g



Obr. 4.95: Formantové oblasti v grafe f a v

4.6 Smerová analýza

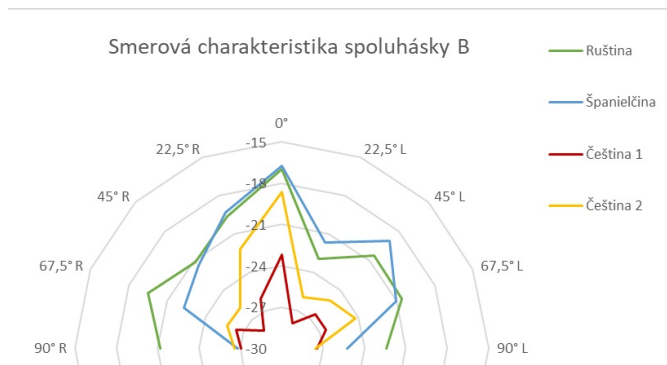
Druhé nahrávanie bolo zamerané na smerovú charakteristiku spoluhlások. Táto charakteristika bola realizovaná v bezodrazovej komore tentokrát s 9 mikrofónmi, ktoré boli od seba vzdialené 31 cm v uhloch $22,5^\circ$; 45° ; $67,5^\circ$ a 90° na ľavú aj pravú stranu. Rozprávač bol vzdialený od mikrofónov 80 cm. Nahraté nahrávky boli vyrenderované do WAV súboru a následne boli v programe Matlab vypočítané maximálne hodnoty v decibeloch. Pomocou funkcie *audioread* bol zapísaný do premennej x príslušný WAV súbor. Následne bola do vzorca na výpočet akustického tlaku dosadená premenná x a vypočítaná maximálna hodnota v dB. Nakoniec sa vypočítané decibelové maximá vykreslili do smerovej charakteristiky pomocou programu Excel. Nižšie je možné vidieť použitý kód v programe Matlab. V týchto analýzach je vidieť veľká odchylka (zub v grafe) na ľavých stranách. To môže byť zapríčinené chybou nastavenia mikrofónu $22,5^\circ$ L, zlou kalibráciou alebo vymenením pozícií mikrofónov $22,5^\circ$ L a 45° L. Tiež si je možné povšimnúť veľké akustické rozdiely u jednotlivých rozprávačov. Vysvetlením tohoto javu je fakt, že každý človek má jedinečné parametre hlasu, ktoré sa odvíjajú od veľa parametrov. Jedným z nich sú aj rozmery hlasovo-akustického systému, emocionálne rozpoloženie daného rozprávača, intenzita prirodzeného hlasu k danému rozprávačovi a podobne.

Výpis 4.2: Kód v Matlabe na vygenerovanie maximálnej hodnoty v dB

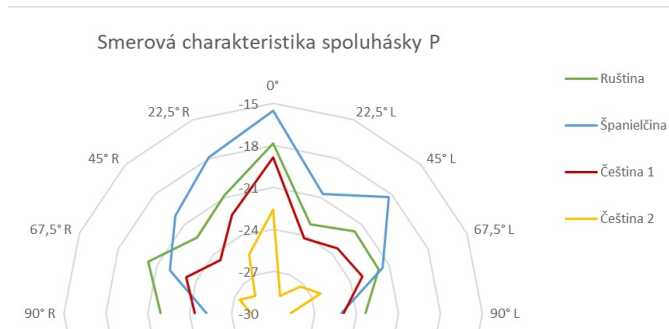
```
[x, fs] = audioread('center_180_spektrum.wav');
x_db = 20*log10(abs(x));
max_db = max(x_db);
disp(['Max.hodnota v decibeloch:', num2str(max_db), 'dB']);
```

4.6.1 Smerová charakteristika hlásky b a p

Grafy smerovosti sa nachádzajú na obrázku 4.96 a na obrázku 4.97. Spoluhlásky b a p sú explozívne a je vidieť, že najväčšia energia pri jej vyslovovaní sa sústreďuje viac dopredu ako do strán. Tieto charakteristiky sú si veľmi podobné. Je to zapríčinené samotnou výslovnosťou týchto hlások, ktorá vzniká vzájomným dotykom pier a následnou explóziou, ktorá sa šíri hlavne dopredu. U češtiny, slovenčiny a ruštiny je viditeľné, že sa trochu energie dostáva aj na strany mikrofónov v uhloch $67,5^\circ$ R a $67,5^\circ$ L. U španielčiny je zase celá energia sústredená dopredu až na anomáliu zubu na mikrofóne 45° L.



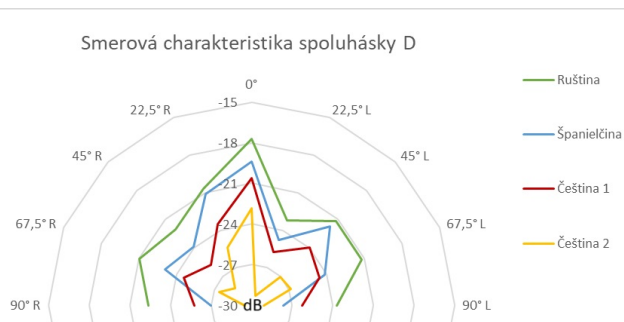
Obr. 4.96: Smerová charakteristika *b*



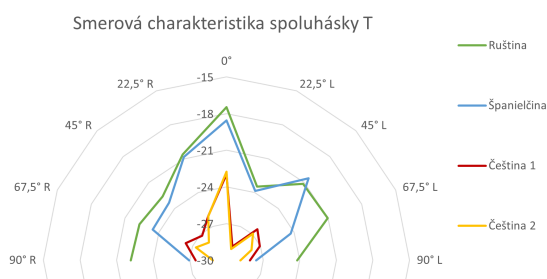
Obr. 4.97: Smerová charakteristika *p*

4.6.2 Smerová charakteristika hlásky *d* a *t*

Grafy smerovej charakteristiky sú na obrázku 4.98 a na obrázku 4.99. Ich smerová charakteristika je rovnako ako pri *b* a *p* hlavne smerovaná dopredu. Tieto hlásky vznikajú pomocou zubov a dasnového mostíka. Keďže sa jedná o explozívny, ich smerová charakteristika je si veľmi podobná so spoluhláskami *b* a *p*. U španielčiny je ale vidieť výraznú prednú zložku aj pri uhle $22,5^\circ$. V španielčine je aj výraznejší rozdiel v akustickom tlaku v porovnaní so spoluhláskami *b* a *p*.



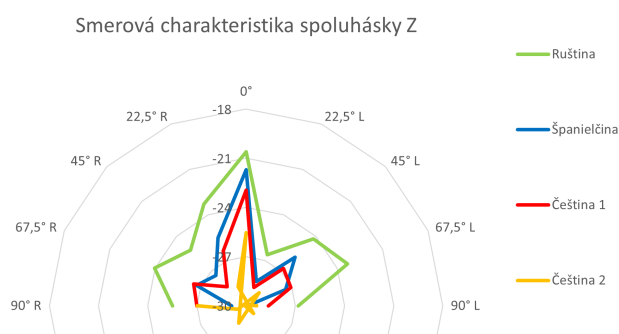
Obr. 4.98: Smerová charakteristika *d*



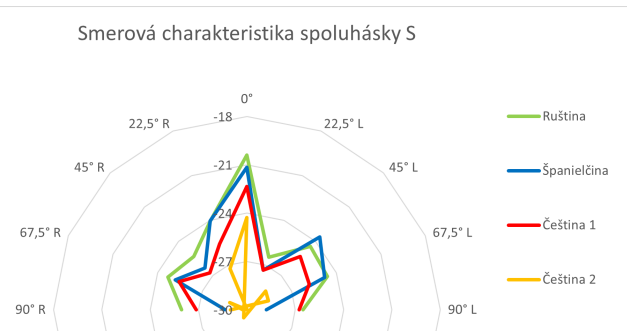
Obr. 4.99: Smerová charakteristika *t*

4.6.3 Smerová charakteristika hlásky *z* a *s*

Grafy smerovej charakteristiky sú na obrázku 4.100 a na obrázku 4.101. Jedná sa o frikatívne spoluhlásky a teda sú tvorené hlavne šumom. Oproti ostatným porovnávaným spoluhláskam majú najnižšiu intenzitu, kde je maximum možné pozorovať v -20 dB u ruštiny. Ich smerová charakteristika je sústredená hlavne dopredu. U spoluhlásky *s* je tento jav viac viditeľný, keďže sa jedná o neznelú spoluhlásku a obsahuje viac šumovej zložky ako u znejšej spoluhlásky *z*.



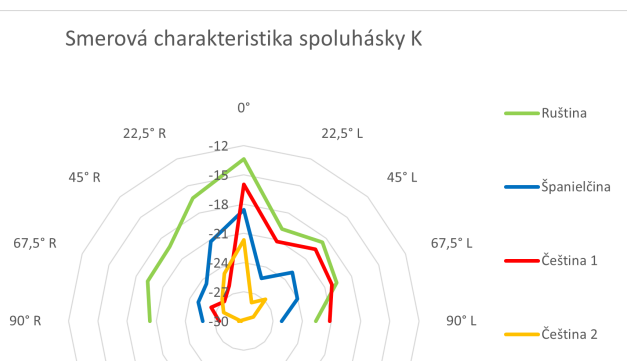
Obr. 4.100: Smerová charakteristika *z*



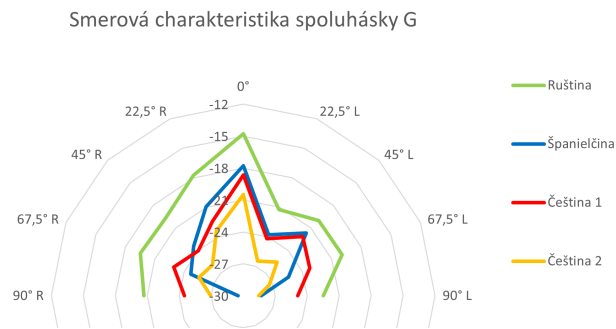
Obr. 4.101: Smerová charakteristika s

4.6.4 Smerová charakteristika hlásky k a g

Grafy smerovej charakteristiky sa nachádzajú na obrázku 4.102 a na obrázku 4.103. Jedná sa o expozívny a ich smerová charakteristika je viac smerovaná do strán ako u ostatných porovnávaných spoluhláskach. Taktiež tieto spoluhlásky dosahujú najväčiu intenzitu a to až na úrovniach -13,3 dB u spoluhlásky *k* a -14,7 u spoluhlásky *g* na center mikrofóne v ruskom jazyku. U spoluhlásky *k* je možné spozorovať anomálne hodnoty na mikrofónoch 45° R a 67,5° R a to u češtiny 1. Táto anomália mohla byť spôsobená napríklad nesprávnou výslovnosťou.



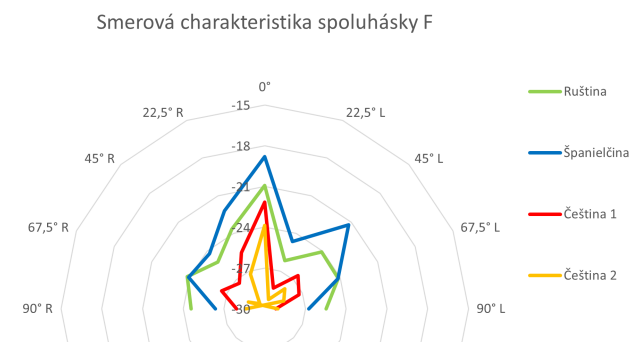
Obr. 4.102: Smerová charakteristika k



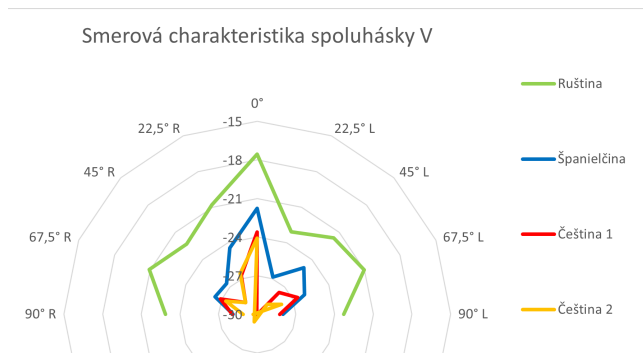
Obr. 4.103: Smerová charakteristika g

4.6.5 Smerová charakteristika hlásky f a v

Smerové charakteristiky týchto hlások sú znanornené na obrázkoch 4.104 a 4.105. Jedná sa o labiodentálne frikatíva. Spoluhláska f je tvorená z veľkej časti hlavne šumovou zložkou a smerová charakteristika tejto hlásky je sústredená viac dopredu ako u spoluhlásky v , kde je intenzita viac smerovaná do strán. Taktiež je možné vidieť, že maximálna intenzita pri spoluhláske f dosahuje španielčina a to na hodnote -18,8 dB u mikrofónu 0° . Maximum pri spoluhláske v dosahuje ruský jazyk a to na hodnote -17,5 dB.



Obr. 4.104: Smerová charakteristika f



Obr. 4.105: Smerová charakteristika *v*

4.6.6 Výsledky smerovej charakteristiky

Zo smerovej analýzy vyplýva, že expolíva sú viac sústredené do strán ako frikátíva. Je to zapríčinené iným zapojením vokálneho traktu pri ich výslovnosti. Pri expozívach je vyvíjaný tlak, za ktorým nasleduje explózia. Tá sa šíri prostredím do všetkých smerov. U frikátív je zvuková vlna smerovaná hlavne dopredu a je tvorená z veľkej časti šumovou zložkou, preto aj ich intenzita je menšia ako u expozív. U všetkých hlások boli zmerané aj maximálne hodnoty, ktoré boli namerané vždy na mikrofóne 0° a vypočítané pomocou programu Matlab. Všetky maximá sú zobrazené v tabuľke 4.6 Z hľadiska jednotlivých jazykov a ich intenzity je dominantná ruština a španielčina. Pri smerovej analýze bolo zistené, že tvar jednotlivých vyslovených hlások si je veľmi podobný v každom z jazykov.

Max intenzita (dB)				
spoluhláska	ruština	španielčina	čeština 1	čeština 2
b	-17,0049	-16,755	-23,2038	-18,6677
d	-17,7228	-19,4078	-20,5974	-22,8471
z	-20,6002	-21,7043	-22,9358	-25,5431
g	-14,7764	-17,7801	-18,6541	-20,4846
v	-17,5572	-21,7625	-23,6079	-24,0951
p	-17,8399	-15,5176	-18,8585	-22,5897
t	-17,4795	-18,5548	-22,9507	-22,7592
s	-20,4009	-21,1604	-22,3433	-24,271
k	-13,3687	-18,5908	-15,9973	-21,6689
f	-20,9361	-18,8099	-22,1544	-23,877

Tab. 4.6: Maximálne hodnoty smerovej charakteristiky

Záver

Cielom tejto práce bolo porovnať znelé a neznelé spoluhlásky v rôznych jazykoch. Ako sa doposiaľ ukázalo, hlavným rozdielom znelých a neznelých hlások je absencia základného tónu. Tento tón sa nachádza iba v znelých spoluhláskach a príčina jeho vzniku je angažovanosť hlasiviek vo vokálnom trakte. Taktiež v tomto ohľade hrá rolu aj glotis, ktorý je pri začatí fonácie znelých hlások uzavretý a pri neznelých otvorený. V neznelých spoluhláskach sa taktiež nachádza v spektre viac šumovej zložky ako pri znelých spoluhláskach. Taktiež bol v tejto bakalárskej práci popísaný vznik jednotlivých hlások podľa miesta tvorenia a podľa prekážky.

Na začiatku tejto práce je taktiež popísaná teória, v ktorej sa nachádzajú informácie k tvorbe hlasu, vzniku zvuku a reči a informácie k jednotlivým výslovnostiam spoluhlások v rôznych jazykoch. Pre túto prácu boli porovnávané čeština, slovenčina, ruština a španielčina. V slovenčine, češtine a ruštine si je výslovnosť daných spoluhlások veľmi podobná. Až na španielčinu, ktorá v niektorých prípadoch využíva iné časti artikulačného ústrojenstva.

V tejto práci bolo vybrané päť znelostných párov spoluhlások. Z vybraných piatich znelostných párov boli vykreslené spektrálne analýzy, formantové analýzy a taktiež i smerové. Spektrálna analýza bola spracovaná v programe Matlab a taktiež aj smerová analýza. Výsledné hodnoty zo smerovej analýzy boli vložené do programu Excel a následne boli z hodnôt vykreslené polárne grafy. V tomto ohľade bolo zistené, že explozíva sú viac sústredené do strán ako frikatíva. Pri formantovej analýze bol použitý program Praat.

Tiež bolo uskutočnené meranie účastnených rozprávačov. Tí hrali hlavnú rolu pri nahrávaní, ktoré bolo realizované v bezodrazovej komore.

Pri formantovej a spektrálnej analýze boli potvrdené rozdiely medzi znelými a neznelými spoluhláskami.

Taktiež boli zistené rozdiely medzi jednotlivými cudzími jazykmi. V tomto ohľade bolo zistené, že pri výslovnosti spoluhlások v španielčine sú frekvenčné pásma a formantové oblasti dominujúce na vyšších frekvenciách než pri ostatných jazykoch. Ďalej bolo zistené, že spektrálne sú si slovenčina a čeština veľmi podobné, a aj čo sa týka výslovnosti. U ruštiny bolo zistené, že sa jeho spektrum mierne líši od slovenčiny a češtiny, i keď sú tieto jazyky pod pojmom slovanské veľmi podobné. Taktiež bolo zistené, že jeho frekvenčná dominancia je v nižších oblastiach než napríklad u slovenčiny alebo češtiny. Tento rozdiel je zapríčinený väčším dôrazom na tvrdosť danej spoluhlásky a taktiež tým, že rusky hovoriaci rozprávač bol muž.

Literatúra

- [1] Hlas *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z URL:
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlas>>.
- [2] MIŠUN, Vojtěch. *Tajemství lidského hlasu*. Brno, Nakladatelství VUTIUM. 2010. ISBN:978-80-214-3499-8.
- [3] SIČÁKOVÁ LUBA. *Fonetika a fonológia pre elementaristov*
- [4] ŠVEC, Mgr. Jan. *STUDIUM MECHANICKO-AKUSTICKÝCH VLASTNOSTÍ ZDROJE LIDSKÉHO HLASU* Dizertační práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci Přírodovědecká fakulta Katedra experimentální fyziky, 1996. Dostupné z URL:
<https://www.researchgate.net/publication/311087045_Studium_mechanicko-akustickych_vlastnosti_zdroje_lidskeho_hlasu_Dizertacni_prace>.
- [5] Jan Hušek *Ruský vokální systém v porovnání s češtinou* Bakalárska práca. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2012.
- [6] Pavel Bojko *Problematika sazby odborného textu v prostředí LATEX* Bakalárska práca. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011.
- [7] Petr Čermák *Fonetika a fonologie současné španělštiny* Karolinum, 2009.
- [8] Denisa Sádecká *Analýza směrovosti hlásek* Bakalárska práca. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2021/22.
- [9] Ondřej Jirásek *Harmonické i neharmonické barvy a šum* OPUS MUSICUM hudební revue, Brno. 54/2022 č. 1. ISSN:0862-8505.
- [10] Fonetika a fonológia *agili* [online].2017. Dostupné z URL:
<<https://www.zones.sk/studentske-prace/gramatika/14741-fonetika-a-fonologia/>>.
- [11] Internetová jazyková příručka *Tvoření českých souhlásek* [online]. (2008–2023). Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR Dostupné z URL:
<<https://prirucka.ujc.cas.cz/?id=905>>.
- [12] SMUTEK, Martin *Comparison of Slovak and Czech* [online].2013 Dostupné z URL:
<<https://jazykove.fairlist.cz/2013/08/rozdily-mezi-cestinou-a-slovenstinou/>>

- [13] *Varianty písmen ruské abjazy* [online]. Dostupné z URL:
<https://is.muni.cz/el/1421/podzim2016/RJ_75/um/65233205/>.
- [14] *Fonetika (úvodní fonetická část) / Gramatika* [online]. 2016-2023 russky.info
Dostupné z URL:
<<https://russky.info/cs/grammar/phonetics>>.
- [15] *Konsonanty z akustického a auditivního hlediska* [online]. Dostupné z URL:
<https://is.muni.cz/elportal/estud/ff/ps09/fonetika/tisk_2009/ch06s03.html>.
- [16] *Návod k programu praat* [online]. Dostupné z URL:
<https://is.muni.cz/el/1421/podzim2016/RJ_75/um/65233205/>.
- [17] Radim Kalousek *Návrh wavelet analyzátoru pomocí signálového procesoru* DIPLOMOVÁ PRÁCE. LIBEREC: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, 2004.
- [18] *Spectrogram Computation with Signal Processing Toolbox* [online]. Dostupné z URL:
<<https://ch.mathworks.com/help/signal/ug/spectrogram-computation-with-signal-processing-toolbox.html>>.

Zoznam symbolov a skratiek

dB	jednotka intenzity zvuku v decibeloch
Hz	jednotka frekvencie hertz
kHz	jednotka frekvencie kilohertz
ms	jednotka času milisekunda
peak	vrchol
m	jednotka vzdialenosti meter
cm	jednotka vzdialenosti centimetre
L	skratka označujúca ľavú stranu
R	skratka označujúca pravú stranu
H	skratka pre označenie horizontálneho merania rozprávača
V	skratka pre označenie vertikálneho merania rozprávača

A Zoznam príloh

- Mixdown smerová char (.wav súbor)
- Hlásky strih (.wav súbory)
 - b
 - d
 - f
 - g
 - k
 - p
 - s
 - t
 - v
 - z
- matlab
 - max hodnota.mlx
 - spektrogram.mlx
- excel
 - Formantové oblasti F1 F2.xlsx
 - Graf smerovosti.xlsx