

Univerzita Karlova, Filozofická fakulta

Fonetický ústav



# **AUTOREFERÁT (TEZE) DISERTAČNÍ PRÁCE**

v oboru Fonetika

Mgr. Alžběta Houzar

## **Akustické parametry řečového signálu a jejich intraindividuální a interindividuální variabilita v češtině**

Acoustic parameters of the speech signal and their  
intra- and interindividual variability in Czech

Školitel: doc. Mgr. Radek Skarnitzl, Ph.D.

Praha 2023

# Obsah

Úvod.....	3
1 Východiska práce.....	4
2 Základní frekvence .....	5
3 Vokalické formanty .....	8
4 Frekvenční spektrum.....	10
5 Temporální jevy .....	14
6 Souhrnná analýza akustických parametrů řečového signálu.....	16
Seznam použité literatury .....	18
Publikační činnost autorky práce.....	19
Pedagogická činnost autorky práce.....	21

# Úvod

Lidský hlas se vyznačuje značnou rozmanitostí, a to jak napříč mluvčími, tak i v různých projevech jednotlivce. Rozdíly mezi hlasy jedinců (tj. rozdíly interindividuální) lze obecně rozdělit na organické, tedy zapříčiněné fyziologií vokálního traktu, a osvojené, tj. dané např. sociálním či regionálním původem mluvčího a jeho individuálními osvojenými komunikačními strategiemi. Oba tyto základní zdroje interindividuálních rozdílů se prolínají a v různé míře odrážejí v jednotlivých charakteristikách řečového projevu (více viz Nolan, 1999). Variace projevu jednotlivce (tj. intraindividuální) se pak odvíjí např. od jeho momentálního rozpoložení, mluvního stylu či zdravotního stavu.

Zmíněných nuancí v řečovém projevu využíváme v běžných každodenních situacích, kdy od sebe rozpoznáváme jednotlivce podle hlasu či odhadujeme afektivní nastavení komunikačního partnera. V situacích, s jakými se setkáváme v každodenním životě, zpracováváme podobu hlasu pouze pomocí poslechu, a to obvykle aniž bychom vědomě analyzovali jednotlivé aspekty řeči, protože se přirozeně soustředíme primárně na komunikované významy.

K analýze zvuku řeči je však možné přistupovat detailněji, a to jak pomocí poslechu, tak i prostřednictvím instrumentálního měření akustických vlastností řečového signálu. V rámci takového podrobného zkoumání je řeč rozložena na jednotlivé aspekty, které jsou analyzovány odděleně. Tímto způsobem lze do detailu postihnout jak interindividuální, tak intraindividuální variabilitu řeči. Právě možnostem podrobné akustické analýzy řečového signálu a sledování interindividuální i intraindividuální rozmanitosti různých akustických parametrů je věnována předkládaná disertační práce.

# 1 Východiska práce

Tato práce poskytuje ucelený přehled parametrů, jejichž pomocí lze charakterizovat podobu řečového signálu, a shrnuje metodologické postupy při jejich analýze popsané v dostupných studiích. V rámci vlastních experimentů pak představuje analýzu celkem 61 vybraných parametrů příslušejících k různým proměnným, jmenovitě základní frekvenci, vokalickým formantům, frekvenčnímu spektru a temporální rovině řeči, a sleduje jejich intraindividuální a interindividuální variabilitu. Dostupné studie pojednávající o akustické variabilitě řečového signálu se povětšinou zaměřují na úzký okruh parametrů, často z oblasti jediné proměnné, a srovnatelnost jejich výsledků může být problematická vzhledem k jejich odlišnostem v metodologii, užitém řečovém materiálu i interpretaci výsledků. Cílem této práce je souhrnná analýza široké škály akustických parametrů provedená na jednotném řečovém materiálu.

V rámci experimentů jsou využívány nahrávky 30 českých mluvčích mužského pohlaví mezi 19 a 50 lety, kteří byli náhodně vybráni z referenční databáze obecné češtiny pro forenzní účely (Skarntizl & Vaňková, 2017). Databáze obsahuje několik typů mluveného projevu; pro účely této práce byly využity dva z nich: čtený a spontánní. Trvání všech analyzovaných řečových vzorků odpovídá zhruba jedné minutě a každý je opatřen segmentací na jednotlivé hlásky a promluvové úseky.

Dílní experimenty obsahují měření akustických parametrů odvozených od jednotlivých proměnných (viz výše) a zaměřují se na jejich variabilitu mezi mluvčími a v obou typech projevu. Výstupem experimentů je mimo jiné zmapování distribuce hodnot sledovaných parametrů v obou mluvních stylech u dané populace. Závěrečný experiment je pak souhrnnou analýzou všech zkoumaných parametrů a jejich vzájemných vztahů a zaměřuje se také na srovnání dopadu jednotlivých parametrů na celkovou variabilitu řečového signálu pomocí analýzy hlavních komponent.

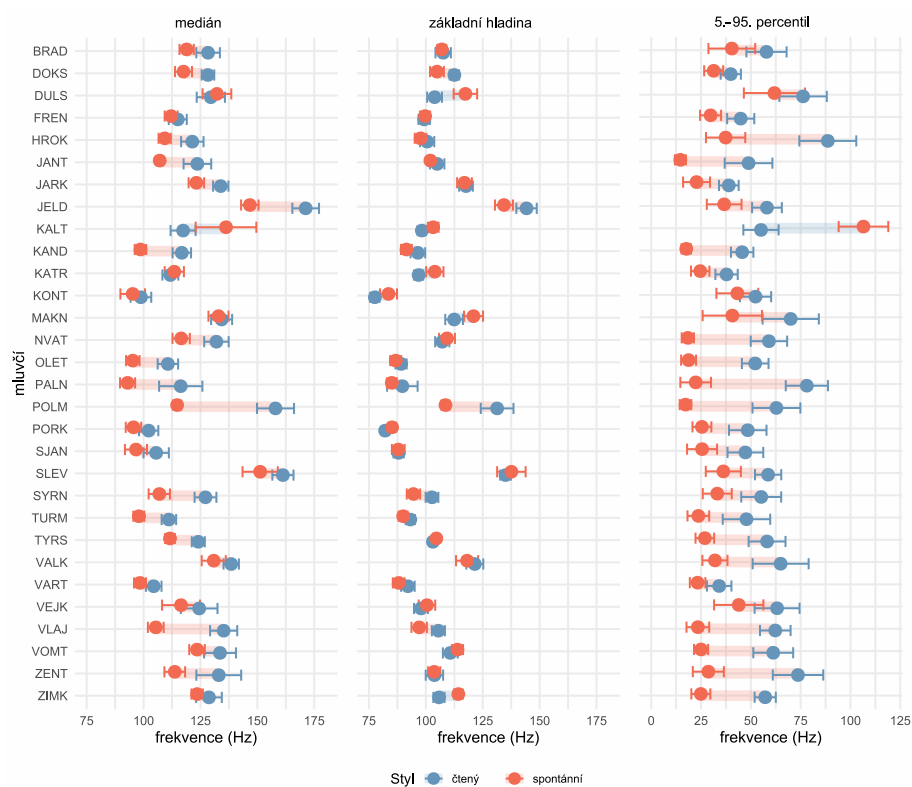
## 2 Základní frekvence

V rámci experimentu 1 byly sledovány průměr, medián a základní hladina  $f_0$  a tři parametry odrážející rozptyl základní frekvence – směrodatná odchylka (SD), rozpětí mezi 5. a 95. percentilem a rozpětí mezi 10. a 90. percentilem. Dále bylo uskutečněno také měření ukazatele variability základní frekvence vyjadřujícího nejen její celkový rozsah, ale také rychlost jejích změn v čase, kterým je index kumulativní strmosti (CSI), jež poprvé popsal Hruška (2016). Ten byl parametrizován prostřednictvím čtyř různých postupů, jež se vzájemně lišily mírou vyhlazení kontury  $f_0$  a způsobem normalizace, která využívala trvání či počet slabik. Každý z parametrů byl vyčíslen pro jednotlivé promluвовé úseky všech nahrávek, aby bylo možné sledovat jejich proměnlivost uvnitř řečových vzorků, a dále byl u každé nahrávky vypočítán průměr získaných hodnot jednotlivých parametrů pro celkové srovnání sledovaných mluvních stylů.

U mediánu a průměru  $f_0$  byly pozorovány podobné vzorce: u obou se projevila intraindividuální variabilita mezi sledovanými mluvními styly, která u řady mluvčích přesahovala variabilitu interindividuální (viz obrázek 2.1). Obecně dosahovaly hodnoty těchto parametrů vyšších hodnot ve čteném projevu. Naproti tomu základní hladina se ukázala jako relativně nejstabilnější pro mluvčího nezávisle na mluvním stylu (viz obrázek 2.1); tyto výsledky korespondují se závěry, ke kterým dospěli např. Lindh a Eriksson (2007) či Skanritzl a Hývlová (2014). Ani při celkovém srovnání hodnot základní hladiny  $f_0$  napříč mluvčími mezi nebyl pozorován signifikantní rozdíl mezi mluvními styly.

Ukazatele variability  $f_0$  odvozené od rozptylu základní frekvence, tedy směrodatná odchylka, rozpětí mezi 10. a 90. percentilem a rozpětí mezi 5. a 95. percentilem, které vzájemně velmi silně korelovaly, se neprojevily jako příliš nosné pro vzájemné odlišování mluvčích, neboť jejich intraindividuální variabilita obecně přesahovala variabilitu interindividuální (viz obrázek 2.1 – pro ilustraci bylo využito rozpětí mezi 5. a 95. percentilem, nicméně vzhledem k velmi silné korelaci

s ostatními parametry by zobrazení ostatních parametrů nebylo výrazně odlišné). Téměř u všech mluvčích byly pozorovány vyšší hodnoty těchto ukazatelů ve čteném projevu ve srovnání s projevem čteným a tento rozdíl se také ukázal jako signifikantní při srovnání průměrných hodnot napříč mluvčími. Při konfrontaci této skutečnosti s výsledky analýzy ukazatelů střední hodnoty základní frekvence lze pozorovat následující trend: v projevech s větším rozptylem základní frekvence se obecně zvyšují také její průměr a medián, avšak základní hladina, která se blíží spíše spodní hranici rozsahu hlasové frekvence, zůstává bez signifikantních změn. Při využívání vyššího rozsahu  $f_0$  se u mluvčích tudíž má tendenci zvyšovat horní hranice jejich rozsahu, zatímco hranice spodní zřetelných změn nedoznává. Tento poznatek koresponduje s předpokladem, který ve své studii zmiňují Lindh a Eriksson (2007).



**Obrázek 2.1.** Medián, základní hladina a rozpětí mezi 5. a 95. percentilem základní frekvence. Body reprezentují průměr hodnot z jednotlivých promluvových úseků, linky znázorňují 95% konfidenční intervaly.

Index kumulativní strmosti měřený všemi čtyřmi způsoby vykázal značně individuální vzorce napříč mluvčími a neprojevil se jako příliš přínosný pro rozlišování jednotlivců. Výsledné hodnoty získané uvedenými dvěma způsoby normalizace velmi silně korelovaly, nicméně zatímco při normalizaci počtem slabik nebyl pozorován znatelný rozdíl mezi sledovanými mluvnými styly, při normalizaci trváním se projevila tendence tohoto ukazatele k dosahování vyšších hodnot ve čteném projevu. Tato diskrepance mezi popsányi způsoby normalizace souvisí s rozdíly v artikulačním tempu; čím vyšší je artikulační tempo, tím je hodnota CSI normalizovaného slabikami (měřeného ve stejném časovém úseku) nižší. Při srovnání průměrných hodnot artikulačního tempa napříč mluvčími se ukázalo, že ačkoli ve čteném projevu jeho hodnoty nebyly na dané hladině významnosti vyhodnoceny jako signifikantně vyšší, určitou tendenci k tomuto rozdílu přesto bylo možné zaznamenat (viz níže). Zatímco při normalizaci CSI trváním se tedy objevují vyšší hodnoty ve čteném projevu, v důsledku popsaného trendu u artikulačního tempa při normalizaci počtem slabik zřejmě dochází k setření těchto rozdílů. Jak je tedy patrné, způsob normalizace má výrazný dopad na výsledné hodnoty CSI a jejich vzájemný poměr mezi řečovými vzorky.

Hodnoty CSI, při jejichž měření byly využity různě vyhlazené kontury základní frekvence, vykázaly vysokou korelaci, ovšem u některých mluvčích bylo při aplikaci těchto dvou postupů možné pozorovat markantní odlišnosti; po korekci kontur základní frekvence u nich byly pozorovány menší rozdíly v CSI ve sledovaných mluvných stylech. Tento výsledek by mohl napovídat, že po odstranění oktávových skoků (tj. po eliminaci vlivu náhodně se vyskytujících odlehlých hodnot) je CSI daného mluvčího méně proměnlivé. Je ovšem na místě upozornit, že při automatických opravách kontur  $f_0$  hrozí, že veškeré chyby se přesto nepodaří eliminovat, zatímco mohou být zanedbány některé její skutečné pohyby, případně že dojde k jejímu celkovému zkreslení. Postupem, jehož výsledkem by byly nejpřesnější hodnoty CSI, je tudíž manuální korekce kontur základní frekvence.

### 3 Vokalické formanty

Experiment 2 byl věnován vokalickým formantům  $F_1$  až  $F_3$ ; sledovány byly jejich dlouhodobé hodnoty nezávislé na kvalitě vokálu ( $LTF_1$ - $LTF_3$ ), krátkodobé hodnoty měřené v prostřední části vokálů odděleně podle kvality vokálu, a dále velikost vokalického prostoru (VSA) vyčíslená na základě průměrných hodnot  $F_1$  a  $F_2$  u jednotlivých vokalických kvalit.

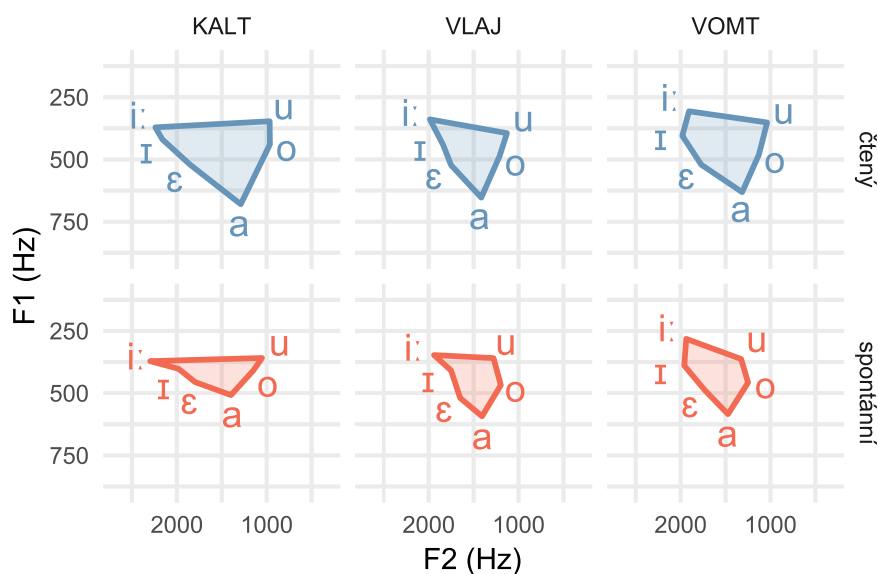
Výsledky experimentu ukazují, že v rámci dlouhodobých formantových ukazatelů byly u části mluvčích pozorovány rozdíly mezi čteným a spontánním projevem, tyto rozdíly však napříč mluvčími nebyly konzistentní. Při celkovém srovnání obou mluvních stylů nezávisle na mluvčím nebyl pozorován významný rozdíl ani v jednom ze sledovaných formantů, což naznačuje, že zřejmě neexistuje všeobecná tendence k horizontálnímu či vertikálnímu posunu artikulace vokálů mezi sledovanými mluvními styly. Přestože se dlouhodobé hodnoty vokalických formantů obecně neukázaly jako zcela stabilní pro jednotlivce nezávisle na mluvním stylu, některé mluvčí by patrně na jejich základě bylo možné odlišit, a to tím spíše, čím výrazněji se odchyľují od populačního standardu.  $F_3$ , který bývá ze sledovaných formantů považován za nejstabilnější v rámci mluvčího (viz např. Skarnitzl et al., 2014), se v tomto směru jeví jako potenciálně nejpřínosnější, a to i v případě jednotlivců, u kterých první dva formanty nevykazují markantní rozdíly – je však na místě upozornit, že ani chování třetího formantu není konzistentní napříč mluvčími, a zatímco u některých zůstává stabilní nezávisle na mluvním stylu, u jiných byly zaznamenány jeho výrazné posuny.

Také u formantů v realizacích jednotlivých vokalických fonémů byly pozorovány individuální tendence napříč mluvčími, u některých z nich ovšem byly zjištěny větší interindividuální rozdíly ve srovnání s rozdíly intraindividuálními, a bylo by patrně možné je na základě těchto ukazatelů rozlišit. Ačkoliv posuny mezi sledovanými mluvními styly byly značně individuální, výsledky měření  $F_1$  a  $F_2$  vypovídají o celkové tendenci k centralizovanější artikulaci vokálů ve spontánním



projevu v porovnání s projevem čteným: ve čteném projevu se obecně vyskytovaly vyšší hodnoty  $F_1$  v otevřených vokálech, druhý formant se pak ve čteném projevu pohyboval ve vyšších hodnotách u předních vokálů a naopak v nižších hodnotách u vokálů zadních, což poukazuje na celkově perifernější artikulaci ve čteném projevu.

Naměřené hodnoty velikosti vokalického prostoru je vzhledem ke způsobu jejího vyčíslení (viz výše) problematické srovnávat mezi jednotlivými řečovými vzorky, neboť nejsou k dispozici konfidenční intervaly, nicméně projevila se u ní zjevná tendence k nabývání vyšších hodnot ve čteném projevu v porovnání s projevem spontánním – tyto závěry korespondují se vzorci  $F_1$  a  $F_2$  v jednotlivých vokalických kvalitách, které nasvědčují celkové inklinaci mluvčích k větší centralizaci vokálů ve spontánním projevu; ilustraci vykreslení VSA poskytuje obrázek 3.1.



**Obrázek 3.1.** Zobrazení velikosti vokalického prostoru na základě průměrných hodnot  $F_1$  a  $F_2$  u vybraných mluvčích.

## 4 Frekvenční spektrum

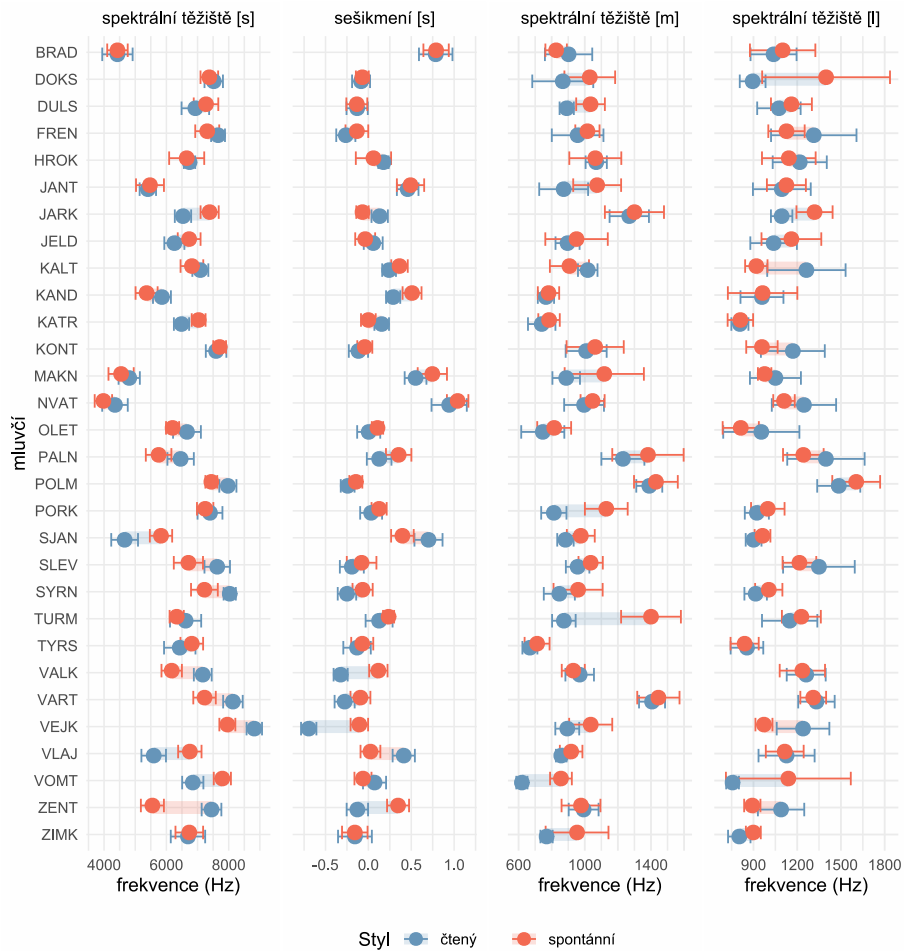
Analýze parametrů postihujících tvar frekvenčního spektra řečového signálu se věnovaly tři experimenty; experiment 3 byl zaměřen na parametry krátkodobého spektrálního sklonu ve vokálních segmentech (jmenovitě  $H1^*-H2^*$ ,  $H2^*-H4^*$ ,  $H1^*-A1^*$ ,  $H1^*-A2^*$ ,  $H1^*-A3^*$ ,  $H4^*-H2kHz^*$  a  $H2kHz^*-H5kHz^*$ ), experiment 4 zkoumal spektrální momenty vybraných konsonantů (konkrétně spektrální těžiště, směrodatnou odchylku, sešikmení a špičatost spektra frikativy [s] a spektrální těžiště a směrodatnou odchylku ve spektru sonorních konsonantů [m n l]) a v rámci experimentu 5 byl sledován dlouhodobý spektrální sklon měřený v dlouhodobém průměrném spektru (LTAS) z celého průběhu řečových vzorků s vyloučením neznělých segmentů (a to prostřednictvím parametrů Bg, BgNoFo, index  $\alpha$  a Hammarberg index).

Výsledky experimentu 3 ukázaly, že hodnoty krátkodobých parametrů spektrálního sklonu zůstávají u řady mluvčích stabilní nezávisle na mluvním stylu a zejména v případě jedinců, kteří se výrazně vzdalují hodnotám standardním pro danou populaci, je lze považovat za vhodné ukazatele pro rozlišování mluvčích. Využitý materiál ovšem obsahoval i nahrávky jednotlivců, u kterých byly pozorovány zřetelné posuny některých sledovaných parametrů mezi mluvními styly, přičemž tyto rozdíly nebyly napříč mluvčími konzistentní – u různých mluvčích docházelo k posunům různých parametrů. Získané hodnoty vybraných ukazatelů ukazuje obrázek 4.1. Při využití krátkodobých parametrů spektrálního sklonu pro charakterizaci mluvčího je tudíž třeba vzít v úvahu případný vliv mluvního stylu, který patrně v případě velké části mluvčích není příliš markantní, avšak nelze jej zcela vyloučit. U žádného ze sledovaných parametrů nebyl zjištěn významný rozdíl mezi čteným a spontánním projevem napříč mluvčími.



**Obrázek 4.1.** Vybrané krátkodobé ukazatele spektrálního ve čteném a spontánním projevu. Body reprezentují průměr hodnot z jednotlivých promluvových úseků, linky znázorňují 95% konfidenční intervaly.

Taktéž krátkodobým frekvenčním spektrem, avšak v tomto případě konsonantických segmentů, se zabýval experiment 4. Jeho výsledky ukázaly, že relativně nejprínosnější informace pro vzájemné rozlišování mluvčích by mohly poskytovat spektrální momenty [s], zejména spektrální těžiště a sešikmení, jejichž hodnoty zůstávaly u většiny mluvčích bez znatelných změn v závislosti na mluvním stylu, přičemž u některých dvojic mluvčích bylo možné pozorovat výrazné rozdíly, jak ilustruje obrázek 4.2. Tyto závěry jsou v souladu se zjištěními Kavanagh (2012), která právě spektrální momenty [s] hodnotí jakožto přínosné pro identifikaci mluvčího v angličtině. Sledovaným spektrálním momentům sonorních konsonantů lze na základě získaných výsledků přisoudit spíše nižší idiosynkratický potenciál, a to i kvůli poměrně širokým konfidenčním intervalům (pro ilustraci viz obrázek 4.2). U spektrálních momentů nazálních konsonantů (na rozdíl od ostatních sledovaných parametrů) byla také pozorována obecná tendence k dosahování vyšších hodnot ve spontánním projevu.



**Obrázek 4.2.** Vybrané spektrální momenty naměřené v konsonantech [s m n l] ve čteném a spontánním projevu. Body reprezentují průměr hodnot z jednotlivých promluvových úseků, linky znázorňují 95% konfidenční intervaly.

Srovnávání jednotlivých řečových vzorků pomocí dlouhodobých ukazatelů spektrálního sklonu, které byly měřeny v rámci experimentu 5, se jeví jako problematické, neboť jejich extrakce vyžaduje poměrně velké množství řečového materiálu – ke stabilizaci dlouhodobého průměrného spektra je podle dostupných studií zapotřebí materiál o trvání v řádu desítek sekund (Sergeant & Welch, 2007). Vzhledem k trvání jednotlivých řečových vzorků byla tedy pro každý z nich získána pouze jedna hodnota daného parametru, a nejsou tudíž k dispozici konfidenční intervaly. Při porovnávání hodnot těchto parametrů naměřených ve čteném a spontánním projevu nebyly zjištěny významné rozdíly. S některými dlouhodobými parametry spektrálního sklonu ovšem vykázaly silnou korelaci určité parametry odrážející spektrální sklon krátkodobý, patrně by tudíž i ty mohly posloužit

při parametrizaci celkového spektrálního sklonu řečového signálu; z jejich menší náročnosti na materiál také vyplývá možnost výběru kvalitativně lépe vyhovujících vzorků (např. vokálů bez obsahu vnějších ruchů), která je v případě LTAS výrazně problematičtější.

## 5 Temporální jevy

V rámci experimentu 6 byly sledovány následující temporální parametry: artikulační tempo (AT), směrodatná odchylka artikulačního tempa (SD AT), %V, %VO,  $\Delta V$ ,  $\Delta C$ , VarcoV a VarcoC.

Artikulační tempo se ukázalo jako parametr poměrně málo variabilní napříč mluvčími, obecně tedy nelze předpokládat, že by mohlo hrát zásadní roli při jejich vzájemném rozlišování. Ve vzorku se ovšem objevili i jednotlivci, jejichž AT se zřetelně odchylovalo od průměrného chování dané populace – v takovýchto případech by tento parametr o individualitě mluvčího vypovídat mohl. Napříč mluvčími byla pozorována určitá tendence k o něco vyššímu artikulačnímu tempu ve čteném projevu, která však nebyla vyhodnocena jako statisticky signifikantní. Její přítomnosti ovšem nepřímo nasvědčují hodnoty indexu kumulativní strmosti základní frekvence, který využívá normalizaci trváním či počtem slabik (viz výše). Tento výsledek také koresponduje se závěry, k nimž dospěl Jessen (2007), výsledky jehož experimentu prokázaly tendenci k vyššímu artikulačnímu tempu ve čteném projevu. Ve srovnání s celkovým artikulačním tempem doznala výraznějších posunů mezi mluvními styly jeho směrodatná odchylka. Jak se ukázalo, mluvčí mají tendenci s artikulačním tempem výrazněji kolísat ve spontánním projevu, zatímco ve čteném projevu jsou hodnoty tohoto ukazatele obecně méně proměnlivé.

U parametrů %V a %VO byl zaznamenán značný překryv hodnot napříč mluvčími, nejedná se tedy zřejmě o ukazatel s příliš vysokým idiosynkratickým potenciálem. Byla pozorována všeobecná tendence k nižším hodnotám %V a naopak vyšším hodnotám %VO ve čteném projevu – byť spolu tedy tyto ukazatele souvisí, projevil se u nich opačný trend. Na tomto místě je ovšem potřeba uvést, že zatímco obsah spontánního projevu závisel na komunikačních strategiích samotných mluvčích, text pro čtený projev byl jednotný a záměrně formulovaný tak,

aby ve větší míře obsahoval segmenty i sekvence segmentů méně frekventované v běžné řeči, jeho podoba tedy mohla ovlivnit uvedené parametry.

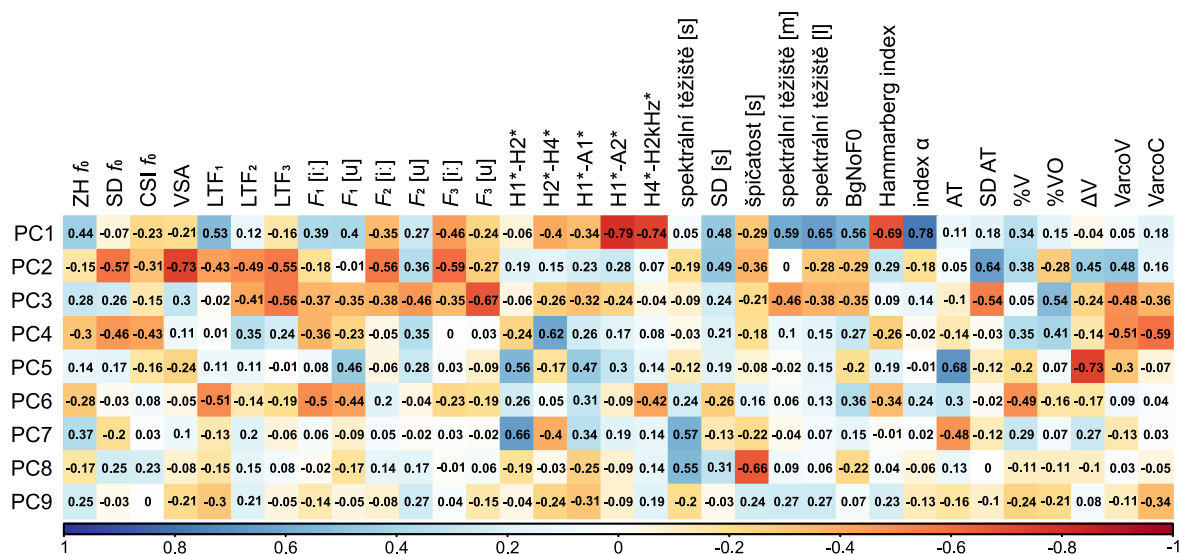
Ani v případě parametrů  $\Delta V$ ,  $\Delta C$ , VarcoV a VarcoC nelze hovořit o výrazné interindividuální variabilitě. Zejména v případě vokálních intervalů byla napříč mluvčími zjištěna určitá tendence k relativně vyšší proměnlivosti trvání ve spontánním projevu.

## 6 Souhrnná analýza akustických parametrů řečového signálu

Experiment 7 byl věnován analýze všech parametrů sledovaných v rámci předchozích experimentů. Pro účely této analýzy byl vytvořen soubor 33 parametrů odvozených od jednotlivých proměnných, který byl sestaven tak, aby neobsahoval parametry velmi silně korelované.

Na základě průměrných hodnot těchto akustických parametrů v jednotlivých nahrávkách byla provedena analýza hlavních komponent a bylo vybráno 9 komponent, které dohromady postihovaly 77,9 % variability dat. Z pozorování míry korelace mezi jednotlivými komponentami a sledovanými akustickými parametry, které ukazuje obrázek 6.1, vyplynulo, že první komponenta (vysvětlující 16,8 % variability dat) koreluje zejména s ukazateli spektrálního sklonu, a to jak krátkodobého, tak dlouhodobého; druhá a třetí komponenta (postihující společně s komponentou první 30,8 %, resp. 42,2 % variability dat) pak korelovaly převážně s parametry odvozenými od vokálních formantů. Je tedy možné říci, že na variabilitu řečového signálu nejvýrazněji dopadají právě parametry spektrálního sklonu a vokálních formantů, naproti tomu temporální parametry, ukazatele základní frekvence či spektrální momenty konsonantů se na této variabilitě podílejí spíše v nižší míře.





Obrázek 6.1. Korelační matice prvních devíti komponent a jednotlivých akustických parametrů.

Porovnání hlavních komponent napříč mluvčími a mluvními styly ukázalo, že určité komponenty se vyznačují výraznější interindividuální variabilitou ve srovnání s variabilitou intraindividuální, zatímco u jiných byly nápadné zejména rozdíly mezi čteným a spontánním projevem. Výsledky experimentu tudíž naznačují, že právě určité hlavní komponenty odvozené od hodnot akustických parametrů řeči by mohly odrážet individualitu mluvčího, zatímco jiné by mohly poukazovat na daný mluvnický styl či další faktory ovlivňující podobu řečového signálu. Do budoucna by tedy mohlo být přínosné provést analýzu hlavních komponent na základě akustických parametrů odvozených od různých proměnných s využitím materiálu obsahujícího více typů projevu (lišících se mluvnickými styly, ale i dalšími faktory, např. podmínkami při nahrávání) od jednotlivých mluvčích a pozorovat možné způsoby jejího využití v této oblasti.

# Seznam použité literatury

- Hruška, R. (2016). *Vlastnosti kontur základní frekvence s ohledem na segmentální složení promluv*. Nepublikovaná bakalářská práce. Fonetický ústav, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy.
- Jessen, M. (2007). Forensic reference data on articulation rate in German. *Science & Justice*, 47(2), 50–67.
- Kavanagh, C. (2012). *New consonantal acoustic parameters for forensic speaker comparison*. Nepublikovaná disertační práce. York: Department of Language and Linguistic Science, University of York.
- Lindh, J. & Eriksson, A. (2007). Robustness of Long Time Measures of Fundamental Frequency. *Proceedings of Interspeech 2007*, 2025–2028.
- Nolan, F. (1999). Speaker Recognition and Forensic Phonetics. In W. J. Hardcastle & J. Laver (Eds.), *The Handbook of Phonetic Sciences*, 744–767. Blackwell Publishers.
- Sergeant, D. & Welch, G. F. (2007). Age-related changes in long-term average spectra of children's voices. *Journal of voice*, 22(6), 658–670.
- Skarnitzl, R. & Hývlová, D. (2014). Statistický popis hodnot základní frekvence. In R. Skarnitzl (Ed.), *Fonetická identifikace mluvího*, 49–64. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta.
- Skarnitzl, R., Lazárková, D., Nechanský, T. & Šturm, P. (2014). Vokalické formanty. In R. Skarnitzl (Ed.), *Fonetická identifikace mluvího*, 21–48. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta.
- Skarnitzl, R. & Vaňková, J. (2017). Fundamental frequency statistics for male speakers of Common Czech. *AUC Philologica*, 2017(3), 7–17.

# Publikační činnost autorky práce

Nechanský, T., Houzar, A., Bořil, T. & Skarnitzl, R. (v recenzním řízení). Controlled voice quality modifications: acoustic, perceptual and ASR analysis. *International Journal of Speech, Language and the Law*.

Houzar, A., Nechanský, T. & Skarnitzl, R. (v tisku). The effect of targeted voice manipulations on long-term acoustic characteristics. *Proceedings of the 20th ICPhS*.

Houzar, A. (2022). 29. konference Mezinárodní asociace pro forenzní fonetiku a akustiku (IAFPA). *Naše řeč*, 105, 162–165.

Houzar, A.; Nechanský, T. & Skarnitzl, R. (2022). Impact of vocal tract resonance modifications on LTF and fo. In: *Proceedings of IAFPA 2022*.

Houzar, A., & Skarnitzl, R. (2022). Intra- and inter-speaker variability of vowel space using three different formant extraction methods. *Acta Universitatis Carolinae – Philologica*, 1/2022, 83–95.

Nechanský, T.; Houzar, A. & Skarnitzl, R. (2022). The effect of free voice-disguise methods on ASR performance. In: *Proceedings of IAFPA 2022*.

Nechanský, T., Bořil, T., Houzar, A., & Skarnitzl, R. (2022). The impact of mismatched recordings on an automatic-speaker-recognition system and human listeners. *Acta Universitatis Carolinae – Philologica*, 1/2022, 11–22.

Nechanský, T.; Bořil, T.; Růžičková<sup>1</sup>, A.; Skarnitzl, R. & Skořepa, V. (2021). The effect of language and temporal mismatch on LTF and ASR analyses. *29th Annual Conference of the International Association for Forensic Phonetics and Acoustics*, Marburg, Germany.

Milička, J. & Růžičková, A. (2020). Phonological properties as predictors of text success. In: Adam Pawłowski, Sheila Embleton, Jan Macutek and George Mikros (eds.): *Language and Text: Data, Models, Information, Applications*. John Benjamins.

Růžičková, A.; Asiaee, M; Nourbakhsh, M. & Skarnitzl, R. (2019). Tweaking the settings: testing the performance of iVocalise on Czech and Persian. *28th Annual Conference of the International Association for Forensic Phonetics and Acoustics*, Istanbul, Turkey.

Milička, J. & Růžičková, A. (2018). Demand and Supply in the Communication Process: The Case of Lexical Richness and Phonological Features. *QUALICO 2018*, Wrocław, Poland.

Milička, J. & Růžičková, A. (2018). Slovak Vowel Phonotactics: Slavic Origins vs. Hungarian Influences. *SlaviCorp 2018*, Prague, Czech Republic.

---

<sup>1</sup> Rodné příjmení autorky

Průchová, T.; Růžičková, A. & Skarnitzl, R. (2018). Description of voices by naïve listeners: Does guided instruction help? *27th Annual Conference of the International Association for Forensic Phonetics and Acoustics*, Huddersfield, UK.

Růžičková, A. & Skarnitzl, R. (2017). Voice disguise strategies in Czech male speakers. *Acta Universitatis Carolinae – Philologica 3, Phonetica Pragensia XIV*, 19–34.

Skarnitzl, R. & Růžičková, A. (2017). The malleability of speech production: An examination of sophisticated voice disguise. *26th Annual Conference of the International Association for Forensic Phonetics and Acoustics*, Split, Croatia.

# Pedagogická činnost autorky práce

2/2022–současnost	Osvojování řeči I Fonetický ústav, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy
2/2022–současnost	Osvojování řeči II Fonetický ústav, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy
10/2021–současnost	Transkripce Fonetický ústav, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy
10/2020–2/2022	Korektivní výslovnost češtiny pro cizince Ústav bohemistických studií, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy
2/2020–2/2022	Kultura mluveného projevu Ústav českého jazyka a teorie komunikace, Filozofická fakulta Univerzity Karlovy