

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra radioelektroniky



# *Objektivní a psychoakustické aspekty hodnocení lidského hlasu*

**Disertační práce**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Akustika

**Vypracoval:** RNDr. Marek Frič

**Školitel:** Prof. Ing. Václav Syrový, CSc.

**Školitel specialista:** Ing. Zdeněk Otčenášek, Ph.D.

Praha, srpen, 2013

## **Poděkování**

Především děkuji svým rodičům a přátelům za podporu a toleranci při dokončování této práce.

Děkuji svému školiteli prof. Ing. Václavovi Syrovému, CSc. a školiteli specialistovi Ing. Zdeňkovi Otčenáškov, Ph.D. za jejich laskavé vedení, podporu a odborné konzultace.

Protože práce navazuje na zkušenosti a přímo využívá klinické nahrávky pacientů, které jsem nabyl v Medical Healthcom, s.r.o. při řešení projektu EUREKA E! 2614 „NewVoice“, chci se poděkovat doc. MUDr. Františkovi Šramovi, CSc. za jeho vedení a obdivuhodnou mezioborovou spolupráci.

Osobitní poděkování patří MUDr. Martinovi Kučerovi za náměty a motivaci při aplikaci výsledků výzkumu do foniatické praxe a také do vzdělávacího procesu hlasových terapeutů.

V neposlední řadě chci poděkovat kolegyním – hlasovým pedagožkám a terapeutkám Mgr. Kláře Jačkové, Mgr. Regině Szymikové a MgA. Evě Dvořákové za spolupráci při vědecké práci a za jejich cenné připomínky při interpretaci některých výsledků z hlediska pedagogické praxe.

Díčí výsledky práce vznikly za podpory projektu 1M0531 „Výzkumné centrum hudební akustiky“, Institucionálního rozvojového programu AMU a projektů Fondu rozvoje CESNET: 384/2010, 423/2011, 465R1/2012.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci vypracoval samostatně s odborným vedením svého školitele prof. Ing. Václava Syrového, CSc. a školitele specialisty Ing. Zdeňka Otčenáška, Ph.D..

Prohlašuji, že v předložené práci jsem důsledně citoval použitou literaturu.

Praha dne .....

.....

podpis

# Obsah

Přehled použitých symbolů a zkratk.....	3
1 Úvodní část.....	5
1.1 Cíl disertace.....	5
1.2 Struktura práce.....	5
2 Hlas z pohledu psychoakustiky.....	7
2.1 Hlas a jeho tvorba.....	7
2.2 Poslechové vyhodnocování zvuků.....	8
3 Subjektivní hodnocení hlasových signálů.....	10
3.1 Barva hlasu.....	10
3.2 Psychoakustické metody hodnocení hlasu.....	11
3.3 Použití psychoakustických metod ve vokologickém výzkumu.....	13
4 Popis vlastností hlasu.....	18
4.1 Vlastnosti a hodnocení patologického hlasu.....	18
4.1.1 Základní parametry patologického hlasu.....	18
4.1.2 Vedlejší parametry hlasové patologie.....	19
4.1.3 Doplnkové vlastnosti hlasových projevů.....	21
4.1.4 Neakustické parametry hlasu.....	21
4.2 Postupy používané při popisu profesionálního hlasu.....	21
4.2.1 Popis vlastností pěveckého hlasu a projevu.....	22
4.2.2 Vlastnosti profesionálního mluvního hlasu a projevu.....	23
5 Objektivně měřené parametry hlasu.....	24
5.1 Hlasové pole (phonetogram, voice range profile, VRP).....	24
5.1.1 Parametrizace výšky hlasu.....	25
5.1.2 Parametrizace intenzity hlasu.....	27
5.1.3 Parametrizace tvaru hlasového pole.....	28
5.2 Ostatní objektivní parametry hlasu.....	30
5.2.1 Parametry hlasivkového zdroje.....	30
5.2.2 Spektrální parametry.....	33
5.2.3 Perturbační parametry.....	37
5.3 Vztah měřených parametrů ke změně výšky a intenzity hlasu.....	38
6 Přehled experimentálních poznatků o hlasových rejstřících a rezonanci hlasu.....	41
6.1 Hlasové rejstříky.....	41
6.2 Charakterizace vibračních mechanismů, rejstříků a jejich přechodů.....	42
6.2.1 M0 mechanismus (pulsní rejstřík, vocal fry):.....	42
6.2.2 M1 mechanismus (modální, hrudní, mužský hlavový, full head).....	44
6.2.3 M2 mechanismus (falzet, ženský hlavový rejstřík):.....	46
6.2.4 M3 mechanismus (whistle, flageolet):.....	47
6.2.5 Sumarizace přechodů mechanismů a percepčních rejstříků.....	48
6.3 Rezonance hlasu.....	48
6.3.1 Efekt ladění formantů ve vokologii.....	50
7 Metodika experimentální části.....	52
7.1 Charakterizace nahrávek, stimulů a poslechových testů.....	52
7.1.1 Patologický hlas.....	52
7.1.2 Efekt hlasového tréninku.....	53
7.2 Akustická měření.....	55
7.2.1 Měření hlasového pole a jeho editace.....	55
7.2.2 Parametrizace segmentů akustického a EGG signálu.....	56
7.3 Vyhodnocování výsledků.....	57



8	Výsledky.....	60
8.1	Patologický hlas mužů .....	60
8.1.1	Poslechové hodnocení patologického hlasu .....	60
8.1.2	Vztah parametrů hlasových polí s patologickými vlastnostmi hlasu .....	62
8.1.3	Vztah akustických parametrů s patologickými vlastnostmi hlasu.....	66
8.2	Efekt pěveckého tréninku u žen .....	72
8.2.1	Poslechové hodnocení hlasu.....	72
8.2.2	Porovnání parametrů hlasových polí a vztah se subjektivním hodnocením ....	74
8.2.3	Porovnání měřených parametrů a jejich rozložení v hlasovém poli .....	81
8.2.4	Vztah měřených a percepčních parametrů .....	92
9	Diskuze výsledků .....	98
9.1	Poslechové testy .....	98
9.2	Měření hlasového pole ve vztahu s vlastnostmi hlasu .....	99
9.3	Objektivní měření ve vztahu s vlastnostmi hlasu.....	102
10	Závěry experimentální části .....	108
10.1	Patologie hlasu .....	108
10.2	Efekt pěveckého tréninku.....	110
11	Závěrečná část .....	113
11.1	Výsledky a přínosy disertační práce.....	113
11.2	Náměty pro další výzkum .....	114
	Práce disertanta .....	116
	Použitá literatura .....	118
	Přílohy .....	129

## Přehled použitých symbolů a zkratek

**A1, A2...** – amplituda zesílení formantů

**APQ** – amplitudový perturbační koeficient

**AQ** – amplitudový koeficient

**Aku** – akustická měření (většinou spektrální)

**B1, B2...** – šířka pásma formantů

**Buffalo III** hodnotící protokol dle (Webb et al., 2004)

**CAPE-V** – hodnotící protokol dle (ASHA 3rd Division, 2002; Kempster et al., 2009)

**CP-1** – hladina prvního spektrálního koeficientu

**COG** – těžiště akustického spektra (center of gravity)

**CQ** – koeficient uzavření hlasivek

**CQEGG** – CQ odvozený z elektroglotografie – nazývaný taky kontaktní koeficient

**CT** – m. cricothyroideus

**d´dur** – durová tónina ve výšce jednočárkovaného d

**DEGG** – první derivace elektroglotografického signálu

**DR** – dynamický rozsah hlasu

**DSI** – parametr Dysphonia severity index

**EGG** – elektroglotografie

**ELS** – hodnotící protokol dle European Laryngological Society (Dejonckere et al., 2001)

**ER** – parametr Energy ratio

***ff, mf, pp*** – fortissimo (velmi hlasitě), mezzoforte (středně hlasitě), pianissimo (velmi tiše)

**fis´dur** – durová tónina ve výšce jednočárkovaného fis

**F0** – základní frekvence kmitání

**F1, F2...** – frekvenční poloha formantů

**F1:H2, R1:2F0** – ladění prvního formantu (rezonance vokálního traktu) s polohou druhé harmonické složky

**FSH** – frekvenční poloha maxima pásma pěveckého formantu (2-4 kHz)

**GF** – činitel zesílení (gain factor)

**Glottal flow** – funkce popisující změnu akustického tlaku v oblasti glottis.

**GRBAS** – Hiranovy škály hodnocení poruchy hlasu, Grade – celkový stupeň poškození hlasu, Roughness – chraplavost, Breathiness – dyšnost, Asthenicity – hlasová slabost, Strain – hlasové napětí. (Hirano, 1981)

**H1** – hladina první harmonické složky

**H2, H3...** – hladina druhé a vyšší harmonické složky, při efektu ladění formantů jejich frekvenční poloha

**H1-H2, dHa1Ha2** – rozdíl hladin první a druhé harmonické složky zdrojového spektra a akustického spektra

**HNR** – poměr energie harmonických složek a šumu

**HSI, HSV** – vysokorychlostní snímání hlasivek (high speed imaging, videolaryngoscopy)

**ICC** – interclass correlation

**IVF** – inverzní filtrace

**Jita, Jitt** – absolutní a relativní Jitter

**LFSH** – maximální hladina pásma pěveckého formantu (2-4 kHz)  
**M0, M1, M2, M3** – vibrační mechanizmy (rejstříky) kmitání hlasivek  
**MDS** – statistická metoda multidimenzionálního škálování  
**MDVP** – software analýzy hlasu Multidimensional voice program (KayPENTAX, 2008)  
**MFDR** – maximal flow declination ratio – největší záporný vrchol první derivace glottal flow (proudění vzduchu přes glottis)  
**MPT** – maximální fonační čas  
**OQ** – koeficient otevření hlasivek  
**PPMH** – protokol pro hodnocení profesionálního mluvního hlasu (Bele, 2005)  
**Psubgl.** – subglotický tlak  
**QCS** – kontaktní rychlostní koeficient (contact speed quotient)  
**R1, R2** – frekvenční poloha rezonancí vokálního traktu  
**RBH** – hodnocení vlastností Roughness, Breathiness, Hoarseness (Ptok et al., 2006)  
**SATB** – hlasová kategorizace operního zpěvu soprán, alt, tenor, bas  
**SB** – poměr rozložení energie ve spektru (spectral balance)  
**ShdB, Shim** – absolutní a relativní Shimmer  
**SPL** – hladina akustického tlaku  
**SPR** – parametr Singing power ratio  
**SRP** – hlasové pole mluvních úkolů (speech range profile)  
**Strobo** – stroboskopie  
**SQ** – rychlostní koeficient (speed quotient)  
**T, t** – perioda cyklu, čas  
**TA** – m. thyroarytenoideus  
**THItilt** – sklon třetino-oktávového spektra  
**TR, FR** – tónový (frekvenční) rozsah hlasu  
**U<sub>p-t-p</sub>** – mezivrcholová amplituda  
**UEP** – hodnocení dle Unie evropských foniatrů (UEP, 1978)  
**VA** – vizuálně analogové škály  
**VARR** – (visual analog ranking and rating) seřazovací a škálovací test  
**VHI** – Voice Handicap Index (Index hlasového poškození), protokol hodnocení subjektivního vnímání kvality života a hlasové potíže  
**VKG** – videokymografie  
**VPAS** – hodnocení dle Vocal profile analysis scheme (Laver, 1991)  
**VPSS** – hodnocení dle Voice skills perceptual profile (Shewell, 2009)  
**VRP** – celkové (zpěvní) hlasové pole (voice range profile)  
**VRP area** – plocha hlasového pole  
**VTI** – Voice turbulence index  
**ZHP** – základní poloha habituálního hlasu – poloha průměrné výšky a průměrné naměřené SPL u habituálního hlasu

# 1 Úvodní část

## 1.1 Cíl disertace

Lidský hlas je neoddělitelnou součástí akustické formy mezilidské komunikace (hlas – řeč – sluch), proto je popis jeho vlastností předmětem zkoumání široké škály oborů a vědeckých disciplín od pedagogických, terapeutických, přes medicínu, psychologii až po akustiku a zpracování signálu. Specifické pohledy uvedených oborů jsou příčinou velké variability popisu a způsobů hodnocení hlasu, na druhé straně jsou častou příčinou nejednotnosti vysvětlování hlasových procesů.

Jako reakce na tento stav vznikla nová vědní disciplína **vokologie** (vocology) zkoumající lidský hlas ve směru schopnosti zlepšení možností jeho využití, která sdružuje odborníky z různých vědních oblastí. Vokologie se zaměřuje také na problémy týkající se vlastností řeči a její patologie, defektů vokálního traktu a hlasivek (laryngologie), které řeší pomocí řečové terapie a hlasového tréninku, hlasové pedagogiky mluveného slova i zpěvu.

Protože lidské hlasové projevy jsou z fyzikálního hlediska akustickými signály, které sluchový systém posluchače zpracovává na subjektivní sluchové vjemy, je vhodné pro jejich hodnocení používat metody psychoakustického výzkumu. **Psychoakustika** je obor akustiky, který zkoumá působení zvukových dějů v psychické oblasti, studuje všechny psychologické interakce mezi lidmi a světem zvuků (Melka, 2005).

Cílem této studie je hledání vztahů mezi objektivními, fyzikálně-akustickými parametry hlasu a percepčním hodnocením hlasu v závislosti na typu hlasové problematiky:

- A) Jaká akustická měření nejlépe popisují patologické problémy hlasu se zohledněním základních percepčních parametrů patologie hlasu?
- B) Jaké jsou zásadní rozdíly v hlasu mezi pěvecky trénovanými a netrénovanými ženami?
  - a. Jaké jsou percepční, akustické a funkční rozdíly?
  - b. Jaké jsou vztahy mezi percepčními vlastnostmi pěvecky trénovaného hlasu a objektivními parametry měření hlasu?

## 1.2 Struktura práce

V úvodní části jsou shrnuty cíle a struktura předkládané práce.

Ve druhé části tato práce sumarizuje základní principy tvorby hlasu z psychoakustického hlediska a základní jevy vyhodnocování vlastností zvuků hlasu.

Třetí kapitola se soustřeďuje na zásadní metody psychoakustiky ve výzkumu hlasu a sumarizuje základní poznatky při využití těchto metod.

Čtvrtá kapitola na základě přehledu dostupné literatury shrnuje percepční vlastnosti popisu patologického hlasu a hlasu hlasových profesionálů.

V páté kapitole o objektivních metodách měření vlastností hlasu se práce soustřeďuje zejména na poznatky a interpretace vyšetření hlasového pole coby základní akustické metody vyšetření hlasu. Dále sumarizuje ostatní parametry hlasu měřené objektivními metodami analýzy hlasu a jejich vzájemné souvislosti a také souvislosti vzhledem k percepčním vlastnostem a zkoumané problematice ve vokologických oblastech.

Šestá kapitola sumarizuje poznatky experimentálních studií o hlasových rejstřících a rezonanci hlasu. Tato část také dokumentuje široký záběr a různorodost přístupů sledovaných problémů. Psychoakustický přístup naznačuje možné řešení popisovaných nejednotností.

Sedmá kapitola obsahuje experimentální část předkládané práce. Metodická část kromě popisu experimentů uvádí novou metodu porovnání a hledání vztahů měřených parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli. Samotné experimenty se zaměřují na dvě problematiky:

- 1) hodnocení patologického hlasu u mužů,
- 2) popis efektu pěveckého hlasového tréninku u žen.

V závěrečné části jsou stručně shrnuty výsledky práce a je naznačen možný další směr výzkumu hlasu.

## 2 Hlas z pohledu psychoakustiky

### 2.1 Hlas a jeho tvorba

Většina definic hlasu (Laver, 1991; Marasek, 1997; Novák, 1996; Sundberg, 1987) se opírá o model dvoustupňové tvorby hlasu. Za primární považuje proces generace zvuku kmitáním hlasivek (fonace), ve druhém stupni je tento „hrtanový tón“ dále upraven vokálním traktem do výsledného akustického signálu – hlasu. Uvedené hledisko dobře definuje fyziologickou tvorbu hlasu, ale z obecnějšího pohledu je vhodnější definovat hlas jako zvuk vydávaný člověkem při „pokusu“ o znělou fonaci (Kučera et al., 2010).

Do pojmu hlas tak lze zahrnout i zvuky, které nejsou nevyhnutelně tvořeny na podkladu kmitání (obou) hlasivek. Pak můžeme mluvit o hlasu i u patologických stavů, jako jsou velmi těžké zjizvení hlasivek, porucha hybnosti hlasivek, ale i náhradní fonační mechanismy (ventrikulární hlas, jícnový hlas), které by nebylo možné považovat za hlas podle definice v užším slova smyslu. Za fonaci se pak může považovat mechanismus tvorby prvotního zvukového signálu na úrovni hrtanu při snaze o znělé hlásky. V užším smyslu je to kmitáním hlasivek, všeobecněji je to proces generace hrtanového zvuku – budícího signálu pro vokální trakt. Fonace tak může nabývat spojité hodnoty od nejméně znělých (resp. nezvučných) zvuků (Marasek, 1997) – tvořených zejména turbulentním prouděním vzduchu na úžinách projevujících se šumem (ekvivalent neznělé fonace) až po plně znělou (zvučnou) fonaci při oboustranném kmitání hlasivek projevující se pulsním/tónovým charakterem zvuku.

Výše uvedená definice i plně vyhovuje akustické definici tvorby hlasu. Asi nejznámější je Fantův model „**zdroje a filtru**“ (source filter theory) (Fant, 1960). Model odlišuje dvě nezávislé části: **zdrojem** primárního zvuku (oscilátorem) je v ideálním případě kmitání hlasivek (proces fonace), **filtrem** je vokální trakt (soustava rezonančních prostor, ovládaná artikulátory), respektive všechny dutiny, které svým působením ovlivňují výsledný zvuk hlasu (proces filtrace a rezonance).

Ať už je akceptována jakákoliv definice hlasu, výsledkem je zvuk, který je následně vyhodnocován sluchem. Proto je vhodné pro hledání vztahů mezi procesy hlasové tvorby a výslednými sluchovými vjemy použít postupů psychoakustiky. Dle schématu akustické typologie lze v procesu generace zvuků a jejich vnímání rozlišit **prostor zdrojů** (zvuku), samotný **prostor zvuků** a výsledný **prostor vjemů** (Otčenášek, 2008).

**Zdrojem zvuku** z psychoakustického hlediska jsou všechny části lidského těla podílející se na tvorbě výsledného zvuku hlasu. Pokud uplatníme na lidské tělo při procesu tvorby hlasu systematiku používanou u hudebních nástrojů, lze z organologického hlediska (Srový, 2008) (nauka o hudebních nástrojích) zdroj hlasového zvuku rozdělit do následujících částí:

- excitátor – budící mechanismus pro tvorbu hlasu (proudění *vzduchu* z plic);
- oscilátor – element, který kmitá (*hlasivky*, které produkují primární (hrtanový) signál);
- rezonátor – filtr a zesilovač, který zdůrazňuje nebo potlačuje konkrétní spektrální oblasti (*vokální trakt*, který se podílí na transformaci primárního signálu do výsledného hlasu).

Fantův model předpokládá nezávislé fungování kmitání hlasivek na nastavení vokálního traktu, ale pozdější teorie a experimenty ukázaly jejich vzájemné nelineární působení, například při vysvětlení tvorby rezonovaného hlasu (Titze, 2001), nebo náhlých rejstříkových přeskoků (Švec, 2002).

Z psychoakustického hlediska při popisu hlasu jakožto zdroje zvuku je nutno zvažovat všechny, zejména fyziologické parametry subjektu popisující jak způsob kmitání hlasivek, nastavení vokálního traktu, tak charakterizaci dechu a otevření úst. Významným způsobem

ovlivňují hlas i psychologické (a osobnostní) aspekty subjektu, který hlas tvoří (například nálada, způsob hlasové trénovanosti a jiné).

Charakterizace **prostoru zvuků** (u hlasu výsledného zvuku hlasu) se opírá o metody akustické analýzy. Hlasové (řečové) signály jsou v zásadě výrazně časově nestabilní (podstata členění řeči na hlásky). Následkem je, že i sluchové vjemy na podkladě řeči jsou výrazně ovlivněny segmentací. Pro zjednodušení se ve vokologii a při výzkumu barvy hlasu často pracuje s quasi-stacionárními zvuky, které jsou u hlasu nejčastěji prezentované prodlouženými samohláskami (vokály). Tyto časově stabilnější segmenty pak lze prezentovat na základě spektrální analýzy jakožto základní akustické metody popisu zvuků. Zvuky hlasu pak v akustickém spektru obsahují složky periodické (tónového charakteru), vzniklé zejména na podkladě kmitání hlasivek, resp. periodické změny tlaku vzduchu nad hlasivkami. Periodické zvuky jsou spektrálně rozložitelné do sady harmonických frekvenčních složek. Naopak, složky neperiodické (šum) vznikají při turbulentním proudění vzduchu na výrazně zúžených místech – tedy jak na nedovřených hlasívkách, tak na jiných zúženích ve vokálním traktu, což představuje podstatu tvoření většiny souhlásek. Obě složky pak vytvářejí spektrální (frekvenční) obraz. Obálku takového obrazu (spektra) lze charakterizovat zvýrazněnými spektrálními oblastmi – formanty, které odpovídají „rezonancím“ jednotlivých dutin (resp. jejich skupin) ve vokálním traktu (Psutka et al., 2006). Podrobný přehled akustických metod a jejich parametrů je uvedený v částech o hlasovém poli a objektivně měřených parametrech.

**Prostor vjemů** je nejméně komplikovanou částí virtuálního schématu akustické typologie, protože vystihuje interakci posluchače – subjektu se zvukem. V oblasti vjemů je konečný význam (interpretace) rozpoznávaných symbolů (vlastností a znaků) zvuků výrazně ovlivněn velkým množstvím přidružených faktorů. Nejvíce se projevují vlastnosti posluchače, jako například jeho zkušenosti nebo stav sluchu, ale výsledný vjem je nepochybně ovlivněn i kontextem událostí. Pro charakterizaci oblasti prostoru vjemů se používají specifické postupy psychoakustiky – nejčastěji řízené poslechové testy.

## 2.2 Poslechové vyhodnocování zvuků

Převod zvukového signálu na percepční vjem zabezpečuje sluchový aparát od vnějšího ucha, přes střední a vnitřní ucho, přes sluchovou dráhu, až po výsledné vyhodnocení mozkovou kůrou. Popis procesů vyhodnocování zvuků na této úrovni je výrazně komplikovaný, uplatňují se v něm nelineární procesy a jeho rozbor se pohybuje nad rámcem této práce. Procesem zpracování zvuku ve sluchovém aparátu se zabývá fyziologie, fyziologická akustika a neurofyziologie sluchu.

K základním psychofyzikálním aspektům vnímání zvuků patří sluchové pole (tedy oblasti frekvencí a hladin akustického tlaku slyšitelné člověkem) a procesy jako maskování a kritická pásma.

**Maskování (masking)** je jev, kdy jednotlivé harmonické složky ovlivňují vjem ostatních částí spektra ve svém okolí. Maskovací děje na bazilární membráně znemožňují analyzovat jiné složky spektra, které spadají pod tzv. maskovací křivku dané harmonické složky. Čím je hladina maskující harmonické složky větší, tím širší okolí ve svém okolí maskuje. Výsledkem je, že harmonické složky s vyšší akustickou hladinou mohou maskovat jiné složky (nebo všeobecně spektrální komponenty) v okolí, pokud jsou jejich hladiny pod maskovací křivkou (např. dle (Sundberg, 1994)).

**Kritická pásma slyšení (critical bands of hearing)** představují pomocné dělení bazilární membrány na části, ze kterých jsou akustické děje vyhodnocovány společně. Pokud jednotlivá harmonická složka spadá do jednoho kritického pásma (a její hladina se nachází nad úrovní maskovacích křivek spektrálních složek v okolí), je vyhodnocována samostatně. Pokud však

spadá do jednoho pásma více harmonických (dominujících spektrálních oblastí), jsou vyhodnocovány společně. Společný vliv vícero harmonických (s podobnou amplitudou) na jedno pásmo je odlišný než vyhodnocování jedné harmonické samostatně. Skupina harmonických v jednom kritickém pásmu vytváří na bazilární membráně děje, které jsou vyhodnoceny jako specifický „bzučivý“ (buzzing), respektive drsný (harsh) zvuk (Cook et al., 1999).

Uvedené procesy dobře vysvětlují chování bazilární membrány při jednoduchých zvucích (čisté tóny) a případnou interakci s bílým šumem. Vyhodnocování komplexních zvuků je ale podstatně komplikovanější (podrobněji viz (Bureš, 2007).

Další percepční zpracování zvuku do výsledného vjemu je ovlivněno několika důležitými faktory (Henrich et al., 2008). Jako primární se uplatňuje kategorická percepce, kde výsledné hodnocení závisí na primární identifikaci a kategorizaci sledovaného objektu. Až následně nastává analytické hodnocení. Převedeno do oblasti hlasu – různé kategorie hlasových zvuků (např. řečové vs. zpěvní) jsou popisovány a vyhodnocovány odlišně. Další faktor uvádí, že hodnocení je vysoce závislé na předešlých zkušenostech hodnotitele – tzv. individuální percepce. Poslední faktor popisuje, že žádné hodnocení zvuků není absolutní, vždy vyžaduje porovnání – buď s vnitřním modelem posluchače, nebo porovnání vícero zvuků vzájemně – diferenciální percepce. Následkem tohoto faktoru je zejména jev kontextuálního vyhodnocování, tedy že hodnocení je výrazně ovlivněno předchozími událostmi.



### 3 Subjektivní hodnocení hlasových signálů

U řečových signálů hraje významnou roli i charakter – nestabilita signálů projevující se segmentací. Pokud odhlédneme od rozpoznání souslednosti hlásek a dešifrování lexikálního významu, lze se zaměřit na vlastnosti buď stabilnějších segmentů, nebo vlastnosti nad samotnými segmenty. Ve zvukově relativně stabilních segmentech (např. vokálech) rozpoznáme základní subjektivní vlastnosti zvuků – výšku, hlasitost, délku a nakonec barvu. **Výška** zvuku je u lidského hlasu coby zdroje zvuku dána zejména frekvencí kmitání hlasivek. Ve zvuku se projevuje jako základní frekvence  $F_0$  uváděna v Hz. **Intenzita** zvuku (subjektivním vjemem je hlasitost) souvisí s hladinou akustického tlaku (SPL[dB]), ale i spektrálním složením zvuku. Na zdrojové úrovni je hlasitost ovlivněna hlavně subglotickým tlakem (Sjolander et al., 2004), který závisí na míře addukce (dovření) hlasivek, dobou uzavření hlasivek (Henrich et al., 2005), amplitudou kmitů hlasivek a zejména rychlostí jejich uzavírání (Holmberg et al., 1988; Sundberg et al., 2005). Následně se na výsledné hlasitosti uplatňuje vokální trakt zesílením jednotlivých formantových oblastí a nakonec je otevřením úst celkově ovlivněna míra energie vyzářená do prostředí (radiation). **Barva** zvuku je z akustického hlediska dána zejména spektrálním složením (Bloothoof et al., 1988). Hlasoví pedagogové tvrdí, že barva je dána počtem harmonických složek, ale z akustického hlediska je důležitější jejich vzájemný poměr a při hodnocení celkové „kvality“ zvuku i poměr k neharmonickým složkám (šumu). Každopádně na výsledné barvě zvuku hlasu se společně podílí jak způsob kmitání hlasivek, tak modulace tohoto kmitání ve vokálním traktu.

Vlastnosti zvuku nad skupinami segmentů se nazývají suprasegmentální a obsahují detekci změny výšky – melodii, změny hlasitosti – dynamiku, s časovou délkou segmentů souvisí tempo – rytmus. Uvedené vlastnosti jsou společně také označovány jako prozodické vlastnosti. Samotná změna barvy jednotlivých segmentů prozatím nemá pojmenování, ale je zásadní pro detekci jednotlivých segmentů a z hlediska produkce řeči souvisí nejenom s artikulací jednotlivých hlásek, ale také se změnou fonačního nastavení hlasivek, a tedy celkovou změnou produkce hlasu.

Z jiného pohledu na schéma akustické typologie s ohledem na tvorbu hlasu, můžeme propojit prostor zdrojů s **příčinami** vzniku hlasu, tedy zejména s fyziologickými aspekty jedince, který hlas vytváří, ale také se všemi ostatními psychickými a kontextuálními vlastnostmi. Výsledkem je konkrétní **zvuk** a jeho parametrizace stále zůstává problémem akustiky. Vjemy můžeme sloučit i s obecnými **pocity** a **dojmy** posluchače, které u něho daný zvuk vyvolá. Ty jsou ale ovlivněny jeho fyzickým a psychickým stavem, předešlými zkušenostmi (trénovaností v hodnocení zvuků) a samozřejmě kontextem událostí. Z komplexnosti tvorby hlasových signálů vyplývá, že jejich vjemové hodnocení by se mělo zabývat i rozlišením vjemů na úrovni segmentů a následně na úrovni suprasegmentální.

#### 3.1 Barva hlasu

Barva hlasu patří do poslední částí schématu klasifikace zvuků – do prostoru vjemů. **Akustika** definuje barvu zvuku (týká se stacionárních zvuků) jako vlastnost, na jejímž základě je možné odlišit dva zvuky se stejnou výškou, hlasitostí a délkou (Srový, 2008). Jinými slovy je to doplňková vlastnost k výšce, hlasitosti a časové délce. Proti akustické definici stojí „obecné“ **vnímání barvy zvuku**, resp. definice používané v hlasové pedagogice. Obecně se za barvu zvuku nějakého zdroje, např. hudebního nástroje nebo hlasu konkrétního jedince, považuje ta vlastnost, která je podobná (společná) pro skupinu tónů různé výšky, resp. nějakého tónového a dynamického rozsahu (Erickson, 2003). Tato definice

je však velmi podobná definici hlasových rejstříků – jakožto skupiny tónů se stejnou barvou odlišitelné od jiné skupiny tónů – jiného rejstříku (Thurman et al., 2004).

Uvedené definice barvy působí rozporuplně, protože jedna se dívá na rozdíly a druhá sumarizuje společné vlastnosti. Z vědeckého hlediska jsou však doplňkovými.

Akustická definice vlastně říká, že barva zvuku představuje jenom souhrnné pojmenování pro celou řadu poslechově detekovatelných (odlišitelných) vlastností při porovnávání zvuků. Obecná definice pak může pracovat s konkrétní percepční vlastností a sledovat, jak se mění při různých tónech. Dle uvedené definice, používané zejména v hlasové pedagogice, se ukazuje, že sledování specifických změn v barvě jednotlivých stabilnějších segmentů hraje významnou roli při hodnocení vlastností hlasu. S uvedenou koncepcí souhlasí teorie, jež se zakládá na experimentech hodnocení rozpoznání původce hlasu (porovnání s odlišným a stejným subjektem) při různé výšce hlasu (Erickson, 2009; Erickson, 2012; Erickson et al., 2001), kde postupnou změnu barvy zvuku označuje jako „*timbre transformation*“. Studie dokumentují, že schopnost posluchače takovou transformaci rozpoznat závisí na jeho zkušenosti a předkládaném vzoru (čím více stimulů je předloženo jako vzor, tím větší je pravděpodobnost pro správné vytvoření transformačního modelu).

### 3.2 Psychoakustické metody hodnocení hlasu

Percepční hodnocení hlasu a řeči se specificky vyjímá v oblasti poslechového hodnocení zvuků. Řeč je součástí 2. signální soustavy, kterou se člověk odlišuje od ostatních živočichů. Řeč je podkladem pro abstraktní myšlení a obecně lze říci, že v percepci člověka a jeho myšlení dominuje percepce na základě vnímání zvuků řeči. Tím pádem se každý (slyšící) člověk automaticky stává výrazně trénovanějším při rozpoznávání a hodnocení zvuků řeči než jakýchkoliv jiných zvuků. Primárně se tedy poslech řečových projevů zaměřuje na rozpoznání lexikálních informací, prozodických – suprasegmentálních, ale také paralingvistických, jakožto symbolů a znaků řeči a k nim přiřazených kontextuálních významů. Psychoakustický výzkum hlasu toto rozpoznávání rozšiřuje a soustřeďuje se i na specifické vlastnosti zvukových signálů, které je svou podstatou vyčleňuje z kontextuálních návazností řečových signálů.

#### Obecné cíle poslechových testů

Cílem poslechového hodnocení zvuků je získání subjektivních soudů (odpovědí) skupiny hodnotitelů v řízeném experimentu v souvislosti s poslechem zvukových stimulů. Výsledkem je souhrn dat popisující sledovanou vlastnost, respektive souhrn odpovědí skupiny posluchačů hodnotících definovaný úkol. Formulace úlohy (výběr metody, stimulů, případně specifikace skupin hodnotitelů) předem definují možnosti další interpretace a zpracování výsledků. Proto samotná příprava experimentu, formulace hypotéz a zvolení adekvátních metod je jeho nedílnou a významnou součástí. Přehled standardních psychoakustických metod, popis a doporučované způsoby použití, jakož i metody následného zpracování výsledků je možné najít např. v (Melka, 2005; Otčenášek, 2008).

Z pohledu **schématu akustické typologie** je psychoakustický výzkum zaměřen na hledání vztahů mezi jeho jednotlivými složkami – prostory zdrojů zvuků, akustickou parametrizací samotných zvuků a samotnými vjemy.

Na základě definice psychoakustického experimentu je taky možné hledat vztahy mezi percepčními vlastnostmi a vlastnostmi zdroje zvuku (v případě hlasu jsou to vlastnosti subjektu, který hlas tvoří). Poslechové hodnocení zvuků slouží ve výzkumu zejména pro hodnocení vlastností stimulů – zvuků, ale správné definování experimentu – stanovení způsobu předkládání stimulů, sestavení skupiny hodnotitelů a způsob vyhodnocení výsledků, může přinést i informace o hodnotících subjektech. Kombinace metod poslechového hodnocení taky dokáže vyhodnotit vliv jednotlivých metod na hodnocení.

V následující části budou uvedeny metody psychoakustických testů se zaměřením na výzkum hlasu.

### **Posuzování podnětů na subjektivních posuzovacích škálách (rating scale procedure)**

Tato metoda je pravděpodobně nejpoužívanější nejenom ve vokologickém výzkumu. Tento typ má charakter absolutního hodnocení, tedy posuzovatel vždy hodnotí jenom jeden podnět a jeho rozhodnutí závisí na jeho schopnosti posoudit podnět vzhledem k vlastnímu mentálnímu modelu. Proto je tato metoda relativně méně časově náročná, ale o to více se projevují chyby v čase a prostoru. V praxi se používá kategorické třídění nebo hodnocení na numerických a grafických škálách. **Kategorické hodnocení** se používá pro zařazení stimulů do většího počtu nezávislých kategorií (např. muž, žena, dítě), u numerických a grafických škál se hodnotí míra konkrétní vlastnosti (např. dyšnost). Použité škály mohou být **bipolární**, kdy na úsečce existuje tzv. neutrální bod a její konce jsou pojmenovány navzájem se vylučujícími slovními atributy (např.: „maximálně tmavý“ vs. „maximálně světlý“), nebo jsou osy **unipolární**. To znamená, že použitá osa hodnotí jenom jeden atribut s minimem na jednom konci a maximem na druhém. Ve vokologii se hodnocení pomocí „visual analog“ (VA) škál většinou provádí na 10 cm dlouhé úsečce, kde bývají označeny (pojmenovány) některé (většinou krajní) body, nebo také jsou úsečky rozčleněny na kategorické intervaly (mírně, středně, těžko).

### **Přímé hodnocení velikosti (direct magnitude estimation)**

Metoda je založená na číselném hodnocení velikosti sledované vlastnosti u stimulu. Podmínkou bývá číselné ohodnocení tak, aby byl zachován poměr magnitud jednotlivých stimulů i magnitud percipovaných vjemů. Použité např. v (Shrivastav et al., 2011).

### **Párové srovnávání podnětů (method of pair comparison)**

Na základě této metody se získávají od posluchačů jejich soudy hodnocením nabízeného páru podnětů. Páry jsou předkládány postupně jako kombinace každého stimulu s každým, proto je její nevýhodou časová náročnost (většinou nutno ohodnotit  $n \cdot (n - 1) / 2$  párů). Na druhé straně na rozdíl od hodnocení na škálách není nutný pro jeho provedení „absolutní“ vnitřní model hodnotícího, protože hodnocení vychází z porovnání dvou stimulů. Při hodnocení na základě nucené volby hodnotitel určuje, který z dvojice stimulů má vyšší míru sledované vlastnosti. Na základě takto vytvořené preferenční matice je následně možno určit pořadí podnětů, kde však za určitých okolností hrozí tvorba kruhových trojic. Tato metoda z technického a teoretického hlediska patří k nejpropracovanějším. (Více viz (Melka, 2005)).

Ve výzkumu se uvedená metoda používá mimo jiné i jako prostředek zjištění podobnosti, resp. nepodobnosti, kdy nepodobnost představuje percepční vzdálenost stimulů v páru. Pomocí statistického vyhodnocení metodou multidimenzionálního škálování (MDS) je pak možné stanovit vztahy mezi vlastnostmi stimulů a určit nezávislé dimenze percepčního prostoru. Následně je možné takto získané prostory interpretovat pomocí vnoření subjektivních nebo objektivních parametrů.

Obměnou metody párového porovnávání vznikly další psychoakustické metody jako seřazování, triadické porovnání a porovnání vícero párů stimulů.

### **Seřazování podnětů do pořadí (ranking method)**

Podstatou metody je seřazování podnětů do pořadí podle nějakého kritéria (vyšetřované vlastnosti). Metoda se svým způsobem podobá metodě párového srovnávání, protože posluchač rozhoduje o pořadí podnětu na základě porovnání konkrétního podnětu vzhledem k ostatním. Zásadní rozdíl je, že podněty jsou předkládány všechny současně, posluchač si libovolně volí pořadí přehrávaných podnětů, a proto v konečném důsledku nemusí hodnotit

všechny dvojice. Další výhodou je získání celistvého pořadí podnětů bez tzv. kruhových trojic, jak je tomu možno v případě použití párového srovnávání.

Ve vokologii uvedenou metodu uvedla studie (Granqvist, 2003) pod názvem „Visual sort and rate“, kde ukázala vyšší reliabilitu hodnocení naproti vizuálně analogovým škálám. Uvedená studie popisuje postup, kdy nejdříve proběhne kategorizace zvuků na ose Y na základě podobnosti zvuků a následně na ose X dle hodnocení velikosti pozorované vlastnosti.

### **Triadické porovnávání a párové porovnávání párů stimulů**

Metoda je rozšířením metody párového porovnání, kde je rozhodováno o míře ne/podobnosti mezi dvěma skupinami stimulů (porovnání dvou dvojic stimulu v trojici nebo dvou nezávislých dvojic).

### **Nastavování podnětů (method of adjustment)**

Při měření touto metodou jsou pokusné osobě předkládány vždy dva podněty: **standardní** a **variabilní**. U druhého zmiňovaného může hodnotící měřený parametr postupně měnit. Úkolem hodnotícího je nastavit velikost sledovaného parametru, dokud nejsou standardní i variabilní podněty percepčně ekvivalentní (nejvíce si podobné) v sledované vlastnosti. Vokologické studie založené na této metodě vyžadují relativně kvalitní hlasové syntetizátory se schopností vytvářet percepčně přirozené hlasové signály.

### **Metoda konstantních podnětů (method of constant stimuli/method of constant stimulus differences)**

Touto metodou se hlavně zjišťují percepční **prahy jednotlivých parametrů** (vlastností) podnětů, a to buď **absolutní**, nebo **relativní**. Posluchači jsou předkládány podněty s různými hodnotami sledovaného parametru a subjekt rozhoduje, jestli danou vlastnost pozoruje, nebo ne. Tato metoda se používá hlavně v audiometrii v případě měření absolutního prahu podnětu, například na měření prahu slyšení. V případě měření rozdílových (relativních) prahů na měření prahu rozlišení (difference limen) nebo označované jako nejmenší sledované rozdíly (just noticeable differences) použité např. v (Henrich et al., 2003).

## **3.3 Použití psychoakustických metod ve vokologickém výzkumu**

### **Slovní popis vlastností hlasu**

Popis vlastností zvuků vyžaduje výběr vhodných slovních atributů pro jejich výstižné vyjádření. Podkladem pro výběr takových slov je vytvoření slovníků popisu vlastností zvuků a následně výběr nejvýznamnějších a nejlépe popisujících skupinu zvuků. Samotné slovníky se nejdříve vytřídí podle četnosti použití daných atributů při popisu zvuků. Pro rozdělení vybraných atributů do jednotlivých kategorií se použijí metody statistické analýzy (faktorová analýza, principal components, hierarchical clustering). Pro vyhodnocení společných strategií použití jednotlivých atributů se používá metoda sémantického diferenciálu, kterou se hledají základní dimenze popisu zvuku.

V českém jazyce byl takovým způsobem provedený výzkum popisu hudebních zvuků, kde bylo na základě zpracování 120 dotazníků sesbíráno 1964 slovních atributů (jejich přehled viz (Štěpánek et al., 2005). Při vyhodnocení pětadvaceti nejčastěji používaných slov pomocí sémantického diferenciálu byly zjištěny tři základní dimenze popisující barvu hudebních zvuků jako 1) **temný, tmavý – jasný, světlý**; 2) **drsňý, hrubý – jemný**; 3) **plný, široký – úzký** (Štěpánek et al., 2004). Dále tato práce zjistila, že hudební odborníci popisují pomocí atributů první dimenze barvu zvuku, druhá dimenze se vztahuje jak ke kvalitě hry, tak k uměleckému provedení. Třetí popisuje barvu i kvalitu hry na hudební nástroj. Tato práce přináší také poznatek, že atribut ostrý netvoří samostatnou nezávislou dimenzí, ale leží v rovině 1. a 2. výše popsané dimenze v kvadrantu drsňý a jasný.

## Kategorizace

Kategorické hodnocení se používá v případě vyhodnocování distinktivně rozlišitelných druhů vlastností, ve vokologii bylo použito při hodnocení typu poruchy hlasu (např.: normální, dyšný a chraplavý (Sofranko et al., 2012)) nebo při hodnocení typu vokálů (Assmann et al., 2008; Fahey et al., 1996) a samozřejmě při vyhodnocování vnímaného pohlaví a věku (muž, žena, chlapec, dívka) (Smith et al., 2007).

Jiné studie v daných oblastech však vzhledem k možnosti jemnějšího třídění, a tím přesnějšího vyhodnocení senzitivity, používaly hodnocení na škálách, např. při hodnocení pohlaví (Perry et al., 2001). Studie (Mullennix et al., 1995) tímto způsobem ukázala, že hodnocení pohlaví (na syntetizovaných vokálech) není kategorické.

## Použití hodnocení na škálách

Na základě zpracování výsledků hodnocení v 17 odlišných bipolárních škálách byly faktorovou analýzou nalezeny čtyři základní faktory hodnocení patologického hlasu (Isshiki et al., 1970). V návaznosti na tuto práci vznikl doposud nejpoužívanější způsob hodnocení patologického hlasu pomocí **GRBAS škál** (Hirano, 1981), každá vlastnost se hodnotí na čtyřbodové numerické stupnici (0 – bez poruchy, 1 – mírná, 2 – střední a 3 – těžká porucha).

Dalšími typy hodnocení patologického hlasu pomocí numerických škál jsou **Buffalo Voice Profile** (Webb et al., 2004) hodnotící spíše nevhodné používání hlasu, nebo **Vocal Profile Analysis Scheme** (Laver, 1991; Shewell, 1998) sledující fonační, ale také artikulační a jiné poruchy při tvorbě hlasu. V poslední době se zkoumá vliv dopadu hlasových poruch na kvalitu života, např. „**Voice Handicap Index**“ (VHI) (Švec et al., 2009), který využívá samohodnocení svých hlasových obtíží u pacientů pomocí pětistupňových numerických škál ve 30 otázkách. Pro hodnocení dopadu poruchy hlasu u hlasových profesionálů vznikl „**Classical singing handicap index (CSHI)**“ (Avila et al., 2010).

Novější formy hodnocení hlasu využívají vizuálně-analogové škály. Pro hodnocení patologie byl konsenzuálně přijat tzv. **CAPE-V protokol** (Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice) (ASHA 3rd Division, 2002; Kempster et al., 2009). Pro účely hodnocení nepatologického hlasu byly publikovány protokoly pro hodnocení mluvního projevu u profesionálních mluvčích (Bele, 2005), nebo protokoly pro hodnocení klasického zpěvu (Oates, J. M. et al., 2006; Wapnick, J. et al., 1997).

Na podkladě hledání strategií společného vyhodnocování vícero vlastností je možné pomocí faktorové analýzy a jiných statistických metod rozčlenit percepční vjemy do základních kategorií, resp. faktorů.

Studie (Bele, 2005) pro mluvní hlas zdravé a profesionální skupiny mužů ukázala odlišné faktory uplatňující se při hodnocení habituálního a hlasitého mluvního hlasu. Zásadní rozdíl byl v tom, že normální hlasitost separátně vyčlenila faktor *nepravidelností* (irregularity), u hlasitého hlasu byl separátní faktor *zvonivé barvy* (ringing voice quality). Oba typy hlasu měly podobné faktory hodnocení *variability* a *zvučnosti* (variability and sonority), *šumu* (degrese of noise) a *fonačního úsilí* (phonatory effort).

U hodnocení klasického zpěvu (Wapnick et al., 1997) ve 12 škálách ukázala faktorová analýza jako zásadní tři faktory: *vnitřní kvalitu* (obsahující barvu/teplo, vibrato, rezonanci, dynamický rozsah a intenzitu), *provedení* (shrnující hodnocení flexibility, vyrovnanosti rejstříků, volnosti, dechu, intonaci a legáta) a *dikci* (coby samostatný faktor). Studie ale taky ukázala nejednoznačné hodnocení expertů. Ti, kteří primárně hodnotili provedení, byli významně reliabilnější než experti kladoucí primární důraz na vnitřní kvalitu.

Studie (Ekholm et al., 1998) rozlišuje čtyři základní percepční kritéria hodnocení kvality operního pěveckého hlasu: *appropriate vibrato* (přiměřené vibrato),

*color/warmth* (barva/teplo), *resonance/ring* (rezonance/zvonivá kvalita), *clarity/focus* (srozumitelnost/soustředění).

Častým cílem psychoakustických studií je objektivizace percepce, tedy hledání objektivních měření pro popis konkrétních percepčních vlastností. Podrobný přehled popsanych vztahů mezi měřenými parametry a vlastnostmi hlasu je uvedený v části o objektivně měřených parametrech.

Hodnocení škál se často používá k určení a porovnání reliability různých typů hodnocení. Při hodnocení GRBAS škál se coby nejvíce reliabilní potvrdilo hodnocení celkového stupně poruchy, naopak za nejméně reliabilní je považováno napětí (Webb et al., 2004). Hodnocení A a S škál se ukázalo i jako výrazně národnostně podmíněno (Yamaguchi et al., 2003). Na základě porovnání různých protokolů hodnocení patologického hlasu (Webb et al., 2004) se ze tří protokolů projevilo jako nejvíce reliabilní hodnocení GRBAS protokolu. Porovnání ordinální (numerické) a VA škály při hodnocení celkové poruchy hlasu ukázalo, že ordinální škály nejlépe popisují normální a těžce poškozený hlas, mírná a střední dysfonie jsou méně reliabilní. Použití VA škál také ukázalo lepší korelaci s objektivními parametry (Yu et al., 2002). Porovnání GRBAS, CAPE-V a samohodnocení kvality hlasu pacientů ve spojitosti s kvalitou života (Karnell et al., 2007) potvrdilo robustnost hodnocení poruchy hlasu nezávisle na protokolu, ale VA škály CAPE-V protokolu se ukázaly citlivější na jemné rozdíly kvality hlasu. Samohodnocení kvality hlasu pacientem ale nesouhlasilo s hodnocením odborníky, což bylo v práci interpretováno jako různost pohledu na poruchu hlasu subjektem a objektem. Při porovnání hodnocení patologického hlasu v klinické praxi vs. laboratorní hodnocení CAPE-V protokolem (Solomon, N. P. et al., 2011) se ukázal významný vliv ostatních informací o pacientovi (anamnéza), který se projevoval zvýrazněním hodnocení poruchy hlasu při klinickém vyšetření vyšetřujícím u středně a výrazně postižených hlasů.

Porovnání hodnocení různých skupin hodnotitelů dokáže odhalit rozdíly mezi hodnotiteli. Kategorické hodnocení hlasů na normální, dyšný a chraplavý (Sofranko, J. L. et al., 2012) ukázalo robustní shodu mezi klinickými terapeuti, střední shodu u pěveckých pedagogů a slabou shodu u netrénovaných osob. Při hodnocení zpěvného projevu (Erickson, 2008) byli netrénovaní hodnotitelé nejvíce ovlivněni výškou hodnoceného tónu, u zkušených hodnotitelů se uplatňovaly i ostatní dimenze. Jinými slovy ti zkušenější hodnotili v zásadě na základě vícera vlastností, kdežto nezkušení klasifikovali zejména rozdíly ve výšce hlasu.

### **Párové porovnávání**

Ve vokologii byly párovým porovnáváním hodnoceny základní dimenze nepatologických hlasů (Murry et al., 1980), kde vyšly rozdílné percepční prostory pro mužské a ženské hlasy a odlišné pro hodnocení vokálů a řečových segmentů. Dimenze byly interpretovány jak na základě akustických parametrů, zejména výšky hlasu a poloh prvních dvou formantů, tak na základě percepčních hodnocení chrapotu, dyšnosti, nazaloty a míry úsilí.

Při hodnocení patologických hlasů (Murry et al., 1977) byly nezávislé dimenze interpretovány aperiodicitou, typem léze, dyšností a výškou hlasu. Další studie patologického hlasu (Kreiman et al., 1994) na základě párového porovnávání rozdílů vokálu „a“ při konverzační výšce a intenzitě hlasu ukázala, že hodnocení chraplavosti bylo významně ovlivňováno stupněm dyšnosti, ale ne opačně. Rozsáhlejší studie (Kreiman et al., 1993) však odhalila výraznou nejednoznačnost hodnocení patologického hlasu, danou zejména citlivostí hodnotitelů na jednotlivé složky kvality hlasu. Jenom první dimenze percepčního prostoru byla interpretovatelná coby celkový stupeň poškození hlasu. Pro zlepšení validity percepčního hodnocení studie doporučila použít přístupy analýzy pomocí syntézy, tedy pro samostatné hodnocení jednotlivých patologických vlastností použít syntetizované stimuly s definovanými hodnotami sledovaných parametrů.

Ve studii (Shrivastav, 2003) byl MDS percepční prostor na základě párového porovnávání rozdílů vokálů „a“ v dyšnosti konfrontován s výsledky modelu sluchu na základě parciální hlasitosti signálu a při zohlednění specifických hlasitostí maskovacího šumu (modelujícího aspiračního šumu). Výsledky ukázaly 2D MDS prostor, první dimenze korelovala s dyšností (na základě pětibodového hodnocení GRBS) a korelovala jenom s parametrem popisujícím rozdíl hladin základní frekvence a prvního formantu (H1-A1). Postupná regrese ukázala ale jenom jediný parametr korelující s dyšností – parciální hlasitost signálu. Rozdíly mezi skupinami mírně, středně a těžko dyšnými hlasy byly spektrálně interpretovány pomocí nárůstu hlasitosti pásma základní frekvence a snižování hlasitosti středního a vyššího pásma (9-24 ERB) s dyšností. U středně dyšných hlasů výrazně klesala parciální hlasitost harmonických složek signálu nad 24. ERBem (2800 Hz) na rozdíl od mírně dyšných. U těžko dyšných hlasů byla redukována parciální hlasitost harmonických složek v celém rozsahu a celkově zvýšena hlasitost aspiračního šumu, ve vyšších pásmech byly harmonické složky úplně maskovány aspiračním šumem.

MDS model vzájemného párového porovnání podobnosti stimulů (na desetibodové škále) zpěvu vokálů „a“ v různých výškách ukázalo schopnost rozlišení hlasové kategorie mezi zkušenými i nezkušenými hodnotiteli – jak u mužských (Erickson, 2008), tak u ženských hlasů (Erickson, 2003). V obou případech narůstalo hodnocení příslušnosti všech hlasů k vyšším hlasovým kategoriím (tenor, soprán) s narůstající výškou. Jinými slovy jak barytonové, tak mezzosopránové hlasy zpívající vyšší tóny působily více tenorově, resp. sopránově. Samotné zjištěné dimenze v uvedených studiích ale dokázaly kromě výšky rozlišit hlasy v dalších dimenzích percepčního prostoru na základě jejich hlasové kategorizace. Korelace uvedených dimenzí s měřenými akustickými parametry ukázala jako zásadní prediktor hlasové kategorizace těžiště spektra v pásmu 2-5 kHz u žen a těžiště spektra v pásmu 2-8 kHz u mužů, jakož i významný podíl na rozlišení hlasů pomocí způsobu a rozsahu použitého vibrata – zejména zkušenými hodnotiteli.

Ve vokologii byla kombinace metod párového porovnání párů stimulů pro určení percepčního prostoru zpěvu vokálů použita společně s preferenčním hodnocením na sémantických škálách (seřazování stimulů) (Bloothoof et al., 1988). Výsledky studie ukázaly, že hodnocení rozdílů barvy vokálů bylo predikovatelné na základě rozdílnosti 1/3 oktávových spekter a že nebyl zjištěný rozdíl v hodnocení podobnosti vokálů mezi pěvecky nezkušenými hodnotiteli a trénovanými zpěváky. Seřazování na sémantických škálách však ukázalo významné rozdíly mezi pěvecky trénovanou a netrénovanou skupinou, netrénovaní obecně hodnotili všechny škály podobně, tedy uvažovali vesměs jednodimenzionálně, v této studii na základě ostrosti.

Předběžná studie autora (Frič et al., 2011) na zpěvu lidové písně ukázala, že dominující vlastnost techniky zpěvu u mužů byla tmavost, vzájemně výrazně odlišovala skupiny profesionálních operních pěvců, profesionálních herců a začínajících studentů herectví. Dále se ukázalo, že percepční prostor nezpěváků byl tvořen dimenzemi tmavost, šířka a drsnost.

### **Nastavování podnětů**

Při nastavování výšky u syntetických podnětů s různou velikostí amplitudové a frekvenční modulace generující různé úrovně subharmonických složek se ukázala výrazně vyšší shoda a přesnost určení výšky u muzikální skupiny (hudebníků) než u nehudebníků. Podobně bylo více konzistentní jejich hodnocení drsnosti (škálování na desetistupňové stupnici), ale obecně s vyšší mírou drsnosti než u nemuzikální skupiny. Drsnost narůstala s klesající výškou tónů. (Bergan et al., 2001)

Studie (Kreiman et al., 2005) sledovala nezávislé nastavování různých typů periodických a amplitudových perturbací (jitter, shimmer) a poměru signálu a šumu. Výsledky prokázaly neschopnost percepčně vzájemně odlišit nastavení jitteru a shimmeru při celkovém hodnocení

kvality hlasu, naopak při hodnocení celkové aperiodicity se posluchači výrazně shodli při nastavování poměru šumu k signálu.

Studie (Patel et al., 2012) porovnávala výsledky hodnocení chraplavosti pomocí pětibodového škálování, s hodnocením pomocí nastavování různé úrovně u různých druhů amplitudové modulace signálu. Výsledky ukázaly významnou shodu mezi metodami, potvrdily vliv amplitudové modulace na vjem chraplavosti (roughness), ale taky vliv různého typu amplitudové modulace.

Metoda nastavování byla použita pro hodnocení schopnosti posluchače odlišit různé rozdíly hladin první a druhé harmonické zdrojového spektra. Studie (Kreiman et al., 2010) ukázala, že rodilí mluvčí tónového jazyka (mandarínská čínština) byli významně citlivější na měřený parametr než mluvčí netónového jazyka (angličtiny).

### **Ostatní poslechové metody a kombinace poslechových testů**

Studie (Henrich et al., 2003) zjišťovala odlišnosti trénované a netréované skupiny posluchačů ve schopnosti odlišit stimuly (just noticeable difference) u uměle měněných hodnot parametrů koeficient otevření hlasivek (OQ) a koeficient asymetrie hlasivkového pulzu. Oba parametry ukázaly, že jejich kritická odlišitelná hodnota (difference limen) narůstá s jejich celkovou hodnotou. Posluchači byli citliví na malé změny OQ u nízkých hodnot, hlavně pokud byly tvořeny bez vibrata a amplituda kmitu byla konstantní. Byl pozorován malý rozdíl v závislosti na trénovanosti posluchačů, netréovaní rozlišovali rozdíly kolem 14 %, trénovaní již kolem 10%.

Pro hodnocení percepční podstaty odlišení hlasových rejstříků byly ve studii (Keidar et al., 1987) použity čtyři odlišné metody. Pro hodnocení přechodů rejstříku metoda přímého určení změny rejstříku ve vzestupné a sestupné řadě tónů, druhý způsob byl pomocí přímého hodnocení typu rejstříku u tónů, ale v náhodném pořadí. Další typ hodnocení rejstříků byl založen na hodnocení podobnosti/nepodobnosti rejstříku u randomizovaného pořadí párů sousedních tónů. Poslední typ testování byl založen na párovém porovnání rozdílů (všech možných párů stimulů) na desetistupňové škále.

Pro hodnocení dyšnosti byly ve studii (Patel et al., 2010) porovnány výsledky hodnocení pomocí tří metod škálovacího hodnocení, přímého hodnocení velikosti (direkt magnitude estimation) a nastavování podnětů (matching task) poměru signálu pilovitého signálu a šumu. Výsledky ukázaly, že nastavování a přímé hodnocení měly podobné výsledky, zatímco obě metody se lišily od škálovací metody. Výsledek tím ukazuje, že nastavování podnětů je metoda hodnotící spíše poměry úrovní stimulů, a proto je vhodná pro výzkum s možností porovnávání výsledků různých studií.



## 4 Popis vlastností hlasu

### 4.1 Vlastnosti a hodnocení patologického hlasu

Následující kapitola sumarizuje parametry vhodné pro hodnocení patologického hlasu vybrané tak, aby popisovaly jeho odlišné vlastnosti.

Parametry vycházejí ze zveřejněných protokolů hodnocení patologického hlasu **UEP** (UEP, 1978), **GRBAS** (Hirano, 1981), **RBH** (Ptok et al., 2006), **ELS** (Dejonckere et al., 2001), **CAPE-V** (ASHA 3rd Division, 2002; Kempster et al., 2009), **Buffalo III** (Webb et al., 2004), **VPAS** (Laver, 1991) a **VPSS** (Shewell, 2009), dále z protokolu pro profesionální mluvní hlas (**PPMH**) (Bele, 2005) a na základě předešlé práce autora (Frič, 2004) byly sumarizovány popisované vlastnosti, resp. parametry při hodnocení patologického hlasu do protokolu „Hodnocení patologického hlasu“ publikovaného v (Frič et al., 2010), schematický přehled viz [příloha A](#).

Výčet parametrů je zde seřazen dle četnosti jejich použití v citovaných protokolech. Souběžně jsou uvedeny ekvivalenty používané v anglické literatuře (vhodnost českého překladu by bylo potřeba ještě diskutovat s širší odbornou veřejností). Parametr je vysvětlen z psychoakustického hlediska, tzn. jaký vjem vyvolává a jaké jsou jeho případné fyziologické příčiny. U některých parametrů jsou připojeny rozšiřující poznámky, které popisují jiné vlastnosti nebo termíny spojované s hodnoceným parametrem (např. jednotlivé typy).

#### 4.1.1 Základní parametry patologického hlasu

Na základě shody většiny uvedených protokolů je možno separátně vyčlenit 3 základní parametry, které by neměly nikdy chybět při popisu patologického hlasu:

1) **Celkový stupeň poruchy hlasu** – používáno označení: *Grade* (G) (použito v: GRBAS, CAPE-V), také *Hoarseness* (RHB), *Severity of hoarseness* (ELS), *Whole voice ratings* (VSPP), *Pathology of voice* nebo také *Overall voice quality* (PPMH).

Dle doporučení ELS by žádný z následujících parametrů poruchy hlasu neměl převyšovat hodnocení celkové poruchy hlasu.

2) **Hlasová drsnost - chraplavost** – používáno označení: *Roughness* (R) (GRBAS, RBH, CAPE-V, PPMH) nebo také jako *Harshness* (ELS) – stupeň chraptivosti (chraptotu) nebo poruchy periodicity hlasu.

**Parametr „R“** reprezentuje psychoakustický vjem nepravidelností vibrací hlasivek (glottis). Odpovídá nepravidelným fluktuacím v základní frekvenci anebo amplitudě kmitání hlasivek jako zdroje zvuku (Titze, 1994). Fyziologické nálezy spojené s vjemem chraplavosti obsahují měkké a oteklé hlasivky anebo asymetrii hmoty a napětí hlasivek. Dle ELS sem také patří tyto vjemy: abnormální fluktuace základní frekvence, separátně vnímané akustické pulsy (jako při vocal fry), diplofonie a přeskok rejstříků (register break), dále také bifonie (VPAS), ventrikulární hlas a jiné. V PPMH jsou sloučeny vocal fry a creaky voice v jednu kategorii, ale jsou separátně hodnoceny jako občasné nebo na konci frází.

Z psychoakustického hlediska se popisuje „roughness“ jako vlastnost způsobená rychlými změnami modulačních frekvencí v rozmezí 15-300 Hz (Fastl et al., 2007). Jednotkou drsnosti je asper, definovaný jako 1 kHz tón s hladinou akustického tlaku 60 dB se 100% amplitudovou modulací s frekvencí 70 Hz. Jako zásadní faktory podílející se na vjemu drsnosti se uvádějí frekvenční a časová rozlišení sluchového systému, daná zejména šířkou kritických pásem a frekvencí modulace. (Syrový, 2008) popisuje vznik vjemu drsnosti při souzvuku dvou tónů blízké frekvence nad hranicí rázů a s postupným vymizením při dosažení hranice kritické šířky pásma. Na úrovni vnitřního ucha (kochley) je popisován vznik vjemu

drsnosti v případě, že spadá vícero harmonických (dominantních) složek do oblasti jednoho barkového pásma (Cook et al., 1999).

#### Související vlastnosti hlasu s chraplavostí:

**Diplofonie** (diplophonia) – fonace, při které je výška hlasu doplněná o jinou výšku hlasu odpovídající o oktávu vyšší frekvenci (Titze, 1994). Dle (Cavalli et al., 1999) je zásadním percepčním znakem diplofonie „dvojitý hlas“ – dvě výšky percipované současně. Diplofonie je spojována s percepcí různých druhů drsnosti, objevuje se zdvojení period v kmitání hlasivek ( $F_0/2$ ), na spektru se projeví další řadou subharmonických složek – typ 2 signálu dle (Titze, 1994). V případě alternace vícero period se ve spektru objeví hustější zastoupení subharmonických (interharmonických) složek, děj je nazýván triplofonie (multiplifonie). Střídání dvou pulzů nestejně délky (nebo i amplitudy) je taky označováno jako „dicrotic dysphony“ (Cavalli et al., 1999).

Práce (Cavalli et al., 1999) ukazuje, že diplofonie při použití VPAS protokolu byla podstatně hůře identifikovatelná (menší shoda hodnotitelů) než harshness (ostrost, drsnost), šepot, nebo hlasové zlomy, ale naopak schopnost její identifikace byla podobná schopnostem rozeznat přeskoky výšky (pitch break) nebo creaky (vocal fry). Diplofonie se zároveň ukázala jako separátně analyzovaný vjem od ostatních. Počet interharmonických v úzkopásmovém spektru koreloval s velikostí periodické (jitter) a amplitudové (shimmer, APQ) perturbace. Na druhé straně percepční studie (Kreiman et al., 2005) využívající nezávislé nastavování hodnot jitrů, shimmeru a poměru signálu a šumu ukázala neschopnost odlišit periodickou a amplitudovou perturbaci.

**Bifonie** (biphonia) – fonace s dvěma nezávislými výškami hlasu tvořenými dvěma nezávislými (nekoherentními) zdroji zvuku, akusticky jsou v hlase zastoupeny 2 nezávislé základní frekvence, pokud je vícero nezávislých zdrojů jedná se o multifonii.

**Creaky voice** (skřípavý, třepený hlas) – hlas, který zní jako skřípající (vrzající) dveře, projevuje se sadou subharmonických složek. Creaky voice bývá ale často zaměňován za vocal fry, nebo pulsní rejstřík.

**Vocal fry** – zvuk připomínající praskání bublinek oleje na rozpálené pánvi (proto fry). Protože vzniká pulsní generace zvuku, bývá taky často označována jako pulsní rejstřík.

**Register break** – rejstříkový náhlý skok, často bývá doprovázen střídáním dvou nebo více period s nestejnou délkou, resp. amplitudou, ve spektru se projevuje subharmonickou strukturou – v takovém případě je taky percipována hlasová drsnost (Frič et al., 2006a; Frič et al., 2006b; Švec et al., 1996).

**3) Dyšnost** – používáno označení: **Breathiness** (B) (použito v: GRBAS, RBH, ELS, CAPE-V, VSPP, PPMH) – stupeň zastoupení dyšnosti v hlase nebo dyšného šelestu.

**Parametr „B“** reprezentuje psychoakustický vjem vyvolaný unikáním vzduchu (air leakae) přes nedostatečný (insufficient) uzávěr glottis. Neúplný uzávěr glottis vede k vysokému glotickému proudění vzduchu a tvorbě turbulencí. Dle ELS může dyšný hlas obsahovat krátké afonické momenty.

Dyšnost je akusticky spojována s nárůstem šumu ve středních a vyšších spektrálních pásmech a poklesem intenzity vyšších harmonických složek (Frič, 2004; Shrivastav, 2003).

#### **4.1.2 Vedlejší parametry hlasové patologie**

Další parametry, pomocí nichž jde popsat vnímání (percepci) většiny dalších poruch hlasu, lze specifikovat následovně:

**4) Hlasové napětí** – používáno označení: **Strain** (S) (v: GRBAS, CAPE-V), nebo **Hyperfunctional / pressed voice production** (v PPMH) – stupeň hlasového napětí, přemáhání hlasu nebo hyperfunkce.

**Parametr „S“** reprezentuje psychoakustický vjem hyperfunkční fonace nebo vynaloženého hlasového úsilí, vystihuje míru napětí hlasivek, tenze, spasticity a zvýšení aktivity hlasivek (hlasová hyperfunkce). Je spojována s abnormálně vysokou základní frekvencí, s prezentací šumu ve vyšších frekvenčních pásmech nebo bohatostí vyšších harmonických složek. Ve studii (Bergan et al., 2004) se odlišovala percepce ring (zvonivý) od pressed (tlačené) zmenšením energie v pásmu základní frekvence a prvního formantu, zatímco energie v pásmu 2-4 kHz byla podobná. Tlačený hlas byl spojován s „whiter“ (bělejší, světlejší) barvou, negativně s koeficientem otevření hlasivek a magnitudou průtoku vzduchu přes glottis, kladně koreloval s výškou. Podobně vjem napětí dětských hlasů koreloval kladně s výškou v (Lopes et al., 2012), kde byl uvedený jev spojován s větším podélným napětím hlasivek a vyšším subglotickým tlakem.

**5) Výška a hlasitost** – používáno označení *Pitch* (P) resp. *Loudness* (L) (v: VSPP, VPAS, CAPE-V, PPMH). V závislosti na protokolu jsou tyto parametry posuzovány různými způsoby:

a) Jako relativní odchylky průměrných hodnot (výšky a intenzity) od normálních hodnot parametrů hlasu pro osoby stejného věku, pohlaví a socio-kulturního zázemí (myšleno etnika). Pokud je hodnocena jenom odchylka od normálu, tak její směr (zvýšení, snížení) má být popsán osobitě. (ELS, VPAS, VSPP).

b) Jako rozsah výšky a hlasitosti (v PPMH: Voice range, v VSPP: Pitch range) uvedeného parametru (rozdíl maximální a minimální hodnoty).

Rozsah výšky je uváděn jako frekvenční rozsah (v Hz) nebo jako tónový rozsah (v pultónech). Rozsah hlasitosti je uváděn jako dynamický rozsah v [dB].

c) Jako variabilita uvedeného parametru (Variation in loudness v: PPMH, VSPP; ve VSPP: Variety of intonation patterns ). Souvisí se schopností volně a přirozeně využít rozsah daného parametru.

**6) Hlasová slabost** – používáno označení: *Asthenicity* (A) (GRBAS) nebo *Hypofunctional / lax voice production* (PPMH).

**Parametr „A“** popisuje slabost nebo nedostatek síly v hlase. Je spojený se slabou intenzitou hlasového projevu a s nedostatkem vyšších harmonických složek. Fyziologicky může být hypofunkce hlasu způsobená například ztenčenou tloušťkou hlasivek, jejich nedostatečnou addukcí, také slabou dechovou oporou nebo nedostatečným fonačním tlakem (též subglotickým). Vyšší hodnoty na škále A bývají často spojovány i s vyšší prezentací dyšnosti. V PPMH je také speciálně rozlišována *Weak phonation at the phrase ending* (slabá fonace na konci frází). Fyziologicky je způsobena brzkým nárůstem abdukce (odtažení hlasivek) na koncích frází a je popisována také jako „polknutí konců“.

V některých pracích je hlasová slabost společně s přemáháním hlasu vyhodnocována jako vzájemné protipóly (Vokřál, 1998), v jiných slabost i přemáhání představují znak dystonie.

**7) Nestabilita** – používáno označení *Instability* (I), popisuje nepravidelnost a nestabilitu hlasové kvality (použito jenom v: GRBAS(I)) (Dejonckere et al., 1996). V CAPE-V je naopak hodnocena **stabilita** prezentace všech hodnocených vlastností jako konsistentní (stálá) nebo jako intermitentní (občasná). Nestabilita hlasové kvality výrazně prohlubuje vjem celkové poruchy hlasu. Přímou souvisí se změnou hlasového rejstříku, resp. se způsobem kmitání hlasivek v podobě hlasových přeskoků (register break). V PPMH je separátně hodnocena nestabilita výšky hlasu a její fluktuace.

### 4.1.3 Doplnkové vlastnosti hlasových projevů

Z hlediska dokumentace používání hlasu v širším kontextu v návaznosti na jiné funkce vokálního systému je vhodné sledovat skupiny parametrů, které je možno sdružit následovně:

8) **Hlasové zlozvyky**, dle Buffalo III je vhodné posuzovat zvláště druh a stupeň postižení jednotlivých zlozvyků: *křik, hlasitá mluva, nadměrné mluvení, hlasitý šepot, nepřirozené přemáhání hlasu, výbušná vokalizace, náhlé glotické ataky, použití ingresivní (inverzní) fonace, odkašlávání a kašel, mluvení v hluku*.

9) **Poruchy artikulace**, separátně jsou popisovány hlavně ve VSPP a VPAS. Je možno je zahrnout do oblasti **poruch ovládnutí** artikulačních orgánů. Popisovány jsou odchylky *v pohybu, použití a tenzi*: rtů, dolní čelisti, jazyka, měkkého patra, hltanu a hrtanu, nebo **celkové hodnocení čistoty artikulace**, tedy čistoty odlišení zvláště vokálů a zvláště konsonantů (VSPP, PPMH).

10) **Změna a porucha rezonance**, popisována je jako **vyvážení** *hlavové, ústní a hrudní* rezonance (ve VSPP) a taky jako speciální rezonance označovaná termínem **hypernazalita** (rhinofonie). U profesionálních hlasů (PPMH) jsou popsány ještě další typy rezonancí: **Ringing voice quality** (zvonivá barva hlasu), která odpovídá kombinaci silných vyšších harmonických složek a kovovému zabarvení hlasu, naproti tomu **Sonority** prezentuje zvučnost hlasu spojenou s rychlým uzavíráním hlasivek a rezonováním vokálního traktu.

Ještě zvláště je možno hodnotit skupiny:

11) **Poruchy časových prozodických vlastností**, sem patří *pauzování, plynulost, tempo-rytmus*. Melodické a dynamické prozodické vlastnosti jsou obsaženy ve variabilitě výšky a hlasitosti (odstavec 5c).

12) **Způsob nasazení a vysazení hlasu**, jedná se o posouzení hlasových začátků, resp. charakter zvuku na konci fonačních úseků. V PPMH jsou popsány 3 typy **hlasových začátků**: *soft attack* – jemné nasazení (fyziologické); *hard attack* – tvrdé nasazení s náhlým začátkem a prezentací „klapnutí“; *breathy attack* – dyšné nasazení s prezentací dyšného šumu. **Vysazení** hlasu může být hodnoceno jako: *s prezentací chrapotu* (vocal fry/creaky voice at the phrase ending), nebo jako *slabé – polknuté* (weak phonation at phrase ending).

13) **Typy přechodů mezi fonačními mechanismy** (mezi rejstříky) (register break), které mohou být *plynulé* (postupné), nebo *náhlé* (zlomové, skokové).

### 4.1.4 Neakustické parametry hlasu

Separátní skupinu vlastností, které hraničí s vizuální kontrolou vyšetřovaného, představuje:

14) **Hodnocení vedení dechu: pozice dechu, výdrž dechu** (maximální fonační čas) a **dechová opora** (support).

15) **Celková emoční a fyzická tenze** (tento parametr je doslovně uveden pouze ve VSPP), jedná se o **hodnocení těla a postoje** mluvčího. Nejvýrazněji se projevuje v celkovém dojmu z hlasového projevu, který vyšetřujícího zaujme. Pokud je hlas tvořený s tenzí, není jej možno nadále posuzovat jako volný. U tohoto parametru bychom mohli diskutovat, zda emoční a fyzická tenze posuzovaná tímto způsobem není ekvivalentem napětí („strain“) nebo je jí skutečně možno jednoznačně odlišit jako celkovou vlastnost mluvčího.

## 4.2 Postupy používané při popisu profesionálního hlasu

Termín hlasový profesionál se s postupem času vyvíjí a v dnešní době v jeho nejširším významu zahrnuje skupinu lidí, kteří nezbytně potřebují svůj hlas k výkonu své profese. Oproti předcházejícímu pojetí (užší význam slova), kdy se k hlasovým profesionálům

přičítaly hlavně umělecké profese (zpěváků a herců), v dnešní době patří mezi hlasové profesionály i učitelé, obchodní zástupci, manažeři nebo sboroví zpěváci (Vydrová, 2010).

Oproti hodnocení patologického hlasu se u hlasových profesionálů objevují nové dimenze vlastností hlasu, a tedy i nové postupy pro hodnocení jejich hlasu, resp. uměleckého projevu. Výzkum v oblasti hlasu profesionálů se rozvíjí na oblastech 1) popisu kvalitativních vlastností uměleckého hlasu a 2) edukaci, rehabilitaci a prevenci poruch hlasu u profesionálních uživatelů hlasu (professional voice users).

Vědecké práce v oblasti akustiky a popisu uměleckého hlasu se věnují hlavně hlasové rezonanci. Odpovídající přehled vokologických poznatků o rezonanci hlasu je uveden v kapitole 6.3.

Rezonance je popisována termíny *sonority* (znělost), *ringing voice* (zvonivý hlas), *resonant voice*, *covered*, *supported voice* (opřený hlas) a všeobecně je spojována s dominancí vyšších formantů (pěvecký, řečnický formant). Z tohoto důvodu jsou i postupy popisu vlastností uměleckého hlasu vztahovány ke specificky požadované kvalitě hlasu.

Pokusů o vytvoření standardních postupů pro hodnocení kvalitativních (barvotvorných) vlastností uměleckého hlasu a přednesu bylo publikováno několik, ale vzhledem ke komplexnosti problematiky nebyl prozatím všeobecně uznán žádný standard. Profesionální hlas se od hlasu běžné populace odlišuje hlavně školením. Tedy trénováním specifických hlasových dovedností s cílem ovládnout specifické kvalitativní vlastnosti hlasu, dosáhnout větší hlasové výdrže, zvětšit efektivitu a rozsah hlasu a celkově udržet tyto vlastnosti v průběhu celého profesionálního působení. Proto je zřejmé, že profesionální, resp. umělecké používání hlasu, bude vyžadovat vyšší a specifické nároky na jeho uživatele. Tyto specifické nároky vyplývají hlavně z požadavků estetických (vzhledem k uměleckému žánru), ale i funkčních. Z hlediska percepčního hodnocení takové specifické používání hlasu vytváří nové dimenze hodnocených vlastností a kritérií.

Další, vyšší úroveň použití hlasu jako uměleckého prostředku vyžaduje schopnost hlasového profesionála využít hlasové dovednosti k umělecké interpretaci. Tento fakt je ovšem úplně odlišnou kategorií v posuzování „kvality“ uměleckého projevu a pohybuje se nad rámcem této práce. Proto bude dále pozornost soustředěna jenom na obecnější, hlavně percepční akustické vlastnosti profesionálního mluvního hlasu a operního zpěvu.

#### 4.2.1 Popis vlastností pěveckého hlasu a projevu

Výše uvedená kritéria hodnocení klasického zpěvu, studie (Ekholm et al., 1998) dále funkčně a akusticky interpretuje: 1) *appropriate vibrato* (přiměřené vibrato) – přiměřená frekvence modulace (5–7 Hz) a amplituda modulace (cca 5 %), důležitým psychoakustickým faktorem je i čas nástupu vibrata, pokud je jeho časové zpoždění delší než 0,5 s, výrazně klesá jeho kvalitativní ohodnocení (více než při nevhodné frekvenci nebo amplitudě modulace); 2) *color/warmth* – odpovídající tmavšímu zabarvení hlasu, snížení hrtanu, snížení polohy střední frekvence vokálních formantů (první a druhý formant), vyvážení energie ve vokálních a pěveckém formantu; 3) *resonance/ring* – spojeno se zesílením pěveckého formantu, frekvenční pásmo pěveckého formantu je nezávislé na typu vokálu, ale závislé na SATB klasifikaci hlasu; 4) *clarity/fokus* – odpovídá rozložení spektrálního šumu ve spektru, „clarity“ – jasnost srozumitelnost, popisovaná jako nízká úroveň spektrálního šumu v oblastech vokálních formantů, „focus“ – malé nebo žádné zastoupení šumu ve spektrálních oblastech nad pěveckým formantem.

Jiná snaha o vytvoření obdobného nástroje pro subjektivní hodnocení kvality operního pěveckého hlasu, jaký se používá v klinickém hodnocení patologických hlasů, je shrnuta ve studii (Oates et al., 2006). Pro popis vlastností operního hlasu a jejich hodnocení doporučuje postup (nástroj): **Auditory-Perceptual Instrument for Operatic Singing Voice**.

Tento protokol používá pro hodnocení vizuálně analogové škály rozdělené do deseti rovnoměrných intervalů s označením koncových bodů jako špatný (poor) a výborný (excellent). Dle protokolu mají být hodnoceny vlastnosti: 1) **celkové provedení** (overall vocal performance) – jako celkové hodnocení estetických a technických kvalit zpěvního hlasu; 2) **přiměřené vibrato** – pravidelné a jemné zvlnění frekvence tónu hlasu; 3) **rezonanční vyvážení** (resonance balance) – vhodné vyvážení tmavé a světlé barvy hlasu; 4) **zvonivost** (ring) – jas, třpyt hlasu; 5) **přesnost intonace**; 6) **vedení dechu**; 7) **vyváženost přes celý rozsah hlasu** (evenness throughout the range) – schopnost volného zpěvu v celém tónovém a dynamickém rozsahu bez nevhodné změny hlasové kvality; 8) **napětí hlasu** (strain) – kvalitativní vlastnost hlasu, která vytváří dojem nadměrné hlasové námahy.

Na základě výrazně obšírnější studie popisu kvality operního pěveckého hlasu (Garnier et al., 2008) byla publikována práce (Henrich et al., 2008), která popisuje hodnocení hlasových vlastností ze tří percepčních pohledů zahrnujících jak kvalitativní percepční vlastnosti hlasu, tak vlastnosti dechu a uměleckého způsobu provedení. Přehled je uvedený v příloze B.

#### **4.2.2 Vlastnosti profesionálního mluvního hlasu a projevu**

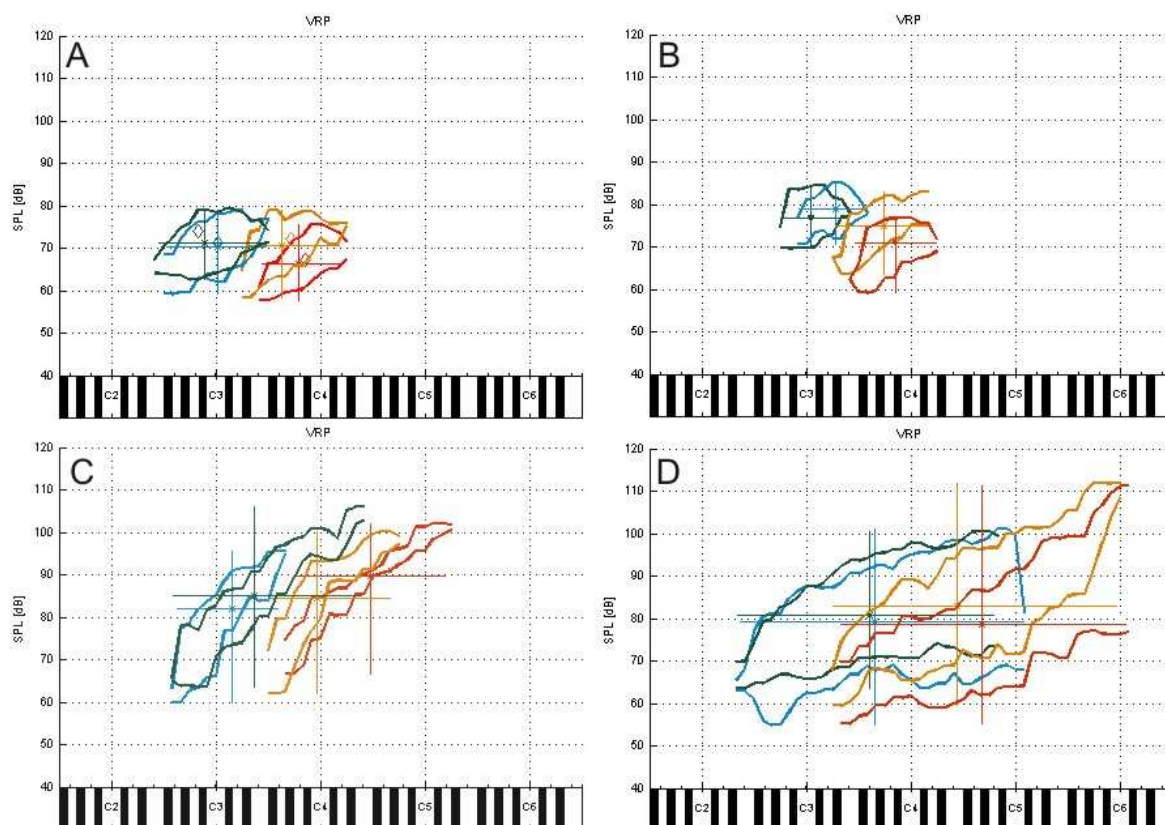
V oblasti hodnocení profesionálního mluvního hlasu bylo publikováno podstatně méně prací než v oblasti profesionálního zpěvu nebo patologického hlasu. Ve studii (Bele, 2007) byly pomocí faktorové analýzy z hodnocených vlastností určeny hlavní faktory kvalitativních vlastností mluvního hlasu. Hodnocené vlastnosti u normální hlasitosti obsahují i vlastnosti popsané u patologického hlasu. Dále však vlastnosti rozšiřují o vlastnosti spojené se znělostí, hlasovou variabilitou a artikulací, proto je možné předpokládat, že tyto vlastnosti jsou podmíněné profesionálním tréninkem. Přehled je uveden v příloze C.

## 5 Objektivně měřené parametry hlasu

### 5.1 Hlasové pole (phonetogram, voice range profile, VRP)

Hlasové pole představuje akustickou metodu dokumentující výškové a intenzitní polohy hlasu, jejich rozsahy a rozložení při různých hlasových úkolech, resp. obecně popisující vztah tónové výšky a intenzity při tvorbě hlasu. Na dvourozměrném grafu jsou zobrazeny parametry měřených akustických segmentů fonace. Na x-ové ose je zobrazována výška hlasu, na y-ové intenzita hlasu, čímž je možné sledovat dynamické a rozsahové kapacitní možnosti hlasu.

Samotné měření hlasového pole bylo původně vymezeno jenom na měření obrysů (kontur) tzv. **zpěvního hlasového pole** (v literatuře označováno: fyziologické, maximální nebo celkové, v práci bude označováno jako **celkové (zpěvní) VRP**). Pro celý tónový rozsah hlasu subjektu byly hledány fyziologické hranice dynamiky, tedy minimální a maximální dosažitelné hladiny akustického tlaku (SPL) při prodloužené fonaci vokálů – proto také přívlástek zpěvní (singing). Nejvíce studií používá při měření VRP fonaci vokálu „a“, ostatní vokály mají významný vliv na dosažitelnou maximální intenzitu zejména v modálním rejstříku (Lamesch et al., 2012).



**Obrázek 5-1** Porovnání hlasových polí profesionálních operních pěvců. Soprán (červená), alt (oranžová), tenor (světle modrá), baryton (zelená). Naměřeno při: A) habituálním čtení, B) čtení nahlas, c) gradaci volání slova „máma“ D) zpěvní hlasová pole – zpěv stupnic na „má“ v *mf*, *ff* a *pp* dynamice. Vodorovné a svislé čáry znázorňují pultónový a dynamický rozsah, jejich překřížení je v místě průměrných hodnot výšky a SPL daného úkolu, znaky diamantů (◊) u habituálního hlasu zobrazují nejčastěji se vyskytující polohu výšky a SPL. C4 – americká notace pro jednočárkové c’.

S rozvojem techniky se začaly měřit i řečové úkoly (čtení, počítání, hlasité čtení a volání). Tyto úlohy jsou podkladem pro hodnocení **řečového hlasového pole** (speech range profile, SRP) a porovnávání vzájemné polohy hlasu při jednotlivých úlohách.

V odborné literatuře byly sledovány vztahy parametrů měření hlasového (jak řečového, tak celkového) a jejich charakteristické znaky v závislosti na pohlaví, věku, hlasové kategorii, poruše hlasu, efektu tréninku a terapie.

Obrázek 5-1 zobrazuje porovnání obrysů hlasových polí konkrétních subjektů profesionálních zpěváků ze studie (Frič, 2008), kteří se kategorizovali jako soprán, alt, tenor a baryton. Mluvní hlasové úkoly habituální čtení a čtení nahlas ukazují postupné snižování výškové polohy obrysů a zejména průměrných výšek hlasu s prohlubující se hlasovou kategorií (od sopránu směrem k barytonu). U hlasitého čtení je zjevný i trend nárůstu intenzity hlasu s prohlubující se hlasovou kategorií. Zpěvní hlasová pole a hlasová pole při gradaci volání se v uvedených případech výrazně neodlišují mezi tenorem a barytonem.

### 5.1.1 Parametrizace výšky hlasu

Výška hlasu se opírá o měření základní frekvence – F0 v [Hz], nejčastěji bývá převedena na půltóny tónové výšky, např. [midi]. Nejvýznamnější parametry výšky hlasu:

- Průměrná výška mluvního hlasu (uváděna v [Hz] nebo půltónech).
- Tónový (půltónový) rozsah hlasu (TR, uváděný v [Hz] nebo půltónech), bývá také specifikován:
  - o vzhledem ke konkrétnímu úkolu (habituální mluvní hlas, celkový mluvní hlas nebo pro měření celkového VRP);
  - o vzhledem k použitému hlasovému rejstříku, děleného na rozsah modálního (hrudního) a falzetového rejstříku.
- Poloha průměrného mluvního hlasu vzhledem k rozsahu VRP (uváděný v procentech celkového tónového rozsahu VRP, nebo tónové (intervalové) stupnici nad nejhlubším tónem celkového VRP).

Průměrná **výška hlasu** je v zásadě ovlivněna hlavně pohlavím (Šiupšinskiene, 2003) a věkem (Verdonck-de Leeuw et al., 2004). Dětské hlasy mají porovnatelnou výšku pro děvčata i chlapce. Výrazný frekvenční i dynamický rozvoj hlasu chlapců začíná v osmém roku života, u dívek je výrazný rozdíl dynamiky a rozsahu hlasu ovlivněn již v 7. roku, a to hlavně hlasovou patologií (Wuyts et al., 2003). Po mutaci a v dospělosti pravděpodobně souvisí výška hlasu s hlasovou kategorizací (soprán – bas), i když u trénovaných žen se ukázaly rozdíly v minimálních a maximálních výškách VRP jenom mezi okrajovými hlasy (alty a soprány), mezzosoprány se na každém okraji blížily hlubšímu nebo vyššímu hlasu (Lamarche et al., 2010). Vyšší poloha mluvního hlasu byla pozorována u zdravých profesionálních mluvčích (žen i mužů) oproti zdravé netrénované skupině. U žen byla sledována vyšší poloha hlasu u zdravých profesionálních mluvčích i vůči dysfonické skupině (Šiupšinskiene, 2003). U dospělých žen před menopauzou bylo pozorováno snížení průměrné výšky mluvního hlasu i snížení horního i dolního okraje frekvenčního rozsahu VRP oproti mladým ženám (D'haeseleer et al., 2011). Zvyšování výšky hlasu žen při čtení je spojováno s dyšností a u mužů s napětím (Leino et al., 2008). Prohloubení nejnižší výšky ve VRP (Speyer et al., 2003) je uváděno jako jeden ze zásadních faktorů změny hlasu v důsledku terapie.

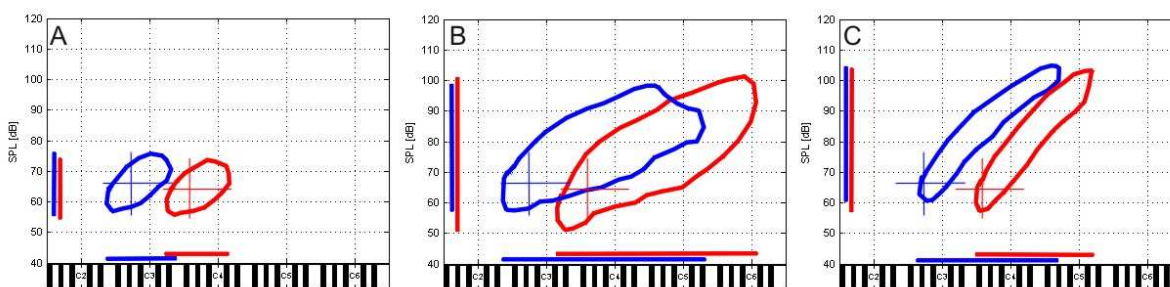
**Maximální dosahovaná výška hlasu a frekvenční rozsah** jsou zásadní parametry pro rozlišení hlasové trénovanosti (Awan, 1991), resp. typu tréninku (Eckley et al., 1998), a odlišení zdravé populace od dysfonické (Ma et al., 2006). Snížený tónový rozsah hlasu v modálním rejstříku ukazuje poškození hlasu u dětí (Wuyts et al., 2003). Nižší maximální dosahované hodnoty výšky a zmenšení tónového rozsahu byly pozorovány u zdravých dospělých neprofesionálů vůči zdravé skupině hlasových profesionálů a také u hlasových profesionálů s poruchou hlasu oproti zdravé profesionální skupině (Šiupšinskiene, 2003).



Ztráta vysokých tónů zpěvního VRP je charakteristická hlavně pro organické poruchy hlasu (Hacki, 1996; Ma et al., 2007). Studie (Hacki, 1996) popisuje, že i malé organické nálezy postihující volné okraje hlasivek výrazně zmenšují nejvyšší polohy zpěvního hlasu, zatímco řečové a hlasové pole při volání mohou být beze změn. Ženy s insuficiencí glottis dosahovaly nižší maximální výšky při volání než ženy bez insuficience (Schneider et al., 2005). Patologické ženy měly menší frekvenční rozsah modálního rejstříku v tiché a střední dynamice, kdežto falzetový rejstřík měly s menším rozsahem jenom v hlasité dynamice, celkový frekvenční rozsah měly menší ve všech dynamikách v porovnání se zdravou netrénovanou skupinou žen (Li et al., 2006).

Trénování mladistvých (Kovacic et al., 2002) i dospělých (Awan, 1993) využívají většího **tónového rozsahu** při čtení oproti netrénovaným (souvisí to s použitím výraznější melodie hlasu). Na druhé straně ale větší variabilita základní frekvence při prodloužené fonaci samotného vokálu představuje znak nestability hlasu (tremor) (Fröhlich et al., 2000). Celkový tónový rozsah dětských zdravých netrénovaných hlasů je podobný u dívek i chlapců a už ve věku 7 až 10 let dosahuje 29 půltónů (Böhme et al., 1995). V dospělém věku to může činit až 40 půltónů u žen a 43 u mužů (Leino et al., 2008), závisí však na typu tréninku a případné poruše hlasu. Trénování klasičtí zpěváci i zpěvačky s mírnou parézou n. lar. superior dosahovali vyššího tónového rozsahu než netrénovaní zdraví. U žen disponovaly klasické zpěvačky až o 10 půltónů větším tónovým rozsahem na rozdíl od neklasických zpěvaček a netrénovaných žen (Eckley et al., 1998). Zpěvní trénink již po 9 měsících významně zvýšil tónový rozsah z 32 na 34 půltónů (LeBorgne et al., 2002). Porucha hlasu u chlapců se projevovala snížením tónového rozsahu hlasu jak v modálním rejstříku, tak falzetu, u dívek jenom ve falzetu (Wuyts et al., 2003). U dysfonických dospělých byl snížen půltónový rozsah VRP v průměru o 8 půltónů na rozdíl od zdravé kontrolní skupiny (Ma et al., 2006). Na druhé straně se tónový rozsah hlasu významně nezměnil u dospělých pacientů s jednostrannou parézou n. lar. recurrens ani po augmentaci nebo tyroplastice (Bihari et al., 2006), dokonce ani při reedukaci profesionálních uživatelů hlasu (Wingate et al., 2007).

**Poloha mluvního hlasu vzhledem k celkovému VRP** by se měla pohybovat ve spodní třetině celkového půltónového rozsahu VRP (Awan, 1993; Hacki, 1996; Šiupšinskiene, 2003), avšak neukázaly se signifikantní rozdíly mezi trénovanou a netrénovanou populací.



**Obrázek 5-2** Průměrné obrysy hlasových polí mužů (modrá) a žen (červená). A) habituální hlas při čtení textu, překřížení tenkých svislých a vodorovných čar (ve všech částech obrázku) označuje – základní polohu habituálního hlasu, tedy průměrné hodnoty výšky (v midi půltónech) a SPL habituálního hlasu (v dB), B) celková zpěvní hlasová pole při zpěvu stupnic, C) hlasová pole při gradaci hlasitosti volání slova „máma“. Vodorovné tlusté čáry představují půltónový rozsah výšky hlasu daného úkolu, svislé tlusté čáry dynamický rozsah. V části B je patrná průměrná poloha mluvního hlasu vzhledem k celkovému zpěvnímu hlasovému poli.

Obrázek 5-2 ukazuje porovnání průměrných obrysů hlasových polí mužů (modrá) a žen (červená) ze studie (Frič, 2008). Při porovnání habituálního hlasu je průměrná výška hlasu mužů (ve studii zjištěno velké A t.j. A2 americké notace) významně nižší než u žen (malé g tedy G3), a průměrná SPL jenom mírně vyšší u mužů (cca 1,5 dB). Zpěvní hlasová pole taky ukázala nejvýznamnější rozdíly mezi muži a ženami u průměrů maximální a minimální dosažené výšky hlasu (část A), významný rozdíl v tónovém rozsahu však nenastal, naopak

trendové rozdíly byly zejména v nižších hodnotách nejnižších fonací a větších dynamických rozsazích u žen. Průměrné obrysy zpěvních hlasových polí (část B) se překrývají v relativně velké části, pro muže to představuje střední a vysokou tichou polohu hlasu, kdežto pro ženy hlasitou hlubší až střední polohu. Hlasová pole při gradaci volání se ve svých tónových i dynamických rozsazích relativně široce překrývají (část C), ale při zohlednění polohy v hlasovém poli se jenom dotýkají v nejvyšších polohách mužského volání. Statistika parametrů těchto hlasových polí ukázala nejvýznamnější rozdíly ve výškových parametrech, trendově však i v nižších hodnotách minimálních intenzit, menším frekvenčním rozsahu a větším dynamickým rozsahu u žen.

### 5.1.2 Parametrizace intenzity hlasu

Intenzita hlasu je odvozena od měření hladiny akustického tlaku – SPL. Podle původního doporučení UEP (Schutte et al., 1983) by měla být SPL měřena váhovacím filtrem A [dB(A)], díky kterému se redukuje vliv šumu v měřicím prostředí (původně doporučena jenom běžná, tichá místnost s okolním šumem menším než 40 dBA) a je zohledněna frekvenční závislost citlivosti lidského sluchu. Na druhé straně však studie (Gramming, 1991; Hunter et al., 2006) ukázaly, že pro lepší fyziologickou interpretaci kontur hlasového pole a možnosti jejich vzájemného porovnávání je lepší používat neváhovanou – lineární hodnotu SPL v dB. Proto je možné v literatuře najít měření hraničních SPL hlasového pole v dBA i v dB. Váhované hodnoty dBA se na rozdíl od neváhovaných hodnot dB projeví na konturách hlasového pole zejména v hluboké části (pod 500 Hz) tím, že sníží nejnižší část spodní SPL kontury, a to až o 10 dB (Gramming, 1991).

#### Zásadní parametry intenzity hlasu:

- Průměrná, minimální a maximální intenzita.
- Dynamický rozsah, DR.
- Dynamika mluvního hlasu (rozdíl volání a habituálního hlasu).

**Průměrná hladina SPL** se ani v řečových ani ve VRP nelišila mezi pohlavími (Šiupšinskiene, 2003). Na druhé straně minimální i maximální intenzita VRP byla vyšší u mužů (Leino et al., 2008) a trénovaní zpěváci měli signifikantně větší průměrnou intenzitu i dynamiku habituálního hlasu než netrévaní (Awan, 1993).

**Minimální intenzita ve VRP** je spojována s hodnotou minimálního subglotického tlaku, a proto se považuje za zásadní prediktor poruchy hlasu (čím tišší, tím zdravější) (Ma et al., 2007; Ma et al., 2006), ale například ve studii (Šiupšinskiene, 2003) byla nejnižší intenzita VRP podobná u dysfonické i zdravé skupiny žen.

**Maximální intenzita** volání byla vyšší u zdravé skupiny (Ma et al., 2006) a u profesionálních mluvčích (Šiupšinskiene, 2003). I u fyziologických hlasů (Hacki, 1996) jsou popsány vyšší hodnoty maxim při volání (v průměru 100 dBA) než při zpěvu, což je zdůvodněno přechodem rejstříků. U dobře trénovaných zpěváků představuje optimum stejná hladina při obou hlasových úkolech. Dysfoničtí pacienti ve studii (Ma et al., 2007) ale dosahovali vyšších maximálních hodnot intenzity na rozdíl od kontrolní – zdravé skupiny. Autoři uvedené zjištění objasňovali obavou kontrolní skupiny před poškozením hlasu a naopak nutným vyšším úsilím tvorby hlasu a neopatrností u dysfonické. Ve studiích (Schneider et al., 2003; Schneider et al., 2005; Schneider-Stickler et al., 2012) byla považována neschopnost dosáhnout hladinu 90 dB za projev hypofunkce hlasu. Jedním ze zásadních činitelů oslabené schopnosti dosahovat větší maximální intenzitu a dynamický rozsah při volání byla insuficience glottis (Schneider et al., 2005). Naproti tomu u mužů byla vyšší maximální SPL při volání spojována s výraznějším pozorováním subjektivně vnímaných problémů hlasu a únavou (Leino et al., 2008).

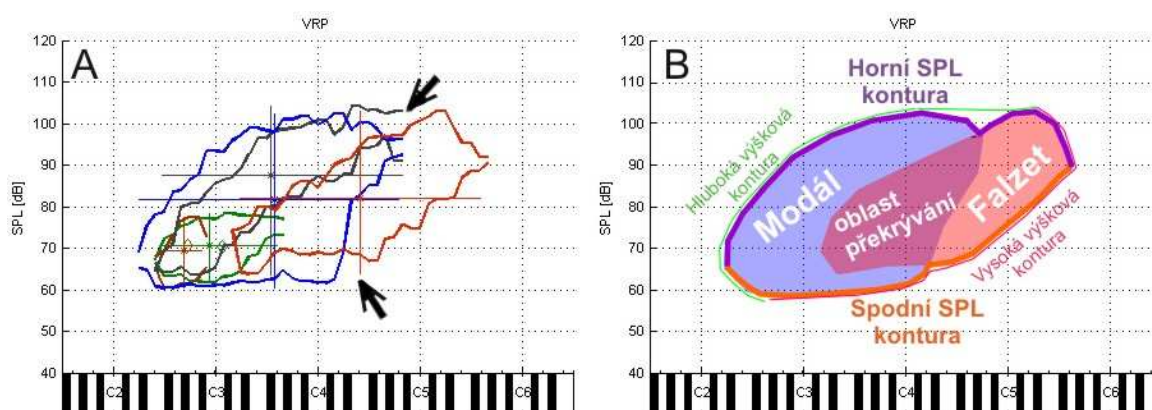
**Dynamické rozsahy SRP i VRP** se snižují při poruše hlasu (Ma et al., 2007; Ma et al., 2006), DR se změnil při měřeních před a po terapii v průměru o 10 dB (Wingate et al., 2007).

### 5.1.3 Parametrizace tvaru hlasového pole

Společné parametry výšky i intenzity hlasu jsou zejména **plocha hlasového pole** a **obrysově křivky (kontury) hlasového pole**. Plocha VRP bývá vyjádřena její absolutní velikostí [půltón x dB], nebo relativně k referenční definované ploše [%] (Sulter et al., 1994). Z ní jsou odvozené plochy dle hraničních kriterií (např. nad 90 dB (Lamarche et al., 2010), plocha rozsahu vysokých frekvencí: nad 349,2 Hz pro muže a nad 523,3 pro ženy (Šiupšinskiene, 2003). Obrysově křivky – jejich tvary jsou většinou vyhodnocovány subjektivně hodnotitelem. Objektívni parametrizace byla navržena například v 10 % tónového rozsahu VRP (McAllister et al., 1994), transformaci naměřených obrysů do 3 elips (Airaier et al., 1993). Nejnověji se hranice hlasových polí porovnávají pomocí Fourierových deskriptorů (Pabon et al., 2011).

Důležité parametry obrysů hlasového pole:

- Nepravidelnost, zářezy a zlomy na obrysových křivkách.
- Celková plocha hlasového pole (area).



**Obrázek 5-3** A) změřená hlasová pole autora při úlohách: habituální čtení (zelená), počítání (hnědá), gradace volání (šedá), zpěv vokálu „a“ v modálním rejstříku (modrá), zpěv vokálu „a“ ve falzetovém rejstříku (červená). Šipky znázorňují výrazné zlomy v obrysech celkového hlasového pole, kde se setkávají hlasové rejstříky. B) schéma rozložení modálního a falzetového rejstříku při zpěvu, výškové a SPL kontury.

Obrázek 5-3 zobrazuje naměřená hlasová pole při různých úkolech u autora studie (část A). Je zřejmé, že obrysy a hlavně průměrná výška hlasu při počítání se nacházejí v hlubší polovině habituálního hlasového pole, gradace volání dosahuje výškového maxima právě v oblasti, nad kterou byl subjekt schopný tvořit hlas jenom ve falzetovém rejstříku. Z uvedených příkladů je odvozené schematické znázornění zpěvního hlasového pole (část B), které ukazuje oblasti (plochy) modálního a falzetového rejstříku (resp. M1 a M2 vibračního mechanismu hlasivek dle (Henrich et al., 2003) a jejich překrývání při zpěvu. Schematicky jsou zobrazeny spodní a horní SPL kontura a hluboká a vysoká výšková kontura hlasového pole.

**Plocha hlasového pole** sumárně popisuje frekvenční a dynamický rozsah. Je úměrná celkové kvalitě a hlasové trénovanosti. Odlišuje trénovanou a netrénovanou populaci u zpěvu (Awan, 1991; Sulter et al., 1995). Diskriminační analýza ukázala plochu hlasového pole jako jediný parametr pro odlišení dysfonické a zdravé populace (Ma et al., 2006). U postižených hlasů byla průměrná plocha o 30 % menší než u zdravé populace, zejména bývá postižená část ve vysokých polohách. Ve studii (Šiupšinskiene, 2003) celková plocha hlasového pole a plocha nad 349,2 Hz nejlépe odlišily muže s poruchou hlasu od zdravé populace. Celková

plocha VRP se zvětšovala v průběhu hlasové terapie (Holmberg et al., 2007; Wingate et al., 2007). Na druhé straně, studie (Ikeda et al., 1999) ukázala signifikantní rozdíl v ploše VRP jenom mezi skupinou těžce postižených hlasů a zdravou populací. Ostatní zjištěné rozdíly plochy VRP odlišovaly skupiny pacientů (jak u mužů, tak u žen) s lehkou a střední poruchou a se střední a těžkou poruchou jenom u žen. Rozdíly ve změně plochy VRP před a po terapii dobře indikovaly difference mezi dobrým a vynikajícím zlepšením.

U klasických zpěvaček se fyziologické hlasové pole odlišovalo od muzikálně akceptovatelného (performance) zejména snížením frekvenčního rozsahu. Při zpěvu árie zpěvačky zpívaly v průměru 51 % plochy hlasového pole nad 90 dB, kdežto u měření fyziologického VRP bylo nad 90 dB jenom 31 % plochy hlasového pole. Hlasová kategorizace se projevila zejména mezi sopránovými a kontraaltovými hlasy v minimální a maximální výšce, a to jak u habituálního, tak zpěvního hlasu (Lamarche et al., 2010).

**Hranice maximální intenzity (horní SPL kontura VRP)** vysoce závisí na typu vokálu a vibračním mechanismu, zejména v M1 mechanismu (modálním rejstříku), kde rozdíl mezi „á“ a „i“ může dosahovat o 10 dB vyšších hodnot než při M2 (falzetovém). Uvedený rozdíl souvisí s polohou prvního formantu, který je nejvyšší pro vokál „a“. V M2 mechanismu rozdíl horní kontury mezi vokály není významný, uvedený jev u něj souvisí s výraznějším poklesem zdrojového spektra. Při M2 je výrazně větší koeficient otevření hlasivek, a tím pádem i podstatně silnější pokles zdrojového spektra. Následkem je, že v akustickém spektru výrazně dominuje první harmonická složka nad ostatními. Studie (Lamesch et al., 2012) dále uvádí, že překryv M1 a M2 regionů dosahoval až 1,5 oktávy (do této doby byla dokumentována sexta až oktáva). Uvedená studie v závěru poukazuje, že dělení rejstříků z pohledu zpěváků nesouhlasí s vibračními mechanismy (M1 a M2).

**Výrazný zářez (zlom)** v horní SPL kontuře VRP bývá spojován s přechodem hrudního a hlavového rejstříku – pozorováno na normativních datech (Heylen et al., 2002). Studie (Akerlund et al., 1994; Awan, 1991) ukazují rozdíly mezi trénovanými a netrénovanými zpěvačkami jenom v celkovém zesílení horní obrysové kontury VRP, (Akerlund et al., 1992; Frič et al., 2012; Gramming, 1991) a dokumentují **zesílení horní SPL kontury** jenom ve vyšší polovině tónového rozsahu. Horní polovina tónového rozsahu u dospělých zdravých žen byla hlasitější než u zdravých dětí (McAllister et al., 1994). Signifikantní zesílení horní SPL kontury bylo pozorováno následkem hlasové terapie, ale také zátěžovým testem u učitelek (Schneider et al., 2005). V (Schneider-Stickler et al., 2012) byl popsán podobný efekt ve skupině zaměstnanců „call-center“ po čtyřtýdenním používání biofeedback systémů při telefonování. Systematické **snížování horní SPL kontury** bylo pozorováno u žen s narůstajícím stupněm insuficience glottis (Schneider et al., 2003). Studie (Gramming, 1991) ukázala rozdíly mezi „neorganickými“ poruchami hlasu a zdravou populací ve zvýšení horní hranice u zdravých žen.

Naopak **hranice minimálních intenzit (spodní SPL kontura)** nezávisí na vokálu, ale studie (Lamesch et al., 2012) naznačuje trend nižší minimální intenzity hlasu u M2 než u M1 vibračním mechanismu. Studie (Awan, 1991) dokumentuje zesílení spodní obrysové křivky u trénovaných zpěváků vzhledem k netrénované populaci. Naopak (LeBorgne et al., 2002) dokumentuje zeslabení spodní kontury po 9 měsících pěveckého tréninku. U mužů s „neorganickými“ problémy bylo pozorováno zvýšení spodní kontury VRP oproti zdravým mužům (Gramming, 1991). Vyšší hodnoty spodní SPL kontury měly zdravé děti v porovnání s dospělou populací nebo mutující chlapci v porovnání s dospělými (v celém rozsahu v porovnání s muži a hlubší polovině v porovnání s ženami) (McAllister et al., 1994). Naopak snížení spodní SPL kontury ve vyšší polovině FR bylo pozorováno jenom u dětí s insuficiencí glottis v porovnání se zdravou populací (McAllister et al., 1994). Efekt terapie hlasu

na snížení křivky minimální intenzity VRP byl dokumentován v (Holmberg et al., 2007; Speyer et al., 2003).

Studie (Speyer et al., 2003) ale také udává, že **tvár VRP** u pacientů není možno jednoduše idealizovat pomocí vyhlazených křivek, protože tvar jejich obrysů bývá velmi často nepravidelný a také může být i nekontinuální (oddělení falzetového a modálního VRP). Při hledání efektu terapie mezi jednotlivými typy patologie vyšlo, že jenom 70 % pacientů po terapii mělo změny na VRP. Větší efekt terapie hlasu se ukázal u mužů, ale například pacienti s paralýzou nevykazovali žádný efekt na VRP. Prohloubení minimální výšky VRP, nárůst plochy hlasového pole pod průměrnou výškou hlasu, snížení minimální intenzity a zvýšením plochy habituálního hlasu, to byly zásadní projevy terapie hlasu. Dle studie souvisely s relaxovanou (tedy tichou) tvorbou hlasu v hrudním rejstříku.

## 5.2 Ostatní objektivní parametry hlasu

Pro objektivní kvantifikaci vlastností spojených s produkcí hlasu existuje velké množství měřicích metod. Jako základní neinvazivní metodu používanou ve vokologickém a psychoakustickém výzkumu lze považovat akustickou analýzu. Její rozvoj přinesl v posledním období velké množství parametrů popisujících jak vlastnosti hlasu, tak řeči. V následující kapitole jsou shrnuty jenom ty, u nichž byl výběr proveden tak, aby souvisely s předkládanou studií. Parametry použité ve studii jsou označeny tučně a podtrženy. Přehled parametrů je zároveň spojený s jejich interpretací na základě výsledků experimentálních a psychoakustických studií použitých při výzkumech ve vokologii.

### 5.2.1 Parametry hlasivkového zdroje

Popisem „primárního zdroje“ – kmitáním hlasivek se standardně zabývají optické, elektrofyziologické a aero-akustické metody. Ty parametricky popisují cyklus kmitání hlasivek. **Inverzní filtrace** pomocí filtrů odstraní z akustického signálu vliv formantů, čímž získá průběh proudění vzduchu přes glottis – „glottal flow“. (Airas, 2008)

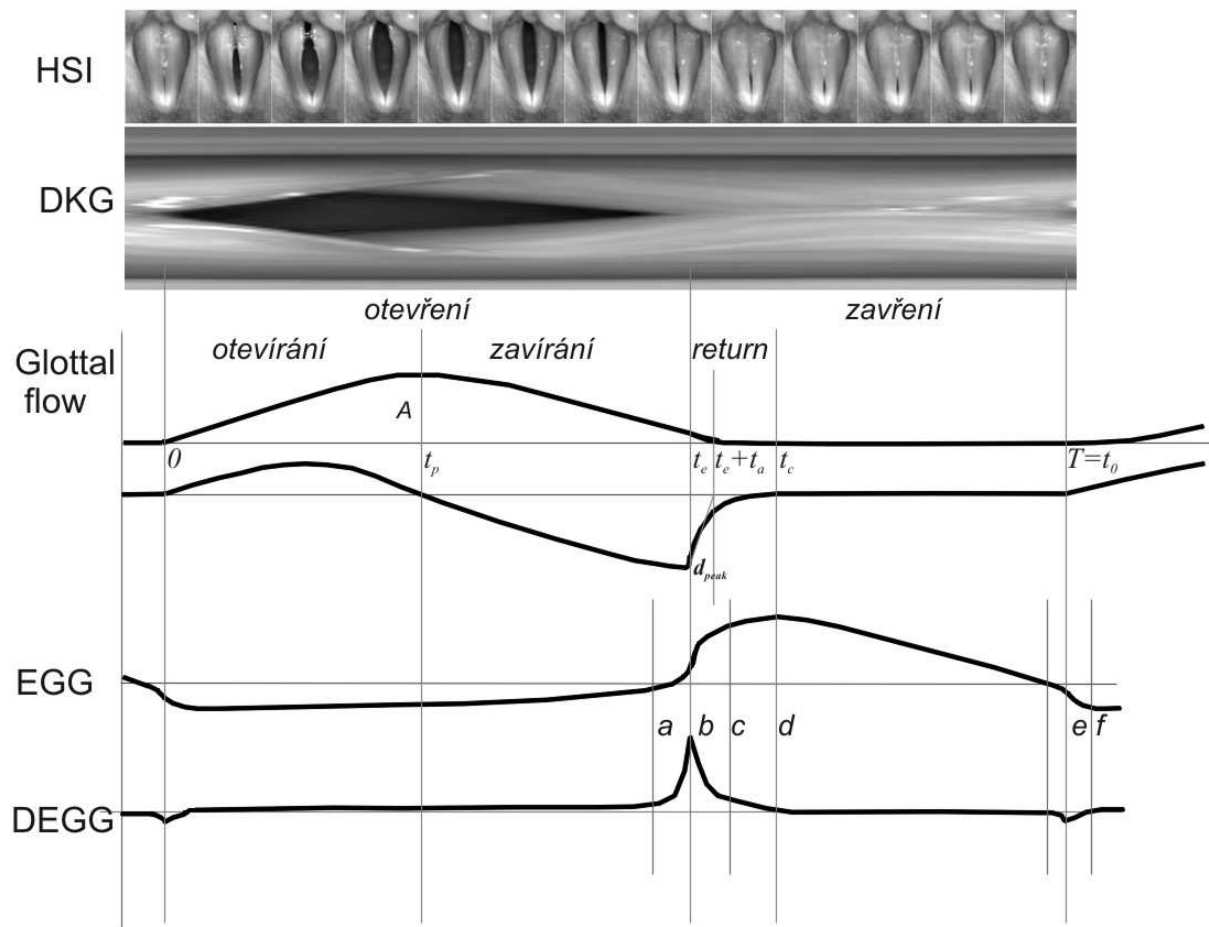
V popisu kmitání hlasivek a zejména v oblasti klinického vyšetření hlasu zastávají dominantní místo optické zobrazovací metody. **Videostroboskopie** je založená na synchronizaci, resp. mírné desynchronizaci záblesků světla, nebo spouštění uzávěrky kamery, s frekvencí kmitání hlasivek. Tímto způsobem se kmitání iluzorně zpomalí nebo zastaví. Vysokofrekvenční metody na rozdíl od stroboskopie umožňují reálné sledování kmitů, protože jejich snímací frekvence je výrazně vyšší než kmitání hlasivek. Pokud je sledována jenom část hlasivek, tzv. řádkové snímání, jedná se o **videokymografii** (VKG)(Švec et al., 1996)(cca 8000 čar/s). Nové kamery jsou schopny vysokých rychlostí celoplošného obrazového záznamu (např. až 20000 snímků/s(Echternach et al., 2013)), při snímání hlasivek jde o metodu **high speed videolaryngoscopy** (HSV).

Pokud jsou optické metody použity s rigidním laryngoskopem, neumožňují sledování kmitání hlasivek za normálních, fyziologických podmínek. Nově se však ukázalo, že je možné zobrazit kmitání hlasivek i ve velmi vysokých tónech pomocí transnasální flexibilní optiky (Echternach et al., 2013).

Optické metody jsou nejčastěji zaměřené na popis způsobu kmitání hlasivek. Hodnoceny jsou: uzávěr glottis, pravidelnost kmitů, slizniční vlna na povrchu hlasivek, její tvar a jiné. Nejvíce se využívají při diagnostice poruch hlasu (více viz (Sulter et al., 1996; Švec et al., 2007; Uloza et al., 2013)).

I když hodnocení hlasivkového zdroje na úrovni optických metod není předmětem studia této práce, představuje důležitý faktor pro pochopení základů kmitání hlasivek. **Obrázek 5-4** schematicky znázorňuje jeden kmit hlasivek v modálním rejstříku (zaznamenáno pomocí kamery PCO dimax standard při 8150 snímcích/s). Část DKG zobrazuje digitálně vytvořený

kymogram tohoto kmitu ze střední části hlasivek. Střední část obrázku zachycuje ideální kmit proudění vzduchu přes glottis (glottal flow) a jeho derivaci (upraveno dle (Doval et al., 2006)). Ve spodní části je zobrazen tomu odpovídající idealizovaný elektroglografický (EGG) signál a jeho derivace (DEGG).



**Obrázek 5-4** Jeden hlasivkový kmit zobrazený pomocí různých metod: HSI – vysokorychlostní laryngoskopie, DKG – digitální kymogram, Glottal flow – proudění vzduchu přes hlasivkovou štěrbinu v průběhu jednoho cyklu a jeho derivace, 0 – začátek periody, T – konec periody, EGG – elektroglografický signál a jeho derivace (DEGG).

Popis vlastností hlasového zdroje se opírá o parametrizaci hlasivkového pulzu na základě modelů popisujících „glottal flow“. Parametrizace hlasivkového pulzu (příslušné časové okamžiky schematicky viz Obrázek 5-4):

- Fáze **otevření hlasivek** (open phase) mezi 0 a  $(t_e + t_a)$ , této fázi odpovídá parametr **open quotient** (koeficient otevření hlasivek):

$$OQ_{LF} = (t_e + t_a) / T, \quad (1)$$

kde  $T$  je perioda celého cyklu.

Dělí se na dvě fáze:

- o fáze **otevírání hlasivek** (opening phase), mezi 0 a  $t_p$ ;
- o fáze **uzavírání hlasivek** (closing phase), mezi  $t_p$  a  $t_e + t_a$ .
- Fáze **zavření hlasivek** (closed phase) mezi  $(t_e + t_a)$  a  $t_c$ , této fázi odpovídá parametr **closed quotient** (koeficient uzavření hlasivek):

$$CQ = (T - (t_e + t_a)) / T \quad (2)$$



- **Return phase** – doba mezi maximální rychlostí uzavírání  $t_e$  hlasivek a úplného uzavření hlasivek  $t_c$ .

**Speed quotient** (rychlostní koeficient): poměr doby otevírání k době zavírání hlasivek:

$$SQ_{LF} = ((t_e + t_a) - t_p) / t_p \cdot \quad (3)$$

Čas  $t_e$  odpovídá chvíli maximální změny gotického proudění, kdy je podle tohoto modelu maximálně excitován vokální trakt, první derivace „glottal flow“ dosahuje nejzápornější hodnoty  $d_{peak}$ , označované i jako „**maximal flow declination rate**“ (**MFDR**).

**Maximální amplituda** glottal flow **A** – dosahuje v čase  $t_e$ .

Při měření „glottal flow“ Rothenbergovou maskou je možné snímat i amplitudové konstanty (Airas, 2008):

‘ **Amplitudový koeficient:**

$$AQ = \frac{U_{p-t-p}}{MFDR}, \quad (4)$$

kde  $U_{p-t-p}$  je mezivrcholová „peak-to-peak“ amplituda „glottal flow“.

**Normalizovaný amplitudový koeficient:**

$$NAQ = \frac{AQ}{T}. \quad (5)$$

**Subglotický tlak** ( $P_{subgl.}$ , subglottal pressure) –základní faktor při tvorbě hlasu. Ten je možné tvořit jenom v případě, že existuje gradient tlaku pod a nad glotis. Subglotický tlak představuje hlavní faktor ovlivňující hlasitost. Její zvyšování je spojeno se zvyšováním subglotického tlaku, který celkově ovlivní „glottal flow“, a tedy všechny jeho parametry. Přehled modelů hlasivkové funkce a spektrální interpretaci vlivu jejich parametrů lze nalézt např. v (Doval et al., 2006).

Zvýšení  $P_{subgl.}$  souvisí s prodloužením uzavřené fáze (CQ) hlasivkového cyklu a taktéž se zvyšuje mezivrcholová (peak-to-peak) amplituda „flow glottogramu“. Obojí ovlivňuje zvýšení negativního vrcholu 1. derivace „glottal flow“ (MFDR), což má za následek posílení amplitudy vyšších harmonických složek (Nordenberg et al., 2004). S vyšším  $P_{subgl.}$  tvoří hlas např. pacienti s hlasovými uzlíky (Aronsson et al., 2007). Obvykle vyšší MFDR mají muzikáloví zpěváci – na rozdíl od klasických (Björkner, 2008).

**Phonation threshold pressure** – minimální tlak nutný k rozvibrování hlasivek (Titze, 1992).

**Glottal compliance** – poměr mezi objemem vzduchu obsaženým v jednom hlasivkovém pulzu při daném subglotickém tlaku, klesá s addukcí hlasivek (Thalen et al., 2001).

Nejčastěji využívanou neinvazivní metodou přibližující kmitání hlasivek je **elektroglotografie** (EGG), resp. elektrolaryngografie. Tato metoda ve skutečnosti měří změnu vysokofrekvenčního elektrického proudu malé intenzity mezi dvěma elektrodami umístěnými na krku ve výšce hlasivek po obou stranách štítné chrupavky. Změny proudu odpovídají změnám elektrické impedance mezi elektrodami způsobenými zejména velikostí kontaktní plochy hlasivek. Podobně jako „glottal flow“ i elektroglotografický signál popisuje jednotlivé fáze kmitání hlasivek (podrobně např. v (Herbst et al., 2010)). Podobným způsobem je hlasivkový cyklus parametrizován:

- **Koeficient uzavření hlasivek** odvozený z EGG signálu (**COEGG**), nové studie ho uvádí jako **kontaktní koeficient**. Dá se vypočítat různými způsoby, jejichž výsledky se můžou výrazně lišit (Herbst et al., 2006). Na derivaci EGG signálu jsou patrné dva výrazné vrcholy. Kladný odpovídá době maximální změny kontaktu hlasivek – tzv. uzavírací

vrchol (closing peak) – viz Obrázek 5-4 bod *b* EGG křivky. Negativní odpovídá době maximálního otevírání hlasivek (opening peak) - bod *e*.

CQEGG je nejčastěji používaný parametr pro popis a odlišení hlasových rejstříků, resp. vibračních mechanismů hlasivek, hodnoty CQEGG postupně klesají s vyššími rejstříky. CQEGG závisí na výšce a intenzitě hlasu a vibračním mechanismu. V M1 narůstá CQEGG s intenzitou, naopak v M2 narůstá s výškou (Henrich et al., 2005). Vyšší hodnoty CQEGG byly zjištěny u muzikálových zpěváků v porovnání s operními barytony (Bjorkner, 2008). Podobně při muzikálovém zpěvu měly na rozdíl od klasického vyšší hodnoty CQEGG dospívající zpěvačky (Barlow, C. et al., 2010). Byly zjištěny významné rozdíly v OQ mezi neklasickými styly legit a belt (vyšší hodnoty OQ u legit) (Bourne et al., 2012). U pěvecky trénovaných mužů při zpěvu stupnic zjistil (Howard et al., 1990) užší rozsah použitých hodnot CQEGG v závislosti na výšce a taky celkově vyšší průměrné hodnoty než u netrénovaných. Při čtení ale měli trénovaní vyšší průměrné hodnoty CQEGG než netrénovaní. Pěvecky trénované ženy při sledování CQEGG v závislosti na výšce hlasu dosahovaly nižší hodnoty pod D4 a vyšší hodnoty nad B4 než netrénované (Howard, 1995).

- **Contact speed quotient (QCS)** – poměr amplitud uzavíracího (closing) a otevíracího (opening) vrcholu derivace EGG signálu (DEGG) (Garnier et al., 2012).

## 5.2.2 Spektrální parametry

**Spektrální analýza** – metoda zkoumání spektrálního složení zvuku, tedy amplitudové (a fázové) vlastnosti jeho jednotlivých složek v závislosti na frekvenci. V zásadě se pro stanovení spektra využívá matematická metoda Fourierovy analýzy, pro analýzu diskretního signálu v podobě Diskretní Fourierovy transformace (DFT) (Uhlíř et al., 2007):

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]w[n]e^{-jkn\frac{2\pi}{N}} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]w[n] \left[ \cos\left(kn\frac{2\pi}{N}\right) - j \sin\left(kn\frac{2\pi}{N}\right) \right], \quad (6)$$

kde  $N$  – počet vzorků,  $k$  – složka diskretního spektra o kmitočtu  $f=k.F_s/N$ ,  $n$  – vzorek diskretního signálu,  $w[n]$  – váhovací okénko krátkodobého signálu (segmentu).

**Výkonové spektrum** – je odvozeno z DFT analýzy signálu akustických segmentů, určuje energetické rozložení jeho frekvenčních složek, převedeno na dB:

$$P[k] = 10 \log \frac{1}{N} |X[k]|^2 [dB] \quad (7)$$

**Dlouhodobé průměrované spektrum (long time average spectrum, LTAS)** – časové průměrování hladin sledovaných spektrálních pásem vyjma neznělých úseků. Pro ustálení hladin LTAS mluvního hlasu je doporučena analýza nahrávky v délce 40 s (Nordenberg et al., 2004). LTAS tvoří podklad pro výpočet jiných akustických parametrů (sklon spektra, gain factor). Používá se pro hodnocení spektrálních pásem specifických rezonancí hlasu jako např. pěvecký formant.

**Harmonické spektrum** – spektrum hladin jednotlivých harmonických složek.

**Subharmonické složky** – další řada intenzitně méně výrazných složek odlišitelných od základní řady harmonických a od šumu pozadí. Nacházející se pod základní frekvencí  $F_0$  a mezi jednotlivými harmonickými složkami (interharmonické), většinou s pravidelným frekvenčním odstupem – často v celočíselném poměru k  $F_0$ , např.  $F_0/2$ ,  $F_0/3$  atd. Subharmonické složky jsou charakteristické pro signál typu 2 dle (Titze, 1995), jsou typické pro diplofonii a výrazně korelují s periodickými (jitter) a amplitudovými (shimmer)



perturbacemi (Cavalli et al., 1999). Jsou popisovány u jevů jako vocal fry, creaky voice, někdy spojovány s pulsním rejstříkem a přechodem mezi M1 a M2 vibračním mechanismem.

- **H1 [dB] – hladina akustického tlaku první harmonické složky** – první harmonická složka je nejméně maskována vyššími harmonickými složkami a zároveň představuje nejvíce posilovanou složku (rozdílovými frekvencemi vyšších harmonických složek). Ve spektru má dominantní postavení. Tón s nízkou relativní amplitudou 1. harmonické se barevně jeví jako úzký (opak plnosti). Na tento vjem navazuje vlastnost vztažená k procesu šíření zvuku prostorem, a to nosnost (Srový, 2008). Proměnlivý vliv hladiny první harmonické na vjem ostrosti a úzkosti v závislosti na výšce tónu u houslí byl popsán v (Štěpánek, 2004). U hlubokých tónů s klesající hladinou H1 narůstal vjem ostrosti a úzkosti, s narůstající výškou tónu, ale význam H1 na percepci úzkých a ostrých tónů klesal.

Klasičtí operní zpěváci tvoří hlas s vyšší hladinou H1 než muzikáloví (Bjorkner, 2008). Hladina první harmonické je vyšší při krytém (covered) zpěvu oproti nekrytému – otevřenému (open) (Hertegard et al., 1990). (Bergan et al., 2004) ukazuje na simulovaných vokálech, že u rezonovaného hlasu na rozdíl od tlačeneho (pressed) zůstává energie pásma první harmonické a prvního formantu stabilní, kdežto u tlačných hlasů výrazně klesá.

- **H1-H2 [dB] – rozdíl hladin první a druhé harmonické složky „zdrojového“ spektra.** Ve studii je použitý parametr **dHa1Ha2** – rozdíl hladin prvních dvou harmonických složek akustického spektra. H1-H2 souvisí s intenzitou a parametry popisujícími fáze otevření a zavření hlasivek (OQ, CQ a SQ) (Airas, 2008; Kreiman et al., 2012), čímž jsou rozlišovány i vibrační rejstříky. Vysoké hodnoty H1-H2 jsou typické pro dyšný hlas, nízké pro spastický, tlačný a „creaky voice“ (Thalen et al., 2001). Rozdíl H1-H2 byl menší u muzikálových zpěváků než u operních a negativně koreloval s CQ, narůstal se subglotickým tlakem (Bjorkner, 2008). Parametr použitý v předkládané studii dHa1Ha2 je ale ovlivněn zejména pozicí a zesílením prvního formantu vůči první harmonické složce, proto je jeho interpretace podobná jako H1-H2 jenom v případě, že  $F1 \gg F0$ .
- **Těžiště spektra** – (COG, center of gravity [Hz]) frekvenční poloha spektra, kde je stejný podíl akustické energie nad i pod tímto bodem.

Ve studii jsou uvedena čtyři různá těžiště. **COGamp** – těžiště celého spektra (FFT); **COG0k25** – těžiště spektra (FFT) v pásmu 0 – 2,5 kHz; **COG25k** – těžiště spektra (FFT) v pásmu 2-5 kHz. Vztah pro výpočet těžiště spektra:

$$f_{COG} = \frac{\sum_{k=1}^N f_k \cdot A_k}{\sum_{k=1}^N A_k}, \quad (8)$$

kde  $f_k$  a  $A_k$  jsou frekvence a amplituda k-té složky spektra, v případě harmonického spektra – k-té harmonické složky, v případě celkového spektra k-té složky amplitudového spektra. V případě pásmového těžiště se do výpočtu zahrnou jenom složky sledovaného frekvenčního pásma.

Spektrální centroid pásma 2–8 kHz byl v korelaci pro kategorizaci mužských hlasů (Erickson, 2008) a těžiště spektra v pásmu 2–5 kHz pro kategorizaci ženských hlasů (Erickson, 2003). Význam uvedené závislosti pozice těžiště uvedeného pásma na hlasové kategorizaci klesá s narůstající výškou vokálu. **COGHarm** – těžiště harmonického spektra (použity jen hodnoty harmonických složek) (Štěpánek et al., 2005).

**Spectral balance (vyváženost spektra)** – rozdíly hladin akustického tlaku (resp. poměr rozložení akustické energie) hlubších a vyšších spektrálních oblastí. Tyto parametry byly v zásadě odvozeny z LTA spekter, ale nově se používají také ve spojitostech se segmentální

– krátkodobou FFT (Collyer et al., 2009). V odborné literatuře bylo publikováno vícero parametrů založených na tomto principu:

- **SPR (singing power ratio)** – rozdíl maximálních hladin SPL (LTAS) spektra v uvedených pásmech (Omori et al., 1996):

$$SPR = L_{max}(2-4 \text{ kHz}) - L_{max}(0-2 \text{ kHz}), \quad (9)$$

někdy je rozdíl udávaný v opačném pořadí (Watts et al., 2006). Malý odstup hladin v těchto pásmech (méně záporné SPR) značí vysokou energii v oblasti pěveckého formantu a vyšší míru zvonivé barvy hlasu (Omori et al., 1996), která je charakteristická pro školený zpěvní hlas. Vyšší hodnoty SPR dosahují trénovaní zpěváci, menší netrénovaní (Watts et al., 2006).

- **ER (energy ratio)** – rozdíl celkových energií (LTAS) spektra mezi uvedenými pásmy:

$$ER = L(0-2 \text{ kHz}) - L(2-4 \text{ kHz}), \quad (10)$$

Vzhledem k tomu, že rozdíl energií pásem je v opačném pořadí než pro SPR, efekt tohoto parametru spočívá v opačném směru než SPR. Nízké ER znamená velké posílení energie v pásmu nad 2 kHz, tedy souvisí nejen se zvýšenou hyperkinezí, ale také s výraznou rezonancí vyšších formantů (Kenny et al., 2006).

Vztah obdobného parametru  $SB = L(2-4 \text{ kHz}) - L(0-2 \text{ kHz})$  u klasicky trénovaných žen v závislosti na intenzitě v různých výškách hlasu sledovala studie (Collyer et al., 2009). Maxima SB narůstala až do výšky B4 a pak klesala v rozsahu C5–A5, pak zase narůstala. Lineární vztah mezi SB a SPL byl naměřený hlavně v hlubších polohách, nelinearita byla zjištěna především u SPL <80 dB.

- **Alfa -  $\alpha$  faktor** – veličina vypočtená z LTAS jako poměr intenzit (rozdíl hladin) jiných spektrálních pásem:

$$\alpha = L(1-5 \text{ kHz}) - L(0-1 \text{ kHz}), \quad (11)$$

zvýšené hodnoty svědčí pro znělou fonaci, naopak snížené pro patologický hlas (Frokjaer-Jensen et al., 1976).

- **SPI (soft phonation index)** – průměrný poměr energie hlubších frekvenčních harmonických složek v pásmu 70–1550 Hz k harmonickým složkám v pásmu 1600–4200 Hz. Tento parametr popisuje rozložení energie harmonických ve spektru, čímž je v kladném směru v souvztažnosti se znělostí, zvučností, zvýšenou hlasitostí a tlačnou fonací, v záporném s dyšností, hlasovou slabostí, laxní fonací. Součástí programu MDVP (KayPENTAX, 2008). Vysoké hodnoty SPI byly spojovány s chraptivým (hoarse) hlasem u mužů (Munoz et al., 2003). Ve studii (Bhuta et al., 2004) SPI společně s VTI a NHR charakterizovaly celkový stupeň poruchy u obou pohlaví, dyšnost a astenie ale korelovaly jenom se SPI.

- **Crest faktor** – rozdíl mezivrcholové hladiny a RMS hladiny signálu (Peter et al., 1991). Parametr ekvivalentní spektrálnímu sklonu (čím vyšší crest, tím plošší sklon), proto je citlivý na nejvyšší rezonanční vrchol signálu a zvýšenou zvučnost hlasu.

Speciálním typem jsou parametry, hodnotící **poměr harmonických a neharmonických složek**:

- **VTI (voice turbulence index)** – poměr neharmonických složek spektra v oblasti 1800–5800 Hz k energii harmonických složek v oblasti 70–4200 Hz. Zvýšené hodnoty tohoto parametru je možno interpretovat v první řadě jako následek vyšší dyšnosti (KayPENTAX, 2008). V praxi však zvýšení tohoto parametru souvisí i se snížením hlasitosti a zvučnosti hlasu.
- **HNR (harmonic to noise ratio)** – poměr průměrných hladin harmonických k hladinám neharmonických složek v pásmu 70–4200 Hz. V literatuře bývá uváděno vícero parametrů

popisujících poměr šumu k harmonickému signálu (NHR, SNR, NNE, GNE) přehled viz (Godino-Llorente et al., 2010; Murphy, 2006). Dle (Michaelis et al., 1998; Michaelis et al., 1997) je Glottal-to-noise excitation ratio (GNE) jako jediný parametr nezávislý na frekvenčních a amplitudových modulacích, a tedy nejlépe popisuje aditivní turbulentní šum na základě dyšnosti. V souvislosti s uvedeným byl zkonstruován tzv. „hoarseness diagram“ popisující dvě nezávislé dimenze patologie hlasu – nepravidelnost (jitter, shimmer) a šum (GNE).

**Kepstrální analýza** je definována jako inverzní Fourierova transformace logaritmu komplexního (nebo amplitudového) FFT spektra (Uhlíř et al., 2007):

$$c_n = IDFT\{\ln|X[k]|\} = \sum_{k=0}^{N-1} \ln|X[k]| e^{jkn\frac{2\pi}{N}}, \quad (12)$$

kde  $c_n$  je označováno (reálným) kepstrem signálu. Uvedená transformace převádí původní (periodické a neperiodické) složky pomocí dekonvoluce na jejich součet. Tedy při periodickém signálu je jednoznačně identifikovatelný vrchol v oblasti základní frekvence (časové délky periody). Tento vrchol má důležitou funkci při popisu signálu, jeho relativní amplituda nad „šumem v okolí“ se nazývá cepstral peak prominence (CPP) a uvedený parametr významně odlišuje zdravou a patologickou populaci (Lowell et al., 2011; Radish et al., 2010) a negativně koreluje s hodnocením celkové poruchy hlasu a dyšnosti (Heman-Ackah, Y. D. et al., 2003; Heman-Ackah, Y. D. et al., 2002; Hillenbrand, J. et al., 1994; Lowell, S. Y. et al., 2011). V předkládané studii je použitý parametr **CP~1**, který odpovídá hladině kepstrálního vrcholu v oblasti základní frekvence signálu.

**Sklon spektra** – sklon spektra akustického signálu. V případě sklonu spektra zdrojového signálu (hrtanového tónu) je jeho interpretace spojena se značně strmým poklesem (zápornější hodnoty) pro tiché a dyšné hlasy, středním poklesem pro modál, málo strmým pro „creaky voice“ a pulzní rejstřík, nebo také pro hyperkinetické stavy (Childers et al., 1995). Menší spektrální sklon (menší pokles vyšších spektrálních složek) je typický pro talentované pěvce (Watts et al., 2006). Spektrální sklon souvisí s ostrostí (Bloothoof et al., 1988; Štěpánek, 2004).

- **THItilt** – sklon celkového třetino-oktávového spektra,
- **THItilt4k4** – sklon třetino-oktávového spektra v pásmu 400-4000 Hz. Menší sklon spektra je uváděn v souvislosti s hyperkinezí hlasu (Novák, 1996).

**Formant** – spektrální oblast se zvýšenou energií. Odpovídá rezonančním charakteristikám jednotlivých dutin vokálního traktu, respektive vrcholům přenosové funkce vokálního traktu. Formant je charakterizovaný střední frekvencí ( $F_n$ ), ve které je nejvyšší efektivita rezonance, amplitudou ( $A_n$ ) a šířkou pásma (bandwidth –  $B_n$ ). Formantová struktura spektra hlasu závisí na konkrétním nastavení tvaru vokálního traktu, pro dané nastavení je specifická. Pozice středových frekvencí formantů  $F_n$  a jejich amplitud se často spojují s hodnocením kvalitativních vlastností hlasu. Již počáteční frekvenční analýzy fonace vokálů ukázaly, že každý vokál má charakteristické polohy prvních dvou formantů (Isačenko, 1968).

- **F1, F2, F3, F4, F5** – frekvenční polohy formantů. V této studii byly určeny pomocí LPC spektrální analýzy, kde jsou polohy formantových frekvencí dány vrcholy odhadu spektrální výkonové hustoty:

$$P(\omega) = [H(e^{j\omega})]^2 = \frac{G^2}{|A(e^{j\omega})|}, \quad (13)$$

získané z frekvenční charakteristiky přenosové funkce:

$$H(z) = \frac{G}{A(z)} = \frac{G}{1 + \sum_{k=1}^Q a_k z^{-k}}, \quad (14)$$

kde G je koeficient zesílení, Q je řád modelu, U je funkce buzení a A je přenosová funkce diferenční rovnice FIR filtru autoregresního modelu (Uhlíř et al., 2007).

Průměrná poloha prvních tří formantů vokálů se významně lišila mezi pohlavími už od 8. roku života (nižší pro chlapce) (Perry et al., 2001) a celkově se snižovala s věkem, hmotností a výškou. Průměrná pozice vokalických formantů (F1, F2) souvisí s „Color/warmth“ na základě hlasové kategorizace (kladně u barytonů, záporně u tenorů), dále kladně koreluje s nárůstem zvonivé kvality (Ekholm et al., 1998). Průměrná vzdálenost pozic F1-F2 závisí na výšce hlasu a hlasové kategorizaci u mužů (Erickson, 2008). Poloha prvního formantu výrazně ovlivňuje hladinu první harmonické složky, „ladění formantů“ se využívá k dosažení rezonovanějšího hlasu. Ladění prvního formantu a zvýšení harmonických složek v jeho oblasti vytváří tzv. „resonant-bright“ (rezonovaný světlý) hlas (Smith et al., 2005). Hlubší poloha formantů je typická pro tmavé hlasy, opak nastane u „tlačeného hlasu“, obě skutečnosti souvisí s polohou hrtanu (nižší vs. vyšší) (Bloothoof et al., 1986a). Amplitudy formantů odpovídajících spektrálním pásmům 0,8 a 2,5 kHz kladně korelují s percepcí plnosti a otevřenosti vokálů (Bloothoof et al., 1988). Vyšší poloha F1 a F2 byla pozorována v muzikálovém způsobu zpěvu v porovnání s klasickým u jedné muzikálové zpěvačky (Stone, Jr. et al., 2003). Podobně byly vyšší polohy F1 a F2 také u profesionálních tenorů při porovnání neklasického způsobu zpěvu stupnic proti klasickému, zejména v oblasti passaggio a nad ní (Sundberg et al., 2013). Vyšší poloha 2., 3. a 5. formantu byla zjištěna u muzikálových zpěváků na rozdíl od klasických barytonů, kteří navíc klastrovali 3.-5. formant do pěveckého (Bjorkner, 2008). Vyšší frekvenční pozice F1, F2 pěveckého formantu spolu s vyšší hladinou pěveckého formantu je vnímána jako „forward“ (vpředu) (Vurma et al., 2003). Poloha prvního formantu je nižší, ale poloha druhého formantu byla vyšší, při krytém zpěvu oproti otevřenému (Hertegard et al., 1990).

- **A1, A2, A3, A4, A5** – relativní amplitudy formantů z LPC analýzy. Zvýšení amplitudy 2.–4. formantu je v kladné korelaci s percepcí vlastnosti popsané jako „metallic (ringing or nasality)“ (kovový, zvonivý nebo nazální) (Hanayama et al., 2009). Zvýraznění amplitudy 1. a snížení 4. formantu (u předních vokálů i snížení amplitudy 2. formantu) je spojeno s percepcí „throaty“ („v krku“) – nežádoucí kvality hlasu v hlasové pedagogice (Laukkanen et al., 2006).
- **FSH, LFSH** – poloha v Hz a hladina v dB maxima výkonového spektra v pásmu 2–4 kHz (analogie pásma pěveckého formantu, viz SPR a ER). Pozice a hladina (u žen (Bloothoof et al., 1986b) pěveckého formantu souvisí s hlasovou kategorizací hlasu (Bloothoof et al., 1988) a s typem vokálu (Omori et al., 1996). Hladina pěveckého formantu narůstá s hlasitostí, ale klesá s narůstající výškou hlasu (Bloothoof et al., 1986b).
- **R1, R2...** rezonance (rezonanční vrcholy) vokálního traktu zjištěné pomocí odezvy externího buzení vokálního traktu širokopásmovým signálem (viz. (Epps et al., 1997)). Jsou využívány hlavně k hodnocení tzv. ladění formantů (formant tuning). Byly zjištěny různé strategie ladění formantů vzhledem k výšce hlasu, hlasovým rejstříkům, přechodu hlasových rejstříků, nebo u různých typů neklasických pěveckých technik (přehled je uveden níže).

### 5.2.3 Perturbační parametry

Tyto parametry sledují a popisují jednotlivé periody, jejich časovou (periodicitu) a amplitudovou stabilitu. Ve vokologii jsou tyto parametry nejčastěji spojovány

s multidimenzionální analýzou hlasu programem MDVP (KayPENTAX, 2008), ale jsou dostupné i ve většině jiných systémů.

- **Jita, Jitt** – jitter – parametr popisující stupeň poruchy periodicity základní frekvence (cycle-to-cycle perturbation). Odvozené parametry jsou RAP (průměr přes tři po sobě jdoucí pulzy), PPQ (průměr přes pět po sobě jdoucích pulzů), vF0 (KayPENTAX, 2008). Percentuální jitter představuje součást měření „Dysphonia severity index“ (DSI).
- **ShdB, Shim** – shimmer – parametr poruchy amplitudové stability (Titze, 1994). Shimmer i jitter se signifikantně zvětšují s klesající hlasitostí. (Brockmann et al., 2008).

Pozn.: Multidimensional voice program (MDVP) rozlišuje 2 hodnoty pro jitter i pro shimmer:

- absolutní hodnoty vypočítává na základě vztahů:

$$Jita = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |To^{(i)} - To^{i+1}| [\mu s], \quad (15)$$

kde  $To^{(i)}$  je délka i-té periody.

$$ShdB = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |20 \log(A^{(i)} / A^{i+1})| [dB], \quad (16)$$

kde  $A^{(i)}$  je mezivrcholová (peak-to-peak) amplituda pulzu;

- relativní hodnoty v poměru k průměrným hodnotám, uváděny jsou v procentech:

$$Jitt = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |To^{(i)} - To^{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N To^{(i)}} [\%], \quad (17)$$

$$Shim = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A^{(i)} - A^{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A^{(i)}} [\%]. \quad (18)$$

Amplitudové a periodické perturbace v zásadě zvyšují hladinu meziharmonického šumu ve FFT spektru a Jitter i redukuje hladiny harmonických složek (Murphy, 2000).

- **DSI (Dysphonia severity index)** – je parametr, který vznikl na základě snahy o objektivizaci hodnocení stupně poruchy hlasu jedním číslem. Je definovaný rovnicí:

$$DSI = 0,13.MPT + 0,0053.F0\_high - 0,26.I\_low - 1,18.Jitter + 12,4, \quad (19)$$

kde  $MPT$  je maximální fonační čas,  $F0\_high$  maximální frekvence hlasového pole v [Hz] a  $I\_low$  nejnižší hlasitost [dB(A)],  $Jitter$  v [%].

Uvedená skupina 4 parametrů byla vybrána z celkové skupiny 45 parametrů na základě multi-variální statistické analýzy tak, aby jejich vážená lineární korelace co nejlépe vystihovala percepční hodnocení stupně celkové poruchy hlasu G (z GRBAS škály) (Wuyts et al., 2000). Hodnota DSI vyžaduje měření hlasového pole a maximálního fonačního času a dobře koreluje i s VHI (voice handicap index).

### 5.3 Vztah měřených parametrů ke změně výšky a intenzity hlasu

#### Vztah k výšce hlasu

Výška hlasu je dominantní percepční vlastnost. Její změna nejvýznamněji ovlivňuje všechny měřené parametry, ale taky samotnou percepci barvy. Průměrná výška hlasu souvisí s poslechovým hodnocením pohlaví mluvčího a je považována za základ určení hlasové zpěvní kategorizace (SATB). Hlasová klasifikace (kategorie soprán-alt-tenor-bas) ukázala významnou kovariaci s předozadním průměrem horní části trachey (jako zásadního prediktora

délky hlasivek) (Roers et al., 2009a). Významná korelace s hlasovou kategorií se našla s celkovou velikostí těla a jednotlivých částí vokálního traktu, nejvíce s délkou hltanové dutiny (Roers et al., 2009b). S narůstající výškou hlasové kategorie u mužů se zvyšuje také střední poloha tónového rozsahu hlasu a průměrná frekvence celkového LTA spektra (ekvivalent těžiště spektra) (Johnson et al., 2011), což je dáno zejména průměrnou polohou spodních 4 formantů (Cleveland, 1977). Obecně pro všechny pěvecké kategorie se však systematicky zvyšuje poloha pěveckého formantu s vyšší klasifikací (Sundberg, 2001). Samotné hodnocení kategorie při držených vokálech je však výrazně ovlivněno výškou, kde při jejím narůstání bývá hlas klasifikován do vyšší kategorie jak u mužů (Erickson, 2008), tak žen (Erickson, 2003). Uvedený posun byl spojován s posunem těžiště části akustického spektra nad 2 kHz.

Změna výšky hlasu subjektu závisí na napětí hlasivek, ale také tlaku a průtoku vzduchu (Tanaka et al., 1989). Napětí a nastavení hlasivek je ovlivněno celou řadou hrtanových svalů, zejména však dvěma – m. cricothyroideus (prodlužuje hlasivky, zevní napínač) a m. thyroarytenoideus (zkracuje hlasivky a podílí se na jejich vnitřním napětí). Aktivita těchto svalů je považována za dominantní při ovlivňování způsobu kmitání hlasivek, tedy při tvorbě vibračních mechanismů (Hirano, 1988).

Hodnoty CQEGG se mění v závislosti na výšce, ale také s ohledem na trénovanost subjektů, pěvecký styl a vibrační mechanismus hlasivek. Neklasičtí zpěváci muži i ženy mají vyšší hodnoty použitých CQEGG než klasičtí (Barlow et al., 2010; Bjorkner, 2008), subglotický tlak narůstá s výškou hlasu, byl vyšší u muzikálových pěvců. CQ narůstá s intenzitou v M1 a výškou v M2 (Henrich et al., 2005). Hlasové úsilí (vocal effort) významně korelovalo s výškou hlasu (F0), polohou prvního formantu (F1) a zesílením 1. –3. formantu (A1, A2, A3) (Lienard et al., 1999).

### **Vztah ke změně intenzity hlasu**

Na ovládání hlasitosti se podílejí tři systémy: a) ovládání výdechového tlaku a průtoku vzduchu z plic, který v konečném důsledku ovládá subglotický tlak, b) úroveň hrtanu – v závislosti na způsobu nastavení kmitání hlasivek, ovlivňující amplitudu proudění vzduchu přes glottis (glottal flow), c) nastavení rezonančních vlastností vokálního traktu.

Hlavním faktorem podílejícím se na ovládání hlasitosti na úrovni hlasivek je míra dovedení (addukce). S nárůstem addukce hlasivek se zvyšuje odpor hlasivek a subglotický tlak se zvětšuje, což znamená, že při rozevření hlasivkové štěrbině proudí mezi nimi vzduch s větší rychlostí. Glotický puls má větší amplitudu, zvětšuje se rychlost uzavírání hlasivek, záporný vrchol první derivace „glottal flow“ (MFDR) proto dosahuje zápornějších hodnot (Nordenberg et al., 2004).

Z akustického hlediska se nárůst hlasitosti hlasu projevuje nárůstem hladin harmonických složek ve vyšších spektrálních oblastech (Sjolander et al., 2004; Sundberg, 1987; Ternstrom, 1989).

Lineární vztah mezi rozdílem hladin akustického tlaku (SPL) spektrálních oblastí prvního formantu a pěveckého formantu (L1-LSF) a logaritmem subglotického tlaku  $P_{sub}$  potvrdil (Sjolander et al., 2004) u profesionálních barytonů při analýze snižování celkové hlasitosti (decrescendo) vokálů [ae, a]. Při crescendo a decrescendo bylo zjištěno, že s narůstající intenzitou hlasu se snižuje koeficient otevření hlasivek (OQ), což je v souladu se spektrálním obohacením oblasti formantů a zvýšením intenzit harmonických ve vyšších spektrálních oblastech (Henrich et al., 2005). Perturbační parametry (jitter, shimmer) výrazně klesají s nárůstem SPL (Brockmann et al., 2011; Brockmann et al., 2008; Orlikoff et al., 1991).

Pro účely hodnocení závislosti hladin spektrálních oblastí vzhledem k celkové akustické hladině projevu zavedl (Ternstrom, 1989) **činitel zesílení GF** (gain factor):

$$GF_{\text{pásno}} = \frac{\Delta L_{\text{pásno}}}{\Delta SPL}. \quad (20)$$

Změna hlasitosti čtení textu při zvyšování hluku pozadí (Lombardův efekt) se obdobně projevila lineární závislostí celkové akustické hladiny a akustické hladiny pásem v pásmech 0,5–4 kHz, s nejvyššími hodnotami GF v oblastech 1,5–3 kHz (Nordenberg et al., 2004). Pohlavní diference se ukazuje v poloze 3. a 4. maxima GF dlouhodobého průměrovaného spektra (LTAS) – odpovídajícího 3. a 4. formantu, který byl u žen přibližně o 20 % vyšší (2,9 a 4,1 kHz) než u mužů (2,4 a 3,4 kHz). Obdobně byly hladiny všech spektrálních oblastí 1–4 kHz vyšší u žen než u mužů. Podobně pro dětské hlasy byly hodnoty GF oblastí nad 1,5 kHz vyšší u děvčat než u chlapců, frekvenční polohy maxim (polohy formantů) však byly podobné (White, 1998).

Jiný akustický způsob vyjádření změny hlasitosti je pomocí parametru **spectral balance** (vyváženost spektra), kde se do poměru dává energie vyšších spektrálních oblastí k nižším. (Sundberg et al., 2006) hodnotili tzv. alfa poměr hladin spektrálních oblastí nad 1 kHz k oblasti pod 1 kHz LTA spekter, zjistili kvadratickou závislost alfa k ekvivalentní hladině hlasitosti  $L_{eq}$ , při zanedbání nejnižších fonací byla uvedena závislost lineární.

Vzájemný vztah poměru rozložení akustické energie (spectral balance) a naměřené SPL ovlivňuje i výška hlasu. Maximální hodnoty naměřených SB u klasicky trénovaných žen narůstala až do výšky B4 ( $\hat{h}$ ), pak nastal výrazný pokles interceptu (konstanta b) vzájemné lineární aproximace vztahu  $SB = k \cdot SPL + b$ , resp. jejich vzájemný vztah nebyl dále lineární. (Collyer et al., 2009)

Předchozí studie autora (Frič, 2011) ukazuje vztah mezi GF třetinooktávových spekter vokálu „a“ a různými strategiemi zesilování hlasu v závislosti na hlasovém tréninku a použití hlasu (zpěv vs. řeč). Oblast prvního formantu byla více zesilována při zesilování řeči, oblast druhého formantu byla zesilována více při zpěvu neškolených subjektů, naopak ti při zpěvu více zesilovali oblast 1,5–2 kHz. Hlasoví profesionálové zesilovali při zpěvu i při mluvě oblast řečnického a pěveckého formantu.

## 6 Přehled experimentálních poznatků o hlasových rejstřících a rezonanci hlasu

### 6.1 Hlasové rejstříky

Problematika hlasových rejstříků je typickým představitelem rozdílného pohledu jednotlivých oborů, a tedy záležitostí ve vokologii, s níž se setkává každý, kdo chce hlasové projevy studovat obecněji. Panuje zde rozpor a různorodost definic a terminologie, navíc doposud není stanovený jednoznačný a plně akceptovaný konsenzus.

V odborné literatuře je možno najít vícero definic hlasových rejstříků. Obecně se shodují na tom, že hlasové rejstříky představují skupiny tónů (určitého rozsahu, výšky a hlasitosti) odlišné od jiné skupiny tónů – jiného rejstříku. Neshodují se ale v tom, na základě čeho se rejstříky odlišují. Fyziologické a akustické studie spíše rozlišují rejstříky podle **způsobu kmitání hlasivek** (Hollien, 1972), takové se nazývají „laryngální mechanizmy“ (Henrich et al., 2003), respektive „voice source patterns“ (Miller, 2000). Jiná, často citovaná definice se opírá o **změnu barvy hlasu mezi rejstříky**, tím pádem rozlišuje percepční regiony (Titze, 2000). Novější studie pak potvrzují, že hrubší dělení podle vibračních mechanismů je dále možné rozdělit podrobněji na základě percepčních odlišností (Miller, D. G., 2000; Roubeau, B. et al., 2009).

Popis a dělení vibračních mechanismů se v zásadě opírá o rozdíly v elektroglografickém signálu a rozlišuje M0, M1, M2 a M3 mechanizmy (Henrich, 2006). Podrobnější percepční dělení se však opírá o různé vlastnosti v závislosti na použitých metodách sledování. V klasické hlasové pedagogice je cílem sjednocení (vyrovnání) hlasových rejstříků. I navzdory tomu je rozsah hlasu klasických zpěváků rozdělen do rejstříků, které se víceméně prolínají. Jejich pojmenování se přímo opírá o rozdělení dle hlasových rezonancí, tedy separátně vnímaných částí těla, které při tvorbě hlasu vibrují. Z hlediska poslechu je ale vhodnější uvažovat o tom, že uvedené dělení je spíše založeno na percepčních změnách identifikovatelných při přechodech percepčních rejstříků, které jsou podstatně plynulejší nežli při přechodu vibračních mechanismů.

V následující části jsou shrnuty poznatky z experimentálních studií zabývajících se hodnocením hlasových rejstříků. Tyto studie se zaměřují na porovnání vlastností sousedních rejstříků. Z psychoakustického hlediska můžeme za nejvíce relevantní považovat ty práce, které porovnávají nebo sledují stejné tónové výšky v různých rejstřících. Jiné práce se pak zaměřují zejména na změny v oblasti přechodů (passaggio, transition) mezi rejstříky, nejčastěji na glissandech.

Kromě charakteristických výškových rozsahů rejstříků, které se liší mezi pohlavími, ale také v rámci pěveckých kategorií, je za zásadní parametr odlišující vibrační mechanizmy považován koeficient uzavření hlasivek (CQ, recipročně koeficient otevření hlasivek –OQ). Nejčastěji bývají parametry CQ, resp. OQ, odvozeny od elektroglografického signálu, protože tato metoda umožňuje nejjednodušší neinvazivní sledování charakteru kmitání hlasivek. Elektroglografické parametry (CQEGG, OQEGG) ale nepopisují skutečný poměr doby uzavření, resp. otevření hlasivek, naopak výborně dokumentují změny elektrického odporu mezi hlasivkami, proto je v novějších studiích CQEGG parametr nazýván kontaktním koeficientem. Charakteristický pokles hodnot CQEGG a v případě mechanismů M1, M2 a M3 i pokles amplitudy EGG signálu přímo souvisí se zkracováním doby kontaktu hlasivek a jejich kontaktní plochy při přechodu do vibračních mechanismů ve vyšších tónových polohách (Henrich, 2006; Roubeau et al., 2009). Tyto změny jsou dobře vysvětlitelné změnou tloušťky hlasivek, resp. změnou objemu mediální hmoty podílející se na kontaktu a kmitání, v návaznosti na různou aktivitu hrtanových svalů (m. vocalis, thyroarytenoideus,



cricothyroideus a addukčních svalů (Herbst et al., 2011; Herbst et al., 2009; Kochis-Jennings et al., 2012)). Významné rozdíly v napětí hrtanových svalů mezi rejstříky pak samozřejmě ovlivní průtok a tlak vzduchu v oblasti glottis (Blomgren et al., 1998; Miller et al., 1993). Z akustického hlediska se zdá být zásadní rozdíl ve sklonu zdrojového spektra (Hirano, et al., 1989; Kochis-Jennings, et al., 2012), který se následně projevuje v intenzitě vyšších harmonických složek (Garnier et al., 2012). Byly také zjištěny charakteristické změny v nastavení vokálního traktu v závislosti na tom, jestli je cílem udržení, nebo změna rejstříku (Echternach et al., 2008; Echternach et al., 2011b). S tím souvisí i poloha vokálních formantů a jejich případné ladění (formant tuning) s harmonickými složkami, u nichž byly také pozorovány změny v souvislosti se změnou rejstříků (Garnier et al., 2012; Miller et al., 1993; Švec et al., 2008).

Přechody mezi rejstříky představují další velkou skupinu zkoumaných fenoménů. Nejvýraznější změnou bývá náhlá – skoková změna výšky. U trénované skupiny jsou naopak častější plynulé přechody (Roubeau et al., 2009), ale například i netrénovaní muži měli prevalenci výrazných skoků jenom v 35 % (Echternach et al., 2011a). Perturbace hlasu byly pozorovány zejména v oblasti přechodu, resp. přeskočení rejstříku (Blomgren et al., 1998; Echternach et al., 2012; Frič et al., 2006b; Hirano et al., 1989), ale také odlišovaly jednotlivé rejstříky mezi sebou (Blomgren et al., 1998; Echternach et al., 2011a).

Tabulka 1 uvádí přehled studií citovaných v této kapitole sledujících vlastnosti hlasu v jednotlivých vibračních mechanismech, resp. rejstřících, nebo sledujících přechody mezi nimi. Uvedeny jsou metody pozorování a dělení, respektive popis subjektů (muži, ženy, hlasová klasifikace). Názvy rejstříků jsou uvedeny dle anglického originálu.

## **6.2 Charakterizace vibračních mechanismů, rejstříků a jejich přechodů**

### **6.2.1 M0 mechanismus (pulsní rejstřík, vocal fry):**

Percepčně je tento mechanismus charakterizován hlubokou polohou pod 70 Hz, která způsobí, že samotné doznívání hlasivkových pulzů je rychlejší, než nastane další puls (Titze, 1988). Výsledkem je samostatné odlišení jednotlivých pulzů, které působí percepčně pulsně.

Kromě samostatných pulzů, je velmi často v pulsním rejstříku pozorováno znásobení (zdvojení, ztrojení) kmitů (Whitehead et al., 1984), které nastává častěji u mužů než u žen (Blomgren, et al., 1998; Chen, et al., 2002) a je podobné diplofonii, resp. multiplifonii (Frič et al., 2006a). Na druhé straně práce (Hollien et al., 1977) nesouhlasila s tím, že „zdvojená“ fonace patří do skutečného pulsního rejstříku. Diplofonická fonace je naopak charakteristická pro patologické hlasy, nebo se také často vyskytuje na koncích fonačních frází při výrazném „povolení“ hlasu, projevujícím se výrazným poklesem výšky a intenzity (tzv. polknutí) (Bele, 2005). Diplofonie je také typická i při přechodu modálního rejstříku do falzetového (Frič, et al., 2006a; Frič, et al., 2006b; Švec, et al., 1996).

Akusticky se M0 mechanismus projevuje v nejhlubších tónech 24-70 Hz a dle (Blomgren et al., 1998; Chen et al., 2002) není rozdíl v jeho pozici mezi muži a ženami.

Pro M0 je charakteristickou velmi dlouhá doba uzavření a krátký otevřený pulz. CQEGG dosahuje ve vocal fry vyšší hodnoty než u modálu, ale ne větší hodnoty amplitud EGG signálu (Roubeau et al., 2009). CQEGG mají vyšší muži než ženy (Paul et al., 2011). Poměr otevírání k zavírání hlasivek (Speed quotient – SQEGG) je vyšší u vocal fry naproti M1, ženy měly v obou rejstřících vyšší hodnoty SQEGG proti mužům (Chen et al., 2002).

Studie (autor, rok)	metoda	dělení / subj.	velmi hluboká poloha	hluboká poloha (základní, normální)	střední poloha	vysoká poloha	velmi vysoká poloha
(Hollien, H., 1972)	F0, SPL, Spektrum	řeč	pulse	modal		loft	?? flute
			[vocal fry, creak]	[normal, chest, low mid, high]		[falsetto]	[pipe, whistle]
(Hirano, M. et al., 1989)		3M ten.		speech, head/chest		falsetto	
(Miller, D. G. et al., 1993)	EGG, aku., Psub.	F klas. sopr.				upper	flageolet
(Miller, D. G., 2000)	kmitání zdroje percepce			chest vibratory pattern		falsetto vibratory pattern	
		M:		chest, full head mezza voce		falsetto	
		F:		chest, belting		middle upper	flageolet
(Blomgren, M. et al., 1998)	aku, perc.	10 M, 10 F	vocal fry	modal			
(Sundberg, J. et al., 1999)	flow, perc.	11 F netrén		chest	middle		
(Sundberg, J. et al., 2001)	flow, Psub.	M: 4Br, 5T, 5Ct		modal		falsetto	
(Chen, Y. et al., 2002)	EGG	5M 5F	vocal fry	modal			
(Henrich, N., 2006)	EGG		M0	M1		M2	M3
			[pulse, vocal fry, strohnbass]	[modal, chest, male head, belting]		[falsetto, loft, female head, upper]	[flute, whistle, flageolet, bell]
(Miller, D. G. et al., 2005)	aku	F klas.		chest	middle		
(Neumann, K. et al., 2005)	EGG, aku	11 M klas.		chest	chest		
				chest	fully head		
(Li, N. Y. K. et al., 2006)	VRP	F 15 netr. 15 hyperf.		modal		falsetto	
(Bjorkner, E. et al., 2006)	flow	7 F klas.		chest		head	
(Švec, J. G. et al., 2008)	VKG, EGG, aku	1 F netrén.		chest		head	whistle
(Salomao, G. L. et al., 2008)	inv. filt, EGG	13 M poloprof.		modal		falsetto	
(Echternach, M. et al., 2008)		1 T 1 Bar.		modal		falsetto	
(Herbst, C. T. et al., 2009)		1 M		full chest, lyrical chest		cotratenor falsetto, naïve falsetto	
(Roubeau, B. et al., 2009)	EGG	M+F	M0	M1		M2	M3
			[fry, pulse, strohnbass, voix de contrebasse]	[modal, normal, chest, heavy, thick, voix mixte M, mixed M, voce finta M, head operatic M]		[falsetto, head, loft, light, thin, voix mixte F, mixed F]	[Whistle, flageolet, flute, sifflet]
(Garnier, M. et al., 2010)		12 sopránů				full head	fluty resonant
(Echternach, M. et al., 2010a)		M netrén.		modal		falsetto	
(Echternach, M. et al., 2010b)		4 klas F		modal	middle	upper	
(Echternach, M. et al., 2011a)		20 M netrén.		modal		falsetto	
(Herbst, C. T. et al., 2011)	EGG, VKG, Strobo	M+F:		chest adduced / abducted		falsetto adduced / abducted	
(Paul, N. et al., 2011)	EGG		vocal fry	modal			
(Echternach, M. et al., 2011b)	MRI	7 M kontraten.		modal		stage, naïve falsetto	
(Kochis-Jennings, K. A. et al., 2012)	EMG, aku, strobo	F klas.		chest	headmix	head	
		F nekl.		chest	chestmix	head	
(Lamesch, S. et al., 2012)	VRP	kontraten., mezzosop.		M1		M2	
(Garnier, M. et al., 2012)	EGG, HSI, aku	12 sopránů				M2 upper middle, full head	M3 fluty resonant, upper, flageolet
(Andrade, P. A., 2012)	EGG	13 M klas.		passaggio	primo		
(Echternach, M. et al., 2012)	EGG	8 M klas tenor.		modal		naïve falsetto	
				modal	voix mixte		
(Echternach, M. et al., 2013)	HSI	1 F klas.				head	whistle

**Tabulka 1** Přehled citovaných studií zabývajících se hlasovými rejstříky, případně přechody mezi nimi. Metody: EGG – elektroglotografie, VKG – videokymografie, HSI (high speed imaging) – vysokorychlostní laryngoskopie, MRI – magnetická rezonance, VKG – hlasové pole, aku – akustické, Flow – glottal flow, inverzní filtrace, stroboskopie a percepční hodnocení. Skupiny: M - muži, F - ženy, klas. -klasicky trénované, netrén. - netrénované, hlasové kategorie: soprány, mezzosoprány, Br – barytony, T- tenoři, Ct- kontratenoři.

Diplofonická fonace se projevuje znásobením (zdvojením, ztrojením) kontaktních vrcholů na EGG, VKG, HSI záznamech, což může souviset s kmitáním hlasivek i ve vyšším módu v podélném směru, tedy s větším počtem uzlů a kmiten podél hlasivek (např. viz (Švec, 1996)). Ve spektru M0 rejstříku, tedy kromě 1. typu – periodického signálu (dělení dle (Titze, 1995)) s harmonickou strukturou u jednotlivých kmitů, je možné pozorovat i signál typu 2 se subharmonickou (resp. interharmonickou) strukturou (Cavalli et al., 1999; Frič et al., 2006a). To se projevuje podstatně vyšší mírou drsnosti a naměřenými perturbacemi (jitter, shimmer) vůči modální fonaci (Blomgren, M. et al., 1998).

Vysoké hodnoty CQEGG a přítomnost zdvojení EGG signálu dle (Roubeau et al., 2009) ukazují na výraznou laterální kompresi a významnou složku vibrující hmoty (větší než v jakémkoliv jiném rejstříku). Společně s hlubokou frekvencí možno předpokládat významně nižší aktivaci externího napínače hlasivek (m. cricothyroideus). Naměřeny byly i nižší hodnoty průtokové rychlosti a tlaku vzduchu než u modálního rejstříku (Blomgren et al., 1998).

Přechod z M0 do M1 mechanismu je v zásadě nespojitý s výraznou změnou výšky, ale také se změnou barvy zvuku (výrazné snížení drsnosti). Dle (Roubeau et al., 2009) není mezi M0 a M1 mechanismy výškový překryv (neexistují amfoterní tóny), vocal fry leží cca o 1 oktávu pod běžnou výškou modálního rejstříku u mužů a o 2 oktávy u žen (Blomgren, M. et al., 1998).

## 6.2.2 M1 mechanismus (modální, hrudní, mužský hlavový, full head)

M1 mechanismus kmitání je základním typem kmitání hlasivek, typický pro běžnou řeč mužů i žen, ale taky charakteristický pro klasický zpěv mužů (Miller, 2000) nebo pro neklasický zpěv mužů i žen. V klasickém zpěvu mužů se tento vibrační mechanismus dále percepčně dělí na *hrudní* a *hlavový*, (resp. označovaný jako *voix mix*, *full head*, *mezza voce*). U neklasických stylů zpěvu žen, ale také u klasického zpěvu mužů je k hrudnímu rejstříku přiřazována speciální technika „*belting*“ typická pro vysoké polohy a vysoké intenzity hrudního rejstříku (Miller, 2000), který dle (Kochis-Jennings et al., 2012) leží nad *passaggio primo* v chest rejstříku.

Akusticky je pro tento rejstřík typický pokles zdrojového spektra -12 dB/oktávu, tónový rozsah M1 rejstříku přesahuje u mužů 2 oktávy, u žen se zdá být mírně menší, jeho tónová poloha je výrazně ovlivněná hlasovou kategorizací. M1 rejstřík je typický významnou aktivací TA svalu, a tedy i schopností vytvořit vyšší intenzitu než u M2 rejstříku (vzhledem k stejnému rozsahu). (Lamesch et al., 2012)

EGG signál má u M1 typický tvar s relativním plató v široké oblasti kontaktu hlasivek a následně vyklenutím (knee) v místě otevíracího vrcholu identifikovatelného v první derivaci EGG (DEGG). Kontaktní koeficient CQEGG je v rozsahu 0,2-0,7 (OQ: 0,3-0,8 (Henrich, 2006)), muži mají většinou vyšší CQEGG než ženy (Paul et al., 2011). CQ je zásadní parametr odlišující M1 a M2 rejstřík. Vyšší hodnoty CQ v M1 mechanismu a s tím souvisí i menší rozdíl H1-H2 v M1 a menší pokles vyšších složek spektra (Hirano, et al., 1989; Salomao, et al., 2008). Dle inverzní filtrace jsou v M1 vyšší hodnoty CQ, subglotického tlaku a MFDR a nižší hodnoty NAQ (Bjorkner et al., 2006). Subglotický tlak byl vyšší u tenorů a barytonů v modálním rejstříku než ve falzetu, ale u kontratenorů naopak (Sundberg et al., 2001).

Aktivita svalů CT a TA se v M1 postupně zvyšuje s výškou a intenzitou, TA dosahuje v nejvyšších tónech M1 nejvyšší aktivity, která rapidně klesá při přechodu do M2 rejstříku, kde je v zásadě (velmi výrazně) aktivován hlavně CT. Na základě toho kmitá v modálním rejstříku větší objem hmoty hlasivek zahrnující jak vnitřní část TA svalu, tak sliznici. Hlasivky jsou tlustější než ve falzetu (Švec, 1996). Dle nastavení míry addukce a medializace

membranózní části hlasivek studie (Herbst et al., 2011) rozlišovala abdukovaný/addukovaný chest register jak u mužů, tak u žen. Neklasické zpěvačky využívaly v M1 mechanismu chest a chestmix rejstříky (Kochis-Jennings et al., 2012), kde chestmix měl víc energie v oblasti základní frekvence než chest, ale měl menší aktivitu TA a menší míru addukce, aktivita CT v této studii byla dána zejména výškou.

Percepční odlišení M1 mechanismu, resp. hrudního rejstříku bylo na jedné straně prokázáno v sérii různých poslechových testů s falzetovým rejstříkem jako jednoznačné (Keidar et al., 1987), na druhé straně při hodnocení nucenou volbou byla shoda jenom 80 % (Salomao et al., 2008). Identifikace rejstříků nebyla konzistentní při přechodu chest-middle u netrénovaných žen (Sundberg et al., 1999). Hodnocení na VA škálách s hlavovým rejstříkem byla shoda jenom 65 % (Bjorkner et al., 2006), při hodnocení vocal fry dosahovalo 95 % v (Blomgren et al., 1998). Neshody hodnotitelů jsou v zásadě výraznější v oblastech přechodu než na jejich externích koncích typických pro daný rejstřík (Bjorkner et al., 2006).

Překrývání M1 a M2 bylo dokumentováno až v rozsahu 1,5 oktávy (Lamesch et al., 2012), přechod z M1 do M2 je typický poklesem amplitudy EGG a zkrácením doby kontaktu hlasivek, zrychlením poklesu a nižšími intenzitami vyšších spektrálních oblastí. Přechod mezi hrudním a vyšším rejstříkem může být náhlý nebo i pozvolný (Echternach et al., 2011a). U hyperfunkčních poruch žen byl pozorován přechod do falzetu v nižších polohách na rozdíl od zdravé skupiny (Li et al., 2006). V případě náhlého zlomu, resp. skoku, se většinou pozoruje přeskok základní frekvence, náhlá změna CQ a sklonu spektra (Roubeau et al., 2009).

U kontratenorů studie (Echternach et al., 2011b) sledovala rozdílné nastavení vokálního traktu v závislosti na typu přechodu z modálního do neškoleného (naïve) nebo do profesionálního (stage) falzetu. Rozdíly byly pozorovány zejména v míře otevření čelisti a úst, snížení a naklonění hrtanu. U profesionálního falzetu bylo pozorováno větší otevření rtů a šířka pharyngu. U žen se však nenašly obecné jednoznačné změny při přechodu z modálu do middle rejstříku (Echternach et al., 2010b), ani významná změna polohy formantů (Sundberg et al., 1999). U profesionálního tenoru a barytonu studie (Echternach et al., 2008) pozorovala výraznější změny vokálního traktu při snaze udržet modální rejstřík. Naopak, samovolný přechod do falzetového rejstříku nastal při dodržení trendu změn vokálního traktu pozorovaných v průběhu nárůstu výšky v hlubším rejstříku.

(Miller et al., 2005) popisuje techniky klasických zpěvaček při překrytí přechodu chest a middle rejstříků udržením intenzity harmonických složek ve vyšších formantech. (Hertegard et al., 1990) u profesionálních klasických zpěváků považuje za zásadní techniku překrytí (covered) přechodů rejstříku pomocí rozšíření a prodloužení hltanu, čímž se sníží poloha prvního formantu (v studii je taky popisováno zvýšení polohy druhého formantu). Uvedeným způsobem se posílí intenzita hlubokých harmonických složek a zvýší se průtok vzduchu přes glottis. Studie (Andrade, 2012) popisuje přechod passaggio primo u profesionálních tenorů, kde po přechodu je patrné významné snížení prvních tří formantů, prodloužení vokálního traktu, ale taky zvýšení kontaktní plochy hlasivek. Studie spekuluje o zvýšení tloušťky hlasivek po passagio na základě zvýšení kontrakce TA z izotonické na izometrickou.

(Roubeau et al., 2009) u přechodů M1-M2 tvrdí, že samotná přítomnost přechodu na EGG signálu (zmenšení amplitudy EGG a změna tvaru kmitů) není závislá na pohlaví ani tréninku, ale její percepční prezentace – změna barvy může být ovlivněna tréninkem. Změna F0 byla menší u mužů než u žen. V EGG netrénovaných mužů ale nebyl rozdíl mezi modálem a přechodovou oblastí (Echternach, et al., 2010a).

Změna M1-M2 mechanismů vykazuje hysterezi, tedy přechodový tón se nachází ve vyšší poloze při vzestupných a v nižší poloze při sestupných řadách tónu, případně glissandu (Roubeau et al., 2009). Hystereze byla pozorována i při excidovaném hrtanu (Švec et al.,

1999). Změna mechanismu při drženém tónu může být spjatá s náhlým přeskokem F0. V případě, že nenastane skok F0, bývá výrazný rozdíl v intenzitě hlasu. Například utlumení intenzity ve vysokých tónech v M1 a následně změna rejstříku (pozorována na EGG), ale bez výraznější změny barvy (Roubeau et al., 2009), což je jeden z možných vysvětlení překrývání přechodu rejstříků.

Rezonanční změny jsou nejčastěji popisovány změnou způsobu ladění formantů. (Švec et al., 2008) u přechodu hrudní – hlavový rejstřík jedné nezpěvačky popisuje změnu z ladění F2:3F0 na F1:F0. Ve stroboskopii byl hrudní rejstřík s úplným uzávěrem glottis, v hlavovém byla minimální insuficience v zadní části. U profesionálních klasických pěvců (Neumann et al., 2005) byla pozorována změna strategie ladění formantů při přechodu chest – fully head rejstříků, v hrudním rejstříku dominovalo F1:H2 a F2:H4 ladění, kdežto v hlavovém rejstříku už jenom F2:H3 a H4 byla výrazně redukována, F1 výrazně poklesl. Naopak, při udržení chest rejstříku byl zachovaný trend F1:H2 a F2:H4 ladění do nejvyšších poloh. CQEGG nevykazovalo změnu. Podobně i ve studii (Echternach et al., 2012) se přechod modal – voix mixte u profesionálních tenorů neprojevoval změnou CQEGG signálu, ale při přechodu do naíve falsetto se podstatně snížil. Voix mixte byl sice tvořený ve vyšší intenzitě, zato se dal podstatně hůře percepčně identifikovat. Jitter a RAP narůstaly i ve falzetu i ve voix mixte ve stoupavém glissu, ale nebyly naměřeny vyšší hodnoty perturbací ve vyšších polohách při klesavém glissandu. Shimmer obecně klesal s výškou. Studie hypotetizuje, že využití klesajících hlasových cvičení může pomoci stabilizovat oblast nad passagio.

Přechodová oblast modálního rejstříku a falzetu je typická zvýšením perturbací (Echternach et al., 2010a), které se ještě zvýrazňují po přechodu do falzetu (Echternach et al., 2011a), v případě pozvolného přechodu bez skoku F0 ale nebyly u netrénovaných mužů pozorovány perturbace.

### 6.2.3 M2 mechanismus (falzet, ženský hlavový rejstřík):

M2 mechanismus je charakteristický pro vyšší části rozsahu hlasu mužů i žen, v zásadě ho využívají pro zpěv zejména klasicky trénované ženy. (Miller, 2000) tento mechanismus nazývá „*false voice source*“, u žen ho dělí na *middle* a *upper* (percepční) rejstříky. (Kochis-Jennings et al., 2012) M2 u žen dělí na *headmix* a *head* rejstřík, které se odlišují sklonem spektra a aktivitou TA svalu.

Podobně jako pro chest, i pro falsetový rejstřík studie (Herbst et al., 2011) rozlišuje na základě addukce chrupavčité části a medializace membranózní části *addukovaný* a *abdukovaný* falzet (*false*). V pilotní studii (Herbst et al., 2009) na jednom klasicky trénovaném barytonu jsou nazývány *cotratenor* a *naíve false*, (Echternach et al., 2011b) u profesionálních kontratenorů popisuje *stage* a *naíve false*, zásadní rozdíl se ukazuje v otevření rtů a šířky pharyngu dle MRI. Netrénované osoby s největší pravděpodobností tvoří falzet bez dovržení hlasivek s výrazně dyšnou příměsí.

Falsetový hlas má naproti modálnímu „tenčí“ (*thiner*) barvu, projevující se výraznějším poklesem zdrojového spektra (-18 dB/okt.), a tím pádem i výrazně potlačenou intenzitou vyšších harmonických složek. V elektroglografii je patrná redukce kontaktu hlasivek CQEGG 0,05-0,5 (OQ: 0,5-0,95 (Henrich, 2006)), pokles amplitudy EGG signálu a více sinusoidní tvar na rozdíl od modálního (Sundberg et al., 1999). CQEGG mají vyšší muži než ženy (Paul et al., 2011). Při M2 mechanismu je redukována mediální vibrující část hlasivek, kde kmitá zejména kryt hlasivek, výsledkem je i výraznější redukce fázového posunu mezi kmitáním horního a dolního okraje hlasivek na rozdíl od M1 mechanismu.

Tónový rozsah M2 u trénované skupiny může být podobně rozsáhlý (posunutý do vyšší polohy) jako v M1, u žen dokonce větší (Lamesch et al., 2012). Ale například u žen

s hyperfunkcí byla pozorována výrazná redukce falzetu v nejhlasitější dynamice (Li et al., 2006).

Přechod middle – upper u klasicky trénovaných žen nastává v intervalu cis''–gis'' (C#5–G#5) (Echternach et al., 2010b). Výrazná změna vokálního traktu se objevila, když F0 dosáhla F1 – rozšíření rtů, rozšíření rozevření čelistí a elevace hřbetu jazyka, kontinuální změny v závislosti na výšce byly u elevace uvuly a rozšiřování pharyngu.

Přechod do vyššího mechanismu kmitání M3 u glissanda je podobný jako u přechodu M1–M2, kdy nastává náhlá změna amplitudy EGG, případně skok F0.

#### 6.2.4 M3 mechanismus (whistle, flageolet):

*Flažoletový* rejstřík se nachází v nejvyšších polohách hlasu. Z objektivního hlediska je nejméně popsáný. Profesionálně ho používají koloraturní soprány, kde má výrazně flétnový charakter. Starší teorie předpokládaly, že se tvoří podobným způsobem jako při pískání. Až rozvoj vysokofrekvenčních snímacích metod potvrdil, že i v nejvyšších tónech se podílí na tvorbě tónu kmitání hlasivek.

Studie (Švec et al., 2008) na jedné netréované ženě ukazuje dva přechody v oblasti mezi head a *whistle* nad e'' (E5), kde narostla SPL, a další nad 1000 Hz, kde SPL klesla, vytratily se vyšší harmonické složky a hlasivky ve střední třetině na videokymografii nevykazovaly kontakt. Na druhé straně u klasicky trénované sopranistky bylo pomocí vysokofrekvenční laryngoskopie při snímací frekvenci 20000 obrázků/s prokázáno úplné dovření a kmitání v celé délce hlasivek až do nejvyšší frekvence (g''', G6 – 1568 Hz) (Echternach et al., 2013).

Na odlišení flageolet rejstříku se dle dosavadních teorií výrazně podílí rezonance vokálního traktu. Dle (Miller et al., 1993) se flageolet nachází v oblasti, kde F0 je vyšší než přirozená poloha prvního formantu, dále popisuje, že upper rejstřík je oblast, kde první formant ladí s první harmonickou (F1:F0 – ladění).

Studie (Garnier et al., 2012) ale přímo dokazuje existenci M3 mechanismu, tím že se při přechodu z M2 na M3 zvyšuje OQEGG a snižuje amplituda EGG signálu, což dokumentuje zmenšování kontaktní plochy hlasivek. Dále EGG signál se stával více symetrický a SPL po přechodu narůstala a vyšší harmonické složky byly slabší. Náhlé změny frekvence a nestabilitu dokumentuje ve třech oblastech nad c'' (C5), což interpretuje jako možný překryv mechanismů v celé oblasti C5–C6 (typický rozsah upper rejstříku). Studie přímo předpokládá, že koloraturní soprány jsou schopny již od C5–F5 použít M3 mechanismus, což je téměř o oktávu níže, než uvádějí jiné studie pro flageoletový rejstřík. Lyrické a dramatické soprány dle studie používají pro tóny nad e'' (E5) mechanismus M2, percepčně označený jako full head.

(Garnier et al., 2012) vysvětluje Millerovo dělení vysokých sopránových rejstříků (Miller, 2000) změnou laryngálního mechanismu z M2 na M3 mezi upper middle a upper rejstříky, další dva přechody jsou spojeny s nástupem efektu ladění formantů. V M2 mechanismu jsou tvořeny lower middle a upper middle, jejich percepční odlišení je dáno nástupem ladění R1:F0 při jejich přechodu. V M3 jsou tvořeny upper a flageolet rejstříky, jejich odlišení je v tomto případě dáno nástupem ladění R2:F0.

(Garnier et al., 2012) ale k uvedeným přechodům doplňuje další dvě strategie. První typ využívají většinou koloraturní soprány, kde použijí percepční přechod na spodní hranici využívající R1:F0 ladění, které je možné již od C5 (typický přechod lower middle a upper middle rejstříků), a zároveň ho spojí s přechodem mechanismů M2 do M3. Druhá strategie, typická spíše pro lyrické a dramatické soprány, využívá rozšíření M2 mechanismu až do okolí c''' (C6), kde je zároveň horní hranice R1:F0 ladění. Tímto způsobem ukazuje, že nad passaggio přímo přechodem můžou soprány prokazovat ještě další dva anebo tři přechody, ale ty mohou být buď charakteru přechodu M2–M3, anebo změnou rezonanční strategie.

## 6.2.5 Sumarizace přechodů mechanismů a percepčních rejstříků

Uvedené charakteristické črty a rozdíly jednotlivých mechanismů a rejstříků, resp. přechodu mezi nimi, jenom více rozšiřují již dříve popsané faktory ovlivňující tvorbu rejstříků (Švec, 1996): 1) konfigurace hrtanu – fonační nastavení (mechanismus oscilací hlasivek); 2) rezonance vokálního traktu – formantové nastavení ovlivňující výsledné spektrum; 3) interakce rezonancí subglotického a vokálního traktu s oscilacemi hlasivek.

Dle uvedeného přehledu je tedy možno uvažovat, že typické změny při přechodu mezi dvěma laryngálními mechanismy se projeví významnými změnami tvaru a amplitudy elektrolotografického signálu, které jsou dány zejména kontaktní plochou a typem uzavření hlasivek. U netrénovaných hlasů jsou změny mechanismů většinou spojeny s náhlým skokem výšky a také s náhlou změnou sklonu spektra. Mohou se projevovat i nepravidelným kmitáním a perturbacemi. Percepčně se změna laryngálního mechanismu většinou projeví náhlou a výraznou změnou barvy a kvality hlasu. Vibrační mechanismy jsou tedy výrazně percepčně i objektivně odlišitelné.

Ostatní, méně výrazné změny, způsobují nejednotnou identifikaci přechodů posluchačem. Lze je obecně pozorovat v rámci jednoho mechanismu kmitání hlasivek, ale jsou charakteristické specifickými změnami barvy nebo i kvality zvuků. V hlasové pedagogice jsou tyto změny spojovány zejména se změnou typu rezonance hlasu. Z akustického hlediska jsou dokumentovány spíše postupnými změnami, například různým způsobem ladění formantů, změnou dominance jednotlivých harmonických, resp. celé části vyšších harmonických složek. Trénovaný posluchač tuto změnu zachytí a nejčastěji hodnotí jako přechodovou oblast (passaggio) mezi dvěma percepčními rejstříky.

Jinými slovy, změna vibračních mechanismů hlasivek se na hlase projeví velmi výraznou změnou v barvě zvuku. Podrobnější percepční dělení rejstříků uvnitř vibračních mechanismů se opírá o jemnější percepční změny, popisované zejména specificky trénovanou skupinou posluchačů. Tyto změny se propojují i s hlasovou rezonancí. Touto úvahou tedy vzniká nový, typický psychoakustický problém pro hledání charakteru (typu) a velikosti percepčních změn spojených s přechody mechanismů kmitání hlasivek, v kontrastu se specifickými změnami percepčních rejstříků.

## 6.3 Rezonance hlasu

Rezonance je termín používaný v různých oblastech vědy a života s relativně rozličným významem. V širším slova smyslu rezonance označuje jev souznění, sounáležitosti, sladění, dále je pojímán i jako označení ozvěny, odezvy nebo citlivosti, vzbuzení podobných citů (na konkrétní osoby, předměty nebo jevy) (Kraus, 2005). Ve fyzice znamená rezonance jev, ke kterému dochází v různých (např. akustických) systémech při shodě kmitočtu vnuceného zdrojem s vlastním kmitočtem daného systému. Charakteristickou črtou rezonančního jevu je zesílení amplitudy vynuceného kmitání na tomto tzv. rezonančním kmitočtu (Pflegerová et al., 2004). Jinými slovy v akustice je to obvykle přirozený jev akustického systému, který je schopen zesilovat konkrétní spektrální pásmo, na které je tento systém naladěn.

Ve vokologické literatuře často citované definice (Verdolini et al., 1998; Titze, 2004; Smith et al., 2005) popisují rezonovaný hlas jako souhrn vlastností:

- percipovaný jako dobře nosný (nesený, „projected“),
- lehce tvořený,
- přiměřeně hlasitý,
- s pocitem vibrací v oblasti tváře.

Dle přístupů při hlasové edukaci, reedukaci i rehabilitaci poruch hlasu je „správná“ rezonance hlasu jedna ze základních technik tvorby mluvního i zpěvního hlasu (Havlík et al., 2007; Sellars et al., 2002; Simberg et al., 2007; Verdolini et al., 2000; Verdolini-Marston et al., 1995). I když je pojem hlasové rezonance velmi často používaný, z akustického ani percepčního hlediska doposud není jednoznačně exaktně vysvětlen.

Hlasová pedagogická literatura dělí rezonanci hlasu na hrudní, hlavovou a smíšenou – přehled viz.: (Kadlecová et al., 2012). Samotný efekt rezonance se spojuje zejména s taktilní percepcí kmitáním hrudního koše a kostí hlavy (v tzv. „masce“) (Barrichelo et al., 2007; Havlík et al., 2007; Titze, 2004; Verdolini-Marston et al., 1995).

Schopnost vnímání a její souvislost s kmitáním hrudního koše v hlubokých frekvencích byla dobře dokumentována (Sundberg, 1979; Sundberg, 1991), ale uvedený jev nebyl doložen pro hlavový rejstřík kvůli výraznému zvyšování prahu detekce vibrací při vyšších frekvencích. Studie (Yiu et al., 2012) dokumentuje možnosti snímání vibrací hrtanu a kostí hlavy pomocí piezoelektrických akcelerometrů. Výsledky potvrdily významnou korelaci vibrací těchto částí s percepcí rezonance hlasu. Výraznější bylo kmitání kořene nosu při rezonovaném hlasu, ale také při tlačeném, v obou případech však bylo větší než při habituálním projevu. Větší vibrace byly naměřeny také při nazalizovaných zvucích oproti nenazálním. Studie dokumentuje jenom střední shodu dvou hodnotitelů při percepčním hodnocení rezonance. Tlačený (strained) hlas, tedy podobně jako rezonovaný, způsobuje zvýšení vibrací v oblastech hrtanu i kořene nosu, rezonovaný hlas se ale odlišuje menší percipovanou tenzí.

Výše uvedené procesy taktilního vnímání vibrací různých částí těla ale nevysvětlují percepci rezonance hlasu posluchačem. Z percepčního hlediska je rezonovaný hlas popisován jako tvořený lehce, bez výrazného tlaku (tlačeně) a dyšnosti (Titze, 2001; Verdolini et al., 1998), je dostatečně hlasitý, srozumitelný, plný a nosný v prostoru.

Další vlastnosti spojené s rezonancí (Bele, 2005) jsou např.: „sonority“ – do jaké míry je hlas rezonovaný (sonorní hlas je bohatý na vyšší harmonické složky, což představuje následek rychlého uzávěru hlasivek nebo reaktance vokálního traktu), nebo vlastnost „zvonivost“ (ringing voice quality) – kombinovaný produkt silných vyšších harmonických složek a rezonancí vokálního traktu, kovová (metallic) barva hlasu. Studie (Bergan et al., 2004) odlišovala percepci ring a pressed kvalit jenom na základě odlišné energie v pásmu základní frekvence a prvního formantu, která byla vyšší u rezonovaného hlasu než u tlačeného. Oba typy byly ale spojeny s nárůstem intenzity v oblasti 2–4 kHz. Při nárůstu „skewing“ koeficientu glottal flow se energie toho pásma zvyšovala, ale při zužování plochy epilaryngální dutiny byla „rezonována“, což je v souladu s (Sundberg, 1974; Sundberg, 2001), viz níže.

Pojmenování druhů rezonancí hlasu však splývá i s označováním hlasových rejstříků hlasu (právě v klasickém operním pojmání), proto vyvstává otázka, co mají rejstříky a rezonance společné a v čem se odlišují? Z uvedeného je možné předpokládat, že rezonance hlasu má zvukově barevný podklad ve spojitosti také s kvalitou hlasu.

Akustické a fyziologické interpretace a teorie rezonance hlasu uvedené jevy vysvětlují na základě různých jevů:

- 1) **Efektivní kmitání hlasivek.** Rezonanční efekt hlasu má zpětný vliv na kmitání hlasivek, kterým umožní maximální akustický výkon bez zvýšené addukční tenze (resp. na pomezí mezi addukovanými a abdukovanými hlasivkami) (Verdolini et al., 1998). (De Bodt et al., 2012) dokumentuje zlepšení hodnocení uzávěru glottis při rezonančním cvičení (využívajícím hlásku „m“) vůči habituálnímu hlasu. Dle (Titze, 1988) je kmitání hlasivek ovlivněno i rezonancí subglotického traktu (trachey), kde soufázní pozitivní tlak může podpořit kmitání v hrudním rejstříku, a naopak negativní tlak spíše falzetový rejstřík. Vliv



subglotické rezonance na amplitudu kmitání hlasivek potvrdila u poloviny excidovaných hrtanů studie (Austin et al., 1997).

- 2) **Vytváření extra-formantů.** V klasické pěvecké škole je typická barva profesionálních operních pěvců spojena s kovovým leskem a zvonivou barvou hlasu. Vytváří se pomocí pěveckého (singer's) formantu, tedy shlukováním 3. až 5. z původních (neškolených) formantů hlasu do jednoho formantu. Výsledkem je výrazné akustické posílení oblasti 2,3–3,5 kHz (Sundberg, 1974; Sundberg, 2001), které se projeví ve velmi citlivé sluchové frekvenční oblasti, čímž se pěvec stává dobře slyšitelný při zpěvu s orchestrem. Uvedené spojení formantů je dosaženo snížením pozice hrtanu, rozšířením laryngální dutiny, zúžením vchodu do hrtanu současně s rozšířením faryngu. Pomocí modelu vokálního traktu bylo prokázáno, že právě laryngální dutina nejvíce ovlivňuje 4. formant v oblasti 3 kHz a nezávisle na vokalických formantech umožňuje zesílení této oblasti až o 10 dB (Takemoto et al., 2006). Studie (Lee et al., 2008) ale také udává pro hlas profesionálních pěvců zesílení oblasti 9–10 kHz, resp. 8– kHz v závislosti na typu hlasu a hlasové kategorii.

V případě profesionálních mluvčích byl pozorován podobný efekt, tzv. „řečnický“ (speaker's/actor's) formant v mírně vyšší spektrální oblasti 3-4 kHz ale s nižší akustickou hladinou (Bele, 2006; Leino et al., 2011). (Leino et al., 2011) vysvětluje tento formant klastrováním zejména 4. a 5. formantu a jeho vyšší spektrální polohu na rozdíl od pěveckého tím, že pěvci výrazně snižují polohu hrtanu.

- 3) **Efekt ladění vokalických formantů,** tedy přizpůsobení formantových oblastí 1. a 2. vokalického formantu k výšce hlasu, a tedy naladění na jednotlivé harmonické složky.

Efekt nelineární interakce mezi kmitáním hlasivek a rezonancí vokálního traktu nastává v případě, kdy základní frekvence (resp. 2. nebo 3. harmonická složka) je naladěna těsně pod frekvencí prvního formantu (F1). V takovém případě nastává zvětšení maximálního průtoku přes glottis (peak glottal flow), zesílení amplitudy vibrací hlasivek a parametru MFDR (maximum flow declination ratio), což umožňuje řízené efektivní kmitání hlasivek se zvýšeným průtokem přes glottis a celkové zesílení hlasu až o 10 dB. Stupeň této interakce je regulovaný plochou průřezu epilaryngeální dutiny, která působí jako „matcher“ (dohazovač) mezi hlasivkami a vokálním traktem. Titze dále hypotetizuje, že uvedené podladění F1 a první až třetí harmonické složky (H1, H2, H3) může být podkladem pro pocit vibrací v oblasti tváře. (Titze, 2001; Titze, 2004)

### 6.3.1 Efekt ladění formantů ve vokologii

Sledování efektu ladění vokalických formantů k harmonickým složkám přímo souvisí s výškou produkovaného tónu. Jako pozitivní se tento jev považuje v případě, když se pozice rezonancí vokálního traktu (nebo formantů) přiblíží k jednotlivým harmonickým složkám a obdobná pozice je systematicky držena v určitém tónovém rozsahu, tedy se posouvá ve spojitosti s výškou hlasu. V (Henrich et al., 2011) byla za kritickou vzdálenost ladění formantu a harmonické složky považována hodnota menší než 20 Hz. Pro hodnocení rezonančních vrcholů vokálního traktu jsou využívány jak klasické nepřímé metody určení poloh formantů (LPC, spektrální a keprální analýz anebo nastavování filtrů inverzní filtrace, v dalším textu budou označeny jako polohy formantů FX). Nepřímé metody ale neurčují skutečné vrcholy přenosové funkce a rezonance vokálního traktu a obecně selhávají ve vyšších frekvencích (nad 350 Hz). Nově se také používá metoda přímého měření odezvy vokálního traktu pomocí širokopásmového buzení (Epps et al., 1997) (v textu budou označeny jako RX rezonance), která je zase přesnější při větším rozestupu harmonických složek.

Experimentální studie sledující efekt ladění formantů mají velmi široký dopad v různých oblastech tvorby hlasu. U klasického zpěvu se ukázalo, že všechny typy hlasu tento efekt

přirozeně využívají zejména ve vyšších polohách svých pěveckých rozsahů (Henrich et al., 2011; Joliveau et al., 2004), kdežto v těch hlubších jsou rezonance vokálního traktu pevné a neovlivněné výškou hlasu. Efekt ladění se pozoruje zejména na prvních dvou rezonancích, vyšší rezonance se obecně zvyšují s výškou tónu, ale neladí s vyššími harmonickými. Samotné polohy prvních dvou rezonancí však nekorelovaly se SATB klasifikací (Henrich et al., 2011), což je v rozporu s předpoklady (Cleveland, 1977). Strategie R1:H1 a R2:H1 ladění byla pozorována u všech sopránů, ale u trénovaných již od hlubší polohy, na rozdíl od netrénovaných (Garnier et al., 2010). Na druhé straně percepční studie (Carlsson et al., 1992) na simulovaných vokálech (v relativně hluboké oblasti C3–C4) ukázala, že hlasoví pedagogové preferovali konstantní frekvence formantů, na rozdíl od stimulů s laděním 1. nebo 2. formantu. Proti využívání techniky ladění formantů u klasických zpěváků mužů také stojí studie (Sundberg et al., 2013). Ta ale vyhodnocovala polohy formantů nepřímo na základě inverzní filtrace.

Změna způsobu ladění formantů se ukazuje jako významná při přechodu rejstříků (Neumann et al., 2005). U hrudního ve vysokých polohách před *passaggio*, ale i v polohách nad *passagio* při udržení hlavového rejstříku dominovalo ladění F1:H2 a F2:H4, přičemž při přechodu do hlavového (fully head) byl pozorován přechod na F2:H3 ladění, H4 byla redukována, F1 výrazně poklesl. V dané studii byl sledován i elektroglograficky CQ, který se ale při uvedených přechodech neměnil (stoupal s výškou hlasu), proto je možné předpokládat, že uvedený jev popisuje percepční rejstříky, a ne přechod mezi vibračními mechanismy. (Sundberg et al., 2013) diskutuje o tom, že přirozeně v oblasti *passaggio primo* je F1 blízko H2, a proto pravděpodobně používají zpěváci techniku prohloubení F1, aby zabránili automatickému ladění, a tím nástupu změny barvy.

U sopránů (Garnier et al., 2010) byla diskontinuita ladění R1:H1 spojována se skokem, resp. zlomem hlasu u *glissanda*. Na druhé straně v oblasti překrývání dvou percepčních rejstříků (fully head a fluty resonant) pozorovala stejné strategie ladění formantů (jenom pro 2 subjekty), ale významné rozdíly v intenzitě hlasu, které byly o 10 dB tišší u fluty resonant. Dále byly u fluty resonant zjištěny větší hodnoty H1-H2 a odlišné strategie otevírání úst (fully head otevírání, fluty resonant zavírání). Studie dospěla k závěru, že existuje vícero artikulačních strategií pro dosažení stejného posunu rezonance vokálního traktu.

Další významný vliv ladění formantů byl dokumentován mezi neklasickými pěveckými styly. Dle (Bourne et al., 2012) u stylu *belt* byla pozorována strategie ladění R1:H2 a obecně vyšší poloha R1 než u *legit*, ale rozdíly nebyly pozorovány u R2. Legit však byl spojován s vyššími hodnotami koeficientu otevření hlasivek (OQ), čímž byl považován za bližší klasickému zpěvu, resp. k M2 mechanismu kmitání. Naopak *chesty* a *twangy belt* se odlišovaly strategií ladění R2. U *twangy belt* bylo pozorováno systematické ladění R2, navíc obecně ve vyšší frekvenční poloze než *chesty*, rozdíly mezi uvedenými styly ale nenastaly v glotických parametrech (CQ).

(Boersma et al., 2006) dokumentuje ladění F1:H2 u techniky chorvatského zpěvu „*ojkanje*“ v celém rozsahu výšky. Studie (Barlow et al., 2010) předpokládala větší rezonanci (ladění F2) u musical theater (MT) stylu dospívajících zpěvaček, projevující se výraznějším posílením 3.–5. harmonické složky, na rozdíl od klasického operního stylu. Toto zesílení je pravděpodobně zodpovědné za „*bright*“ a „*edgy*“ barvu u MT stylu na rozdíl od kulaté (rounded) barvy u klasického zpěvu.

S ohledem na výše uvedené se ukazuje, že způsob ladění formantů souvisí nejenom s percepcí změn percepčních rejstříků, ale odlišuje i některé neklasické zpěvní techniky. Uvedené poznatky též potvrzují postupy v pěvecké pedagogice, které právě hlasové rejstříky propojují s hlasovou rezonancí.

## 7 Metodika experimentální části

Experimentální část obsahuje dva psychoakustické experimenty. Cílem prvního je rozeznat poruchy hlasu a jejich projevy z měření hlasového pole a ostatních akustických parametrů. Je zaměřen na hodnocení vlastností hlasu u mužů s různým typem a stupněm patologie. Cílem druhého experimentu je nalezení vztahů mezi kvalitativními vlastnostmi trénovaného hlasu a měřenými parametry. Je zaměřen na rozdíly mezi hlasem pěvecky trénované a netrénované skupiny studentek Pedagogické fakulty UK v Praze.

### 7.1 Charakterizace nahrávek, stimulů a poslechových testů

#### 7.1.1 Patologický hlas

##### Nahrávky hlasu

Pro experiment byly použity nahrávky hlasů dospělých mužů z databáze hlasových záznamů projektu EUREKA E! 2614 NEWVOICE.

Nahrávky byly pořízeny v laboratoři hlasové analýzy v MedicalHealthcom, s.r.o. autorem této studie v letech 2003-2005. Nahrávky byly provedeny ve speciálně upravené místnosti s minimální dobou dozvuku pomocí standardního elektretového mikrofону (vzdálenost od úst 10 cm) a standardní zvukové karty (44100 Hz vzorkovací frekvence, 16 bit rozlišení). Kalibrace systému proběhla nepřímou metodou – nahrávkou kalibračního signálu pomocí použitého mikrofónu a komparací naměřené hladiny s měřením pomocí zvukoměru.

Všechny nahrávky obsahovaly následující úkoly:

- 1) **habituální hlas** - čtení standardního textu „Podzim na starém bělidle“;
- 2) záznam „**zpěvního hlasového pole**“ (singing) – prodloužená fonace na slabiku „má“ v celém tónovém a dynamickém rozsahu hlasu subjektu;
- 3) habituální promluva a **co možno nejhlasitějšího zvolání** věty „Podejte mi pásku“.

Z celkového počtu 657 nahrávek byly pro experiment na základě předběžného zpracování údajů pacientů a poslechových testů vybrány jenom komplexní nahrávky hlasů 25 dospělých mužů s různou etiologií a stupněm poruchy hlasu s cílem co nejširšího záběru patologických vlastností hlasu. Diagnózy byly odečteny z databáze videolaryngoskopických a videokymografických záznamů uvedeného projektu, které byly stanoveny hlavním řešitelem projektu doc. MUDr. Františkem Šramem, CSc. – viz Příloha D.

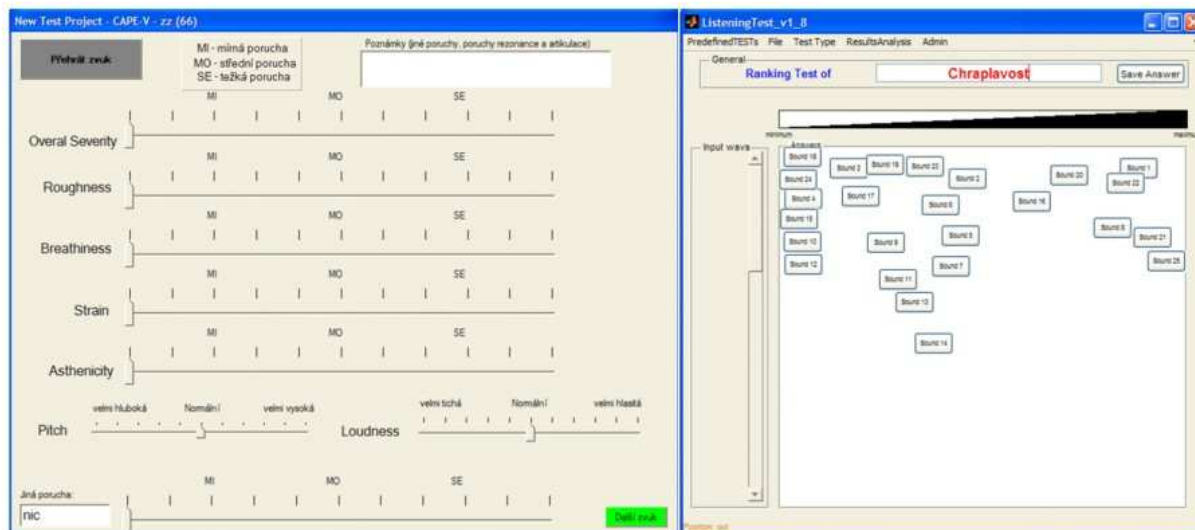
##### Poslechové testy

Poslechové testy byly provedeny v laboratoři experimentální psychoakustiky Výzkumného centra hudební akustiky HAMU v tiché akusticky upravené poslechové místnosti. Poslechové hodnocení probíhalo stereofonně pomocí sluchátek Sennheiser HD 580 precision. Testu ze zúčastnili 4 posluchači, z toho 2 ze středně až dlouhodobými zkušenostmi v hodnocení patologických vlastností hlasu (měli testové a retestové hodnocení) a 2 posluchači bez výraznějších zkušeností (každý provedl 3 hodnocení). Hodnocení habituálního hlasu probíhalo na vybrané sekvenci 5 vět, bylo prováděno na 10 bodové vizuální škále s možným posunem 0,5 dílku (viz Obrázek 7-1). Hodnoceny byly vlastnosti hybridního protokolu Hiranových GRBAS škál (Hirano, 1981) a CAPE-V protokolu (ASHA 3rd Division, 2002; Karnell et al., 2007): **celková porucha** (Grade), **chraplavost** (Roughness), **dyšnost** (Breathiness), **napětí** (Strain), **hlasová slabost** (Asthenicity), **abnormalita výšky** a **hlasitosti**. Poslechový test byl připraven v software LiTEd (Otčenášek et al., 2010).

Nácvikový test měl podobu seřadovacího testu a byly v něm hodnoceny jenom 2 vlastnosti chraplavost a dyšnost. Z důvodů časové náročnosti byly hodnoceny části

obsahující jenom první větu z celkové sekvence. S ohledem na základní dimenze barvy hudebních zvuků (Štěpánek a Moravec, 2004) byly provedeny ještě seřazovací testy pro hodnocení 2 psychoakustických dimenzí **tmavost** a **šířka**. Seřazovací testy byly připraveny v autorem vytvořeném software ListeningTest v prostředí MATLAB.

Podrobnější popis vlastností hlasu při měření zpěvního hlasového pole byl zaměřen na přechod mezi hlasovými rejstříky. Slovní popis prováděl jenom autor práce na při poslechu zpěvu stupnic a sledování pozice v hlasovém poli.



**Obrázek 7-1** Grafické rozhraní použitých software pro provádění poslechových testů. Vlevo škálovací hodnocení hybridního protokolu CAPE-V a GRBAS, vpravo rozhraní seřadovacího a škálovacího (VARR) hodnocení pro vlastnosti chraplavost, dyšnost, tmavost a šířka.

## 7.1.2 Efekt hlasového tréninku

### Subjekty

Do výzkumu efektu pěveckého tréninku na hlas se dobrovolně zapojilo 16 studentek pedagogické fakulty UK v Praze. jejich věk byl 21-30 let. Pro účely studie byly rozděleny do dvou skupin:

- 1) **trénovaná** skupina 7 studentek s edukací zpěvního hlasu (klasický operní styl) na úrovni konzervatoře;
- 2) skupina 9 **netrénovaných** studentek (nezpěvaček).

Všechny studentky před nahrávkou podepsaly písemný informovaný souhlas s nahrávkou a zpracováním dat. Stupeň hlasové trénovanosti byl určen pomocí osobního dotazníku, do kterého studentky zapsaly stupeň, formu a délku studia zpěvu a mluvní výchovy. Koefficient trénovanosti subjektů byl určen na základě váhovaného součtu počtu roků jejich aktivní pěvecké výchovy na úrovních: základní umělecké školy (váha 0,3), sborového zpěvu (váha 0,2), individuální přípravy v dospělosti (váha 0,7) a individuální pěvecké výchovy na úrovni konzervatoře, resp. vysoké umělecké školy (váha 1,0). Váhování bylo navrženo na základě předpokládaného vlivu konkrétního druhu tréninku na hlas dle zkušeností autora.

### Nahrávky

Nahrávky a akustické měření v reálném čase proběhly v laboratoři experimentální psychoakustiky HAMU ve speciálně upravené místnosti s minimálním dozvukem. Nahrávky byly přímo digitalizovány pomocí zvukové karty M-audio Fast track Ultra, 48 kHz vzorkovací frekvencí a 16 bit rozlišení. Akustický záznam byl pořízen pomocí kalibrovaného kondenzátorového mikrofону Sennheiser ME2, umístěného ve standardní vzdálenosti 30 cm

od úst v šikmém směru pomocí hlavového držáku (Guštar, 2012). Současně byl zaznamenán elektroglotografický signál (EGG) pomocí zařízení Laryngograf EGG-D100.

Nahrávky hlasů byly pořízeny dle metodiky souhrnně publikované v (Frič et al., 2007) a obsahovaly záznamy mluvního a zpěvního hlasu.

Úkoly mluvního hlasu:

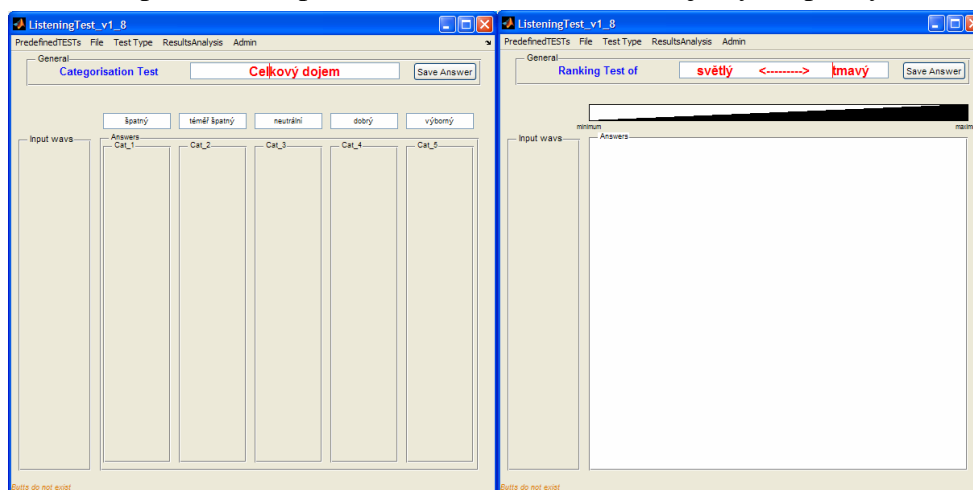
- 1) **Habituální mluvní hlas** – čtení standardního českého textu („Podzim na starém bělidle“) při normální hlasitosti a volném tempu.
- 2) **Hlasité čtení** standardního textu zvýšenou hlasitostí, ale bez přemáhání, volné tempo.
- 3) **Gradace volání** slova „máma“ (až do maximální hlasitosti).

Zpěvní hlas byl zaznamenán v úkolech:

- 4) **Zpěv tónových stupnic** (celého rozsahu zpěvního hlasu) - prodloužená fonace na slabiku „má“ pro střední dynamiku (*mf*) a následně pro co nejtíší (*pp*) a co nejhlasitější (*ff*) intenzitu hlasu.
- 5) **Zpěv lidové písně** („Já do lesa nepojedu“) ve všech tóninách (a, d, fis – dur), ve kterých byl subjekt schopen zpívat.

### Poslechové testy

Speciálně pro poslechové testy byly z původních nahrávek připraveny „stimulové nahrávky“. Pro mluvní hlas byly vybrány středové části původních nahrávek habituálního hlasu, konkrétně jedna úplná věta (délka cca 4 vteřiny). Pro hodnocení vlastností zpěvu byl vybrán první verš zpěvu lidové písně ze všech tónin, které subjekty zazpívaly.



**Obrázek 7-2** Grafické rozhraní při provádění poslechových testů efektu pěveckého tréninku na hlas. Vlevo kategorizační hodnocení celkového dojmu mluvního hlasu (použito obdobně pro hodnocení techniky zpěvu), vpravo rozhraní seřadovacího a škálovacího (VARR) hodnocení pro vlastnosti rezonance a dimenze světlost – tmavost jak u mluvního, tak u zpěvního hlasu.

Pro mluvní hlas byly stanoveny konečné poslechové testy:

- 1) **Celkový dojem** použití hlasu, kategorizační test (v 5 kategoriích: špatný, téměř špatný, neutrální, dobrý a výborný).
- 2) Seřadovací a škálovací test na stupnici 0-15 (Visual analog ranking and rating test, VARR), hodnocení **rezonance hlasu** (od nejhoršího po nejlepší).
- 3) VARR test pro hodnocení na škále **světlý** ↔ **tmavý**.
- 4) VARR test pro hodnocení na škále **volný** ↔ **napjatý**.

Pro zpěvní hlas byly vybrány dvě tóniny, jedna blízká střední zpěvní poloze hlasu všech žen – d'-dur a jedna o tercii výš s předpokladem technických problémů zpěvu netréované skupiny – fis'-dur. Tuto tóninu nezvládly zazpívat 3 ze 7 netréovaných.

U nahrávek lidových písní byly hodnoceny:

- 5) **technika zpěvu**, kategorizační test;
- 6) VARR test, hodnocení stupně **rezonance hlasu**;
- 7) VARR test pro hodnocení na škále **světlý ↔ tmavý**.

Poslechového testu se účastnili 2 hodnotící (oba s více než pětiletou zkušeností přípravy poslechových testů patologického i uměleckého hlasu). Pro zjištění opakovatelnosti a stability hodnocení (kromě hodnocení zpěvu ve vyšší tónině) se přibližně za týden po prvním hodnocení opakoval „retest“. Seřazovací i kategorické testy byly připraveny v autorem vytvořeném software ListeningTest v prostředí MATLAB.

## 7.2 Akustická měření

### 7.2.1 Měření hlasového pole a jeho editace

Metodika **měření hlasového pole** vycházela z doporučení UEP (Schutte a Seidner, 1983), která byla následně doplněná a modifikovaná pro měření řečového hlasového pole a měření ostatních hlasových úkolů dle (Emerich et al., 2005; Holmberg et al., 2007), blíže popsáno v (Frič et al., 2010). Při všech nahrávkách byla v reálném čase prováděna analýza hlasového pole s cílem kontroly maximálních rozsahů výšky a intenzity hlasu. Při vyšetřeních pacientů v MedicalHealthcom, byl za tímto účelem použitý program HlasPole. Nahrávky studentek Pedagogické fakulty byly v reálném čase sledovány pomocí systému RealVoiceLab (RVL) (Frič et al., 2012).

Všechny nahrávky jak pro účely poslechových testů a podrobnější analýzu segmentů mluvního hlasu i zpěvních úkolů byly separátně analyzovány v postprocessingu. Délka a posun časového okna pro analýzu byla zvolena 30/10 ms pro mluvní hlas, zpěvní hlasové úkoly u mužů s poruchou hlasu byly podobně analyzovány oknem 30/10ms a u studentek zpěvu oknem 40/10 ms.

Parametrizace měřených hlasových polí obsahovala průměrné, minimální a maximální hodnoty základní frekvence (F0) převedené na půltóny midi stupnice a hladiny akustického tlaku (SPL). Z nich byly odvozené parametry dynamický a tónový rozsah jako rozdíly maximální a minimální SPL, resp. výšky (v půltónech), plocha hlasového pole byla určena jako plocha oblasti vymezená horní a spodní SPL konturou v jednotkách [půltón x dB].

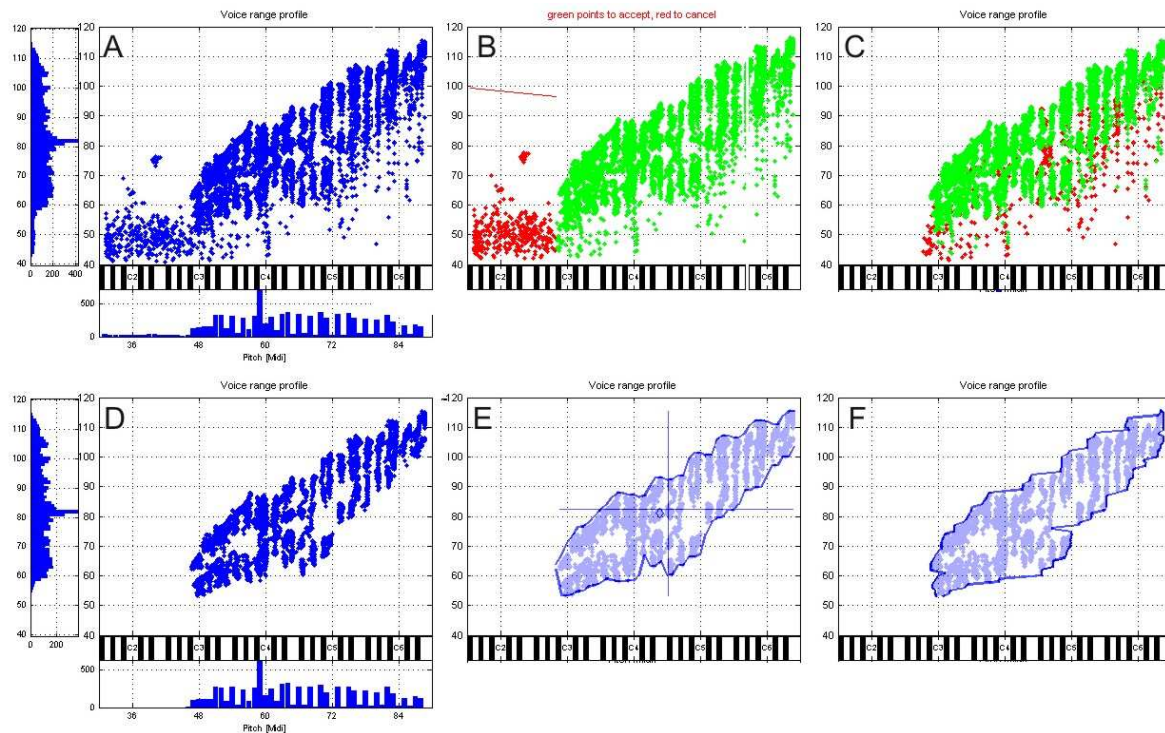
#### **Editace záznamů hlasových polí**

Samotná nahrávka v některých případech obsahovala delší pauzy, respektive část instrukcí od vyšetřujícího, nebo jiné rušivé signály. Tyto byly v nahrávce ručně eliminovány a dále pak byly samotné segmenty příslušného měřeného úkolu automaticky editovány předdefinovanými filtry, které odstranily segmenty s rychlou změnou nebo nestabilitou měření výšky nebo intenzity hlasu v čase.

Použitý postup editace ukazuje Obrázek 7-3, kde je znázorněno konkrétní měření hlasové pole při zpěvu stupnic (v střední, minimální a maximální intenzitě) u klasicky trénované sopranistky. Naměřené segmenty jsou zobrazeny v části obrázku A. Část B zobrazuje ruční filtraci segmentů odpovídajících šumu pozadí, resp. nahrávky instrukcí vyšetřujícího. Část C ukazuje časovou filtraci, kde byly odstraněny segmenty odpovídající zejména vysazení hlasu na konci fonace. V případě potřeby pak bylo takto filtrované hlasové pole ještě ručně editováno v softwarovém systému RealVoiceLab (uvedený software umožňuje editaci časových vypočtených průběhů výšky i intenzity hlasu a umožňuje souběžné přehrávání



selektovaných segmentů – tím způsobem je možné ručně najít a editovat části nahrávky nevyhovujícím požadavkům měřeného úkolu). V části D je zobrazeno výsledné hlasové pole po editaci, E zobrazuje **SPL kontury** hlasového pole, tedy spodní a horní dynamické křivky ohraničující hlasové pole nalezené jako minimální a maximální hodnoty SPL pro konkrétní výškovou část hlasového pole. Část F zase zobrazuje **výškové kontury** hlasového pole, tedy spodní a vrchní výškové hraniční křivky nalezené jako minimální a maximální výšky dosažené pro konkrétní hladinu akustického tlaku.



**Obrázek 7-3** Měření hlasového pole ženy s klasickou pěveckou školou na konzervatoři – soprán. A) Naměřené segmenty zpěvu stupnic v střední, nejtíší a nejhlasitější dynamice, pod a vlevo od hlasového pole je naměřený histogram SPL a výšky hlasu. B) Ruční editace naměřených segmentů (červeně jsou znázorněny eliminované segmenty, zelenou zůstávající segmenty). C) Časová filtrace naměřených dat. D) Výsledné hlasové pole po ruční a předdefinované filtraci. E) zobrazení SPL kontur hlasového pole. F) Zobrazení výškových kontur hlasového pole.

## 7.2.2 Parametrizace segmentů akustického a EGG signálu

Z jednotlivých měřených segmentů byly vypočteny další akustické parametry dle definicí uvedených v kapitole 5. **Spektrální parametry**: hladina první harmonické složky akustického spektra (H1), rozdíl hladin první a druhé harmonické složky (dHa1Ha2), těžiště spektra (COGamp, COG0k25, COG25k, COGharm), **parametry vyváženosti spektra** (SPR, ER, Alfa poměr), frekvenční poloha formantů (Fn), jejich zesílení (An), šířka pásma formantů (Bn) dle LPC analýzy, vzdálenost k nejbližší harmonické složce (FTn), hladina prvního vrcholu **kepstrální analýzy** (CP~1). Dále **parametry perturbací** periody (základní frekvence) (Jita, Jitt, RAP, PPQ, vF0), amplitudových perturbací (ShdB, Shim), VTI (Voice Turbulence Index) a SPI (Soft Phonation Index).

Analýza **elektroglotografického** signálu byla provedena jenom u nahrávek studentek Pedagogické fakulty v postprocessingu pomocí standardizovaného programu Speech Studio verze 4.1.0 dodávaného k zařízení Laryngograph. Uvedený program analyzuje jednotlivé periody EGG signálu a v rámci nich vypočte EGG koeficient zavření hlasivek, resp. kontaktní koeficient hlasivek (CQEGG) na základě určení 30% úrovně jednotlivých period EGG signálu

(Ma et al., 2010). Pro jednotlivé analyzované segmenty z akustické analýzy RVL byly hodnoty CQEGG zprůměrovány a importovány do systému RealVoiceLab.

### 7.3 Vyhodnocování výsledků

#### Poslechové testy

Data byla zpracována v statistickém programu SPSS Statistic 17.0. Pro vyhodnocení škálovacích testů (GRBAS škály patologických hlasů mužů, VARR testů u efektu pěveckého tréninku) pro hodnocení intra-rater reliability byla použita Pearsonova korelace, pro hodnocení inter-rater reliability byla použita metoda Intraclass correlation (ICC) parametr Crombachova alfa. Vyhodnocování dat seřadovacích testů (návčikové testy R,B a testy vlastností tmavost a šířka u patologických hlasů) bylo provedeno pomocí Spearmanovy pořadové korelace.

#### Hodnocení vztahu percepčních vlastností a měřených parametrů

Při zjišťování korelačních vztahů mezi výsledky škálovacích poslechových testů a parametry hlasových polí a měřených parametrů byla použita Pearsonova korelace na hladině významnosti  $p < 0,05$ .

K nalezení souvislostí parametrů hlasových polí (resp. měřených akustických parametrů) s percepčními hodnoceními hlasu byla použita faktorová analýza a mnohonásobná lineární regrese, obě ve statistickém programu STATISTICA 6.0. Faktorová analýza je statistická metoda, která pozorované proměnné vyjadřuje pomocí zvoleného menšího množství proměnných - faktorů. Metoda hledá takové faktory, které nejlépe vystihují celkovou variabilitu hodnocených dat. Mnohonásobná lineární regrese je statistická metoda umožňující predikovat hodnoty jediné závisle proměnné pomocí kombinace hodnot více nezávislých proměnných. Metoda hledá takovou nejlepší kombinaci (rovnici přímky), při které je součet čtverců rozdílů jednotlivých hodnot závisle proměnné a predikovaných hodnot nejmenší. Sledované parametry hlasových polí, respektive průměrné hodnoty akustických parametrů, tak byly vyjádřeny jako kombinace faktorů a seskupeny dle podobnosti na základě míry souvislosti jednotlivých faktorů s danou proměnnou (parametrem). Nalezené faktory tvoří ortogonální systém, takže hodnoty jednotlivých parametrů v tomto faktorovém systému (hodnoty nezávisle proměnných) již bylo možné použít v mnohonásobné lineární regresi k hledání vztahů s jednotlivými percepčními vlastnostmi (výsledky poslechových testů uspořádané jako hodnoty jednotlivých závisle proměnných).

#### Porovnávání a korelace obrysových křivek hlasového pole

Odborná literatura uvádí různé druhy porovnávání hlasových polí, zejména parametrizaci SPL kontur. Ve starších pracích se používá propočítání SPL kontur na body odpovídajících desetínám tónového rozsahu zpěvního hlasového pole (McAllister et al., 1994; Sulter et al., 1994; Akerlund et al., 1992; Awan, 1991), jiné počítají SPL minima a maxima pro definované výšky (Schneider a Bigenzahn, 2005; Awan, 1993), nejnovější využívají převod obrysů pomocí Fourierových deskriptorů (Pabon et al., 2011).

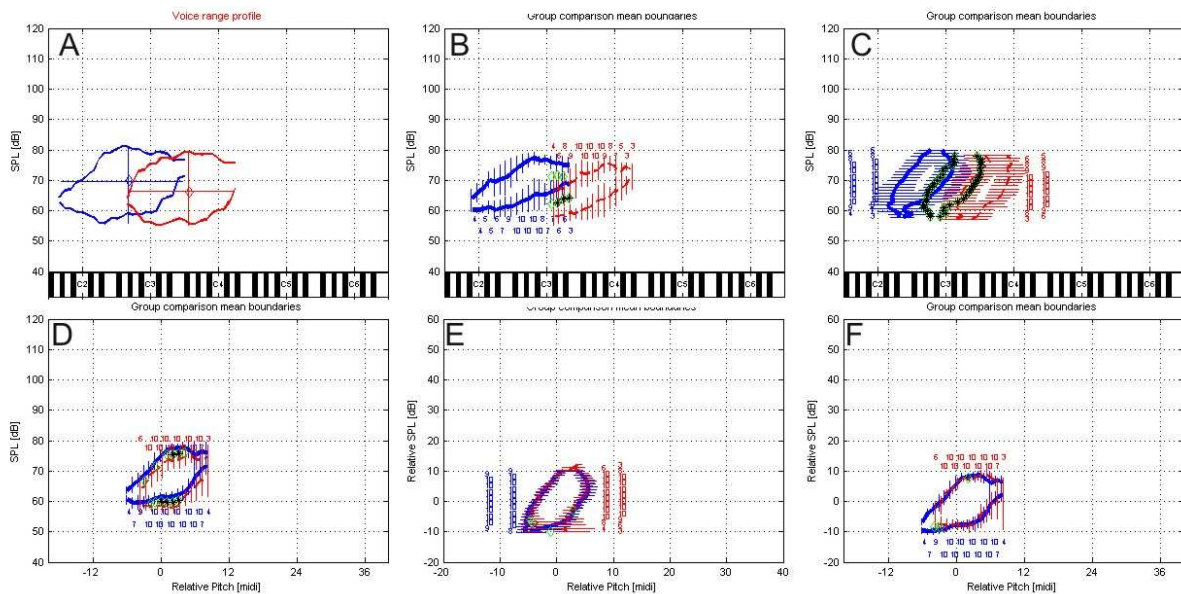
V této studii bylo porovnání hlasových polí trénovaných a netrénovaných zpěvaček, jakož i všechny korelace SPL a výškových kontur hlasových polí s percepčními vlastnostmi prováděny 2 způsoby:

- 1) V **absolutních** naměřených hodnotách u SPL kontur byly pro konkrétní výškovou polohu nalezeny minimální a maximální hodnoty SPL. Pro výškové kontury byly pro konkrétní hodnoty SPL nalezeny minimální a maximální naměřené výšky.
- 2) Při **normalizaci** na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu byly od naměřených hodnot výšek hlasu odečteny hodnoty průměrné výšky habituálního hlasu a od naměřených hodnot SPL byly odečteny průměrné hodnoty SPL při habituálním hlase



konkrétního subjektu. Tímto způsobem byly tedy porovnávány relativní hodnoty výšky a SPL u jednotlivých subjektů vzhledem k jejich habituální výšce a intenzitě hlasu (základní poloze hlasu).

Pro porovnání absolutních i normalizovaných hodnot odpovídajících částí obrysů hlasových polí byl použit Studentův t-test a pro korelaci s percepčními parametry Pearsonova korelace.



**Obrázek 7-4** Porovnání obrysů hlasových polí habituálního hlasu skupiny 10 mužů (modře) a 10 žen (červeně). A) SPL obrysové kontury všech naměřených hlasových polí skupin. B) Porovnání průměrných SPL kontur bez normalizace, C) porovnání průměrných výškových kontur, D) porovnání normalizovaných SPL kontur vzhledem k průměrné výšce habituálního hlasu, E) porovnání normalizovaných výškových kontur a F) SPL kontur vzhledem na průměrnou výšku i průměrnou SPL habituálního hlasu. Statisticky významné rozdíly na hladině  $p < 0,05$  s Bonferroniho korekcí jsou zobrazeny pomocí černé \*.

Obrázek 7-4 znázorňuje principiální porovnání obrysů hlasových polí habituálního hlasu (čtení standardního textu) skupin 10 mužů a 10 žen (všichni studovaní hlasoví profesionálové I. kategorie) z předchozí autorovy studie (Frič, 2008a). V části A jsou zobrazeny SPL obrysové kontury všech naměřených bodů hlasových polí mužů a žen. Při porovnávání SPL kontur, jsou porovnány průměry minimálních a maximálních hladin SPL pro konkrétní výšku mezi subjekty porovnávaných skupin pomocí t-testu. Při porovnávání výškových kontur jsou porovnány průměry minimálních a maximálních výšek pro konkrétní hladinu SPL konkrétních subjektů přislouchajících konkrétní skupině. Statisticky významné rozdíly na hladině  $p < 0,05$  jsou zobrazeny zeleným znakem  $\diamond$ , rozdíly vyhovující Bonferroniho korekci pak černým znakem \*.

Část B zobrazuje porovnání průměrů SPL kontur bez normalizace, tedy porovnává naměřené minimální a maximální SPL hodnoty pro konkrétní výšku. Výsledek ukazuje, že výškově se překrývala hlasová pole mužů a žen jenom mezi D3-E3 (d-e v malé oktávě) a zároveň v těchto výškách byly průměrné minimální i maximální hodnoty SPL nižší u žen. Část C zobrazuje porovnání výškových kontur, kde je patrné, že v celém dynamickém rozsahu (58-80 dB) jsou obě výškové kontury mužů výrazně nižší od žen. V části D jsou porovnány normalizované SPL kontury vzhledem na průměrnou výšku hlasu každého subjektu, tedy od naměřených hodnoty výšek jednotlivých segmentů byla odečtena průměrná hodnota výšky habituálního hlasu konkrétního subjektu. Výsledkem je, že takto normalizované habituální hlasové pole se nachází výškově v okolí bodu 0 – který odpovídá průměrné výšce hlasu. Interpretace tohoto porovnání normalizovaných hlasových polí vzhledem na průměrnou výšku habituálního hlasu je, že průměrné spodní SPL kontury (piano křivka) v oblastech 0 až 4

půltóny nad průměrnou výškou jsou statisticky významně nižší u žen než u mužů a podobně i v oblasti 2-3 půltóny nad průměrnou výškou hlasu i u horní SPL kontury (forte křivka). V části E jsou porovnány výškové kontury normalizované vzhledem na základní polohu (výšky i intenzity) habituálního hlasu. Výsledek neukazuje žádné statisticky významné změny, podobně jako v části F, kde jsou porovnány průměrné normalizované SPL kontury.

Celkově z těchto grafů možno uzavřít, že i když ženy tvoří hlas ve vyšší poloze než muži, v průměru se mužská a ženská hlasová pole habituálního hlasu překrývají v oblasti d-e malé oktávy. Co se dynamiky týče, ženy mají mírně snížené obě SPL kontury těsně nad jejich průměrnou výškou hlasu vůči mužům, ale normalizace hlasových polí vzhledem na základní polohu habituálního hlasu neukázala žádné významné rozdíly mezi muži a ženami. Jinými slovy, tvary obrysových křivek hlasových polí vzhledem na jejich průměrnou výšku a SPL jsou porovnatelné u mužů i žen.

### **Porovnání a korelace měřených parametrů při zohlednění výšky a polohy v hlasovém poli**

Většina studií při porovnávání naměřených parametrů používá průměrné hodnoty sledovaných parametrů a nezohledňuje výšku a intenzitu hlasu. Ale vztah změny většiny měřených parametrů v závislosti na výšce a intenzitě byl prokázán.

V této práci byly proto, kromě porovnání a korelaci průměrných hodnot (nejdříve byly parametry testovány na normální rozložení pomocí Kolmogorov-Smirnova testu), porovnávány a korelovány průměrné hodnoty měřených parametrů vzhledem k konkrétní výšce, resp. k poloze v hlasovém poli. K tomuto účelu byla v této práci vyvinuta nová metoda. Metoda vybírá pouze segmenty nahrávek blízké ke konkrétní výšce, resp. pozici v hlasovém poli, kde vzdálenost od sledované pozice je maximálně 2 půltóny (rozdíl ve výšce hlasu) a 2 dB (rozdíl hladiny akustického tlaku). Teprve jejich průměrné hodnoty jsou dále porovnány mezi skupinami subjektů pomocí t-testu. Pro konkrétní výškovou polohu, resp. pozici v hlasovém poli mohou být též korelovány s externím parametrem (výsledky poslechových testů). Touto metodou byly ohodnoceny všechny výškové pozice, resp. pozice v hlasového pole s krokem 1 půltón a 1 dB. Podobně jako obrysové křivky hlasových polí i porovnání a korelace parametrů byly uskutečněny při zohlednění absolutních i normalizovaných pozic vzhledem k základní hlasové poloze habituálního hlasu.

### **Bonferroniho korekce**

Protože bylo v jednotlivých částech práce testováno současně vícero hypotéz (porovnání pomocí t-testu nebo korelace v počtu porovnávaných výškových poloh, resp. pozic v hlasovém poli) byla na souběžně vyhodnocované hypotézy aplikována zjednodušená Bonferroniho korekce. Cílená hladina statistické významnosti ( $p < 0,05$ ) byla vydělena počtem testovaných hypotéz (Hendl, 2004). Ve výsledcích předkládané studie jsou uvedeny i výsledky korelací a t-testů, kde vyšla hladina statistické významnosti  $p < 0,05$ , ale následně nevyhověla Bonferroniho korekci – takové výsledky jsou v práci interpretovány jako trendové.

## 8 Výsledky

### 8.1 Patologický hlas mužů

V této části jsou uvedeny výsledky experimentu hodnocení patologického hlasu u mužů a zjištěné vztahy s měřenými parametry.

#### 8.1.1 Poslechové hodnocení patologického hlasu

Popis hlasu mužů s různým stupněm poruchy hlasu, stanovených diagnóz (doc. MUDr. Františkem Šramem, CSc.), slovní popis přechodu hlasových rejstříků ve zpěvním hlasovém poli a průměrná hodnocení GRBAS škál poslechových testů jsou uvedeny v příloze D.

Hodnotitel / vlastnost	A1,2	B1,2	C1,2	C1,3	C2,3	D1,2	D1,3	D2,3	Průměr korelace	ICC
G - škálovací	0,89	0,95	0,82	0,94	0,80	0,94	0,90	0,94	0,898	0,98
R - škálovací	0,88	0,81	0,92	0,95	0,88	0,86	0,87	0,90	0,884	0,96
B - škálovací	0,76	0,95	0,96	0,94	0,90	0,87	0,91	0,82	0,889	0,98
A - škálovací	0,86	0,37	0,66	0,64	0,81	0,90	0,77	0,86	0,734	0,93
S - škálovací	0,84	0,55	0,60	0,80	0,66	0,78	0,89	0,84	0,745	0,92
R - seřadovací	0,84	0,4	0,59			0,92			0,687	
B - seřadovací	0,92	0,79	0,96			0,96			0,907	
R škál - seřad	0,86	0,45	0,72			0,94			0,743	
B škál - seřad	0,89	0,59	0,94			0,92			0,835	

**Tabulka 2** V řádcích 2 až 6 jsou hodnoty test-retest shody hodnotitelů A až D (ve sloupcích) v jednotlivých škálovacích testech (G – celkový stupeň poruchy hlasu, R – chraplavost, B – dyšnost, A – slabost, S - napětí) pomocí Pearsonovy korelace a shody mezi hodnotiteli ICC- Intraclass correlation. V řádcích 7 až 10 hodnocení shody test-retest seřazovacích testů a korelace výsledků škálovacích a seřazovacích testů (jenom R a B) pomocí Spearmanovy korelace.

Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu (viz Tabulka 2) ukazují, že test-retest hodnocení škálovacích testů celkové poruchy hlasu (G), chraplavosti (R) a dyšnosti (B) dosahovaly vysokou míru korelace ( $|r| > 0,8$ ) a jejich průměrné hodnocení bylo podstatně konzistentnější než hodnocení napětí (S) a hlasové slabosti (A), které dosahovaly u některých hodnotitelů i jenom střední míru korelace ( $0,3 < |r| < 0,7$ ). Shoda mezi hodnotiteli (inter-rater reliabilita) u všech vlastností dosahovala vysoké korelace ( $|r| > 0,9$ ), a proto uvedená data celkově vykazují vysokou míru spolehlivosti a bylo možné pro další analýzu použít jejich průměrné hodnoty.

Pro sledování různých hlasových rejstříků a jejich vzájemného přechodu nebylo možné v této práci stanovit vhodná kvantitativní kritéria (problematika by vyžadovala samostatný výzkum). Na základě pozorování se však ukazuje, že zjevná nepřítomnost falzetu (pozorovaná v 5 z 25 případů) byla spojena zejména s těžkými poruchami hlasu a diagnózami postihující povrch hlasivek. V 8 případech bylo pozorováno frekvenční oddělení falzetu a v naprosté většině případů, když byl subjekt schopen tvořit falzet, byly pozorovány problémy v přechodové oblasti nebo extrémní změny kvality hlasu po přechodu do falzetu.

Výskyt nodulárních objektů na hlasivkách (uzlíky a polypy) koreloval s problémy s přechodem do falzetového rejstříku zejména v tišší poloze hlasu. Většinou byly se zvýrazněnou nestabilitou kvality a se zvýšením chraplavosti v přechodové oblasti v hlasitějších projevech. U paréz byly pozorovány jak výrazné změny kvality hlasu mezi modálním a falzetovým rejstříkem, tak i nemožnost odlišit falzet od modálu (vzhledem na velmi dyšný a nejednoznačný modální rejstřík).

Vzájemná Pearsonova korelace výsledků mezi hodnoceními jednotlivých vlastností ukazuje (viz Tabulka 3), že věk jenom minimálně koreloval se stupněm chraplavosti (po

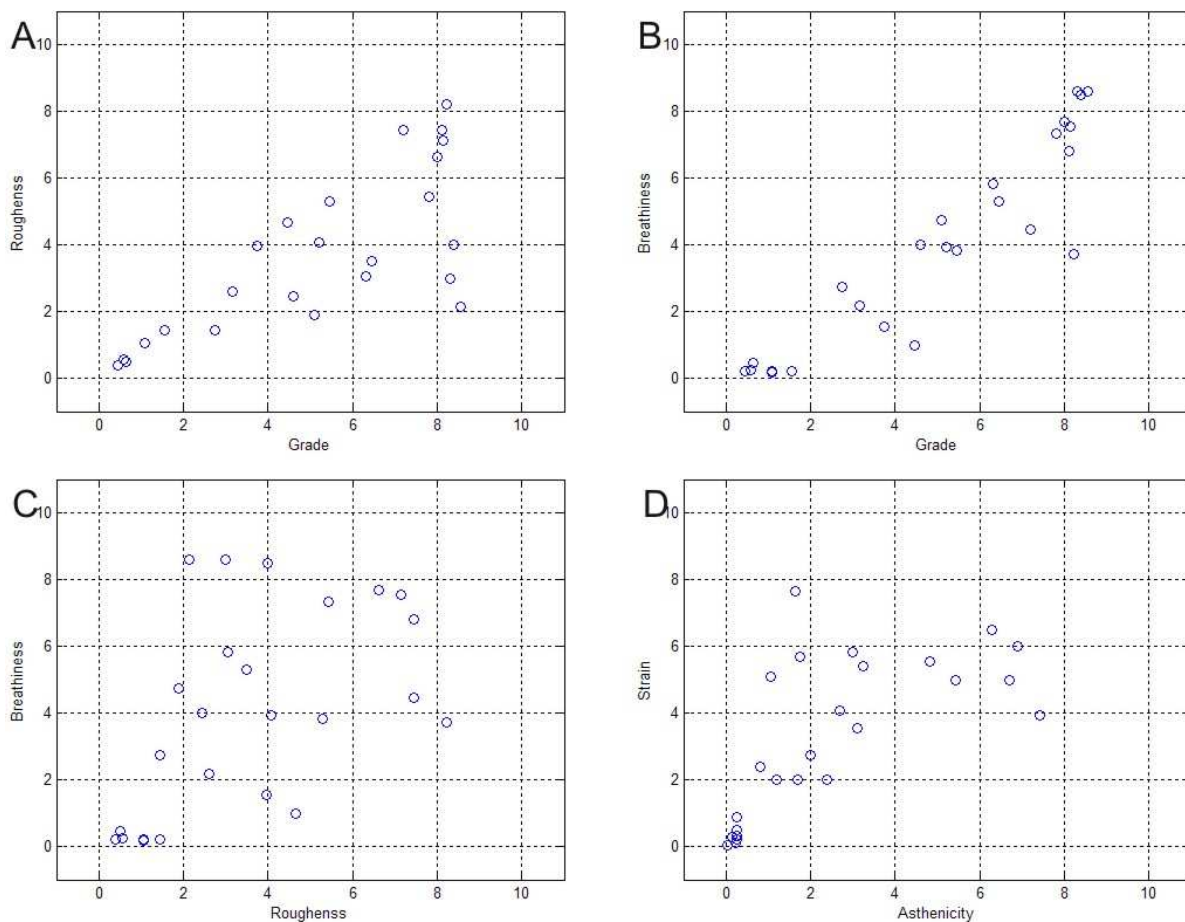
Bonferroniho korekci dokonce statisticky nevýznamně). Percepční vlastnosti poruchy hlasu ale vzájemně korelovaly. Nejvýznamnější vzájemné korelace byly s celkovou poruchou hlasu, ta nejvíce korelovala s dyšností, pak s astenií, napětím a nakonec chraplavostí. Chraplavost korelovala jenom s napětím hlasu, dyšnost jak s astenií, tak i s napětím. Astenie a napětí korelovaly nevýznamně.

Pearson	Věk	Grade	Roughness	Breathiness	Asthenicity	Strain
Věk	X		0.46			
Grade		X	0.75**	0.98**	0.86**	0.77**
Roughness			X			0.75*
Breathiness				X	0.97*	0.87**
Asthenicity					X	0.66
Strain						X

**Tabulka 3** Pearsonova korelace mezi výsledky jednoznačně hodnocených vlastností na škálách, uvedeny jsou jenom korelace s hladinou významnosti  $p < 0,05$ , \* označuje Bonferroniho korekci  $p < 0,05/6$ , \*\* - korekce  $p < 0,01/6$ .

Spearmanova korelace výsledků hodnocení tmavosti a šířky na základě seřadovacích testů ukázala neshodu mezi hodnotiteli, proto jejich výsledky nebyly dále zpracovávány.

Na základě faktorové analýzy bylo možné průměrná data hodnocení GRBAS rozdělit na 2 základní faktory při hodnocení poruch hlasu, které společně vysvětlovaly 95,2% variability: faktor 1) celková porucha, dyšnost a slabost hlasu, faktor 2) chraplavost a spasticita hlasu.



**Obrázek 8-1** Zobrazení průměrných hodnocení GRBAS škál u mužských hlasů s různým stupněm a typem patologie.

Obrázek 8-1 schematicky zobrazuje vzájemné vztahy průměrných hodnocení škál GRBAS. Rozložení stimulů v části C ukazuje že stimuly byly relativně rovnoměrně rozloženy s ohledem na chraplavost a dyšnost.

### 8.1.2 Vztah parametrů hlasových polí s patologickými vlastnostmi hlasu

Habitualní VRP	P.mean	P.min	P.max	TR	SPL.mean	SPL.min	SPL.max
G					-0.42		
B					-0.61*		-0.6*
A				-0.48	-0.52	-0.51	-0.49
S	0.59	0.61	0.54				
Zpěvní VRP	P.min	P.max	TR	SPL.max	DR	VRP area	VRParea nad P.max volání
G			-0.48	-0.72**	-0.76**	-0.81**	-0.44
R				-0.49	-0.62	-0.67	-0.6
B		-0.58	-0.61	-0.76**	-0.74**	-0.79**	-0.47
A		-0.53	-0.64	-0.68	-0.59	-0.64	
S	0.59						
VRP volání	P.min	P.max	TR	SPL.max	DR	VRParea	Sklon horní SPL kontury
G				-0.75**	-0.63**	-0.56	
B		-0.6	-0.53	-0.88**	-0.73**	-0.55	
A		-0.49	-0.61	-0.83**	-0.68	-0.51	-0.44
Normalizované VRP	Normalizované zpěvní VRP				Normalizované Volání		Sklon horní SPL kontury
Parametr	P.max	SPL.min	SPL.max	VRParea	P.max	SPL.max	Intercept.
G	-0.45	0.43	-0.66**	-0.77**		-0.73**	
R			-0.52	-0.6			
B	-0.58	0.47	-0.61	-0.81**	-0.54	-0.83**	
A	-0.65		-0.57	-0.67	-0.61	-0.76**	
S					-0.53		-0.62

**Tabulka 4** Pearsonova korelace mezi naměřenými parametry hlasových polí (habituálního hlasu, celkového zpěvního hlasového pole a volání, a normalizovaných hlasových poli vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu) a výsledky hodnocení GRBAS. Trendové korelace jsou zobrazeny šedě:  $p < 0,05$  a \* - označuje  $p < 0,01$ . Významné korelace po aplikaci Bonferroniho korekce, \*\* -  $p < 0,01/9$  jsou vyznačeny černě. Legenda: P – výška, TR – pultónový rozsah, SPL – hladina akustického tlaku, DR – dynamický (intenzitní) rozsah, mean – průměr, max., min. – maximum a minimum, VRParea – plocha hlasového pole. Sklon horní SPL kontury intercept – konstanta posunu přímky lineární regrese naměřených bodů horní SPL kontury vzhledem k výšce hlasového pole při volání.

Korelace mezi parametry **habituálního hlasového pole** a percipovanými vlastnostmi patologie hlasu (viz **Tabulka 4**) ukázala jenom slabé korelace s hladinou významnosti  $p < 0,05$ . Zjištěná byla kladná korelace mezi výškou hlasu (průměrnou, minimální i maximální) a napětím hlasu, ale nevyhověla Bonferroniho korekci. Hladina akustického tlaku výrazněji ( $p < 0,01$ ) záporně korelovala s dyšností a slabě s astenií, ale v obou případech také nevyhověla Bonferroniho korekci.

#### Vztah mezi GRBAS a VRP parametry

Parametry **celkového (zpěvního) hlasového pole** na rozdíl od habituálního i po použití Bonferroniho korekce významně záporně korelují s celkovou poruchou hlasu a dyšností u maximální dosažené hodnoty SPL, dynamického rozsahu a celkové plochy VRP. Ostatní korelace také nevyhověly Bonferroniho korekci a tedy jejich výsledky jenom naznačují trendy:

- nejnižší výška se zvyšuje s napětím;
- maximální výška se snižuje s dyšností a astenií;

- tónový rozsah se zmenšuje s dyšností, astenií i s celkovou poruchou;
- maximální hlasitost, dynamický rozsah a celková plocha hlasového pole navíc se zmenšují s chraplavostí a astenií.

Zajímavý trend ukázala plocha celkového zpěvného hlasového pole nad polohou maximální výšky u volání (předpokládaná maximální poloha modálního rejstříku). Tento parametr se zmenšoval s celkovou poruchou hlasu, chraplavostí a dyšností.

U **volání** se jako zásadní parametry projeví jenom dynamický rozsah a maximální SPL, které obě významně záporně korelovaly s celkovou poruchou a dyšností (s astenií jen maximální SPL). Nízká míra korelace u maximální výšky hlasu a u tónového rozsahu při volání nedovoluje konstatovat významnou souvislost, ale pouze naznačuje trend souvislosti s dyšností a astenií a u plochy hlasového pole při volání i s celkovou poruchou. Jiný zajímavý trend byl u sklonu horní SPL kontury při volání, který záporně koreloval s hlasovou slabostí a intercept (posun počátku) regresní přímky záporně koreloval s napětím. Jinými slovy s nárůstem astenie se oplošťuje horní obrys hlasového pole volání – tedy snižuje se dosažitelné maximum SPL ve vysokých tónech, ale při zvyšování napětí se celá křivka posouvá směrem dolů, tedy v oblasti běžné intenzity mluvního hlasového pole směrem k vyšším frekvencím.

Po normalizaci hlasových polí zpěvu stupnic a volání (vzhledem k průměrné výšce a SPL habituálního hlasu) se ukázalo, že čím více pacient dokázal zvýšit SPL hlasu u zpěvu nad svou průměrnou SPL u habituální řeči, tím menší mírou poruchy hlasu trpěl. U volání byla podobná závislost a nepřímá úměra byla pozorována i u dyšnosti a astenie. Plocha hlasového pole nad polohou habituálního hlasu významně záporně korelovala s celkovou poruchou a dyšností. Méně významné trendy se ukázaly i u maximální výšky a minimální SPL.

Variabilita 25 naměřených parametrů hlasových polí byla analyzována pomocí faktorové analýzy metodou s rotací faktorů „varimax normalized“. Na základě zlomu v zobrazení „eigen values“, bylo určeno 5 nezávislých faktorů, které společně vysvětlovaly 84,66% variability parametrů hlasových polí. K interpretaci faktorů (FA viz

Tabulka 5) byly použity statisticky dominující parametry:

FA1: faktor tónového rozsahu, celkové plochy a plochy nad maximální výškou volání u zpěvného (celkového) VRP;

FA2: faktor výšky habituálního hlasu a minimální výšky zpěvného VRP;

FA3: faktor tónového rozsahu a plochy VRP habituálního hlasu;

FA4: faktor minimální SPL habituálního hlasu a maximální výšky hlasu při volání;

FA5: faktor maximální dynamiky celkového VRP a volání.

**Tabulka 5** Výsledky faktorové analýzy 25 parametrů všech hlasových polí (hab.- habituální hlas, zp.- zpěvní hlasové pole, vo.- gradace volání, nvo.- normalizované volání), vyznačeny jsou jenom významné korelace s daným faktorem ( $r > 0,7$ ) vypočtené programem STATISTICA 6.0.

Faktorová analýza	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5
P.hab.mean		0.92			
P.hab.min		0.93			
P.hab.max		0.79			
P.hab.TR			0.86		
L.hab.mean					
L.hab.min				0.77	
L.hab.max					0.71
L.hab.DR					
VRPArea.hab			0.85		
P.zp.min		0.93			
P.zp.max	0.89				
P.zp.TR	0.89				
L.zp.min					
L.zp.max					0.77
L.zp.DR					0.73
VRParea	0.70				
VRParea nad P.max volání	0.79				
P.nsi.min			-0.88		
P.nsi.max	0.88				
P.vo.max				0.87	
P.vo.TR				0.73	
L.vo.max					0.85
L.vo.DR					0.80
P.nvo.max				0.72	
L.nvo.max					0.76

Měřené parametry hlasových polí jednotlivých pacientů byly přepočteny na hodnoty koeficientů uvedených 5 faktorů, a do takto vzniklého prostoru byly pomocí mnohonásobné lineární regrese vnořeny hodnoty hodnocení na GRBAS škálách (průměrované přes všechny hodnotící).

Výsledky ukazují, že hodnocení celkové poruchy hlasu je predikovatelné s prvním a pátým faktorem (se zápornou korelací), tedy celková porucha narůstá s poklesem hodnot parametrů obsažených (sycených) v prvním a pátém faktoru (

Tabulka 5). Chraplavost nebyla vysvětlitelná žádnou kombinací uvedených faktorů, dyšnost souvisela záporně s prvním, druhým a pátým faktorem. Astenie narůstala při poklesu hodnot prvního a pátého faktoru, napětí záporně souviselo jenom s pátým faktorem.

Uvedené výsledky je možné interpretovat následovně:

- **Stupeň celkové poruchy a dyšnost** zejména snižují celkový tónový rozsah, plochu zpěvního VRP, plochu VRP nad maximem volání (tedy plochu předpokládaného falzetového rejstříku), maximální intenzity a dynamické rozsahy habituálního, zpěvního hlasového pole i volání.
- **Chraplavost** se pravděpodobně projevuje různými kombinacemi měřených parametrů hlasových polí, proto nemohla být interpretovatelná pomocí přímky mnohonásobné lineární regrese.
- **Dyšnost**, na rozdíl od celkové poruchy, ještě snižuje minimální SPL habituálního hlasu a maximální výšku hlasu při volání.
- **Astenie** se projevovала podobně jako celková porucha.
- **Napětí** se na rozdíl od astenie a celkové poruchy projevovало pouze snížením maximální SPL hlasu habituálního, zpěvního VRP i při volání.

### **Výsledky korelace SPL a výškových kontur s hodnocením poruchy hlasu**

Poloha průměrných absolutních SPL a výškových kontur, při porovnání s průměry normalizovaných SPL kontur vzhledem na základní polohu **habituálního hlasu** (ZHP) ukazují velkou dynamickou i výškovou variabilitu absolutních naměřených hlasových polí. Samotná korelace měřených kontur (viz příloha E) však nepřinesla významné vztahy s percepčními vlastnostmi, kromě zeslabení nižší části horní a vyšší části spodní SPL kontury s narůstající dyšností hlasu (trendově i s nárůstem astenie hlasu).

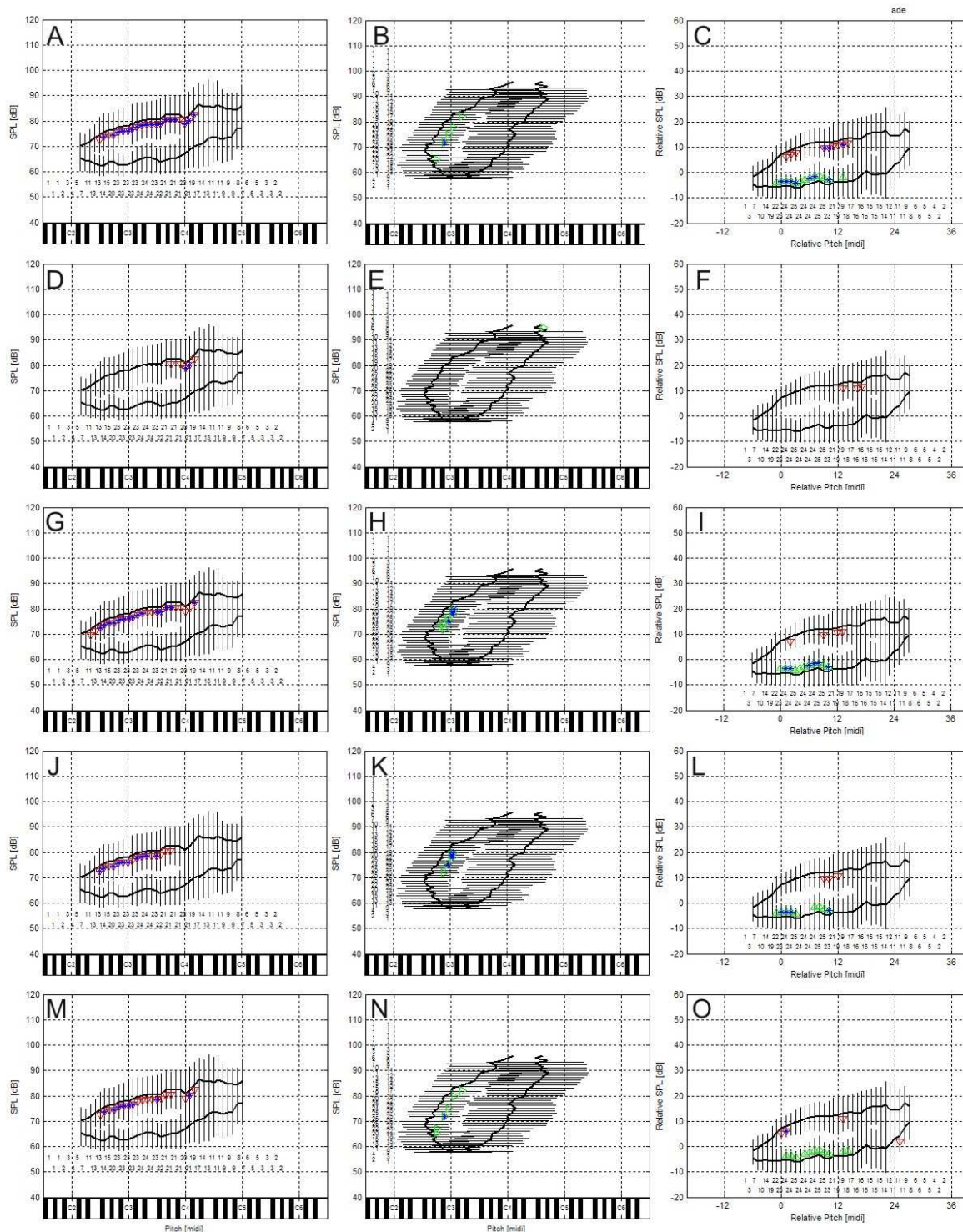
Na **zpěvním hlasovém poli** (viz Obrázek 8-2) se celková porucha hlasu projevila v absolutních měřeních zeslabením horní SPL kontury (forte křivky) v rozsahu cca F – d' a trendově i zvýšením polohy hluboké výškové kontury. Normalizace SPL kontur k průměrné ZHP ale ukazuje, že celkově se stupeň poruchy hlasu projeví zeslabením dosahovaných maxim SPL v oblasti jenom kolem jedné oktávy nad ZHP a neschopností zeslabovat hlas téměř v celé jedné oktávě nad ZHP.

Chraplavost nejméně souvisela s tvarem hlasového pole a statisticky významně se projevil vztah jenom zeslabením horní absolutní SPL kontury v oblasti c' (C4).

Dyšnost se projevovала podobně jako celková porucha s tím rozdílem, že statisticky významně zvyšovala polohu absolutní hluboké výškové kontury v oblasti 75-85 dB. Snížení normalizovaných SPL kontur je v oblasti zeslabení horní SPL kontury v oblasti jedné oktávy nad průměrnou výškou habituálního hlasu jenom trendově.

Astenie se projevovала velmi podobně jako dyšnost, s tím rozdílem, že zeslabení absolutní horní SPL kontury bylo významné jenom v oblasti F – f (F2-F3).





**Obrázek 8-2** Korelace GRBAS hodnocení s obrysovými křivkami celkového (zpěvného) hlasového pole: A-C) celkový stupeň poruchy hlasu, D-F) chraplavost, G-I) dyšnost, J-K) astenie – hlasová slabost, M-O) napětí hlasu. Absolutní SPL kontury (levý sloupec), absolutní výškové kontury (střední sloupec), C2-C6 odpovídají americké notaci velké C až c'''. Normalizované SPL kontury (pravý sloupec) vzhledem k průměrné výšce (uvedeno v púltónech) a SPL habituálního hlasu.

Zvýšené napětí hlasu se významně projevovalo snižováním horní SPL kontury v oblasti G – c (G2-C3), trendově posunem hluboké výškové kontury směrem do vyšších poloh a u normalizovaných SPL kontur jenom snížením horní SPL kontury v oblasti průměrné výšky habituálního hlasu.



Při vyhodnocování **hlasového pole při volání** (viz příloha F) je možné interpretovat jenom vztahy u horní (forte) SPL kontury a hluboké výškové kontury, protože při tomto vyšetření se sleduje gradace nárůstu SPL a výšky hlasu (piano kontura a horní výšková kontura sledovaný jev nezachycují).

Vztah mezi uvedenými konturami hlasového pole při volání s percipovanými vlastnostmi ukazuje obdobné vztahy jako celkové zpěvní hlasové pole.

Nová informace byla nalezena zejména ve vztahu hluboké výškové kontury s percepčními vlastnostmi, kde se ukázaly zajímavé dvě oblasti. Oblast v okolí 80 dB a pak oblast nad 90 dB. Oblast v okolí 80 dB souvisí s horní hranicí SPL pro habituální hlas a zvýšení její polohy souviselo s nárůstem celkové poruchy hlasu, dyšnosti a napětí hlasu, trendově však i s chraplavostí a astenií.

Intenzity nad 90 dB u hluboké výškové kontury dokázalo tvořit jenom asi 50% z 25 subjektů. Potvrdilo se tak, že významným parametrem v diagnostice poruch hlasu je i schopnost tvořit hlas nad 90 dB. U hlasů, které dokázaly vytvořit hlas nad 90 dB se ukázal trendový posun hluboké výškové kontury k vyšším polohám u všech patologických vlastností.

### 8.1.3 Vztah akustických parametrů s patologickými vlastnostmi hlasu

Korelace průměrných hodnot akustických parametrů s percepčním hodnocením uvádí Tabulka 6. U **habituálního čtení** většina měřených parametrů ukazuje významné vztahy s průměrnou výškou a intenzitou. Korelace parametrů s percepčním hodnocením vykazuje velmi podobné významné vztahy u hodnocení celkové poruchy, dyšnosti a astenie, které nejvýznamněji kladně korelují s parametry poruch periodicity (Jitter, RAP, vF0 a rozdílem hladin první a druhé harmonické složky (dHa1Ha2)). S nárůstem poruchy tedy roste i míra perturbací a zvětšuje se rozdíl harmonických složek. Uvedené vlastnosti však záporně korelují s prvním keprstrálním vrcholem (CP~1), tedy s nárůstem poruchy klesá hladina tohoto vrcholu, což je interpretovatelné jako pokles harmonicity (zastoupení vyšších harmonických složek) v signálu. Chraplavost s uvedenými parametry koreluje jenom trendově. Nejvýznamnější vztahy byly zjištěny u habituálního hlasu mezi stupněm poruchy (G) a Jitterem a mezi astenií a CP~1.

V případě průměrných hodnot akustických parametrů **zpěvního hlasu** (zpěvu stupnic s prodlouženou fonací slabiky „ma“), které ale byly korelovány s hodnocením habituálního hlasu, se naopak zvýraznily korelace mezi chraplavostí hlasu a perturbacemi periodicity a výrazně zeslabily korelace s dyšností a astenií. Objevily se taky nové korelace – kladné mezi dyšností a astenií se sklonem spektra v pásmu 0,4-4 kHz a mezi VTI (voice turbulence index) a G, B škálami. G, B, A škály nadále záporně korelovaly s hladinou prvního keprstrálního vrcholu. Nejvýznamnější vztahy byly podobné jak bylo uvedeno i habituálního hlasu, ale u dyšnosti a astenie začal dominovat vztah s rozdílem hladin prvních dvou harmonických složek.

Faktorova analýza průměrných hodnot akustických parametrů habituálního hlasu (viz Tabulka 7) rozdělila tyto parametry do 6 faktorů, které vysvětlovaly variabilitu dat z 91,6 %. Prvý faktor sdružuje všechny parametry amplitudových i periodických perturbací (Jitta, Jitt, ShdB, Shim, vF0) hlasu a hladinu prvního keprstrálního vrcholu. Druhý faktor slučuje parametry spektrálního rozložení jako parametry těžiště spektra (COG), poměru energie vyšších a nižších spektrálních oblastí (SPR, Alfa) a poměru harmonických a neharmonických složek (SPI, VTI) a zesílení 3. formantu, které vlastně negativně souvisely s intenzitou hlasu. Třetí faktor souvisí s výškou hlasu a polohami prvních tří formantů. Čtvrtý faktor byl sycen jenom hladinou pěveckého formantu, pátý těžištěm spektra v oblasti 2-5 kHz a šestý faktor byl dán rozdílem hladin první a druhé harmonické složky.

Pearsonova korelace	Habuální hlas							Zpěv stupnic						
	Výška	SPL	Grade	Roughness	Breathiness	Asthenicity	Strain	SPL	Grade	Roughness	Breathiness	Asthenicity	Strain	
Výška	1***	0.45												
SPL	0.45	1***						0.67***	-0.51*		-0.53*	-0.48	-0.42	
Crest	-0.46	-0.83***												
ZCR		-0.77***		0.45										
Jita	-0.4		0.71***	0.51*	0.54*	0.56*	0.49		0.65**	0.67***	0.42			0.56*
Jitt			0.77***	0.51*	0.64**	0.65**	0.59*		0.69***	0.66**	0.45	0.44		0.58*
ShdB	-0.61**		0.42						0.61*	0.55*				0.46
Shim	-0.63**		0.45						0.61**	0.56*				0.47
RAP			0.75***	0.47	0.63**	0.65**	0.55*		0.66**	0.62**	0.44	0.44		0.56*
PPQ	0.82***						0.41							
vF0			0.77***	0.51*	0.64**	0.64**	0.62**		0.69***	0.66**	0.47	0.44		0.61**
SPI	0.56*	0.55*												
VTI	-0.63**	-0.94***						-0.74***	0.64**	0.4	0.6**	0.56*		0.46
ER	0.43	0.59*						0.45						
SPR	-0.5	0.74***												
Alfa		-0.68***												
H1	0.59*	0.86***						0.57*	-0.4	-0.4				
dHa1Ha2			0.44		0.64**	0.63**	0.43		0.53*		0.7***	0.7***		0.42
F1	-0.68***													
F2	-0.53*													
A1	0.61**							0.43	-0.45					
A2		-0.55*						0.44	-0.42		-0.51*	-0.56*		
A3		-0.59*												
A4	-0.44							-0.44						
COGamp		-0.81***												
COG25k														0.48
COG0k25		-0.64**												
COGharm		-0.71***												
FSH														
LFSH														
THItilt		-0.63**					0.44							
THItilt4k4			0.52*		0.56*	0.59*		-0.47	0.5		0.65**	0.62**		
CP~1	0.57*	0.43	-0.69***	-0.46	-0.69***	0.71***	-0.49	0.43	-0.66**	-0.47	-0.67***	0.70***		-0.48

**Tabulka 6:** Pearsonova korelace průměrných hodnot akustických parametrů habituálního hlasu a měření zpěvního hlasového pole s percepčním hodnocením poruchy hlasu. Šedě jsou zobrazeny trendové korelace s  $p < 0,05$ , \* označuje korelace  $p < 0,01$ . Významné korelace po uplatnění Bonferroniho korekce jsou vyznačeny černou: \*\*  $p < 0,05/34$ , \*\*\*  $p < 0,01/34$ .

Mnohonásobná lineární regrese percepčních hodnocení GRBAS škál v prostoru koeficientů uvedených 6 faktorů ukázala, že všechny škály poruchy hlasu souvisí s prvním faktorem, tedy se zvětšováním perturbačních charakteristik hlasu a snižováním hladiny prvního cepstrálního vrcholu. Celková porucha, dyšnost a astenie souvisí se zvyšováním

těžiště spektra v pásmu 2-5 kHz. Zvětšení míry všech typů poruch hlasu, kromě chraplavosti, se projevuje zvětšením rozdílu hladin prvních dvou harmonických složek.

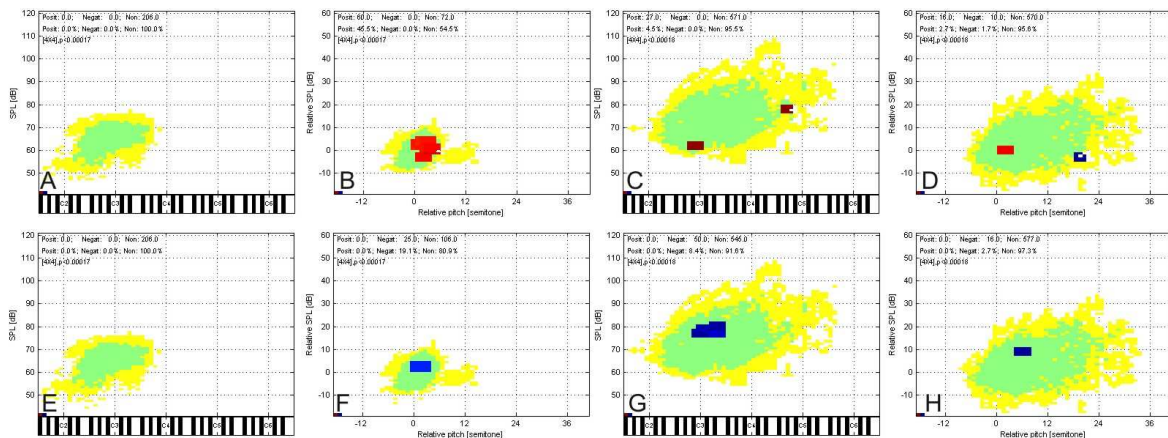
Faktorová analýza	Fa1	Fa2	Fa3	Fa4	Fa5	Fa6
Výška			-0.74			
SPL		-0.89				
Jita	0.92					
Jitt	0.97					
ShdB	0.76					
Shim	0.76					
MAJ	0.97					
vF0	0.97					
SPI		-0.77				
VTI		0.75				
NHR						
SPR		0.91				
Alfa		0.94				
H1						
dHa1Ha2						0.90
F1			0.88			
F2			0.74			
F3			0.84			
A1						
A2						
A3		0.75				
COGamp		0.94				
COG25k					-0.89	
COG0k25		0.81				
COGharm		0.82				
LFSH				0.90		
THtilt						
THtilt4k4						
CP~1	-0.80					
<b>Grade</b>	0.70				-0.32	0.32
<b>Roughness</b>	0.53					
<b>Breathiness</b>	0.63				-0.30	0.47
<b>Asthenicity</b>	0.63				-0.36	0.42
<b>Strain</b>	0.63					0.34

**Tabulka 7:** Faktorová analýza průměrných hodnot měřených akustických parametrů habituálního hlasu mužů a mnohonásobná lineární regrese zjištěných faktorů s GRBAS hodnocením.

### **Korelace akustických parametrů s hodnocením patologických vlastností hlasu při zohlednění police v hlasovém poli**

Pro hledání vztahů mezi naměřenými parametry a hodnocením GRBAS škál při zohlednění polohy v hlasovém poli byly průměry uvedených hodnocení korelovány s průměrnými hodnotami naměřených parametrů z blízkého okolí sledované polohy v hlasovém poli. Uvedeným způsobem byly porovnány všechny polohy překrývající se hlasových polí subjektů, tím pádem takové porovnání obsahovalo velké množství testovaných hypotéz (pro každou sledovanou polohu v hlasovém poli). Ze statistického hlediska, aby bylo možné takový výsledek věrohodně interpretovat bylo nutné aplikovat na výsledky mnohonásobné korelace Bonferroniho korekci, kde původní sledovaná hladina významnosti  $p < 0,05$  byla vydělena počtem sledovaných pozic. Výsledkem bylo výrazné snížení kritické

hladiny statistické významnosti, čemuž odpovídal poměrný nárůst požadovaného koeficientu korelace.



**Obrázek 8-3** Korelace akustických parametrů a celkovou poruchou hlasu (G) při zohlednění pozice v hlasovém poli ( $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce), levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvního hlasového pole. 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná hlasová pole vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. A-D) Jitter, E-H) první keprální vrchol. Zelená oblast ukazuje část překrývajících se hlasových polí a žlutá oblast části kde se nepřekrývalo dostatek naměřených hlasových polí, aby bylo možno provést korelační analýzu. Červené části označují oblasti s kladnou korelací a modré se zápornou.

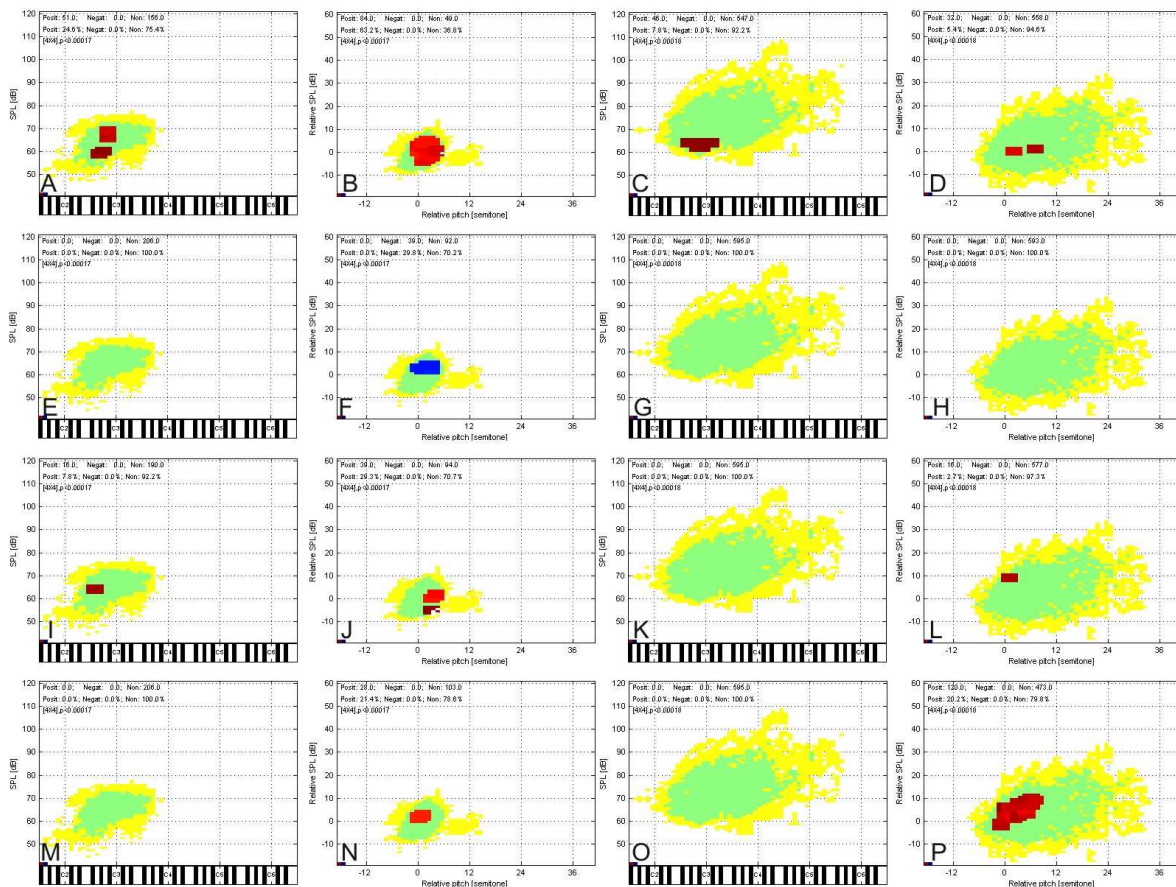
Obrázek 8-3 zobrazuje korelace při zohlednění pozice v hlasovém poli u parametrů, kterých průměrné hodnoty nejvýznamněji korelovaly s **hodnocením G škály**. Výsledky však dokumentují, že jak pro Jitter i první keprální vrchol u habituálního hlasového pole korelace vyhověly Bonferroniho korekci jenom v centrální části hlasového pole a to jenom při normalizaci na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. Tento výsledek je ekvivalentem korelací průměrných hodnot těchto parametrů popsaných výše jak je uvádí Tabulka 6. Při hledání vztahů hodnocení poruchy hlasu a rozložení parametrů ve zpěvním hlasovém poli se u parametru Jitter ukázala statisticky významná kladná korelace jenom v nejnižší části hlasového pole v oblasti A-c, při normalizaci na základní polohu hlasu se ukázala jako významně kladně korelující právě oblast průměrné výšky a SPL habituálního hlasu a se zápornou korelací oblast o cca 2 oktávy výše. První keprální vrchol u zpěvního hlasu negativně koreloval v relativně velké oblasti H – f a dynamice cca 75-82 dB, při normalizaci se však ukazuje, žato oblast je asi půl oktávy a 10 dB nad základní polohou hlasu.

Vztah průměrů parametrů s **chraplavostí** (viz Tabulka 6) nevykazovala u habituálního hlasu žádné významné korelace. Podobně ani při zohlednění pozice v hlasovém poli nebyly zjištěny žádné významné a dobře interpretovatelné vztahy. Zobrazení výsledků pro některé parametry je uvedeno v příloze G.

Korelace akustických parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli se stupněm **dyšnosti** (viz Obrázek 8-4) ukazuje u habituálního hlasu pozitivní korelaci v centrální oblasti překrývajících se hlasových polí u parametrů Jitter a rozdíl hladin prvních dvou harmonických složek. Po normalizaci habituálních hlasových polí vzhledem na průměrnou výšku a intenzitu habituálního hlasu, byla korelující plocha výraznější vždy v okolí základní polohy hlasu. Na rozdíl od absolutních pozic v hlasovém poli po normalizaci na základní polohu hlasu koreloval pozitivně i parametr sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz a negativně první keprální vrchol.

Korelace parametrů ve zpěvním hlasovém poli ukázala, že statisticky významně (i po započtení Bonferroniho korekce) koreluje Jitter s dyšností jenom v oblasti Fis – d pod 65 dB, tedy jenom v oblasti habituálních poloh a v tiché dynamice. Při normalizaci na základní polohu habituálního hlasu byla kladná korelace s Jitter taky v oblasti habituální polohy

a navíc se ukázala významná i poloha cca půl oktávy nad základní polohou hlasu v habituální intenzitě.



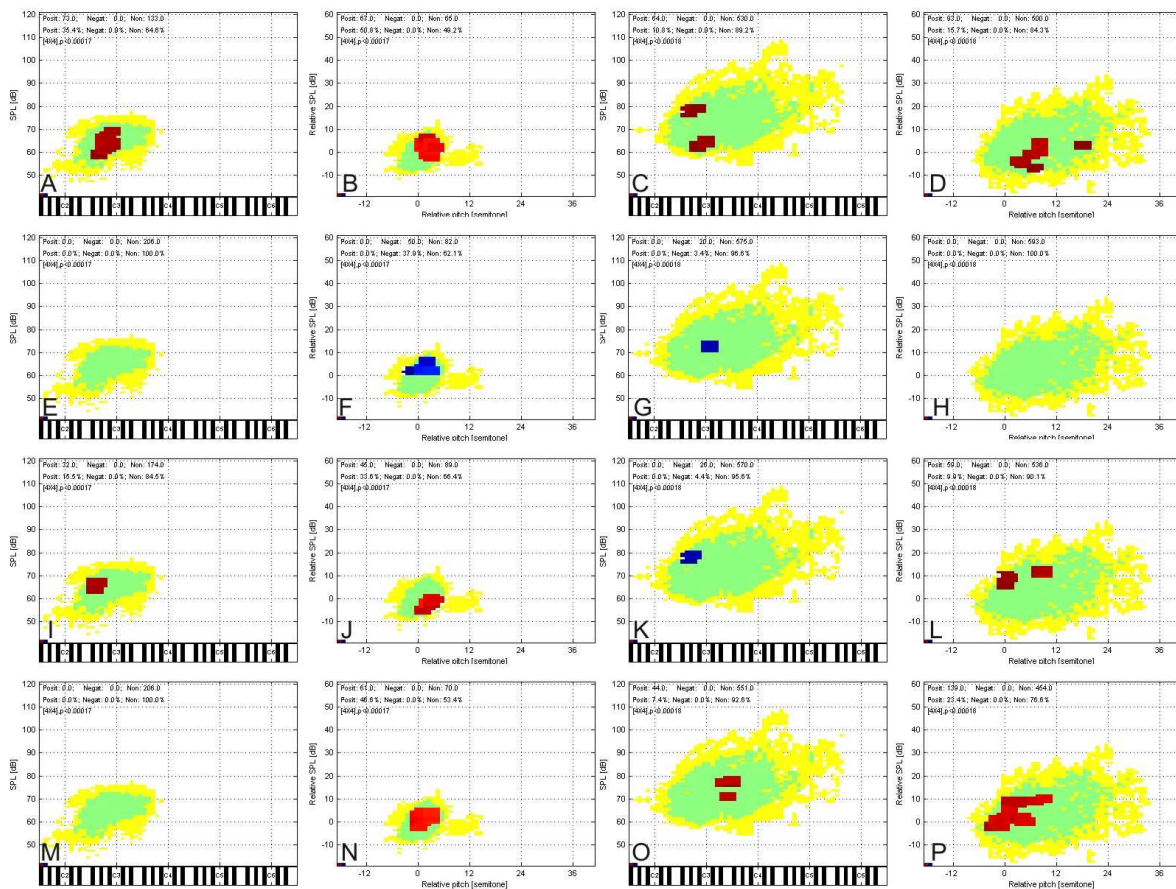
**Obrázek 8-4** Korelace akustických parametrů a dyšnosti při zohlednění pozice v hlasovém poli ( $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce), levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvního hlasového pole. 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná hlasová pole vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. A-D) Jitter, E-H) hladina prvního keprstrálního vrchol, I-L) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, M-P) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz. Vysvětlivky k obrázku viz legenda obrázku 8-3.

Kepstrální vrchol u zpěvního hlasového pole nevykazoval žádnou významnou korelaci s dyšností. Parametr rozdílu hladin první a druhé harmonické ukázal významně korelující oblast s dyšností v oblasti základní výšky hlasu cca 10 dB nad základní intenzitou normalizovaného VRP. Parametr sklon spektra v oblasti 0,4-4 kHz vykazoval relativně robustní oblast významné kladné korelace táhnoucí se od základní polohy až po cca sextu nad základní polohou 0 až 10 dB nad základní intenzitou hlasu.

Pro porovnání je v příloze H uvedeno zobrazení korelace měřených parametrů vzhledem k dyšnosti, ale bez zohlednění Bonferroniho korekce. Zobrazené korelace splňují trendově podmínku hladiny statistické významnosti  $p < 0,05$ . Pro habituální hlas, jsou výsledky v zásadě velmi podobné jako uvádí Obrázek 8-4, rozložení parametrů ve zpěvním hlasovém poli ale uvedené výsledky výrazně doplňuje. Protože oblast překrývajících se hlasových polí je velmi velká Bonferroniho korekce zakryla některé zajímavé vztahy. Z trendových korelací je zřejmé, že Jitter (perturbace periodicity) jsou nejvýznamnější v nejtíšší poloze ve výšce habituálního hlasu. Normalizace na ZHP ale také doplňuje oblast téměř celé oktávy nad ZHP. Parametr hladina prvního keprstrálního vrcholu ukazuje na absolutních hlasových polích velmi širokou oblast negativní trendové korelace s dyšností zejména v hlubší polovině VRP. Normalizace na ZHP trendovou korelaci ukazuje asi půl oktávy až oktávu nad ZHP a 0 až 15



dB nad průměrnou SPL habituálního hlasu. Parametry rozdíl hladin prvních dvou harmonických složek a sklon spektra v oblasti 0,4-4 kHz po normalizování hlasových polí vzhledem k ZHP vykazují kladnou trendovou korelaci s dyšností ve velmi rozsáhlé oblasti (celá hlubší polovina tónového rozsahu hlasu a střední až hlasitá dynamika).



**Obrázek 8-5** Korelace akustických parametrů s astenii při zohlednění pozice v hlasovém poli ( $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce), levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvného hlasového pole, 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná hlasová pole vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. A-D) Jitter, E-H) první keprstrální vrchol, I-L) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, M-P) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz. Vysvětlivky k obrázkům viz legenda obrázku 8-3.

Podobně jako u dyšnosti i při astenii (viz Obrázek 8-5) koreloval parametr Jitter v centrálních částech naměřených i normalizovaných habituálních hlasových polí. U zpěvných hlasových polí se ukázaly dominantní korelace v oblasti tiché a hlasité dynamiky ve výšce G – c, a u normalizovaného VRP v celé oblasti střední dynamiky od základní polohy až po cca sextu nad základní polohou.

První keprstrální vrchol ukázal významné negativní korelace jenom v normalizovaném habituálním hlasovém poli (v celé hlasitější polovině) a ve zpěvním hlasovém poli (jenom v poloze malé c a cca 70 dB).

Rozdíl hladin první a druhé harmonické koreloval s astenii v hluboké a hlasité oblasti habituálních VRP a také v tiché a vyšší poloze normalizovaných habituálních polí. Ve zpěvním hlasovém poli vykazoval protichůdné korelace, zápornou v absolutních hlasových polích v hlasité oblasti ve výšce Fis-H, kladnou v hlasité oblasti nad základní polohou habituálního hlasu a v střední a hlasité dynamice oblasti téměř oktávu nad ZHP.

Parametr sklon spektra v oblasti 0,4-4 kHz v absolutních habituálních VRP nekoreloval, ale po normalizaci na ZHP koreloval pozitivně v celé centrální oblasti. Ve zpěvním VRP

kladně koreloval jenom v oblasti e-a střední dynamiky, ale u normalizovaných VRP v celé oblasti střední a hlasité dynamiky (téměř celá jedna oktáva nad ZHP).

## 8.2 Efekt pěveckého tréninku u žen

### 8.2.1 Poslechové hodnocení hlasu

Vlastnost	Nap.hab.	Celk. kv. hab.	Tech. d' dur	Tech. fis' dur	Rez. hab.	Rez. d' dur	Rez. fis' dur	Tmav.hab.	Tmav. d' dur	Tmav. fis' dur
ICC	0.817	0.91	0.775	0.902	0.963	0.913	0.896	0.856	0.755	0.843

**Tabulka 8** Korelace hodnocení percepčních vlastností mezi hodnotiteli (ICC intraclass correlation).

Shoda mezi hodnotiteli u všech hodnocených vlastností (viz Tabulka 8) dosahovala dobré korelace ( $|r| > 0,7$ ). Nejkonzistentněji ( $|r| > 0,9$ ) byly hodnoceny vlastnosti rezonance habituálního hlasu, zpěvu písně v d' dur a celkové hodnocení habituálního hlasu, naopak nejméně konzistentně byly hodnoceny technika zpěvu v d' dur a tmavost v d' dur.

U vlastností celkový dojem habituálního hlasu, technická kvalita zpěvu, rezonance mluvního hlasu i zpěvu byly použité průměrné hodnoty všech hodnocení uvedených vlastností. Při hodnocení vlastností tmavost (mluvní i zpěvní) a habituální napětí hlasu bylo zjištěno, že odpovědi jednoho hodnotícího nebyly konzistentní v prvním testu, proto se do další analýzy počítalo jenom s průměry jeho retestu a obou hodnocení druhého hodnotícího. Hodnocení zpěvu ve vyšší tónině nebylo podrobena retestu, protože již korelace prvního testu obou hodnotitelů korelovaly na požadované hladině  $p < 0,05$ . Průměrné hodnoty všech konzistentních hodnocení sledovaných vlastností byly následně použity pro korelační analýzu s průměry naměřených parametrů v další části.

Korelace	Nap hab	Celk hab	Tech d'	Tech fis'	Rez hab.	Rez d'	Rez fis'	Tmav hab	Tmav d'	Tmav fis'
Nap. hab.	X							-0.62		
Celk. hab.		X			0.53			0.52		
Tech. d'			X	0.83**	0.57	0.66	0.73			0.8*
Tech. fis'			0.83**	X						0.9***
Rez. hab.		0.53	0.57		X	0.58				
Rez. d'			0.66	0.92***	0.58	X	0.77*		0.59	0.82**
Rez. fis'			0.73	0.93***		0.77*	X			0.89***
Tmav. Hab.	-0.62	0.52						X		
Tmav. d'						0.59			X	
Tmav. fis'			0.8*	0.9***		0.82**	0.89***			X

**Tabulka 9** Korelace průměrných výsledků subjektivního hodnocení vlastností mluvního habituálního hlasu a zpěvu písně ve dvou tónových výškách. Zobrazeny jsou jenom korelace se statistickou významností  $p < 0,05$ , šedým písmem jsou vyznačeny jenom trendové korelace  $p < 0,05$  a \* -  $p < 0,01$ . Významné korelace i po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/10$ , \*\*\* -  $p < 0,01/10$  jsou zobrazeny černě.

Korelace mezi subjektivními vlastnostmi (viz Tabulka 9) ukazují, že celkový dojem habituálního hlasu trendově koreluje s rezonancí a tmavostí pouze habituálního hlasu. Rezonance mluvního hlasu je trendově spjatá také s rezonancí zpěvního hlasu a technickou kvalitou zpěvu v d' dur tónině. Habituální tmavost byla v negativní trendové korelaci s napětím mluvního hlasu. U zpěvu písně v tónině d' dur korelovala technická kvalita jenom trendově s rezonancí (zpěvu i habituálního hlasu) a rezonance s tmavostí zpěvního hlasu.

Zajímavé je společné vyhodnocení korelací každé z vlastností pro habituální hlas a obě tóniny zpěvu. Ukazuje se, že technika zpěvu významně koreluje v obou tóninách zpěvu, ale nespojuje s celkovým hodnocením habituálního hlasu. Rezonance ukazuje jenom trendovou souvislost mezi zpěvní v hlubší tónině a mluvní rezonance, ale naopak velmi významnou mezi hodnocením v obou výškách zpěvu. Protože vzájemně nekorelovaly žádná

z habituálních a zpěvních tmavostí, zdá se, že tmavost hlasu se nejvíce mění v závislosti na typu použití a výšce hlasu při zpěvu.

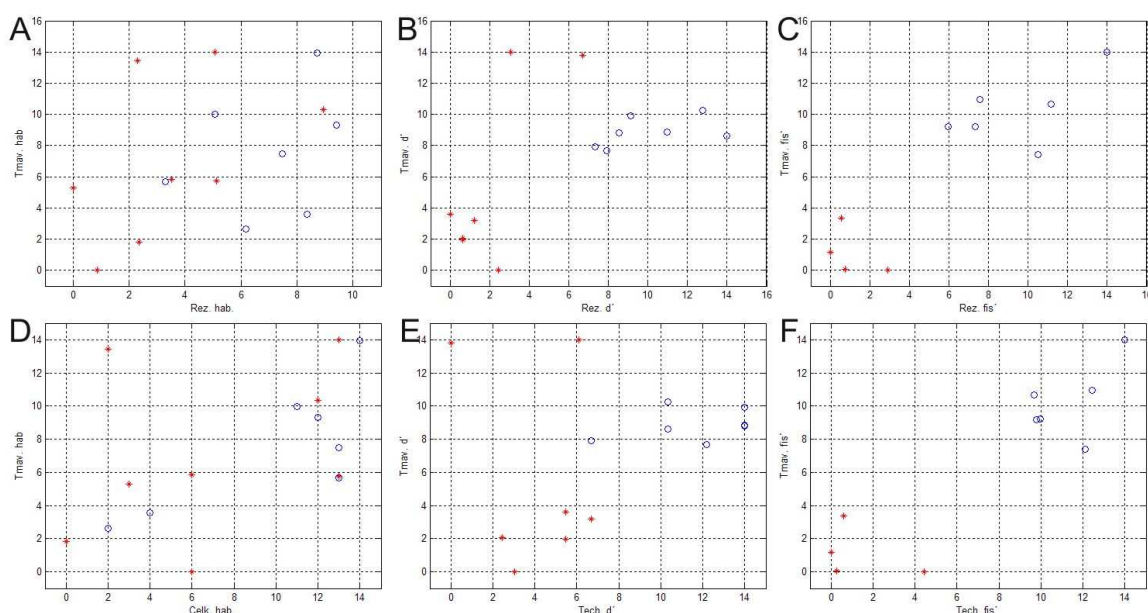
Na základě t-testu porovnání hodnocení percepčních vlastností mezi skupinami, bylo možné od sebe odlišit trénovanou a netrénovanou skupinu v poslechu hlavně dle vlastností mluvní i zpěvní rezonance a techniky zpěvu (viz [Tabulka 10](#)). Percepční hodnocení vlastností celkový dojem, tmavost a napětí u habituálního hlasu a tmavost u zpěvu písně v hlubší tónině nevykazovaly rozdíly mezi skupinami.

Porovnání	Věk	Koef. trén.	Nap. hab.	Celk. hab.	Tech. d´	Tech. fis´	Rez. hab.	Rez. d´	Rez. fis´	Tmav. hab	Tmav. d´	Tmav. fis´
Prům. Trén.	25.43	9.33	8.48	9.86	11.65	11.33	6.93	10.09	9.42	7.51	8.86	10.24
Std. Trén.	3.21	4.97	3.75	4.81	2.73	1.79	2.19	2.56	3.00	3.94	0.95	2.23
Prům. Nezp.	23	0.78	6.36	6.88	4.17	1.06	3.52	2.09	1.05	7.05	5.52	1.15
Std Nezp.	2.14	0.44	3.56	5.19	2.42	1.90	2.84	2.30	1.27	5.11	5.84	1.57
t-test	ns	0.0003*	ns	ns	0.00015*	0.00001*	0.02355	0.00005*	0.00082*	ns	ns	0.00011*

**Tabulka 10** Porovnání věku a průměrných hodnocení percepčních vlastností hlasu mezi trénovanou a netrénovanou skupinou studentek. V tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty, standardní odchylky (std) a výsledek t-testu (ns – není signifikantní rozdíl, uvedeny jsou hodnoty statistické významnosti  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,01/12$  – Bonferroniho korekce).

Jiný typ porovnání ukazuje rozložení subjektů v dimenzích světlost – tmavost versus rezonance (viz [Obrázek 8-6](#)). Při hodnocení habituálního hlasu (část A) se u tmavosti ukazuje náhodné rozložení trénovaných zpěvaček a nezpěvaček, tato vlastnost závisí hlavně na výšce hlasu (viz dále). Naproti tomu, při hodnocení míry rezonance dosahuje skupina zpěvaček v průměru lepší hodnocení (jenom trendově viz [Tabulka 10](#)). Ve zpěvním hlase v nižší tónině (d´-dur, část B) se umístily zpěvačky uprostřed mezi velmi světlými a velmi tmavými hlasy netrénované skupiny, avšak se statisticky výraznější rezonancí hlasu. Ve vyšší tónině (fis´-dur, část C) již některé nezpěvačky nebyly schopny zazpívat, zpěvačky měly statisticky významně tmavší i rezonovanější hlas než nezpěvačky.

Podobně i porovnání celkového, resp. technického hodnocení versus tmavost ukazuje náhodného (difúzní) rozložení u habituálního hlasu (část D), a postupné výraznější oddělování zpěvaček od nezpěvaček s narůstající výškou zpěvu (části E a F).



**Obrázek 8-6** Porovnání hodnocení míry rezonance (osa x) a míry tmavosti (osa y) u A) habituálního hlasu, B) zpěvu v tónině d´dur a C) v tónině fis´dur mezi trénovanými klasickými zpěvačkami (modré kolečka) a nezpěvačkami (červené hvězdičky). Porovnání celkového hodnocení resp. techniky zpěvu (osa x) a tmavosti na (osa y): D) pro habituální hlas, E) zpěvu v tónině d´dur a F) v tónině fis´dur.



## 8.2.2 Porovnání parametrů hlasových polí a vztah se subjektivním hodnocením Hlasové pole habituálního hlasu

Habituální hlas	P.mean	P.min	P.max	TR	SPL.mean	SPL.min	SPL.max	DR	VRPArea
Prům. trén.	57.39	52.43	63.37	10.94	71.26	58.28	80.78	22.50	156.15
SD	1.79	2.17	2.14	1.94	2.67	3.03	2.38	2.58	26.13
Prům. netrén.	55.91	50.65	61.73	11.08	68.37	56.20	77.91	21.72	157.13
SD	1.75	1.56	2.72	2.68	2.71	2.98	3.11	3.18	20.35
<i>t-test pval</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Věk									
Koef. trén.									
Tmavost hab.	-0.72**	-0.58	-0.55						
Napětí hab.	0.89**	0.70**	0.74**						
Rezonance hab.					0.90**	0.67	0.85**		
Celk. kvalita hab.									
Technika d'-dur	0.62		0.59		0.61		0.57		
Rezonance d'-dur									
Tmavost d'-dur								0.55	
Rezonance fis'-dur						0.66			
Technika fis'-dur						0.66			
Tmavost fis'-dur									

**Tabulka 11** Porovnání parametrů habituálního hlasového pole u skupiny pěvecky trénovaných a netrénovaných žen (řádek *t-test pval*, *ns* – nesignifikantní) a korelace s parametry hlasové trénovanosti a percepčními parametry. Zobrazeny jsou korelace s  $p < 0,05$  (jako trendové napsány šedě), \*\* -  $p < 0,05/10$  (Bonferroniho korekce, černě). P – výška v midi půltónech, TR, DR – tónový a dynamický rozsah, VRParea – plocha hlasového pole.

Porovnání průměrů hodnot parametrů habituálního hlasového pole (viz Tabulka 11) neukázalo žádné významné rozdíly mezi trénovanou a netrénovanou skupinou. Výsledky korelace parametrů habituálního hlasových polí s parametry hlasové trénovanosti a percepčními parametry ukázaly negativní vztah mezi habituální tmavostí a průměrnou výškou hlasu, pak opačně kladný vztah výšky hlasu a vnímaného napětí hlasu. Rezonance habituálního hlasu kladně korelovala s průměrnou a maximální SPL. Ostatní vztahy nevyhověly Bonferroniho korekci a tedy je možno interpretovat jako trendové: technika zpěvu v d'-dur tónině trendově narůstala s průměrnou a maximální výškou i SPL, tmavost zpěvu při d'-dur kladně souvisela s dynamickým rozsahem a rezonance a technika zpěvu ve vyšší tónině kladně trendově korelovaly s minimální SPL.

Porovnání kontur hlasového pole (viz Obrázek 8-7) neukázalo žádné významné rozdíly mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami ani pro SPL kontury ani pro výškové kontury.

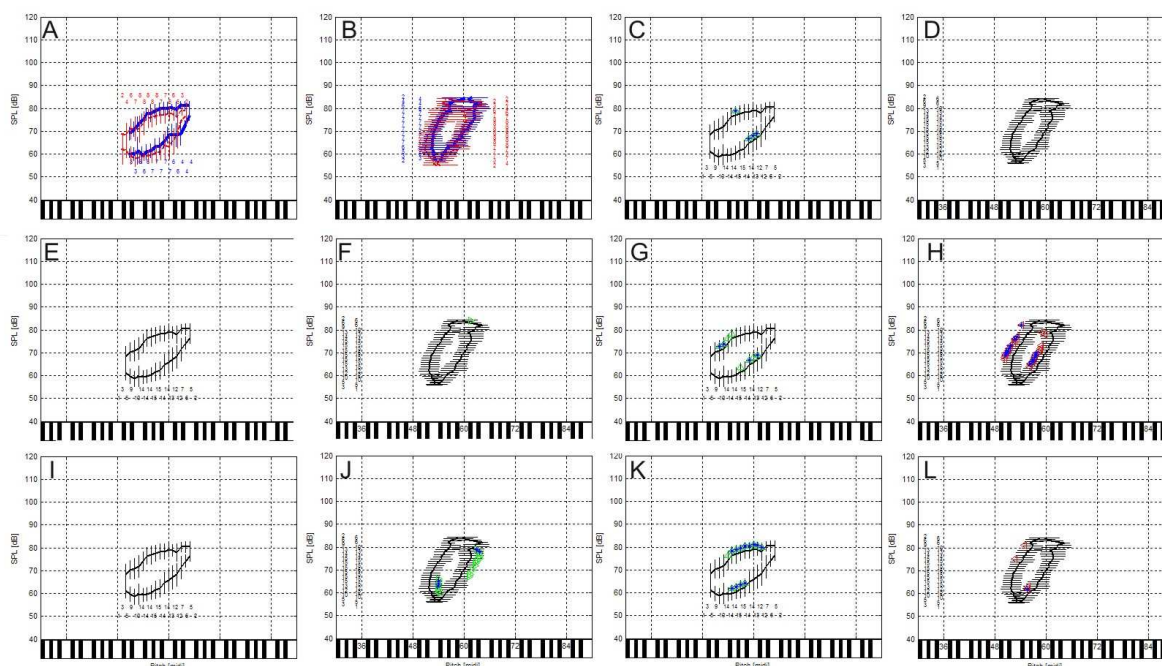
Korelace hraničních křivek však odhalila významné vztahy s percepčními vlastnostmi. Se zvyšováním **tmavosti** (části G, H) habituálního hlasu se celkově prohlubuje hlas, prohlubuje se střední část jak hluboké tak vysoké výškové kontury a taky zvyšuje intenzita v hlubší části horní SPL kontury a ve vyšší polovině spodní SPL kontury habituálního hlasového pole.

**Celkové hodnocení kvality** (části C, D) habituálního hlasu se projevovalo podobně jako tmavost hlasu ale jenom u SPL kontur, na výškové kontury nemělo signifikantní vliv.

Nárůst **napětí** (části I, J) hlasu se projevil jenom na výškových konturách – posunem spodní části hluboké výškové kontury směrem k vyšším tónům a také trendově posunem horní částí vysoké výškové kontury.

Výraznější **rezonance** (části K, L) celkově zvyšovala intenzitu středních částí horní i spodní SPL kontury habituálního hlasu.

Kontury habituálního hlasu nevykazovali žádné významné korelace s koeficientem trénovanosti a ani se žádným percepčním hodnocením zpěvního hlasu.



**Obrázek 8-7** Statistické porovnání kontur habituálního hlasového pole a korelace s percepčními parametry. Porovnání průměrů spodních a horních SPL kontur (A) a výškových kontur (B) pomocí t-testu. Korelace průběhů SPL kontur (C, E, G, I, K) a výškových kontur (D, F, H, J, L) hlasových polí subjektů s hodnotami percepčních vlastností: celkové hodnocením kvality habituálního hlasu (C, D); koeficient trénovanosti (E, F); tmavost habituálního hlasu (G, H); napětí habituálního hlasu (I, J); rezonance habituálního hlasu (K, L).

### Hlasové pole při gradaci volání

Porovnání parametrů hlasových polí při gradaci volání (viz příloha I) ukázalo jenom trendové zvýšení minimální intenzity hlasu u trénovaných žen ( $p < 0,05$ ), které však vzhledem k zadání měřeného úkolu značí, že netréované ženy nasadily hlas tišeji, než trénované.

Korelace s externími parametry taky prokázala zejména trendové vztahy u minimální intenzity hlasu (s věkem, koeficientem trénovanosti, rezonancí habituálního hlasu i zpěvu a technikou zpěvu ve fis'-dur, tmavost ve fis'-dur), které jenom potvrzují, že hlasový trénink zvyšuje minimální nasazovanou intenzitu hlasu. Dynamický rozsah při volání trendově koreloval s technikou zpěvu ve vyšší tónině.

Při hodnocení kontur hlasového pole při gradaci volání (viz příloha J) jenom horní SPL kontura a spodní výškovou kontura charakterizují zadání při uvedeném úkolu – postupná gradace hlasitosti hlasu, při volání slova „máma“. Porovnání uvedených kontur ale neukázalo žádné významné rozdíly mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami.

Korelace významných hraničních křivek hlasového pole při gradaci volání ukázala jenom málo významných vztahů s percepčními vlastnostmi naproti výše zmiňovanému habituálního hlasu. Se zvyšováním **tmavosti** habituálního hlasu se prohluboval hlas v oblasti 80-85 dB. **Celkové hodnocení kvality** habituálního hlasu se projevovalo u hlasového pole volání jenom trendově ve zvýšení horní SPL kontury v oblasti c'-e'. Nárůst **napětí** hlasu se taky projevoval jenom trendově posunem spodní části hluboké výškové kontury (v oblasti 80-85 dB) směrem k vyšším tónům. Větší **rezonance** nevykázala žádné významné vztahy.

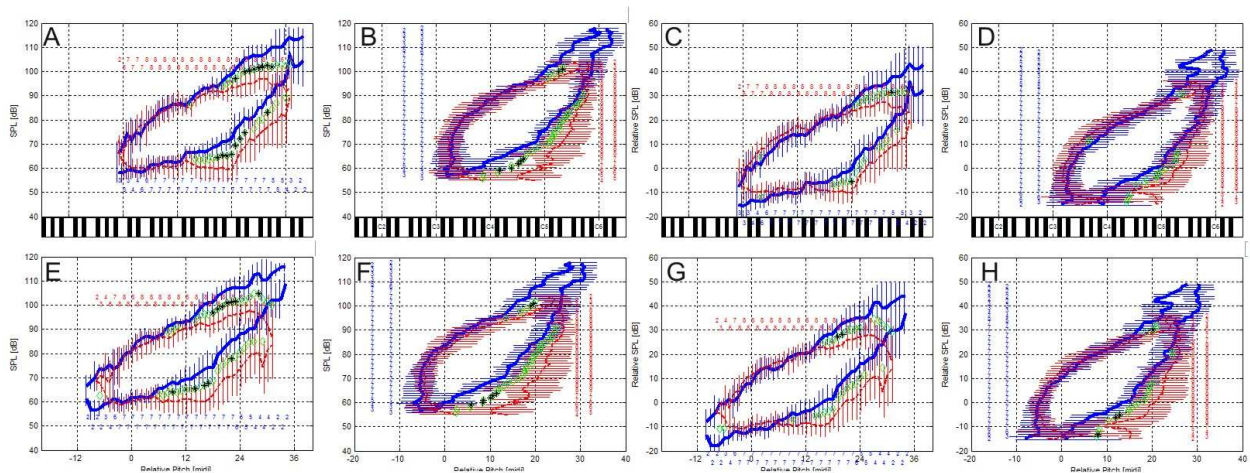
### Zpěvní hlasové pole

Porovnání parametrů celkového zpěvního hlasového pole mezi pěvecky trénovanou a netrévanou skupinou (viz Tabulka 12) ukázala statisticky významný rozdíl jenom u parametru maximální dosahované intenzity hlasu, která byla v průměru o 10 dB vyšší

u trénovaných žen, a trend zvýšení dynamického rozsahu hlasu u trénovaných žen ( $p < 0,05$ ). Výsledky korelace parametrů zpěvních hlasových polí s parametry hlasové trénovanosti a percepčními parametry ukázaly, že koeficient trénovanosti významně koreloval s maximální dosažovanou SPL a trendově i s dynamickým rozsahem ( $p < 0,01$ ). Další významná korelace byla nalezena mezi technikou zpěvu v tónině d'-dur a maximální SPL. Ostatní vztahy s rezonancí v hlubší tónině a rezonancí, technikou a tmavostí ve vyšší tónině byly jenom trendové ( $p < 0,05$ ).

Zpěvní VRP	P.min	P.max	P.TR	SPL.min	SPL.max	SPL.DR	VRPArea	AnadShout
Prům. trén.	50.29	83.90	33.61	57.61	110.18	52.57	755.20	289.13
SD	2.93	3.66	4.94	3.24	5.03	7.93	156.62	77.62
Prům. netrén.	49.22	83.02	33.80	56.24	99.37	43.13	823.24	329.21
SD	1.98	1.77	2.35	3.79	2.27	5.16	154.80	95.91
t-test pval	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<b>0.0001**</b>	<b>0.0160</b>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Věk					0.52			
Koef. trén.					<b>0.81***</b>	0.66*		
Tmavost hab.								
Napětí hab.								
Rezonance hab.				0.56				
Celk. kvalita hab.								
Technika d'-dur					<b>0.71**</b>			
Rezonance d'-dur					0.6			
Tmavost d'-dur								
Rezonance fis'-dur					0.72			
Technika fis'-dur					0.65			
Tmavost fis'-dur				0.64	0.7			

**Tabulka 12** Porovnání parametrů (řádek t-test pval, ns – nesignifikantní) celkového (zpěvného) hlasového pole u skupiny pěvecky trénovaných a netrénovaných žen a korelace s parametry hlasové trénovanosti a percepčními parametry. Zobrazeny jsou rozdíly a korelace s  $p < 0,05$  jako trendové – šedě a \*\* -označují  $p < 0,05/10$  a \*\*\* -  $p < 0,01/10$  po aplikaci Bonferroniho korekce - černě. P – pitch (výška v midi pultónech), TR, DR – tónový a dynamický rozsah, VRPArea – plocha hlasového pole, AnadShout – plocha hlasového pole nad polohou maximální výšky hlasu při volání.

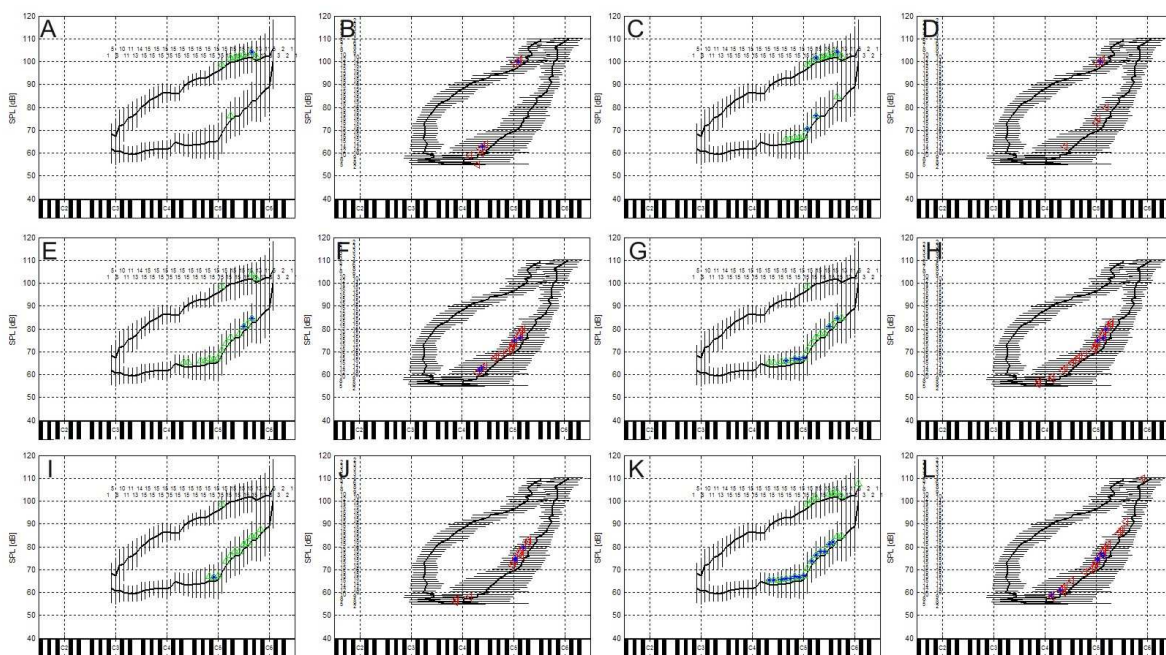


**Obrázek 8-8** Statistické porovnání SPL a výškových kontur zpěvného hlasového pole mezi trénovanými zpěvačkami (modře) a nezpěvačkami (červeně). A, B) originální data bez normalizace; C, D) normalizace vzhledem na průměrnou SPL habituálního hlasu; E, F) normalizace vzhledem k průměrné výšce habituálního hlasu; G, H) normalizace vzhledem na průměrnou výšku i SPL habituálního hlasu.

Obrázek 8-8 zobrazuje porovnání SPL a výškových kontur zpěvních hlasových polí mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami. Absolutní naměřené hodnoty SPL (část A) ukazují

signifikantní rozdíly, v nejvyšší oktávě vysoké části tónového rozsahu u horní SPL kontury a v oblasti  $a'$  -  $a''$  u spodní SPL kontury trénované zpěvačky dosahují výrazně vyšších hodnot. Normalizace SPL kontur vzhledem na průměrnou výšku habituálního hlasu (část E) upřesňuje, že uvedené rozdíly se nachází u horní SPL kontury v oblasti 1,5 až 2 oktávy a u spodní SPL kontury v oblasti 8-17 půltónů nad základní polohou hlasu. Normalizace na průměrnou intenzitu habituálního hlasu (viz části C a D) však dokladuje, že uvedené rozdíly při zohlednění intenzity habituálního hlasu jsou jenom trendové. Je tedy možno diskutovat o tom, že průměrná intenzita habituálního hlasu do jisté míry souvisí se SPL konturami zpěvného hlasu.

Výškové kontury dokumentují významné rozdíly jenom ve spodní (tiché) části horní výškové kontury, což odpovídá tomu, že nezpěvačky tvořili hlas významně tišeji ve středních a vysokých polohách.



**Obrázek 8-9** Korelace průběhů SPL kontur (A, C, E, G, I, K) a výškových kontur (B, D, F, H, J, L) hlasových polí subjektů s hodnotami percepčních vlastností: koeficient trénovanosti (A,B); technika zpěvu písně v tónině  $d'$ -dur (C, D); rezonance zpěvu písně ve tónině  $d'$ -dur (E, F); technika zpěvu písně v tónině  $fis'$ -dur (G, H); rezonance zpěvu písně v tónině  $fis'$ -dur (I, J); tmavost při zpěvu písně v tónině  $fis'$ -dur (K, L).

Korelace SPL a výškových kontur s percepčními vlastnostmi (viz [Obrázek 8-9](#)) zobrazuje některé zajímavé souvislosti. Ukazuje se, že **koeficient trénovanosti** jenom trendově zesiluje horní SPL konturu ve vysoké části zpěvného VRP od cca  $c''$  (C5) výše, při hladině 100 dB snižuje spodní a v okolí 60 dB vysokou výškovou konturu. **Technika zpěvu** v nižší tónině ( $d'$ -dur) se na hlasových polích projevila podobně jako koeficient trénovanosti a navíc se při ní zvyšovala i spodní SPL kontura v okolí  $c''$ . **Rezonance zpěvu v nižší tónině** a **technika zpěvu ve vyšší tónině** se podobně projevily na konturách zpěvních hlasových polí trendově zvýšením spodní SPL kontury v rozsahu  $f'$  až  $g''$  a snížením vrchní výškové kontury v rozsahu 60 – 85 dB. **Rezonance zpěvu ve vyšší tónině** byla podobná jako rezonance v nižší tónině, ale trendově korelovala spodní SPL kontura jenom v rozsahu  $c''$  -  $h''$  (C5 – C6), horní výšková kontura jenom v rozsahu 70 – 82 dB. Dále rezonance vyšší tóniny trendově korelovala se zvýšením horní SPL kontury v rozsahu  $c''$ - $a''$  (C5 – A5). **Tmavost při zpěvu vyšší tóniny** korelovala nejvýznamněji v rozsahu E4 – F5 ( $e'$ - $f''$ ) nárůstem spodní SPL kontury.

## Faktorová analýza parametrů hlasových polí

Výsledky faktorové analýzy parametrů hlasových polí ukázaly, že sledované parametry u skupiny trénovaných i netrénovaných žen lze rozdělit mezi 6 faktorů (viz [Tabulka 13](#)), které vyčerpávají 90,3% variability dat. Tyto faktory lze dle významných vztahů charakterizovat jako:

- FA1: faktor rozsahu habituálního hlasu a maximální výšky při volání,
- FA2: faktor maximální výšky a intenzity zpěvního hlasu,
- FA3: faktor omezení tónového rozsahu zpěvního hlasu,
- FA4: faktor intenzity habituálního hlasu,
- FA5: faktor dynamického rozsahu habituálního hlasu,
- FA6: faktor plochy zpěvního hlasového pole.

	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6
P.hab.mean						
P.hab.min			0.90			
P.hab.max	0.86					
P.hab.TR	0.78					
SPL.hab.mean				0.94		
SPL.hab.min				0.73		
SPL.hab.max				0.89		
SPL.hab.DR					0.95	
VRP.hab.A	0.71					
P.zp.min			0.88			
P.zp.max		0.79				
P.zp.TR			-0.79			
SPL.zp.min						-0.76
SPL.zp.max		0.90				
SPL.zp.DR		0.87				
VRP.zp.A						0.84
AnadSh.zp						
P.vo.max	0.82					
P.vo.TR						
SPL.vo.max						
SPL.vo.DR						0.82
Exp.Var						
Prp.Totl						

**Tabulka 13** Výsledky faktorové analýzy parametrů všech hlasových polí (hab. – habituální hlas, zp.-zpěvní hlasové pole, vo.- gradace volání), vyznačeny jsou jenom ty parametry, které významně korelují s daným faktorem.

Měřené parametry hlasových polí jednotlivých pacientů byly přepočteny na hodnoty koeficientů uvedených 6 faktorů, a do takto vzniknutého prostoru byly pomocí mnohonásobné lineární regrese vnořeny hodnoty hodnocení percepčních vlastností. Mnohonásobná lineární regrese uvedených faktorů s percepčními vlastnostmi ukazuje následující vztahy (viz [Tabulka 14](#)):

- Pěvecká trénovanost zvyšuje maximální výšku a intenzitu zpěvního VRP.
- Tmavost habituálního hlasu omezuje maximální výšku, rozsah habituálního hlasu a zvětšuje tónový rozsah VRP.
- Napětí hlasu zvyšuje výšku habituálního hlasu a snižuje rozsah zpěvního hlasu.
- Rezonance habituálního hlasu zesiluje intenzitu habituálního hlasu.

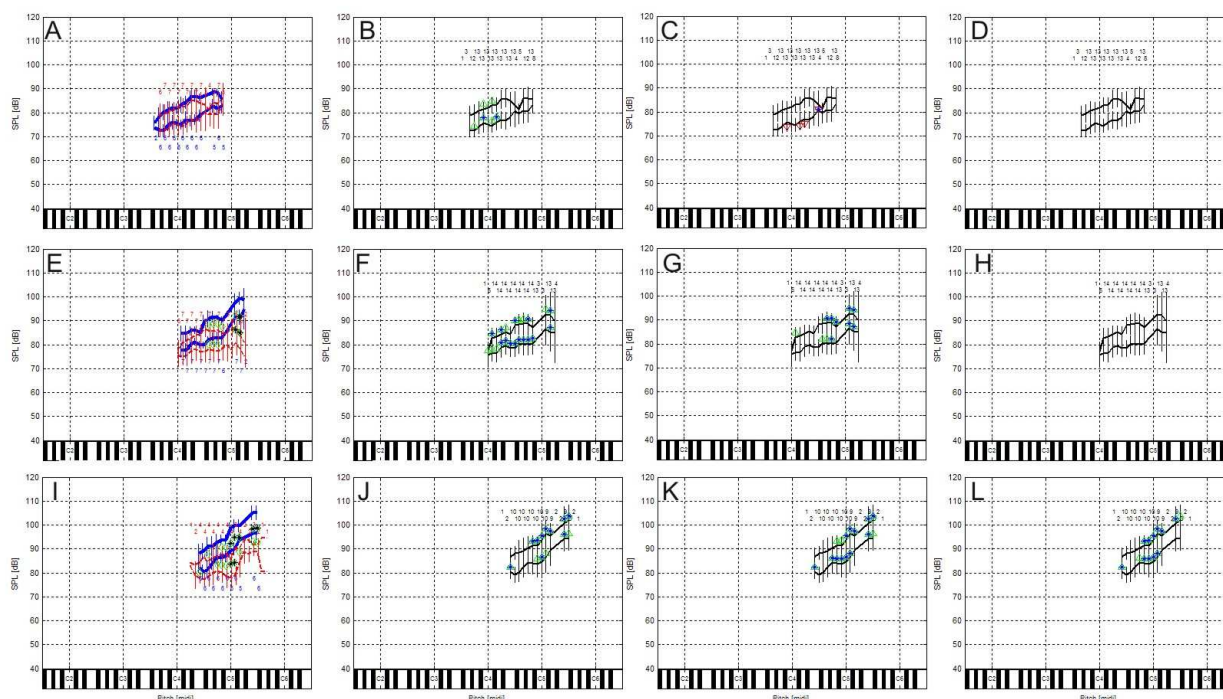


- Technika zpěvu ve vysoké tónině negativně ovlivňuje faktor 6 (min intenzitu VRP, dynamický rozsah a plochu VRP).

MLR	Koef. trén.	Tmav. hab.	Nap. Hab.	Rez. hab.	Celk. hab.	Tech. d'-dur	Rez. d'-dur	Tmav. d'-dur	Rez. fis'-dur	Tech. fis'-dur	Tmav. fis'-dur
FA1		-0.61	0.53								
FA2	0.77										
FA3		-0.48	0.53								
FA4		0.39		0.89							
FA5											
FA6										-0.60	

**Tabulka 14** Mnohonásobná lineární regrese faktorů parametrizace hlasových polí s percepčními parametry. Zobrazeny jsou jenom korelace na hladině ( $p < 0,05$ ).

### Hlasová pole při zpěvu lidové písně



**Obrázek 8-10** Porovnání obrysů hlasových polí (A, E, I) zpěvu písně mezi zpěvačkami (modrá) a nezpěvačkami (červená) a korelace s percepčními parametry pro výšky: a-dur (A-D), d'-dur (E-H), fis'-dur (I-L). Korelace s percepčními parametry: B) tmavost habituálního hlasu; C) napětí habituálního hlasu; D) technika zpěvu v d'-dur; F) tmavost d'-dur; G) rezonance d'-dur; H) technika d'-dur; J) tmavost fis'-dur; K) rezonance fis'-dur; L) technika fis'-dur.

Lidová píseň „Já do lesa nepojedu“ byla analyzována v tónových výškách a-dur, d'-dur a fis'-dur (viz Obrázek 8-10). Zpěv písně v nejhlubší poloze (**a-dur**) byl zaznamenán u 6 ze 7 zpěvaček a u 6 z 8 nezpěvaček, ale nebyl speciálně hodnocený v poslechových testech, proto pro korelaci byly použity hodnocené percepční vlastnosti habituálního hlasu a zpěvu v d'-dur. Porovnání SPL kontur hlasových polí zpěvu v a-dur neukázalo žádné statisticky významné rozdíly mezi trénovanými a netrénovanými ženami. Korelace SPL kontur s hodnocením celkové kvality habituálního hlasu, technika d'-dur a rezonance v d'-dur taky neukázaly žádné významné korelace. Tmavost habituálního hlasu naznačovala jenom trendově zesílení spodní části tónového rozsahu, naopak napětí habituálního hlasu jenom trendově negativně korelovalo s hlubší částí tónového rozsahu spodní SPL kontury.

Zpěv v **d'-dur** (7 ze 7 zpěvaček, 7 z 8 nezpěvaček) ukázala při porovnání kontur hlasových polí významné rozdíly v polohách nad c'' (C5). Korelace SPL kontur s percepčním hodnocením ukázala nejvýznamnější vztahy s hodnocením tmavosti v d'-dur, kde se

významně zesilovaly obě SPL kontury v téměř celém tónovém rozsahu písně. Rezonance hlasu v d'-dur již korelovala jenom se zesílením vyšších částí tónového rozsahu obou kontur, ale technika zpěvu nekorelovala se žádnou částí kontur VRP.

Nejvyšší hodnocená výška fis'-dur byla zaznamenána jenom u 4 z 8 nezpěvaček, kdežto u 6 ze 7 zpěvaček. Porovnání kontur hlasového pole ale ukázala i přesto významné rozdíly v celé vyšší polovině tónového rozsahu (resp. nad tónem c'' (C5)) zejména u horní SPL kontury. Korelace s percepčními parametry tmavostí, rezonancí i technikou zpěvu ve fis'-dur kladně korelovala v střední a vysoké části tónového rozsahu horní SPL kontury a taky střední a hluboké části spodní SPL kontury.

t-test	P.mean	P.min	P.max	TR	SPL.mean	SPL.min	SPL.max	DR	VRPArea
a-dur	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
d'-dur	ns	ns	ns	ns	0.0146	ns	0.0003**	0.0006**	ns
fis'-dur	ns	ns	ns	ns	0.0004**	ns	0.0001**	0.0235	ns

**Tabulka 15** Porovnání parametrů hlasových polí lidové písně mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami v různých výškách. V tabulce jsou uvedeny hodnoty statistické významnosti t-testu (ns – nevýznamné rozdíly, bez hvězdičky jsou uvedeny  $p < 0,05$ , \*\* označují  $p < 0,01/10$  – Bonferroniho korekci pro 10 porovnáání. P – označuje parametry výšky hlasu, VRPArea – plocha hlasového pole.

**Tabulka 15** dokumentuje porovnání parametrů hlasových polí lidové písně mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami v různých tóninách. Signifikantní rozdíly se nenašly v nejhlubší tónině, ale s narůstající výškou zpěvu se rozdíly zvětšují a v zásadě se týkají jenom parametrů intenzity hlasu: průměrné a maximální SPL a dynamického rozsahu.

VRP	Percepční hodn.	P.mean	P.min	P.max	TR	SPL.mean	SPL.min	SPL.max	DR	VRPArea
a-dur	Tmav hab					0.72*	0.75**	0.64		
	Nap hab					-0.65				
	Rez hab									
	Celk hab						0.62	0.55		
	Tmav d'-dur					0.83***		0.84***	0.64	
	Rez d'-dur								0.59	
d'-dur	Tmav d'-dur					0.85***	0.81***	0.71**		
	Rez d'-dur					0.8***	0.56	0.92***	0.87***	
	Tech d'-dur							0.59	0.57	
	Tmav fis'-dur					0.8*		0.89***	0.68	
	Rez fis'-dur					0.78*		0.92***	0.68	
	Tech fis'-dur					0.78*		0.94***	0.84**	
fis'-dur	Rez d'-dur					0.77*	0.69	0.73		
	Tech d'-dur					0.81**	0.8*	0.75		
	Tmav fis'-dur					0.9***		0.94***	0.71	
	Rez fis'-dur	0.64				0.94***		0.94***	0.71	
	Tech fis'-dur	0.65	0.66			0.94***	0.76	0.88***		

**Tabulka 16** Korelace percepčních parametrů s parametry hlasových polí zpěvu lidové písně v různých výškách. Uvedeny jsou korelační trendové koeficienty se statistickou významností  $p < 0,05$  a \* $p < 0,01$ , – šedě, při aplikaci Bonferroniho korekce - černou: \*\* $p < 0,05/10$ , \*\*\* $p < 0,01/10$ .

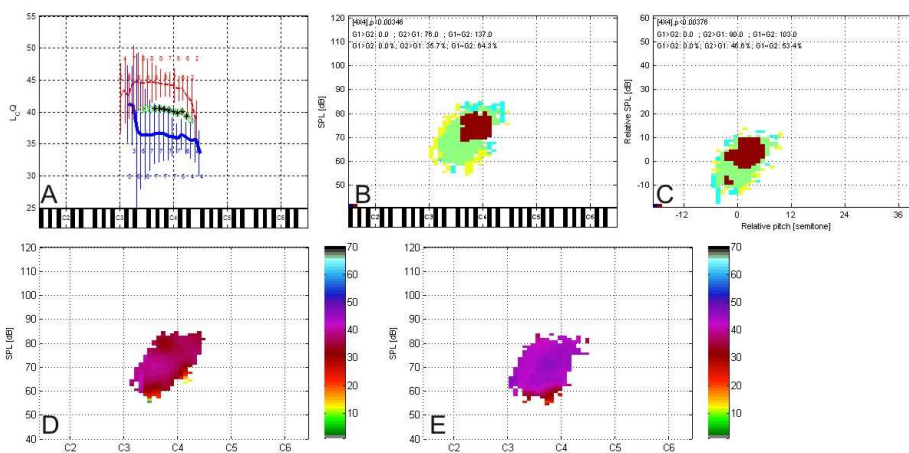
Korelace percepčních parametrů s parametry hlasových polí zpěvu lidové písně (viz **Tabulka 16**) ukazují, že výškové parametry měly jenom trendové vztahy a to až v nejvyšší tónině, jinak nesouvisely s hodnocením zpěvu. Hodnocení tmavosti, rezonance i techniky korelovalo zejména s průměrnou a maximální SPL a to tím výrazněji, čím vyšší byla zpívaná výška.

## 8.2.3 Porovnání měřených parametrů a jejich rozložení v hlasovém poli

### Habituální hlas

Parametr	pval t-test	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.	Parametr	pval t-test	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.
F0x		57.31	1.79	55.84	1.74	A3	0.027	5.27	0.96	3.99	1.03
SPL		70.76	2.67	67.92	2.67	A4	0.0181	-0.77	0.84	-1.71	0.48
Jitt		9.89	0.78	10.80	1.59	COGamp		527.75	37.76	482.71	63.25
ShdB		1.33	0.07	1.43	0.16	COG25k		3068.50	111.93	3024.40	77.73
RAP		4.63	0.56	5.31	1.01	COG0k25		453.65	39.68	421.72	54.77
vF0		11.83	1.29	13.00	2.21	COGharm		482.46	36.78	453.18	62.30
SPI		303.74	21.93	323.14	21.71	FSH		2710.10	125.63	2634.30	111.45
VTI		-376.03	23.22	-385.31	15.69	LFSH	0.0192	47.96	3.77	43.17	3.17
HNR	0.046	16.32	1.13	14.73	1.60	THItilt		-3.46	0.40	-3.85	0.40
ER		21.27	1.42	23.07	2.05	THItilt4k4	0.0085	-7.73	0.69	-8.72	0.54
SPR		-25.80	1.49	-27.69	2.62	BF1		188.53	28.00	193.91	25.88
Alfa		-26.05	0.80	-27.72	1.97	BF2		251.56	29.18	250.23	17.56
H1	0.0207	70.41	2.44	66.76	2.87	BF3		345.47	18.78	366.62	28.30
dHa1Ha2	0.007	5.21	1.42	2.27	2.03	BF4		413.68	14.55	426.53	30.82
F1		353.15	27.67	364.23	40.04	FT1		45.79	2.86	42.56	3.03
F2		1204.40	80.16	1228.60	86.25	FT2	0.0327	50.38	4.17	45.93	3.02
F3		2259.20	63.70	2341.20	86.92	FT3		50.02	2.97	47.12	3.73
F4		3327.50	74.98	3387.20	71.26	FT4		51.48	3.94	48.81	4.34
A1		27.22	1.01	28.37	2.02	CP~1		-10.22	0.45	-10.69	0.53
A2		13.42	1.11	13.91	1.40	CQEGG	9.78E-04**	36.48	4.44	43.88	2.08

**Tabulka 17** Porovnání průměrných hodnot měřených parametrů pro habituální hlas. Sloupec pval t-test zobrazuje hladinu statistické významnosti porovnání pomocí t-testu, zobrazeny jsou jenom trendové hodnoty s  $p < 0,05$  – šedě a po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/40$  - černě.

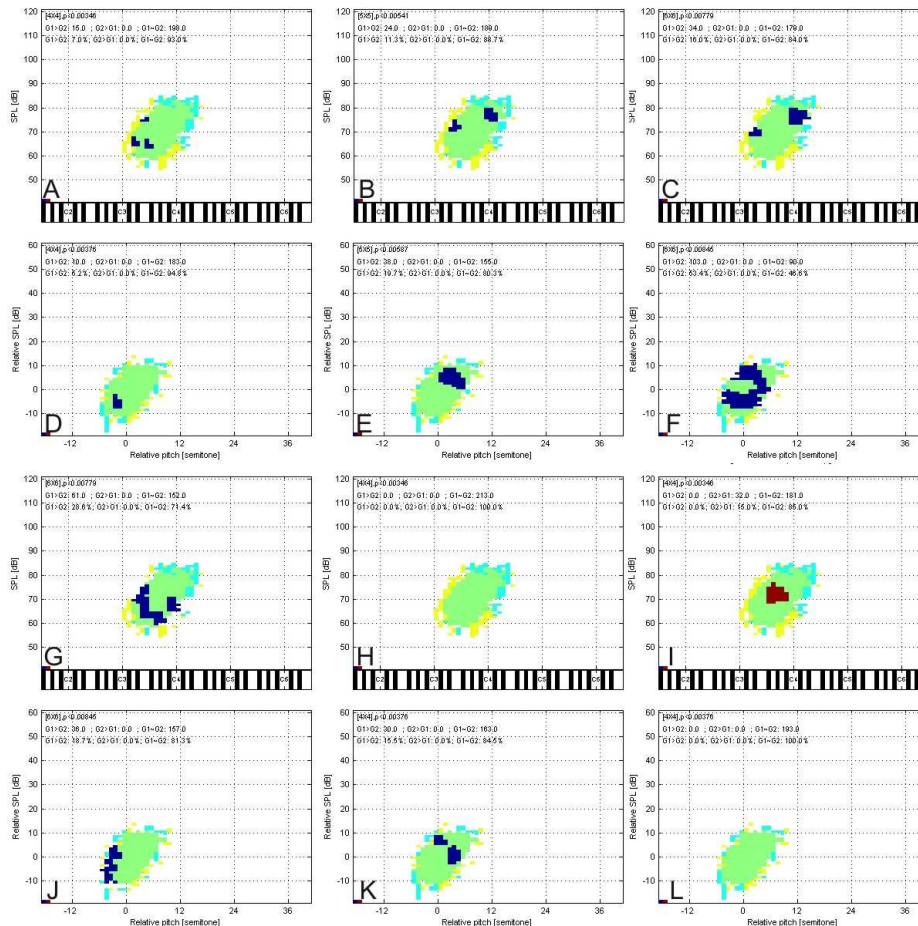


**Obrázek 8-11** Porovnání rozložení parametru CQEGG mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami. A) CQEGG rozložení podél výšky hlasu (modrá trénované zpěvačky, červená netréované). B) porovnání rozložení CQEGG při zohlednění pozice v hlasovém poli (červená oblast zobrazuje plochu se statisticky významně vyššími hodnotami CQEGG ( $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce) u netréovaných žen. C) Porovnání CQEGG při zohlednění polohy v hlasovém poli normalizované vzhledem k základní poloze habituálního hlasu. Zobrazení průměrných hodnot CQEGG vzhledem na pozici v hlasovém poli: D) pro trénovanou skupinu, E) pro netréovanou skupinu.

Statistické porovnání průměrných hodnot naměřených parametrů mezi skupinami pro **habituální hlas** (viz Tabulka 17) po uplatnění Bonferroniho korekce ukázalo jako jediný statisticky významně rozdílný parametr kontaktní koeficient (CQEGG), kde zpěvačky



dosahovaly nižších hodnot než nezpěvačky. **Obrázek 8-11** ukazuje porovnání CQEGG vzhledem na rozložení podél naměřené výšky hlasu a s ohledem na pozici v hlasovém poli absolutní a normalizované hodnoty (vzhledem na základní polohu habituálního hlasu). Tento typ porovnání odhaluje, že statisticky významné rozdíly byly při zohlednění pozice v hlasovém poli jenom v oblasti nad 70 dB a nad tónem malé g (G3), při normalizaci na ZHP v zásadě jenom při intenzitách nad průměrnou intenzitou hlasu.



**Obrázek 8-12** Porovnání rozložení akustických parametrů mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami při zohlednění pozice v hlasovém poli (A-C, G-I) a při normalizaci polohy vzhledem k základní hlasové poloze habituálního hlasu (D-F, J-L). A, D) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, B, E) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz, C, F) hladina pěveckého formantu, G, J) hladina první harmonické složky, H, K) zesílení třetího formantu, I, L) zesílení druhého formantu. Modrá oblast zobrazuje plochu se statisticky významně vyššími hodnotami sledovaného parametru pro trénovanou skupinu, červená vyšší hodnoty pro netrévanou.

Parametry rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz, hladina pěveckého formantu, hladina první harmonické složky a zesílení třetího formantu ukázaly (viz **Tabulka 17**) jenom trendově vyšší hodnoty pro trénované zpěvačky (po aplikaci Bonferroniho korekce nevyhověly požadavku  $p < 0,05/40$ ). Jejich porovnání vzhledem na pozici v hlasovém poli a normalizaci na základní polohu hlasu (viz **Obrázek 8-12**) však ukazují, že jejich hodnoty jsou významně spjaty s výškou a intenzitou hlasu. Rozdíl hladin první a druhé harmonické složky je statisticky významně větší pro zpěvačky jenom v hlubší části habituálního hlasového pole, v zásadě pod průměrnou výškou i intenzitou hlasu. Sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz je významně vyšší v intenzivní části habituálního hlasu, a podobně hladina pěveckého formantu.

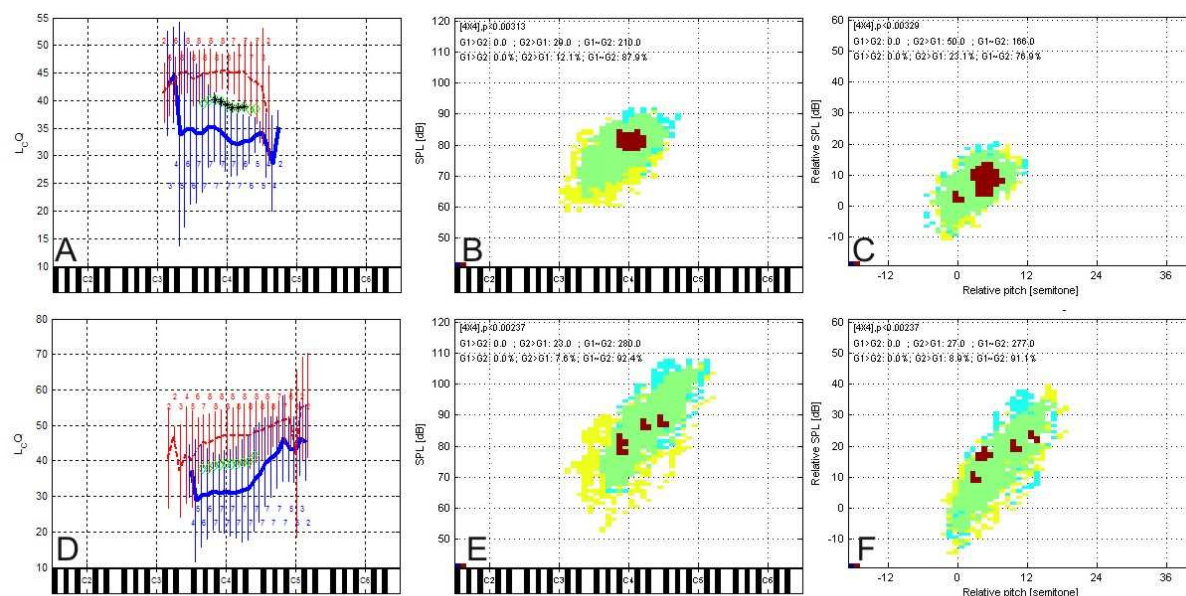
Když se ale porovnají normalizované hodnoty, téměř v celém hlasovém poli jsou hodnoty hladiny pěveckého formantu vyšší u trénovaných zpěvaček. Hladina první harmonické složky

je významně vyšší u zpěvaček jenom v hlubší a tišší části hlasového pole. Zesílení třetího formantu vyšlo při porovnání průměrů trendově vyšší pro trénované zpěvačky, ale při zohlednění pozice v hlasovém poli, nebyly nalezeny žádné významné rozdíly. Jenom v případě normalizace na ZHP je významně vyšší vysoká a intenzivní část hlasového pole. Naopak, zesílení druhého formantu nevyšlo významně rozdílné při porovnání průměrů mezi skupinami, ale při zohlednění polohy v hlasovém poli vychází významně vyšší hodnoty v oblasti g-h (G3-H3), 70-76 dB, zohlednění průměrné výšky a intenzity ale taky nevykazuje rozdíly.

### Hlasité čtení a gradace volání

Při porovnání průměrných hodnot měřených parametrů u hlasitého čtení (viz příloha K) mezi pěvecky trénovanou a netrénovanou skupinou, vyšly statisticky významné rozdíly u parametrů sklon spektra 0,4-4 kHz, rozdíl hladin prvních dvou harmonických složek, a zesílení pěveckého formantu. Uvedené výsledky dokumentují posílení vyšších harmonických složek zejména v oblasti 4. formantu, ale zároveň výraznější odstup hladin první a druhé harmonické složky u trénovaných zpěvaček.

Jako trendově odlišné se ukázaly i parametry (seřazeno dle významnosti): A2, CQEGG, HNR, LFSH, SPI, H1, Alfa, FT2, F4, ER, THilt, SPR, A1 ,F3, COG25k, VTI, SPL, CP~1, BF2, COGamp, FT1.



**Obrázek 8-13** Porovnání rozložení parametru CQEGG mezi trénovanými zpěvačkami (modrá) a nezpěvačkami (červená) při hlasitém čtení (horní řádek) a při gradaci volání (spodní řádek). A, D) CQEGG rozložení podél výšky hlasu (modrá trénované zpěvačky, červená netrénované). B, E) porovnání rozložení CQEGG při zohlednění pozice v hlasovém poli. C, F) Porovnání CQEGG při zohlednění polohy v hlasovém poli normalizované vzhledem průměrnou výškou a intenzitou habituálního hlasu. (Červená oblast zobrazuje plochu se statisticky významně vyššími hodnotami CQEGG ( $p < 0,05$  i se zohledněním Bonferroniho korekce) u netrénovaných žen.)

Porovnání hodnot CQEGG při zohlednění výšky hlasu ukázalo u hlasitého čtení (viz Obrázek 8-13), podobně jak tomu bylo u habituálního hlasu, vyšší hodnoty pro netrénované ženy. Při gradaci volání byly rozdíly jenom trendové v hlubší a tišší části. Při zohlednění pozice v hlasovém poli se ukázaly jenom některé oblasti s významně vyššími hodnotami u nezpěvaček.

## Zpěv stupnic

Statistické porovnání průměrných hodnot naměřených parametrů mezi skupinami u **zpěvu stupnic** ukazuje (viz Tabulka 18), že průměrné hodnoty vykazovaly statisticky významný rozdíl mezi skupinami v parametrech (seřazeno dle významnosti): LFSH, A4, SPR, SPL, F3, F4, CP~1, kde byly vyšší hodnoty u zpěvaček a u parametrů BF4 a ER byly hodnoty vyšší u nezpěvaček.

Parametry BF2, ShdB, SPI, FT4, A1, FT2 byly jenom trendově vyšší u nezpěvaček a naopak parametry A2, H1, FSH, COGamp, FT1, Alfa, COGharm trendově vyšší u zpěvaček. Průměrné hodnoty parametrů u zpěvu stupnic v různých dynamikách ale ve skutečnosti dobře nevysvětlují zásadní rozdíly mezi skupinami, protože v těchto úkolech jsou jejich hodnoty výrazně ovlivněny výškou a intenzitou hlasu a je možné předpokládat, že rozdílné vlastnosti skupin budou podmíněny i způsobem tvorby hlasu na úrovni vibračních mechanismů, resp. percepčních rejstříků hlasu.

Parametr	pval t-test	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.	Parametr	pval	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.
F0x		65.16	1.89	64.48	1.34	A3		5.17	1.64	6.31	1.94
SPL	4.25E-04**	81.95	2.41	76.31	2.25	A4	5.76E-05***	1.05	1.49	-2.52	0.83
Jitt		2.79	1.21	3.55	0.55	COGamp	0.0128	830.85	37.93	741.94	73.24
ShdB	0.021	0.36	0.05	0.42	0.04	COG25k		3255.90	81.35	3189.10	97.37
RAP		1.56	0.67	2.00	0.29	COG0k25		773.34	41.23	711.49	71.26
vF0		3.41	1.12	4.20	0.84	COGharm	0.0491	804.95	36.95	735.66	76.79
SPI	0.0021	274.94	24.13	314.02	15.06	FSH	0.0049	3141.30	131.60	2901.30	141.61
VTI		-421.48	17.62	-432.21	12.01	LFSH	6.17E-06***	-58.39	2.03	-68.03	2.94
HNR		23.19	1,26	22.43	0.95	THItilt		-2.59	0.26	-2.95	0.40
ER	6.81E-04**	21.75	1.67	25.06	1.22	THItilt4k4		-7.46	0.73	-8.19	0.61
SPR	4.06E-04**	-24.96	1.91	-29.24	1.61	BF1		173.66	34.79	156.89	33.14
Alfa	0.0351	-18.98	2.06	-21.69	2.37	BF2	0.0016	151.38	14.92	186.27	18.64
H1	0.0042	81,83	3.53	76.43	2.49	BF3		319.52	29.68	317.55	36.15
dHa1Ha2		2.37	2.02	4.35	2.60	BF4	1.52E-05***	394.59	25.30	500.26	34.45
F1		513.81	16.42	497.52	31.95	FT1	0.0277	56.85	13.26	43.81	6.41
F2		1155.20	35.36	1153.50	26.14	FT2	0.0363	34.14	2.58	39.88	6.01
F3	4.95E-04**	2262.20	83.81	2091.00	59.71	FT3		69.88	7.24	67.15	7.96
F4	6.75E-04**	3384.10	64.16	3249.30	53.63	FT4	0.0022	60.88	7.49	75.05	6.92
A1	0.03	25.85	1.69	28.42	2.29	CP~1	6.82E-04**	-8.13	0.35	-8.93	0.35
A2	0.0037	24.21	0.99	21.59	1.73	CQEGG		23.96	6.26	25.81	5.37

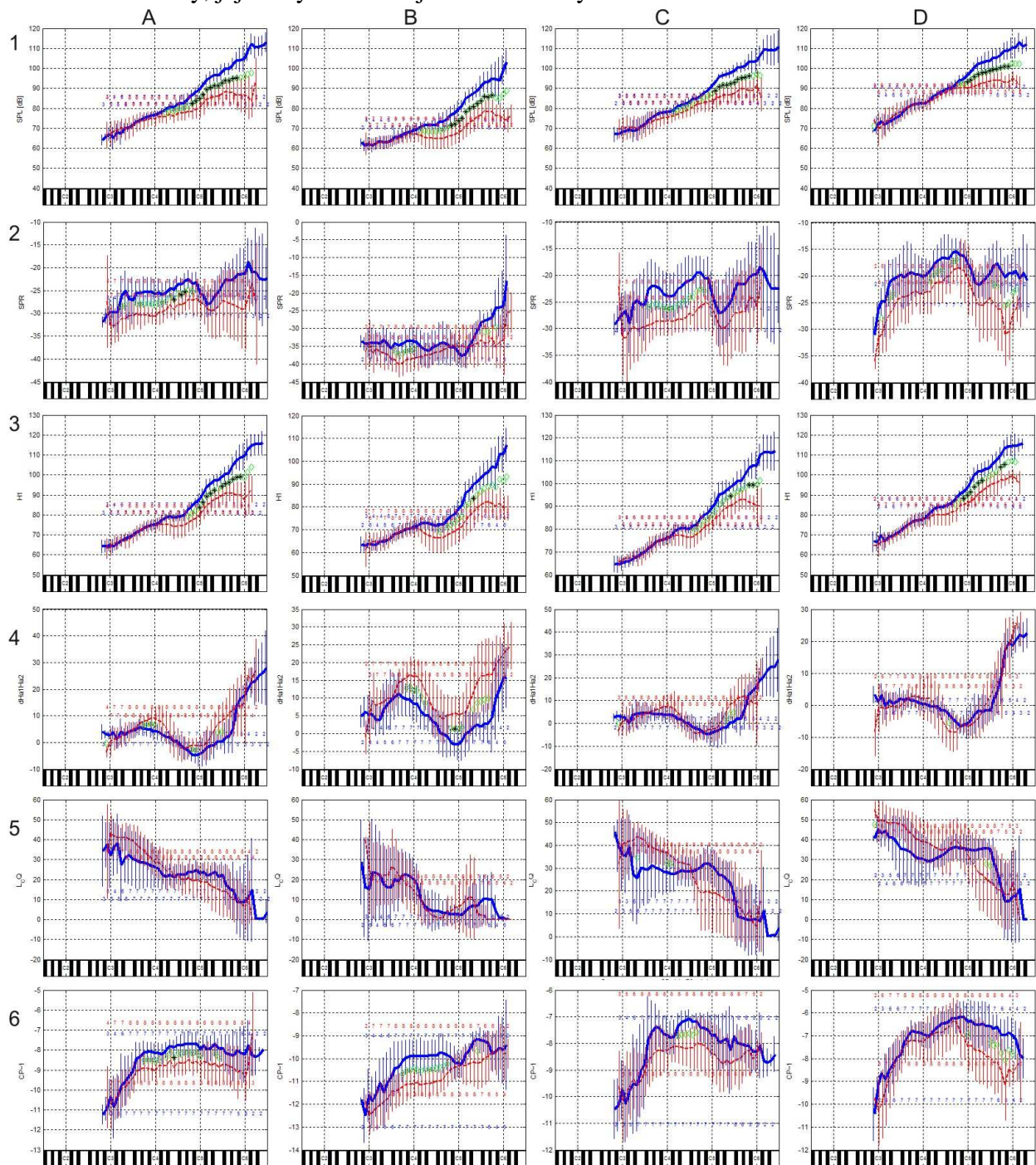
**Tabulka 18** Porovnání průměrných hodnot měřených parametrů pro zpěv stupnic mezi pěvecky trénovanými a netrénovanými ženami. Sloupec pval udává hodnotu hladiny statistické významnosti porovnání rozdílů průměrů parametrů zpěvaček a nezpěvaček pomocí t-testu.. Šedým písmem jsou vyznačeny jenom trendové korelace  $p < 0,05$ , \* -  $p < 0,01$ . Významné korelace i po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/40$ , \*\*\* -  $p < 0,01/40$  jsou zobrazeny černě.

Porovnání SPL kontur již prokázalo vyšší intenzitu hlasu zpěvaček a s tím tedy souvisí i naměřené vyšší hodnoty většiny spektrálních parametrů. Abychom dokázali, že zpěvačky používají hlas jinak než nezpěvačky je nutné zjistit, jestli se budou tyto parametry lišit mezi skupinami i při zohlednění výšky resp. intenzity hlasu.

Obrázek 8-14 znázorňuje porovnání průměrných hodnot akustických a EGG parametrů při zohlednění výšky při zpěvu stupnic pro celkové měření a v třech různých dynamikách hlasu (pp – pianissimo , mf – mezzoforte , ff – fortissimo). Výsledky dokumentují, že významné



rozdíly jsou patrné pro naměřené průměrné hodnoty SPL v zásadě ve všech dynamikách intenzity hlasu zejména ve vyšší části tónového rozsahu, v pp dynamice cca od A4 (a<sup>1</sup>), v hlasitějších dynamikách od C5 (c<sup>2</sup>), podobné rozdíly jsou i pro porovnání hladiny první harmonické složky, jejich významnost je však méně výrazná.



**Obrázek 8-14** Porovnání průměrných hodnot parametrů vzhledem k naměřené výšce hlasu při zpěvu stupnice mezi trénovanými zpěvačkami (modrá) a nezpěvačkami (červená), průměrné hodnoty pro všechny dynamiky (sloupec A), a v pp dynamice (sloupec B), v mf dynamice (sloupec C), a v ff dynamice (sloupec D). Vertikální úsečky znázorňují standardní odchylku průměrů. Měřené parametry jsou v řádcích: 1) SPL, 2) SPR, 3) hladina první harmonické složky, 4) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, 5) CQEGG, 6) hladina prvního keprstrálního koeficientu. Zelené  $\diamond$  zobrazují trendové rozdíly s  $p < 0,05$ , \* - označuje významné rozdíly po aplikaci Bonferroniho korekce.

Parametr SPR ukazuje v zásadě vyšší hodnoty pro zpěvačky, ale většinou bez statisticky významných rozdílů způsobených velkou variabilitou dat. Ve všech dynamikách je patrný výrazný zlom v průběhu průměrných hodnot SPR v okolí  $c''$  (C5). V nejhlasitější dynamice je zajímavý pokles SPR nad tímto bodem, co znamená, že se zvýrazňoval odstup maxima pásem 0-2 a 2-4 kHz. Protože, jak dokumentuje další obrázek, v této poloze měly nezpěvačky hladinu pěveckého formantu konstantní, musel být pokles SPR způsobený nárůstem maximální hladiny v oblasti 0-2 kHz.

Porovnání koeficientu uzavření hlasivek (CQEGG) taky nevykazuje statisticky významné rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami. Průběh průměrných hodnot ale znázorňuje trendy způsobů kmitání hlasivek. Významné změny (zlom a pokles) v hodnotách CQEGG jsou obecně ztotožňovány jako indikátory změny vibračních mechanismů hlasivek (Henrich et al., 2003). Tyto zlomy jsou v nejtišší dynamice přibližně na stejném místě u zpěvaček i nezpěvaček, v hlasitějších dynamikách ale leží zlomy pro nezpěvačky vždy v podstatně nižších polohách než u zpěvaček. V polohách do výšky přibližně F4 ( $f'$ ) jsou ale průměrné hodnoty CQEGG menší pro zpěvačky.

Parametr rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, jeden z nejvýznamnějších indikátorů změny barvy hlasu a sklonu zdrojového spektra, naznačuje jenom trendové rozdíly pro nejtišší dynamiku. Hodnoty tohoto parametru jsou od cca malé a (A3) v průměru o 5 dB větší pro netréňovanou skupinu. Jinými slovy, nezpěvačky mají v těchto oblastech v průměru o 5 dB větší první harmonickou od druhé než trénované zpěvačky.

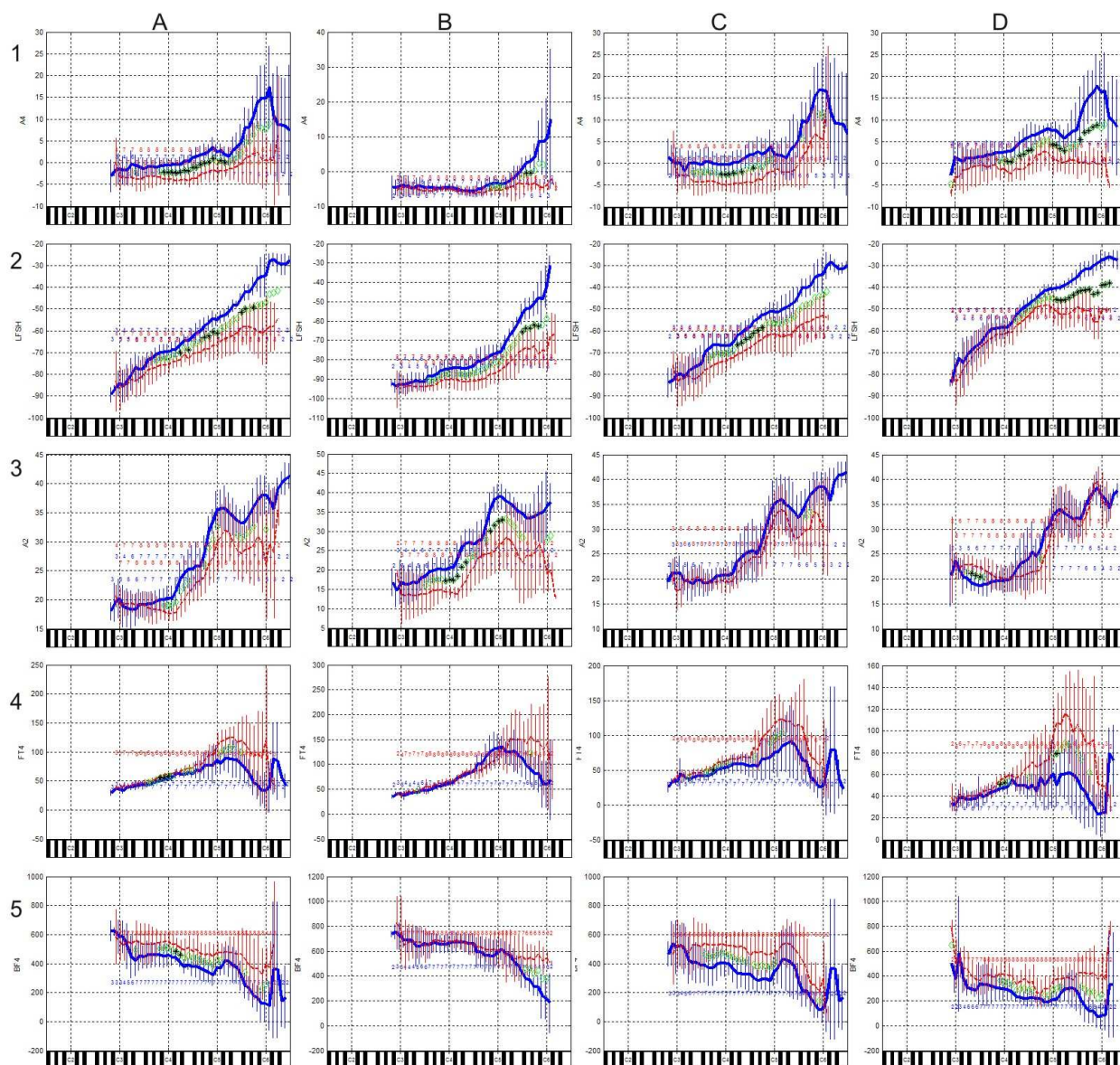
První keprstrální vrchol vykazuje jenom trendové rozdíly s vyššími hodnotami u zpěvaček. Tyto trendově odlišné oblasti se posouvají od hlubší části v tiché dynamice až po vysoké polohy v nejhlasitější dynamice.

Statisticky nejvýznamnější rozdíly průměrných hodnot při zpěvu stupnic se týkají v zásadě čtvrtého formantu. Trénované zpěvačky mají výrazně vyšší zesílení (A4) a pozici (F4) tohoto formantu. Zároveň však i výrazně užší jeho šířku (BF4) a trendově i lépe ladí 4. formant s pozicí nejbližší harmonické složky (mají nižší hodnoty FT4).

Na základě porovnání rozložení parametrů vzhledem na výšku (viz Obrázek 8-15), se ukazuje relativně stabilní zesílení čtvrtého formantu, jak u zpěvaček, tak nezpěvaček, až do výšky přibližně  $c''$  (C5). Statistické rozdíly ale byly zjištěny zejména ve střední dynamice v střední poloze  $c'-g'$ , a v ff dynamice i nad  $c''$ . Hladina pěveckého formantu byla významně rozdílná v tiché a forte dynamice ve vysokých polohách a taky v mf dynamice v středních polohách. Z průběhu průměrných hodnot hladin pěveckého formantu se ale ukazuje, že zpěvačky udržují tento průběh relativně rovnoměrný, kdežto u nezpěvaček v okolí  $c''$  je v mf a ff dynamice výrazný zlom, s omezením schopnosti tento formant dále zesilovat.

Zesílení druhého formantu (A2) ukazuje významné rozdíly v tiché dynamice v celé střední poloze, kde byly vyšší hodnoty u zpěvaček. Naopak, ve forte dynamice ve velmi hluboké poloze byly hodnoty zesílení druhého formantu vyšší u nezpěvaček. Průběh průměrných hodnot A2 ukazuje výrazné členění, v zásadě s prvním maximem v okolí  $c''$ . Hodnoty ladění 4. formantu s nejbližší harmonickou složkou (FT4) vykazují obecně vyšší hodnoty u nezpěvaček zejména ve vyšší polovině tónového rozsahu. Tento rozdíl je na základě Bonferroniho korekce ale jenom trendový. Podobně mají nezpěvačky trendově vyšší hodnoty šířky 4. formantu. Na základě uvedeného je možné se domnívat, že nezpěvačky nedokážou naladit čtvrtý formant vzhledem na harmonickou strukturu a tento formant tedy není tak výrazně zesílen a obecně je jeho energie rozprostřená do širšího pásma.

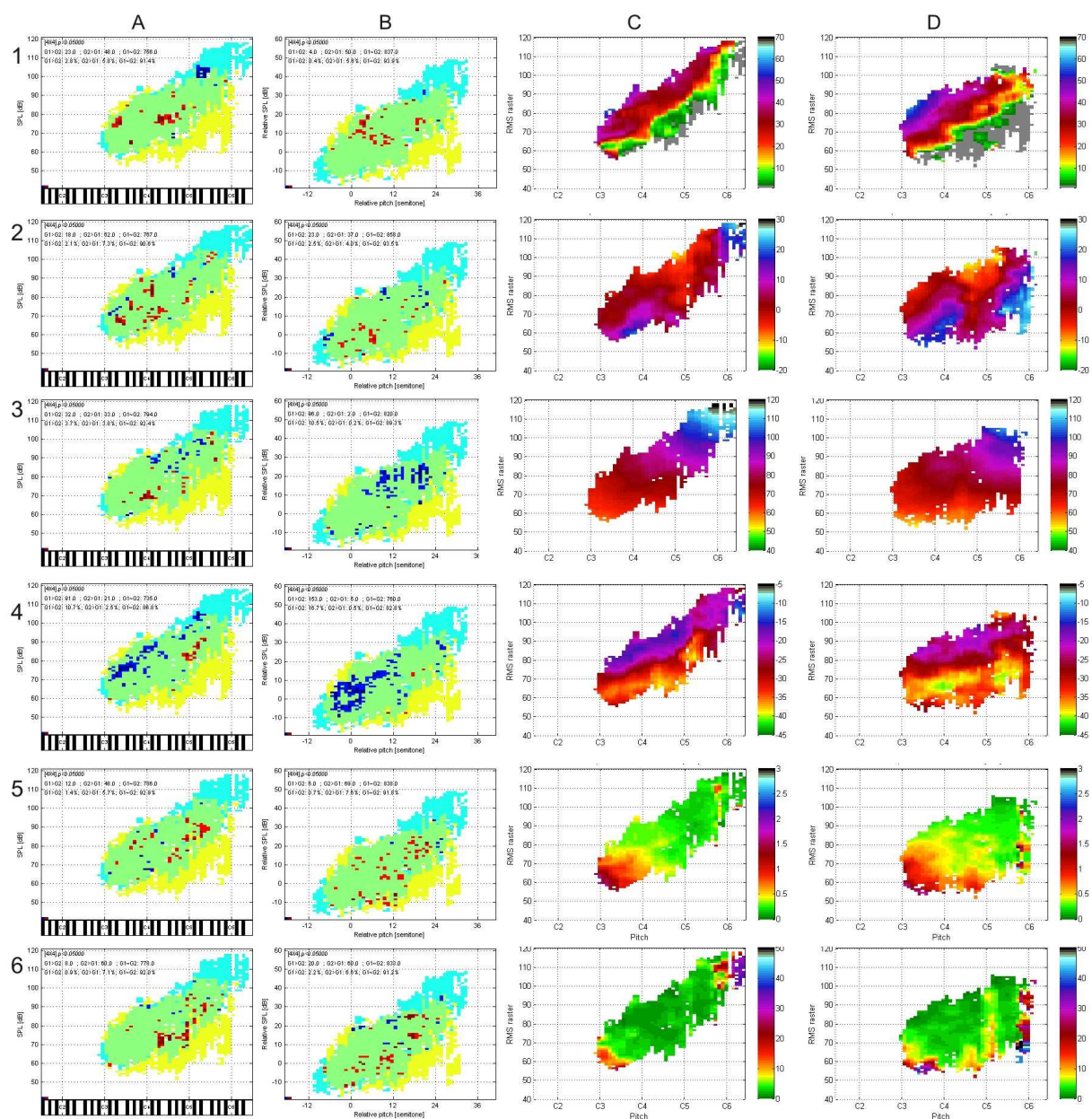
Při porovnání rozložení parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli při aplikaci Bonferroniho korekce, kde je nutno požadovanou hladinu statistické významnosti  $p < 0,05$  vydělit celkovou plochou porovnávaných hlasových polí, není možné při porovnávání celkově 8 a 7 subjektů dosáhnout požadované významnosti.



**Obrázek 8-15** Porovnání průměrných hodnot parametrů vzhledem k naměřené výšce hlasu při zpěvu stupnice celkově pro všechny dynamiky (sloupec A), a v pp dynamice (sloupec B), v mf dynamice (sloupec C), a v ff dynamice (sloupec D). Měřené parametry jsou v rádcích: 1) zesílení 4. formantu, 2) hladina pěveckého formantu (LFSH), 3) zesílení druhého formantu, 4) ladění 4. formantu (FT4), 5) šířka 4. formantu (BF4). Vysvětlivky viz obrázek 8-14.

Z tohoto důvodu jsou na obrázcích ([Obrázek 8-16](#) a [Obrázek 8-17](#)) uvedeny jenom trendové výsledky porovnání s hladinou statistické významnosti  $p < 0,05$ . Trendové porovnání průměrných hodnot CQEGG s ohledem na polohu v hlasovém poli ukazuje (viz [Obrázek 8-16](#)), že vyšší hodnoty CQEGG mají nezpěvačky zejména v oblasti střední dynamiky a střední polohy  $e'-c''$ . Naopak vyšší hodnoty mají zpěvačky ve forte dynamice v oblasti nad  $c''$ . Při normalizaci vzhledem na základní hlasovou polohu, převažují vyšší hodnoty pro nezpěvačky ve střední části VRP. Samotné zobrazení průměrných hodnot CQEGG vzhledem na pozici v hlasovém poli (části C a D) ale dále odhaluje, že nezpěvačky ve větší části hlasového pole odpovídající jejich nejnižší dynamice v rozsahu cca  $e'-c'''$  (E4-C6) tvořily hlas bez uzavření hlasivek (CQEGG byl roven 0). U zpěvaček je plocha hlasového pole, kde tvoří hlas bez dovření hlasivek podstatně menší a v zásadě kopíruje spodní hranici nejnižší dynamiky.





**Obrázek 8-16** Trendové porovnání naměřených dat uvedených parametrů zpěvu stupnic mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami se zohledněním pozice v absolutním (sloupec A) a normalizovaném (sloupec B) hlasovém poli. Modrá plocha představuje částí hlasového pole, kde měly trendově vyšší ( $p < 0,05$ ) hodnoty parametru trénované zpěvačky, červená – kde měly vyšší hodnoty nezpěvačky. Barevné schéma průměrných hodnot parametrů při zohlednění pozice v absolutním hlasovém poli pro zpěvačky (sloupec C) a pro nezpěvačky (sloupec D). Měřené parametry jsou uvedeny v ráčcích: 1) CQEGG, 2) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, 3) hladina první harmonické složky, 4) SPR, 5) ShdB, 6) Jitter. Zelená oblast představuje oblast překrývajících se hlasových polí, tyrkysová oblast kde tvořily hlas jenom zpěvačky, žlutá – jenom nezpěvačky. Červená oblast zobrazuje plochu s trendově vyššími hodnotami parametru u netrénovaných žen, modrá u trénovaných zpěvaček.

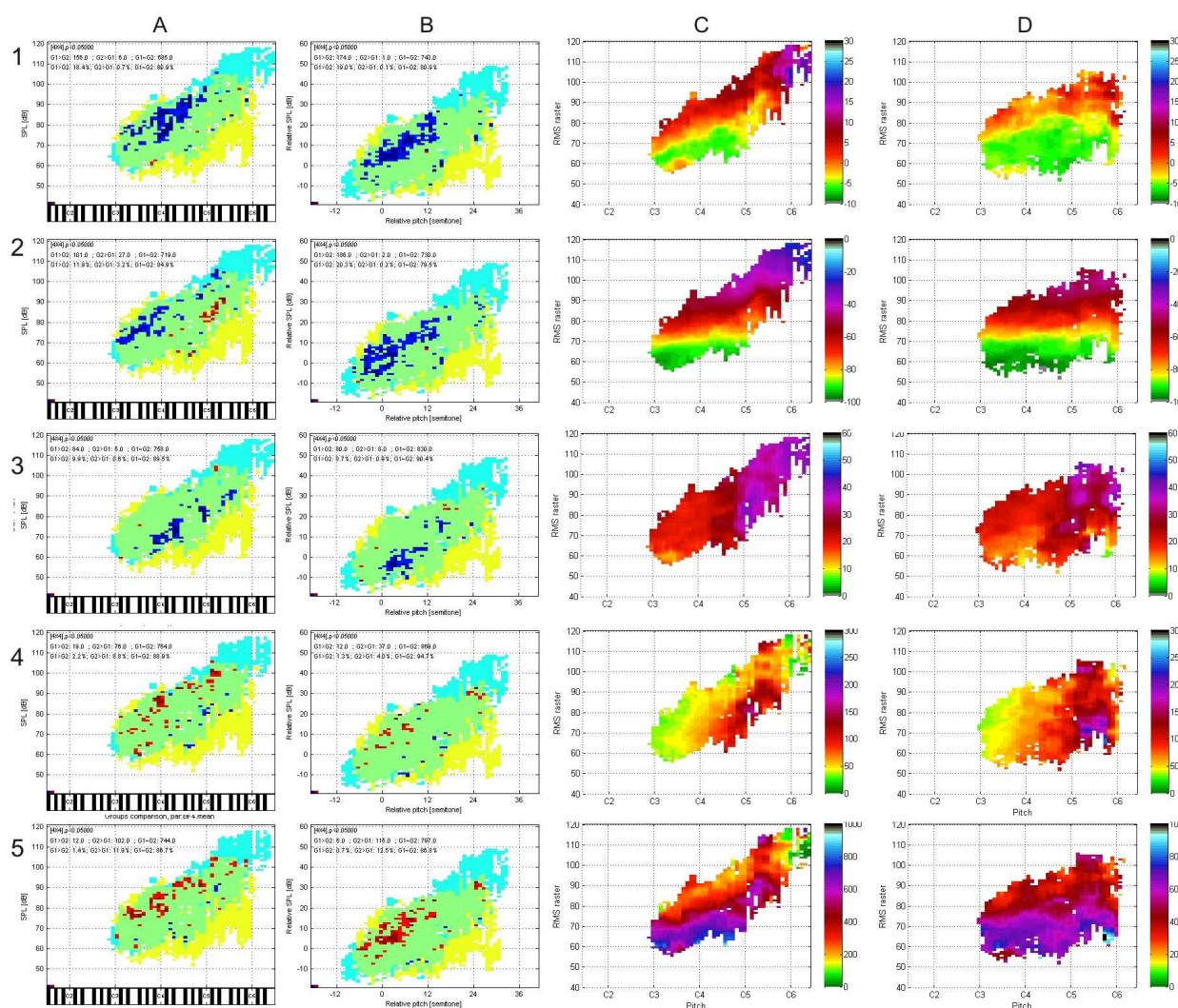
Rozdíl hladin první a druhé harmonické složky jsou v zásadě větší u nezpěvaček pro spodní polovinu tónového rozsahu, cca pod  $e'$  (E4), a v tiché a střední dynamice v okolí  $g'$  (G4). Podobně jsou hodnoty vyšší u nezpěvaček v normalizovaném hlasovém poli v hlubší a tišší části VRP.

Hladina první harmonické složky je větší u trénovaných zpěvaček ve vyšší a hlasitější polovině absolutních hlasových polí, naopak větší pro nezpěvačky v okolí  $c'$  (C4) tiché

dynamiky. Při normalizaci se však rozdíly sjednotí a vyšší hladiny mají jenom zpěvačky v hlasité dynamice celé horní poloviny tónového rozsahu.

Hodnoty SPR jsou celkově větší pro trénované zpěvačky zejména v celém pásu forte dynamiky, ale v oblasti střední a tiché dynamiky nad a´(A4) jsou vyšší hodnoty u nezpěvaček. Normalizace ukazuje zvýraznění SPR v celé spodní polovině tónového rozsahu střední a hlasité dynamiky.

Střední a vysoké polohy hlasu u nezpěvaček obecně ukazují větší perturbace oproti trénovaným zpěvačkám, výrazné zvýšení ShdB a Jitt je přitom patrné zejména v tiché a střední dynamice nezpěvaček.



**Obrázek 8-17** Trendové porovnání naměřených dat uvedených parametrů zpěvu stupnic se zohledněním pozice v absolutním (slopec A) a normalizovaném (slopec B) hlasovém poli mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami. Modrá plocha představuje části hlasového pole, kde měly trendově vyšší ( $p < 0,05$ ) hodnoty parametru trénované zpěvačky, červená – kde měly vyšší hodnoty nezpěvačky. Barevné schéma průměrných hodnot parametrů při zohlednění pozice v absolutním hlasovém poli pro zpěvačky (slopec C) a pro nezpěvačky (Slopec D). Měřené parametry jsou uvedeny v řádcích: 1) zesílení 4. formantu, 2) hladina pěveckého formantu, 3) zesílení 2. formantu, 4) FT4, 5) BF4. Další vysvětlení viz obrázek 8-16.

Parametry zesílení 4. formantu a hladiny pěveckého formantu (viz [Obrázek 8-17](#)) ukazují podobně jako rozložení parametru SPR vyšší hodnoty zejména v oblasti forte dynamiky v téměř celém tónovém rozsahu u zpěvaček. Stejný trend je patrný i při normalizaci, kde uvedené parametry dominují u zpěvaček ve spodních dvou třetinách tónového rozsahu

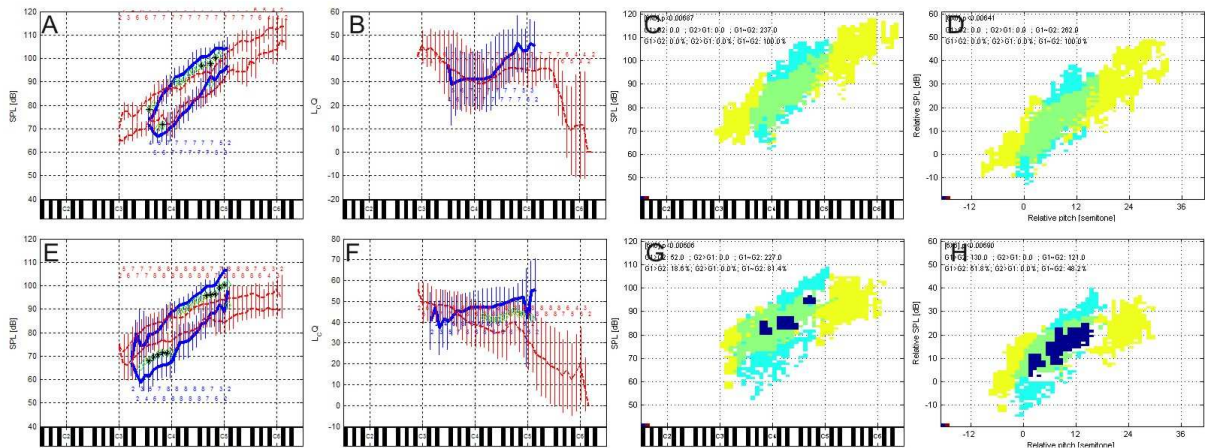


ff dynamiky. U hladiny pěveckého formantu, ale v oblasti pp a mf dynamiky v polohách nad h' (B4) jsou paradoxně vyšší hodnoty pro nezpěvačky.

V opačném smyslu se chovají parametry naladění 4. formantu k nejbližší harmonické složce (FT4) a šířka pásma 4. formantu (BF4), které jsou v zásadě v celém tónovém rozsahu, zejména ve ff dynamice větší u nezpěvaček.

Zesílení druhého formantu je větší v oblasti tiché dynamiky u zpěvaček. V normalizovaném hlasovém poli mají vyšší hodnoty BF4 nezpěvačky ve spodních 2/3 tónového rozsahu hlasité dynamiky.

### Porovnání gradace volání a forte dynamiky zpěvu stupnic



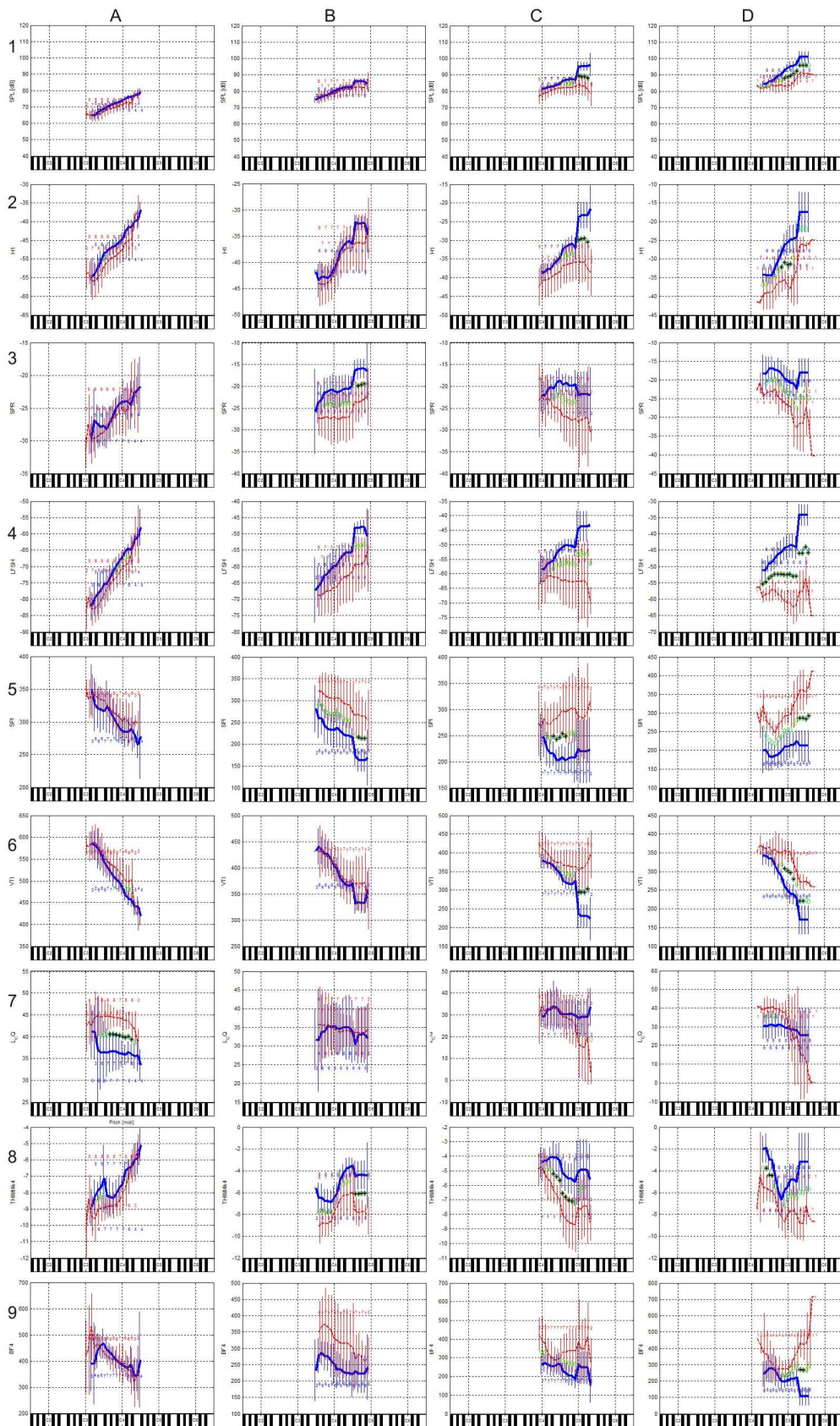
**Obrázek 8-18** Porovnání obrysů SPL kontur (A, E) a rozložení parametru CQEGG mezi gradací volání (modrá) a ff dynamikou zpěvu stupnic (červená) u trénovaných zpěvaček (horní řádek) a u nezpěvaček (spodní řádek). B, F) rozložení CQEGG podél výšky hlasu (modrá gradace volání, červená ff dynamika stupnic). C, G) porovnání rozložení CQEGG při zohlednění pozice v hlasovém poli. D, H) porovnání CQEGG při zohlednění polohy v hlasovém poli normalizované vzhledem průměrnou ZHP (modrá oblast zobrazuje plochu se statisticky významně vyššími hodnotami CQEGG při gradaci volání, při hladině  $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce).

Porovnání obrysů hlasových polí mezi gradací volání a zpěvem stupnice při ff dynamice (viz Obrázek 8-18) ukazuje jak u trénovaných tak netrénovaných žen výrazně vyšší hodnoty SPL u volání, zejména v nejhlasitějších polohách. Porovnání průměrných hodnot CQEGG vzhledem na výšku hlasu odhalilo, že trénované zpěvačky nemají ani trendové rozdíly mezi nejhlasitějším zpěvem a voláním, ale nezpěvačky ukazují již trendově vyšší hodnoty při volání nad c' (C4). Při zohlednění pozice v hlasovém poli je dále statisticky potvrzeno i při zohlednění Bonferroniho korekce, že nezpěvačky používají vyšší hodnoty CQEGG při volání, než při zpěvu, u nezpěvaček rozdíly nebyly nalezeny.

### Porovnání parametrů a vývoj rozdílných hodnot u habituálního hlasu a při zpěvu písní

Porovnání rozložení parametrů vzhledem na výšku mezi trénovanou a netrénovanou skupinou u habituálního hlasu a pro tři různé tóniny zpěvu lidové písně (viz Obrázek 8-19) odhaluje postupný vývoj rozdílů v závislosti na použití hlasu (mluvní vs. zpěvní) a také vývoj s celkovou výškou tóniny zpěvu. Uvedené výsledky odhalují zvyšování rozdílů v celkové intenzitě hlasu, projevující se ve zpěvu v oblasti nad c'' (C5).

S výškou zpěvu narůstají rozdíly i pro hladinu první harmonické složky, SPR, hladinu pěveckého formantu a sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz, kde byly hodnoty parametrů vyšší u zpěvaček. Naopak hodnoty parametry šířka pásma 4. formantu (BF4), SPI, VTI byly vyšší u nezpěvaček.



**Obrázek 8-19** Porovnání rozložení měřených parametrů vzhledem na výšku hlasu mezi trénovanou (modrá) a netrénovanou skupinou (červená). Sloupce označují různé úkoly: A) habituální hlas, B) zpěv písně v tónině a-dur, C) zpěv písně v tónině d´dur, D) zpěv písně v tónině fis´dur. Měřené parametry jsou uvedeny v sloupcích: 1) SPL, 2) H1, 3) SPR, 4) LFSH, 5) SPI, 6) VTI, 7) CQEGG, 8) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz, 9) šířka pásma 4. formantu.

Zajímavý pohled poskytuje porovnání CQEGG, který je u zpěvaček téměř stabilní jak u habituálního hlasu, tak u zpěvu ve všech výškách. Pohybuje se v rozmezí 30-35%. U nezpěvaček jsou ale hodnoty vysoce variabilní. V mluvním hlase mají nezpěvačky hodnoty CQEGG výrazně vyšší než zpěvačky, v nehlubší zpívané výšce (a dur) jsou tyto hodnoty porovnatelné se zpěvačkami, ale ve vyšších tóninách, zejména v polohách nad c'' (C5) výrazně klesají.

## 8.2.4 Vztah měřených a percepčních parametrů

### Habituální hlas

Parametr	Výška hab.	SPL hab.	Koef. trén.	Nap.hab.	Celk. kv. hab.	Rez. hab.	Tmav.hab.	Parametr	Výška hab.	SPL hab.	Koef. trén.	Nap.hab.	Celk. kv. hab.	Rez. hab.	Tmav.hab.
F0x	1***			0.89***			-0.72*	A3		0.68*				0.6	
SPL		1***				0.89***		A4			0.51			0.6	
Jitt		-0.65*				-0.54		COGamp	0.75**	0.52		0.86***			
ShdB	-0.75**			-0.75**			0.56	COG25k							
RAP	-0.52	-0.75**		-0.59		-0.68*		COG0k25	0.73*			0.83***			-0.53
vF0		-0.66*				-0.58		COGHarm	0.7*			0.79**			-0.58
SPI								FSH							
VTI		-0.98***				-0.88***		LFSH	0.6	0.87***		0.67*		0.83**	
HNR	0.82***			0.77**			-0.52	THItilt	0.73*	0.82***		0.78**		0.64*	
ER				-0.53				THItilt4k4			0.64*				
SPR				0.55				BF1		-0.56					
Alfa	0.56			0.69*				BF2							
H1		0.97***				0.9***		BF3		-0.66*				-0.57	
dHa1Ha2			0.6					BF4		-0.58				-0.63	
F1	0.57			0.69*			-0.73*	FT1	0.62	0.64*		0.57			
F2		-0.62				-0.66*	-0.56	FT2	0.87***			0.79**			-0.55
F3		-0.75**				-0.75**	-0.54	FT3	0.9***			0.77**			-0.56
F4		-0.75**				-0.76**		FT4	0.95***			0.87***			-0.69*
A1								CP~1	0.65*	0.64		0.71*		0.56	
A2								CQEGG		-0.78**	-0.56			-0.73*	

**Tabulka 19** Pearsonova korelace průměrných hodnot naměřených parametrů habituálního hlasu s jeho percepčním hodnocením. Šedým písmem jsou vyznačeny jenom trendové korelace  $p < 0,05$ , \* -  $p < 0,01$ . Významné korelace i po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/40$ , \*\*\* -  $p < 0,01/40$  jsou zobrazeny černě.

Korelace průměrů měřených parametrů s percepčními parametry a průměrnou výškou a SPL u habituálního hlasu (viz [Tabulka 19](#)) ukázala, že při parametrizaci habituálního hlasu velká většina parametrů závisela na průměrné výšce anebo také na SPL habituálního hlasu.

Jak prokázala parametrizace hlasových polí, napětí hlasu trendově korelovalo s výškou hlasu. Proto i většina parametrů korelujících s výškou hlasu korelovala s napětím.

Celková kvalita habituálního hlasu nekorelovala ani s jedním z měřených parametrů.

U rezonance byly nalezeny významné korelace s celkovou intenzitou, poklesem turbulentních složek hlasu, zesílením první harmonické složky, odstupem harmonických složek od neharmonického šumu (HNR), zvýšením polohy 2.-4. formantu, hladinou pěveckého formantu, a snižováním CQEGG.

Tmavost habituálního hlasu ukazovala jenom trendové vztahy, nejvýznamnější byly záporná korelace s výškou hlasu a polohou prvního formantu.

## Zpěv stupnic

Korelace průměrných hodnot měřených parametrů u zpěvu stupnic s externími parametry ukázala některé významné vztahy zejména s výškou a trendové vztahy s průměrnou intenzitou.

Hlasová trénovanost se projevila zejména v korelaci s parametry ovlivněné pěveckým formantem (LFSH, SPR, A4,ER) a negativně s jeho šířkou (BF4). Podobné korelace byly nalezeny i s technikou a rezonancí zpěvu. Tmavost korelovala jenom ve vyšší tónině negativně s VTI, pozitivně s hladinou pěveckého formantu a průměrnou intenzitou.

Korelace	Výška hab.	SPL hab.	Koef. trén.	Tech. d'-dur	Tech. fis'-dur	Rez. d'-dur	Rez. fis'-dur	Tmav. d'-dur	Tmav. fis'-dur	Korelace stupnice	Výška hab.	SPL hab.	Koef. trén.	Tech. d'-dur	Tech. fis'-dur	Rez. d'-dur	Rez. fis'-dur	Tmav. d'-dur	Tmav. fis'-dur	
F0x										A3									-0.57	
SPL		0.52	0.67*	0.68*	0.77*	0.72*	0.86**	0.59	0.88**	A4			0.84***	0.68*	0.77*	0.83***	0.68			0.73
Jitt										COGamp	0.75**	0.59		0.77**	0.77*	0.54	0.77*			0.66
ShdB										COG25k										
RAP										COG0k25	0.78**	0.52		0.71*	0.68		0.68			
vF0										COGharm	0.78**	0.56		0.7*	0.71		0.69			
SPI		0.54	-0.65*	-0.59	-0.68	-0.72*				FSH			0.57			0.66				
VTI			-0.65*	-0.65	-0.74	-0.7*	-0.84*	0.61	0.86**	LFSH		0.6	0.8**	0.77**	0.89**	0.84***	0.88**			0.91***
HNR	0.71*	0.53		0.7*	0.73		0.78*			THtilt		0.64*			0.69		0.85*			0.69
ER			0.77**	-0.64	0.79*	0.79**		-0.69		THtilt4k4										
SPR		0.56	0.74**	0.7*	0.82*	0.78**	0.68		0.71	BF1										
Alfa	0.64*			0.65						BF2	-0.52		-0.61	0.77**	-0.74	-0.66*	-0.71			-0.84*
H1			0.68*	0.57	0.68	0.6	0.8*		0.77*	BF3										
dHa1Ha2	0.68*	0.62								BF4			0.81***	0.78**	-0.83*	0.86***	-0.72			-0.81*
F1	0.73*			0.57						FT1				0.62						
F2										FT2			-0.57	-0.74*	-0.7					-0.66
F3			0.63	0.53		0.75*			0.73	FT3										
F4		0.55		0.58		0.72*			0.71	FT4		-0.59	-0.64*	-0.73*	-0.79*	-0.76*				-0.71
A1	0.67*	0.55		-0.63	-0.69					CP~1	0.59	0.58		0.69*	0.83*	0.74*	0.79*			0.81*
A2	0.62			0.78**	0.74	0.58	0.67		0.7	CQEGG										

**Tabulka 20** Pearsonova korelace průměrných hodnot naměřených akustických parametrů při zpěvu stupnic s percepčními parametry. Šedým písmem jsou vyznačeny jenom trendové korelace  $p < 0,05$ , \* -  $p < 0,01$ . Významné korelace i po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/40$ , \*\*\* -  $p < 0,01/40$  jsou zobrazeny černě.

V této studii již bylo ukázáno, že trénované zpěvačky dosahovaly podstatně vyšších hladin akustického tlaku při zpěvu stupnic. Řádek průměrné SPL (Tabulka 20) ukazuje, že vlastně všechny hodnocené percepční parametry minimálně trendově korelují s průměrnou hodnotou akustického tlaku při zpěvu stupnic. Jinými slovy, klasický pěvecký trénink má za následek zvýšení kvalitativních parametrů popisu zpěvného hlasu a technicky se projevuje zejména schopností tvořit hlas hlasitě. Z tohoto důvodu je zřejmé, že i parametry závislé na intenzitě hlasu, což je většina spektrálních parametrů, budou v průměrech korelovat s percepčními parametry závislými na intenzitě hlasu. Z tohoto důvodu má význam hledat korelace při zohlednění rozložení parametrů v hlasovém poli, tedy hledat pozice v hlasovém poli, kde jednotlivé parametry budou vykazovat interpretovatelné korelace.

Z uvedených parametrů nejvýznamněji korelovala s hodnocenými vlastnostmi zpěvného hlasu hladina pěveckého formantu, která ale nebyla závislá na výšce a jenom trendově souvisela s intenzitou. S trénovaností, technikou zpěvu a rezonancí v d'-dur kladně korelovaly zesílení 4. formantu a záporně šířka 4. formantu. SPR a ER významně souvisely jenom

s trénovaností a rezonancí v d' dur. U uvedených parametrů ale s ostatními hodnocenými vlastnostmi byly zjištěny trendové vztahy.

### **Faktorová analýza průměrných hodnot měřených parametrů a mnohonásobná lineární regresní analýza s percepčními vlastnostmi**

Faktorová analýza (viz Tabulka 21) variability průměrných hodnot měřených parametrů **u habituálního hlasu** rozdělila parametry do 5 faktorů, které společně vysvětlovaly variabilitu dat z 89%.

První faktor zahrnoval v kladném smyslu parametry souvisejícími s nárůstem hladin pásma pěveckého formantu (kladně s SPR, Alfa, A4, COGamp, COG0k25, COGHarm a záporně s SPI a ER). Druhý faktor kladně koreloval s celkovou intenzitou (SPL, H1, LFSH, THItilt) a záporně s poruchami stability základní frekvence a turbulentními složkami (vF0, VTI) a s koeficientem uzavření hlasivek (CQEGG). Třetí faktor koreloval jenom kladně s nárůstem frekvenční polohy pěveckého formantu (COG25k a FSH). Čtvrtý kladně souvisel s polohami 3. a 4. formantu (F3 a F4), pátý byl tvořený jenom výškou hlasu.

Mnohonásobná lineární regrese (metoda varimax normalized) ukázala vztahy mezi uvedenými faktory a percepčními vlastnostmi. Dle této analýzy byl koeficient trénovanosti spjatý s 3. faktorem – zvýšením polohy pěveckého formantu a tím i těžiště spektra v oblasti 2-5 kHz. Tmavost a napětí hlasu souvisely s 1., 2. a 5. faktorem, ale u 1. a 5. faktoru byly jejich efekty opačné. Obě vlastnosti souvisely se zvyšováním SPL, H1, sklonu celkového spektra

a snižováním CQEGG, ale opačně se chovaly ve smyslu změn výšky hlasu. Hlubší hlas byl tmavší a vyšší hlas je napjatější. Dále při snižování zesílení 4. formantu a polohy těžiště spektra (celkového i v pásmu 0-2,5 kHz) byl hlas tmavší, při zvyšování byl zase napjatější.

Rezonance habituálního hlasu dle mnohonásobné lineární regrese souvisela jenom s 2. faktorem. Zvýšení rezonance hlasu bylo spojeno se zvýšením intenzity hlasu, nárůstem hladiny první harmonické složky a hladiny pěveckého formantu ale opačně taky potlačením variability základní frekvence hlasu, složek turbulencí (VTI) a snížením CQEGG. Druhý faktor však souvisel i s napětím a tmavostí hlasu, z toho plyne že uvedené parametry ovlivňují i napětí a tmavost.

Zajímavostí je, že celková kvalita habituálního hlasu nebyla predikovatelná žádnou kombinací zjištěných faktorů. Proto je možné předpokládat, že subjektivní vyhodnocení celkové kvality je výrazně komplikovanější.

Variabilita průměrných hodnot akustických parametrů **zpěvu v tónině d' dur** bylo možno rozdělit do 5 faktorů, které vysvětlovaly variabilitu 92,5 % dat. První faktor kladně koreloval s celkovou intenzitou hlasu, hladinou první harmonické, hladinou prvního keprstrálního koeficientu a zesílením 4. resp. pěveckého formantu a sklonem spektra, záporně s SPI a VTI. Druhý faktor kladně koreloval s Alfa, polohou prvního formantu, polohou těžiště spektra v oblasti 0-2,5 kHz a záporně s rozdílem hladin první a druhé harmonické složky. Třetí faktor koreloval s polohou 4., resp. pěveckého formantu těžištěm spektra v oblasti 2-5 kHz. Faktor 4 lze sumarizovat jako faktor perturbací a pátý faktor byl dán průměrnou výškou hlasu.

Mnohonásobná lineární regrese při zpěvu v tónině d' dur ukázala vztahy jenom s percepcí rezonance a tmavosti. Rezonance i tmavost souvisely s prvním faktorem, tedy s hladinou pěveckého formantu, celkovou intenzitou a hladinou první harmonické složky. Rezonance ale kladně souvisela i s třetím faktorem, tedy s frekvenční pozicí 4. resp. pěveckého formantu, tmavost naopak byla negativně ovlivněna výškou hlasu.

Faktorová analýza průměrných hodnot parametrů při **zpěvu písně ve fis' dur tónině** odhalila 5 faktorů vysvětlujících 95,6 % variability dat. První faktor slučoval parametry

popisující zvýšení polohy 4. formantu a zesílení 2. až 4. formantu. Druhý faktor souvisel s potlačením intenzity prvního formantu a zvýšením těžiště spektra v oblasti 0-2,5 kHz.

Faktorová analýza	habituální hlas					zpěv d´dur					zpěv fis´dur				
	fa 1	fa 2	fa 3	fa 4	fa 5	fa 1	fa 2	fa 3	fa 4	fa 5	fa 1	fa 2	fa 3	fa 4	fa 5
F0x					0,74					0,85				0,73	
SPL		0,97				0,96								0,88	
Jitt									0,89				0,90		
ShdB									0,93				0,85		
RAP									0,87				0,92		
vF0		-0,84							0,88				0,88		
SPI	-0,75					-0,79					-0,82				
VTI		-0,97				-0,95								-0,93	
ER	-0,95					-0,84					-0,86				
SPR	0,99					0,86					0,83				
Alfa	0,94						0,71					0,92			
H1		0,95				0,92								0,85	
dHa1Ha2							-0,92					-0,74			
F1							0,87								-0,89
F2														0,83	
F3				0,86										0,80	
F4				0,94				0,84			0,83				
A1												-0,72			
A2											-0,82				
A3											-0,74				
A4	0,71					0,93					0,72				
COGamp	0,78														
COG25k			0,84					0,84							
COG0k25	0,81						0,95					0,95			
COGharm	0,87						0,88					0,93			
FSH			0,81					0,84			0,94				
LFSH		0,76				0,95								0,72	
THItilt		0,73				0,79									
THItilt4k4						0,80					0,77				
CPI						0,79								0,72	
CQEGG		-0,75													
<b>Mnohonásobná lineární regrese</b>	<b>fa 1</b>	<b>fa 2</b>	<b>fa 3</b>	<b>fa 4</b>	<b>fa 5</b>	<b>fa 1</b>	<b>fa 2</b>	<b>fa 3</b>	<b>fa 4</b>	<b>fa 5</b>	<b>fa 1</b>	<b>fa 2</b>	<b>fa 3</b>	<b>fa 4</b>	<b>fa 5</b>
Koef. trén.			0,67												
Tmav. hab.	-0,33	0,34			-0,75										
Nap. hab.	0,52	0,31			0,71										
Rez. hab.		0,87													
Celk. hab.															
Tech. d´dur														0,78	
Rez. d´dur						0,78		0,38							
Tmav. d´dur	-0,59					0,92				-0,29					
Rez. fis´											0,43	-0,30	0,42	0,73	
Tech. fis´											0,50			0,78	
Tmav. fis´														0,74	

**Tabulka 21** Výsledky faktorové analýzy průměrných hodnot akustických a EGG parametrů pro habituální hlas a zpěv písně v d´dur a fis´dur tóninách. Mnohonásobná lineární regrese percepčních vlastností s vypočtenými faktory.



Třetí faktor souvisel s perturbacemi hlasu. Čtvrtý faktor byl daný průměrnou výškou a intenzitou hlasu při zpěvu, hladinou 1. harmonické složky a prvního centrálního koeficientu a polohami 2. a 3. formantu, pátý faktor byl dán jenom snížením polohy 1. formantu.

Mnohonásobná lineární regrese ukázala, že technika, tmavost i rezonance souvisely s 4 faktorem, tedy hlavně průměrnou výškou a intenzitou hlasu, technika ale byla ovlivněna i prvním faktorem (polohou pěveckého formantu) a rezonance souvisela i s 2. a 3. faktorem, tedy konkrétně se zesílením 1. formantu, paradoxně i s většími perturbacemi hlasu.

### **Korelace akustických parametrů s hodnocením rezonance při zohlednění výšky**

Příloha L ukazuje korelace některých akustických parametrů s percepčním hodnocením rezonance se zohledněním výšky hlasu v různých hlasových úkolech. Hladina akustického tlaku, hladina první harmonické složky a hladina pěveckého formantu ve všech případech významně korelovala s hodnocením jak habituální tak zpěvní rezonance.

Hodnocení vztahu rezonance (zpěvu ve vyšší tónině) a naměřenými parametry u zpěvu stupnic byly zjištěny jenom trendové korelace nad tónem  $c''$ . Singing power ratio (SPR) koreloval s percepcí rezonance hlasu jenom v hlubší tónině v oblasti  $e'-c''$ . Soft phonation index (SPI) statisticky významně záporně koreloval s rezonancí jenom v hlubší tónině v celé oktávě  $c'-c''$ . Voice turbulence index (VTI) záporně koreloval s percepcí habituální rezonance ale u zpěvu písni jenom v oblastech nad  $c''$ . Korelace parametrizace zpěvu stupnic a rezonancí zpěvu ve vyšší tónině byla jenom trendová. CQEGG ukázal významnou zápornou korelaci s rezonancí jenom u habituálního hlasu.

### **Hodnocení rezonance hlasu ve vztahu s rozložením parametrů v hlasovém poli**

Při hodnocení korelace rezonance hlasu s akustickými parametry při zohlednění jejich pozice v hlasovém poli nebylo možné uplatnit Bonferroniho korekci vzhledem na malé množství subjektů. Obrázek 8-20 proto zobrazuje jenom trendové korelace ( $p < 0,05$ ) mezi hodnocením habituální, resp. zpěvní rezonance v tónině  $d'$ dur a měřenými parametry. Vybrány byly parametry, které dle faktorové analýzy a mnohonásobné lineární regrese vyšly jako nejvýznamnější při hodnocení rezonance hlasu. Dále uvedený obrázek porovnává korelace parametrů při zohlednění absolutní a normalizované pozice v hlasovém poli.

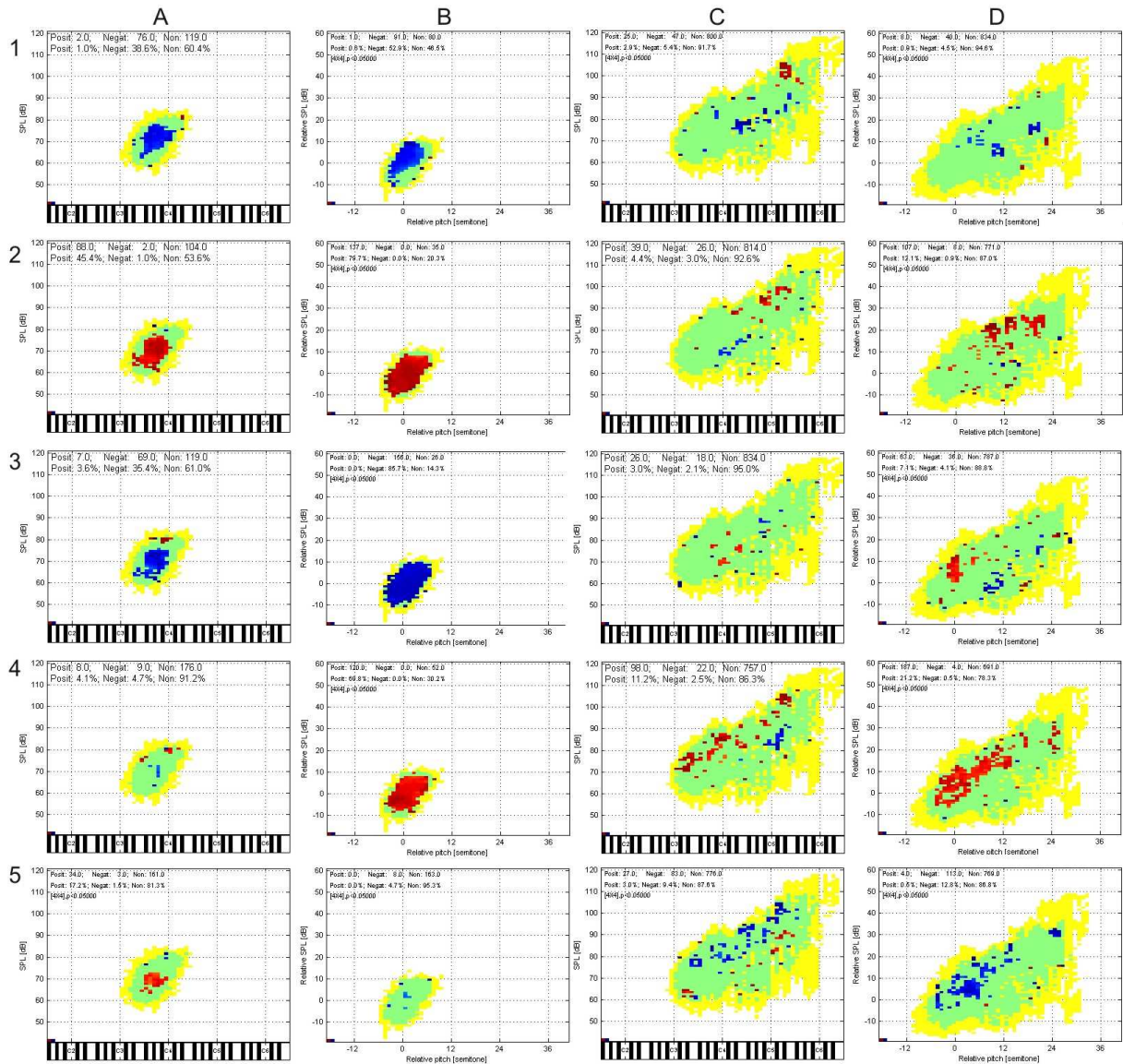
U parametru CQEGG se ukazuje významná trendová korelace v celé centrální části absolutního i normalizovaného habituálního hlasového pole. Zpěvní hlasová pole ale naznačují jenom negativní korelaci v oblasti střední dynamiky v rozsahu  $e'-f''$  (E4-F5) a kladnou korelaci ve vysoké ( $e''-f''$ ) poloze a nejhlasitější dynamice. Normalizace zpěvního hlasového pole neukazuje spojité trendové oblasti.

Parametr hladina první harmonické složky kladně trendově koreloval s rezonancí u habituálního hlasu, ale v zpěvním hlasovém poli se rozdělila korelace na oblast kladné korelace v oblasti hlasité dynamiky a centrální části tónového rozsahu, a v protikladu oblast negativní korelace v hlubší a tiché části. Normalizace na ZHP ale výrazně zvětšila plochu s kladnou trendovou korelací ve vyšší polovině a vysoké intenzitě.

Voice turbulence index záporně koreluje zejména v habituálním hlase, u zpěvu nejsou extrémně výrazné spojité plochy trendové korelace. Až při normalizaci se ukáže kladná korelace v hlubší poloze pod ZHP a vysoké dynamice a záporná korelace ve střední části tiché až střední dynamiky.

Hladina pěveckého formantu se zdá být nedůležitá u habituálního hlasu při korelaci absolutních pozic v hlasovém poli, ale plocha korelace je v celé oblasti habituálního hlasu při normalizovaných polohách. Podobně se zvětší oblast kladné korelace u zpěvního hlasového pole při normalizaci na základní hlasovou polohu, které se pak nachází v hlubších dvou třetinách  $mf$  až  $ff$  dynamiky. Při hodnocení absolutních pozic se objevuje i negativní korelace v tiché dynamice a těsně nad polovinou tónového rozsahu.

Šířka pásma 4. formantu kladně koreluje u habituální rezonance centrální části absolutního hlasového pole, ale vymizí v normalizovaných hodnotách. U zpěvu naopak záporně koreluje v hlasité dynamice téměř celého rozsahu a kladně jenom v tiché dynamice vyšší části, při normalizace záporně koreluje relativně velká oblast spodní poloviny hlasité dynamiky.



**Obrázek 8-20** Trendová korelace ( $p < 0,05$ ) rozložení akustických parametrů a rezonance hlasu vzhledem na pozici v hlasovém poli (sloupce A, C v absolutním, sloupce B, D v normalizovaném vzhledem na ZHP). Sloupce A, B popisují korelaci habituálního hlasu, sloupce C, D rezonanci zpěvního hlasu v tónině d'úr. Měřené parametry jsou v řádcích: 1) CQEGG, 2) hladina první harmonické složky, 3) VTI, 4) hladina pěveckého formantu, 5) BF4 – šířka 4. formantu. Zelená oblast znázorňuje překrývající se oblasti hlasových polí dostatečného počtu subjektů, aby bylo možné vypočítat korelaci. Žlutá oblast naopak, kde korelace nebyly počítané. Červené oblasti znázorňují pozice v hlasovém poli, kde byla vypočtena kladná trendová korelace ( $p < 0,05$ ), modrá – záporná korelace mezi měřeným parametrem a hodnocenou rezonancí.



## 9 Diskuze výsledků

### 9.1 Poslechové testy

#### Poslechové testy patologie hlasu u mužů

Porovnání výsledků inter a intra-rater korelací a počtu nejednoznačných hodnocení (s rozptylem větším než 2 z 10) u škálovacího hodnocení patologických vlastností ukázalo vyšší míru shody pro vlastnosti GRB a střední míru korelace pro A a S parametry. Uvedený výsledek souhlasí i s pozorováním jiných studií (Kelchner et al., 2010; Leinonen et al., 1997; Yamaguchi et al., 2003) a je možné jej interpretovat tak, že vzájemná shoda hodnotitelů je vyšší u GRB než u AS. Seřazovací testy ukázaly vysokou míru intra-rater Spearmanovy korelace jenom u vlastnosti dyšnost. Chraplavost byla u jednoho hodnotícího opakovaně vyhodnocována nekonzistentně a celkově dosahovala pouze středně vysokou korelaci. Porovnání výsledků škálovacího testu s výsledky seřazovacího testu ukázalo vyšší korelaci při hodnocení dyšnosti než u chraplavosti. Uvedený výsledek může souviset s tím, že při seřazovacím testu byly kvůli časové náročnosti hodnoceny podstatně kratší úseky než u škálovacích. V těchto kratších úsecích se uvedené vlastnosti pravděpodobně projevovaly v jiné míře než při hodnocení celkových ukázek. Na základě výsledku je ale také možno uvažovat o tom, že dyšnost byla jednoznačněji ohodnotitelná, naopak při hodnocení chraplavosti pravděpodobně sehrál úlohu i vliv percepce různých typů hlasové drsnosti a nejednoznačné posouzení jejich míry. V studii (Bergan a Titze, 2001) byla taky drsnost syntetizovaných vokálů při různé míře amplitudové a frekvenční modulace vyhodnocována s velkou variabilitou a u nehudebníků dokonce nekonzistentně. Protože v této studii byly použity seřazovací testy i jako nácvikové, je možno uvedený výsledek interpretovat také coby následek tréninku. Zvýšení inter-rater korelace u R, B vlastností se tedy mohlo týkat jejich nácviku. Další možnou interpretaci představuje fakt, že postoj hodnotících se výrazněji změnil při hodnocení chraplavosti než u dyšnosti.

Neshody hodnotitelů v seřazovacích testech u vlastnosti tmavost a šířka vykazovaly významnou nejednoznačnost hodnocení jejich míry. Autorovi nejsou známy studie vyhodnocující tmavost a šířku u hlasů, ale do úvahy je možno zahrnout různé vlivy. Jedním může být nejednotnost a nestabilita vnitřních modelů hodnotitelů u uvedených vlastností, další možností je narušení možnosti tyto vlastnosti hodnotit (jejich překrytí) patologickými vlastnostmi.

Korelace mezi celkovou poruchou hlasu a jednotlivými pozorovanými vlastnostmi ukazuje, že hlas ve vybrané skupině pacientů byl poškozený ve všech hodnocených parametrech. Výsledky faktorové analýzy ale dokumentují, že uvedenou skupinu pacientů je možno na základě percepčního hodnocení popsat dvěma nezávislými faktory. První zahrnuje astenii hlasu, dyšnost a celkovou poruchu, druhý slučuje chraplavost a napětí hlasu. Uvedený výsledek je v souladu s tím, že se v této studii společně projevovaly dyšné a astenické hlasy, které převládaly při hodnocení celkové poruchy hlasu, nezávisle na skupině chraplavých a zároveň spastických hlasů.

#### Poslechové testy efektu pěveckého tréninku u žen

Poslechového hodnocení vlastností hlasu pěvecky trénovaných a netrénovaných žen se zúčastnili jenom dva hodnotitelé v opakovaném hodnocení. Do další analýzy byly vzaty pouze výsledky, které vzájemně mezi hodnotiteli a test-retest hodnoceními korelovaly na hladině  $p < 0,05$ .

Vzájemná korelace mezi hodnoceními jednotlivých vlastností ukázala v zásadě jenom trendové vztahy, tedy korelační koeficienty s  $p < 0,05$ , které ale následně nevyhověly Bonferroniho korekci. Významnost takových výsledku je nejednoznačná, ale je možné

předpokládat, že při vyšším počtu subjektů by uvedené vztahy dosáhly požadovaných hladin statistické významnosti při uplatnění Bonferroniho korekce.

Habituální hlas ukázal jenom trendové vztahy, celkové hodnocení korelovalo s tmavostí a rezonancí. Technika a rezonance významně korelovaly mezi hodnoceními zpěvu v obou tóninách, rezonance také trendově mezi hodnocením habituálního hlasu a zpěvu v nižší tónině. Hodnocení tmavosti však vzájemně nekorelovalo mezi hodnocením habituálního hlasu a hodnoceními zpěvu v obou tóninách. Tmavost zpěvu ve vysoké tónině statisticky velmi významně korelovala s technikou i rezonancí v obou tóninách zpěvu písně. Uvedené výsledky implikují, že hodnocení rezonance, tmavosti nebo i techniky hlasu se mění v závislosti na způsobu použití hlasu (zpěvní versus mluvní) a také jsou jejich vzájemné vztahy ovlivněny výškou (tóninou) při zpěvu. To, že rezonance habituálního hlasu nekoreluje s rezonancí vyšší tóniny, naznačuje, že vyšší tónina je svou rezonancí příliš vzdálená od habituálního hlasu.

Významná korelace tmavosti zpěvu ve vyšší tónině s technikou i rezonancí zpěvu v obou tóninách, podporuje předcházející výsledek autora (Frič et al., 2011), kde byla tmavost zásadně spojená s technikou zpěvu u mužů s různým typem i stupněm hlasové trénovanosti.

Zobrazení rozložení hodnocení tmavosti vs. rezonance (viz Obrázek 8-6) odhalily, že v habituálním mluvním hlase jsou náhodně a rovnoměrně rozptýlené zpěvačky i nezpěvačky. Při zpěvu se však výrazně odlišují zpěvačky od nezpěvaček v rezonanci hlasu. V nižší tónině byly ještě některé nezpěvačky tmavší než zpěvačky, ale ve vyšší tónině byly jednoznačně tmavší hlasy zpěvaček. Výsledky faktorové analýzy ukázaly, že tmavost hlasu je obecně primárně ovlivněná výškou hlasu. Ta však u habituálního čtení není ovlivněná trénovaností. Proto můžou být promíchané zpěvačky s nezpěvačkami u tmavosti habituálního hlasu. Ve zpěvu se však situace mění, v zásadě jsou netréované hlasy světlejší, ale v nižší tónině můžou být i netréované hlasy velmi tmavé. Tato tmavost však pravděpodobně není dostatečně vyvážena rezonancí hlasu, a proto takové hlasy nejsou hodnoceny jako technicky dobré. Protože je tedy obecná tmavost hlasu při zpěvu hodnocená pozitivně u zpěvaček ve spojitosti s vyšší rezonancí, ale u nezpěvaček jsou odděleny dvě skupiny málo tmavých a zároveň málo rezonovaných hlasů od extrémně tmavých a zároveň málo rezonovaných. Uvedené pozorování implikuje, že tmavost je vhodné rozdělovat na typ „zatmavení“ hlasu ve spojení s vyšší rezonancí – hodnocenou jako technicky lepší, a na typ tmavosti, bez zvýšení rezonance hlasu, která je hodnocená jako technicky nevhodná. Technicky výhodnější „zatmavení“ pak pravděpodobně souvisí s vlastnostmi jako „krytí“ (covered) (Hertegard et al., 1990) nebo „kulatost“, typickými pro klasický zpěv, kde jsou uváděny do souvislosti při překlenování percepčních rejstříků hlasu. Nesprávné „zatmavení“ na druhé straně způsobuje pravděpodobně „zapadnutí“ hlasu.

## 9.2 Měření hlasového pole ve vztahu s vlastnostmi hlasu

### Sumarizace efektu poruchy hlasu u mužů

Výsledky korelační analýzy percepčních vlastností s parametry naměřených hlasových polí a jejich obrysů, spolu s výsledky mnohonásobné lineární regrese umožnily upřesnit jejich vzájemné vztahy a interpretovat informace obsažené v individuálních hlasových polích.

Pearsonova korelace výsledků percepčních hodnocení s naměřenými parametry hlasového pole ukázala některé významné souvislosti. U habituálního hlasu ani jeden z parametrů nevyhověl Bonferroniho korekci, a proto výsledné korelace jenom naznačují trendy. Napětí hlasu se projevuje trendově nárůstem výšky, astenie neschopností tvořit hlas nahlas a s větším tónovým rozsahem.

Parametry zpěvního hlasového pole (zejména celková plocha VRP, maximální SPL a dynamický rozsah) se ukázaly jako dominantní při korelaci mezi škálami percepce poruchy hlasu. Všechny uvedené parametry se významně zmenšují s nárůstem celkové poruchy hlasu

a dyšnosti a trendově i při zvyšování slabosti hlasu. Toto pozorování je ve shodě s předešlými studiemi (Holmberg et al., 2007; Ikeda et al., 1999; Ma et al., 2007; Ma. et al., 2006; Wingate et al., 2007). Faktorová analýza doplnila i parametry o celkový tónový rozsah VRP a plochu VRP nad maximální výškou při volání. Tyto parametry se snižují s nárůstem celkové poruchy a dyšnosti. Maximální výška hlasu při volání a minimální SPL habituálního hlasu se snižovaly jenom při dyšnosti.

Celkový tónový rozsah je ovlivněn zejména pěveckou trénovaností, ale samozřejmě bylo popsáno snížení tónového rozsahu při poruše hlasu (Šiupšinskiene, 2003; Yamaguchi et al., 2003). Předkládaná studie ukazuje i nová zásadní zjištění, porucha hlasu se projevuje zejména postižením schopnosti tvořit hlas ve vyšším mechanismu kmitání hlasivek (M2, resp. falzetu). Uvedené zjištění se ukázalo jako trendové při klasické korelaci, ale plně bylo potvrzeno kombinací faktorové analýzy a mnohonásobné lineární regrese. Chraplavost a dyšnost (jako předpokládané projevy organického postižení) byly odlišitelné od astenie a napětí hlasu zejména plochou hlasového pole tvořenou nad nejvyšší polohou při volání (pravděpodobně odpovídající nejvyšší poloze M1 vibračního mechanismu kmitání hlasivek). Jinými slovy, při dyšnosti a chraplavosti je zejména omezena schopnost tvořit v M2 mechanismu kmitání vyžadující ztenčení a prodloužení hlasivek (Henrich et al., 2003). Podobně bylo zmenšení tónového rozsahu ve falzetu pozorováno při poruše hlasu dětí chlapců i dívek v (Wuyts et al., 2003) a u netrénovaných žen v hlasité dynamice (Li a Yiu, 2006).

Normalizace parametrů celkového (zpěvního) VRP i jeho kontur vzhledem k průměrné výšce a SPL habituálního hlasu zvýraznila vztahy mezi měřenými parametry a percepcí poruchy hlasu. Ukázala výraznější změny na obrysech měřeného hlasového pole. Signifikantní korelace se soustředila hlavně na maximální intenzitu zpěvního VRP, která záporně korelovala s celkovou poruchou a dyšností a u hlasového pole při volání i s astenií.

Ostatní korelace parametrů normalizovaných hlasových polí vykazovaly jenom trendové vztahy. Na druhé straně sledování obrysových SPL křivek maximální a minimální intenzity normalizovaných zpěvních hlasových polí a při volání uvedené vztahy statisticky potvrdily a ukázaly dominantně postižené oblasti hlasového pole. Jako zásadní se ukazuje maximální naměřená hladina akustického tlaku při volání v oblasti jednu oktávu nad průměrnou habituální výškou. Dále křivka minimální SPL celkového VRP zejména v oblasti polohy mluvního hlasu a trendově i v celé oktávě nad průměrným habituálním hlasem. Snížení maximálních hladin volání a zvýšení křivky minimální SPL se ukazují jako zásadní pro hodnocení hlasové slabosti a celkové poruchy, trendově i dyšnosti.

Uvedená zjištění společně s trendem snížení sklonu „řečové křivky“ výrazně podporují studie (Schneider a Bigenzahn, 2003; Schneider a Bigenzahn, 2005; Schneider-Stickler et al., 2012), kde byla neschopnost dosáhnout hladinu 90 dB při volání považována za znak hypotonie hlasu. V předkládané studii je uvedený jev upřesněn: při hlasové slabosti klesá schopnost tvořit hlas intenzivně zejména v oblasti jednu oktávu nad průměrnou výškou hlasu.

U astenie se výsledky trendu snížení průměrné, minimální i maximální SPL habituálního hlasu na první pohled zdají jako protichůdné ke zjištění nárůstu minimální SPL kontury normalizovaného zpěvního VRP v oblasti výšky habituálního hlasu. Uvedené výsledky ale nutno interpretovat tak, že astenie hlasu celkově snižuje naměřenou hladinu SPL habituálního hlasu, ale při měření celkového VRP se projevují neschopností dále zeslabovat hlas při prodloužené fonaci vzhledem k průměrné SPL habituálního hlasu. Jinými slovy pacienti s astenií tvoří hlas blízko své minimální SPL a následně již nejsou schopni hlas ztišovat.

Evropská laryngologická společnost (Dejonckere et al., 2001) doporučila zařadit mezi základní akustická vyšetření hlasu měření tzv. tří bodového hlasového pole (nejvyšší základní frekvenci hlasu, nejnižší intenzitu hlasu (v dBA) – odpovídající prahu fonačního tlaku a nejhlubší dosažitelnou základní frekvence hlasu). Percepční hodnocení kvality mluvního

hlasu doporučila na škálách celková porucha (ekvivalent G Hiranovy škály), dyšnost (ekvivalent B škály) a drsnost/chrapot (ekvivalent R škály). Uvedená měření zohledňují měření parametru „dysphonia severity index“ (DSI) (Wuyts et al., 2000), který nejlépe odpovídá celkové poruše hlasu.

Předkládaná studie potvrzuje, že tónový rozsah hlasu je jeden z významných parametrů hlasového pole. Nejtíší intenzita se však ukázala jako zásadní jenom při relativním pohledu normalizovaných hlasových polí, tedy při hodnocení schopnosti pacienta hlas zeslabit. Naopak při měření celkového (zpěvního) hlasového pole (ale i při volání) se jako významná ukazuje křivka maximální hlasitosti v oblasti H-c´ (H2-C3) odpovídající maximální intenzitě v průběhu modálního rejstříku. Tuto hodnotu možno substituovat jednoduchým měřením maximální intenzity při volání. Dosažená maximální intenzita se významně snižuje s narůstající poruchou hlasu, dyšností a astenií. U křivek zpěvního VRP maximální hlasitost souvisí i se spasticitou.

### **Sumarizace efektu pěveckého tréninku na parametry hlasového pole u žen**

Průměrné hodnoty parametrů, výšková poloha, intenzita, tónový a dynamický rozsah neukázaly žádné významné rozdíly mezi trénovanými a netrénovanými ženami u hlasového pole habituálního hlasu ani při gradaci volání.

Průběh kontur **habituálního hlasu** vykazoval vztah s celkovým hodnocením kvality habituálního hlasu a rezonance. Obě vlastnosti se projevovaly posunem SPL kontur do vyšší intenzity (celkové zesílení), tmavost hlasu souvisela se zesílením hlubší části horní SPL kontury a s prohloubením hlasu.

U **celkového zpěvního hlasového pole** nastaly významné rozdíly ve schopnosti dosáhnout vyšší hladiny SPL, a tím pádem i většího dynamického rozsahu hlasu u trénovaných zpěvaček, což je v souladu s (Mendes et al., 2003; Siupsinskiene a Lycke, 2011). Předpokládané zvětšení plochy hlasového pole a tónového rozsahu (hlavně pro zvýšení nejvyšší dosažené výšky) v následku pěveckého tréninku (LeBorgne et al., 2002; Mendes et al., 2003) se ale nepotvrdilo. Funkčně se však ukázalo, že i když při vokalických úkolech (zpěv stupnice na „má“) byly i nezpěvačky schopné dosáhnout velkého tónového rozsahu, při zpěvu lidové písně na rozdíl od zpěvaček již nedokázaly zpívat v nejvyšších polohách.

Porovnání SPL a výškových kontur zpěvního hlasového pole společně s korelací kontur s percepčními vlastnostmi a mnohonásobnou lineární regresí faktorů parametrizace hlasových polí prokázalo, že zpěvní hlasový trénink ovlivňuje zejména nejvyšší dosahovanou výšku a intenzitu při zpěvu stupnic. Na hlasových polích se uvedené rozdíly projevovaly ve vyšší části horní SPL kontury nad c´´ (C5) a střední a vyšší části spodní SPL kontury nad f´ (F4). Výškové kontury byly ovlivněny jenom v tišší a střední dynamice horní výškové kontury, odpovídající tišší tvorbě hlasu nezpěvaček ve vysoké poloze.

Porovnání kontur hlasového pole při **gradaci volání** nevykazovalo ani trendové rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami. Jediný zjištěný rozdíl byl, že zpěvačky nasazovaly nejtíší pasáže hlasitěji než nezpěvačky. Korelace kontur s percepčními vlastnosti také nepopsaly zásadní vztahy. Když porovnáme tyto výsledky s pozorováním patologického hlasu u mužů, kde byl pozorován významný vliv patologie hlasu na kontury hlasového pole při volání, u skupiny trénovaných i netrénovaných žen nebyly pozorované rozdíly, ani žádné vztahy v závislosti na pěveckém tréninku. Jinými slovy výsledek potvrzuje, že hlubší polovina rozsahu hlasu při maximální intenzitě (tvořená nejčastěji v modálním vibračním rejstříku) nejlépe dosažitelná postupnou gradací volání není ovlivněná pěveckým tréninkem, ale výrazně ji ovlivňuje porucha hlasu. Předcházející studie autora (Frič, 2008b) také ukazuje na skupině hlasových profesionálů význam křivky maximální hlasitosti při gradaci volání pro odlišení výkonnějších čistých hlasů od méně výkonných a dyšných.

Parametry a kontury hlasových polí při **zpěvu lidové písně** dále odhalují, že rezonance hlasu, tmavost i technika zpěvu se zvyrazňují s narůstající tóninou. Rozdíly mezi trénovanou a netrénovanou skupinou se pak zobrazí zejména ve zvýšení průměrné a maximální intenzity hlasu u zpěvaček.

Rozdíly kontur zpěvních hlasových polí a hlasových polí písní, spolu s pozorovanými významnými vztahy s percepčními vlastnostmi identifikují jako významný zlomový bod u SPL kontur – tón  $c''$  (C5). Nad tímto tónem se výrazně projeví rozdílné vlastnosti hlasu zpěvaček a nezpěvaček. Tvar kontur potvrdil, že trénované zpěvačky měly hladší průběh obou SPL kontur. Na obrysech hlasového pole zpěvaček nebyl u spodní SPL kontury patrný zlomový bod v okolí  $c''$  (C5). Na horní SPL kontuře nad  $c''$  byla u trénovaných zpěvaček prokázána schopnost dosáhnout významně vyšších maximálních hladin SPL. Uvedená oblast také trendově souvisí s technikou a tmavostí zpěvu.

Na spodní SPL kontuře se navíc ukazují trendové i statisticky významné rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami. Trendové korelace s percepčními vlastnostmi spojenými s pěveckým tréninkem jsou patrné již od  $c'$  (C4). Proto je možné předpokládat, že uvedené rozdíly a vztahy souvisí s přechodem mezi rejstříky, u nezpěvaček s výraznější změnou vlastností hlasu v následku změny a přechodu rejstříků, u trénovaných zpěvaček se snahou „vyrovnat“ přechody percepčních rejstříků. V další části budou tyto změny interpretovány pomocí sledování ostatních měřených parametrů jako změny vibračních mechanismů u nezpěvaček, a přechodem percepčních rejstříků s nárůstem rezonance hlasu u trénovaných zpěvaček.

### 9.3 Objektivní měření ve vztahu s vlastnostmi hlasu

#### Projevy patologie hlasu u mužů

Průměrné hodnoty měřených akustických parametrů patologických hlasů mužů vykazovaly významné korelace s hodnocením habituálního hlasu. Nejvýznamnější byly vztahy mezi perturbacemi periodicity a prvním keprstrálním vrcholem s celkovým hodnocením poruchy hlasu. Méně výrazné, ale stále statisticky významné, byly vztahy uvedených parametrů spolu s rozdílem hladin prvních dvou harmonických složek s dyšností a astenií. Uvedené výsledky nejsou překvapivé a souhlasí s většinou pozorování ostatních autorů (Lowell et al., 2011; Lowell et al., 2011; Radish et al., 2010; Heman-Ackah et al., 2002; Heman-Ackah et al., 2003; Hillenbrand et al., 1994; Lowell et al., 2011; Thalen a Sundberg, 2001; Wuyts et al., 2000; Munoz et al., 2003; Michaelis et al., 1998; Heman-Ackah et al., 2002; Heman-Ackah et al., 2003; Hillenbrand et al., 1994; Lopes et al., 2012; Radish et al., 2010).

Faktorová analýza rozdělila měřené parametry na skupiny, které dobře vysvětlují změny týkající se poruchy hlasu. Všechny projevy patologie hlasu souvisely s faktorem slučujícím perturbační parametry a první keprstrální vrchol. Samostatný faktor tvořený jenom těžištěm spektra v oblasti 2–5 kHz narůstal se zvyšováním G, B a A škál. Další samostatný faktor souvisel jenom s rozdílem hladin první a druhé harmonické, taky narůstal se všemi poruchami, kromě chraplavosti. Faktory, které nesouvisely s hodnocením poruchy hlasu, byly tvořeny výškou společně s polohami prvních tří formantů, nebo intenzitou hlasu a spektrální parametry. Poslední nesouvisející faktor s patologií hlasu byl separátně tvořen jenom hladinou pěveckého formantu.

Uvedené zjištění implikuje, že variabilita naměřených dat souvisejících se změnami výšky, intenzity a také s hladinou pěveckého formantu (parametr, který je nejčastěji spojován s pěveckou rezonancí) nebyla podkladem při vyhodnocování sledovaných typů poruchy hlasu. Zajímavé zjištění, že těžiště spektra v oblasti 2–5 kHz se posouvá do vyšších frekvencí s nárůstem obtížnosti poruchy, dyšnosti a astenie je možno vysvětlit i tím, že při poruše hlasu

narůstá hladina šumu ve vyšší části sledovaného pásma a klesá intenzita harmonických složek v nižší části. Uvedený jev ztráty dominance harmonických složek a postupné zesilování šumu až do pásma vokálních formantů při poruše hlasu popsal již (Yanagihara, 1967).

Předpokládaná možnost podrobnějšího zkoumání rozložení akustických parametrů v hlasovém poli a jejich souvislost s hodnocením patologie hlasu se na uvedených datech výrazně neprojevila. Zjištěné vztahy jenom potvrdily výše uvedené vztahy mezi průměrnými hodnotami parametrů a percepčním hodnocením.

Korelace měřených parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli byly v následku přísné Bonferroniho korekce statisticky zamítnuty, ale přehled trendových vztahů (při zohlednění  $p < 0,05$ ) ukazuje podstatně podrobněji oblasti v hlasovém poli, které je následně možné specificky interpretovat na základě zjištěných vztahů konkrétních vlastností hlasu a určitých parametrů

V práci uvedený příklad trendových korelací rozložení parametrů v hlasovém poli s dyšností rozděluje zpěvní hlasové pole na dvě zásadní oblasti: hlubší a hlasitější část, která pravděpodobně popisuje oblast modální fonace, a vyšší a tichou část, která by měla být charakteristická pro falzetový vibrační mechanismus. Trendové vztahy mezi dyšností a perturbacemi periodicity se potvrdily zejména v nejnižší části zpěvního hlasového pole v nejhlubší oktávě.

Pro hlasitou a vysokou polohu modálního hlasu byl statisticky významně prokázán vztah poklesu strmosti spektra v oblasti 0,4–4 kHz s dyšností. Trendově se pro tuto část hlasového pole projeví i pokles hladiny prvního keprálního koeficientu a nárůst rozdílu hladin první a druhé harmonické složky.

### **Porovnání měřených parametrů mezi pěvecky trénovanou a netrénovanou skupinou**

U **habituálního čtení** porovnání průměrných hodnot měřených parametrů, ale také porovnání vzhledem k výšce hlasu ukázalo nejvýznamnější rozdíly mezi trénovanou a netrénovanou skupinou u parametru CQEGG. Pěvecky trénované ženy měly výrazně menší hodnoty CQEGG než netrénované. Tento parametr je nejčastěji popisován, resp. jeho alternativní parametr koeficient otevření hlasivek, jako parametr odlišující různé vibrační mechanismy hlasivek (Henrich a Doval, 2000; Henrich et al., 2005; Henrich, 2006). Proto je nutno vzít do úvahy, že zpěvačky tvořily habituální mluvní hlas v jiném – vyšším vibračním mechanismu než nezpěvačky. Na druhé straně CQEGG dokázalo odlišit rezonovaný způsob tvorby hlasu od tlačeného u zpěváků i herců s vyššími hodnotami u tlačeného hlasu (Verdolini et al., 1998). U simulovaných zvuků s klesajícím koeficientem otevření hlasivek (ekvivalent nárůstu koeficientu uzavření hlasivek) narůstalo hodnocení tlačeného hlasu (pressed) (Bergan et al., 2004). Předkládaná studie ukazuje vzájemnou významnou negativní korelaci mezi hodnocením rezonance habituálního hlasu a CQEGG. Tedy v této studii byly nižší hodnoty CQEGG spojeny s vyšším hodnocením rezonance mluvního hlasu nežli jiného hlasového rejstříku. Tento výsledek odpovídá i výsledkům studie (Verdolini et al., 1998), kde rezonance hlasu byla vysvětlená na základě pozorování kmitání hlasivek ve videostroboskopii na pomezí addukce a abdukce.

Porovnání průměrných hodnot měřených parametrů **u zpěvu stupnic** ukázalo odlišné výsledky, než tomu bylo u habituálního hlasu. Zásadní rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami nastaly v parametrech, které odráží zvýšení energie v oblasti pěveckého formantu (LFSH, A4), zvýrazněním harmonicity (CP~1) a celkové zesílení hlasu (SPL).

Porovnání průměrných hodnot parametrů mezi skupinami vzhledem k naměřené výšce odhaluje, že významné rozdíly v SPL ve všech dynamikách leží v zásadě nad tónem c''. Části s výraznými zlomy v průměrných hodnotách SPR (jako prediktora zvonivosti (Omori et al., 1996) kopírují nástup významných rozdílů v naměřených intenzitách.

Vzhledem k tomu, že trénované i netrénované ženy měly podobné hodnoty CQEGG při zpěvu, ale u nezpěvaček byly podstatně nižší hodnoty CQEGG u zpěvu ve forte dynamice než při volání, je nutno uvažovat, že nezpěvačky použily odlišný vibrační rejstřík u volání (M1) než při zpěvu (M2). Různé studie uvádí, že klasické zpěvačky (zejména soprány) zpívají v M2 vibračním mechanismu (Miller, 2000; Kochis-Jennings et al., 2012). Předkládaná studie toto tvrzení podporuje. Naopak M1 rejstřík je typický pro neklasický zpěv, v relativně vysokých polohách a při vysoké intenzitě se označuje jako „belting“ (Bestebreurtje a Schutte, 2000).

Na průměrných křivkách CQEGG zpěvu stupnic vzhledem k výšce hlasu jsou významné zlomy, kde přichází k podstatnému omezení kontaktu hlasivek. S narůstající dynamikou se posouvá tento zlomový bod do vyšších frekvencí jak u zpěvaček, tak nezpěvaček, ale ve všech dynamikách je tento bod nižší u nezpěvaček. V nejnižší intenzitě je odstup hladin první a druhé harmonické složky větší pro nezpěvačky už od polohy malého a. Tedy je možné předpokládat významně větší pokles zdrojového spektra, což bývá spojováno jak se změnou hlasového rejstříku (Airas, 2008), ale taky s poklesem zvučnosti hlasu a zvýrazněním dyšnosti (Thalen a Sundberg, 2001). Všechny uvedené změny indikují na diference mezi trénovanou a netrénovanou skupinou týkající se jak změny vibračních rejstříků, tak barvy a kvality hlasu.

Podobným způsobem se ukázaly rozdíly i při **zpěvu lidové písně** v různých tóninách. Rozdíly v zásadních parametrech jako celková intenzita, hladina pěveckého formantu, voice turbulence index a CQEGG se zvětšovaly s narůstající výškou tóniny. Uvedené trendy dobře popisují zhoršování kvality zpěvného hlasu s narůstající výškou tónů u nezpěvaček.

Porovnání obrysů hlasových polí mezi gradací volání a zpěvem stupnic ve forte dynamice ukazuje u zpěvaček i nezpěvaček statisticky významně vyšší intenzity v nejhlasitějším volání než při zpěvu ve forte dynamice ve stejných výškách. Dále bylo ukázáno, že CQEGG není odlišný v těchto polohách u zpěvaček, kdežto u nezpěvaček byly prokázány významné rozdíly (zejména při zohlednění pozice v hlasovém poli). Jak bylo prokázáno, zpěvačky v polohách nad maximální výškou volání (v průměru v oblasti  $c''-e''$ ) jsou dále schopny zesilovat hlas, ale nezpěvačky v průměru ani nedosahují maximální intenzity volání a hlas ve vyšších polohách nezsilují. Nezpěvačky tedy mají výraznější dynamický rozdíl mezi maximální SPL při volání a při zpěvu. Stejný výsledek byl zjištěn v předchozí studii autora (Frič, 2008a), kde začínající studenti herectví (muži i ženy) měli větší rozdíl maximální intenzity při volání a při zpěvu stupnic než hlasoví profesionálové.

Porovnání rozložení parametrů vzhledem k pozici ve zpěvním hlasovém poli bylo možné provést jenom bez Bonferroniho korekce, kde trendové rozdíly v parametrech naznačují části hlasového pole s odlišným způsobem tvorby v závislosti na hlasovém tréninku. Pro lepší orientaci se zdá být výhodné dělení hlasových polí na třetiny jak podél tónového (hluboká, střední a vysoká), tak dynamického rozsahu (tichá, středně hlasitá a velmi hlasitá).

Porovnání rozložení parametrů CQEGG, rozdíl hladin první a druhé harmonické složky s ohledem na pozici v hlasovém poli ukazují dyšnou tvorbu hlasu u netrénovaných žen (CQEGG=0 a výrazný odstup hladin první a druhé harmonické složky) v hluboké a střední třetině tiché dynamiky a ve střední a vysoké poloze střední dynamiky.

Zobrazení rozložení průměrných hodnot parametru CQEGG při zohlednění pozice v hlasovém poli ukázalo, že trénované zpěvačky v celé tiché dynamice nad cca  $f'$  (F4) již více nesnižovaly intenzitu hlas, jakmile dosáhly nulových hodnot CQEGG. Tím pádem je možné diskutovat o tom, že se snažily vyhnout dyšné tvorbě hlasu v nejnižší dynamice.

Ve střední a horní části tónového rozsahu oblasti tiché dynamiky měly nezpěvačky zároveň vyšší hodnoty perturbačních parametrů a patologické hodnoty Jitru a ShdB. Uvedený výsledek vysvětluje paradoxní zvýšení SPR v této oblasti VRP, kde ve frekvenční oblasti pěveckého formantu pravděpodobně dominoval šum nad harmonickou strukturou. Jiné

vysvětlení poskytuje práce (Bergan et al., 2004), podle které se ring a pressed kvalita odlišují zesílením oblasti první harmonické složky u ring, kdežto obě kvality mají typické vysoké hladiny 3. a 4. formantu.

Vzhledem k tomu, že uvedené parametry jsou spojovány s percepčním zhoršením kvality a změnou barvy a způsobu kmitání hlasivek, je možné uzavřít, že při zpěvu stupnic u nezpěvaček byla nejtíšíší dynamika nad tónem  $f'$  (F4) spojená s dyšnou tvorbou hlasu bez kontaktu hlasivek, a proto celkově výrazně méně intenzivní než u zpěvaček. Oblast střední dynamiky se zvýšenou intenzitou v oblasti pěveckého formantu u nezpěvaček nad tónem  $a'$  (A4) byla taky spojená s přechodem do kvalitativně horšího –spastického hlasu.

Tón  $c''$  (C5) byl zlomovým pro maximální dynamiku, kde nezpěvačky na rozdíl od zpěvaček výrazně ztratily posílení oblasti pěveckého formantu a zároveň přecházely do jiného vibračního mechanismu než v hlubší části. Oblast hlasité dynamiky u zpěvaček, zejména nad  $c''$ , byla naopak spojena se zvýrazněním spektrálních oblastí pěveckého formantu, ale také i s vyššími hodnotami CQEGG, což je pravděpodobně projev schopnosti zesílit hlas v těchto polohách u trénované skupiny.

Porovnání rozložení parametrů při zohlednění pozice v normalizovaném hlasovém poli u většiny parametrů výrazně zvětšuje spojitou plochu, kde jsou parametry mezi skupinami trendově odlišné. Takto spojitě oblasti s trendovými rozdíly mezi skupinami jsou lépe interpretovatelné.

V střední a hlasité dynamice zejména ve spodní polovině až dvou třetinách tónového rozsahu byly naměřeny vyšší hodnoty u zpěvaček u parametrů SPR, zesílení 4. formantu, hladina pěveckého formantu a nižší u parametru šířka pásma 4. formantu. Naopak v hlasité dynamice horní poloviny tónového rozsahu trendové rozdíly poukazují u zpěvaček na výraznější zesílení hladiny první harmonické složky.

Z uvedeného vyplývá, že ve hlubší polovině tónového rozsahu hlasového pole zpěvačky na rozdíl od nezpěvaček více zesilují zejména oblast pěveckého (resp. 4. formantu) a pravděpodobně toho dosahují zúžením šířky jeho pásma (BF4). Naopak, v horní polovině pěveckého rozsahu a při hlasité dynamice zpěvačky začnou výrazně zesilovat první harmonickou složku v porovnání s nezpěvačkami.

Uvedená zjištění podporují pozorování u školovaných sopranistek (Garnier, M. et al., 2012; Garnier, M. et al., 2010), kde právě v okolí tónu  $c''$  (C5) byl pozorován přechod do vyššího rejstříku. V případě změny percepčního rejstříku (z lower middle do upper middle), ale při současném zachování vibračního mechanismu M2 byl pozorován nástup ladění prvního rezonančního vrcholu a frekvence první harmonické složky (R1:F0 měřeno širokopásmovým buzením). V předkládané studii uvedeným výsledkům odpovídá zejména pozorování vyšších hladin první harmonické složky. Ladění F1:F0 bylo v této studii taky pozorováno, výsledky ale nebyly prezentovány, protože v případě výpočtu pozic formantů pomocí LPC analýzy jsou jejich pozice v polohách se základní frekvencí nad 350 Hz automaticky ovlivněny pozicemi harmonických složek.

Náhlé snižování CQEGG s narůstající výškou tak popisuje přechod z M2 do M3 vibračního mechanismu, který byl ve střední a hlasité dynamice pozorovaný ve výrazně vyšších polohách u zpěvaček než u nezpěvaček. Náhlé snížení CQEGG bylo v hlasité dynamice pozorováno u nezpěvaček už v poloze  $c''$ , kdežto zpěvačky udržely konstantní hodnoty až do  $g''$ . Ve střední dynamice bylo výrazné snížení CQEGG zjištěné v poloze  $a'$  u nezpěvaček ale až v poloze  $g''$  u zpěvaček. Přechodová oblast  $c''$  až  $g''$  byla ale u zpěvaček zároveň typická vyššími hladinami první harmonické složky a taky pokračujícím zesilováním pěveckého formantu. Dle (Bergan et al., 2004) je tedy možno v této oblasti u zpěvaček předpokládat právě zvonivou barvu na rozdíl od tlačeného hlasu u nezpěvaček, které neměly



ani vysoké hodnoty první harmonické složky a jejich hodnoty hladin pěveckého formantu se s narůstající výškou už neměnily.

Ve vysokých polohách nad  $g''$  se rapidně snížily hodnoty CQEGG i u zpěvaček. Pravděpodobně změnily vibrační mechanismus, ale stále si uchovaly vysoké hladiny první harmonické i pěveckého formantu. Uvedený typ přechodu zodpovídá popisovanému přechodu upper middle – upper a dále do flageolet rejstříku dle (Miller, 2000).

V tiché dynamice přecházely zpěvačky i nezpěvačky do M3 mechanismu v podstatně hlubších polohách (již od tónu  $d'$ ). Zpěvačky si ale také, na rozdíl od nezpěvaček, udržely vyšší hladiny první harmonické složky a vyšší hladiny pěveckého formantu, což je výše popsáný rezonanční projev hlasu. Toto zjištění u zpěvaček spíše odpovídá popisovanému přechodu mezi lower middle do fluty resonant rejstříků v (Garnier et al., 2012). Větší odstup hladin první a druhé harmonické a menší zesílení druhého a pěveckého formantu u nezpěvaček ukazuje na velmi rychlý pokles sklonu spektra bez využití rezonančního efektu. Výrazné snížení CQEGG a zvýšení Jitter a ShdB ale také dokumentuje u nezpěvaček ztrátu kontaktu hlasivek už od tónu  $f'$  a zároveň vyšší perturbace hlasu v této oblasti a potvrzuje výše uvedenou dyšnou fonaci nezpěvaček.

Přechod do flageoletového rejstříku, který byl v (Garnier et al., 2012) charakterizován nástupem ladění R2:F0, byl v předkládané studii jenom naznačen u dvou zpěvaček. V nejvyšších změřených polohách nad tónem  $c'''$  (C6) bylo u nich pozorováno zvětšování odstupů prvních dvou harmonických složek a nárůst zesílení 2. formantu (předpokládané ladění F2:F0). Zároveň se u nich však nezvyšovala hladina pěveckého formantu, což je předpoklad flétnového poklesu spektra.

### **Korelace měřených parametrů a percepčních vlastností**

Průměrné hodnoty parametrů habituálního hlasu vykazovaly nejvýznamnější korelace zejména s průměrnou výškou a intenzitou hlasu. Protože při měření hlasového pole byla naznačena trendová korelace výšky a napětí, i většina parametrů závislých na výšce korelovala s napětím. Podobným způsobem parametry korelující s intenzitou souvisely s hodnocením rezonance habituálního hlasu.

Průměrné hodnoty měřených parametrů u zpěvu stupnic potvrzují význam celkové intenzity a zejména hladiny pěveckého formantu pro hodnocení techniky, rezonance a ve vyšší poloze zpěvu písně i u tmavosti hlasu. Zesílení 4. formantu zároveň se snížením jeho šířky, pravděpodobně dáno lepším naladěním tohoto formantu na nejbližší harmonickou složku, nejvýznamněji korelovalo s koeficientem trénovanosti.

Společné vyhodnocení mnohonásobné lineární regrese percepčních parametrů s výsledky faktorové analýzy při hodnocení habituálního hlasu i při hodnocení obou výšek zpěvu dokumentuje, že **tmavost hlasu i rezonance** ve všech třech případech souvisely s nárůstem průměrné intenzity hlasu (SPL), nárůstem hladiny první harmonické složky (H1) a také nárůstem maximální hladiny pásma pěveckého formantu (LFSH), negativně souvisely s parametrem VTI (voice turbulence index). U habituálního hlasu tmavost i rezonance a zpěv v  $d'$ dur podobně korelovaly jenom u parametru celkového sklonu spektra. Na rozdíl od habituálního hlasu, tmavost i rezonance u zpěvu písní kladně korelovaly s hladinou prvního keprálního koeficientu.

Hodnocení **tmavosti** se relativně často chovalo protichůdně v závislosti na hodnocení typu hlasu (mluvního nebo zpěvního). Tyto rozpory byly zjištěny u parametrů SPI, SPR a A4, v nejvyšší tónině i s F0. Při hodnocení tmavosti habituálního hlasu byl preferován hlubší, „měkčí“ hlas (daný negativním zvyšováním parametru SPI) a nižší relativní maximum pěveckého, resp. 4. formantu vůči maximu pásma 0–2 kHz (SPR). Hodnocení tmavosti zpěvu v  $d'$ dur bylo naopak spojeno s poklesem SPI, nárůstem SPR, respektive zesílením 4. formantu. Uvedené zjištění potvrzuje obecné předpoklady hodnocení světlosti s nárůstem

vyšších spektrálních komponentů u habituálního hlasu. Paradoxní preference nárůstu průměrné výšky s pěveckou tmavostí v nejvyšší tónině lze vysvětlit jako schopnost tmavších hlasů, typických právě ve vyšší tónině pro trénované zpěvačky, déle udržet vysoké tóny, nebo naopak podladěním světlých (netrénovaných) hlasů. Výšková poloha zpěvu byla totiž pro všechny stejná, odlišné tedy bylo pravděpodobně hlavně tempo (v této studii nebylo předepsáno).

Hodnocení **rezonance** nevykazovalo výrazný rozpor mezi habituálním a zpěvním hlasem. Rozdíl hodnocení se ukázal jenom při některých parametrech. U habituální rezonance byl významný pokles koeficientu uzavření hlasivek a snížení variability základní frekvence, u zpěvu v d´dur byla rezonance spjata s poklesem SPI (poklesem slabosti hlasu), nárůstem SPR, polohy a zesílení 4. resp. pěveckého formantu, tím pádem i zvýšení polohy těžiště v pásmu 2–5 kHz. Při rezonanci ve fis´dur byly zásadní i zvýšené polohy 2. a 3. formantu.

Korelace parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli umožnila odhalit jenom trendové vztahy s hodnocením rezonance hlasu. Výsledky podobně jako porovnání parametrů v hlasovém poli rozdělilo zpěvní hlasové pole na podoblasti, kde měřené parametry vykazovaly odlišný typ korelace s hodnocením rezonance. Při normalizaci hlasových polí na základní hlasovou polohu se ale ukázalo, že trendově korelující plochy jsou více spojité. Proto je vhodné uvažovat, že hledání vztahů percepčních vlastností a měřených parametrů vzhledem k průměrné výšce a intenzitě hlasu pomůžou lépe interpretovat významné oblasti hlasových polí, nežli absolutně naměřené pozice výšky a intenzity.

Pro korelaci se zpěvní rezonancí se znovu ukazují coby zásadní podobné oblasti, jako tomu bylo při porovnání parametrů při zohlednění pozice v absolutním i normalizovaném hlasovém poli. Proto je nutno uvažovat, že zjištěné korelace se spíše týkají výrazných rozdílů mezi hlasem zpěvaček a nezpěvaček nežli specifické pěvecké rezonance. Výše uvedené trendově zásadně odlišné, ale i trendově korelující oblasti s rezonancí jsou však významným vodítkem pro určení specifických vlastností spojených s produkcí hlasu.

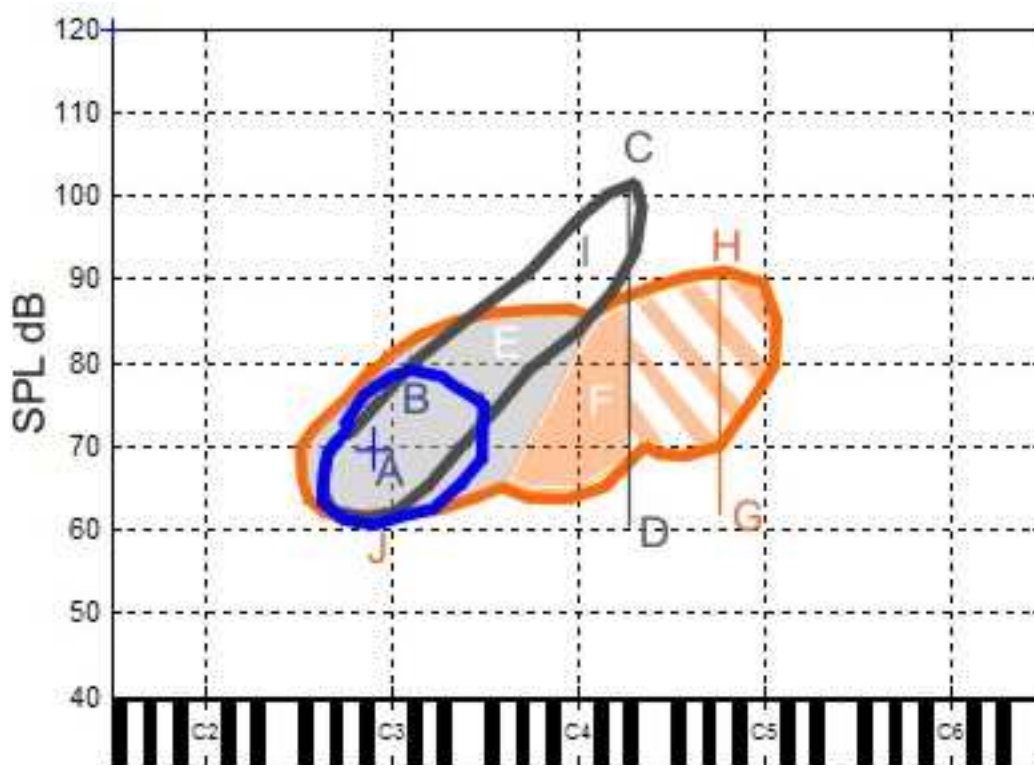
Nejvýznamnější rozdíly v obrysech hlasového pole se nacházejí v oblasti nad f´ v nejnižší dynamice, kde nezpěvačky dokážou tvořit hlas tišeji než zpěvačky. Dle porovnání CQEGG ale v této oblasti tvoří hlas s výrazně nižším kontaktem hlasivek, resp. bez kontaktu – dyšně. Nad c´´ v nejhlasičtější dynamice jsou zpěvačky schopny dosahovat vyšší intenzity než nezpěvačky. Zesílení hlasu dokážou zejména na základě schopnosti zesílit 4., resp. pěvecký formant, a také tím, že zároveň dokážou zesilovat i hladinu první harmonické složky. Jak bylo ukázáno při faktorové analýze a korelaci při hodnocení zpěvu písní, zesílení pěveckého formantu a první harmonické složky je zásadním projevem rezonance hlasu. Proto je popisovaný jev schopnosti zpěvaček zesílit hlas ve vyšší polovině tónového rozsahu možné interpretovat jejich dovedností hlas více rezonovat.

## 10 Závěry experimentální části

### 10.1 Patologie hlasu

Z experimentů týkajících se hodnocení patologických hlasů zaměřených na základní projevy poruchy hlasu (hodnoceno jak VA škálami, tak seřadovacími poslechovými testy pro základní barvotvorné dimenze) vyplynulo, že:

- Hodnotící se nejlépe shodli v hodnocení celkové poruchy, dyšnosti a chraplavosti, hodnocení napětí a slabosti bylo méně konzistentní. Chraplavost ukázala vysokou míru konzistence hodnocení pomocí škálovacího testu, ale v seřadovacím testu dosahovala podstatně nižší míry konzistence.
- Hodnotící se neshodli v hodnocení tmavosti a šířky hlasu.
- 95,2% variability hodnocených patologií bylo způsobeno dvěma faktory:
  1. dyšnost a astenie hlasu se seskupily ve faktoru celkové poruchy hlasu
  2. chraplavost a napětí hlasu se seskupily v druhém faktoru (bez společného pojmenování).



**Obrázek 10-1** Průměrné mužské hlasové pole naměřené v předkládané studii. Modrá kontura ohraničuje habituální hlas, šedá hlasové pole při volání, oranžová ohraničuje celkové (zpěvní) hlasové pole. Na x-ové ose je znázorněná tónová výška dle americké notace C2-C6 odpovídají velkému C až c'''. Písmeny jsou vyznačeny významné body hlasových polí, jak jsou uvedeny v závěru studie: A – poloha průměrné výšky a intenzity habituálního hlasu, B – hodnota maximální intenzity habituálního hlasu, C – maximální intenzita při volání, D – hodnota minimální intenzity řečových úkolů, úsečka C-D – celkový dynamický rozsah řečových úkolů (habituálního hlasu a volání), E – šedivá plocha celkového zpěvního hlasového pole tvořená v modálním rejstříku, F – oranžová plocha zpěvního hlasového pole tvořená ve falzetovém rejstříku (šrafovaná oranžová plocha –plocha zpěvního hlasového pole nacházející se nad maximální výškou dosaženou při volání), G, H – hodnoty minimální a maximální intenzity zpěvního hlasového pole, úsečka G-H – dynamický rozsah VRP, I – kritický bod na křivkách maximálních SPL pro zpěvní VRP i volání (nachází se cca 1 oktávu nad polohou mluvního hlasu a je nejvíce citlivý na poruchu hlasu), J –nejtíší intenzita v oblasti výšky habituálního hlasu.

Parametrizace hlasových polí ukázala zásadní vztahy s vnímanou poruchou hlasu, souhrnně tyto vztahy vyjadřuje Obrázek 10-1:

#### 1) **Habituální hlas:**

Významné parametry jsou jenom průměrná a maximální intenzita (body A a B), které se snižují s narůstající **dyšností**.

Trendové vztahy: minimální, průměrná a maximální výška hlasu se zvyšují s napětím hlasu, dynamický a tónový rozsah se snižují se slabostí.

#### 2) **Hlasového pole při volání:**

Nejvýznamnější parametry: maximální hladinu akustického tlaku (bod C), která se výrazně snižuje s nárůstem **dyšnosti, slabosti a celkové poruchy** hlasu; dynamický rozsah (bod D) se snižuje s nárůstem **dyšnosti a poruchy hlasu**.

Trendové vztahy: maximální výška se snižuje s **dyšností a slabostí**, plocha hlasového pole volání se snižuje i s **celkovou poruchou**.

#### 3) **Celkové (zpěvní) hlasové pole:**

Tři nejvýznamnější parametry: celková plocha VRP (E+F), dynamický rozsah (D) a maximální dosažitelná SPL (H) se zmenšují při **celkové poruše** hlasu a **dyšnosti**.

Trendové vztahy: Nejvýznamnější je zmenšení *plochy* hlasového pole *nad maximální výškou hlasu při volání* (F), tedy v oblasti předpokládaného falzetového rejstříku hlasu. Protože uvedená oblast souvisela jenom s **chraplavostí a dyšností**, její zmenšení je pravděpodobně projevem hlavně organických poruch hlasu.

Zmenšení tónového rozsahu, a s tím související snížení maximální výšky hlasu souvisí s **dyšností a astenií**. Nárůst minimální výšky hlasu se ukázal podobně jako při habituálním hlase jako projev hlasového *napětí*.

#### 4) **Normalizace hlasového pole** vzhledem k průměrné výšce a SPL habituálního hlasu lépe vysvětluje, které oblasti tónového rozsahu pacienta při měření hlasového pole jsou nejvíce citlivé (ve smyslu ovlivnění dynamiky hlasu).

Na křivce maximální intenzity se projeví **celková porucha** hlasu ve snížení SPL asi o oktávu nad základní polohou hlasu (bod I) jak u celkového VRP, tak při měření volání. Uvedený jev pravděpodobně souvisí s fyziologickým přechodem do vyššího mechanismu kmitání (rejstříku) ve vyšší poloze. Jak bylo ukázáno, schopnost tvořit falzet je výrazně omezena při vážnějších poruchách hlasu.

Normalizovaná křivka minimální intenzity hlasu je nejcitlivější právě v oblasti základní polohy hlasu (bod J), která se zvyšuje při **dyšnosti a astenií**, a tedy i **celkové poruše** hlasu.

**Celková porucha** se v uvedeném experimentu ukázala jako vlastnost, která byla ovlivněna všemi percipovanými typy poruch, na hlasovém poli se projevila ve snížení všech měřených parametrů, kromě výšky hlasu. Nejvíce se však celková porucha hlasu projevuje zmenšením plochy celkového (zpěvního) hlasového pole.

**Dyšnost i chraplavost** se projevují podobně, ale od napětí a astenie se odlišují tím, že omezují schopnost tvořit falzet (bod F). **Dyšnost** hlasu se však zásadně odlišuje od chraplavosti tím, že s jejím nárůstem se kromě dynamiky a maxima hlasitosti ztrácí schopnost tvorby vysokých tónů. Astenie v našich měřeních byla souběžným projevem dyšnosti hlasu. Hlasové **napětí** nejméně korelovalo s parametry hlasových polí, zato jako jediné se projevovalo s nárůstem výšky hlasu.

Z měřených parametrů u habituálního hlasu byly k poruchám nejcitlivější průměrné hodnoty perturbačních parametrů a hladina prvního keprálního vrcholu. Ve zpěvním hlasovém poli však byly jejich vztahy při zohlednění pozice v hlasovém poli jenom trendové.

Jako jediný významně korelující parametr se stupněm dyšnosti při zohlednění pozice v hlasovém poli se ukázal sklon spektra v pásmu 0,4–4 kHz, který kladně koreloval v celé oblasti modální středně hlasité až hlasité fonace (zodpovídá překrytí šedé oblasti E a šedému obrysu hlasového pole při volání).

Z uvedených výsledků taky vyplývá **významné doporučení pro klinickou praxi**. Nejvyšší dosažená poloha hlasu při gradaci volání se ukazuje jako identifikátor nejvyšší polohy modálního/M1 vibračního rejstříků. Pro klinická vyšetření je to významný orientační bod, na který by se měl zaměřit vyšetřující. Každé vyšetření hlasového pole by mělo být speciálně doplněno o cílené vyšetření falzetového rejstříku, resp. přechodu mezi modálním a falzetovým vibračním mechanismem. Z praktického hlediska při klinickém vyšetření by tónové oblasti v okolí a nad tímto bodem měly obsahovat záznam vzestupné řady tónů s předpokládaným přechodem z M1 do M2 a následně opačně přechod z vyšší polohy v M2 do hlubší oblasti v M1. Vyšetřující by se speciálně mohl soustředit na popis typu a schopnosti přechodu, jako by měl i informaci o překrývající se tónové oblasti těchto mechanismů – amfotérních tónech.

## 10.2 Efekt pěveckého tréninku

Poslechové hodnocení habituálního hlasu a zpěvu lidových písní pěvecky trénovaných a netrénovaných studentek ukázalo, že:

- Nejlépe konzistentní byla hodnocení rezonance habituálního hlasu a zpěvu písně v d' dur a celkové hodnocení habituálního hlasu.
- Pěvecký trénink se projevil na subjektivním hodnocení mluvního i zpěvního hlasu v míře vnímané rezonance.
- Hodnocení techniky tvorby hlasu bylo rozdílné mezi skupinami jenom u zpěvu písní.
- Tmavost hlasu se odlišovala mezi zpěvačkami a nezpěvačkami pouze ve vyšší tónině při zpěvu písně. Studie však dokumentuje, že obecnou tmavost hlasu je vhodné rozdělovat na technicky vhodnou a nevhodnou.

Na základě mnohonásobné lineární regrese bylo hodnocení rezonance i tmavosti hlasu predikovatelné v prostoru faktorů faktorové analýzy měřených akustických parametrů podobným způsobem jak v mluvním hlase, tak i při zpěvu lidové písně v obou hodnocených tóninách.

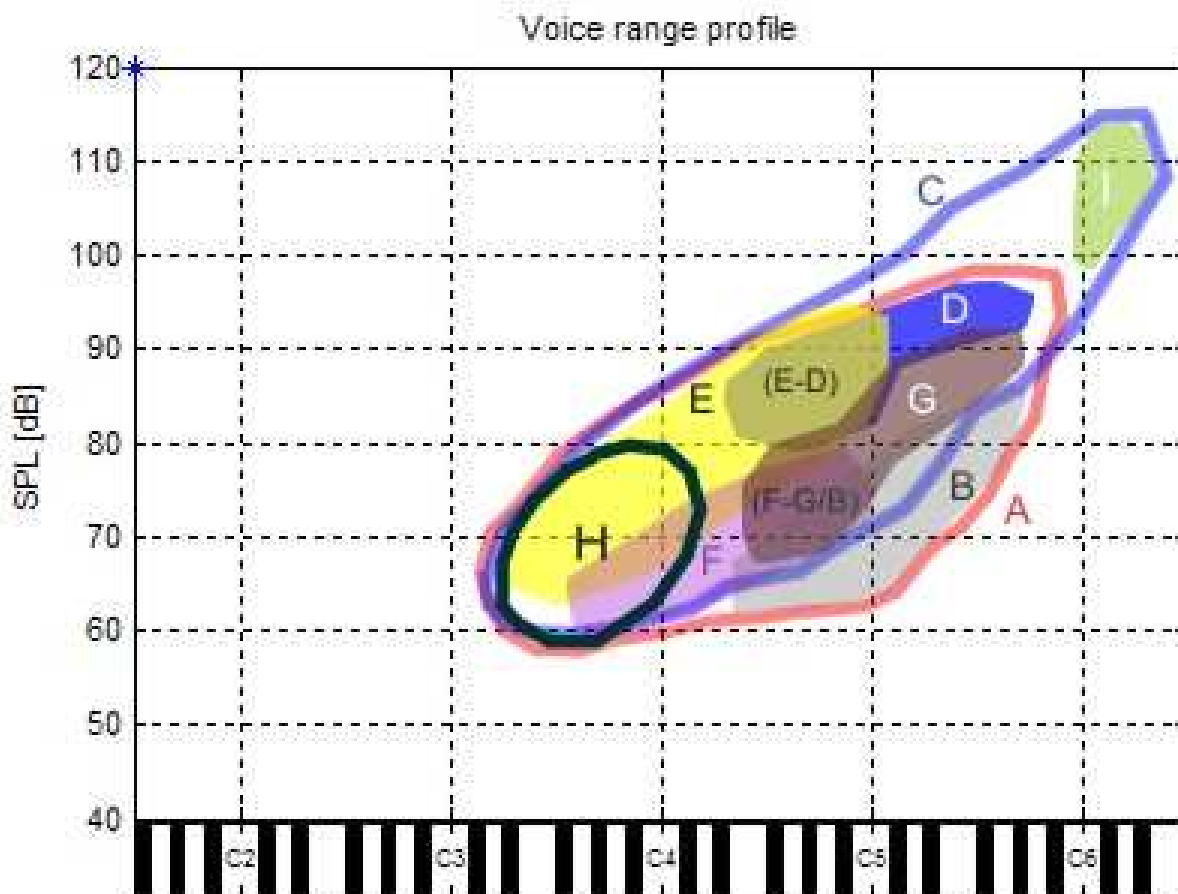
Zvýšení rezonance hlasu a tmavost se projevovaly celkovým zesílením hlasu, které bylo podmíněno zesílením první harmonické složky a spektrální oblasti pěveckého formantu. Potlačení turbulentních složek v hlase bylo také typické pro rezonovaný a tmavý hlas a souviselo se zlepšením kvality hlasu. U habituálního hlasu rezonance významně korelovala i se snížením kontaktního koeficientu hlasivek, což je projev menší addukce hlasivek.

Porovnání vlastností hlasového pole odhalilo zásadní rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami (schematické zobrazení výsledku viz Obrázek 10-2):

- A) V oblasti spodní obrysové SPL křivky (křivka A) dosahovaly netrénované studentky nižší intenzitu hlasu. Dosáhly toho **nedovřením hlasivek a dyšnou tvorbou hlasu**.
- B) Šedá oblast B je charakteristická **odlišným nastavením hrtanu** s nulovými hodnotami CQEGG a zvýšením perturbačních složek – tedy zhoršením kvality hlasu.
- C) Na horní obrysové SPL křivce v oblasti vyšší poloviny tónového rozsahu (část C modré SPL kontury nad tónem c´) dosahovaly trénované zpěvačky vyšších hodnot SPL.
- D) Předpokládaný zásadní jev podílející se v uvedené oblasti na zvýšení intenzity hlasu je **zesílení první harmonické složky** (viz modrá oblast D), ale **také hladiny pěveckého**

**formantu.** Uvedené parametry vyšly v této studii jako zásadní projevy rezonance zpěvního i mluvního hlasu.

- E) V oblasti maximální hlasitosti v hlubších dvou třetin tónového rozsahu (žlutá oblast E) měly trénované **zpěvačky vyšších hodnoty SPR, zesílení 4., resp. pěveckého formantu.**
- F) V hlubší polovině tiché dynamiky (fialová oblast F) **zpěvačky výrazněji zesilovaly druhý formant.**
- G) Ve vyšší polovině tónového rozsahu v oblasti tiché dynamiky u zpěvaček a střední dynamiky u nezpěvaček měly **nezpěvačky výraznější perturbační parametry** hlasu, ale i **zvýšené hladiny pěveckého formantu** – interpretováno jako více tlačný hlas.



**Obrázek 10-2** Schematické porovnání hlasových polí zpěvačky trénovaných (modrá křivka) a netrénovaných (červená křivka) žen se znázorněním oblastí se zásadními rozdíly. H a černá křivka – oblast habituálního hlasu, ostatní viz text v této kapitole.

H) Hlasová pole habituálního hlasu (oblast H) se neodlišovala mezi zpěvačkami a nezpěvačkami, zpěvačky měly významně **nižší hodnoty CQEGG a vyšší rezonanci** hlasu.

I) V nejvyšší oblasti nad c''' (C6) se pravděpodobně nachází **flažoletový hlasový rejstřík** (zelená oblast I), který ale v této studii nebyl dostatečně doložen.

Prolínající se oblasti naměřených rozdílů dobře souhlasí s přechodovými oblastmi přechodů rejstříků popisované v hlasové pedagogice.

V přechodové oblasti (E-D) nastává hlavně u zpěvu **klasických zpěvaček** výrazný nárůst dominance hladiny první harmonické složky v porovnání s nezpěvačkami. Proto je možno předpokládat změnu percepčního rejstříku na základě **rezonančního přechodu**. Dle pedagogiky je tento typ přechodu popisován jako přechod do oblasti **hlavového** (upper)

rejstříku. Dle rozboru uvedeného v této práci je to přechod do vyššího **percepčního rejstříku**.

Přechod (F-G/B) je spíše typický pro **netrénovaný hlas**, kde výrazně **klesá koeficient uzavření hlasivek**. Tím pádem je pozorován přechod do **jiného vibračního mechanismu**, resp. do **dyšné tvorby hlasu (oblast B)**, způsobené nedovřením hlasivek.

Pokud je tento typický přechod pro **nezpěvačky** charakterizován **výraznějšími perturbačními složkami**, a zároveň **posílením oblasti pěveckého formantu**, jedná se o přechod do **tlačeného (nerezonovaného) hlasu (oblast G)**.

Uvedené přechody popisují oblasti se změnou kvalitativních, ale i rezonančních vlastností hlasu a odpovídají přechodům mezi hlasovými percepčními (E-D) nebo vibračními rejstříky (F-B). Přechod F-G není na základě zjištěných údajů jednoznačně interpretovatelný jako změna vibračního nebo percepčních mechanismů. Pravděpodobně jde o kombinaci obou typů v závislosti na schopnostech subjektu.

## 11 Závěrečná část

### 11.1 Výsledky a přínosy disertační práce

Tato práce v úvodních kapitolách shrnuje současné poznání mnoha oborů týkajících se problematiky lidského hlasu. Účelem sumarizace je jak propojení různých přístupů v jedné práci, tak jejich využití ve vlastních experimentech.

Přehled je zaměřen na poznatky o subjektivním hodnocení vlastností hlasu, dále o objektivně měřených parametrech popisujících vlastnosti hlasu. Přehled zahrnuje též již nalezené souvislosti v experimentálních studiích mezi uváděnými parametry a zkoumanými vlastnostmi hlasu.

Kapitola 4 shrnuje postupy uvedené v odborných publikacích pro subjektivní popis vlastností hlasu. Pro hodnocení patologického hlasu je prezentován původní protokol „Hodnocení patologického hlasu“. Tento protokol se stal součástí výuky na certifikovaném kurzu s udělenou akreditací MZ ČR pro klinické logopedy „Praktický kurz hlasové rehabilitace a reedukace v Opočně“.

Na základě uvedeného přehledu měřených parametrů hlasu byl autorem této práce naprogramován původní software RealVoiceLab, který tvoří základ Systému vzdáleného přístupu k analýze hlasu. Uvedený software je využíván v klinické foniatrické praxi i ve výzkumu hlasu pedagogických a terapeutických směrů.

Kapitola 6 shrnuje experimentální poznatky o hlasových rejstřících a rezonanci hlasu. Uvedený přehled podporuje nejnovější pohled na problematiku hlasových rejstříků. Ozřejmuje zásadní problém v nejednotnosti definice rejstříků. Práce podporuje zásadní odlišení vibračních mechanismů hlasivek a podrobnější dělení těchto mechanismů na percepční regiony. Ty souvisí s rezonancí hlasu a jsou popisované zejména hlasovou pedagogikou.

Experimentální část je soustředěna na projevy a objektivizaci vlastností hlasu ve dvou odlišných problematikách: patologie hlasu u mužů a efekt pěveckého tréninku u žen.

V práci byly vyvinuté dvě nové metody zpracování výsledků akustických dat. První umožňuje porovnávat výškové a SPL kontury hlasového pole a hledat jejich vztah s hodnocenými vlastnostmi hlasu. Pro ostatní měřené parametry je dále tato metoda doplněna o možnost vyhodnocování dat v závislosti na pozici v hlasovém poli. Významné nové výsledky získané touto metodou jsou spojeny s její možností normalizovat hlasové pole vzhledem k základní poloze habituálního hlasu.

Práce ukazuje vhodnost použití akustické analýzy hlasu jak při diagnostice poruch hlasu, tak i při hodnocení efektu pěveckého tréninku. Statistickými metodami poukázala zejména ovlivnění kontur hlasového pole. Na rozdíl od dosud publikovaných prací, které používaly jenom globální parametry hlasového pole (tónový, dynamický rozsah a plochu hlasového), předkládaná práce podrobně charakterizuje vliv patologie a efektu pěveckého tréninku pomocí specifických změn konkrétních částí obrysů hlasového pole. Normalizace hlasových polí vzhledem k základní poloze habituálního hlasu zjištěné charakteristické změny hlasového pole ještě více upřesňuje.

Studie jednoznačně dokumentuje, že při poruše hlasu u mužů se snižuje zejména horní SPL kontura v celé oblasti první oktávy nad základní polohou hlasu, tedy v oblasti modálního mechanismu kmitání hlasivek. Projevem klasického pěveckého tréninku u žen je naopak zvýšení horní SPL kontury ve druhé oktávě nad polohou habituálního hlasu, tedy v oblasti ženského hlavového percepčního rejstříku.



Uvedené charakteristické črty souvisí se změnami vibračních mechanismů, resp. percepčních rejstříků. Při poruše hlasu a u netrénovaných osob se projevuje přechod do vyšších poloh zvýšením perturbací a tlaku na hlas. Se zhoršujícím se organickým poškozením hlasu se zvýrazňuje výškové a intenzivní oddělení modálního a falzetového mechanismu kmitání hlasivek. To se projevuje zmenšováním překrývajících se oblastí těchto mechanismů. S narůstajícími problémy hlasu se u pacientů úplně ztrácí schopnost tvořit hlas ve falzetovém mechanismu.

Netrénovaným ženám se při přechodu mezi hlasovými rejstříky výrazně zhoršovala kvalita hlasu. Tento přechod byl experimentem interpretován spíše jako změna vibračního mechanismu nežli percepčního rejstříku. V hlasovém poli se tento přechod projevil následnou neschopností hlas dále zesilovat. Snížení nejtišší dynamiky bylo vysvětleno dyšnou tvorbou hlasu.

Naopak, přechod do vyššího rejstříku u pěvecky trénovaných žen je charakterizován nástupem výraznější rezonance hlasu, tedy i percepční změnou barvy hlasu. Hlasové pole prokázalo, že zpěvačky byly schopny hlas v těchto polohách i nadále zesilovat, což bylo způsobeno zejména posílením spektrálních částí oblastí první harmonické složky a pěveckého formantu – typickými projevy rezonovaného zvonivého (ringing) hlasu.

Normalizace hlasových polí i rozložení měřených parametrů vzhledem k základní hlasové poloze habituálního hlasu přináší statisticky významnější výsledky. Studie dokumentuje, že tato poloha dobře reprezentuje obecné vztahy zjistitelné porovnáním a korelací průměrných hodnot měřených parametrů. Zároveň se normalizace vzhledem k této poloze hlasu ukazuje jako výhodná pro popis a interpretaci specifických změn hlasu v souvislosti s jeho poruchou i tréninkem.

Jako důležitý výstup práce autor považuje vytvoření databáze nahrávek využitelných jako zácvikové testy. Vznikly primární standardy pro hodnocení základních patologických vlastností hlasu u mužů, a taky nahrávky pro porovnání vlastností hlasu žen v závislosti na pěveckém tréninku. Poslechové testy i ukázky z této práce budou pro širokou veřejnost zpřístupněny v rámci řešení projektu Fondu rozvoje CESNET 465R1/2012 „Interaktivní výzkumné a vzdělávací psychoakustické analýzy se zaměřením na hlas“. Bližší informace o obou projektech viz <http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/hlas.php>.

## 11.2 Náměty pro další výzkum

Předkládaná studie dokumentuje obecný projev patologie hlasu se zaměřením na vlastnosti dyšnosti a astenie, resp. chraplavosti a spasticity na parametry hlasového pole a jeho obrysové křivky. Zavedené nové metody porovnávání a korelací měřených parametrů ukázaly praktické využití ve výzkumu hlasu.

V oblasti patologie hlasu má význam dále se věnovat specifikaci projevů jednotlivých typů poruch hlasu (diagnóz) a další podrobnější charakterizaci vzhledem k míře postižení.

Studie ukázala jako jeden ze zásadních projevů organického poškození hlasu narušení až totální ztrátu schopnosti tvořit falzetový rejstřík. Dle uvedeného je vhodné začít sledovat jednotlivé typy organických poruch s popisem stupně jejich závažnosti a změn percepčních kvalitativních vlastností hlasu z pohledu foniatrické klinické praxe a hledat jejich specifické projevy na hlasovém poli a jiných akustických měřeních.

Hodnocení vibračních mechanismů je relativně robustně možné za pomoci elektroglotografie, proto tato studie dává výrazné podklady pro využití této metody pro klasifikaci poruch hlasu, podobně jak bylo dokumentováno u efektu hlasového tréninku..

Pro objektivizaci vlastností patologických hlasů v souvislosti s konkrétní diagnózou je nutno připravit (randomizované kontrolní studie), kde budou sledovány vztahy mezi různými skupinami pacientů nebo v závislosti na druhu terapie.

Již předem zpracovaná data v předkládané studii při sledování efektu pěveckého tréninku umožňují zacílit psychoakustické experimenty na kritické části hlasového pole, které vlastně souvisejí s přechodem vibračních mechanismů a hlasových percepčních rejstříků. Navazující studie by se měla soustředit na percepční hodnocení vlastností hlasu zejména odborníky v této oblasti (profesionálními pedagogy zpěvu), aby umožnila podrobněji interpretovat předkládané výsledky z pohledů pedagogů. Takto interpretované výsledky by byly lépe aplikovatelné v hlasové pedagogice.

V oblasti hlasu hlasových profesionálů je také vhodné sledovat skupiny s větším počtem subjektů a s různým typem hlasové výchovy (například zpěváky klasických a neklasických technik, nebo jednotlivé hlasové kategorie). Předkládané metody pak umožní sledovat vývoj hlasu v závislosti na konkrétním způsobu edukačního procesu, nebo porovnávat specifické skupiny mezi sebou.

Předkládaná studie dokumentuje relativně neprobádanou oblast popisu vlastností profesionálního hlasu. Pro navržení hodnověrných postupů a případnou objektivizaci specifických vlastností hlasu je nutno začít s cíleným psychoakustickým výzkumem v této oblasti.

Pro uvedené výzkumné cíle byly v této studii prezentované možné metodické postupy, které jsou k dispozici odborné veřejnosti a při jejichž řešení byl vytvořený Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu. V současné době je také autorem studie řešen projekt umožnění poslechových testů odborné veřejnosti. Tímto způsobem vzniká ucelený systém pro psychoakustický výzkum v oblasti vokologie.

## Práce disertanta

1. FRIČ M., KADLECOVÁ K. A. (2012). Porovnání vlastností a parametrů hlasu pěvecky trénovaných a netrénovaných žen. *Akustické listy*, Vol. 18, No. 2-3, pp. 5-24.
2. FRIČ M. (2011). Efekt zvyšování hlasitosti na spektrální charakteristiky hlasu u různých typů použití hlasu a u různých skupin hlasových profesí. *Akustické listy*, Vol. 17, No. 1-2, pp. 19-25.
3. FRIČ M., OTČENÁŠEK Z., KADLECOVÁ K. (2011). Poslechové hodnocení vlastností zpěvu - předběžná studie. In: *Proceedings of the 6nd International Symposium Materiál - Acoustics - Place 2011*. Zvolen: Technical University in Zvolen. p. 83-93. ISBN: 978-80-228-2258-9.
4. FRIČ M., OTČENÁŠEK Z. (2010). Přehled metodických postupů subjektivního popisu vlastností hlasových projevů v oblasti poruch, patologie a terapie hlasu. *Otorinolaryng a Foniat*, Vol. 59, No. 4, pp. 214-24.
5. FRIČ M. (2010). Metody subjektivního (percepčního) popisu vlastností hlasu a popisované parametry. *Disk*, Vol. 33, pp. 107-20.
6. FRIČ M., DRŠATA J. (2010). *Akustické metody vyšetření hlasu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie - hlas. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; p. 74-82.
7. FRIČ M., DRŠATA M., ŠVEC J., ČERNÝ L. (2010a). *Ostatní metody vyšetření hlasu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie-hlas. 1 edn. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; p. 84-94.
8. FRIČ M., KUČERA M., VYDROVÁ J., ŠVEC J. (2010b). *Fyziologie a funkce hrtanu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie-hlas. 1 edn. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; p. 42-50.
9. FRIČ M., OTČENÁŠEK Z., SYROVÝ V. (2010c). Akustika hlasu. In: *Sborník abstraktů a příspěvků 2.symposia Umělecký hlas*. Praha: Zvukové studio HAMU a Hlasové centrum Praha, p. 53-65. ISBN: 978-80-7331-170-4.
10. FRIČ M. (2008b). Trajectory of aloud voice in the Voice range profile, differences between supported and habitual voice in shouting. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 2008 - Dresden*. Dresden: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA). p. 579-80. ISBN: 978-3-9808659-4-4.
11. FRIČ M. (2008a). Porovnání hlasových parametrů hlasových polí u hlasových profesionálů a začínajících studentů herectví. In: *Proceedings of the 4th International Symposium Materiál -Acoustics - Place 2008*. Zvolen: Technical University in Zvolen. p. 47-52. ISBN: 978-80-228-1911-4.
12. FRIČ M., KADLECOVÁ K., SZYMIKOVÁ R. (2007). Záznam mluvního a zpěvního hlasu pro psychoakustické analýzy. Praha: MARC-Technologický list čís. 13, Zvukové studio HAMU.
13. FRIČ M., ŠRAM F., ŠVEC J.G. (2006a). Diplofónia – komplexné kmitanie hlasivek prezentované vo videokymografii a vysokofrekvenčnej laryngoskopii. In: *Proceedings of the 2nd International Symposium Materiál -Acoustics - Place 2006*. Zvolen: Technical University in Zvolen, p. 65-8. ISBN: 80-228-1653-1.
14. FRIČ M., ŠRAM F., ŠVEC J.G. (2006b). Voice registers, vocal folds vibration patterns and their presentation in videokymography. In: *Proceedings of the 33rd International Acoustical Conference - EAA Symposium, Acoustics High Tatras 2006*. Slovakia: Slovak Acoustical Society, p. 42-5. ISBN: 80-228-1673-6.

15. FRIČ M., KULHÁNEK T., HRB J. (2012). Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu RealVoiceLab. Praha: MARC-Technologický list čís. 46, Výzkumné centrum hudební akustiky HAMU.
16. KADLECOVÁ K.A., FRIČ M. (2012). Porovnání hlasových přechodů mezi klasicky a neklasicky školenými zpěvačkami a nezpěvačkami. In: *Nové trendy akustického spektra*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. p. 113-25. ISBN: 978-80-228-2371-5.
17. KUČERA M., FRIČ M., HALÍŘ M. (2010). *Praktický kurz hlasové rehabilitace a reedukace*. Opočno: ORL ambulance - centrum hlasových poruch v Rychnově nad Kněžnou. ISBN 978-80-254-6592-9
18. KULANOVÁ, A., FRIČ, M. (2012). Komparácia náčuvových a počítačových akustických hodnotení speváckych vlastností hlasu. *DISPUTATIONES SCIENTIFICAE UNIVERSITATIS CATHOLICAE IN RUŽOMBEROK*, Vol. 12, No. 2, pp. 79-98.
19. KULHÁNEK, T.; FRIČ, M., ŠÁREK, M. (2010) Remote Analysis of Human Voice - Lossless Sound Recording Redirection. In *Analysis of biomedical signals and images. Proceedings of 20th International EURASIP Conference (BIOSIGNAL)*, Brno: Department of Biomedical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Brno University of Technology, p. 394-397.
20. LEJSKA M., HAVLÍK R., FRIČ M., PRIECHODSKÁ-ŠIROKÁ A. (2012). Porovnání pěveckých technik sólového a sborového zpěvu. *Otorinolaryng a Foniatic*, Vol. 61, No. 1, pp. 44-52.

## Použitá literatura

1. AIRAINER R., KLINGHOLZ F. (1993). Quantitative evaluation of phonetograms in the case of functional dysphonia, *J Voice*, Vol. 7, No. 2, pp. 136-41.
2. AIRAS M. (2008). TKK Aparat: an environment for voice inverse filtering and parameterization, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 33, No. 1, pp. 49-64.
3. AKERLUND L., GRAMMING P. (1994). Average loudness level, mean fundamental frequency, and subglottal pressure: comparison between female singers and nonsingers, *J Voice*, Vol. 8, No. 3, pp. 263-70.
4. AKERLUND L., GRAMMING P., SUNDBERG J. (1992). Phonetogram and averages of sound pressure levels and fundamental frequencies of speech: Comparison between female singers and nonsingers, *J Voice*, Vol. 6, No. 1, pp. 55-63.
5. ANDRADE P. A. (2012). Analysis of male singers laryngeal vertical displacement during the first passaggio and its implications on the vocal folds vibratory pattern, *J Voice*, Vol. 26, No. 5, pp. 665-24.
6. ARONSSON C., BOHMAN M., TERNSTRÖM S., SÖDERSTEN M. (2007). Loud voice during environmental noise exposure in patients with vocal nodules, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 32, No. 2, pp. 60-70.
7. ASHA 3RD DIVISION. [online] Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V).[vid. 15.7.2009]. Dostupné z: <http://www.asha.org/NR/rdonlyres/C6E5F616-972F-445A-AA40-7936BB49FCE3/0/D3CAPEVprocedures.pdf>
8. ASSMANN P. F., NEAREY T. M. (2008). Identification of frequency-shifted vowels, *J Acoust Soc Am*, Vol. 124, No. 5, pp. 3203-12.
9. AUSTIN S. F., TITZE I. R. (1997). The effect of subglottal resonance upon vocal fold vibration, *J Voice*, Vol. 11, No. 4, pp. 391-402.
10. AVILA M. E., OLIVEIRA G., BEHLAU M. (2010). Classical singing handicap index (CSHI) in erudite singers, *Pro Fono*, Vol. 22, No. 3, pp. 221-6.
11. AWAN S. N. (1991). Phonetographic Profiles and Fo-SPL Characteristics Untrained Versus Trained Vocal Groups, *J Voice*, Vol. 5, No. 1, pp. 41-50.
12. AWAN S. N. (1993). Superimposition of speaking voice characteristics and phonetograms in untrained and trained vocal groups, *J Voice*, Vol. 7, No. 1, pp. 30-7.
13. BARLOW C., LOVETRI J. (2010). Closed quotient and spectral measures of female adolescent singers in different singing styles, *J Voice*, Vol. 24, No. 3, pp. 314-8.
14. BELE I. V. (2005). Reliability in perceptual analysis of voice quality, *J Voice*, Vol. 19, No. 4, pp. 555-73.
15. BELE I. V. (2006). The speaker's formant, *J Voice*, Vol. 20, No. 4, pp. 555-78.
16. BELE I. V. (2007). Dimensionality in voice quality, *J Voice*, Vol. 21, No. 3, pp. 257-72.
17. BERGAN C. C., TITZE I. R. (2001). Perception of pitch and roughness in vocal signals with subharmonics, *J Voice*, Vol. 15, No. 2, pp. 165-75.
18. BERGAN C. C., TITZE I. R., STORY B. (2004). The perception of two vocal qualities in a synthesized vocal utterance: ring and pressed voice, *J Voice*, Vol. 18, No. 3, pp. 305-17.
19. BESTEBREURTJE M. E., SCHUTTE H. K. (2000). Resonance strategies for the belting style: results of a single female subject study. *J Voice*, Vol. 14, No. 2, pp. 194-204.
20. BHUTA T., PATRICK L., GARNETT J. D. (2004). Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurements, *J Voice*, Vol. 18, No. 3, pp. 299-304.
21. BIHARI A., MESZAROS K., REMENYI A., LICHTENBERGER G. (2006). Voice quality improvement after management of unilateral vocal cord paralysis with different techniques, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, Vol. 263, No. 12, pp. 1115-20.
22. BJÖRKNER E. (2008). Musical theater and opera singing--why so different? A study of subglottal pressure, voice source, and formant frequency characteristics, *J Voice*, Vol. 22, No. 5, pp. 533-40.
23. BJÖRKNER E., SUNDBERG J., CLEVELAND T., STONE E. (2006). Voice source differences between registers in female musical theater singers, *J Voice*, Vol. 20, No. 2, pp. 187-97.
24. BLOMGREN M., CHEN Y., NG M. L., GILBERT H. R. (1998). Acoustic, aerodynamic, physiologic, and perceptual properties of modal and vocal fry registers, *J Acoust Soc Am*, Vol. 103, No. 5 Pt 1, pp. 2649-58.

25. BLOOTHOOFT G., PLOMP R. (1986a). Spectral analysis of sung vowels. III. Characteristics of singers and modes of singing, *J Acoust Soc Am*, Vol. 79, No. 3, pp. 852-64.
26. BLOOTHOOFT G., PLOMP R. (1986b). The sound level of the singer's formant in professional singing, *J Acoust Soc Am*, Vol. 79, No. 6, pp. 2028-33.
27. BLOOTHOOFT G., PLOMP R. (1988). The timbre of sung vowels, *J Acoust Soc Am*, Vol. 84, No. 3, pp. 847-60.
28. BOERSMA P., KOVACIC G. (2006). Spectral characteristics of three styles of Croatian folk singing, *J Acoust Soc Am*, Vol. 119, No. 3, pp. 1805-16.
29. BÖHME G., STUHLIK G. (1995). Voice profiles and standard voice profile of untrained children, *J Voice*, Vol. 9, No. 3, pp. 304-7.
30. BOURNE T., GARNIER M. (2012). Physiological and acoustic characteristics of the female Music Theater voice, *J Acoust Soc Am*, Vol. 131, No. 2, pp. 1586-94.
31. BROCKMANN M., DRINNAN M. J., STORCK C., CARDING P. N. (2011). Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task, *J Voice*, Vol. 25, No. 1, pp. 44-53.
32. BROCKMANN M., STORCK C., CARDING P. N., DRINNAN M. J. (2008). Voice loudness and gender effects on jitter and shimmer in healthy adults, *J Speech Lang Hear Res*, Vol. 51, No. 5, pp. 1152-60.
33. BUREŠ Z. (2007). *Modelování lidské sluchové dráhy a vnímání zvuku*. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická - katedra radioelektroniky.
34. CARLSSON G., SUNDBERG J. (1-1-1992). Formant frequency tuning in singing, *J Voice*, Vol. 6, No. 3, pp. 256-60..
35. CAVALLI L., HIRSON A. (1999). Diplophonia reappraised, *J Voice*, Vol. 13, No. 4, pp. 542-56.
36. CLEVELAND T. F. (1977). Acoustic properties of voice timbre types and their influence on voice classification, *J Acoust Soc Am*, Vol. 61, No. 6, pp. 1622-9.
37. COLLYER S., DAVIS P. J., THORPE C. W., CALLAGHAN J. (2009). Fundamental frequency influences the relationship between sound pressure level and spectral balance in female classically trained singers, *J Acoust Soc Am*, Vol. 126, No. 1, pp. 396-406.
38. COOK P.R. (1999). *Music, cognition, and computerized sound an introduction to psychoacoustics*. Cambridge, Mass: MIT Press. ISBN 0-262-03256-2
39. D'HAESELEER E., DEPYPERE H., CLAEYS S., WUYTS F. L., BAUDONCK N., VAN LIERDE K. M. (2011). Vocal characteristics of middle-aged premenopausal women, *J Voice*, Vol. 25, No. 3, pp. 360-6.
40. DE BODT M. S., CLEMENT G., WUYTS F. L., BORGHS C., VAN LIERDE K. M. (2012). The impact of phonation mode and vocal technique on vocal fold closure in young females with normal voice quality, *J Voice*, Vol. 26, No. 6, pp. 818-4.
41. DEJONCKERE P. H., BRADLEY P., CLEMENTE P., CORNUT G., CREVIER-BUCHMAN L., FRIEDRICH G., et al. (2001). A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatrics of the European Laryngological Society (ELS), *Eur Arch Otorhinolaryngol*, Vol. 258, No. 2, pp. 77-82.
42. DEJONCKERE P. H., REMACLE M., FRESNEL-ELBAZ E., WOISARD V., CREVIER-BUCHMAN L., MILLET B. (1996). Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and correlations with acoustic measurements, *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord )*, Vol. 117, No. 3, pp. 219-24.
43. DOVAL B., D'ALESSANDRO C., HENRICH N. (2006). The Spectrum of Glottal Flow Models, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 92, No. 6, pp. 1026-46.
44. ECKLEY C. A., SATALOFF R. T., HAWKSHAW M., SPIEGEL J. R., MANDEL S. (1998). Voice range in superior laryngeal nerve paresis and paralysis, *J Voice*, Vol. 12, No. 3, pp. 340-8.
45. ECHTERNACH M., DIPPOLD S., SUNDBERG J., ARNDT S., ZANDER M. F., RICHTER B. (2010a). High-speed imaging and electroglottography measurements of the open quotient in untrained male voices' register transitions, *J Voice*, Vol. 24, No. 6, pp. 644-50.
46. ECHTERNACH M., DOLLINGER M., SUNDBERG J., TRASER L., RICHTER B. (2013). Vocal fold vibrations at high soprano fundamental frequencies, *J Acoust Soc Am*, Vol. 133, No. 2, pp. EL82-EL87.
47. ECHTERNACH M., RICHTER B. (2012). Passaggio in the professional tenor voice--evaluation of perturbation measures, *J Voice*, Vol. 26, No. 4, pp. 440-6.

48. ECHTERNACH M., SUNDBERG J., ARNDT S., BREYER T., MARKL M., SCHUMACHER M., et al. (2008). Vocal tract and register changes analysed by real-time MRI in male professional singers-a pilot study, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 33, No. 2, pp. 67-73.
49. ECHTERNACH M., SUNDBERG J., ARNDT S., MARKL M., SCHUMACHER M., RICHTER B. (2010b). Vocal tract in female registers--a dynamic real-time MRI study, *J Voice*, Vol. 24, No. 2, pp. 133-9.
50. ECHTERNACH M., SUNDBERG J., ZANDER M. F., RICHTER B. (2011a). Perturbation measurements in untrained male voices' transitions from modal to falsetto register, *J Voice*, Vol. 25, No. 6, pp. 663-9.
51. ECHTERNACH M., TRASER L., MARKL M., RICHTER B. (2011b). Vocal tract configurations in male alto register functions, *J Voice*, Vol. 25, No. 6, pp. 670-7.
52. EKHOLM E., PAPAGIANNIS G. C., CHAGNON F. P. (1998). Relating objective measurements to expert evaluation of voice quality in Western classical singing: critical perceptual parameters, *J Voice*, Vol. 12, No. 2, pp. 182-96.
53. EMERICH K. A., TITZE I. R., SVEC J. G., POPOLO P. S., LOGAN G. (2005). Vocal range and intensity in actors: a studio versus stage comparison. *J Voice*, Vol. 19, No. 1, pp. 78-83.
54. EPPS J., SMITH J. R., WOLFE J. (1997). A novel instrument to measure acoustic resonances of the vocal tract during phonation, *Meas Sci Technol*, Vol. 8, No. 10, pp. 1112-21.
55. ERICKSON M. L. (2003). Dissimilarity and the classification of female singing voices: a preliminary study, *J Voice*, Vol. 17, No. 2, pp. 195-206.
56. ERICKSON M. L. (2008). Dissimilarity and the classification of male singing voices, *J Voice*, Vol. 22, No. 3, pp. 290-9.
57. ERICKSON M. L. (2009). Can listeners hear who is singing? Part B--experienced listeners, *J Voice*, Vol. 23, No. 5, pp. 577-86.
58. ERICKSON M. L. (2012). Can listeners hear who is singing? What is the pitch bandwidth of singer discrimination in untrained listeners?, *J Voice*, Vol. 26, No. 3, pp. 322-9.
59. ERICKSON M. L., PERRY S., HANDEL S. (2001). Discrimination functions: can they be used to classify singing voices?, *J Voice*, Vol. 15, No. 4, pp. 492-502.
60. FAHEY R. P., DIEHL R. L., TRAUNMULLER H. (1996). Perception of back vowels: effects of varying F1 - F0 Bark distance, *J Acoust Soc Am*, Vol. 99, No. 4 Pt 1, pp. 2350-7.
61. FANT G.M. (1960). *Acoustics theory of speech production*. 's-Gravenhage: Mouton and Co. ISBN 9027916004
62. FASTL H., ZWIKER E. (2007). *Psychoacoustics, facts and models*. Berlin: Springer - Verlag. ISBN 978-3-540-23159-2
63. FRÖHLICH M., MICHAELIS D., STRUBE H. W., KRUSE E. (2000). Acoustic voice analysis by means of the hoarseness diagram, *J Speech Lang Hear Res*, Vol. 43, No. 3, pp. 706-20.
64. FROKJAER-JENSEN B., PRYTZ S. (1976). Registration of Voice Quality, *Technical review*, Vol. 3, No. 3, pp. 3-17.
65. GARNIER M., HENRICH N., CASTELLENGO M., SOTIROPOULOS D., DUBOIS D. (2008). Characterisation of Voice Quality in Western Lyrical Singing: from Teachers' Judgements to Acoustic Descriptions, *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, Vol. 1, No. 2, pp. 62-91.
66. GARNIER M., HENRICH N., CREVIER-BUCHMAN L., VINCENT C., SMITH J., WOLFE J. (2012). Glottal behavior in the high soprano range and the transition to the whistle register, *J Acoust Soc Am*, Vol. 131, No. 1, pp. 951-62.
67. GARNIER M., HENRICH N., SMITH J., WOLFE J. (2010). Vocal tract adjustments in the high soprano range, *J Acoust Soc Am*, Vol. 127, No. 6, pp. 3771-80.
68. GODINO-LLORENTE J. I., GOMEZ-VILDA P., CRUZ-ROLDAN F., BLANCO-VELASCO M., FRAILE R. (2010). Pathological likelihood index as a measurement of the degree of voice normality and perceived hoarseness, *J Voice*, Vol. 24, No. 6, pp. 667-77.
69. GRAMMING P. (1-1-1991). Vocal loudness and frequency capabilities of the voice, *J Voice*, Vol. 5, No. 2, pp. 144-57.
70. GRANQVIST S. (2003). The visual sort and rate method for perceptual evaluation in listening tests, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 28, No. 3, pp. 109.
71. GUŠTAR M. (2012). *RVL - headset – prototyp*. MARC-Technologický list čís. 47, Výzkumné centrum hudební akustiky HAMU.



72. HACKI T. (1996). Comparative speaking, shouting and singing voice range profile measurement: physiological and pathological aspects, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 21, No. 3-4, pp. 123-9.
73. HANAYAMA E. M., CAMARGO Z. A., TSUJI D. H., REBELO PINHO S. M. (2009). Metallic voice: physiological and acoustic features, *J Voice*, Vol. 23, No. 1, pp. 62-70.
74. HEMAN-ACKAH Y. D., HEUER R. J., MICHAEL D. D., OSTROWSKI R., HORMAN M., BAROODY M. M., et al. (2003). Cepstral peak prominence: a more reliable measure of dysphonia. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, Vol. 112, No. 4, pp. 324-33.
75. HEMAN-ACKAH Y. D., MICHAEL D. D., GODING G. S., Jr. (2002). The relationship between cepstral peak prominence and selected parameters of dysphonia. *J Voice*, Vol. 16, No. 1, pp. 20-7.
76. HENDL J. (2004). *Přehled statistických metod zpracování dat*. Praha: Portál. ISBN 80-7178-820-1
77. HENRICH N. (2006). Mirroring the voice from Garcia to the present day: Some insights into singing voice registers, *Logopedics Phoniatics Vocology*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-14.
78. HENRICH N., BEZARD P., GARNIER M., GUERIN Ch., PILLOT C., QUATTROCCHI S., et al. (2008). Towards a Common Terminology to Describe Voice Quality in Western Lyrical Singing: Contribution of a Multidisciplinary Research Group, *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, Vol. 2, No. 1,2, pp. 71-93.
79. HENRICH N., D'ALESSANDRO Ch., DOVAL B., CASTELLENGO M. (2005). Glottal open quotient in singing: Measurements and correlation with laryngeal mechanisms, vocal intensity, and fundamental frequency, *J Acoust Soc Am*, Vol. 117, No. 3, pp. 1417-30.
80. HENRICH N., DOVAL B. (2000). Open quotient measurements on EGG, speech and singing signals. *In: 4th International Workshop on Advances in Quantitative Laryngoscopy, Voice and Speech Research*, Jena, Apr.2000.
81. HENRICH N., DOVAL B., CASTELLENGO M. (2003a). On the use of electroglottography for characterisation of the laryngeal mechanisms. *In: Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9, 2003 (SMAC 03)*, Stockholm, Sweden. p. 455-8.
82. HENRICH N., SMITH J., WOLFE J. (2011). Vocal tract resonances in singing: Strategies used by sopranos, altos, tenors, and baritones, *J Acoust Soc Am*, Vol. 129, No. 2, pp. 1024.
83. HENRICH N., SUNDIN G., AMBROISE D., D'ALESSANDRO C., CASTELLENGO M., DOVAL B. (2003b). Just noticeable differences of open quotient and asymmetry coefficient in singing voice, *J Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 481-94.
84. HERBST C., TERNSTROM S. (2006). A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 31, No. 3, pp. 126-38.
85. HERBST C. T., HOWARD D., SCHLOMICHIER-THIER J. (2010). Using electroglottographic real-time feedback to control posterior glottal adduction during phonation, *J Voice*, Vol. 24, No. 1, pp. 72-85.
86. HERBST C. T., QIU Q., SCHUTTE H. K., ŠVEC J. G. (2011). Membranous and cartilaginous vocal fold adduction in singing, *J Acoust Soc Am*, Vol. 129, No. 4, pp. 2253-62.
87. HERBST C. T., TERNSTROM S., SVEC J. G. (2009). Investigation of four distinct glottal configurations in classical singing--a pilot study, *J Acoust Soc Am*, Vol. 125, No. 3, pp. EL104-EL109.
88. HERTEGARD S., GAUFFIN J., SUNDBERG J. (1990). Open and Covered Singing as Studied by Means of Fiberoptics, Inverse Filtering, and Spectral Analysis, *J Voice*, Vol. 4, No. 3, pp. 220-30.
89. HEYLEN L., WUYTS F. L., MERTENS F., DE B. M., VAN DE HEYNING P. H. (2002). Normative voice range profiles of male and female professional voice users, *J Voice*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-7.
90. HILLENBRAND J., CLEVELAND R. A., ERICKSON R. L. (1994). Acoustic correlates of breathy vocal quality. *J Speech Hear Res*, Vol. 37, No. 4, pp. 769-78.
91. HIRANO M. *Psychoacoustic evaluation of voice: GRBAS scale for evaluating the hoarse voice*. Clinical Examination of Voice. Vienna: Vienna Springer; 1981. p. 81-4.
92. HIRANO M. (1988). Vocal mechanisms in singing: Laryngological and phoniatic aspects, *J Voice*, Vol. 2, No. 1, pp. 51-69.
93. HIRANO M., HIBI S., SANADA T. (1989). Falsetto, head/chest, and speech mode: An acoustic study with three tenors, *J Voice*, Vol. 3, No. 2, pp. 99-103.
94. HOLLIEN H. (1972). *On Vocal Registers*. Gainesville, Florida. University of Florida, Communication Science Laboratory. Report No.: V.10, N.1.
95. HOLLIEN H., GIRARD G. T., COLEMAN R. F. (1977). Vocal fold vibratory patterns of pulse register phonation, *Folia Phoniatr (Basel)*, Vol. 29, No. 3, pp. 200-5.

96. HOLMBERG E. B., HILLMAN R. E., PERKELL J. S. (1988). Glottal airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speakers in soft, normal, and loud voice, *J Acoust Soc Am*, Vol. 84, No. 2, pp. 511-29.
97. HOLMBERG E. B., IHRE E., SODERSTEN M. (2007). Phonetograms as a tool in the voice clinic: changes across voice therapy for patients with vocal fatigue, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 32, No. 3, pp. 113-27.
98. HOWARD D. M. (1995). Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers, *J Voice*, Vol. 9, No. 2, pp. 163-72.
99. HOWARD, D. M., LINDSEY, G. A., ALLEN, B. (1990). Toward the quantification of vocal efficiency, *J Voice*, Vol. 4, No. 3, pp. 205-212.
100. HUNTER E. J., ŠVEC J. G., TITZE I. R. (2006). Comparison of the produced and perceived voice range profiles in untrained and trained classical singers, *J Voice*, Vol. 20, No. 4, pp. 513-26.
101. CHEN Y., ROBB M. P., GILBERT H. R. (2002). Electrolaryngographic evaluation of gender and vowel effects during modal and vocal fry phonation, *J Speech Lang Hear Res*, Vol. 45, No. 5, pp. 821-9.
102. CHILDERS, D. G., LEE C.K. (1995). Vocal quality factors: Analysis, synthesis, and perception, *J Acoust Soc Am*, Vol. 90, No. 5, pp. 2394-2410.
103. IKEDA Y., MASUDA T., MANAKO H., YAMASHITA H., YAMAMOTO T., KOMIYAMA S. (1999). Quantitative evaluation of the voice range profile in patients with voice disorder, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, Vol. 256 Suppl 1, pp. S51-S55.
104. ISAČENKO A. (1968). *Spektrografická analýza slovenských hlások*. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.
105. ISSHIKI, N. and TAKEUCHI, Y. (1970). Factor Analysis of Hoarseness, *Studia phonologica*, Vol. 5, pp. 37-44.
106. JOHNSON A. M., KEMPSTER G. B. (2011). Classification of the classical male singing voice using long-term average spectrum, *J Voice*, Vol. 25, No. 5, pp. 538-43.
107. JOLIVEAU E., SMITH J., WOLFE J. (2004). Vocal tract resonances in singing: the soprano voice, *J Acoust Soc Am*, Vol. 116, No. 4 Pt 1, pp. 2434-9.
108. KARNELL, M. P., MELTON, S. D., CHILDES, J. M., COLEMAN, T. C., DAILEY, S. A., HOFFMAN, H. T. (2007). Reliability of clinician-based (GRBAS and CAPE-V) and patient-based (V-RQOL and IPVI) documentation of voice disorders, *J.Voice*, Vol. 21, No. 5, pp. 576-590.
109. KAYPENTAX (2008). *Multi-Dimensional Voice Program (MDVP)*, Model 5105 [computer program]. Lincoln Park: KayPentax, A division of PENTAX Medical Company.
110. KEIDAR A., HURTIG R. R., TITZE I. R. (1-1-1987). The perceptual nature of vocal register change, *J Voice*, Vol. 1, No. 3, pp. 223-33.
111. KELCHNER L. N., BREHM S. B., WEINRICH B., MIDDENDORF J., DEALARCON A., LEVIN L., et al. (2010). Perceptual evaluation of severe pediatric voice disorders: rater reliability using the consensus auditory perceptual evaluation of voice. *J Voice*, Vol. 24, No. 4, pp. 441-9.
112. KEMPSTER G. B., GERRATT B. R., VERDOLINI A. K., BARKMEIER-KRAEMER J., HILLMAN R. E. (2009). Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: development of a standardized clinical protocol, *Am J Speech Lang Pathol*, Vol. 18, No. 2, pp. 124-32.
113. KENNY D. T., MITCHELL H. F. (2006). Acoustic and perceptual appraisal of vocal gestures in the female classical voice, *J Voice*, Vol. 20, No. 1, pp. 55-70.
114. KOCHIS-JENNINGS K. A., FINNEGAN E. M., HOFFMAN H. T., JAISWAL S. (2012). Laryngeal muscle activity and vocal fold adduction during chest, chestmix, headmix, and head registers in females, *J Voice*, Vol. 26, No. 2, pp. 182-93.
115. KOVACIC G., BUDANOVAC A. (2002). Acoustic characteristics of adolescent actors' and non-actors' voices, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 54, No. 3, pp. 125-32.
116. KRAUS J.et.al. (2005). *Nový akademický slovník cizích slov A-Ž*. Praha: ACADEMIA. ISBN 978-80-200-1351-4
117. KREIMAN J., GERRATT B. R. (2005). Perception of aperiodicity in pathological voice, *J Acoust Soc Am*, Vol. 117, No. 4 Pt 1, pp. 2201-11.
118. KREIMAN J., GERRATT B. R. (2010). Perceptual sensitivity to first harmonic amplitude in the voice source, *J Acoust Soc Am*, Vol. 128, No. 4, pp. 2085-9.

119. KREIMAN J., GERRATT B. R., BERKE G. S. (1994). The multidimensional nature of pathologic vocal quality, *J Acoust Soc Am*, Vol. 96, No. 3, pp. 1291-302.
120. KREIMAN J., GERRATT B. R., KEMPSTER G. B., ERMAN A., BERKE G. S. (1993). Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial, and a framework for future research, *J Speech Hear Res*, Vol. 36, No. 1, pp. 21-40.
121. KREIMAN J., SHUE Y. L., CHEN G., ISELI M., GERRATT B. R., NEUBAUER J., et al. (2012). Variability in the relationships among voice quality, harmonic amplitudes, open quotient, and glottal area waveform shape in sustained phonation, *J Acoust Soc Am*, Vol. 132, No. 4, pp. 2625-32.
122. LAMARCHE A., TERNSTROM S., PABON P. (2010). The singer's voice range profile: female professional opera soloists, *J Voice*, Vol. 24, No. 4, pp. 410-26.
123. LAMESCH S., DOVAL B., CASTELLENGO M. (2012). Toward a more informative voice range profile: the role of laryngeal vibratory mechanisms on vowels dynamic range, *J Voice*, Vol. 26, No. 5, pp. 672.
124. LAUKKANEN A. M., BJORKNER E., SUNDBERG J. (2006). Throaty voice quality: subglottal pressure, voice source, and formant characteristics, *J Voice*, Vol. 20, No. 1, pp. 25-37.
125. LAVER J. (1991). *The gift of speech*. Edinburgh University Press. ISBN 978-0748603138
126. LEBORGNE W. D., WEINRICH B. D. (2002). Phonetogram changes for trained singers over a nine-month period of vocal training, *J Voice*, Vol. 16, No. 1, pp. 37-43.
127. LEE S. H., KWON H. J., CHOI H. J., LEE N. H., LEE S. J., JIN S. M. (2008). The Singer's Formant and Speaker's Ring Resonance: A Long-Term Average Spectrum Analysis, *Clin Exp Otorhinolaryngol*, Vol. 1, No. 2, pp. 92-6.
128. LEINO T., LAUKKANEN A. M., ILOMAKI I., MAKI E. (2008). Assessment of vocal capacity of Finnish university students, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 60, No. 4, pp. 199-209.
129. LEINO T., LAUKKANEN A. M., RADOLF V. (2011). Formation of the actor's/speaker's formant: a study applying spectrum analysis and computer modeling, *J Voice*, Vol. 25, No. 2, pp. 150-8.
130. LEINONEN L., HILTUNEN T., LAAKSO M. L., RIHKANEN H., POPPIUS H. (1997). Categorization of voice disorders with six perceptual dimensions. *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 49, No. 1, pp. 9-20.
131. LI N. Y. K., YIU E. M. (2006). Acoustic and perceptual analysis of modal and falsetto registers in females with dysphonia, *Clinical Linguistics & Phonetics*, Vol. 20, No. 6, pp. 463-81.
132. LIENARD J. S., DI BENEDETTO M. G. (1999). Effect of vocal effort on spectral properties of vowels, *J Acoust Soc Am*, Vol. 106, No. 1, pp. 411-22.
133. LOPES L. W., BARBOSA LIMA I. L., ALVES ALMEIDA L. N., CAVALCANTE D. P., DE ALMEIDA A. A. (2012). Severity of voice disorders in children: correlations between perceptual and acoustic data, *J Voice*, Vol. 26, No. 6, pp. 819-12.
134. LOWELL S. Y., COLTON R. H., KELLEY R. T., HAHN Y. C. (2011). Spectral- and cepstral-based measures during continuous speech: capacity to distinguish dysphonia and consistency within a speaker, *J Voice*, Vol. 25, No. 5, pp. e223-e232.
135. MA E., ROBERTSON J., RADFORD C., VAGNE S., EL-HALABI R., YIU E. (2007). Reliability of speaking and maximum voice range measures in screening for dysphonia, *J Voice*, Vol. 21, No. 4, pp. 397-406.
136. MA E. P., YIU E. M. (2006). Multiparametric evaluation of dysphonic severity, *J Voice*, Vol. 20, No. 3, pp. 380-90.
137. MARASEK K. [online] *EGG and voice quality*. [vid. 2001]. Dostupné z: <http://www.ims.uni-stuttgart.de/phonetik/EGG> 1997
138. MCALLISTER A., SEDERHOLM E., SUNDBERG J., GRAMMING P. (1994). Relations between voice range profiles and physiological and perceptual voice characteristics in ten-year-old children, *J Voice*, Vol. 8, No. 3, pp. 230-9.
139. MELKA A. (2005). *Základy experimentální psychoakustiky*. Akademie múzických umění v Praze. ISBN 80-7331-043-0
140. MENDES A. P., ROTHMAN H. B., SAPIENZA C., BROWN W. S., Jr. (2003). Effects of vocal training on the acoustic parameters of the singing voice. *J Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 529-43.
141. MICHAELIS D., FROHLICH M., STRUBE H. W. (1998). Selection and combination of acoustic features for the description of pathologic voices, *J Acoust Soc Am*, Vol. 103, No. 3, pp. 1628-39.

142. MICHAELIS D., GRAMSS T., STRUBE H. W., MANFRED D., SCHROEDER R. (1997). Glottal-to-Noise Excitation Ratio-a New Measure for Describing Pathological Voices, *Acta Acustica*, Vol. 81, pp. 700-6.
143. MILLER D.G. (2000). *Registers in Singing*. Empirical and Systematic Studies in the Theory of the Singing Voice. Dizertační práce. Groningen: University of Groningen.
144. MILLER D. G., SCHUTTE H. K. (1993). Physical definition of the "flageolet register", *J Voice*, Vol. 7, No. 3, pp. 206-12.
145. MILLER D. G., SCHUTTE H. K. (2005). 'Mixing' the registers: glottal source or vocal tract?, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 57, No. 5-6, pp. 278-91.
146. MULLENNIX J. W., JOHNSON K. A., TOPCU-DURGUN M., FARNSWORTH L. M. (1995). The perceptual representation of voice gender, *J Acoust Soc Am*, Vol. 98, No. 6, pp. 3080-95.
147. MUNOZ J., MENDOZA E., FRESNEDA M. D., CARBALLO G., LOPEZ P. (2003). Acoustic and perceptual indicators of normal and pathological voice, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 55, No. 2, pp. 102-14.
148. MURPHY P. J. (2000). Spectral characterization of jitter, shimmer, and additive noise in synthetically generated voice signals, *J Acoust Soc Am*, Vol. 107, No. 2, pp. 978-88.
149. MURPHY P. J. (2006). Spectral noise estimation in the evaluation of pathological voice, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 31, No. 4, pp. 182-9.
150. MURRY T., SINGH S. (1980). Multidimensional analysis of male and female voices, *J Acoust Soc Am*, Vol. 68, No. 5, pp. 1294-300.
151. MURRY T., SINGH S., SARGENT M. (1977). Multidimensional classification of abnormal voice qualities, *J Acoust Soc Am*, Vol. 61, No. 6, pp. 1630-5.
152. NEUMANN K., SCHUNDA P., HOTH S., EULER H. A. (2005). The interplay between glottis and vocal tract during the male passaggio, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 57, No. 5-6, pp. 308-27.
153. NORDENBERG, M and SUNDBERG, J. (2004). Effect on LTAS of vocal loudness variation, *Logopedics Phoniatics Vocology*, Vol. 29, No. 4, pp. 183-191.
154. NOVÁK A. (1996). Foniatrie a pedaudiologie II: poruchy hlasu - základy fyziologie hlasu, diagnostika, léčba, reedukace a rehabilitace. Avicenum Praha. ISBN
155. OATES J. M., BAIN B., DAVIS P., CHAPMAN J., KENNY D. (2006). Development of an auditory-perceptual rating instrument for the operatic singing voice, *J Voice*, Vol. 20, No. 1, pp. 71-81.
156. OMORI K., KACKER A., CARROLL L. M., RILEY W. D., BLAUGRUND S. M. (1996). Singing power ratio: quantitative evaluation of singing voice quality, *J Voice*, Vol. 10, No. 3, pp. 228-35.
157. ORLIKOFF R. F., KAHANE J. C. (1991). Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures, *J Voice*, Vol. 5, No. 2, pp. 113-9.
158. OTČENÁŠEK Z. (2008). *O subjektivním hodnocení zvuku*. 1. ed. Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-113-1
159. PABON P., TERNSTROM S., LAMARCHE A. (2011). Fourier descriptor analysis and unification of voice range profile contours: method and applications, *J Speech Lang Hear Res*, Vol. 54, No. 3, pp. 755-76.
160. PATEL S., SHRIVASTAV R., EDDINS D. A. (2010). Perceptual distances of breathy voice quality: a comparison of psychophysical methods, *J Voice*, Vol. 24, No. 2, pp. 168-77.
161. PATEL S., SHRIVASTAV R., EDDINS D. A. (2012). Identifying a comparison for matching rough voice quality, *J Speech Lang Hear Res*, Vol. 55, No. 5, pp. 1407-22.
162. PAUL N., KUMAR S., CHATTERJEE I., MUKHERJEE B. (2011). Electrolottographic parameterization of the effects of gender, vowel and phonatory registers on vocal fold vibratory patterns: an Indian perspective, *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*, Vol. 63, No. 1, pp. 27-31.
163. PERRY T. L., OHDE R. N., ASHMEAD D. H. (2001). The acoustic bases for gender identification from children's voices, *J Acoust Soc Am*, Vol. 109, No. 6, pp. 2988-98.
164. PETER J., PABON H. (1991). Objective Acoustic Voice-Quality Parameters in the Computer Phonetogram, *J Voice*, Vol. 5, No. 3, pp. 203-16.
165. PFLEGEROVÁ E., HÝŘOVÝ L., CHROBÁKOVÁ E., KŘEHLA L., LAVIČKOVÁ M., LIĐÁKOVÁ L., et al. (2004). *Technický slovník naučný*. Praha: Encyklopedický dům. ISBN 80-86044-25-4
166. PSUTKA J., MÜLLER L., MATOUŠEK J., RADOVÁ V. (2006). *Mluvíme s počítačem česky*. Academia Praha. ISBN 80-200-1309-1

167. PTOK M., SCHWEMMLE C., IVEN C., JESSEN M., NAWKA T. (2006). [On the auditory evaluation of voice quality]. *HNO*, Vol. 54, No. 10, pp. 793-802..
168. RADISH K. B., BHAT J. S., PRASAD N. (2010). Cepstral analysis of voice in persons with vocal nodules, *J Voice*, Vol. 24, No. 6, pp. 651-3.
169. ROERS F., MURBE D., SUNDBERG J. (2009a). Predicted singers' vocal fold lengths and voice classification-a study of x-ray morphological measures, *J Voice*, Vol. 23, No. 4, pp. 408-13.
170. ROERS F., MURBE D., SUNDBERG J. (2009b). Voice classification and vocal tract of singers: a study of x-ray images and morphology, *J Acoust Soc Am*, Vol. 125, No. 1, pp. 503-12.
171. ROUBEAU B., HENRICH N., CASTELLENGO M. (2009). Laryngeal vibratory mechanisms: the notion of vocal register revisited, *J Voice*, Vol. 23, No. 4, pp. 425-38.
172. SALOMAO G. L., SUNDBERG J. (2008). Relation between perceived voice register and flow glottogram parameters in males, *J Acoust Soc Am*, Vol. 124, No. 1, pp. 546-51.
173. SCHNEIDER B., BIGENZAHN W. (2003). Influence of glottal closure configuration on vocal efficacy in young normal-speaking women, *J Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 468-80.
174. SCHNEIDER B., BIGENZAHN W. (2005). How we do it: voice therapy to improve vocal constitution and endurance in female student teachers, *Clin Otolaryngol*, Vol. 30, No. 1, pp. 66-71.
175. SCHNEIDER-STICKLER B., KNELL C., AICHSTILL B., JOCHER W. (2012). Biofeedback on voice use in call center agents in order to prevent occupational voice disorders, *J Voice*, Vol. 26, No. 1, pp. 51-62.
176. SCHUTTE H. K., SEIDNER W. (1983). Recommendation by the Union of European Phoniaticians (UEP): standardizing voice area measurement/phonetography, *Folia Phoniatr (Basel)*, Vol. 35, No. 6, pp. 286-8.
177. SHEWELL Ch. (1998). The effect of perceptual training on ability to use the Vocal Profile Analysis Scheme. *Int J Lang Commun Disord*, Vol. 33 Suppl, pp. 322-6.
178. SHEWELL Ch. (2009). *Voice Work: Art and Science in Changing Voices*. Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-470-01992-4
179. SHRIVASTAV R. (2003). The use of an auditory model in predicting perceptual ratings of breathy voice quality, *J Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 502-12.
180. SHRIVASTAV R., CAMACHO A., PATEL S., EDDINS D. A. (2011). A model for the prediction of breathiness in vowels, *J Acoust Soc Am*, Vol. 129, No. 3, pp. 1605-15.
181. SJOLANDER P., SUNDBERG J. (2004). Spectrum effects of subglottal pressure variation in professional baritone singers, *J Acoust Soc Am*, Vol. 115, No. 3, pp. 1270-3.
182. SMITH C. G., FINNEGAN E. M., KARNELL M. P. (2005). Resonant voice: spectral and nasendoscopic analysis, *J Voice*, Vol. 19, No. 4, pp. 607-22.
183. SMITH D. R., WALTERS T. C., PATTERSON R. D. (2007). Discrimination of speaker sex and size when glottal-pulse rate and vocal-tract length are controlled, *J Acoust Soc Am*, Vol. 122, No. 6, pp. 3628-39.
184. SOFRANKO J. L., PROSEK R. A. (2012). The effect of experience on classification of voice quality, *J Voice*, Vol. 26, No. 3, pp. 299-303.
185. SPEYER R., WIENEKE G. H., VAN WIJCK-WARNAAR I., DEJONCKERE P. H. (2003). Effects of voice therapy on the voice range profiles of dysphonic patients, *J Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 544-56.
186. STONE R. E., Jr., CLEVELAND T. F., SUNDBERG P. J., PROKOP J. (2003). Aerodynamic and acoustical measures of speech, operatic, and Broadway vocal styles in a professional female singer, *J Voice*, Vol. 17, No. 3, pp. 283-97.
187. SULTER A. M., SCHUTTE H. K., MILLER D. G. (1995). Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training, *J Voice*, Vol. 9, No. 4, pp. 363-77.
188. SULTER A. M., SCHUTTE H. K., MILLER D. G. (1996). Standardized laryngeal videostroboscopic rating: differences between untrained and trained male and female subjects, and effects of varying sound intensity, fundamental frequency, and age, *J Voice*, Vol. 10, No. 2, pp. 175-89.
189. SULTER A. M., WIT H. P., SCHUTTE H. K., MILLER D. G. (1994). A structured approach to voice range profile (phonetogram) analysis, *J Speech Hear Res*, Vol. 37, No. 5, pp. 1076-85.
190. SUNDBERG J. (1974). Articulatory interpretation of the "singing formant", *J Acoust Soc Am*, Vol. 55, No. 4, pp. 838-44.
191. SUNDBERG J. (1979). Chest vibration in singers, *STL-QPSR*, Vol. 20, No. 1, pp. 49-64.

192. SUNDBERG J. (1987). *The Science of Singing Voice*. Illinois: Northern Illinois University Press. ISBN 0-87580-120-X
193. SUNDBERG J. (1991). Phonatory vibrations in singers. A critical review, *STL-QPSR*, Vol. 32, No. 1, pp. 37-51.
194. SUNDBERG J. (1994). Perceptual aspects of singing, *J Voice*, Vol. 8, No. 2, pp. 106-22.
195. SUNDBERG J. (2001). Level and center frequency of the singer's formant, *J Voice*, Vol. 15, No. 2, pp. 176-86.
196. SUNDBERG J., FAHLSTEDT E., MORELL A. (2005). Effects on the glottal voice source of vocal loudness variation in untrained female and male voices, *J Acoust Soc Am*, Vol. 117, No. 2, pp. 879-85.
197. SUNDBERG, J., HÖGSET, C. (2001). Voice source differences between falsetto and modal registers in counter tenors, tenors and baritones, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 26, No. 1, pp. 26-36.
198. SUNDBERG, J., KULLBERG, A. (1999). Voice source studies of register differences in untrained female singing, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 24, No. 2, pp. 76-83.
199. SUNDBERG J., LA F. M., GILL B. P. (2013). Formant Tuning Strategies in Professional Male Opera Singers, *J Voice*, Vol. 27, No. 3, pp. 278-88.
200. SUNDBERG J., NORDENBERG M. (2006). Effects of vocal loudness variation on spectrum balance as reflected by the alpha measure of long-term-average spectra of speech, *J Acoust Soc Am*, Vol. 120, No. 1, pp. 453-7.
201. SYROVÝ V. (2008). *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-127-8
202. ŠIUPŠINSKIENE N. (2003). Quantitative analysis of professionally trained versus untrained voices, *Medicina (Kaunas)*, Vol. 39, No. 1, pp. 36-46.
203. ŠIUPŠINSKIENE N., LYCKE H. (2011). Effects of vocal training on singing and speaking voice characteristics in vocally healthy adults and children based on choral and nonchoral data. *J Voice*, Vol. 25, No. 4, pp. e177-e189.
204. ŠTĚPÁNEK J. (2004). Perception of sharpness and narrowness in violin tones: Influence of spectral components with changing pitch. In: *8.mezinárodní kolokvium "ACOUSTICS ZVOLEN 2004"* 8.- 10.september 2004, Zvolene: Technická univerzita vo Zvolene.
205. ŠTĚPÁNEK J., MORAVEC O. (2004). *Percepční prostory barvy hudebního zvuku a jejich slovní popis*. Praha. Akademie múzických umění v Praze, Hudební fakulta. Report No.: GAČR 202/02/1370.
206. ŠTĚPÁNEK J., MORAVEC O. (2005). *Barva hudebního zvuku a její slovní popis, Výsledky grantového projektu GA ČR 202/02/1370*. Praha: Hudební fakulta Akademie múzických umění v Praze. ISBN 80-7331-031-7
207. ŠTĚPÁNEK J., OTČENÁŠEK Z. (2005). Acoustical correlates of the main features of violin timbre perception. In: *Electronic proceedings of CIM05 Montréal 2005*, Québec, Canada. p. electronic proceedings, file: STEPANEK\_J\_CIM05\_01.pdf.
208. ŠVEC J.G. (1996). *Studium mechanicko-akustických vlastností zdroje lidského hlasu*. Dizertační práce. Palackého Univerzita Olomouc.
209. ŠVEC J.G. (2002). Research journey: Chest-falsetto discontinuity and videokymography. In: *First International Conference on the Physiology and Acoustics of Singing (PAS1) October 3-5, 2002*, Groningen, the Netherlands. p. 1-12.
210. ŠVEC J. G., LEJSKA M., FROSTOVÁ J., ZÁBRODSKÝ M., DRŠATA J., KRÁL P. (2009). Česká verze dotazníku Voice Handicap Index pro kvantitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem, *Otorinolaryngologie a Foniatrie*, Vol. 58, No. 3, pp. 132-9.
211. ŠVEC J. G., SCHUTTE H. K. (1996). Videokymography: high-speed line scanning of vocal fold vibration, *J Voice*, Vol. 10, No. 2, pp. 201-5.
212. ŠVEC J. G., SCHUTTE H. K., MILLER D. G. (1996). A subharmonic vibratory pattern in normal vocal folds, *J Speech Hear Res*, Vol. 39, No. 1, pp. 135-43.
213. ŠVEC J. G., SCHUTTE H. K., MILLER D. G. (1999). On pitch jumps between chest and falsetto registers in voice: data from living and excised human larynges, *J Acoust Soc Am*, Vol. 106, No. 3 Pt 1, pp. 1523-31.
214. ŠVEC J. G., SRAM F., SCHUTTE H. K. (2007). Videokymography in voice disorders: what to look for?, *Ann Otol Rhinol Laryngol*, Vol. 116, No. 3, pp. 172-80.

215. ŠVEC, J. G., SUNDBERG, J., and HERTEGÄRD, S. (2008). Three registers in an untrained female singer analyzed by videokymography, strobolaryngoscopy and sound spectrography, *J Acoust Soc Am*, Vol. 123, No. 1, pp. 347-353.
216. TAKEMOTO H., ADACHI S., KITAMURA T., MOKHTARI P., HONDA K. (2006). Acoustic roles of the laryngeal cavity in vocal tract resonance, *J Acoust Soc Am*, Vol. 120, No. 4, pp. 2228-38.
217. TANAKA S., TANABE M. (1989). Experimental study on regulation of vocal pitch, *J Voice*, Vol. 3, No. 2, pp. 93-8.
218. TERNSTROM S. (1989). Long-time average spectrum characteristics of different choirs in different rooms, *Speech, Music and Hearing Quarterly Progress and Status Report*, Vol. 30, No. 3, pp. 15-031.
219. THALEN M., SUNDBERG J. (2001). Describing different styles of singing: a comparison of a female singer's voice source in "Classical", "Pop", "Jazz" and "Blues", *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 26, No. 2, pp. 82-93.
220. THURMAN L., WELCH G., THEIMER A., KLIZKE C. [online] *Addressing vocalregister discrepancies: an alternative, science-based theory of register phenomena*. [vid. 2004]. Dostupné z: <http://www.ncvs.org/pas/2004/pres/thurman/ThurmanPaper.htm> 2004
221. TITZE I. R. (1992). Phonation threshold pressure: a missing link in glottal aerodynamics, *J Acoust Soc Am*, Vol. 91, No. 5, pp. 2926-35.
222. TITZE I.R. (1995). *Workshop on Acoustic Voice Analysis: summary statement*. Denver. National Center for Voice and Speech.
223. TITZE I.R. (2000). *Principles of Voice Production*. Denver: National Center for Voice and Speech. ISBN 0-87414-122-2
224. TITZE I. R. (2001). Acoustic interpretation of resonant voice, *J Voice*, Vol. 15, No. 4, pp. 519-28.
225. TITZE I. R. (2004). A theoretical study of F0-F1 interaction with application to resonant speaking and singing voice, *J Voice*, Vol. 18, No. 3, pp. 292-8.
226. TITZE I. R. (1-1-1988). A framework for the study of vocal registers, *J Voice*, Vol. 2, No. 3, pp. 183-94.
227. UEP. (1978). *Union of the European Phoniatrists: Recommendation for the Assessment of the Voice Disorders*. Praha. Jyväskylä .
228. UHLÍŘ J., SOVKA P., POLLAK P., HANŽL P., ČMEJLA R. (2007). *Technologie hlasových komunikací*. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-03888-8
229. ULOZA V., VEGIENE A., PRIBUISIENE R., SAFERIS V. (25-2-2013). Quantitative Evaluation of Video Laryngostroboscopy: Reliability of the Basic Parameters. *J Voice*, Vol. 27, No. 3, pp. 361-8.
230. VERDOLINI K., DRUKER D. G., PALMER P. M., SAMAWI H. (1998). Laryngeal adduction in resonant voice, *J Voice*, Vol. 12, No. 3, pp. 315-27.
231. VERDONCK-DE LEEUW I. M., MAHIEU H. F. (2004). Vocal aging and the impact on daily life: a longitudinal study, *J Voice*, Vol. 18, No. 2, pp. 193-202.
232. VOKŘÁL J. (1998). *Akustické parametry chraptivosti*. Disertační práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická.
233. VURMA A., ROSS J. (2003). The perception of 'forward' and 'backward placement' of the singing voice, *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 28, No. 1, pp. 19-28.
234. VYDROVÁ J. *Vyšetření uměleckého hlasu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . *Foniatricehlas.Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ*; 2010. p. 91-7.
235. WAPNICK J., EKHOLM E. (1997). Expert consensus in solo voice performance evaluation, *J Voice*, Vol. 11, No. 4, pp. 429-36.
236. WATTS C., BARNES-BURROUGHS K., ESTIS J., BLANTON D. (2006). The singing power ratio as an objective measure of singing voice quality in untrained talented and nontalented singers, *J Voice*, Vol. 20, No. 1, pp. 82-8.
237. WEBB A. L., CARDING P. N., DEARY I. J., MACKENZIE K., STEEN N., WILSON J. A. (2004). The reliability of three perceptual evaluation scales for dysphonia, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, Vol. 261, No. 8, pp. 429-34.
238. WHITE P. (12-12-1998). A study of the effects of vocal intensity variation on children's voices using long-term average spectrum (LTAS) analysis, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 23, No. 3, pp. 111-20.
239. WHITEHEAD R. L., METZ D. E., WHITEHEAD B. H. (1984). Vibratory patterns of the vocal folds during pulse register phonation, *J Acoust Soc Am*, Vol. 75, No. 4, pp. 1293-7.



240. WINGATE J. M., BROWN W. S., SHRIVASTAV R., DAVENPORT P., SAPIENZA C. M. (2007). Treatment outcomes for professional voice users, *J Voice*, Vol. 21, No. 4, pp. 433-49.
241. WUYTS F. L., BOLDT M. S., MOLENBERGHS M., REMACLE M., HEYLEN L., MILLET B., et al. (2000). The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on multiparameter approach, *J Speech Hear Res*, Vol. 43, pp. 796-809.
242. WUYTS F. L., HEYLEN L., MERTENS F., DU C. M., ROOMAN R., VAN DE HEYNING P. H., et al. (2003). Effects of age, sex, and disorder on voice range profile characteristics of 230 children, *Ann Otol Rhinol Laryngol*, Vol. 112, No. 6, pp. 540-8.
243. YAMAGUCHI H., SHRIVASTAV R., ANDREWS M. L., NIIMI S. (2003). A comparison of voice quality ratings made by Japanese and American listeners using the GRBAS scale, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 55, No. 3, pp. 147-57.
244. YANAGIHARA N. (1967). Significance of harmonic changes and noise components in hoarseness. *J Speech Hear Res*, Vol. 10, No. 3, pp. 531-41.
245. YIU E. M., CHEN F. C., LO G., PANG G. (2012). Vibratory and perceptual measurement of resonant voice, *J Voice*, Vol. 26, No. 5, pp. 675-9.
246. YU P., REVIS J., WUYTS F. L., ZANARET M., GIOVANNI A. (2002). Correlation of instrumental voice evaluation with perceptual voice analysis using a modified visual analog scale, *Folia Phoniatr Logop*, Vol. 54, No. 6, pp. 271-81.

## Přílohy

### Seznam příloh:

Příloha A: Protokol „Hodnocení patologického hlasu“ .....	130
Příloha B: Popis kvalitativních vlastností operního pěveckého hlasu.....	132
Příloha C: Hodnocení profesionálního mluvního hlasu .....	133
Příloha D: Popis diagnóz a výsledky poslechového hodnocení patologických hlasů mužů..	134
Příloha E: Korelace GRBAS hodnocení s obrysovými křivkami habituálního hlasového pole .....	135
Příloha F: Korelace GRBAS hodnocení s obrysovými křivkami hlasového pole při volání. 136	
Příloha G: Korelace akustických parametrů s hodnocením chraplavosti při zohlednění pozice v hlasovém poli VRP.....	137
Příloha H: Trendová korelace akustických parametrů a dyšností při zohlednění pozice v hlasovém poli. ....	138
Příloha I: Tabulka porovnání a korelace parametrů hlasového pole při gradaci volání u žen. ....	139
Příloha J: Porovnání a korelace kontur hlasového pole při gradaci volání u žen.....	139
Příloha K: Porovnání průměrných hodnot měřených parametrů pro hlasité čtení u žen. ....	140
Příloha L: Korelace průměrných hodnot parametrů s percepčním hodnocením rezonance při zohlednění výšky hlasu u žen.....	141



## Skupinové kategorie hlasových projevů

- 8) **Hlasové zlozvyky** 0 | 1 | 2 | 3
- |   |   |   |
|---|---|---|
| nadměrné mluvení<br>hlasitá mluva<br>nepřirozené<br>přemáhání hlasu | křik,<br>mluvení v hluku<br>hlasitý šepot<br>výbušná fonace | tvrdé hlasové<br>začátky<br>ingesivní fonace<br>odkašlává |
|---|---|---|
- 9) **Porucha artikulace** 0 | 1 | 2 | 3
- |                     |                      |               |
|---------------------|----------------------|---------------|
| rty<br>dolní čelist | jazyk<br>měkké patro | hltn<br>hrtan |
|---------------------|----------------------|---------------|
- 10) **Změna a porucha rezonance** 0 | 1 | 2 | 3
- Rezonance vyvážená / se změnou: .....
- Rhinofonie: otevřená / zavřená
- 11) **Prozodické vlastnosti** 0 | 1 | 2 | 3
- pauzování  
plynulost  
tempo-rytmus
- 12) **Nasazení a vysazení hlasu** 0 | 1 | 2 | 3
- |   |  |
|---|--|
| Hlasové začátky:<br>- dyšný<br>- měkký<br>- tvrdý | Vysazení hlasu:<br>- normální<br>- s chrapotem<br>- polknutý |
|---|--|
- 13) **Fonační nastavení (vibrační rejstřík)** 0 | 1 | 2 | 3
- pulsní      modál      falzet      whistle      jiný:.....
- přechod rejstříků: náhlý / plynulý
- 14) **Dech** 0 | 1 | 2 | 3
- pozice: hrudní / smíšená / břišní  
výdrž – fonační čas [a]:      s; S/Z skóre:  
opora: bez / proměnlivá / ustálená
- 15) **Emoční a fyzická tenze** 0 | 1 | 2 | 3
- Projev tenze: .....

**SKÓRE SPOLU:**

**Příloha B:** Popis kvalitativních vlastností operního pěveckého hlasu dle (Henrich, N. et al., 2008).

**1) Percepce hlasového gesta a hlasové techniky (perception of vocal gesture or vocal technique);**

**a) dynamika nádechu a výdechu (dynamics of inhalation and exhalation)**

- i) způsob nádechu: *slyšitelný* (dyšný, znělý); *tichý*;
- ii) dynamika nádechu charakterizována dechovými pausami: *časné, občasné*;
- iii) management dechu: *časté nádechy, vzdálené nádechy* (vzhledem k celkové muzikální frázi);

**b) dynamika vibrací hlasivek (vibratory dynamic);**

- i) nasazení a vysazení hlasu (attack, end sound):
  - (a) *tichý, dyšný, náhlý kontakt hlasivek (glottal)*;
  - (b) *stoupavý, klesavý glide (upward, downward glide)* na začátku, nebo konci fonace;
  - (c) *s fonací typu MO, počáteční nebo koncová část fonace s mechanismem kmitání hlasivek MO*;
- ii) laryngální mechanismus:
  - (a) *stejný / rozdílný* použitý v celé pasáži;
  - (b) *kontrolovaný / nekontrolovaný přechod mechanismů*;
- iii) přesnost intonace a rytmus v souladu s dynamikou;
- iv) melodické propojení: *legato, staccato, portamento*;

**c) vibrato;**

- i) modulační frekvence: *pomalá, rychlá*;
- ii) rozsah změny amplitudy a frekvence: *malý (restained), velký (ample), příliš rychlý (tremolo), pomalý a velký (quiver)*;

- iii) kontrola vibráta v průběhu fráze: *dobrá, zlá*;

**d) umístění zdroje (source location, placement);**

- i) *přední(forward) / zadní (backward)*;
- ii) *v hlavě (head) / laryngální (laryngeal) / v hrdle (pharyngeal) / v nose(nasal)*;
- iii) nazalita: *zadní / přední (twang)*;
- iv) *dyšný (breathy) / tenzní (pressed, tense)*;
- v) *open / covered* ;
- vi) *zpěvní (closer to sinnging) / mluvní (closer to speech)*.

**2) Percepce zvuku (perception of sound);**

**a) fonetické hledisko (phonetic aspects);**

- i) segmentální úroveň:
  - (a) *identifikace a kontrast vokálů*;
  - (b) *kontrola a výslovnost konsonantů*;
- ii) suprasegmentální úroveň: *akcent, frázová srozumitelnost*;

**b) barva zvuku;**

- i) *zvonivost*;
- ii) rozložení spektrální energie: *vyvážené / nevyvážené*;
- iii) *homogenita /nehomogenita* vzhledem k hudební fráze;
- iv) *tmavost / světlost*;

**c) hlasitost a výška;**

- i) výška hlasu: *vysoká / nízká*;
- ii) hlasitost: *slabá / silná*;
- iii) *efektivita*;
- iv) hlasové úsilí: *vyvážené / nevyvážené* vzhledem k hlasitosti;
- v) přítomnost zpěváckého formantu.

**3) Percepce provedení – k tomuto pohledu není uveřejněná bližší specifikace.**

**Příloha C: Hodnocení profesionálního mluvního hlasu dle (Bele, I. V., 2007)**

- 1) Celková kvalita hlasu (overall voice quality);**
- 2) Faktor „variability a znělosti“ (variation and sonority):**
  - a) variace hlasitosti (variation in loudness);
  - b) znělost (sonority);
  - c) rozsah výšky hlasu (pitch range);
  - d) čistota artikulace (clarity of articulation);
  - e) zvonivá barva hlasu (ringing voice quality).
- 3) Faktor „nepravidelností“ (irregularity):**
  - a) projev vocal fry/creaky v hlase;
  - b) chraptivost (roughness);
- 4) Faktor „šumu“ (degree of noise):**
  - a) jemné nasazení hlasu (soft glottal attack);
  - b) dyšnost (breathiness);
  - c) tlačaná tvorba hlasu (hyperfunctional/ pressed voice production);
- 5) Faktor „hlasového úsilí“ (voice effort):**
  - a) výška hlasu (pitch);
- 6) Nezatříděné parametry**
  - a) laxní tvorba hlasu (hypofunctional/ lax voice production);
  - b) zeslabení (weak) fonace na konci fráze;
  - c) nestabilita výšky hlasu;

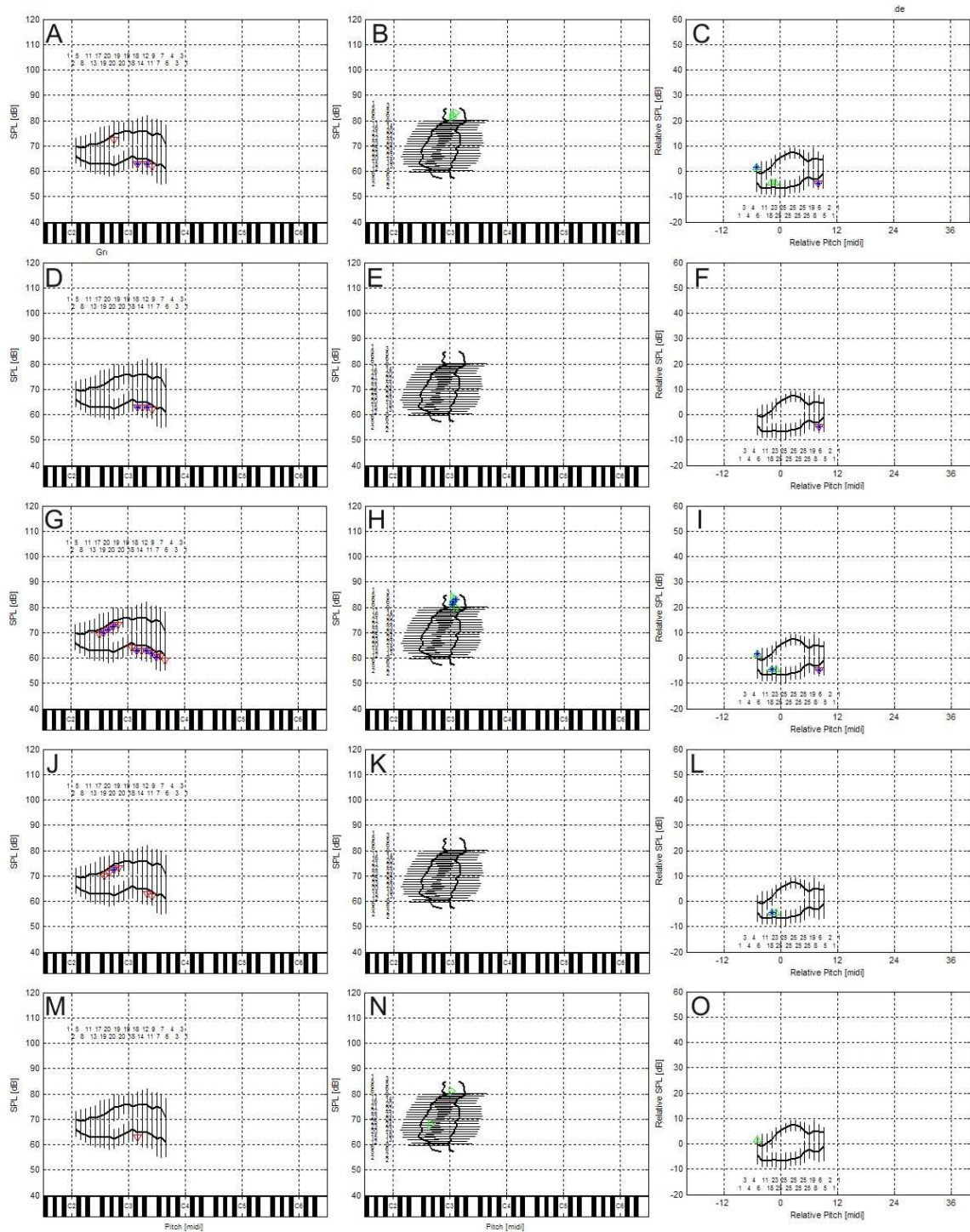
**Příloha D: Popis diagnóz a výsledky poslechového hodnocení patologických hlasů mužů.**

Popis diagnóz a přechodu rejstříků ve zpěvním hlasovém poli v *pp*, *mf* a *ff* (tiché, střední a hlasité) dynamice (hlasitosti). Průměrné hodnoty hodnocení škál (GRBAS). Tučným písmem jsou vyznačeny hodnocení s nejmenším rozptylem, naopak šikmé písmo označuje hodnocení při nichž bylo hodnocení dané vlastnosti s výraznějším rozptylem než 2 body z 10.

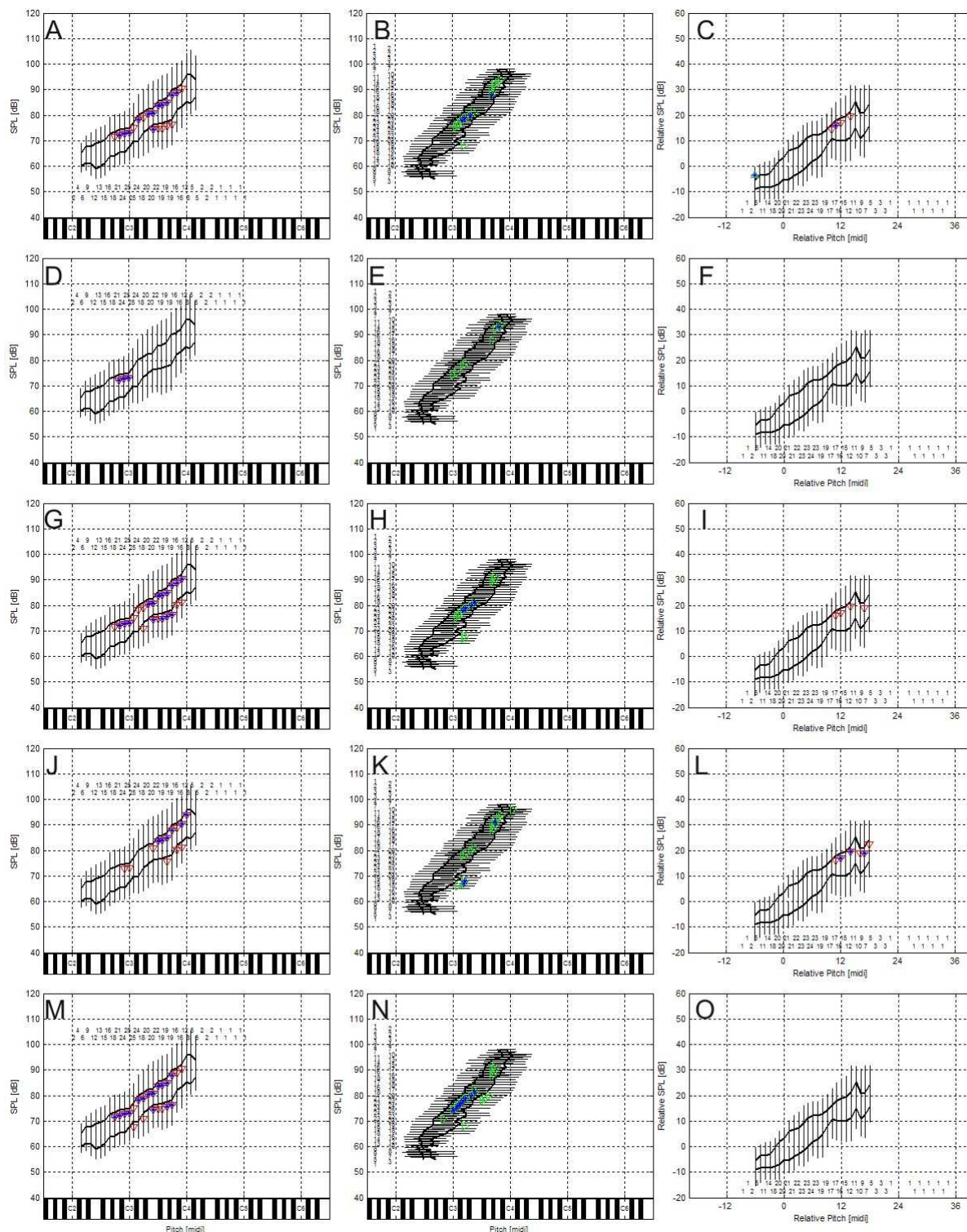
Subj.	Diagnóza	Přechod mezi rejstříky, falzet	Věk	G	R	B	A	S
1	mutační porucha, fistulový hlas, funkční porucha	převládající tvorba hlasu ve fistule s přeskoky mezi rejstříky	21	6.45	3.50	5.30	2.70	4.08
2	chronický zánět, GERD, hlas profesionál herec, polyp levé hlasivky	v <i>pp</i> je přeskok do falzetu s výrazní změnou kvality, v <i>mf</i> a <i>pp</i> není falzet - tlačeny modál s chrapotem	29	<b>1.10</b>	<b>1.05</b>	<b>0.17</b>	<b>0.15</b>	<b>0.28</b>
3	chronický hluboký zánět, GERD, po operaci chronického edému, zjizvení hlasivek	chybí falzet	54	4.45	4.65	1.00	0.25	0.89
4	post virotická paréza m. posticus	přechod do falzetu s nárůstem dyšnosti a velkou změnou kvality (neškolený falzet)	45	0.60	0.55	0.25	0.25	0.30
5	chronický zánět, GERD, atrofie m. vocalis, stařecký hlas	oddělený falzet s výraznou změnou kvality a nárůstem dyšnosti velmi omezeného rozsahu	77	<b>5.10</b>	<b>1.90</b>	<b>4.72</b>	<b>3.10</b>	<b>3.56</b>
6	rakovina hlasivek, recidiva, ventrikulární hlas	falzet výrazně spastický a dyšný, téměř afonický	62	8.10	7.45	6.79	1.65	7.65
7	chronický zánět, chronický edém, hypertrofie ventrikulárních řas	oddělený falzet	36	7.80	5.44	7.35	3.00	5.81
8	dysplazie hlasivek	chybí falzet	40	<b>3.75</b>	<b>3.95</b>	<b>1.55</b>	<b>0.80</b>	<b>2.39</b>
9	rakovina hlasivky, synechie	dyšný falzet	62	<b>4.60</b>	<b>2.45</b>	<b>4.00</b>	<b>2.40</b>	<b>2.00</b>
10	paréza n.l.recc., po operaci	přechod do falzetu není rozeznatelný protože s narůstající výškou se mění výrazně kvalita narůstá dyšnost a spasticita	57	<b>3.15</b>	<b>2.60</b>	<b>2.19</b>	<b>1.70</b>	<b>2.00</b>
11	zjizvení, insuficience, rakovina, stařecký hlas	přechod do falzetu není rozeznatelný, hlas je celkově výrazně dyšný s narůstající spasticitou do vyšších poloh	27	8.15	7.13	7.55	6.90	6.00
12	po úrazu hrtanu	chybí falzet	55	8.30	3.00	8.60	6.29	6.50
13	rakovina hlasivky, recidiva, stav po chordektomii	ventrikulární hlas, bez modálu a bez falzetu	56	8.40	4.00	8.50	7.42	3.92
14	insuficience	falzet izolovaný jenom v <i>pp</i> dynamice	70	5.45	5.30	3.83	2.00	2.75
15	zpěvák, hyperkinetická dysfonie	v <i>pp</i> a <i>mf</i> dynamice je pozvolný školený přechod mezi rejstříky, v <i>ff</i> dynamice není falzet patrný, ale vysoká poloha je výrazně spastická	34	<b>0.65</b>	<b>0.50</b>	<b>0.45</b>	<b>0.25</b>	<b>0.20</b>
16	hyperkinetická dysfonie, hlasivkové uzlíky	falzet chybí, přechodová oblast je tlačena a výrazně chraplavější než hluboký modál	48	<b>1.55</b>	<b>1.45</b>	<b>0.22</b>	<b>0.25</b>	<b>0.50</b>
17	papilomatóza, recidiva	hlas je v přechodové oblasti mezi rejstříky výrazně chraplavý s následným výrazným intervalovým přeskokem do vysokého falzetu (fistuly) výrazně odlišné kvality než je přechodová oblast	33	5.20	4.06	3.93	1.07	5.10
18	stav po úrazu hrtanu, zpěvák, paréza m. transversus, atrofie m. vocalis	izolovaný falzet	56	<b>1.10</b>	<b>1.05</b>	<b>0.22</b>	<b>0.22</b>	<b>0.10</b>
19	insuficience, po tyroplastice	modální hlas má výrazně méně plný charakter, kontinuální přechod do falzetu	54	6.30	3.06	5.81	4.81	5.56
20	paréza n. l. recc.	modální hlas je slabý, výrazně dyšný, téměř afonický, přechod do falzetu je s výrazným zlepšením zvučnosti, falzet je téměř běžné falzetové kvality	43	8.55	2.15	8.60	6.69	5.00
21	suspektní tumor, ventrikulární hlas, rakovina hlasivek, synechie	modál výrazně chraplavý, falzet chybí	54	8.00	6.63	7.67	5.42	5.00
22	zpěvák, subakutní zánět	plynulý přechod do falzetu v <i>mf</i> a <i>pp</i> , v <i>ff</i> není výrazný rozdíl mezi vyšším a nižším rejstříkem	38	<b>0.45</b>	<b>0.40</b>	<b>0.20</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
23	hyperkinetická dysfonie, hlasivkové uzlíky	oddělený falzet s intervalovým přeskokem v <i>pp</i> a <i>ff</i>	28	2.75	1.45	2.75	1.20	2.00
24	dysplazie	přechodová oblast výrazně chraplavá, oddělený falzet s velkým intervalovým přeskokem	55	7.20	7.45	4.45	1.75	5.67
25	polyp po operaci	modální i falzetový hlas s výraznou diplofonií, vzájemně výrazně intervalově oddělené	59	8.22	8.22	3.71	3.25	5.40



**Příloha E:** Korelace GRBAS hodnocení s obrysovými křivkami habituálního hlasového pole. A-C) celkový stupeň poruchy hlasu, D-F) chraplavost, G-I) dyšnost, J-K) astenie – hlasová slabost, M-O) napětí hlasu. Absolutní SPL kontury (levý sloupec), absolutní výškové kontury (střední sloupec), C2-C6 odpovídají americké notaci velké C až c'''. Normalizované SPL kontury (pravý sloupec) vzhledem k průměrné výšce (uvedeno v půltónech) a SPL habituálního hlasu.

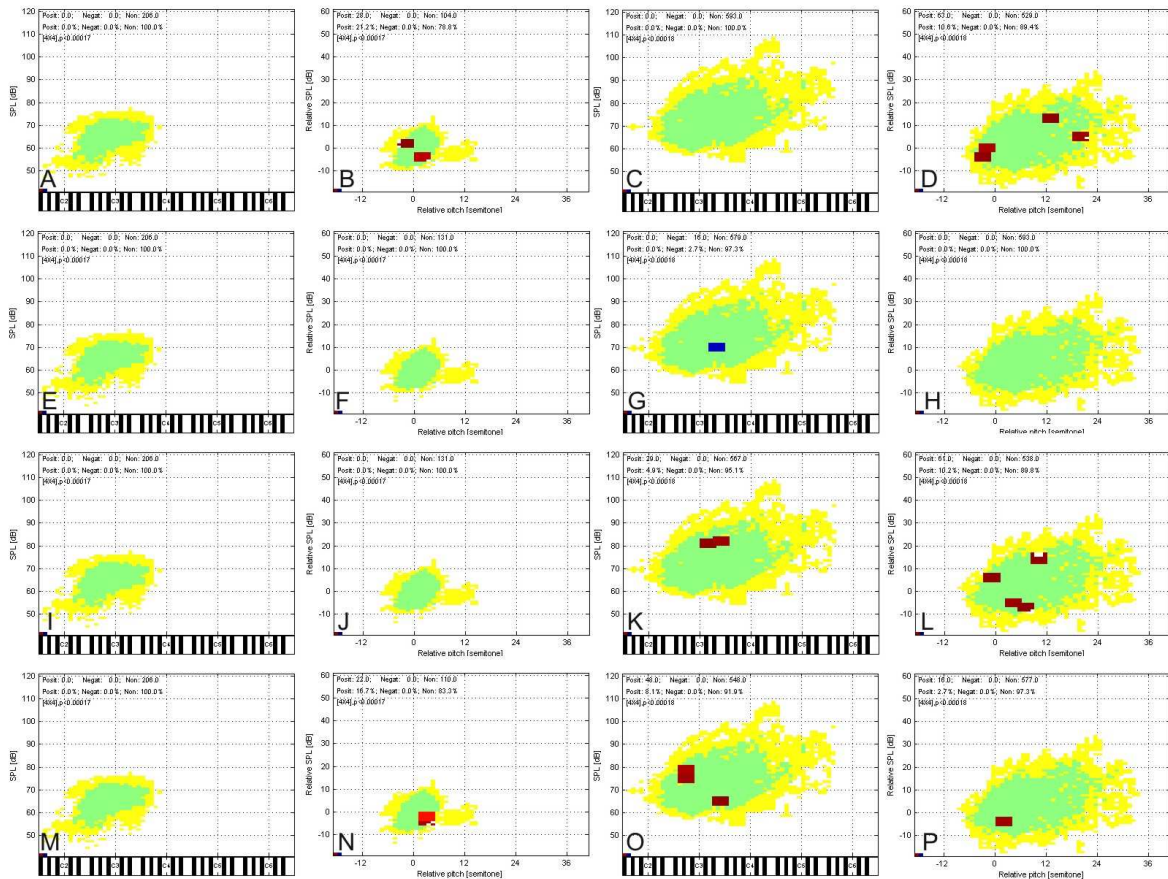


**Příloha F:** Korelace GRBAS hodnocení s obrysovými křivkami hlasového pole při volání. A-C) celkový stupeň poruchy hlasu, D-F) Chraplavost, G-I) dyšnost, J-K) astenie – hlasová slabost, M-O) napětí hlasu. Absolutní SPL kontury (levý sloupec), absolutní výškové kontury (střední sloupec), C2-C6 odpovídají americké notaci velké C až c'''. Normalizované SPL kontury (pravý sloupec) vzhledem k průměrné výšce (uvedeno v půltónech) a SPL habituálního hlasu.



**Příloha G:** Korelace akustických parametrů s hodnocením chraplavosti při zohlednění pozice v hlasovém poli VRP.

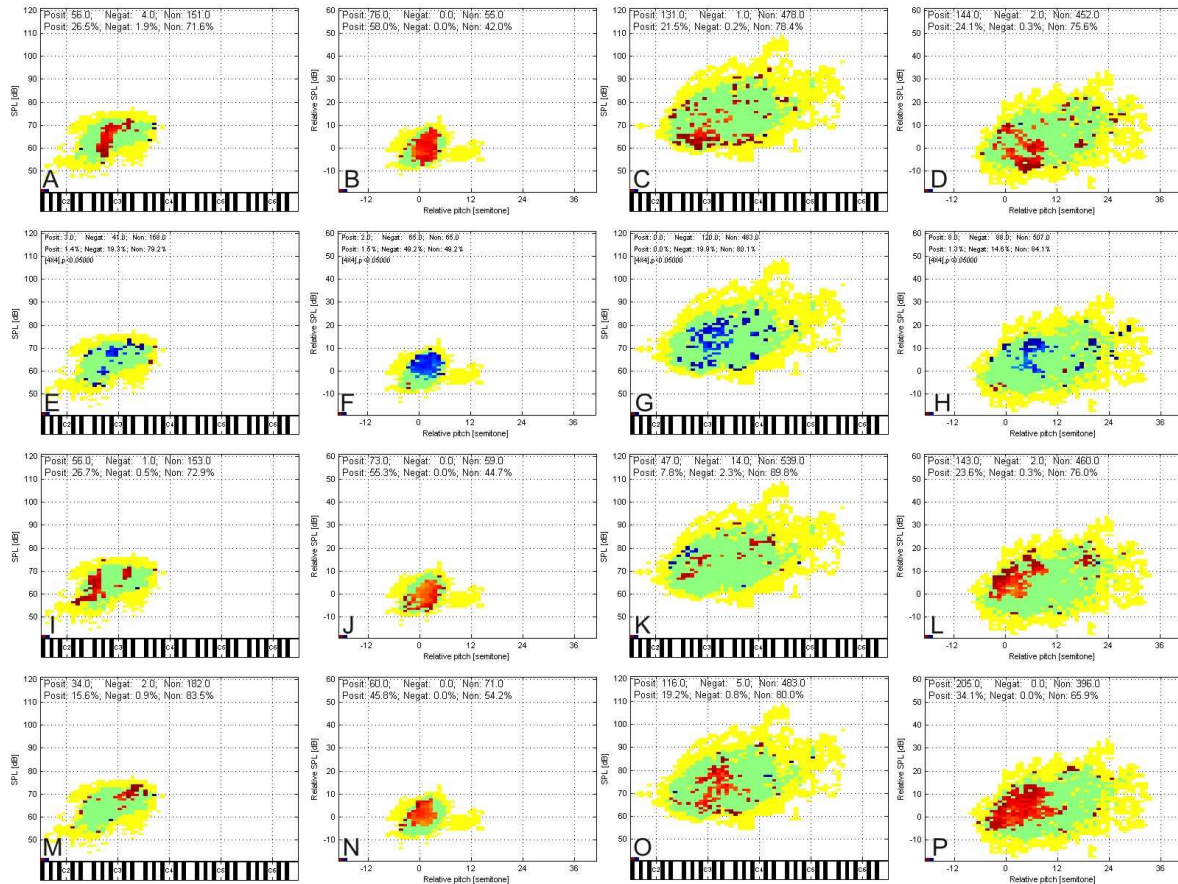
Statistická významnost  $p < 0,05$  se zohledněním Bonferroniho korekce. Levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvního hlasového pole, 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná hlasová pole vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. A-D) Jitter, E-H) SPI, I-L) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, M-P) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz. Zelená oblast ukazuje část překrývajících se hlasových polí a žlutá oblast části kde se nepřekrývalo dostatek naměřených hlasových polí, aby bylo možno provést korelační analýzu. Červené části označují oblasti s kladnou korelací a modré se zápornou.





**Příloha H:** Trendová korelace akustických parametrů a dyšností při zohlednění pozice v hlasovém poli.

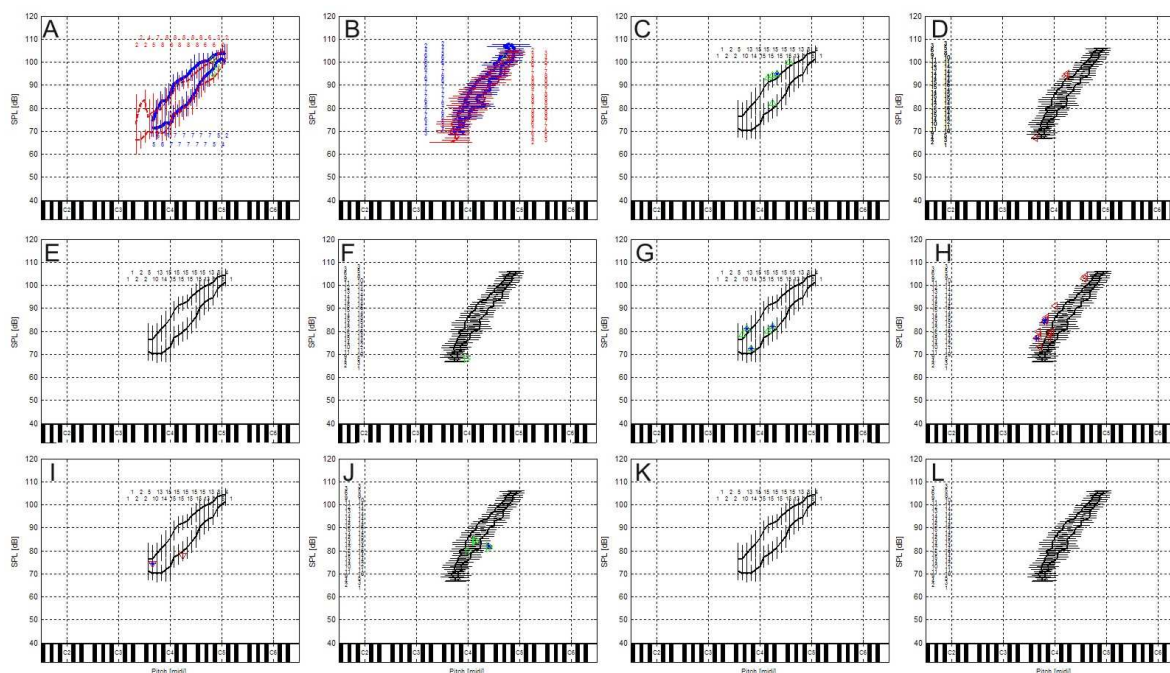
Statistická významnost  $p < 0,05$  bez zohlednění Bonferroniho korekce. Levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvního hlasového pole, 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná hlasová pole vzhledem na průměrnou výšku a SPL habituálního hlasu. A-D) Jitter, E-H) hladina prvního keprstrálního vrchol, I-L) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, M-P) sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz. Zelená oblast ukazuje část překrývajících se hlasových polí a žlutá oblast části kde se nepřekrývalo dostatek naměřených hlasových polí, aby bylo možno provést korelační analýzu. Červené části označují oblasti s kladnou korelací a modré se zápornou.



**Příloha I:** Tabulka porovnání a korelace parametrů hlasového pole při gradaci volání u žen. Porovnání skupiny pěvečky trénovaných a netrénovaných žen a korelace s parametry hlasové trénovanosti a percepčními parametry. Zobrazeny jsou korelace s  $p < 0,05$ , \*\* -  $p < 0,005$  (Bonferroniho korekce). P – tónová výška v midi púltónech, TR, DR – tónový a dynamický rozsah.

Volání	P.min	P.max	TR	SPL.min	SPL.max	DR	VRPArea
Prům. trén.	56.85	70.80	13.94	69.46	102.76	33.30	145.40
SD	1.14	1.93	1.78	2.41	3.31	5.57	33.41
Prům. netrén.	55.44	69.64	14.20	66.33	99.39	33.06	157.60
SD	2.65	2.03	2.38	2.64	4.55	5.54	30.71
<i>t-test pval</i>	<i>0.2149</i>	<i>0.2813</i>	<i>0.8192</i>	<b><i>0.0328</i></b>	<i>0.1303</i>	<i>0.9365</i>	<i>0.4741</i>
Věk				0.55			
Koef. trén				0.52			
Tmavost hab.							
Napětí hab.							
Rezonance hab.				0.56			
Celk. kvalita hab.							
Technika d´-dur							
Rezonance d´-dur				0.62			
Tmavost d´-dur							
Rezonance fis´-dur				0.79*			
Technika fis´-dur				0.79*		-0.75	
Tmavost fis´-dur				0.9***			

**Příloha J:** Porovnání a korelace kontur hlasového pole při gradaci volání u žen. Porovnání průměrů minimálních a maximálních kontur SPL (A) a výškových kontur (B) pomocí t-testu. Korelace průběhů SPL kontur (C, E, G, I, K) a výškových kontur (D, F, H, J, L) hlasových polí subjektů s hodnotami percepčních vlastností: celkové hodnocení kvality habituálního hlasu (C, D); koeficient trénovanosti (E, F); tmavost habituálního hlasu (G, H); napětí habituálního hlasu (I, J); rezonance habituálního hlasu (K,L).



**Příloha K:** Porovnání průměrných hodnot měřených parametrů pro hlasité čtení u žen. Sloupec pval/t-test zobrazuje hladinu statistické významnosti porovnání pomocí t-testu, zobrazeny jsou jenom trendové hodnoty s  $p < 0,05$  – šedě a po aplikaci Bonferroniho korekce \*\* -  $p < 0,05/40$  - černě.

Parametr	pval t-test	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.	Parametr	pval t-test	Prům. zpěv.	SD zpěv.	Prům. nezp.	SD nezp.
F0x		59.55	1.89	57.76	2.31	A3		7.39	0.97	6.25	1.31
SPL	0.0285	78.29	1.97	74.65	3.44	A4	8.05E-04	2.00	0.71	-0.63	1.45
Jitt		7.81	1.80	8.66	2.06	COGamp	0.036	746.91	63.19	641.96	102.66
ShdB		0.95	0.11	1.07	0.16	COG25k	0.0277	3126.30	119.95	2998.60	77.96
RAP		3.34	0.94	4.09	1.09	COG0k25		601.23	21.31	563.92	77.68
vF0		9.59	1.70	11.91	2.72	COGharm		665.96	38.05	587.78	89.75
SPI	0.0047	240.48	29.11	292.58	29.98	FSH		2812.90	151.84	2680.60	112.42
VTI	0.0284	-343.80	33.98	-377.55	17.58	LFSH	0.0039	61.09	2.19	53.76	5.12
HNR	0.0037	11.53	0.69	9.59	1.30	THItilt	0.019	-2.69	0.37	-3.21	0.39
ER	0.0166	16.53	1.89	19.99	2.82	THItilt4k4	2.19E-04	-5.67	0.76	-7.97	0.97
SPR	0.0195	-20.05	1.73	-23.78	3.32	BF1		171.58	24.55	174.35	20.69
Alfa	0.0133	-21.78	0.98	-24.33	2.16	BF2	0.033	243.39	12.82	227.09	13.53
H1	0.0109	78.28	2.00	73.53	3.79	BF3		286.37	20.28	314.34	29.59
dHa1Ha2	6.37E-04	4.35	1.58	0.71	1.57	BF4		350.35	23.89	376.79	43.98
F1		412.18	30.03	438.86	44.46	FT1	0.0415	45.98	3.65	41.43	4.08
F2		1221.60	63.64	1284.20	88.94	FT2	0.0143	53.17	3.53	47.69	3.93
F3	0.0255	2249.70	52.00	2359.80	104.38	FT3		52.51	4.16	49.03	4.82
F4	0.0163	3314.10	80.99	3430.10	81.56	FT4		54.67	5.63	53.31	4.82
A1	0.0236	23.79	1.77	26.17	1.81	CP~1	0.0312	-8.30	0.37	-8.97	0.65
A2	0.0014	13.16	1.18	15.32	0.88	CQEGG	0.0018	34.99	6.15	44.75	3.31

**Příloha L:** Korelace průměrných hodnot parametrů s percepčním hodnocením rezonance při zohlednění výšky hlasu u žen.

Hodnocené úkoly dle sloupců: A) habituální hlas, B) zpěv lidové písně v d' dur tónině, C) zpěv písně v fis' dur tónině, D) zpěv stupnic – korelace s hodnocením rezonance v d' dur tónině, E) zpěv stupnic – korelace s hodnocením rezonance v fis' dur tónině. Jednotlivé parametry jsou uvedeny v řádcích: 1) SPL, 2) hladina první harmonické složky, 3) SPR, 4) hladina pěveckého formantu, 5) SPI, 6) VTI, 7) CQEGG. (hvězdičky označují korelaci s Bonferroniho korekcí  $p < 0,05$ /tónový rozsah, zelené trojúhelníky označují kladnou, červené zápornou korelaci).

