

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky

RNDr. Marek Frič

**OBJEKTIVNÍ A PSYCHOAKUSTICKÉ ASPEKTY HODNOCENÍ
LIDSKÉHO HLASU**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Akustika

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, srpen 2013

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na katedře radioelektroniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: RNDr. Marek Frič

Výzkumné centrum hudební akustiky
Hudební a taneční fakulta AMU, Malostranské nám. 13,
118 00 Praha

Školitel: Prof. Ing. Václav Syrový, CSc.

Katedra hudebního zvuku
Hudební a taneční fakulta AMU, Malostranské nám. 13,
118 00 Praha

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

Výzkumné centrum hudební akustiky
Hudební a taneční fakulta AMU, Malostranské nám. 13,
118 00 Praha

Oponenti:

.....

.....

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod. před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Akustika v zasedací místnosti č Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze, na oddělení pro vědu, výzkum a zahraniční styky, Technická 2, Praha 6.

.....

předseda komise pro obhajobu disertační práce
ve studijním oboru Akustika
Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

Obsah

1	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	4
1.1	Hlas z pohledu psychoakustiky.....	4
1.1.1	Hlas a jeho tvorba	4
1.1.2	Poslechové vyhodnocování zvuků	4
1.2	Subjektivní hodnocení hlasových signálů.....	5
1.2.1	Barva hlasu.....	5
1.2.2	Psychoakustické metody hodnocení hlasu	5
1.3	Popis vlastností hlasu.....	6
1.3.1	Vlastnosti a hodnocení patologického hlasu	6
1.3.2	Postupy používané při popisu profesionálního hlasu	7
1.4	Objektivně měřené parametry hlasu	7
1.4.1	Hlasové pole (phonetogram, voice range profile, VRP).....	7
1.4.2	Ostatní objektivní parametry hlasu.....	7
1.5	Hlasové rejstříky	9
1.5.1	Sumarizace přechodů mechanismů a percepčních rejstříků	10
1.6	Rezonance hlasu	10
2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	12
3	METODY ZPRACOVÁNÍ.....	13
3.1	Nahrávky hlasu	13
3.2	Poslechové testy	13
	Efekt hlasového tréninku.....	14
3.3	Segmentální parametrizace akustického a EGG signálu.....	14
3.4	Vyhodnocování výsledků	15
	Poslechové testy.....	15
4	VÝSLEDKY	17
4.1	Patologický hlas mužů.....	17
4.1.1	Vztah parametrů hlasových polí s patologickými vlastnostmi hlasu	17
4.1.2	Vztah akustických parametrů s patologickými vlastnostmi hlasu.....	19
4.2	EFEKT PĚVECKÉHO TRÉNINKU U ŽEN	20
4.2.1	Poslechové hodnocení hlasu.....	20
4.2.2	Porovnání parametrů hlasových polí a vztah se subjektivním hodnocením	21
4.2.3	Porovnání měřených parametrů a jejich rozložení v hlasovém poli	22
4.2.4	Vztah měřených a percepčních parametrů.....	25
5	ZÁVĚRY EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	27
	Patologie hlasu	27
	Efekt pěveckého tréninku	29
6	Výsledky a přínosy disertační práce.....	32
7	SEZNAM V TEŽÍCH POUŽITÉ LITERATURY	33
8	SEZNAM PRACÍ DISERTANTA.....	36
9	SUMMARY	39
10	ANOTACE.....	40

1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

1.1 Hlas z pohledu psychoakustiky

1.1.1 Hlas a jeho tvorba

Z obecného pohledu je vhodné definovat hlas jako zvuk vydávaný člověkem při „pokusu“ o znělou fonaci (Kučera et al., 2010).

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

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.

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** (výsledného zvuku hlasu) se opírá o metody akustické analýzy. Časově stabilnější segmenty lze prezentovat na základě spektrální analýzy, ve spektru obsahují složky periodické (tónového charakteru), vzniklé zejména na podkladě kmitání hlasivek a složky neperiodické (šum) vznikají při turbulentním proudění vzduchu.

Prostor vjemů je nejvíce komplikovanou částí virtuálního schématu akustické typologie, protože vystihuje interakci posluchače – subjektu se zvukem. Konečný význam (interpretace) rozpoznaných symbolů (vlastností a znaků) zvuků výrazně ovlivněn velkým množstvím faktorů. Nejvíce se projevují vlastnosti posluchače (zkušenosti, stav sluchu), ale i kontext událostí.

1.1.2 Poslechové vyhodnocování zvuků

Procesem zpracování zvuku ve sluchovém aparátu se zabývá fyziologie, fyziologická akustika a neurofyziologie sluchu.

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. Následně nastává analytické hodnocení. Další faktor uvádí, že hodnocení je závislé na 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.

1.2 Subjektivní hodnocení hlasových signálů

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. **Intenzita** zvuku (subjektivním vjemem je hlasitost) souvisí s hladinou akustického tlaku (SPL[dB]), ale i spektrálním složením zvuku. **Barva** zvuku je z akustického hlediska dána zejména spektrálním složením (Bloothoof a Plomp, 1988).

Z pohledu tvorbu hlasu na schéma akustické typologie, můžeme propojit prostor zdrojů s **příčinami** vzniku hlasu, tedy zejména s fyziologickými aspekty jedince, ale i se všemi psychickými a kontextuálními vlastnostmi. Výsledkem je konkrétní **zvuk**, lze jej analyzovat akustickými metodami. Vjemy můžeme sloučit s **pocity** a **dojmy** posluchače, které u něho daný zvuk vyvolá. Ty jsou ale ovlivněny jeho fyzickým a psychickým stavem, předešlými zkušenostmi a samozřejmě kontextem událostí.

1.2.1 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 (Surový, 2008). Proti akustické definici stojí „obecné“ **vnímání barvy zvuku**, resp. definice používané v hlasové pedagogice. Za barvu zvuku nějakého zdroje považují tu vlastnost, která je podobná (společná) pro skupinu tónů různé výšky, resp. nějakého tónového a dynamického rozsahu (Erickson, 2003). Tato definice je velmi podobná definici hlasových rejstříků (Thurman et al., 2004).

1.2.2 Psychoakustické metody hodnocení hlasu

Obecné cíle poslechových testů

Cílem poslechového hodnocení zvuků je získání subjektivních soudů (odpovědí) skupiny hodnotitelů v řízeném experimentu v souvislosti s poslechem zvukových stimulů. 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, ale správné definování experimentu – stanovení způsobu předkládání stimulů, sestavení skupiny hodnotitelů a způsob vyhodnocení výsledků, může přinést i informace o hodnotících subjektech.

V disertační práci jsou shrnuty základní psychoakustické metody používané při výzkumu vlastností hlasu a je taky vedený přehled zásadních poznatků vyplývajících z poslechového hodnocení hlasových signálů.

1.3 Popis vlastností hlasu

1.3.1 Vlastnosti a hodnocení patologického hlasu

Dle zpracování zveřejněných protokolů hodnocení patologického hlasu (UEP, 1978; Hirano, 1981; Ptok et al., 2006; Dejonckere et al., 2001; ASHA 3rd Division, 2009; Kempster et al., 2009; Webb et al., 2004; Laver, 1991; Shewell, 2009), dále z protokolu pro profesionální mluvní hlas (Bele, 2005) a na základě předešlé práce autora (Frič, 2004) byly sumarizovány popisované vlastnosti při hodnocení patologického hlasu do protokolu „Hodnocení patologického hlasu“ publikovaného v (Frič a Otčenášek, 2010).

Výčet parametrů je zde seřazen dle četnosti jejich použití v citovaných protokolech. V disertační práci jsou uvedené vlastnosti vysvětleny z psychoakustického hlediska, tzn. jaký vjem vyvolávají a jaké jsou jejich případné fyziologické příčiny.

Základní parametry patologického hlasu

- 1) Celkový stupeň poruchy hlasu
- 2) Hlasová drsnost – chraplavost
- 3) Dyšnost

Vedlejší parametry hlasové patologie

- 4) Hlasové napětí
- 5) Výška a hlasitost
- 6) Hlasová slabost
- 7) Nestabilita

Doplňkové vlastnosti hlasových projevů

- 8) Hlasové zlozvyky
- 9) Poruchy artikulace
- 10) Změna a porucha rezonance
- 11) Poruchy časových prozodických vlastností,
- 12) Způsob nasazení a vysazení hlasu,
- 13) Typy přechodů mezi fonačními mechanismy

Neakustické parametry hlasu

- 14) Hodnocení vedení dechu
- 15) Celková emoční a fyzická tenze

1.3.2 Postupy používané při popisu profesionálního hlasu

Vědecké práce v oblasti akustiky a popisu uměleckého hlasu se věnují hlavně hlasové rezonanci. 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.

Profesionální hlas se od hlasu běžné populace odlišuje hlavně trénováním specifických dovedností s cílem dosáhnout větší hlasové výdrže, zvětšit efektivitu a rozsah hlasu a celkově udržet tyto vlastnosti v průběhu celého profesionálního působení. Proto je zjevné, že profesionální, resp. umělecké používání hlasu, bude vyžadovat vyšší a specifické nároky na jeho uživatele. Z hlediska percepčního hodnocení takové specifické používání hlasu vytváří nové dimenze hodnocených vlastností a kritérií.

Disertační práce uvádí přehled publikovaných protokolů použitých pro hodnocení operního zpěvného hlasu a pro popis profesionálního mluvného projevu.

1.4 Objektivně měřené parametry hlasu

1.4.1 Hlasové pole (phonetogram, voice range profile, VRP)

Hlasové pole představuje akustickou metodu dokumentující výškové (na x-ové ose) a intenzitní (na y-ové) polohy hlasu, jejich rozsahy a rozložení při různých hlasových úkolech.

Samotné měření hlasového pole bylo původně vymezeno jenom na měření obrysů (kontur) tzv. **zpěvného hlasového pole (VRP)** při prodloužené fonaci vokálů. S rozvojem techniky se začaly měřit i řečové úkoly (čtení, počítání, hlasité čtení a volání), které jsou podkladem pro **řečové hlasové pole** (speech range profile, SRP).

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. Přehled literatury v práci se soustřeďuje na shrnutí měřených parametrů hlasového pole a popis obrysových křivek hlasového a je uveden i široký přehled pozorovaných vztahů při měření hlasového pole v experimentálních studiích.

1.4.2 Ostatní objektivní parametry hlasu

Pro objektivní kvantifikaci vlastností spojených s produkcí hlasu existuje velké množství měřicích metod. Jako základní neinvazivní metodu lze považovat akustickou analýzu. Její rozvoj přinesl v posledním období velké množství parametrů popisujících jak vlastnosti hlasu, tak řeči. V práci

jsou shrnuty jenom ty, u nichž byl výběr proveden tak, aby souvisely s předkládanou studií. V tezi je uvedený jenom seznam měřených a analytických metod.

V práci byl použita neinvazivní metoda přibližující kmitání hlasivek **elektroglotografie** (EGG). Změny proudu odpovídají změnám elektrické impedance mezi elektrodami na krku způsobenými zejména velikostí kontaktní plochy hlasivek. Elektroglotografický signál popisuje jednotlivé fáze kmitání hlasivek (Herbst et al., 2010), z nichž nejvýznamnější je hodnocení doby otevření, resp. uzávěru hlasivek.

- Parametr **koeficient uzavření hlasivek** odvozený z EGG signálu (**COEGG**), nové studie ho uvádí jako **kontaktní koeficient**. COEGG je nejčastěji používaný parametr pro popis a odlišení hlasových rejstříků, resp. vibračních mechanismů hlasivek.

Spektrální analýza –metoda zkoumání spektrálního složení zvuku, tedy amplitudové (a fázové) vlastnosti jeho jednotlivých složek v závislosti na frekvenci. Pro stanovení spektra se pro analýzu diskretního signálu se používá Diskretní Fourierova transformace (DFT) (Uhlíř et al., 2007).

Subharmonické složky – další řada intenzitně méně výrazných složek odlišitelných od základní řady harmonických a od šumu pozadí, většinou s pravidelným frekvenčním odstupem – často v celočíselném poměru k F_0 , např. $F_0/2$, $F_0/3$ atd.

Spectral balance (vyváženost spektra) – rozdíl hladin akustického tlaku hlubších a vyšších spektrálních oblastí. Odborná literatura uvádí několik parametrů parametry založených na tomto principu.

Kepstrální analýza je definována jako inverzní Fourierova transformace logaritmu komplexního (nebo amplitudového) FFT spektra (Uhlíř et al., 2007). Parametr **CP~1** odpovídá hladině kepstrálního vrcholu v oblasti základní frekvence signálu.

Sklon spektra – sklon spektra akustického signálu, ve studii sklon třetinooktávového spektra. V odborné literatuře bývá častěji popisován sklon spektra zdrojového signálu.

Formant – spektrální oblast se zvýšenou energií. Odpovídá rezonančním charakteristikám jednotlivých dutin vokálního traktu, respektive vrcholům přenosové funkce vokálního traktu.

Perturbační parametry popisují periodickou a amplitudovou nestabilitu mezi jednotlivými periodami hlasivkových cyklů.

1.5 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.

V odborné literatuře je možno najít vícero definicí 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), nazývají se „laryngální mechanizmy“ (Henrich et al., 2003), nebo „voice source patterns“ (Miller, 2000). Jiné definice se opírají o **změnu barvy hlasu mezi rejstříky** (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).

Dělení vibračních mechanismů se v zásadě opírá o rozdíly v elektroglotografickém signálu a rozlišuje M0, M1, M2 a M3 mechanismy (Henrich, 2006). Podrobnější percepční dělení se však opírá o různé vlastnosti v závislosti na použitých metodách sledování. Pojmenování percepčních rejstříků v klasickém zpěvu se opírá o rozdělení dle hlasových rezonancí.

Kromě charakteristických výškových rozsahů rejstříků je za zásadní parametr odlišující vibrační mechanizmy považován koeficient uzavření hlasivek (CQ). Charakteristický pokles hodnot CQ (v elektroglotografii CQEGG) a v případě mechanismů M1, M2 a M3 i pokles amplitudy EGG signálu přímo souvisí se zkracováním doby kontaktu hlasivek při přechodu vibračních mechanismů (Henrich, 2006; Roubeau et al., 2009). Tyto změny jsou dobře vysvětlitelné změnou tloušťky hlasivek, v návaznosti na různou aktivitu hrtanových svalů (m. vocalis, thyroarytenoideus, cricothyroideus a addukčních svalů (Herbst et al., 2009; Herbst et al., 2011; Kochis-Jennings et al., 2012)). Rozdíly v napětí hrtanových svalů samozřejmě ovlivňují průtok a tlak vzduchu v oblasti glottis (Miller a Schutte, 1993; Blomgren et al., 1998). Z akustického hlediska je zásadní rozdíl ve sklonu zdrojového spektra (Hirano, M. et al., 1989; Kochis-Jennings, K. A. et al., 2012), který se následně projevuje v intenzitě vyšších harmonických složek (Garnier et al., 2012). Byly zjištěny změny v nastavení vokálního traktu (Echternach et al., 2011b; Echternach et al., 2008) a s tím souvisí i poloha vokálních formantů a jejich případné ladění (formant tuning) s harmonickými složkami (Miller a Schutte, 1993; Švec et al., 2008; Garnier et al., 2012).

Nejvýraznější změnou rejstříků bývá náhlá změna výšky. U trénované skupiny jsou naopak častější plynulé přechody (Roubeau et al., 2009).

Perturbace byly pozorovány zejména v oblasti přechodu (Hirano et al., 1989; Blomgren et al., 1998; Frič et al., 2006; Echternach a Richter, 2012), a odlišovaly jednotlivé rejstříky (Blomgren et al., 1998; Echternach et al., 2011a).

1.5.1 Sumarizace přechodů mechanismů a percepčních rejstříků

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 v práci je možno uvažovat, že typické změny při přechodu mezi dvěma laryngálními mechanismy se projeví náhlou a výraznou změnou barvy a kvality hlasu.

Ostatní, méně výrazné změny lze 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.

1.6 Rezonance hlasu

Ve vokologické literatuře často citované definice (Verdolini et al., 1998; Titze, 2004; Smith et al., 2005) popisují rezonovaný hlas jako souhrn vlastností: A) percipovaný jako dobře nosný (nesený, „projected“), B) lehce tvořený, C) přiměřeně hlasitý, D) s pocitem vibrací v oblasti tváře.

„Správná“ rezonance hlasu jedna ze základních technik tvorby mluvního i zpěvního hlasu. Samotný efekt rezonance se spojuje zejména s taktilní percepcí kmitáním hrudního koše a kostí hlavy (v tzv. „masce“). (Havlík, R. et al., 2007; Sellars, C. et al., 2002; Simberg, S. et al., 2007; Verdolini, K. et al., 2000; Verdolini-Marston, K. et al., 1995; Barrichelo, V. M. et al., 2007; Havlík, R. et al., 2007; Titze, I. R., 2004; Verdolini-Marston, K. et al., 1995).

Schopnost vnímání kmitání hrudního koše v hlubokých frekvencích byla dobře dokumentována (Sundberg, 1979; Sundberg, 1991), ale uvedený jev nebyl doložen pro hlavový rejstřík. Tlačený (strained) hlas také způsobuje zvýšení vibrací v oblastech hrtanu i kořene nosu, rezonovaný hlas se ale odlišuje menší percipovanou tenzí (Yiu et al., 2012). Taktilní vnímání vibrací různých částí těla ale nevysvětluje percepci rezonance hlasu posluchačem.

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 (Verdolini et al., 1998).
- 2) **Vytváření extra-formantů.** typická barva profesionálních klasických zpěváků je vytvářena pomocí pěveckého (singer's) formantu, shlukováním 3. až 5. formantu do jednoho (Sundberg, 1974; Sundberg, 2001). U profesionálních mluvčích byl pozorován podobný efekt, tzv. „řečnický“ (speaker's/actor's) formant (Bele, 2006; Leino et al., 2011).
- 3) Efekt **laděním vokálních formantů** - přizpůsobení formantových oblastí 1. a 2. vokálního formantu k výšce hlasu, a tedy naladění na jednotlivé harmonické složky.

Způsob ladění formantů souvisí taky 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.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

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 hlase mezi pěvecky trénovanými a netrénovanými ženami?
 - 1) Jaké jsou percepční, akustické a funkční rozdíly?
 - 2) Jaké jsou vztahy mezi percepčními vlastnostmi pěvecky trénovaného hlasu a objektivními parametry měření hlasu?

3 METODY ZPRACOVÁNÍ

Experimentální část obsahuje dva psychoakustické experimenty. Cílem prvního bylo rozeznat a objektivizovat poruchy hlasu u mužů. Cílem druhého bylo nalezení vztahů mezi kvalitativními vlastnostmi pěvecky trénovaného hlasu u žen a měřenými parametry.

3.1 Nahrávky hlasu

Patologický hlas

Nahrávky hlasů 25 dospělých mužů s různou etiologií z databáze hlasových záznamů projektu EUREKA E! 2614 NEWVOICE (řešitel projektu doc. MUDr. František Šram).

Aparatura: elektretový mikrofon (vzdálenost od úst 10 cm) standardní PC zvuková karta (44100 Hz, 16 bit).

Nahrávky obsahovali úkoly: 1) habituální hlas - čtení standardního textu; **2) „zpěvního hlasového pole“** (slabika „má“ v celém tónovém a dynamickém rozsahu); **3) co možno nejhlasitějšího zvolání** věty „Podejte mi pásku“.

Efekt pěveckého tréninku

Nahrávky studentek Ped. fakulty UK v Praze: 7 pěvecky **trénovaných** (klasický operní styl na úrovni konzervatoře) studentek; 9 **netrénovaných** studentek (nezpěvaček):

Aparatura: kondenzátorový mikrofon Sennheiser ME2, 30 cm od úst, zvuk. karta M-audio Fast track Ultra, (48 kHz, 16 bit), elektroglografický signál - Laryngograf EGG-D100

Úkoly: 1) **habituální mluvní hlas**; 2) **hlasité čtení**; 3) **gradace volání** slova „máma“; 4) **Zpěv tónových stupnic** ; 5) **Zpěv lidové písně** („Já do lesa nepojedu“) v tóninách (a, d´, fis´ – dur),

3.2 Poslechové testy

Poslechové testy byly provedeny v laboratoři experimentální psychoakustiky Výzkumného centra hudební akustiky HAMU. pomocí sluchátek Sennheiser HD 580 precision.

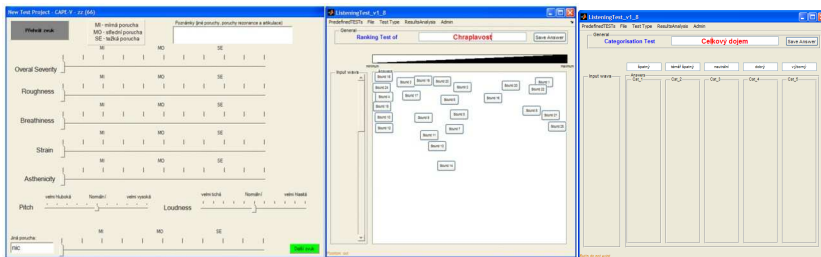
Rozhraní (viz Obrázek 3-1) pro hodnocení GRBAS škál bylo připraveno v software LiTEd (Otčenášek et al., 2010). Ostatní poslechové testy seřazovací a škálovací a kategorizační byly prováděny v autorem studie vytvořeném software ListeningTest v prostředí MATLAB.

Patologický hlas

Poslechových testů se zúčastnili 4 posluchači, z toho 2 zkušenější a 2 bez výraznějších zkušeností..

Hodnocena byla sekvence 5 vět, 10 bodové vizuální škále s posunem 0,5 dílku. Hodnocené vlastnosti: **celková porucha** (Grade), **chruplavost** (Roughness), **dyšnost** (Breathiness), **napětí** (Strain), **hlasová slabost** (Asthenicity), **abnormalita výšky** a **hlasitosti**. **Tmavost** a **šířka** byly hodnoceny v seřaďovacím a škálovacím testu.

Podrobnější popis vlastností hlasu se zaměřením na přechod mezi hlasovými rejstříky, prováděl jenom autor práce.



Obrázek 3-1 Grafické rozhraní použitých software pro provádění poslechových testů. Vlevo hodnocení GRBAS škál, uprostřed seřazovací a škálovací test (VARR), vpravo kategorizační test.

Efekt hlasového tréninku

Poslechového testu se účastnili 2 zkušení hodnotící. U mluvního hlasu byly hodnoceny středové části - jedna úplná věta. Hodnocené vlastnosti: **celkový dojem** (kategorizační test), seřaďovací a škálovací test (VARR): míra **rezonance** a v dimenzích **světlý ↔ tmavý** a **volný ↔ napjatý**.

Hodnocení vlastností zpěvu bylo provedeno na prvním verši zpěvu lidové písně ve dvou tóninách (d', fis'dur). Hodnocené vlastnosti: **technika zpěvu** (kategorizační test), VARR testy: **rezonance hlasu**; dimenze **světlý ↔ tmavý**.

3.3 Segmentální parametrizace akustického a EGG signálu

Zpracování nahrávek bylo v postprocessingu pomocí systému RealVoiceLab (RVL) (Frič et al., 2012): 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.

Pro všechny segmenty byly vypočteny parametry: hlasové pole: základní frekvence (F0) převedené na pŕiltóny midi a hladiny akustického tlaku (SPL); spektrální parametry: hladina první harmonické složky akustického spektra (H1), rozdíl hladin první a druhé harmonické složky (dHa1Ha2), těžiště spektra (COGamp, COG0k25, COG25k, COGharm), hladina a pozice maxima v pásnu pěveckého formantu 2-4 kHz (FSH, LFSH), parametry

vyváženosti spektra (SPR, ER, Alfa poměr), frekvenční poloha (Fn), zesílení (An), a šířka pásma formantů (Bn) dle LPC analýzy, vzdálenost k nejbližší harmonické složce (FTn), hladina prvního vrcholu keprstrální 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 (jenom u nahrávek studentek) obsahovala výpočet kontaktní koeficient hlasivek (CQEGG) pomocí standardizovaného programu Speech Studio verze 4.1.0.

Editace záznamů hlasových polí

Naměřené segmenty hlasových polí byly v softwaru RealVoiceLab ručně a poloautomaticky editovány s cílem odstranit rušivé signály a segmenty s rychlou změnou nebo nestabilitou měření výšky nebo intenzity hlasu v čase.

3.4 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 (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 měřených parametrů s percepčními hodnoceními hlasu byla použita faktorová analýza a mnohonásobná lineární regrese, obě ve statistickém programu Statistica 6.0. Nalezené faktory faktorové analýzy 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

Porovnání hlasových polí trénovaných a netrénovaných zpěvaček, jakož i všechny korelace SPL a výškových kontur hlasových polí s percepčními vlastnostmi byly prováděny 2 způsoby:

1) V **absolutních** naměřených hodnotách. SPL kontury byly určeny pro konkrétní výškovou polohu jako minimální a maximální hodnoty SPL, pro výškové kontury byly pro konkrétní hodnoty SPL nalezeny minimální a maximální naměřené výšky;

2) Při **normalizaci** byly od naměřených hodnot výšek a SPL hlasu odečteny hodnoty průměrné výšky a SPL habituálního hlasu daného 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.

Porovnání a korelace měřených parametrů při zohlednění polohy v hlasovém poli

V této práci byly porovnávány a korelovány akustické parametry třemi způsoby: 1) průměrné hodnoty parametrů (nejdříve byly parametry testovány na normální rozložení pomocí Kolmogorov-Smirnova testu); 2) průměrné hodnoty měřených parametrů vzhledem k výšce a 3) průměrné hodnoty vzhledem 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 pozici v hlasovém poli mohou být též korelovány s externím parametrem (výsledky poslechových testů). 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 výše uvedeným způsobem je testováno současně vícero hypotéz byla na souběžně vyhodnocované hypotézy aplikována zjednodušená Bonferroniho korekce. Cílená hladina statistické významnosti ($p < 0,05$) byla vydělena počtem testovaných hypotéz (Hendl, 2004). Výsledky korelací a t-testů, kde vyšla hladina statistické významnosti $p < 0,05$, ale následně nevyhověla Bonferroniho korekci, jsou v práci interpretovány jako trendové.

4 VÝSLEDKY

4.1 Patologický hlas mužů

4.1.1 Vztah parametrů hlasových polí s patologickými vlastnostmi hlasu

Korelace mezi parametry **habituálního hlasového pole** a percipovanými vlastnostmi patologie hlasu ukázala jenom slabé korelace s hladinou významnosti $p < 0,05$. Zjištěná byla kladná korelace mezi výškou hlasu a napětím hlasu, hladina akustického tlaku výrazněji ($p < 0,01$) záporně korelovala s dyšností a slabě s astenií.

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.

Zajímavý trend ukázala plocha celkového zpěvního 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).

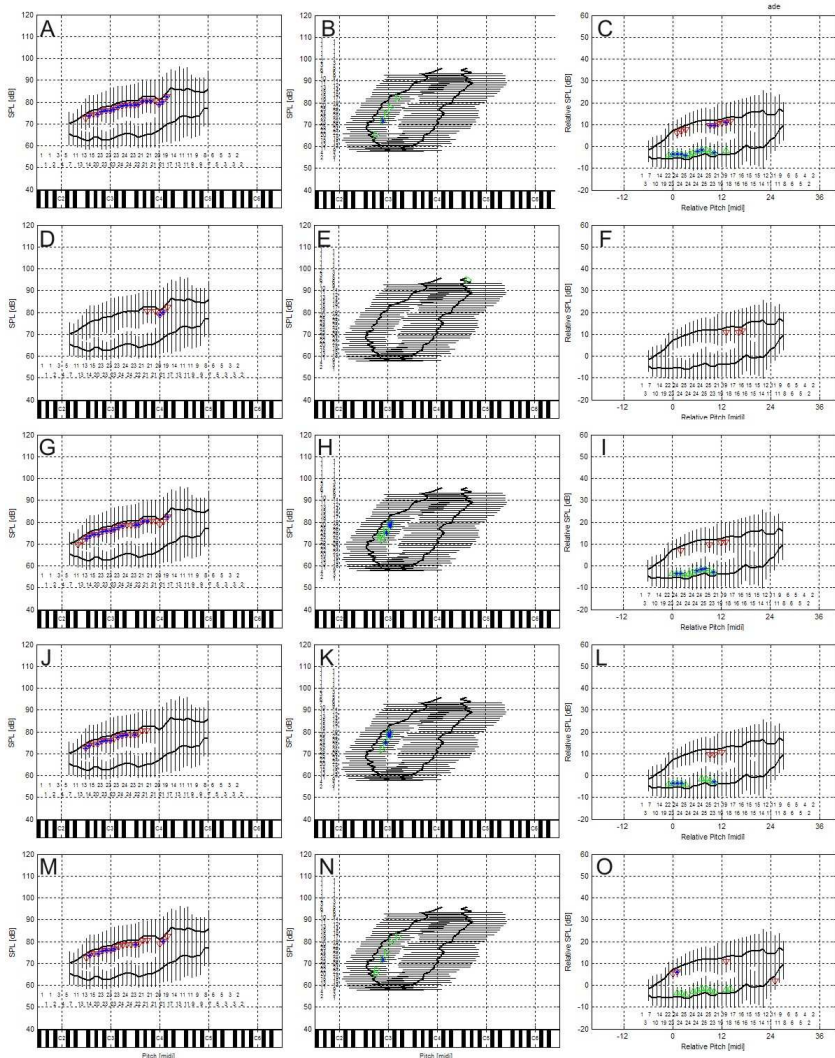
Po normalizaci hlasových polí zpěvu stupnic a volání se ukázalo, že čím více pacient dokázal zvýšit SPL hlasu u zpěvu nad svou průměrnou SPL, tím menší mírou poruchy hlasu trpěl.

Variabilita 25 naměřených parametrů hlasových polí byla pomocí faktorové analýzy rozdělena do 5 nezávislých faktorů (vysvětlovaly 84,66% variability). Mnohonásobná lineární regrese GRBAS hodnocení s výše uvedenými výsledky faktorové analýzy byly interpretovány následovně:

1) **Stupeň celkové poruchy a dyšnost** zejména snižují celkový tónový rozsah, plochu zpěvního VRP, plochu VRP nad maximem volání. 2) **Chraplavost** nebyla interpretovatelná pomocí mnohonásobné lineární regrese. 3) **Dyšnost**, na rozdíl od celkové poruchy, ještě snižuje minimální SPL habituálního hlasu a maximální výšku hlasu při volání. 4) **Astenie** se projevovала podobně jako celková porucha. 5) **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

Korelace měřených kontur hlasových polí **habituálního hlasu** nepřinesla významné vztahy s percepčními vlastnostmi.



Obrázek 4-1 Korelace percepčních hodnocení s obrysovými křivkami zpěvního hlasového pole: A-C) celková porucha hlasu, D-F) chraptavost, G-I) dyšnost, J-K) astenie, M-O) napětí hlasu. Absolutní SPL kontury (levý sloupec), absolutní výškové kontury (střední sloupec). Normalizované SPL kontury (pravý sloupec).

Na **zpěvním hlasovém poli** (viz Obrázek 4-1) se celková porucha hlasu projevila v zeslabení horní SPL kontury v rozsahu cca F – d'. Při

normalizace SPL kontury se projeví zeslabením maxim SPL v oblasti kolem jedné oktávy nad ZHP a neschopností zeslabovat hlas téměř v celé jedné oktávě nad ZHP. Chraplavost nesouvisela s tvarem hlasového pole. Dyšnost se projevovala podobně jako celková porucha a také významně zvyšovala polohu absolutní hluboké výškové kontury v oblasti 75-85 dB. Astenie se projevovala velmi podobně jako dyšnost. Napětí hlasu se významně projevovalo snižováním horní SPL kontury v oblasti G – c (G2-C3).

4.1.2 Vztah akustických parametrů s patologickými vlastnostmi hlasu

U **habituálního** čtení většina měřených parametrů ukázalo významné vztahy s průměrnou výškou a intenzitou. Korelace parametrů vykazují 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)) a záporně s prvním cepstrálním vrcholem (CP~1).

U **zpěvu stupnic** 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 voice turbulence index (VTI) a G, B škálami. 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.

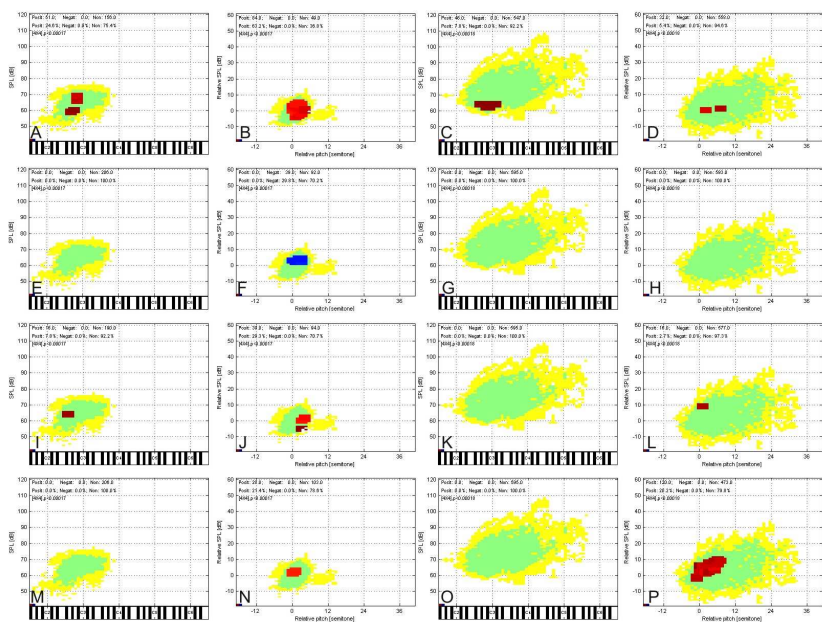
Faktorová analýza rozdělila akustické parametry do 6 faktorů, mnohonásobná lineární regrese hodnocení GRBAS škál v uvedených 6 faktorech ukázala, že všechny škály poruchy hlasu souvisí se zvětšováním perturbačních charakteristik hlasu a snižováním hladiny prvního cepstrálního vrcholu. Celková porucha, 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.

Korelace akustických parametrů s hodnocením patologických vlastností hlasu při zohlednění pozice v hlasovém poli

Korelace akustických parametrů při zohlednění pozice v hlasovém poli se stupněm **dyšnosti** (viz **Obrázek 4-2**) 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 byla korelující plocha výraznější vždy v okolí základní polohy hlasu. Po normalizaci koreloval pozitivně i parametr sklon spektra v pásmu 0,4-4 kHz a negativně první cepstrální vrchol.

Korelace parametrů ve zpěvním hlasovém poli ukázala, že statisticky významně koreluje Jitter s dyšností jenom v oblasti habituálních poloh

a v tiché dynamice. Při normalizaci byla kladná korelace taky v oblasti habituální polohy a navíc se ukázala významná i poloha cca půl oktávy nad základní polohou hlasu v habituální intenzitě.



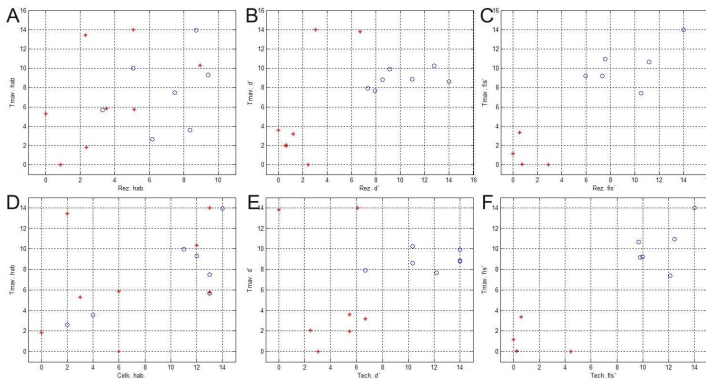
Obrázek 4-2 Korelace akustických parametrů a dyšností při zohlednění pozice v hlasovém poli ($p < 0,05$ se zohledněním Bonferroniho korekce), levé dva sloupce pro habituální hlas, pravé dva sloupce pro měření zpěvního hlasového pole, 1. a 3. sloupec ukazují naměřená hlasová pole, 2. a 4. sloupec normalizovaná 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.

4.2 EFEKT PĚVECKÉHO TRÉNINKU U ŽEN

4.2.1 Poslechové hodnocení hlasu

Společné vyhodnocení korelací každé z vlastností pro habituální hlas a obě tóniny zpěvu ukázala, že technika zpěvu významně koreluje v obou tóninách zpěvu, ale nesouvisí s celkovým hodnocením habituálního hlasu. Rezonance měla 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.



Obrázek 4-3 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.

Porovnání rozložení subjektů v dimenzích světlost – tmavost versus rezonance (viz Obrázek 4-3) ukazuje, že při hodnocení habituálního hlasu (část A) se u tmavosti ukazuje náhodné rozložení zpěvaček a nezpěvaček, tato vlastnost závisí hlavně na výšce hlasu. Naproti tomu, při hodnocení míry rezonance dosahují zpěvačky v průměru lepší hodnocení. Ve zpěvním hlase v d'-dur, (část B) se umístily zpěvačky uprostřed mezi velmi světlými a velmi tmavými hlasy netréované 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 rozložení u habituálního hlasu (část D), a postupně výraznější oddělování zpěvaček od nezpěvaček s narůstající výškou zpěvu (části E a F).

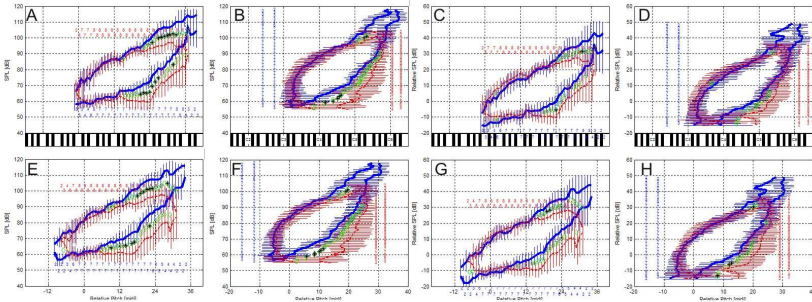
4.2.2 Porovnání parametrů hlasových polí a vztah se subjektivním hodnocením

Hlasové pole habituálního hlasu

Porovnání kontur hlasového pole neukázalo žádné významné rozdíly mezi trénovanými zpěvačkami a nezpěvačkami.

Zpěvní hlasové pole

Porovnání parametrů celkového zpěvního hlasového pole mezi zpěvačkami a nezpěvačkami ukázala statisticky významný rozdíl jenom u parametru maximální dosahované intenzity hlasu (o 10 dB) a trend zvýšení dynamického rozsahu hlasu u trénovaných žen.



Obrázek 4-4 Statistické porovnání SPL a výškových kontur zpěvního 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 4-4 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 na průměrnou výšku hab. 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 pultónů nad základní polohou hlasu. Normalizace na průměrnou intenzitu hab. hlasu (viz části C a D) však dokladuje, že uvedené rozdíly při zohlednění intenzity jsou jenom trendové.

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.

4.2.3 Porovnání měřených parametrů a jejich rozložení v hlasovém poli

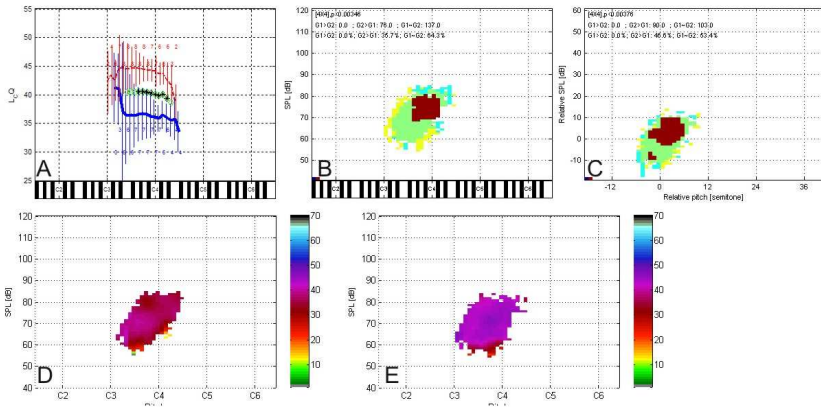
Habituální hlas

Obrázek 4-5 ukazuje porovnání CQEGG vzhledem na rozložení podél naměřené výšky hlasu a s ohledem na pozici v hlasovém poli absolutní a normalizované hodnoty. 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.

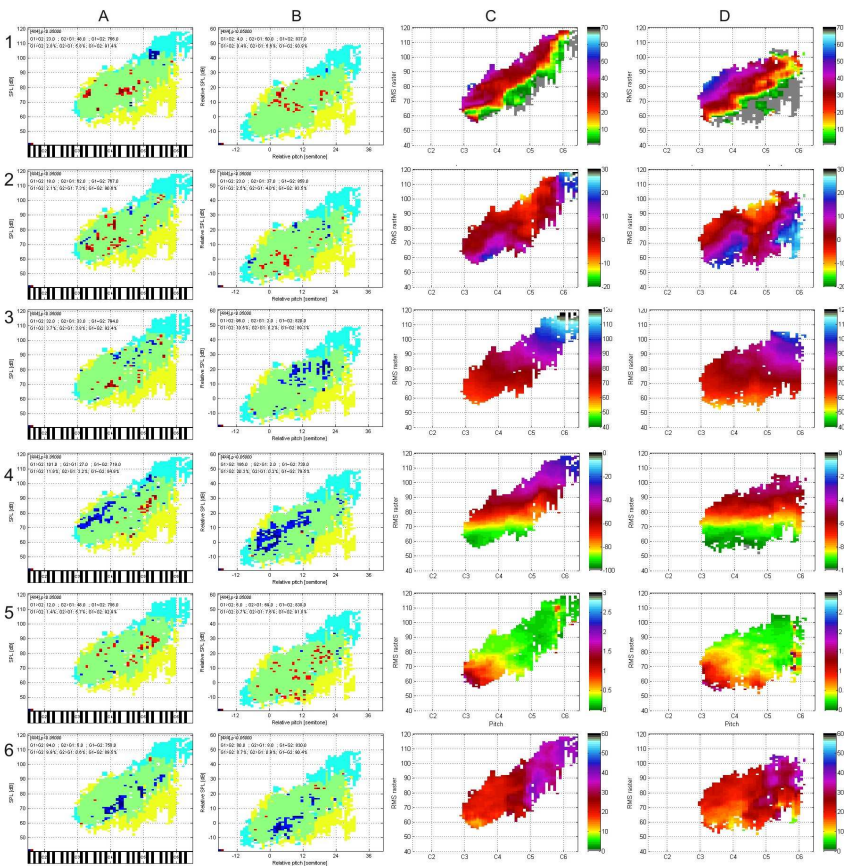
Zpěv stupnic

Statistické porovnání průměrných hodnot naměřených parametrů mezi skupinami u **zpěvu stupnic** prokázalo, 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.



Obrázek 4-5 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 základní polohu habituálního hlasu. Zobrazení průměrných hodnot CQEGG vzhledem na pozici v hlasovém poli: D) pro trénovanou skupinu, E) pro netréovanou skupinu.

Trendové porovnání průměrných hodnot CQEGG s ohledem na polohu v hlasovém poli ukazuje Obrázek 4-6. Samotné zobrazení průměrných hodnot CQEGG vzhledem na pozici v hlasovém poli (části C a D) odhaluje, že nezpěvačky ve větší části hlasového pole odpovídající jejich nejtišší 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 dovoření hlasivek podstatně menší a v zásadě kopíruje spodní hranici nejtišší dynamiky.



Obrázek 4-6 Trendové porovnání 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 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 (sloupec C) a pro nezpěvačky (sloupec D). Měřené parametry jsou uvedeny v řádcích: 1) CQEGG, 2) rozdíl hladin první a druhé harmonické složky, 3) hladina první harmonické složky, 4) maximální hladina pásma pěveckého formantu, 5) ShdB, 6) zesílení 2. formantu. 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.

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 rozdíl sjednotí a vyšší hladiny mají jenom zpěvačky v hlasité dynamice celé horní polovině tónového rozsahu. Střední a vysoké polohy hlasu u nezpěvaček obecně ukazují větší perturbace oproti trénovaným zpěvačkám, výrazné zvýšení ShdB (a podobně Jitt) je přitom patrné zejména v tiché a střední dynamice nezpěvaček.

Parametry maximální hladiny pásma pěveckého formantu (LFSH) ukazují 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. 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.

4.2.4 Vztah měřených a percepčních parametrů

Habituální hlas

Korelace průměrů měřených parametrů s percepčními parametry a průměrnou výškou a SPL u habituálního hlasu ukázala, že při parametrizaci habituálního hlasu velká většina parametrů závisela na průměrné výšce anebo také na SPL habituálního 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.

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

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'úr 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'úr 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'úr byla rezonance spjata s poklesem SPI (poklesem slabosti hlasu), nárůstem SPR, polohy a zesílením 4. resp. pěveckého formantu, tím pádem i zvýšení polohy těžiště v pásmu 2–5 kHz. Při rezonanci ve fis'úr byly zásadní i zvýšené polohy 2. a 3. formantu.

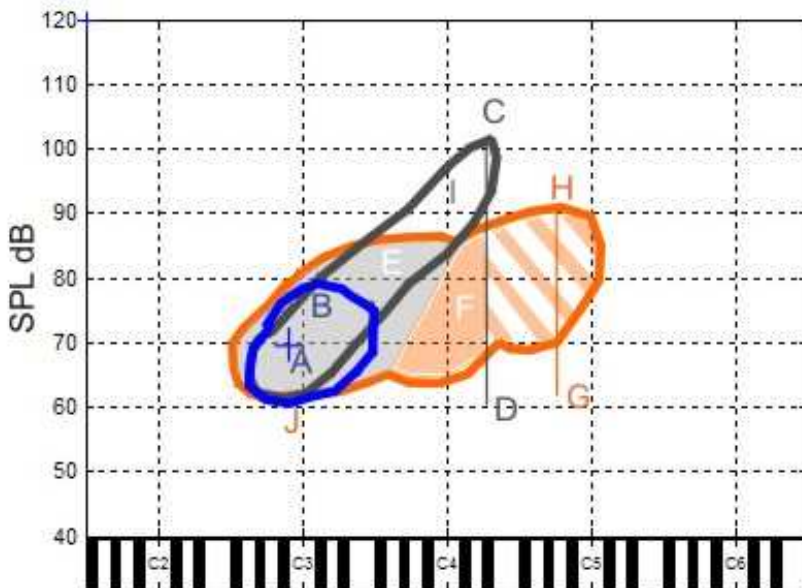
5 ZÁVĚRY EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Patologie hlasu

Z experimentů týkajících se hodnocení patologických hlasů zaměřených na základní projevy poruchy hlasu 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.



Obrázek 5-1 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 textu níže.

Parametrizace hlasových polí ukázala zásadní vztahy s vnímanou poruchou hlasu, souhrnně tyto vztahy vyjadřuje Obrázek 5-1:

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 *dyšností*, *slabostí* a *celkové poruchy* hlasu; dynamický rozsah (bod D) se snižuje s nárůstem *dyšností* 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 *dyšností*.

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 *chraptavostí* 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 *astenii*. 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 *dyšností* a *astenii*, 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.

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. Je to významný orientační bod, na který by se měl zaměřit vyšetřující. Vyšetření hlasového pole by mělo být 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.

Efekt pěveckého tréninku

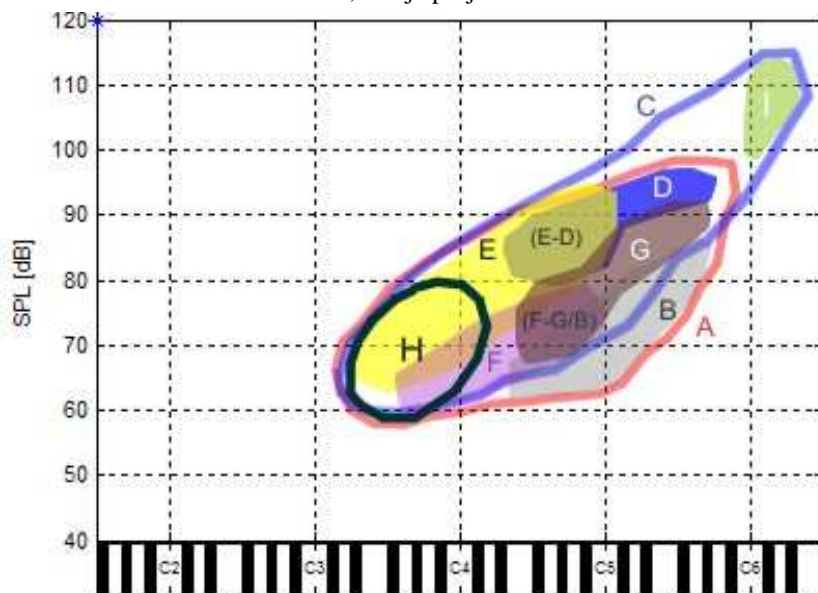
Poslechové hodnocení habituálního hlasu a zpěvu lidových písní pěvecky trénovaných a netrénovaných studentek ukázalo, že nejlépe konzistentní byla hodnocení rezonance habituálního hlasu a zpěvu písně v d'đur a celkové hodnocení habituálního hlasu.

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.

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.



Obrázek 5-2 Schematické porovnání hlasových polí pěvecky trénovaných (modrá křivka) a netrénovaných (červená křivka) žen se znázorněním oblastí se zásadními rozdíly. H a černá křivka – oblast habituálního hlasu, ostatní viz text níže.

Porovnání vlastností hlasového pole odhalilo zásadní rozdíly mezi zpěvačkami a nezpěvačkami (schematické zobrazení výsledku viz Obrázek 5-2):

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 (hnědá oblast G) měly **nezpěvačky výraznější perturbační parametry** hlasu, ale i **zvýšené hladiny pěveckého formantu** – interpretováno jako více tlačení hlasu.

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 – pravděpodobná změna percepčního rejstříku na základě **rezonančního přechodu** do oblasti **hlavového** (upper) rejstříku.

Přechod (F-G/B) je spíše typický pro **netrénovaný hlas**, kde výrazně **klesá koeficient uzavření hlasivek** - 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 oblastí pěveckého formantu**, jedná se o přechod do **tlačeného (neresonovaného) hlasu (oblast G)**.

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.

6 VÝSLEDKY A PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Předkládaná práce shrnuje současné poznání problematiky lidského hlasu. Přehled je zaměřen na poznatky o subjektivním hodnocení a o objektivně měřených parametrech popisujících vlastnosti hlasu.

Pro hodnocení patologického hlasu je prezentován původní protokol „Hodnocení patologického hlasu“, který se stal součástí výuky klinických logopedů.

Při řešení problémů práce byl autorem naprogramován původní software RealVoiceLab. Ten tvoří základ Systému vzdáleného přístupu k analýze hlasu, využíván v klinické praxi i ve výzkumu hlasu.

Přehled experimentálních prací o hlasových rejstřících podporuje nutnost 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.

Studie jednoznačně dokumentuje, že při poruše hlasu u mužů se snižuje horní SPL kontura v oblasti modálního rejstříku. U klasického pěveckého tréninku se naopak zvyšuje horní SPL kontura v oblasti ženského hlavového percepčního rejstříku. Se zhoršujícím se organickým poškozením hlasu se zvýrazňuje výškové a intenzivní oddělení modálního a falzetového rejstříku, u velkých poruch se úplně ztrácí schopnost tvořit falzet.

U pěvecky trénovaných žen je přechod do vyššího rejstříku charakteristický zvýrazněním rezonance hlasu, což je způsobeno zejména posílením spektrálních částí oblastí první harmonické složky a pěveckého formantu – typickými projevy rezonovaného zvonivého (ringing) hlasu.

Jako důležitý výstup práce je vytvoření databáze nahrávek využitelných jako zácvkové 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. Testy budou zpřístupněny odborné veřejnosti.

7 SEZNAM V TEŽÍCH POUŽITÉ LITERATURY

- 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> 15.7.2009
- BELE I. V. (2005). Reliability in perceptual analysis of voice quality. *J Voice*, Vol. 19, No. 4, pp. 555-73.
- BELE I. V. (2006). The speaker's formant. *J Voice*, Vol. 20, No. 4, pp. 555-78.
- 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.
- BLOOTHOOFT G., PLOMP R. (1988). The timbre of sung vowels. *J Acoust Soc Am*, Vol. 84, No. 3, pp. 847-60.
- 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.
- ECHTERNACH M., RICHTER B. (2012). Passaggio in the professional tenor voice--evaluation of perturbation measures. *J Voice*, Vol. 26, No. 4, pp. 440-6.
- 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.
- 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.
- 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.
- ERICKSON M. L. (2003). Dissimilarity and the classification of female singing voices: a preliminary study. *J Voice*, Vol. 17, No. 2, pp. 195-206.
- FANT G.M. (1960). *Acoustics theory of speech production*. 's-Gravenhage: Mouton and Co. ISBN 9027916004
- 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.
- HENDL J. (2004). *Přehled statistických metod zpracování dat*. Praha: Portál. ISBN 80-7178-820-1
- HENRICH N. (2006). Mirroring the voice from Garcia to the present day: Some insights into singing voice registers. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-14.
- 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.
- HENRICH N., DOVAL B., CASTELLENGO M. (2003). 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.

- HERBST C. T., HOWARD D., SCHLOMICHÉ-THIER J. (2010). Using electroglottographic real-time feedback to control posterior glottal adduction during phonation. *J Voice*, Vol. 24, No. 1, pp. 72-85.
- HERBST C. T., QIU Q., SCHUTTE H. K., SVEC J. G. (2011). Membranous and cartilaginous vocal fold adduction in singing. *J Acoust Soc Am*, Vol. 129, No. 4, pp. 2253-62.
- 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.
- HIRANO M. *Psychoacoustic evaluation of voice: GRBAS scale for evaluating the hoarse voice*. Clinical Examination of Voice. Vienna: Vienna Springer; 1981. p. 81-4.
- 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.
- HOLLIE H. (1972). *On Vocal Registers*. Gainesville, Florida. University of Florida, Communication Science Laboratory. Report No.: V.10, N.1.
- KAYPENTAX (2008) *Multi-Dimensional Voice Program (MDVP)*, Model 5105 [computer program]. Lincoln Park: KayPentax, A division of PENTAX Medical Company; 2008.
- 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.
- 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.
- LAVER J. (1991). *The gift of speech*. Edinburgh University Press. ISBN 978-0748603138
- 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.
- MELKA A. (2005). *Základy experimentální psychoakustiky*. Akademie múzických umění v Praze. ISBN 80-7331-043-0
- MILLER D.G. (2000). *Registers in Singing. Empirical and Systematic Studies in the Theory of the Singing Voice*. Disertační práce. Groningen: University of Groningen.
- MILLER D. G., SCHUTTE H. K. (1993). Physical definition of the "flageolet register". *J Voice*, Vol. 7, No. 3, pp. 206-12.
- MURPHY P. J. (2006). Spectral noise estimation in the evaluation of pathological voice. *Logoped Phoniatr Vocol*, Vol. 31, No. 4, pp. 182-9.
- 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.
- OTČENÁŠEK Z. (2008). *O subjektivním hodnocení zvuku*. 1. ed. Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-113-1
- 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.
- 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.
- SHEWELL Ch. (2009). *Voice Work: Art and Science in Changing Voices*. Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-470-01992-4

- 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.
- SUNDBERG J. (1974). Articulatory interpretation of the "singing formant". *J Acoust Soc Am*, Vol. 55, No. 4, pp. 838-44.
- SUNDBERG J. (1979). Chest vibration in singers. *STL-QPSR*, Vol. 20, No. 1, pp. 49-64.
- SUNDBERG J. (1991). Phonatory vibrations in singers. A critical review. *STL-QPSR*, Vol. 32, No. 1, pp. 37-51.
- SUNDBERG J. (2001). Level and center frequency of the singer's formant. *J Voice*, Vol. 15, No. 2, pp. 176-86.
- ŠVEC J.G. (1996). *Studium mechanicko-akustických vlastností zdroje lidského hlasu*. Dizertační práce. Palackého Univerzita Olomouc.
- ŠVEC, J. G., SUNDBERG, J., and HERTEGÅRD, S. (2008). Three registers in an untrained female singer analyzed by videokymography, strobolarinoscopy and sound spectrography. *J Acoust Soc Am*, Vol. 123, No. 1, pp. 347-353.
- SYROVÝ V. (2008). *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-127-8
- 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
- TITZE I.R. (2000). *Principles of Voice Production*. Denver: National Center for Voice and Speech. ISBN 0-87414-122-2
- TITZE I. R. (2001). Acoustic interpretation of resonant voice. *J Voice*, Vol. 15, No. 4, pp. 519-28.
- 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.
- UEP. (1978). Union of the European Phoniaticians: *Recommendation for the Assessment of the Voice Disorders*. Praha. Jyväskylä .
- UHLÍŘ J., SOVKA P., POLLAK P., HANŽL P., ČMEJLA R. (2007). *Technologie hlasových komunikací*. 1 ed. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-03888-8
- 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.
- 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.
- 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.

8 SEZNAM PRACÍ DISERTANTA

Práce disertanta vztahující se k tématu disertační práce

Publikace v impaktovaných časopisech:

Nebyly publikovány

Recenzované časopisy:

1. FRIČ M., KADLECOVÁ K. A. (2012) [85-15]. 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. (2010) [90-10]. Přehled metodických postupů subjektivního popisu vlastností hlasových projevů v oblasti poruch, patologie a terapie hlasu. *Otorinolaryng a Foniatrie*, Vol. 59, No. 4, pp. 214-24.
4. FRIČ M. (2010). Metody subjektivního (percepčního) popisu vlastností hlasu a popisované parametry. *Disk*, Vol. 33, pp. 107-20.

Patenty

Nebyly publikovány

Publikace excerpované WOS

Nebyly publikovány

Kapitoly v monografiích:

5. FRIČ M., DRŠATA J. (2010) [90-10]. *Akustické metody vyšetření hlasu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie - hlas. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; 2010. p. 74-82.
6. FRIČ M., KUČERA M., VYDROVÁ J., ŠVEC J. (2010) [25-25-25-25]. *Fyziologie a funkce hrtanu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie-hlas. 1 edn. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; 2010b. p. 42-50.

Sborníky konferencí:

7. FRIČ M, OTČENÁŠEK Z, KADLECOVÁ K. (2011) [70-15-15]. Poslechové hodnocení vlastností zpěvu - předběžná studie. In: *Proceedings of the 6nd International Symposium Material - Acoustics - Place 2011*. Technical University in Zvolen. p. 83-93. ISBN: 978-80-228-2258-9.
8. FRIČ M, OTČENÁŠEK Z, SYROVÝ V. (2010c) [80-15-5]. 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.

9. 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.
10. FRIČ M. (2008a). Porovnání hlasových parametrů hlasových polí u hlasových profesionálů a začínajících studentů herectví. *In: Proceedings of the 4th International Symposium Material -Acoustics - Place 2008*. Zvolen: Technical University in Zvolen. p. 47-52. ISBN: 978-80-228-1911-4.

Technologické listy

11. FRIČ M., KULHÁNEK T., HRB J. (2012) [40-30-30]. Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu RealVoiceLab. Praha: MARC-Technologický list čís. 46, Výzkumné centrum hudební akustiky HAMU.
12. OTČENÁŠEK, Z., FRIČ, M., HRB, J., ŠTĚPÁNEK, J., PROKOP, J. (2010) [20-15-10-10-45]. LiTEd - Software for editing, execution and results collection of listening tests. Praha: MARC-Technologický list čís. 36, Zvukové studio HAMU.

Ostatní publikace:

Recenzované časopisy:

13. KULANOVÁ, A. and FRIČ, M. (2012) [70-30]. Komparácia nácvuových a počítačových akustických hodnotení speváckych vlastností hlasu. *DISPUTATIONES SCIENTIFICAE UNIVERSITATIS CATHOLICAE IN RUŽOMBEROK*, Vol. 12, No. 2, pp. 79-98.
14. LEJSKA M., HAVLÍK R., FRIČ M., PRIECHODSKÁ-ŠIROKÁ A. (2012) [35-25-30-10]. Porovnání pěveckých technik sólového a sborového zpěvu. *Otorinolaryng a Foniat*, Vol. 61, No. 1, pp. 44-52.

Publikace excerpané WOS

15. 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: University of Technology, p. 394-397.

Kapitoly v monografiích:

16. FRIČ M., DRŠATA M., ŠVEC J., ČERNÝ L (2010) [25-25-25-25]. *Ostatní metody vyšetření hlasu*. In: LEJSKA M., SOPKO J., ŠRAM F., editors . Foniatrie-hlas. 1 edn. Havlíčkův Brod: TOBIÁŠ; p. 84-94.
17. KUČERA M., FRIČ M., HALÍŘ M. (2010) [45-35-20]. *Praktický kurz hlasové rehabilitace a reedukace*. Opočno: ORL ambulance - centrum hlasových poruch v Rychnově nad Kněžnou. ISBN 978-80-254-6592-9

Sborníky konferencí:

18. FRIČ M., ŠRAM F., ŠVEC J.G. (2006a) [70-20-10]. Diplofónia – komplexné kmitanie hlasivek prezentované vo videokymografii a vysokofrekvenčnej laryngoskopii. In: *Proceedings of the 2nd International Symposium Material -Acoustics - Place 2006*. Zvolen: Technical University in Zvolen, p. 65-8. ISBN: 80-228-1653-1.
19. FRIČ M., ŠRAM F., ŠVEC J.G. (2006b) [70-20-10]. 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.
20. KADLECOVÁ K.A., FRIČ M. (2012) [80-20]. 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.

Technologické listy

21. FRIČ M., KADLECOVÁ K., SZYMIKOVÁ R. (2007) [50-20-30]. Záznam mluvního a zpěvního hlasu pro psychoakustické analýzy. Praha: MARC-Technologický list čís. 13, Zvukové studio HAMU.

Vybrané aktivity disertanta

Práce vznikla za podpory IRP AMU, projektu 1M0531 Výzkumné centrum hudební akustiky a projektů Fondu rozvoje CESNET: 384/2010, 423/2011 a 465R1/2012.

Znamé ohlasy publikovaných prací

Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu RealVoiceLab – využívají klinické a vědecko-vzdělávací instituce v ČR a na Slovensku.

Publikace 4, 7, 8, 10 a 17 byly citované a Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu RealVoiceLab byl využitý pro analýzu nahrávek hlasu v disertační práci A. Kulanové: *Hlasová výchova liturgických spevákov na Slovensku*, Katolícké Univerzity v Ružomberku, 2012.

Publikace 3, 5, 8 a 16 byly citované a Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu RealVoiceLab byl využitý pro analýzu nahrávek hlasu v disertační práci V. Krasňanové: *Porucha hlasu a jej vplyv na kvalitu života*, Univerzita Komenského v Bratislavě, 2013.

9 SUMMARY

This thesis summarizes latest findings of psychoacoustics research of the voice mainly from experimental studies. It provides an overview of the properties evaluated at pathological and professional voice. The work summarizes the measurement of voice properties in connection with the use of acoustic methods. It focuses mainly on the voice range profile, but other methods used in the present study, such as elektrogloottography. The work presents an overview of knowledge of voice registers and resonant voice, where the study also supports the need for a separate distinction between perceptual registers and vibration mechanisms.

In the experimental part the work focuses on subjective evaluation and objective documentation of pathological voice qualities in men and effect of singing training on the voice in women.

The thesis states new methods for the analysis of an objective measurement with a focus on the position in the voice range profile and the benefits of normalization of measured data considering the basic position of habitual voice.

Results of the work bring fundamental knowledge in the use of the voice range profile in the diagnosis of voice disorders. Voice pathology in males showed an inability to amplify the voice in the chest/modal register. Singing training in women on the other hand expressed a significant ability to amplify the voice in the the head register. Transition regions between voice registers proved to be crucial for the objective evaluation of the voice.

With voice disorders the ability to produce voice in the higher register significantly impairs or even disappears, but in the consequence of the singing training subjects changes the production and voice quality at such a transition.

Listening tests confirmed the significant increase of resonance in singing training, which was connected with amplification of fundamental frequency and singer's formant and overall voice amplification in the transition to the higher half of the vocal range. The pathological voices has emerged as a crucial parameter for assessing the degree of voice disorders the spectral slope in the 0.4-4 kHz band.

It was created "The system of remote access to voice analysis". This system is available for experts via the internet and is used in clinical practice and in voice and speech pedagogy. The work also suggests further possibilities of using the system for research of the voice problems.

10 ANOTACE

Práce shrnuje poslední poznatky psychoakustického výzkumu hlasu. Přináší přehled hodnocených vlastností patologického a profesionálního hlasu. Práce se soustřeďuje na přehled poznatků z experimentálních studií, uvádí přehled měření vlastností hlasu ve spojitosti s použitím akustických metod. Soustřeďuje se zejména na hlasového pole, ale i ostatní metody použité v předkládané studii, jako např. elektrolotografie. V závěru teoretické části práce uvádí přehled experimentálních psychoakustických poznatků o hlasových rejstřících a rezonanci hlasu, kde taky podporuje nutnost samostatného odlišení percepčních rejstříků a vibračních mechanismů.

V experimentální části se práce soustřeďuje na subjektivní hodnocení a objektivní dokumentaci vlastností patologického hlasu u mužů a efektu pěveckého tréninku na hlas u žen.

Práce uvádí nové metody zpracování objektivních měření se zaměřením na pozici v hlasovém poli a také výhodnost použití normalizace měřených dat vzhledem na základní polohu habituálního hlasu.

Výsledky práce přináší zásadní poznatky při využití hlasového pole při diagnostice poruch hlasu. Patologie hlasu u mužů se projevil neschopností zesílit hlas v oblasti hrudního/ modálního rejstříku. Pěvecký trénink u žen se naopak projevil významnou schopností zesílit hlas v oblasti hlavového rejstříku.

Přechodové oblasti mezi hlasovými rejstříky (v studiích pozorovány v okolí jedné oktávy nad základní polohou habituálního hlasu) se ukázaly jako zásadní při objektivním hodnocení hlasu. U poruchy hlasu se výrazně zhoršuje až mizí schopnost tvořit hlas ve vyšším rejstříku, kdežto v následku tréninku se mění způsob a kvalita hlasu při takovém přechodu.

I když objektivní měření u hlasového tréninku ukázaly zejména trendové vztahy, poslechové testy potvrdily významný nárůst rezonance hlasu spojený se zesílením oblasti základní frekvence i části spektra odpovídající pěveckému formantu a tedy celkovému zesílení hlasu při přechodu do vyšší poloviny tónového rozsahu hlasu u trénovaných zpěváků.

U patologických hlasů se ukázal jako zásadní parametr pro hodnocení stupně poruchy hlasu sklon spektra v oblasti 0,4-4 kHz.

Při řešení problematiky práce vznikl Systém vzdáleného přístupu k analýze hlasu dostupný odborné veřejnosti pomocí internetu, který je využíván v klinické praxi i v hlasové a logopedické pedagogice. Práce navrhuje i další možnosti využití uvedeného systému pro výzkum hlasu.