

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

HUDEBNÍ FAKULTA

Hudební umění

Zvuková tvorba

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**SMĚROVOST VYZAŘOVÁNÍ HLASU
U OPERNÍCH A POPOVÝCH ZPĚVAČEK**

Iva Podzimková

Vedoucí práce: RNDr. Marek Frič, Ph. D.

Oponent práce: Ing. Zdeněk Otčenášek, Ph. D.

Datum obhajoby: 6. září 2021

Přidělovaný akademický titul: MgA.

Praha, 2021

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

MUSIC AND DANCE FACULTY

Art of Music

Sound Production

DIPLOMA THESIS

**DIRECTIVITY OF OPERA AND POP SINGERS
VOICE SOUND RADIATION**

Iva Podzimková

Thesis supervisor: RNDr. Marek Frič, Ph. D.

Opponent: Ing. Zdeněk Otčenášek, Ph. D.

Date of defence: 6th of September 2021

Academic degree conferred: MgA.

Prague, 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Směrovost vyzařování hlasu u operních a popových zpěvaček“ vypracovala samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne 30. června 2021

.....

podpis diplomanta

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv nakládání s nimi, je možné pouze na základě licenční smlouvy, tj. souhlasu autora a AMU v Praze.

Poděkování

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucímu práce RNDr. Marku Fričovi, Ph. D. za odborné vedení a konzultace nejen při psaní diplomové práce, ale rovněž článků, za nesmírnou trpělivost a vstřícnost v průběhu mého celého studia a za uvedení do světa vědy. Velmi si toho vážím.

Dále bych ráda poděkovala zpěvačkám, které se účastnily měření v bezodrazové místnosti, jmenovitě: Tereze Burešové, Magdaleně Vaňkové, Evě Esterkové, Magdaleně Mošnerové, Martině Závodné, Simoně Tlusté, Adrianě Žigmundové, Elišce Grohové, Lucii Sopčákové, Adě Bílkové a Tereze Kutrové a za asistenci při měření Ing. Pavlu Dlaskovi. Děkuji také respondentům poslechového testu.

V neposlední řadě velice děkuji své rodině, partnerovi a přátelům za porozumění, trpělivost a podporu nejen při psaní diplomové práce, ale i během celého studia.

Již publikované části předkládané diplomové práce vznikly ve spolupráci na řešení projektu "Subjektivní a objektivní aspekty kvality hudebních zvuků" podpořeného z prostředků Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace, kterou poskytlo MŠMT v roce 2019-2021.

Abstrakt

Práce se zabývá popisem systematických rozdílů směrových vyzařovacích vlastností mezi sopránovými operními a popovými zpěvačkami. Po velmi stručném shrnutí vybraných významných studií o směrovosti vyzařování lidského hlasu, které byly zaměřené i na jiné disciplíny, než na zpěv, popisuje celý proces měření v bezodrazové místnosti a výsledky prezentuje v jednotlivých samohláskách i v celé písni. Součástí je poslechový test, který zkoumá funkčnost teoretických preferencí směru mikrofonu v praxi a slouží jako model pro navazující práci, pro niž jsou zde uvedena rovněž další doporučení.

Klíčová slova:

směrovost lidského hlasu, vyzařování zvuku, popové zpěvačky, operní zpěvačky, akustický experiment, měření v bezodrazové místnosti, vyzařování samohlásek, žánrové rozdíly, poslechový test.

Abstract

The thesis deals with the description of systematic differences of directivity of voice radiation between soprano opera and pop singers. It brings a brief summary of selected important studies on the directivity of human voice radiation, which were focused on disciplines other than singing. Furthermore, it describes the whole measurement process in an anechoic room and presents the results in individual vowels and a song. The part of thesis is a listening test which explores theoretical preferences of microphone placing in practice. It gives recommendations for further measurements.

Key words:

directivity of human voice, sound radiation, pop singers, opera singers, acoustical experiment, measurement in anechoic room, vowels radiation, genre's differences, listening test

Obsah

Úvod	8
1 Metodická část.....	11
1.1 Metodika měření.....	11
1.1.1 Skupina zpěvaček	11
1.1.2 Mikrofonní síť a další použitá technika.....	13
1.1.3 Kalibrace.....	14
1.1.4 Parametrizace a analýza signálu	15
1.2 Metodika originálních analýz písně	16
1.3 Metodika poslechového testu	17
1.3.1 Sestavení testu.....	17
1.3.2 Skupina respondentů.....	20
1.3.3 Použité metody při vyhodnocování poslechového testu	21
2 Výsledky měření a jejich rozbor	22
2.1 Výsledky z analýz nahraných vokálů	22
2.2 Originální výsledky analýz písně	29
2.3 Výsledky poslechového testu.....	36
3 Diskuse.....	41
3.1 Diskuse k výsledkům z analýz nahraných vokálů	41
3.2 Diskuse k originálním výsledkům analýz písně.....	43
3.3 Diskuse k výsledkům poslechového testu.....	44
3.4 Doporučení pro navazující práci	45
4 Závěr	47
Seznam literatury	49
Seznam příloh	52
Příloha č. 1.....	53
Příloha č. 2.....	54
Příloha č. 3.....	55
Příloha č. 4.....	56
Příloha č. 5.....	57

Úvod

Důležitou součástí zájmu vědců po celém světě jsou jak hudební nástroje, tak i lidský hlas, neboť se stále provádějí výzkumy hlasové rekognoskace, umělých zdrojů lidského hlasu nebo například plug-in modifikujících lidský hlas, atd. Nedílnou součástí hlasu je rovněž jeho směrovost vyzařování do prostoru, která je v průběhu času zkoumána na takové úrovni, jakou dovoluje stále se rozvíjející moderní technika a veškeré limitace hlasu.

Přestože směrovost vyzařování hlasu je poněkud zanedbávána oproti směrovosti vyzařování například hudebních nástrojů (srovnáváme-li studie co do počtu), již první experimenty byly provedeny v roce 1938 a ukázaly, že je směrovost vyzařování mužského hlasu závislá na frekvenci. Dokázal, že vpředu vyšší frekvence nad 5600 Hz vyzařují nejvíce pod úhlem 45° a 1000 Hz a nižší naopak pod úhlem -45° . Dále byly popsány nežádoucí jevy při umístění mikrofonu blízko k ústům, zejména pak proudění vzduchu přímo na mikrofon. Výsledkem studie bylo rovněž tabulkově znázorněné relativní spektrum řeči v třinácti frekvenčních pásmech, vztažené ke vzdálenosti 15 cm a dále dopočítávané do dalších vzdáleností. Je ale pouze přibližné, neboť respondenti měli ono spektrum pouze podobné, nikoliv stejné. Rozhodně přináší jeden z prvních nástinů toho, jak by směrově mohlo pole vyzařování okolo mluvčího vypadat.¹

Další experimenty srovnávaly charakteristiku živého mluvčího a vymodelované figuríny a našly význačné vyzařování energie ve směru 180° azimutu a přímého směru. Jak technologie pokročila a poptávka trhu po alternativních zdrojích hlasu rostla, směřovala výzkumná koncentrace na reproduktory, které by hlas kvalitně imitovaly, včetně jeho směrovosti v prostoru.^{2,3} Závěry těchto studií byly v praxi uplatněny ke zkvalitnění akustiky v kancelářích.

Směrovost vyzařování lidského hlasu byla rovněž zkoumána po různých kategoriích a jejich odlišnosti byly srovnávány. Jako příklad můžeme uvést studii⁴, která nenašla rozdíly mezi směrovostí hlasu mužů a žen a skupinou francouzských a anglických mluvčích, ačkoliv jejich spektra byla různá. Časem

¹ DUNN, H. K. a D. W. FARNSWORTH. Exploration of Pressure Field Around the Human Head During Speech. *The Journal of the Acoustical Society of America* [online]. 1939, **10**(3), 184-199 [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1121/1.1915975. ISSN 0001-4966. Dostupné z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1915975>

² FLANAGAN, James L. Analog Measurements of Sound Radiation from the Mouth. *The Journal of the Acoustical Society of America* [online]. 1960, **32**(12), 1613-1620 [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1121/1.1907972. ISSN 0001-4966. Dostupné z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1907972>

³ STUDEBAKER, Gerald. Directivity of the Human Vocal Source in the Horizontal Plane. *Ear and Hearing*. The Williams & Wilkins Co., 1985, **6**(6).

⁴ CHU, W. T. a A. C. C. WARNOCK. Detailed Directivity of Sound Fields Around Human Talkers [online]. 2002, , 47 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.4224/20378930. Dostupné z: <http://doi.org/10.4224/20378930>

byly primitivní a chyby vytvářející metody nahrazeny metodami lepšími tak, jak technický pokrok umožňoval (otočné mikrofony, otočná židle) a uplatňovány také na klasický zpěv.

Ve studii⁵ došlo k porovnání výsledků umělého zpěváka a reálné zpěvačky. Studie poukazuje na to, že se víceméně shodují. Jak umělý zpěvák, tak operní zpěvačka měli velký nárůst energie v zadní části pole ve 180° azimutu.

Výzkumníci potvrdili, že *vocal projection*⁶ nijak směrovost neovlivňuje. Studie provedené se zpěvačkou a kontratenorem potvrdily, že směrovost byla očividně jiná v závislosti na změně samohlásky, ale pouze v mluvním hlase, nikoliv při zpěvu. Domnívali se, že by vyzařování mohla ovlivnit velikost úst a tvar hlavy. Pro podobné závěry, ale neměli dostatek dat.⁷

Performujícími a nahrávajícími zpěváky se začaly zabývat studie pozdější. Směrová charakteristika akustického vyzařování se lišila u každého ze zkoumaných objektů v závislosti na prostoru. Je uvedeno, že čím větší prostor, tím větší energie byla vyzařena v azimutu 180°. Zejména se tak dělo v oblasti pěveckého formantu, který je v této studii stanoven v rozsahu 2 – 4 kHz. V závislosti na představách se směrová charakteristika lišila pouze v některém z prostorů. V bezodrazové místnosti rozdíl směrovosti nebyl zaznamenán, ale v koncertním sále ano, a to opět v rámci pěveckého formantu, kdy se pěvci stali směrovějšími.⁸

Rozdílné hlasové úlohy zkoumala studie, do které se zapojili zpěváci různých žánrů. Oproti ostatním tato studie ukázala, že to, zda subjekt mluví nebo zpívá, nemá na směrovost vliv, zatímco jako nejvlivnější parametr se jevil tvar úst a způsob generování tónu, zejména na vyšších frekvencích. Bylo zjištěno, že zkoumaná skupina mužů byla více směrovější než skupina žen, a to hlavně mezi 8 – 16 kHz. Potenciál ke zkoumání rozdílu ve směrovosti vyzařování dle žánru tato studie nevyužila pro nedostatečně homogenní skupiny.⁹

⁵ KOB, Malte a Harald JERS, Directivity measurement of a singer, *J. Acoust. Soc. Am.* 105 (2) (1999).

⁶ *Vocal projection*, controlled singing projection je označení pro pěveckou techniku, při které zpěvák cíleně zvýší nosnost svého hlasu. V české literatuře přesný termín neexistuje. Po konzultaci s operními zpěvačkami by asi nejpresnějším termínem bylo kontrované posazení hlasu.

⁷ KATZ, Brian a C. D'ALESSANDRO. Measurement of 3D Phoneme-Specific Radiation Patterns in Speech and Singing. *Limsi*[online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://rs2007.limsi.fr/PS_Page_14.html#LINKS

⁸ CABRERA, Densil, Pamela J. DAVIS a Anna CONNOLLY. Long-Term Horizontal Vocal Directivity of Opera Singers: Effects of Singing Projection and Acoustic Environment. *Journal of Voice*. 2011, **25**(6), e291-e303. DOI: 10.1016/j.jvoice.2010.03.001. ISSN 08921997. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089219971000041X>

⁹ MONSON, B.B., E.J. HUNTER, B.H. STORY, Horizontal directivity of low- and highfrequency energy in speech and singing, *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (1) (2012), s. 433–441.

Zda-li má vokální trakt efekt na směrovost hlasu, zjišťovala studie, do níž byl zapojen operní pěvec a uměle vytvořený model vokálního traktu (píst) dle zpěvákovy magnetické resonance. Rovněž dokázala, že směrovost je rozdílná, mění-li se tvar úst. Ve studii byla používána jako nastavení „dlouhá ústa“ (6 cm v průměru), která byla mnohem směrovější nežli „krátká ústa“ (3 cm v průměru). Jejich rozdíl byl nejmarkantnější kolem frekvence 3 kHz.¹⁰

Cíle práce

Přestože se některé uvedené studie zabývají zpěvem a směrovostí vyzařování lidského hlasu při něm, nevztahují pozorované změny k rozdílným žánrům, ze kterých zpěváci vycházejí. Tato problematika byla nastíněna v autorčině bakalářské práci, jejímž cílem bylo popsat rozdíly směrovosti vyzařování hlasu mezi sopránovou operní a popovou zpěvačkou a rovněž mezi jejich samohláskami. Studie přišla se závěrem, že radiační vzorec je také závislý na výšce a SPL zpívaného tónu.

Diplomová práce navazuje na studii z práce bakalářské a opírá se o část článku, který byl vydán v impaktovaném časopisu *Biomedical Signal Processing and Control*.¹¹ Již samotný článek si kladl za cíl přinést statisticky ucelenější výsledky, díky rozšíření počtu změřených zpěvaček oproti bakalářské práci, které by již mohly dopřát konkrétnějším závěrům, případně rozpoutat pro experimenty budoucí významnou diskusi.

Diplomová práce téma dále ještě obohacuje o další analýzu písně „V zahradě na hrušce“ a také realizuje doporučení z práce bakalářské v rovině poslechového testu, alespoň na provizorní metodické úrovni. Klade si za cíl zodpovědět následující otázky:

1. Existuje systematický rozdíl mezi vyzařovacími vlastnostmi operních a popových zpěvaček? (Otázka bude řešena samostatně pro vokály a pro jednotnou píseň.)
2. Budou případné zjištěné rozdíly odlišné pro vokály a pro jednotnou píseň? Ovlivňuje je interpretace?
3. Existuje jasná preference ve výběru pozice mikrofonů pro zpracování operního zpěvu? Lze tuto preferenci popsat na percepční úrovni?

Obsah diplomové práce by měl být vhodnou literaturou pro zvukové mistry, kteří se budou nahráváním a hlavně volbou umístění mikrofonu při nahrávání zpěvaček v budoucnu zabývat.

¹⁰ BLANDIN, R., M. BLANDNER, Influence of the vocal tract on voice directivity, *Proceedings of the 23rd International Congress of Acoustics 2019* (2019) 1796–1801.

¹¹ FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, *Biomedical Signal Processing and Control*, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

1 Metodická část

(rovněž součástí článku)

V této části práce bude popsán nejprve metodický postup měření v bezodrazové místnosti, jenž má základ již v bakalářské práci a na základě uvedených návrhů na vylepšení tamtéž byl upraven. Dále bude uveden metodický postup k poslechovému testu, který byl rovněž uveden v bakalářské práci jako návrh k dalšímu rozšíření výzkumu dané problematiky.

1.1 Metodika měření

Měření směrové charakteristiky popových a operních zpěvaček bylo uskutečněno ve Výzkumném centru hudební akustiky na HAMU v bezodrazové komoře s kritickou frekvencí 125 Hz (ISO 3475, 5,26 x 3,75 x 2,25 m).

1.1.1 Skupina zpěvaček

Porovnáváno bylo celkem 11 zpěvaček, sopranistek – 6 operních a 5 popových, ve fázi kariéry po ukončení studií či alespoň v jejich druhé polovině. Důležité informace o měřených zpěvačkách jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1).

Zpěvačky byly při vstupu do bezodrazové komory usazeny na stoličku a byly poučeny o správném umístění jejich hlavy a hlavně brady nad stojanem v prostoru tak, aby nedocházelo k posunu vůči ose. Fixace byla oproti experimentu provedeného v rámci bakalářské práce vylepšena o 2 kontrolní kamery (přední a postranní), kterými byly všechny zpěvačky v průběhu měření kontrolovány. Kvůli doplňujícím měřením jim bylo na krk připnuto zařízení pro snímání elektroglotografického (EGG) signálu.

Zadání úkolů bylo pečlivě postupně sestavováno tak, aby pro účely experimentu byly zpěvačky rozezpívány, ale ne příliš unavené. Všechny úkoly byly vysvětleny ve zkratce již před samotným měřením, později byly vysvětlovány pečlivěji a s větší specifikací přes talkback přímo v průběhu měření.

ID	žánr	věk	Pěvecké vzdělání / trénink
C1	lyrický soprán	25	soukromé hodiny (9 let, úroveň vzdělání Pražské konzervatoře), workshopy pořádané konzervatoří
C2	lyrický soprán	31	Plzeňská konzervatoř (6 let), HAMU (3 roky)
C3	lyrický koloraturní soprán	31	Kroměřížská konzervatoř (6 let), HAMU (5 let)
C4	mlado-dramatický soprán	31	Ostravská konzervatoř (6 let), HAMU (4 roky)
C5	lyrický soprán	25	Pražská konzervatoř (6 let), HAMU (4 years)
C6	dramatický soprán	28	Pražská konzervatoř (6 let), HAMU (3 years)
P1	pop	25	Pražská konzervatoř - pop zpěv (6 let), CVT workshopy
P2	pop	20	Pražská konzervatoř - pop zpěv (5 let)
P3	pop a muzikál	21	Pražská konzervatoř - pop zpěv (6 let)
P4	pop a muzikál	22	Pražská konzervatoř - pop zpěv (6 let)
P5	pop	22	Pražská konzervatoř - pop zpěv (6 let)

Tab. 1.: Údaje o zpěvačkách, které se zúčastnily měření v bezodrazové komoře.

Nejprve dostaly zpěvačky zadání přečíst text habituálním hlasem, poté opřeným hlasem, jako by přednášely, následně bylo přistoupeno k hlavní části důležité pro samotné měření, a to zpěv stupnic od C4 do C6 a zpět za použití samohlásek /a/, /i/, /u/ a ve 4 dynamikách v pořadí: mf, p, pp, f. Poté zpívaly již zmíněné samohlásky na jednom tónu (C4, D#4, F#4, A4, C5, D#5, F#5, A5, C6) s postupným stupňováním dynamiky, nejméně však alespoň 4 úrovně dynamiky. Dalším úkolem bylo zazpívat píseň „V zahradě na hrušce“ v tónině C dur, F dur a C dur o oktávu výš. Na všechny tyto úkoly byly popové zpěvačky požádány, aby používaly zcela výhradně neutrální mód dle Sadolin¹². Zamezilo se tak případnému zkreslení výsledků způsobené použitím jiných popových technik zpěvu, jako jsou např. belting, tilting nebo twang, s nimiž některé měřené zpěvačky umí pracovat a pravděpodobně by je, i neúmyslně, během měření používaly. Operní zpěvačky byly požádány o tlumení svého vibrata. Při nahrávání předcházelo každému úkolu zadání počátečního tónu pomocí elektronických kláves přes talkback. Pomocí kláves byla rovněž po celou dobu měření také kontrolována intonace pro přesnější výpočty v dalším processingu.

¹² SADOLIN, K., Complete Vocal Technique, Shout Publishing, Copenhagen, 2000.

Na závěr samotného měření byly zpěvačky požádány o přednes části písně či árie z jejich ustáleného repertoáru. Tato úloha byla využita pro praktickou část – poslechový test.

1.1.2 Mikrofonní síť a další použitá technika

Nejen již publikované studie ^{13, 14, 15, 16,17}, ale i předchozí experiment v bakalářské práci dokázal, že je platná stranová symetrie směrové charakteristiky vyzařování hlasu. Proto byla původní kulová síť mikrofonů rozebrána a přepracována na síť půlkulovou s větší hustotou mikrofonů, což má za následek zjemnění rastru výsledků. Celkem tedy bylo použito 44 měřících mikrofonů kulové charakteristiky (tělo Sennheiser K6 a kapsle Sennheiser ME 62), které byly rozmístěny kolem pravé poloviny hlavy zpěvačky (Obr.1) se středem v bodě úst zpěvačky a poloměrem 125 cm (elevace 30°, 0°, -30°, značeny červenou, modrou a zelenou čarou), 120 cm (elevace 56°, značena tyrkysovou čarou) a 105 cm (elevace 74°, značena fialovou čarou)¹⁸. Jakožto referenční mikrofon byl vybrán mikrofon č. 14 v přímém směru před ústy zpěvačky (v 0° azimutu a 0° elevaci).

Výhodou použitého nastavení je bezesporu nahrávání všech 44 pozic mikrofonů ve stejný čas, čili bez otáčení zpěvaček či mikrofonů a bez nutnosti opakovat úlohy vícekrát, čímž může zbytečně vzniknout chyba. Zároveň se ale dá jednoduše zrcadlením domodelovat druhá polovina kulové sítě.

Signál z mikrofonů byl veden analogově do zesilovačů SM Pro Audio – PR8 a z nich pokračoval do vícekanálového nahrávacího zařízení Tascam X-48, kde byl zaznamenán se smplovací frekvencí 48 kHz a v bitové hloubce 24 bitů.

Z jedné ze dvou monitorovacích kamer, využitých hlavně jako kontrola fixace hlavy zpěvačky, byl záznam rovněž pořízen pro případnou pozdější video analýzu velikosti úst zpěvaček, ta ale prozatím nebyla provedena.

¹³ CHU, W. T. a A. C. C. WARNOCK. Detailed Directivity of Sound Fields Around Human Talkers [online]. 2002, , 47 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.4224/20378930. Dostupné z: <http://doi.org/10.4224/20378930>

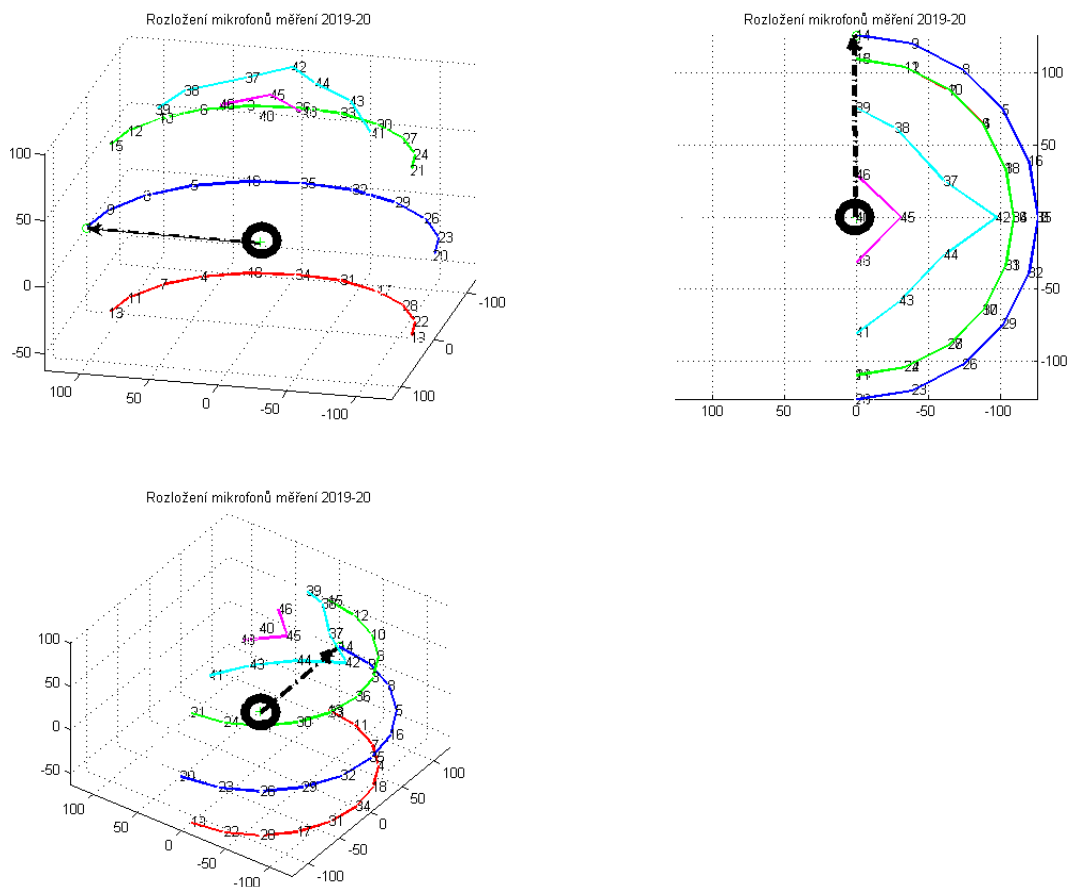
¹⁴ STUDEBAKER, Gerald. Directivity of the Human Vocal Source in the Horizontal Plane. Ear and Hearing. The Williams & Wilkins Co., 1985, 6(6).

¹⁵ KATZ, Brian a C. D'ALESSANDRO. Measurement of 3D Phoneme-Specific Radiation Patterns in Speech and Singing. *Limsi*[online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://rs2007.limsi.fr/PS_Page_14.html#LINKS

¹⁶ CABRERA, Densil, Pamela J. DAVIS a Anna CONNOLLY. Long-Term Horizontal Vocal Directivity of Opera Singers: Effects of Singing Projection and Acoustic Environment. *Journal of Voice*. 2011, 25(6), e291-e303. DOI: 10.1016/j.jvoice.2010.03.001. ISSN 08921997. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089219971000041X>

¹⁷ MONSON, B.B., E.J. HUNTER, B.H. STORY, Horizontal directivity of low- and highfrequency energy in speech and singing, *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (1) (2012), s. 433–441.

¹⁸ Tyto hodnoty byly v softwarovém rozhraní přepočítány, jako by všechny mikrofony byly vzdálené 125 cm od středu $dL=20*\log_{10}(d/d_0)$, přičemž d- diameter, d_0 je vzdálenost přímého mikrofonu.



Obr. 1.: Rozložení mikrofonů v půlkulové síti.

Elektroglotografický signál byl snímán přístrojem Laryngograph® D-200, jehož elektrody byly umístěny na krk ve výšce hlasivek v oblasti štítné chrupavky. Signál byl zaznamenán do jednoho z kanálů Tascam X-48 se stejným nastavením jako u zvukového signálu. Výsledky nebudou součástí diplomové práce, ale jsou nastíněny v publikovaném článku¹⁹.

1.1.3 Kalibrace

Před samotným měřením byly všechny předzesilovače a mikrofony nastaveny tak, aby měly přibližně stejnou vstupní úroveň. Aby bylo možné při dalším zpracování nahrávek zohlednit rozdílné vlastnosti a nastavení celého záznamového zařízení od zesílení mikrofonních předzesilovačů až po citlivost vstupů záznamového zařízení, byla provedena kalibrace při vstupním útlumu -14 i -18 dB dle přirozeného dynamického rozsahu zpěvačky. Použití různého útlumu bylo vzato v úvahu při kalibračním přepočtu.

¹⁹ FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

Kalibrátor (MVI technologies Cal 01) byl nastaven na 1 kHz při 94 dB a signál byl nahrán pro kalibrační přepočítání pro všechny použité mikrofony zvlášť. Třísekundové výstřihy ustáleného signálu kalibračního signálu sloužily jako podklad pro kalibrační přepočítání, ze kterých byla vypočtena hodnota zesílení příslušných kanálů na základě porovnání hodnot RMS vzhledem k referenčnímu signálu z mikrofону č. 14. Těmito hodnotami byly před analýzou přenásobeny hodnoty v příslušných kanálech. Až z takto upravených nahrávek byla provedena další analýza.

1.1.4 Parametrizace a analýza signálu

V prvním kroku byly pořízené signály filtrovány v programu ProTools vícepásmovým ekvalizérem EQ3 - 7 band, high-pass filtrem s mezní frekvencí 125 Hz (rovna kritické frekvenci bezodrazové komory) a strmostí 24 dB/oct.

Signál z referenčního mikrofonu v přímém směru byl využit pro výpočet výšky a SPL (pozici v hlasovém poli) pomocí programu RealVoiceLab (vyvinutém v prostředí MATLAB). Zvukový signál byl segmentován na okna s délkou 50 ms a posunem 10 ms, ze kterých byla stanovena základní frekvence dle prvního vrcholu grafu autokorelace, následně byla přepočtena na výšku (pitch) v midi tónech²⁰. Hodnoty SPL byly vypočteny na základě hodnot RMS vztažených k hladinám RMS kalibračního signálu.

Zvukový signál z mikrofónů byl polo-automaticky rozstříhán na výseky zakmitaného stavu signálu, čili kvazistacionární části vokálu, kde program zaznamenal nejstabilnější hladinu SPL. Pro analýzu směrovosti byly výstřihy vokálů v délce 500 ms analyzovány pomocí programu Directivity²¹, kde pro každý kanál (mikrofon) po kalibračním přepočtu byla vypočtena FFT a celková hodnota SPL.

Pro srovnání směrovosti byly použity pouze výstřihy vokálů, jejichž průměrné hodnoty výšky tónu (v půltónech) a SPL (v dB) spadaly do překrývajících se oblastí výškových a dynamických rozsahů obou typů zpěvaček. Přestože se rozdíl 2 dB obecně považuje za minimální rozdíl pro měření hlasového pole²², byly zvoleny podmínky (rozdíl výšky tónu menší než 0,5 půltónu a rozdíl SPL menší než 0,5 dB), aby se zabránilo dopadu efektu rozdílů výšky tónu a SPL. Tímto vznikly stříhové databáze s informacemi o průměrné výšce (přepočítány do škály MIDI) a průměrné hladině akustického tlaku (SPL).

²⁰ $pitch = (69 + 12 * \log(\text{abs}(f_0/440)) / \log(2))$

²¹ Tento program byl vyvinutý v prostředí MATLAB byl upraven panem RNDr. Markem Fričem, Ph. D. tak, aby vyhovoval požadavkům analýzy měřené v bezodrazové místnosti MARC.

²² PRINTZ, Trine, Jesper Roed SORENSEN, Christian GODBALLE a Ågot Møller GRØNTVED. Test-Retest Reliability of the Dual-Microphone Voice Range Profile. Journal of Voice. 2018, 32(1), 32-37. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2017.03.019

Porovnání spekter bylo provedeno pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (one way ANOVA) ze spekter výseků, které se překrývaly ve sledované výšce a dynamickém rozsahu. Každý výstřih byl znázorněn "quasi-harmonickým" spektrem, kde pro každé pásmo harmonické složky (s centrální frekvencí dané složky) byly použity průměrné hodnoty amplitudy v daném spektrálním pásmu. Porovnání bylo provedeno samostatně pro každé 50 Hz pásmo.

Porovnání radičních vlastností mezi dvěma skupinami zpěvaček bylo provedeno pro každý směr (signál mikrofonu) a pro každý typ vokálu zvlášť pomocí jednofaktorové ANOVA. Tento způsob srovnání byl použit pro zjištění rozdílů mezi hodnotami hladin vyzařování v celém frekvenčním rozsahu a v oktákových frekvenčních pásmech.

Párový t-test byl použit k porovnání vyzařovacích rozdílů mezi různými dynamikami. Všechny kombinované páry se stejnou výškou srovnávané dynamiky byly použity v analýze pro operní a popové skupiny samostatně.

1.2 Metodika originálních analýz písně

Pro analýzu dalších signálů byla použita jednotná píseň „V zahradě na hrušce“, jejíž záznam proběhl současně při měření vokálů. Notový zápis je k dispozici v obr. 2.



V ZAH - RA - DĚ NA HRUŠ - CE SE - DÁ - VÁ KOS,
MÁ ČER - NÝ KA - BÁ - TEK A ŽLU - TÝ NOS.

Obr. 2: Notový zápis písně „V zahradě na hrušce“, převzato z ²³.

Tato píseň byla nahrána vždy celkem ve třech tóninách – C dur korespondující se zápisem, F dur a C dur o oktávu výš proti zápisu.

Při analýze písně "V zahradě na hrušce" se postupovalo obdobně jako u analýzy vokálů, ale analyzovány byly delší úseky písně.

²³ MÁLKOVÁ, Magdalena. V zahradě na hrušce. Dětské stránky: omalovánky, hádanky, básničky, písničky, tipy na výlety [online]. 8. 4. 2007 [cit. 2021-5-24]. Dostupné z: <https://www.detskestranky.cz/v-zahrade-na-hrusce/>

Analýza vyzařování i spekter proběhla metodou ANOVA, která porovnává průměrné hodnoty vyzařování nebo hladin průměrovaných spekter LTAS²⁴ pro všechny nahrávky písně v jednotlivých tóninách a pak společně pro všechny tóniny mezi operními a popovými zpěvačkami.

1.3 Metodika poslechového testu

Jako jedna z možností uvedených v bakalářské práci, jak zacílit názorně výsledky více než čtyřletého výzkumu na praxi zvukových mistrů, byl poslechový test, který si klade za cíl:

- ověřit, zda je i poslechově teoretický nejhorší možný směr pro pozici mikrofonu opravdu horší vůči upřednostňovaným směrům
- zda by se touto formou poslechového testu dalo ve větším rozsahu (tento test je spíše metodický a zkušební) dospět k významným statistickým výsledkům, které bude možné globalizovat.
- zmapovat, zda a případně jak se liší preference jednotlivých skupin respondentů

1.3.1 Sestavení testu

Záměrem bylo sestavit co nejjednodušší test, který by respondenty časově, ani sluchově nezatížil, zároveň byl repertoárově pestrý, aby se udržela jejich plná koncentrace.

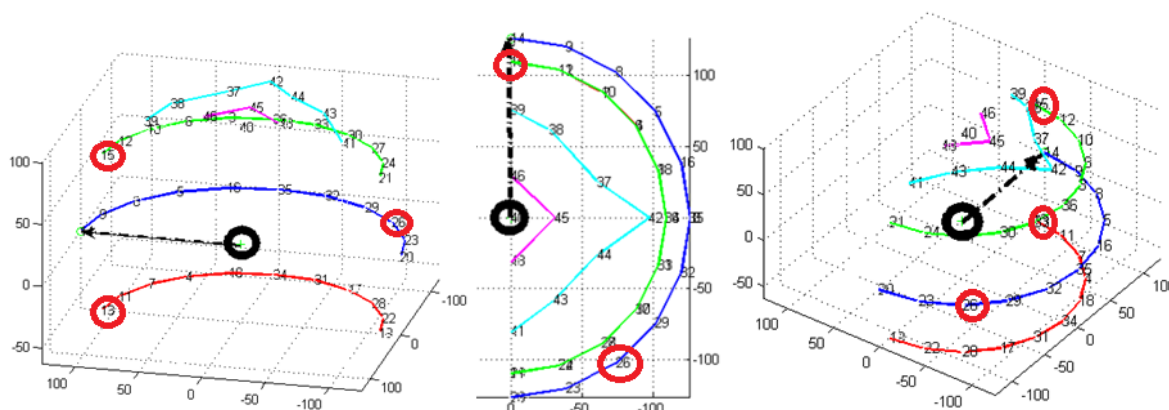
K sestavení testu byly vybrány již vyfiltrované nahrávky (dle postupu uvedeného v podkap. 1.1.5) z měření v bezodrazové komoře z úkolu, ve kterém měly zpěvačky přednést árii nebo píseň ze svého repertoáru (Tab. 2). Tyto nahrávky byly zkráceny na 16 - 18 sekund tak, aby daný úsek dával hudebně smysl. Dále byly do testu zařazeny pouze nahrávky operních zpěvaček hned z několika důvodů - vytvořené skupiny respondentů se v praxi s operními zpěvačkami setkávají mnohem častěji; popové zpěvačky mají obvykle mikrofony blíž a barevně pracují s jejich charakteristikou; při zapojení nahrávek od obou skupin zpěvaček by vzniklo mnohem více dat, na jejichž analýzu by bylo třeba mnohem více času, než nabízí magisterský studijní program.

²⁴ LTAS - dlouhodobé průměrované spektrum, prezentuje průměrné rozložení akustické energie v analyzovaných spektrálních pásmech.

1.	G. Puccini - Quando me'n vo'
2.	W. A. Mozart - Vedrai Carino
3.	G. Verdi - Sempre libera
4.	A. Dvořák - Měsíčku na nebi
5.	G. Puccini - O mio babbino caro
6.	W. A. Mozart - Agnus Dei

Tab. 2: Tabulka árií, jejichž části byly použity v poslechovém testu. Seřazeno dle pořadí v testu.

Od každé zpěvačky byly do testu zařazené 3 nahrávky ze 3 různých pozic mikrofonů (č. 13, 15, 26) Obr. 3, které byly zamíchané ukryty pod písmena A, B, C tak, aby byl simulován efekt náhodného přiřazení písmen k nahrávce. Pozice mikrofonu č. 26 byla vybrána jako reprezentant směru, který byl dle článku²⁵ teoreticky vyhodnocen jako jeden z nejhorších (144° azimut, 0° elevace). Mikrofony č. 13 a 15 (0° azimut, -30° elevace a 0° azimut, +30° elevace) byly vybrány jako směry, které jsou oba velmi používané při rozdílných příležitostech. Horní směr (č. 15) je preferovaný mistry zvuku ve zvukovém studiu, dolní směr (č. 13) je preferovaný při nahrávání audiovizuálního snímku, kdy je třeba dbát i na vizuální estetiku a mikrofony co nejvíce schovat.



Obr. 3: Vybrané mikrofony č. 13, 15, 26 pro ukázky poslechového testu (zakroužkováno červeně) v půlkulové síti.

²⁵ FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

Grafické rozhraní testu (Obr. 4) bylo vytvořeno ve webové aplikaci PsychotestEditor²⁶ speciálně vyvinuté pro vytváření percepčních testů.



Obr. 4: Ukázka grafického rozhraní poslechového testu.

Součástí poslechového testu byla část komparativní s nucenou volbou, kdy respondenti měli možnost v libovolném pořadí opakovaně poslechnout všechny tři ukázky, patřící jedné zpěvačce, najednou a určit, která z nich je pro ně jako pro zvukové mistry nejlepší a která nejhorší za předpokladu, že by předkládané nahrávky byly vstupním signálem, se kterým by dále kreativně pracovali. Svoji volbu pak měli za úkol stručně odůvodnit v druhé části do polí volných odpovědí. Takto hodnotili postupně všech 6 zpěvaček.²⁷

²⁶KULHÁNEK, Tomáš, Marek FRIČ, Jan OTČENÁŠEK. Software pro tvorbu percepčních testů na webovém rozhraní - software; MARC-Technologický list čís. 82/16. Praha: MARC HAMU, 2016.

²⁷Závěrem respondenti dostali prostor vyjádřit svoje pocity ohledně celého testu, případně popsat závěry, které si oni sami z testu udělali, k čemuž byli v úvodu testu vyzváni. Spousta respondentů však této možnosti nevyužila.

1.3.2 Skupina respondentů

Pro vyplnění testu bylo osloveno 18 mistrů zvuku z Akademie múzických umění v Praze.

Respondenti, kteří chtěli uvést svoje jméno nebo kontakt za účelem pozdějšího prodiskutování testu, k tomu byli vyzváni. Této možnosti využilo celkem 5 respondentů, zbylí mistři zvuku se rozhodli zůstat v anonymitě, což jim bylo umožněno.

Celkem se poslechového testu zúčastnilo 10 respondentů, kteří byli rozděleni do 2 skupin dle svého univerzitního statutu a k němu se vázajících zkušeností z praxe, viz Tab. 3. Rovněž se dá říci, že jde o genderově téměř homogenní skupinu.

Pedagogové	Muži	Ženy
4	4	0
Studenti	Muži	Ženy
7	6	1

Tab. 3: Skupiny respondentů s početním zastoupením.

Tato kategorizace byla vybrána, protože každá ze skupin respondentů má jiný zvukový model zpěvu, což je dáno věkem a praxí (pedagogové x studenti).

Všichni respondenti byli požádáni, aby poslechový test prováděli za použití svých studiových sluchátek, na která jsou zvyklí. Ačkoliv byla zvažována možnost jednotných sluchátek nebo obecně jednotné poslechové aparatury, od záměru bylo od nakonec upuštěno vzhledem k epidemiologické situaci v průběhu experimentu. Dalším důvodem byla možnost zvýhodnění těch respondentů, kteří s konkrétním typem sluchátek standardně pracují, a naopak znevýhodnění těch, kteří by si během testu museli na jejich charakteristiku a frekvenční vyváženost zvykat bez možnosti porovnání s jinými.

Stejně tak byla i hlasitost poslechu ponechána na každého standardní pracovní hlasitosti, kterou během mixáže používá.

1.3.3 Použité metody při vyhodnocování poslechového testu

K vyhodnocení míry shody byl použit statistický výpočet Fleissova kappa²⁸ a pro interpretaci výsledků byla použita zavedená tabulka²⁹ v Tab. 4.

κ	Interpretation
< 0	Poor agreement
0.01 – 0.20	Slight agreement
0.21 – 0.40	Fair agreement
0.41 – 0.60	Moderate agreement
0.61 – 0.80	Substantial agreement
0.81 – 1.00	Almost perfect agreement

Tab. 4: Tabulka pro interpretaci výsledků z výpočtu Fleissovy kappy.³⁰

Poslechový test byl vyhodnocován jak na úrovni celku, tak v okruhu jednotlivých skupin respondentů. Pohled byl směřován nejen na všechny árie dohromady, ale na každou zvlášť. Stejně tak byl poté zaměřen i na jednotlivce, kteří se testu zúčastnili.

Pro lepší pochopení některých výsledků byly k áriím vytvořeny i grafy směrovosti a LTAS (vše v Directivity), které jsou předkládány s absolutními hodnotami.

²⁸ Fleiss' kappa. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fleiss%27_kappa

²⁹ Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977) "The measurement of observer agreement for categorical data" v *Biometrics*. roč. 33, s. 159–174.

³⁰ viz poznámka č. 28

2 Výsledky měření a jejich rozbor

Výsledky uvedené v práci se skládají celkem ze tří různých částí. Samostatné podkapitoly byly vyčleněny pro:

- A. porovnání vyzařování na ukázkách prodloužené fonace vokálů, které již bylo publikováno v článku³¹

a originální výsledky:

- B. porovnání vyzařovacích vlastností na zlidovělé písni "V zahradě na hrušce"
- C. poslechové hodnocení nahrávek árií z různých pozic mikrofonů

2.1 Výsledky z analýz nahraných vokálů

(převzato z článku)

Nadcházející údaje se odkazují na článek, jenž prošel recenzním řízením a byl publikován v impaktovaném časopise Biomedical Signal Processing and Control. Zároveň byl výsledkem více než roční práce ve vědeckém týmu RNDr. Marka Friče, Ph. D., který dal laskavé svolení k jejich použití v této práci.

Tým si v článku kladl za cíle zejména porovnat směrové vyzařování hlasu operních a popových zpěvaček do prostoru, přičemž předpokladem bylo, že popové zpěvačky budou mít směrovější vyzařování od úst dopředu, a rovněž ověřit závislost vyzařování na změně SPL dle diskuze z bakalářské práce.

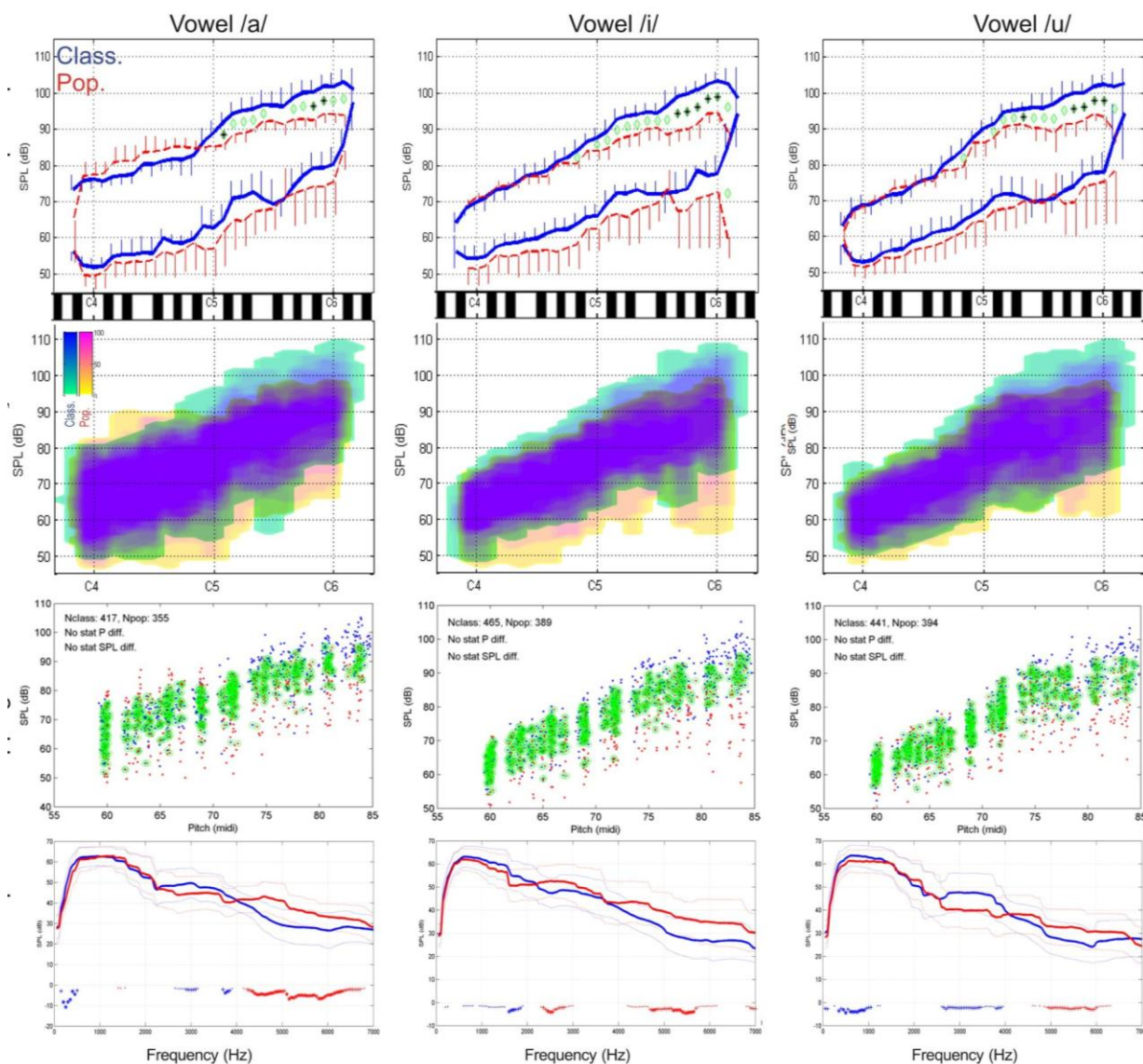
Vzhledem k tomu, že celý článek je již vydaný a k dispozici, budou zde shrnuty pouze zásadní výsledky týkající se směrovosti hlasu i s grafy.

Všechny uvedené polar grafy reprezentují srovnání operních a popových zpěvaček jako dvou skupin. Barevné hvězdičky a body reprezentují statisticky významný rozdíl. Jsou-li modré, více výkonu distribuuje do prostoru v dané oblasti skupina operních zpěvaček, červené hvězdičky nebo body naopak znázorňují to samé o skupině popových zpěvaček. Pokud se v daném úhlu hvězdičky nevyskytují, značí to, že rozdíl mezi oběma skupinami nebyl systematický a statisticky významný. Malá hvězdička nebo bod značí na základě párového t-testu statisticky významný systematický rozdíl ($p < 0,05$), velká hvězdička nebo bod značí statisticky ještě významnější systematický rozdíl ($p < 0,01$). V polar grafu se dále nachází více barevných křivek, které přinášejí informace o vertikální rovině vyzařování. Elevaci 0° reprezentuje tmavě modrá křivka, -30° červená, 30° zelená, 53° tyrkysová, 73° fialová a 90° šedivá. Zároveň je i ve všech ostatních grafech dodržováno barevné rozlišení pro skupinu operních zpěvaček (modrá) a popových zpěvaček (červená).

³¹ FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

1) Porovnání hlasových polí a jejich průnik

Porovnání průměrných hodnot minim a maxim SPL měřených hlasových map jsou znázorněny v grafu (obr. 5).

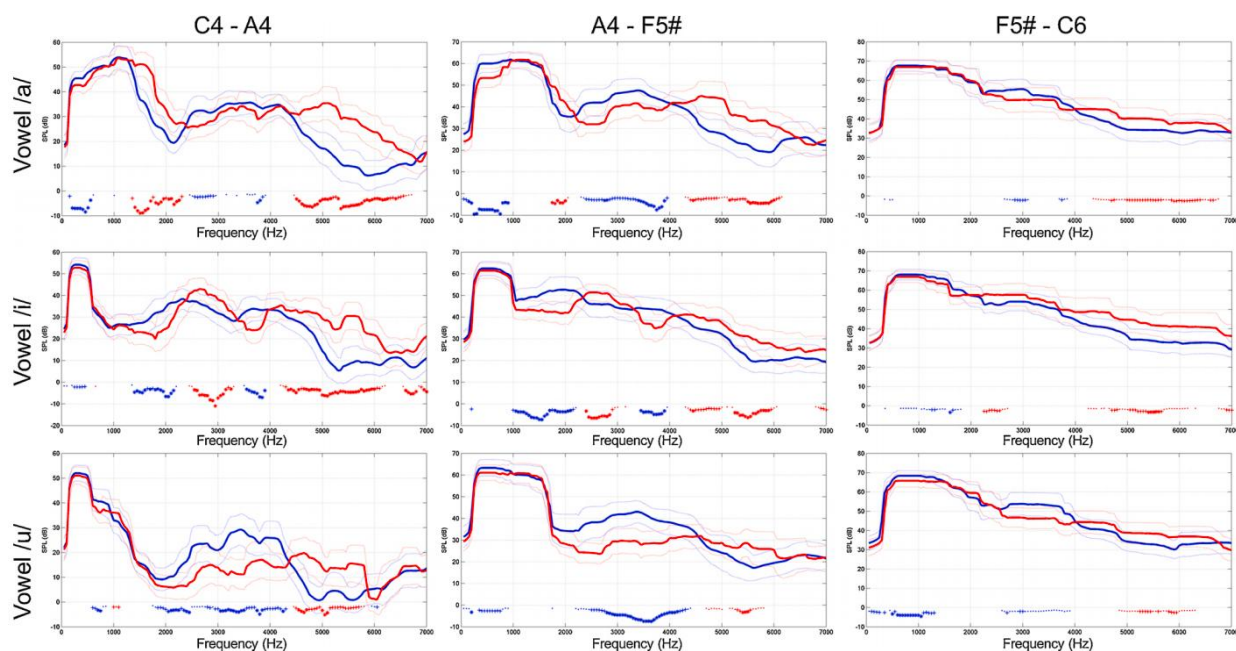


Obr. 5: Porovnání naměřených hlasových polí operních zpěváků (modrá a popových zpěváků (červená) pro samohlásky /a/, /i/ a /u/ (sloupce). Horní řádek ukazuje porovnání hranic SPL. Zelené diamanty a černé hvězdy naznačují statistické rozdíly mezi hranicemi v dané výšce. Druhý řádek ukazuje pravděpodobnost, že se hlas objeví v hlasovém poli pro skupinu operních (modrá až zelená) a popových zpěváků (červená až žlutá), a také oblast jejich překrytí (fialová). Třetí řádek zobrazuje umístění vzorků v hlasovém poli, modrá pro operní a červená pro popové zpěvačky. Zelená označuje vzorky vyskytující se v překrývajících se oblastech. Poslední řádek zobrazuje porovnání průměrovaných harmonických spekter mezi operními (modrými) a popovými (červenými) zpěvačkami. Ve spodní části grafů je zobrazen logaritmus úrovně statistické významnosti.

Analýza ANOVA ukazuje, že operní zpěvačky dosáhly významně vyšších hodnot SPL maxim v oktávě od C5 do C6 než popové zpěvačky pro samohlásky /a/, /i/, /u/. Výrazně odlišné tóny, co do rozdílu hladin akustického tlaku, jsou označeny zeleně, diamanty (p < 0,05), černé hvězdy (p < 0,001). Výjimku tvoří rozsah C4 – A4 u samohlásky /a/, zde jsou vyšší průměrné hodnoty SPL maxim pro popové zpěvačky, ačkoliv rozdíl mezi oběma skupinami nebyl statisticky významný.

Spektrální vlastnosti mezi skupinami byly porovnány pomocí průměrných harmonických spekter. Výsledky pro celý měřený rozsah zpěvaček (viz obr. 5, spodní grafy) ukazují obecně stejný typ spektra s rozdíly ve frekvenčním rozsahu 4 – 7 kHz, kde dosáhly popové zpěvačky vyšší úrovně. Spektrální rozdíly byly závislé na typu samohlásky v pásmu 2 – 4 kHz. Operní zpěvačky měly výraznější úrovně v této oblasti pro /a/ a /u/ samohlásky, zatímco při /i/ dominovaly v tomto spektrálním pásmu popové zpěvačky.

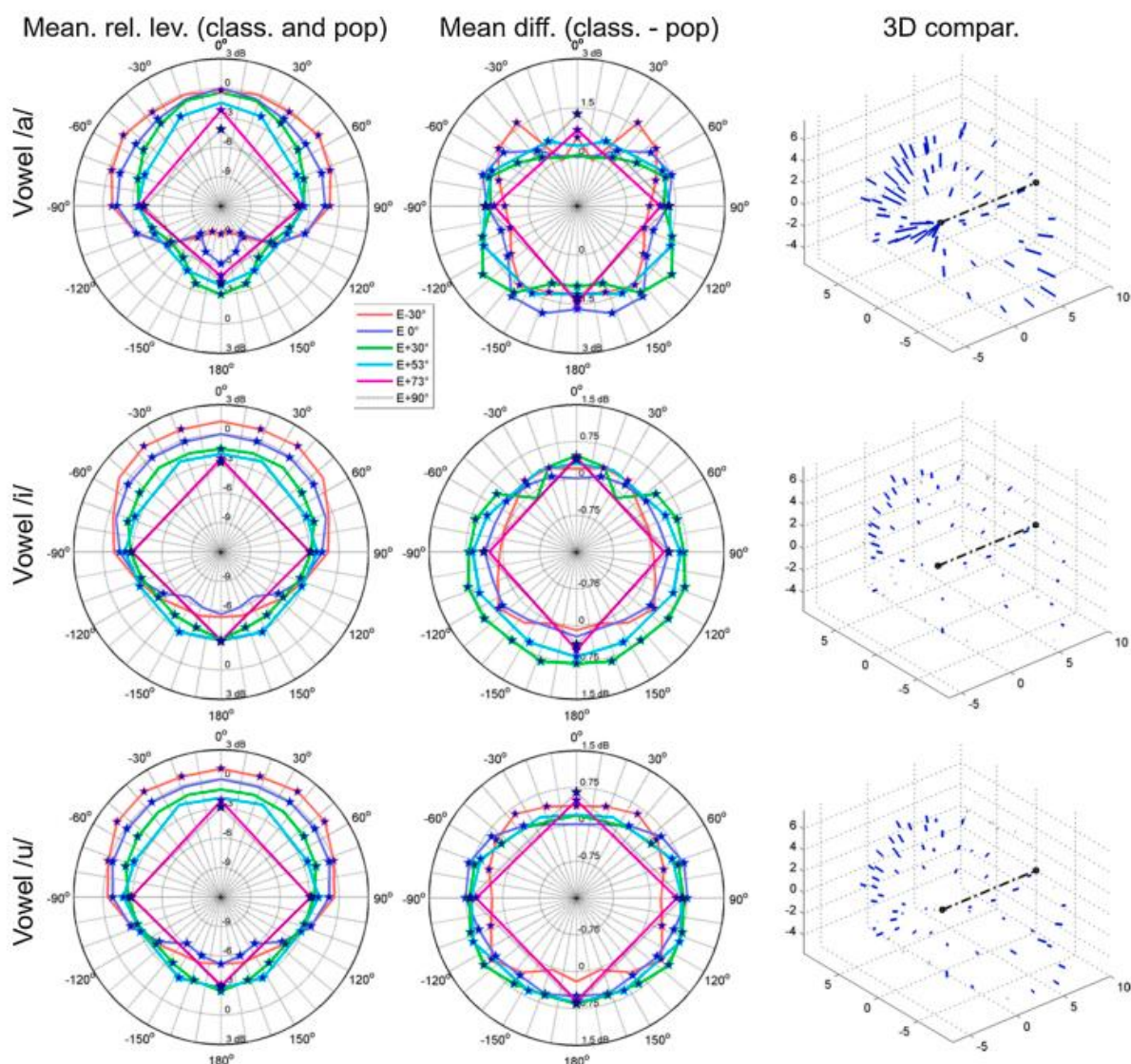
Podobné výsledky byly zjištěny i pro třetiny měřeného rozsahu (obr. 6), ale blíže specifikují účinek výšky tónu. Poloha a hladina jednotlivých spektrálních vrcholů (formantů) mohou být v tomto případě lépe monitorovány. V oblastech prvních formantů operní zpěvačky obecně dominují, zatímco popové zpěvačky mají druhé spektrální vrcholy (formanty) umístěné výše. Nejlepší zobrazení jejich výraznější úrovně je v nejhlubším rozsahu výšky tónu. V nejvyšším rozsahu jsou si spektra obou skupin zpěvaček velmi podobná.



Obr. 6: Porovnání zprůměrovaných harmonických spekter mezi skupinami zpěvaček (modrá pro operní a červené pro popové zpěvačky) pro jednotlivé samohlásky a výšky tónu. Ve spodní části grafů je zobrazen logaritmus úrovně statistické významnosti.

2) Efekt typu samohlásky

Operní zpěvačky vždy dosahovaly vyšších hodnot vyzařování akustického výkonu v měřených směrech v celém frekvenčním spektru, tzn. že měly konstantně trend všesměrového typu zvukového vyzařování, viz obr. 7.

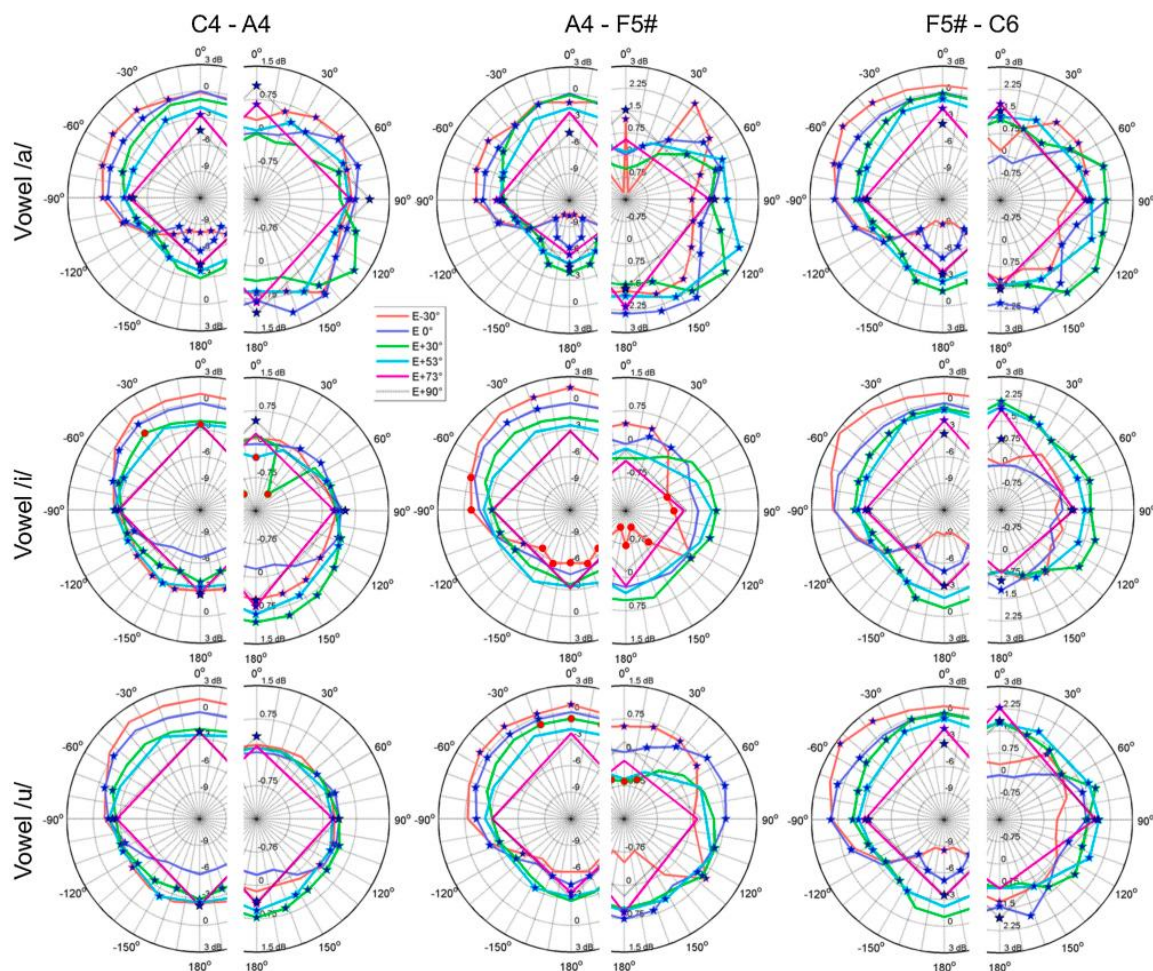


Obr. 7: Porovnání zvukového vyzařování samohlásek /a/, /i/, /u/ v celém frekvenčním rozsahu. Průměrné hodnoty vyzařování (levý sloupec), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (střední sloupec), 3D pohled na rozdíl celkového vyzařování zvuku (pravý sloupec), modré úsečky spojují průměrné hodnoty relativního vyzařování popových zpěvaček s průměrnými hodnotami vyzařování klasických zpěvaček. Modré hvězdy v polar grafech a modré čáry ve 3D grafech ukazují směry se statisticky významnými rozdíly, ve kterých operní zpěvačky dosahovaly vyšších hodnot.

Statisticky významné rozdíly byly nalezeny skoro ve všech směrech u samohlásky /a/, největší rozdíly pak byly naměřeny v zadním, bočním a horním směru. Pro samohlásky /i/ a /u/ byly pozorovány také vyšší hodnoty u operních zpěvaček v horním bočním a horním zadním směru. Tento trend se nijak

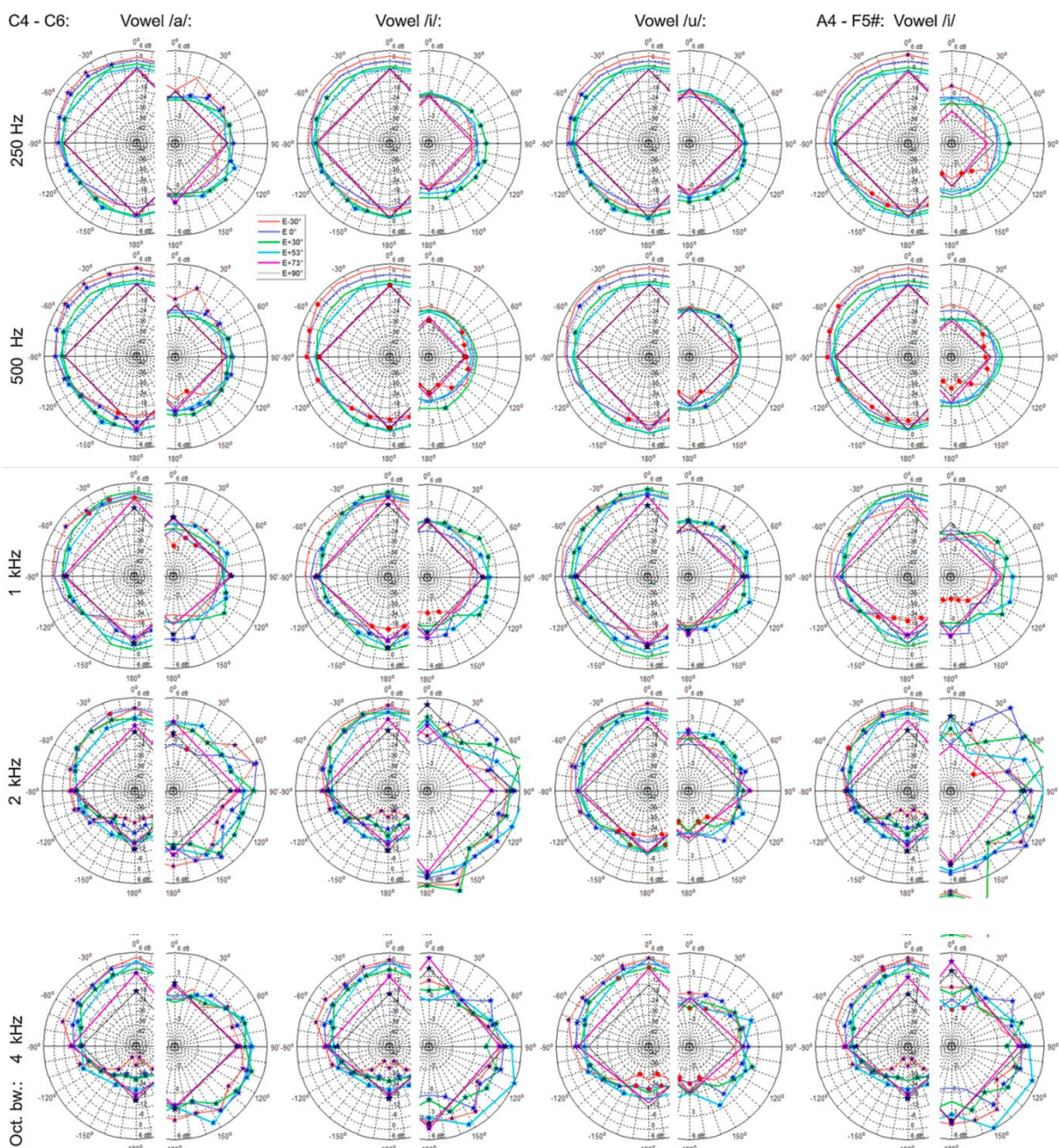
převratně neměnil v závislosti na samohlásce, ačkoliv při bližším prozkoumání jednotlivých frekvenčních pásem docházelo k větším, či menším odchylkám.

Při rozdělení zkoumaného výškového rozsahu na 3 části se ve vyzařování (obr. 8) v části prostřední (A4# - F5#) objeví zcela odlišný trend pro samohlásku /i/ v bočních a zadních směrech a /u/ v předním směru, kde dominují popové zpěvačky.



Obr. 8: Porovnání zvukového vyzařování samohlásek /a/, /i/, /u/ v celém frekvenčním rozsahu ve výškovém rozsahu C4 - A4 (levý sloupec), A4 - F5# (prostřední sloupec), F5# - C6 (pravý sloupec). Průměrné hodnoty vyzařování (levá polovina grafu), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (pravá polovina grafu).

Při podrobnějším pohledu do jednotlivých oktávových pásem se středovými frekvencemi 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz (obr. 9) lze pozorovat, že docházelo v určitých směrech i k většímu vyzařování skupiny popových zpěvaček.



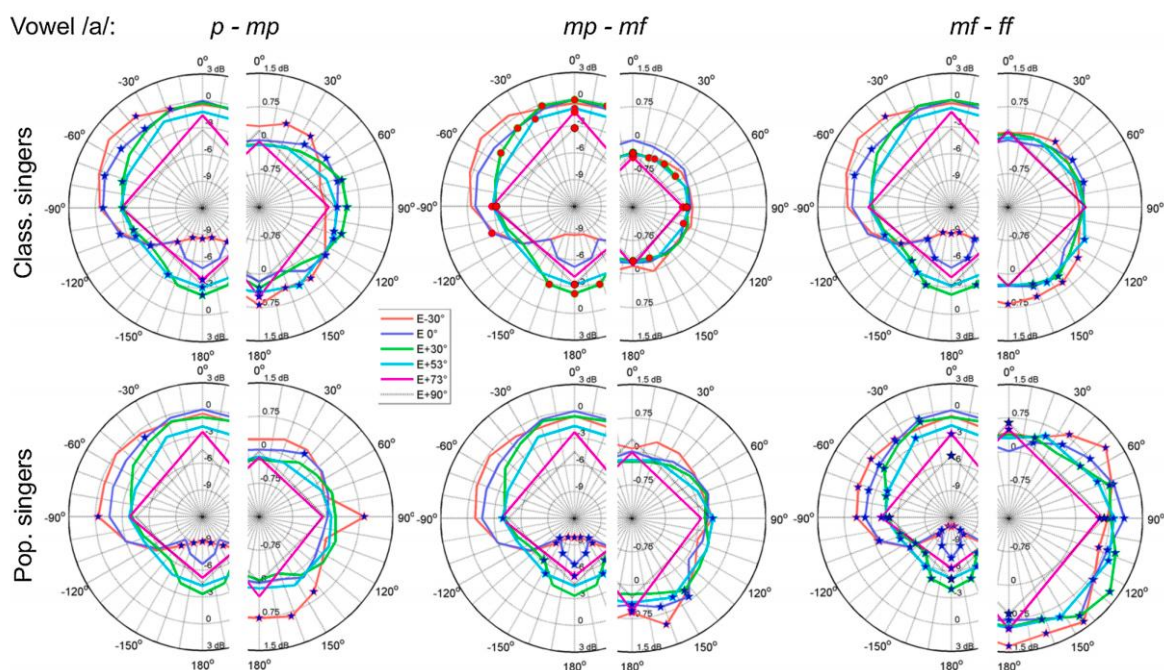
Obr. 9: Porovnání vyzařování operních a popových zpěvaček v každém řádku pro jednotlivá oktávová pásma v oblastech hlasových map, kde se obě skupiny překrývají, v rozsahu výšky tónu C4 – C6 pro samohlásky /a/, /i/, /u/ (první tři sloupce) a pro samohlásku /i/ v překrývající se oblasti v rozsahu A4 – F5# (poslední sloupec).

Výraznější výjimkou je samohlásky /i/, která se vyznačuje dominancí popových zpěvaček v pásmu 500 Hz, a rovněž /i/ v rozsahu výšky tónu A4 – F5#, kde se projevila odlišná tendence v rozdílu vyzařování zvuku, a to zejména v pásmu 250 a 500 Hz. V předních směrech byl pozorován statisticky významný rozdíl pouze u vokálu /a/ v pásmu 1 kHz, kde popové zpěvačky silně vyzařovaly ve spodním předním a bočním směru. Další rozdíly byly pozorovány rovněž u vokálu /u/ v zadním směru.

Globálně se ale jedná pouze o drobná vybočení ze značně převažujícího trendu výrazné dominance operních zpěvaček ve vyzařování zvuku do všech měřených směrů.

3) Efekt různých dynamik

Porovnání různých dynamik při zpěvu stupnic mezi skupinou operních a popových zpěvaček jsou zobrazeny na obr. 10. Srovnání dvou sousedních dynamik velmi jasně vystihuje rozdíly charakteristiky vyzařování mezi oběma skupinami zpěvaček v závislosti na dynamických změnách samohlásky. Největší rozdíl ve vyzařování byl prokázán na samohlásce /a/ u popových zpěvaček, proto byla vybrána pro demonstraci trendu. V porovnání dynamiky p – mp (levý sloupec v horní části obr. 10) při tišší dynamice obě skupiny zpěvaček více vyzařují energii v zadních směrech (pro operní zpěvačky v zadním a horním bočním směru, pro popové zpěvačky jen v dolních zadních směrech), což znamená, že tišší dynamika je méně směrová (nebo hlasitější dynamika je více směrová, tj. užší). Naopak při srovnání dynamik mp – mf (druhý sloupec), zvukové vyzařování v horní přední části je širší v dynamice mf než v dynamice mp (hlasitější dynamika je méně směrová), ale jen pro operní zpěvačky.



Obr. 10: Porovnání radičních vzorců vyzařování mezi sousedními dynamikami při zpěvu stupnic na samohlásku /a/ pro operní zpěvačky (první řada) a popové zpěvačky (druhá řada). Sloupce ukazují srovnání dynamiky: p – mp, mp – mf a mf – ff (druhá dynamika je vždy hlasitější). V levé části grafů jsou uvedeny průměrné hodnoty úrovně vyzařování, pravé poloviny grafů ukazují rozdíly v úrovních vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami. Modré hvězdy označují směry, kde bylo vyzařování větší pro tišší dynamiku, zatímco červené tečky označují směry, kde bylo vyzařování větší pro hlasitější dynamiku.

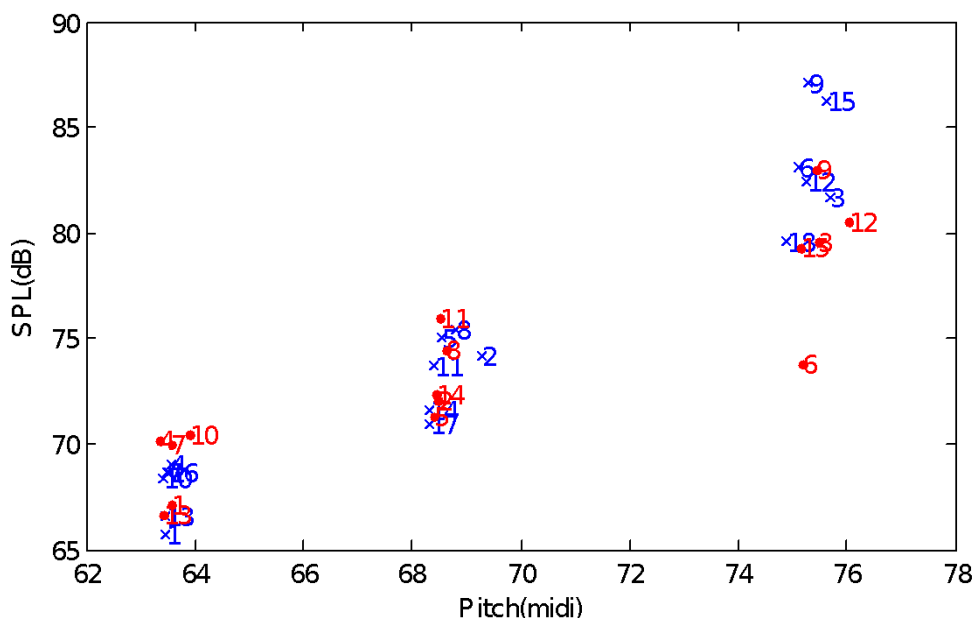
Pro popové zpěvačky je toto srovnání podobné p – mp, rozdíly se vyskytují jen v zadních směrech a úroveň vyzařování je vyšší pro tišší dynamiku. Výsledek

porovnání mf – ff dynamiky je podobný vztahu p – mp dynamiky, ale rozdíly jsou markantnější u popových zpěvaček.

V nejhlasitější dynamice dosahuje hladina vyzářené energie ve všech směrech nižších hodnot.

2.2 Originální výsledky analýz písně

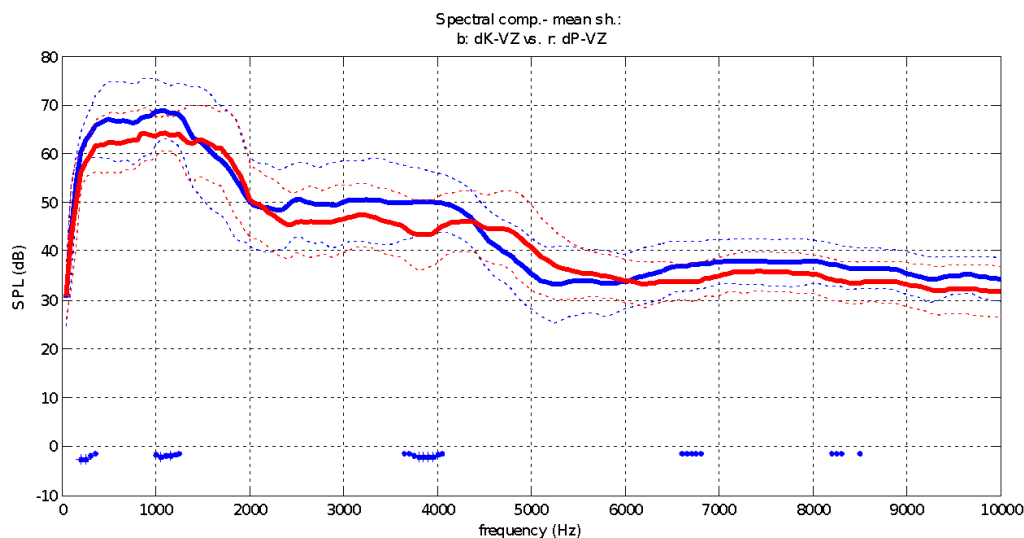
V grafu (obr. 12) lze vidět porovnání zprůměrovaných hodnot vzorků ze všech tří nahraných tónin písně, které lze jasně rozpoznat, neboť tvoří tři celkem jasně ohraničené skupiny. Dle jejich umístění v hlasovém poli jsou lokalizované zleva od nejnižší tóniny až po nejvyšší tóninu. Tento graf zároveň také potvrzuje, že se vzrůstající výškou tónu narůstá také průměrná SPL. Zároveň jsou operní zpěvačky (modrá) a popové zpěvačky (červená) v prvních dvou nižších tóninách nahodile ve skupině promíchané, tudíž nelze říci, že jedna nebo druhá skupina vykazuje rozdíl v nárůstu SPL, zatímco ve třetí skupině leží modré body operních zpěvaček obecně o něco výš než body zpěvaček popových. Platí tak, že operní zpěvačky v tónině C dur o oktávu výš proti zápisu zpívaly průměrně hlasitěji než popové zpěvačky. Zároveň je rozptyl zpěvaček v oblasti hladiny akustického tlaku pro tuto tóninu největší. Tento graf je zároveň ve shodě s grafem hlasových polí z předchozí kapitoly (obr. 5). Zprůměrované hodnoty pro každou zpěvačku pro každou tóninu zvlášť v hlasovém poli jsou připojeny v příloze č.1, str. 53.



Obr. 12: Zprůměrované hodnoty SPL a výšky tónu písně "V zahradě na hrušce" operních (modrá) a popových (červená) zpěvaček v hlasovém poli, v tóninách C dur, F dur a C dur o oktávu výš oproti zápisu.

Porovnání průměrovaných harmonických spekter (LTAS) obou skupin zpěvaček ve všech třech tóninách dohromady je zobrazeno v obr. 13. Operní zpěvačky

dominují ve spektrálním pásmu 200 - 1300 Hz a 2000 - 4500 Hz. Popové zpěvačky dosahují lehce vyšších průměrných hodnot ve spektrálním pásmu 1500 - 2000 Hz.



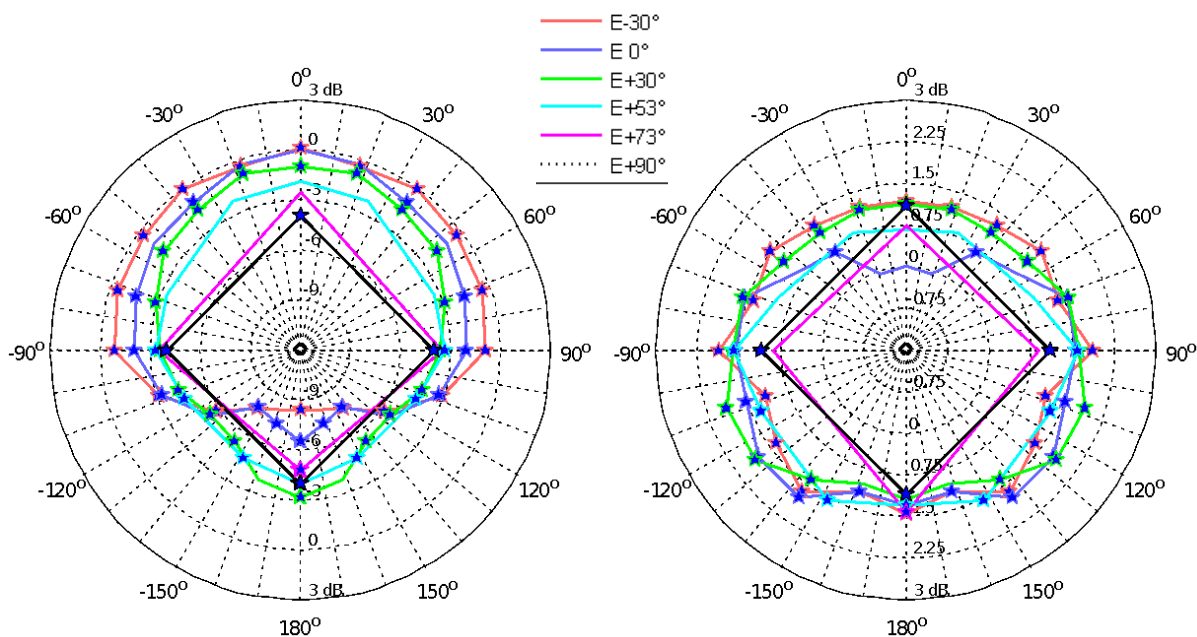
Obr. 13: Porovnání průměrovaných harmonických spekter (LTAS) ve všech třech tóninách dohromady mezi operními (modrými) a popovými (červenými) zpěvačkami. Ve spodní části grafů je zobrazen logaritmus úrovně statistické významnosti.

Porovnání vyzařování obou skupin zpěvaček pro všechny tóniny písně jsou zobrazeny v obr. 14. V polar grafech zcela zřetelně dominuje skupina operních zpěvaček se statisticky významnými rozdíly v zadní části ve všech měřených směrech a v předních směrech od 30° elevace a níž. Zároveň jsou tyto výsledky ve shodě se závěry článku, čili operní zpěvačky vyzařují všesměrově mnohem více než zpěvačky popové, které mají vyzařování směrovější, tzn. užší.

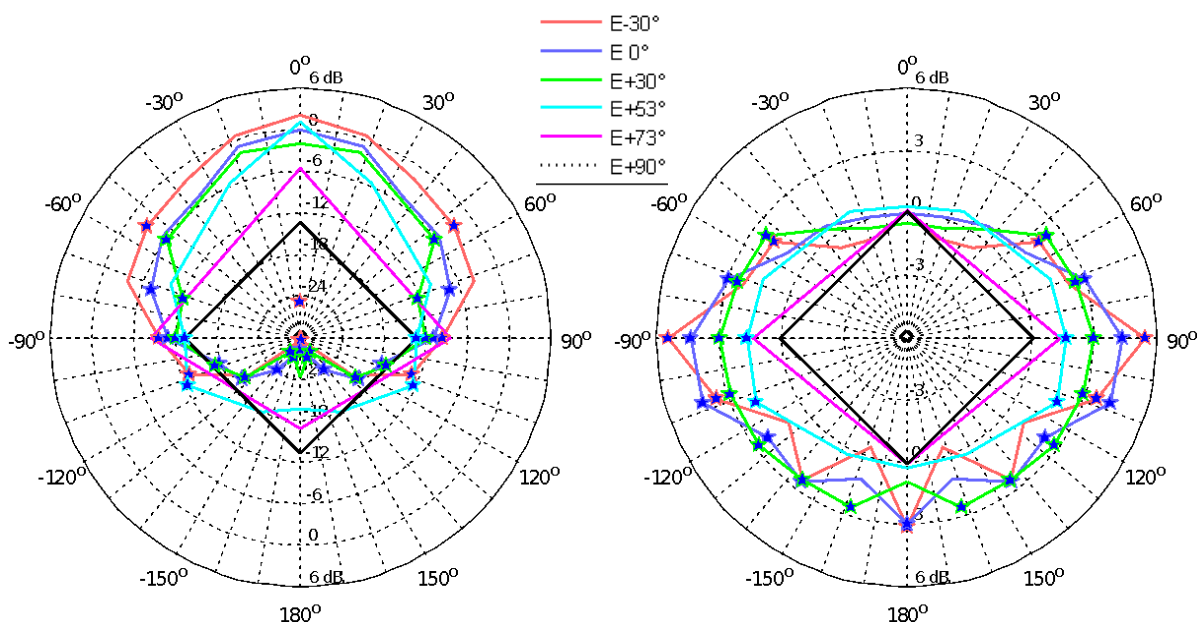
V porovnání vyzařování zpěvaček ve všech třech tóninách dohromady v pásmu 2 - 4 kHz³² (obr. 15) opět převažuje trend směrovosti popových zpěvaček. Skupina operních zpěvaček vyzařuje v dané frekvenční oblasti více všesměrově se statisticky významným rozdílem zejména v bočních a zadních směrech, v rozmezí azimutu 0° - 50° (čili v předním směru) nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly mezi oběma skupinami.

³² Frekvenční oblast 2 - 4 kHz je vybrána k samostatnému porovnání jakožto oblast pěveckého formantu, která ačkoliv jako pěvecký formant u operních sopránových zpěvaček nefunguje, vykazuje i tak odlišnou strukturu a celá je lokálně zesílena. Vzhledem k tomu, že jde o jev typický pro zpěvačky s klasickým typem tréninku hlasu, odlišuje od sebe významně operní a popové zpěvačky.

SUNDBERG, Johan, Mark T. MARUNICK, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Articulatory interpretation of the "singing formant": The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1974, 55(4), 838-844. ISSN 0001-4966. Dostupné z: doi:10.1121/1.1914609

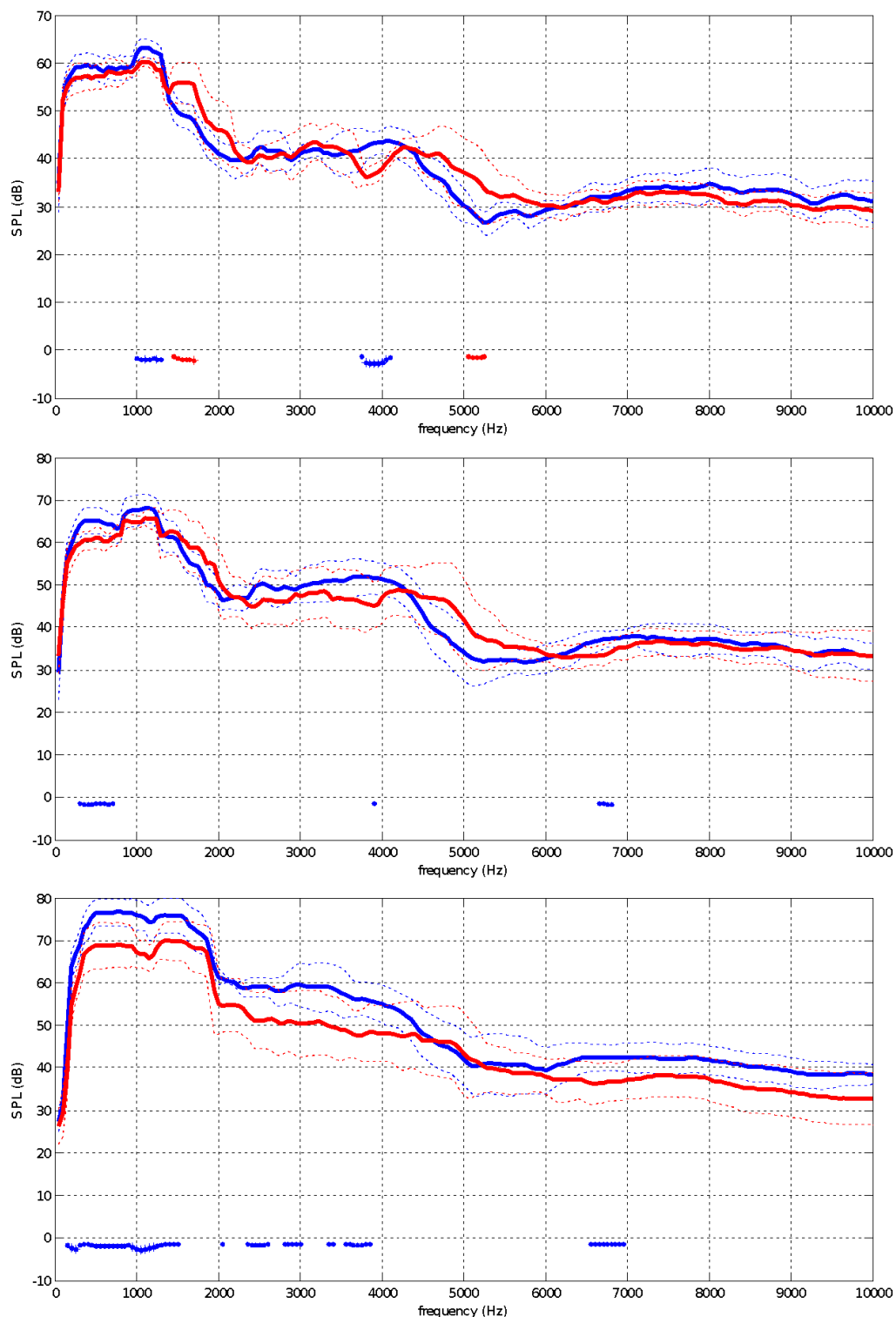


Obr. 14: Porovnání zvukového vyzařování písně ve všech třech tóninách dohromady (C dur, F dur a C dur o oktávu výš). Průměrné hodnoty vyzařování (levý sloupec), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (pravý sloupec). Modré hvězdy v polar grafech ukazují směry se statisticky významnými rozdíly, ve kterých operní zpěvačky dosahovaly vyšších hodnot.



Obr. 15: Porovnání zvukového vyzařování písně ve všech třech tóninách (C dur, F dur a C dur o oktávu výš) ve frekvenčním pásmu 2 - 4 kHz. Průměrné hodnoty vyzařování (levý sloupec), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (pravý sloupec). Modré hvězdy v polar grafech ukazují směry se statisticky významnými rozdíly, ve kterých operní zpěvačky dosahovaly vyšších hodnot.

Porovnání průměrovaných harmonických spekter (LTAS) pro jednotlivé tóniny zvláště se nachází v grafu (obr. 16) níže. Ze všech je patrné, že ve spektrálním pásmu 200 - 1300 Hz (někdy až 2000 Hz) vždy dominují operní zpěvačky.



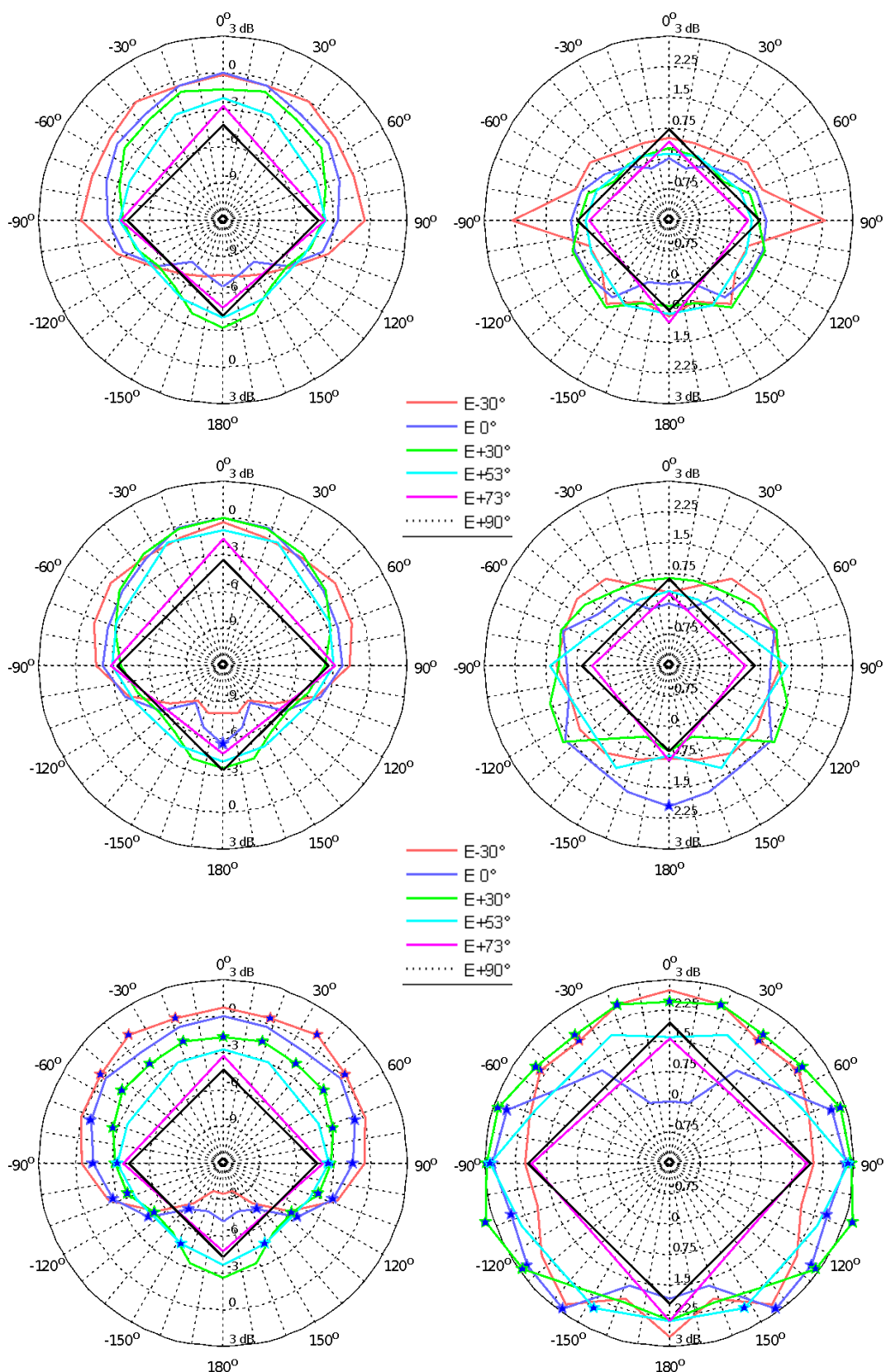
Obr. 16: Porovnání průměrovaných harmonických spekter (LTAS) ve všech třech tóninách zvláště (C dur - horní řádek, F dur - prostřední řádek, C dur o oktávu výš oproti zápisu - spodní řádek) mezi operními (modrými) a popovými (červenými) zpěvačkami. Ve spodní části grafů je zobrazen logaritmus úrovně statistické významnosti.

Následující spektrální oblast již oproti spektrogramu všech tónin dohromady není tak zřetelná. Ve dvou hlubších tóninách C dur a F dur v ní dominují zpěvačky popové. V nejvyšší tónině C dur o oktávu výš oproti zápisu však hladinou akustického tlaku skupina popových zpěvaček začne dominovat operním až za 4,5 kHz, a to jen po velmi krátký frekvenční úsek.

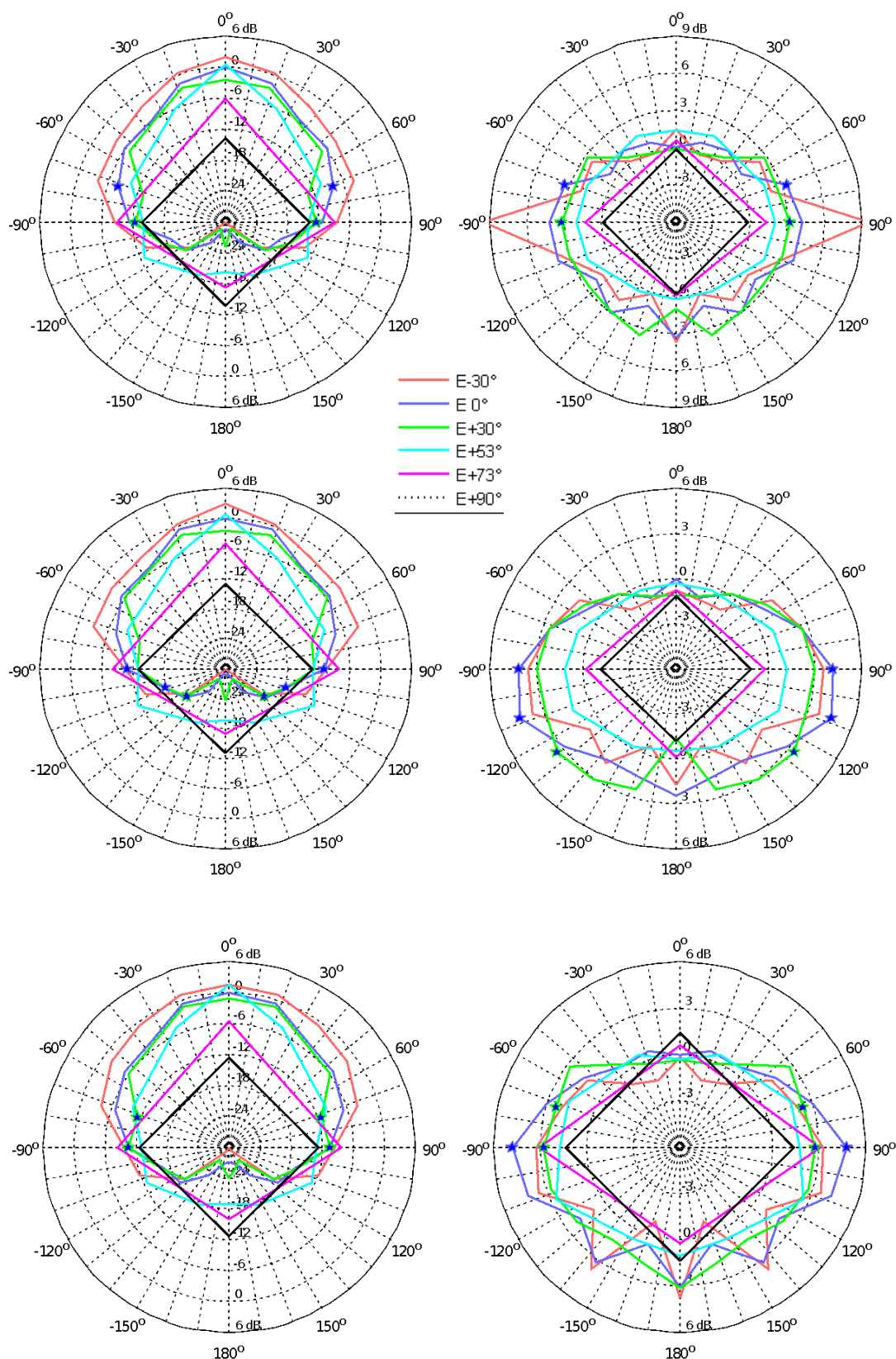
Zpěvačky v prvních dvou hlubších polohách C dur a F dur nevykazují v porovnání směrovosti v celé šířce frekvenčního spektra statisticky významné rozdíly (obr. 17), až na azimut 180° elevaci 0° v tónině F dur (spodní řada grafů), kde jako v jediném směru statisticky významný rozdíl je. Vyšší hodnotu energie zde vyzáří operní zpěvačky.

Poslední, nejvyšší, tónina C dur o oktávu výš oproti zápisu má trendy zcela odlišné než předchozí dvě tóniny (obr. 17, spodní řádek). V celém frekvenčním spektru výrazně dominuje skupina operních zpěvaček. Statisticky významné rozdíly se nacházejí ve většině směrů v elevaci 30°, v předním směru v elevaci -30°, v bočním a zadním směru v elevaci 0° a v bočních a zadních směrech také v elevaci 53°.

V polar grafu v rozsahu frekvenčního pásma 2 - 4 kHz pro tóninu C dur (horní řádek), F dur (prostřední řádek) a C dur o oktávu výš oproti zápisu (spodní řádek) v obr. 18 již lze vidět trochu více statisticky významných rozdílů v bočních směrech (azimut od 70° do 90°) pro tóninu C dur (horní řada grafu) a bočních až zadních směrech (azimut od 90° do 130°) pro tóninu F dur. Tyto rozdíly vznikají v elevacích 0° a 30° a vždy v daných směrech dominuje skupina operních zpěvaček. Oproti tomu pro tóninu C dur o oktávu výš lze hovořit o úbytku. Ve frekvenčním pásmu 2 - 4 kHz (spodní řada) se vyskytují statisticky významné rozdíly minimálně, narozdíl od celého frekvenčního rozsahu, a to v bočních směrech a v kladné elevaci do 30°.



Obr. 17: Porovnání vyzařování písně v tónině C dur (horní řada), F dur (prostřední řada) a C dur o oktávu výš oproti zápisu (spodní řada). Průměrné hodnoty vyzařování (levý sloupec), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (pravý sloupec). Modré hvězdy v polar grafech ukazují směry se statisticky významnými rozdíly, ve kterých operní zpěvačky dosahovaly vyšších hodnot.



Obr. 18: Porovnání vyzařování písně v tónině C dur (horní řada), F dur (prostřední řada) a C dur o oktávu výš oproti zápisu (spodní řada) ve frekvenčním pásmu 2 - 4 kHz. Průměrné hodnoty vyzařování (levý sloupec), průměrné rozdíly celkového vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami (pravý sloupec). Modré hvězdy v polar grafech ukazují směry se statisticky významnými rozdíly, ve kterých operní zpěvačky dosahovaly vyšších hodnot.

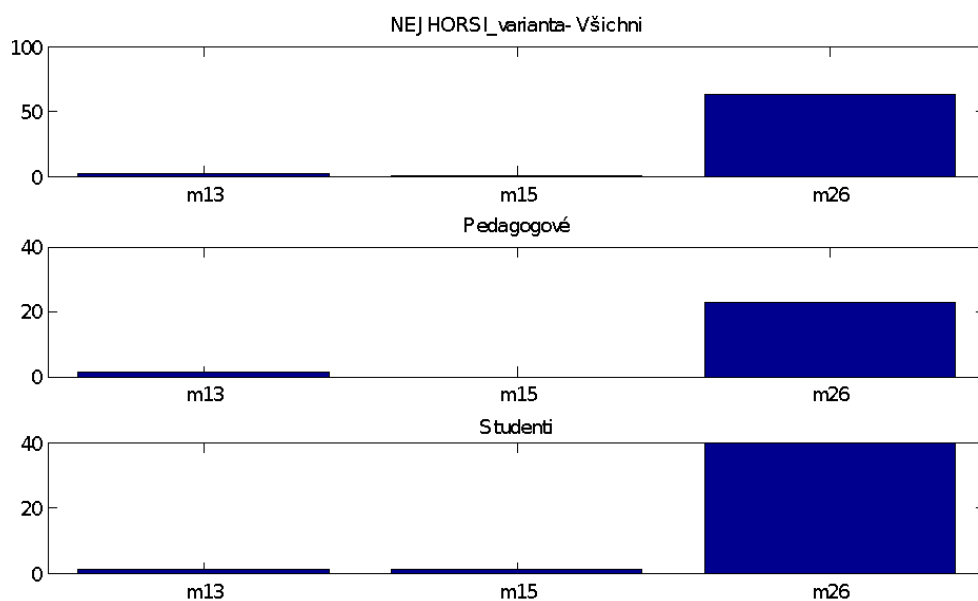
2.3 Výsledky poslechového testu

Jednotlivé hodnocení respondentů je zobrazeno v tab. 5. Ačkoliv respondenti vybírali pouze nejlepší a nejhorší ukázky nahrávek árií, vzhledem k tomu, že možnosti výběru byly pouze tři, bylo s jejich hodnocením zacházeno jako s nejlepší nahrávkou, druhou nahrávkou a třetí, nejhorší, nahrávkou.

ID	1544	1531	1529	1524	1523	1520	1519	1463	1436	1433	1394
1_m13	2	2	2	2	1	3	1	1	1	2	1
1_m15	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2
1_m26	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
2_m13	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
2_m15	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2
2_m26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3_m13	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1
3_m15	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2
3_m26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4_m13	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
4_m15	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
4_m26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5_m13	1	3	1	2	1	1	2	2	1	2	1
5_m15	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2
5_m26	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6_m13	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
6_m15	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1
6_m26	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tab. 5: Kombinace hodnocení do kategorií: 1-nejlepší, 2-střední, 3-nejhorší. ID nahrávky je ve formátu "pořadové číslo nahrávky_m číslo mikrofону". ID respondentů je označeno dle kategorie - pedagogové (tyrkysová), studenti (žlutá).

Dle vyhodnocení statistickou metodou Fleissova kappa a její interpretace³³ se všechny skupiny výborně shodly na volbě nejhorší nahrávky, a to jak v kategorii mezi sebou, tak i všechny kategorie dohromady, viz obr. 19. Z 11 respondentů označilo zadní směr jako nejhorší většinou všech 11, ve třech případech jen 10, což lze uchopit jako přijatelnou chybu k téměř dokonalé shodě (Fleissova kappa 0,81 - 1,00).

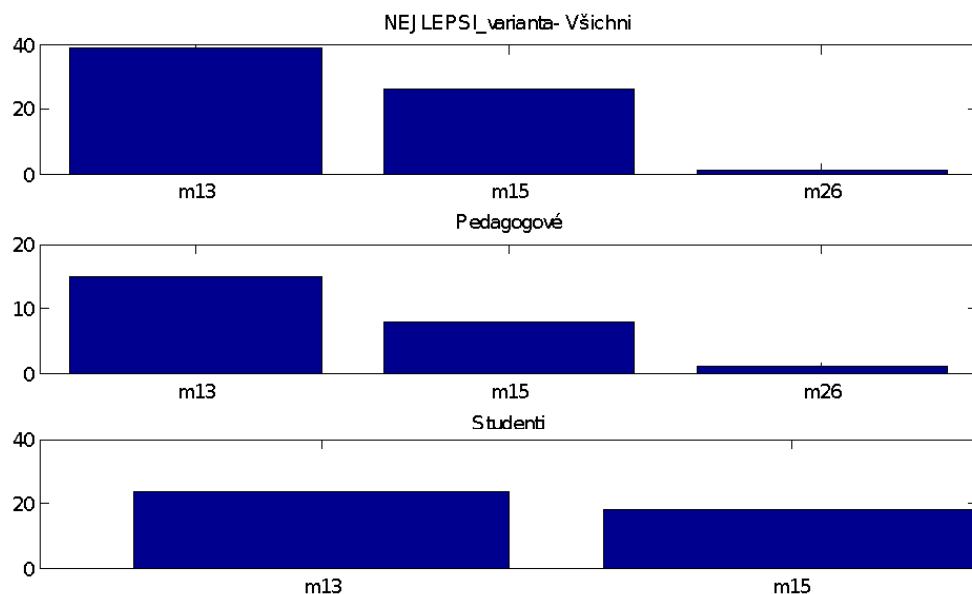


Obr. 19: Histogram hodnocení nejhorších mikrofonů pro všechny árie skupinami: všichni (horní řada), pedagogové (prostřední řada), studenti (spodní řada). Mikrofon m13 (levý sloupec) je zástupce předního spodního směru azimut 0°, elevace -30°, m15 (prostřední sloupec) předního horního směru azimut 0°, elevace 30°, m26 (pravý sloupec) zadního bočního směru azimut 144°, elevace 0°.

Ve slovním odůvodnění výběru se nejčastěji vyskytovala hodnocení jako utlumené, zastřené, frekvenční nevyváženost, špatná vzdálenost, hřebenový filtr a špatná srozumitelnost. Tento zadní směr byl ale respondentem jednou vybrán i jako nejlepší směr z důvodu nejlepšího zvládnutí dynamiky, konkrétně u árie č. 5 - O mio babbino caro. Celá originální tabulka hodnocení je v příloze č. 2 na str. 54.

Shoda ve volbě nejlepší nahrávky už tak jednoznačná nebyla, jak lze vidět v histogramu v obr. 20. Respondenti volili převážně o něco více mikrofon č. 13, čili zástupce spodního směru, než-li mikrofon č. 15, tedy zástupce horního směru.

³³ viz kapitola 1.3.3 Použité metody při vyhodnocování poslechového testu str. 21.



Obr. 20: Histogram hodnocení nejlepších mikrofonů pro všechny árie skupinami: všichni (horní řada), pedagogové (prostřední řada), studenti (spodní řada). Mikrofon m13 (levý sloupec) je zástupce předního spodního směru azimut 0° , elevace -30° , m15 (prostřední sloupec) předního horního směru azimut 0° , elevace 30° , m26 (pravý sloupec) zadního bočního směru azimut 144° , elevace 0° .

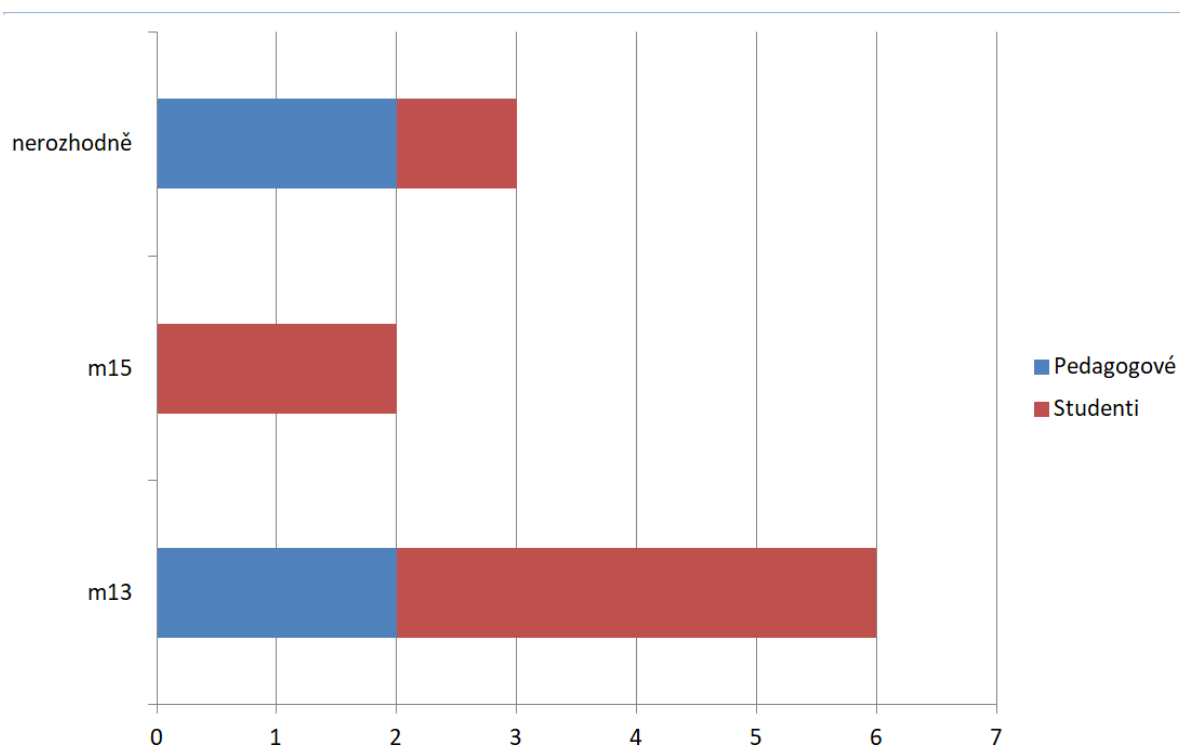
Ve svém zdůvodnění výběru nejlepší nahrávky respondenti nejčastěji uváděli zvukovou vyrovnanost (vokálů, frekvenční, dynamickou), přirozenost, srozumitelnost, presentnost. Z vjemů barvy potom preferovali buď plnost, kulatost a sametovost zvuku, nebo naopak čistotu, ostrost, jasnost a světlost. Celá originální tabulka hodnocení je v příloze č.3 na str. 55.

Celková preference mikrofonů jednotlivých respondentů byla pouze u 3 respondentů nejasná. Ostatní respondenti více (5:1), či méně (4:2) preferovali po celou dobu poslechu určitý směr. Preference jednotlivců v kategoriích jsou znázorněny v obr. 21. Poslechem pouze studenti, i kromě jiných směrů, preferovali horní směr (m15), pedagogové preferovali směr spodní (m13) nebo měli preferenci nejasnou.

Respondent s větší (5:1) preferencí horního směru si tento mikrofon vybíral kvůli dobré srozumitelnosti a frekvenční vyváženosti. Sám v poznámkách k testu shrnul své postřehy: „Myslím si, že jsem u všech ukázek volil jako nejlepší i nejhorší stále stejné umístění mikrofonů, i když pořadí bylo samozřejmě záměrně vždy na přeskáčku.“

Respondenti s větší (5:1) preferencí spodního směru nebyli ve svých poznámkách sdílní a rozhodli se s výjimkou jednoho zůstat v anonymitě. Zbýlý respondent v osobním rozhovoru uvedl, že se snažil vybírat citlivě dle daného

repertoáru a barvy charakterizující daný hlas zpěvačky. Dle zdůvodnění výběru nejlepší nahrávky v poslechovém testu obsahovala jeho preference barevnou vyrovnanost, plnost, přirozenost a srozumitelnost.



Obr. 21: Celková preference mikrofonu v průřezu jednotlivců v pro celý poslech v kategorii pedagogové (modrá), studenti (červená). Nejasná preference - nerozhodně (3:3), horní směr - m15 (4 z 6 a více), spodní směr m13 (4 z 6 a více). Horizontální osa udává počet respondentů.

Vztáhneme-li volbu mikrofonu vzhledem k árii (případně zpěvačce, hlasu), většinou nebyla zcela jednoznačná a respondenti se na konkrétním umístění mikrofonu neshodli. Největší rozpolcenost nastala pro první árii Pucciniho *Quando me'n vo'*. Respondenti volili horní mikrofon oproti spodnímu 6:5. Naopak největší shoda nastala pro poslední nahrávku Mozartova *Agnus Dei* (horní mikrofon oproti spodnímu 2:9) a druhou árii, jejímž autorem je rovněž W. A. Mozart, *Vedrai Carino* (horní mikrofon oproti spodnímu 8:3).

Celková shoda dle Fleissovy kappy na základě transformace odpovědí do kategorií z tab. 3 je znázorněna v tab. 6. Pro kategorii studentů vychází shoda střední, kategorie pedagogů se shodla uspokojivě. Všichni dohromady vykazují střední shodu.

Pořadí	Fleiss_k	error	CImin	CImax	z	p_value	Agreement
Všichni	0.453	0.0225	0.4416	0.4645	20.1586	0	Moderate
Pedagogové	0.375	0.068	0.3403	0.4097	5.5114	3.56E-08	Fair
Studenti	0.4762	0.0364	0.4576	0.4947	13.0931	0	Moderate

Tab.6: Vyhodnocení Fleissový kappy na základě transformace odpovědí do kategorií všichni (první řada), pedagogové (druhá řada), studenti (třetí řada). Sloupce zleva: Fleiss_k - hodnota Fleissový kappy, error - hodnota chyby, CImin a CImax - rozptyl hodnot Fleissový kappy, z - statistická odchylka, P_value - hladina statistické významnosti (pokud menší než 0,05, pak statisticky významné), agreement - shoda.

3 Diskuse

Tato kapitola je pro přehlednost rozdělena na podkapitoly podobně, jako tomu bylo u výsledků: pro analýzy z nahraných vokálů (součástí článku), originální výsledky z analýz písně, výsledky poslechového testu. Samostatná kapitola byla vyčleněna na doporučení pro navazující práci.

3.1 Diskuse k výsledkům z analýz nahraných vokálů

Při měření hlasových polí byl dynamický rozsah měření menší než absolutní fyziologický dynamický, jenž je běžný pro zdravé trénované hlasy³⁴

Nižší změřené maximální SPL oproti fyziologickému měření hlasového pole je způsobeno přibližně čtyřnásobnou vzdáleností zpěvaček od měřících mikrofónů v bezdrazové místnosti. Vyšší hodnoty SPL operních zpěvaček v oktávě C5 - C6 byly rovněž pozorovány ve studii³⁵ mezi klasicky trénovanými a normofonickými netrénovanými subjekty. Naměřená minima SPL obou typů zpěvaček však neodpovídaly nejtišším fonacím, jak je měřeno při fyziologickém dynamickém rozsahu, odpovídaly pp dynamice jevištního zpěvu, proto ani zjištěné dynamické rozsahy neodpovídaly fyziologickým. Tento výsledek koresponduje s výsledky v Lamarche et al. 2010.³⁶

Pro samohlásky /a/ a /u/ bylo zjištěno, že v pásmu 2 – 4 kHz vyzařují operní zpěvačky větší množství akustické energie. Tento výsledek je spojen se zvonivostí (kvalitou hlasu), typickou pro operní zpěváky obecně³⁷. Akumulace energie v tomto rozsahu pro samohlásky /a/ a /u/ dosahuje silného širokého vrcholu v rozmezí 2,5 – 4,5 kHz, což lze vysvětlit jako kumulace 3. – 5. formantu. To je typičtější pro operní pěvce (muže) a jejich speciální pěvecký formant.³⁸ Oblast klastru a následná redukce energie ve spektru se vyskytuje v okolí 4 kHz, což bylo rovněž označeno jako jedno z kritérií pro rozlišení sopránových a mezzosopránových zpěvaček.³⁹

³⁴ FRIČ, Marek, Comparison of voice range profile parameters between males and females, *Akustika* Vol 30 (1) (2018) s. 42–63.

³⁵ FRIČ, M. a K.A. KADLECOVÁ, Porovnání vlastností a parametrů hlasu pěvecky trénovaných a netrénovaných žen, *Akustické listy* 18 (2-3) (2012), s. 5–24.

³⁶ LAMARCHE, Anick, Sten TERNSTRÖM, Peter PABON a Ågot Møller GRØNTVED. The Singer's Voice Range Profile: Female Professional Opera Soloists. *Journal of Voice*. 2010, 24(4), 410-426. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2008.12.008

³⁷ BOTTALICO, Pasquale, Mark T. MARUNICK, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Singing Voice Quality: The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. *Journal of Voice*. 2021, 35(3), 501.e11-501.e18. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2019.09.015

³⁸ SUNDBERG, Johan. *Using acoustic research for understanding various aspects of the singing voice*. In *Transcripts of the 13th Symposium Care of the Professional Voice* (V. Laurence, ed.), 1984, Part I, str. 90-104.

³⁹ M. FRIČ, A. PAVLECHOVÁ, Listening evaluation and classification of female singing voice categories, *Logoped. Phoniatr. Vocol.* 45 (3) (2020), s. 97–109.

Rozdílný trend pro samohlásku /i/ lze vysvětlit jako důsledek velmi vysoké polohy druhého spektrálního vrcholu (vyšší než 2 kHz) u popových zpěvaček. Spektrální oblast (obvykle nad 4,5 kHz) dominuje u popových zpěvaček. Podle průměrovaných spekter jde o spektrální pásmo pátých a vyšších spektrálních vrcholů (formantů).

Björkner⁴⁰ podobně pozorovala vyšší pozice 5. formantu u mužů, a také že 2. a 4. formant byl vyšší pro muzikálové zpěváky, čímž je odlišoval od operních zpěváků.

Tvary průměrných radiačních křivek v horizontální rovině jsou podobné těm, které byly dříve publikovány pro hlas mluvčího.^{41,42} Již předběžný experiment⁴³ na dvou subjektech ukázal, že existuje měřitelný rozdíl ve vyzařovacích vzorcích mezi operní a popovou zpěvačkou. Tato diplomová práce to potvrzuje.

Bylo zjištěno, že popové zpěvačky mají nižší (užší) úroveň vyzařování než operní zpěvačky. Tento výsledek koresponduje se zvukařskou praxí a doporučenými postupy v mikrofonování zpěvaček.⁴⁴ Největší významný rozdíl byl nalezen u samohlásky /a/, pro kterou téměř v každém směru vyzařovaly operní zpěvačky větší množství energie do směru v azimutu 60° – 180°, s rozdíly dosahujícími až 2 dB. Pro samohlásky /i/ a /u/ je dominance operních zpěvaček hlavně v horní zadní části pole (v azimutu 60° – 180°) a v předních spodních směrech s azimutem 18° – 50° pro samohlásky /i/ a na 18° – 150° pro samohlásku /u/. Neexistují žádné další studie, s nimiž by bylo možné tyto výsledky porovnat.

Podrobnější porovnání zvukového vyzařování v oktávových pásmech (obr. 9) vysvětluje rozdíly ve vyzařování zvuku mezi oběma skupinami zpěvaček a jednotlivými samohláskami. Ačkoli harmonická spektra naznačují silné spektrální rozdíly v oblastech druhého formantu mezi operními a popovými zpěvačkami (zde se jejich frekvenční polohy nejvýznamněji lišily), porovnáním vlastností zvukového vyzařování v těchto spektrálních pásmech nelze vysvětlit rozdíly ve vzorcích a trendech zvukového vyzařování. Rozdílné trendy vyzařování v rozsahu A4# - F5# pro samohlásku /i/ (obr. 8) lze vysvětlit hlavně na základě zvukového vyzařování ve frekvenčním pásmu kolem 500 Hz, což je typická poloha prvního formantu samohlásky /i/. Z literatury je známo, že u operních zpěvaček je pozice prvního formantu nižší než u popových.^{45, 46} Výsledky

⁴⁰ BJÖRKNER, E., Musical theater and opera singing—why so different? A study of subglottal pressure, voice source, and formant frequency characteristics, *J. Voice* 22 (5) (2008), s. 533–540.

⁴¹ CHU, W. T. a A. C. C. WARNOCK. Detailed Directivity of Sound Fields Around Human Talkers [online]. 2002, , 47 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.4224/20378930. Dostupné z: <http://doi.org/10.4224/20378930>

⁴² MONSON, B.B., E.J. HUNTER, B.H. STORY, Horizontal directivity of low- and highfrequency energy in speech and singing, *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (1) (2012), s. 433–441.

⁴³ PODZIMKOVÁ, I. a M. FRIČ, Comparison of sound radiation between pop and classical singers, in: *Proceeding of 11th International Workshop Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Application, Firenze, 2019*, s. 67–70. December 17-19.

⁴⁴ ZÁZVŮREK, Jan. *Zpěv před mikrofonem*. Praha, 2007. Bakalářská práce. Akademie múzických umění v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Václav Syrový, CSc.

⁴⁵ SUNDBERG, Johan, Mark T. MARUNICK, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Articulatory interpretation of the "singing formant":

však neukázaly rozdíly ve spektrální úrovni tohoto pásma mezi skupinami. V takovém případě lze uvažovat, že to může být způsobeno nižší polohou prvního formantu popových zpěvaček pro samohlásku /i/ v tomto rozsahu (obr. 6). Drobné změny u vokálu /u/ pak mohou být zapříčiněny velikostí úst.

3.2 Diskuse k originálním výsledkům analýz písně

Ačkoliv se jedná o analýzy úseků árií (16 – 18 s), což je o dost delší časový úsek pro FFT (provedeno se stejným váhováním jako pro analýzy vokálů), zároveň dynamicky, výškou i zastoupením hlásek velmi rozmanité, v mnoha bodech se výsledky obě analýzy shodují.

Popové zpěvačky dosahují nižších hodnot SPL při zpěvu písně v tónině C dur o oktávu výš oproti zápisu, což koresponduje se závěrem s pozorování na samohláskách, kde lze tento trend pozorovat ve dvoučárkované oktávě. Přestože se při analýze písní nedá hovořit o formantech, kumulace energie ve spektru odpovídá zhruba rozsahu a dominance operních zpěvaček v pásmu 200 – 1300 Hz a 2500 – 4000 je velmi nápadně podobná spektrogramu samohlásek.

Rovněž se potvrzuje, že popové zpěvačky vyzařují více směrově (úzce) nežli zpěvačky operní, jejichž vyzařování má více všesměrový charakter. Tento výsledek je ve shodě s měřením samostatných vokálů. Podrobnější rozbor porovnání pro jednotlivé výšky samostatně však potvrdil tento rozdíl ve vyzařování jen v nejvyšší výšce, tam je však nutné uvažovat i o efektu vyšší průměrné SPL u operních zpěvaček. Na polar grafech v hlubších dvou tóninách zpěvu písně není vidět příliš statisticky významných rozdílů, avšak v porovnání grafů v pravé části (obr. 17), kde je zobrazen rozdíl relativních hladin vyzařování mezi operními a popovými zpěvačkami, jsou hodnoty v zásadě vyšší než nula. To znamená, že v průměru vyzařují více energie operní zpěvačky než popové. Pokud by bylo do měření zahrnuto více zpěvaček, pravděpodobně by i tento rozdíl začal být statisticky významný.

Velkou roli v analýze písně sehrála i interpretace. Poslechově sice vždy zůstaly patrné technické odlišnosti operních a popových zpěvaček, avšak spousta zpěvaček pojala interpretaci „V zahradě na hrušce“ jako interpretaci lidové písně, proto do jisté míry přizpůsobila svou techniku. Interpretace zároveň mohla způsobit, že operní zpěvačky začaly dominovat více v předním spodním směru a méně v předním horním směru oproti měření samohlásek. Dle videozáznamů obličejů operních zpěvaček, které byly pořízeny při měření, je patrné, že v okamžiku změny zadání ze strohého technického měření na interpretaci

The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. The Journal of the Acoustical Society of America. 1974, 55(4), 838-844. ISSN 0001-4966. Dostupné z: doi:10.1121/1.1914609

⁴⁶ BJÖRKNER, E., Musical theater and opera singing—why so different? A study of subglottal pressure, voice source, and formant frequency characteristics, J. Voice 22 (5) (2008), s. 533–540.

změnily nastavení hlavy. Týl vyvýšily jako vztyčný bod a bradu snížily a přitáhly blíže k hrudníku. Jde o typické nastavení hlavy pro operní techniku.

3.3 Diskuse k výsledkům poslechového testu

Poslechový test byl sestaven tak, aby co nejjednodušeji nastínil, jak funguje teorie v praxi a jestli by bylo možné jej v příští studii větším měřítku provést. Byly do něj zahrnuty prozatím pouze operní zpěvačky, neboť okruh zvukových mistrů, kteří se testu zúčastnili, se věnuje z 90% převážně klasické hudbě, takže mají blíže ke zvukovému modelu operních zpěvaček⁴⁷.

Z výsledků testu bylo zjištěno, že směr, který byl v teoretické analýze vyhodnocen jako jeden z nejhorších možných (azimut 144°, elevace 0°) a nacházel se v místě laloku zadního bočního útlumu, byl s téměř dokonalou shodou označen za směr nejhorší. Slovní hodnocení tohoto směru (utlumené, bez vyšších frekvencí, jako pod dekou,...) je v souladu se spektry pro všechny předkládané árie (v příloze č. 4 na str. 56).

Důvodem pouze střední, až uspokojivé shody pro nejlepší nahrávku mohlo být hned několik faktorů:

- V příloze č. 5 na str. 57 se nachází doplňkové polar grafy směrnosti vyzařování jednotlivých árií, které dokazují, že pro většinu z nich šlo nejvíce energie v azimutu 0° do spodního směru, čili elevace -30°. Jak již bylo zmíněno výše, lze to považovat za efekt techniky a vliv operního nastavení hlavy.
- Slovní hodnocení ukazuje, že ideální zvukový model jednotlivých mistrů zvuku se liší. Celkem se dělí na dvě skupiny, kdy jedna vyžaduje jasnost, světlost a čistotu zvuku, druhá kulatost a plnost, což by odpovídalo charakteristice obou mikrofonů, zároveň to jsou ale dvě různé oblasti barvy zvuku.^{48, 49} Vzhledem k tomu, že běžně dochází při poslechu ke konfrontaci s oběma způsoby mikrofonování (horní směr i spodní), rozhodla tady zřejmě estetická preference, nikoliv správnost metody mikrofonování, neboť ta není zcela jasně daná.
- Hodnocení zvuku mohlo proběhnout u každého v jiné rovině. Konkrétně jde o rovinu vstupní (čistě zaznamenaný signál s jasným předpokladem větší či menší následné postprodukce) a výstupní (hotová nahrávka před odevzdáním). Ačkoliv bylo jasně v úvodním textu definováno,

⁴⁷ SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění, 2003. akustická knihovna (Akademie múzických umění v Praze. Hudební fakulta. Zvukové studio). ISBN 80-733-1901-2., s. 197 - 200.

⁴⁸ MELKA, A., J. ŠTĚPÁNEK, Z. OTČENÁŠEK. (1995): Výzkum vztahů barvy zvuku a spektra u izolovaných tónů houslí. Praha: VUZORT.

⁴⁹ ŠTĚPÁNEK, J. a O. MORAVEC. (2004): Percepční prostory barvy hudebního zvuku a jejich slovní popis, GA ČR 202/02/1370.

že jde o hodnocení roviny vstupní, tato skutečnost mohla být přehlédnuta či zapomenuta v průběhu testu.

Celý poslechový test byl poznamenán epidemiologickou situací ve spojitosti s nemocí Covid-19, tudíž nebylo možné naplnit některé technické aspekty, jako například použití stejných sluchátek, které by byly změřené, a zajistily tak stejnou hlasitost a frekvenční vyváženost všem respondentům, ústní vysvětlení zadání a přímé odpovědi na případné dotazy, korekce obsahu polí s volnými odpověďmi, atd.

3.4 Doporučení pro navazující práci

Při měření byl zároveň pořízen videozáznam obličeje zpěvaček, který zatím nebyl zpracován. Studie Blandina a Brandnera⁵⁰ prokázala, že velikost úst má vliv na vyzařování hlasu. Konkrétně "dlouhá ústa", což je otevření úst na 6,5 cm, by měly významně podpořit vyzařování do předního spodního směru ve frekvenčním pásmu 2 kHz a výš, narozdíl od normálního nastavení úst, pro které udávají velikost otevření 3 cm. Tuto hypotézu by bylo vhodné ověřit v navazující práci.

Pro navazující výzkum by bylo přínosné také zopakovat měření jednotné písně (v této práci "V zahradě na hrušce") a vést zaměření výzkumu a instrukce zpěvaček tak, že by rozdíly byly zjišťovány na pokusu o stejnou interpretaci (např. lidové písně) a pak specifické interpretaci jiné písně, kterou lze interpretovat operně i popově (např. Bernsteinovo „Somewhere“ nebo Gershwinovo „Summertime“). Tím by se objasnilo, zda má na vyzařování větší vliv interpretace, nebo technika zpěvu.

Poslechový test vyžaduje lepší a hlavně jednotnější technické vstupní parametry a velké rozšíření jak do počtu respondentů, tak i počtu stimulů (na úrovni zpěvaček i volby více směrů mikrofonů), což s sebou přináší také mnohem větší časovou náročnost takového testu. Ideálním řešením je rozdělení stimulů na dvě sady (operní zpěvačky a popové). K zahrnutí popových zpěvaček do poslechového testu by bylo nutné oslovit i zvukové mistry, kteří se primárně věnují popu a mají pro něj ustálený zvukový model.

Při rozšíření o další směry mikrofonů by jistě stálo za úvahu přidat boční směry a rovněž zadní horní.

Do testu by bylo vhodné zároveň přidat otázku, zda respondent dokáže identifikovat předložený repertoár, a tak zjistit, jestli má na shodu, případně celé hodnocení, vliv poslechová zkušenost a jaký.

⁵⁰ BLANDIN, R., M. BLANDNER, Influence of the vocal tract on voice directivity, Proceedings of the 23rd International Congress of Acoustics 2019 (2019) 1796–1801.

Výše uvedená doporučení naznačují možnosti navazující práce v samostatném projektu. Komplexnější a cílené řešení poslechového hodnocení však bude vyžadovat profesní zapojení hodnotitelů nejen na úrovni dobrovolníků.

4 Závěr

(částečně v článku)

Skupiny operních a popových zpěvaček se lišily dle maximální hodnoty SPL a také podle množství energie ve spektru pásma prvního formantu (u písně 200 – 1300 Hz) a pásma 3–4 kHz. V těchto oblastech obvykle dominovaly operní zpěvačky. Naopak popové zpěvačky dominovaly v oblastech nad 4 kHz. Bylo potvrzeno více všesměrové zvukové vyzařování operních zpěvaček pro všechny samohlásky. Hlavní významné rozdíly ve vyzařování zvuku byly nalezeny v zadním směru (hlavně horním) a bočních směrech. Při porovnávání různých výšek (třetiny rozsahu) tónu, podobný trend byl pozorován v hlubších a vyšších polohách. Pouze ve střední poloze pro samohlásku /i/ a /u/ vyzařovaly popové zpěvačky více zvukové energie nežli zpěvačky operní. Zjištěné rozdíly lze vysvětlit na základě nižších poloh prvního formantu, kterými se liší operní a popové zpěvačky obecně.

Trvale vyšší hodnoty operních zpěvaček vyzařování ve frekvenčním pásmu 2 - 4 kHz jsou pravděpodobně základem pro „projected voice“.

Výsledky vyzařování v analýze písně „V zahradě na hrušce“ korespondují s výsledky analýz prodloužených vokálů, přestože jsou ovlivněny interpretací zlidovělé písně, kvůli které operní zpěvačky častěji dominují i ve spodních předních směrech. Míra vlivu interpretace vůči vlivu rozdílné techniky by měla být dále zkoumána v navazující studii.

Shoda v poslechovém testu byla střední pro skupinu všech respondentů a pro skupinu studentů. Pedagogové se shodli uspokojivě. Téměř dokonalá shoda nastala při výběru nejhoršího směru mikrofonu, což koresponduje s teoretickým vyhodnocením nejhorších směrů v oblasti laloků. Shoda na nejlepším směru mikrofonů nebyla vůbec jednoznačná. O něco častěji byl volen přímý spodní směr oproti přímému hornímu směru, ačkoliv přípustné jsou v praxi oba, naopak je horní směr o něco více preferován, pokud není potřeba zaznamenávat i video. Důvodem může být nastavení hlavy zpěvaček při interpretaci, nejasný zvukový model, jenž byl prokázán ve slovním hodnocení volby, nebo jiné pojetí (vstupní a výstupní) předkládaných nahrávek.

Poslechový test má ale i v tomto malém a spíše metodickém rozsahu velký přesah do praxe, neboť jasně dokazuje, že by se zvukoví mistři neměli upínat na jeden způsob mikrofonování (horní nebo spodní směr), ale oba typy kombinovat a citlivou mixáží získat přesně tu barvu, která odpovídá jejich, režisérově, interpretově zvukovému ideálu.

Podrobnější výsledky a následné závěry „projektu klasika vs pop“ jsou k dispozici v článku BSPC⁵¹ a v článku Frič M., Podzimková I., Jelínková J. Porovnání

⁵¹ FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

vlastností hlasu klasických a popových zpěvaček, Musicologica Brunensia, který je momentálně v recenzním řízení.

Seznam literatury

BJÖRKNER, E., Musical theater and opera singing—why so different? A study of subglottal pressure, voice source, and formant frequency characteristics, *J. Voice* 22 (5) (2008), s. 533–540.

BLANDIN, R., M. BLANDNER, Influence of the vocal tract on voice directivity, *Proceedings of the 23rd International Congress of Acoustics 2019* (2019) 1796–1801.

BOTTALICO, Pasquale, Mark T. MARUNICK, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Singing Voice Quality: The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. *Journal of Voice*. 2021, 35(3), 501.e11-501.e18. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2019.09.015

CABRERA, Densil, Pamela J. DAVIS a Anna CONNOLLY. Long-Term Horizontal Vocal Directivity of Opera Singers: Effects of Singing Projection and Acoustic Environment. *Journal of Voice*. 2011, 25(6), e291-e303. DOI: 10.1016/j.jvoice.2010.03.001. ISSN 08921997. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089219971000041X>

CHU, W. T. a A. C. C. WARNOCK. Detailed Directivity of Sound Fields Around Human Talkers [online]. 2002, , 47 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.4224/20378930. Dostupné z: <http://doi.org/10.4224/20378930>

DUNN, H. K. a D. W. FARNSWORTH. Exploration of Pressure Field Around the Human Head During Speech. *The Journal of the Acoustical Society of America* [online]. 1939, 10(3), 184-199 [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1121/1.1915975. ISSN 0001-4966. Dostupné z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1915975>

FLANAGAN, James L. Analog Measurements of Sound Radiation from the Mouth. *The Journal of the Acoustical Society of America* [online]. 1960, 32(12), 1613-1620 [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1121/1.1907972. ISSN 0001-4966. Dostupné z: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1907972>

FRIČ, M. a K.A. KADLECOVÁ, Porovnání vlastností a parametrů hlasu pěvecky trénovaných a netrénovaných žen, *Akustické listy* 18 (2-3) (2012), s. 5–24.

FRIČ, Marek, Comparison of voice range profile parameters between males and females, *Akustika* Vol 30 (1) (2018) s. 42–63

FRIČ, Marek, Angelika PAVLECHOVÁ, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Listening evaluation and classification of

female singing voice categories: The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. *Logopedics Phoniatrics Vocology*. 2020, 45(3), 97-109. ISSN 1401-5439. Dostupné z: doi:10.1080/14015439.2018.1551418

FRIČ, Marek a Iva PODZIMKOVÁ, Comparison of sound radiation between classical and pop singers, *Biomedical Signal Processing and Control*, Volume 66 (2021) 102426, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102426>.

KATZ, Brian a C. D'ALESSANDRO. Measurement of 3D Phoneme-Specific Radiation Patterns in Speech and Singing. *Limsi*[online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://rs2007.limsi.fr/PS_Page_14.html#LINKS

KOB, Malte a Harald JERS, Directivity measurement of a singer, *J. Acoust. Soc. Am.* 105 (2) (1999).

KULHÁNEK, Tomáš, Marek FRIČ, Jan OTČENÁŠEK. Software pro tvorbu percepčních testů na webovém rozhraní - software; MARC-Technologický list čís. 82/16. Praha: MARC HAMU, 2016.

LAMARCHE, Anick, Sten TERNSTRÖM, Peter PABON a Ågot Møller GRØNTVED. The Singer's Voice Range Profile: Female Professional Opera Soloists. *Journal of Voice*. 2010, 24(4), 410-426. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2008.12.008

LANDIS, J. Richard, Gary G. KOCH, Christian GODBALLE a Ågot Møller GRØNTVED. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*. 1977, **33**(1), 32-37. ISSN 0006341X. Dostupné z: doi:10.2307/2529310

MELKA, Alois. *Základy experimentální psychoakustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2005. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 80-7331-043-0.

MELKA, A., J. ŠTĚPÁNEK, Z. OTČENÁŠEK. (1995): Výzkum vztahů barvy zvuku a spektra u izolovaných tónů houslí. Praha: VUZORT.

MONSON, B.B., E.J. HUNTER, B.H. STORY, Horizontal directivity of low- and highfrequency energy in speech and singing, *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (1) (2012), s. 433–441.

PODZIMKOVÁ, I. a M. FRIČ, Comparison of sound radiation between pop and classical singers, in: *Proceeding of 11th International Workshop Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Application*, Firenze, 2019, s. 67–70. December 17-19.

PRINTZ, Trine, Jesper Roed SORENSEN, Christian GODBALLE a Ågot Møller GRØNTVED. Test-Retest Reliability of the Dual-Microphone Voice Range Profile. *Journal of Voice*. 2018, 32(1), 32-37. ISSN 08921997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jvoice.2017.03.019

SADOLIN, K., *Complete Vocal Technique*, Shout Publishing, Copenhagen, 2000.

STUDEBAKER, Gerald. Directivity of the Human Vocal Source in the Horizontal Plane. *Ear and Hearing*. The Williams & Wilkins Co., 1985, 6(6).

SUNDBERG, Johan, Mark T. MARUNICK, Charles J. NUDELMAN, Jossemia WEBSTER a Maria Cristina JACKSON-MENALDI. Articulatory interpretation of the "singing formant": The Effects of Maxillary Dental Arch and Singing Style. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1974, 55(4), 838-844. ISSN 0001-4966. Dostupné z: doi:10.1121/1.1914609

SUNDBERG, Johan. *Using acoustic research for understanding various aspects of the singing voice*. In *Transcripts of the 13th Symposium Care of the Professional Voice* (V. Laurence, ed.), 1984, Part I, str. 90-104

SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění, 2003. akustická knihovna (Akademie múzických umění v Praze. Hudební fakulta. Zvukové studio). ISBN 80-733-1901-2.

SYROVÝ, Václav a Milan GUŠTAR. *Malý slovník základních pojmů z hudební akustiky a hudební elektroniky*. 2. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2012. ISBN 978-80-7331-237-4.

ŠTĚPÁNEK, J. a O. MORAVEC. (2004): Percepční prostory barvy hudebního zvuku a jejich slovní popis, GA ČR 202/02/1370.

ZÁZVŮREK, Jan. *Zpěv před mikrofonem*. Praha, 2007. Bakalářská práce. Akademie múzických umění v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Václav Syrový, CSc.

ZWICKER, E. a H. FASTL. *Psychoacoustics: facts and models*. 2nd ed. Berlin: Springer, c1999. ISBN 3-540-65063-6.

Internetové zdroje:

Fleiss' kappa. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fleiss%27_kappa

Seznam příloh

Příloha č. 1

Zprůměrované hodnoty SPL a výšky tónu písně "V zahradě na hrušce" operních (modrá) a popových (červená) zpěvaček v hlasovém poli, v tóninách C dur, F dur a C dur o oktávu výš oproti zápisu.

Příloha č. 2

Originální tabulka slovního hodnocení volby nejhoršího mikrofonu.

Příloha č. 3

Originální tabulka slovního hodnocení volby nejlepšího mikrofonu.

Příloha č. 4

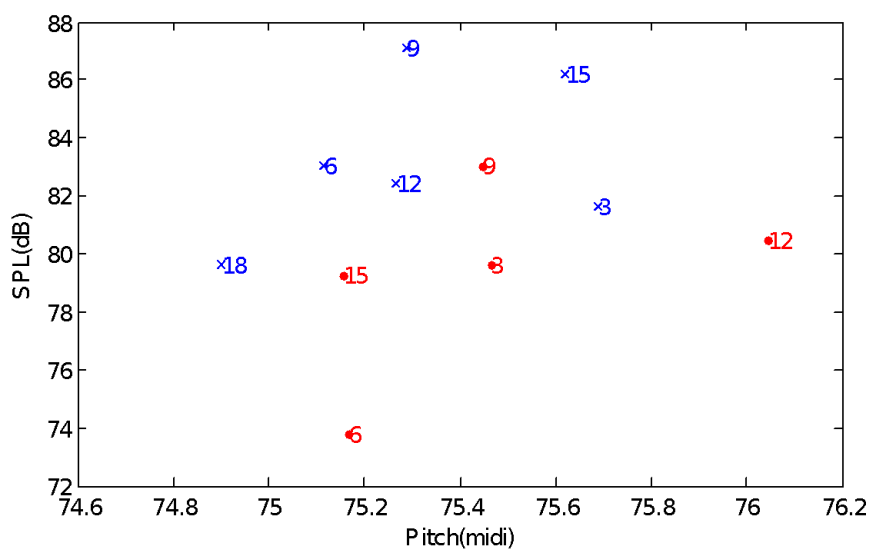
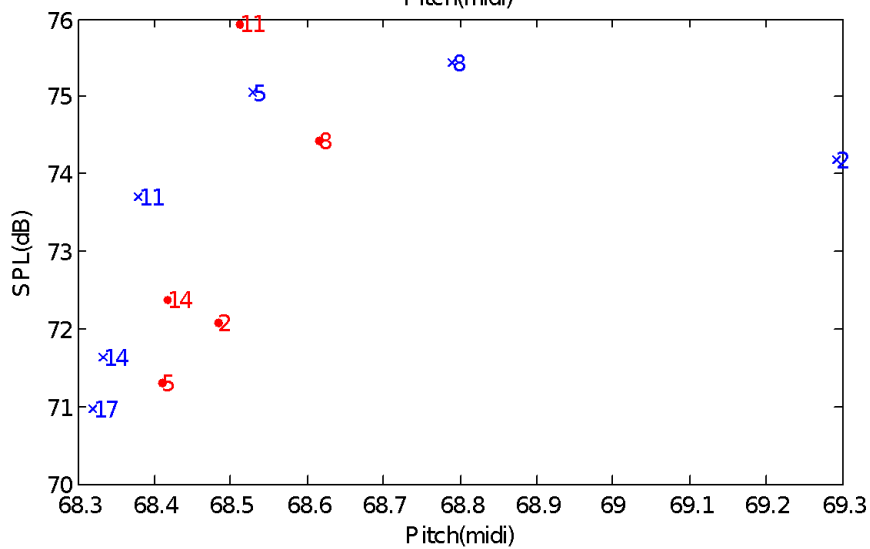
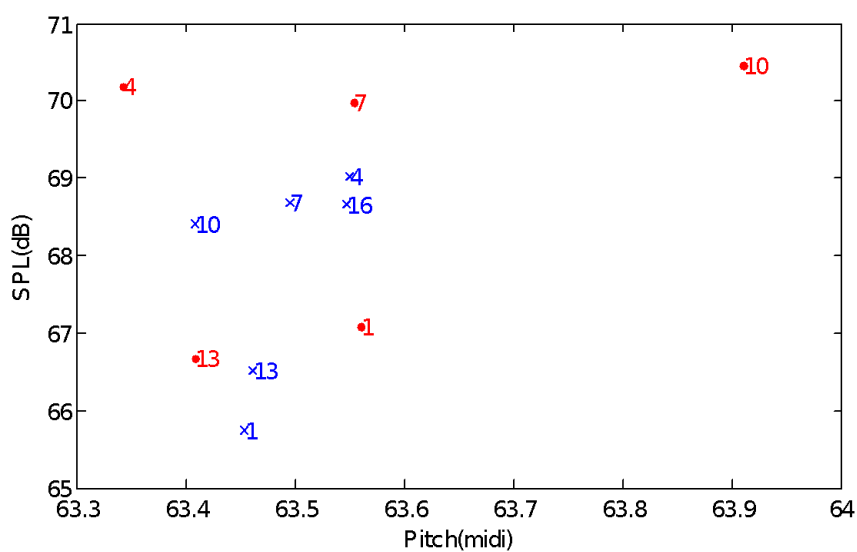
LTAS spektra pro všechny árie, které byly zahrnuty do poslechového testu.

Příloha č. 5

Polar grafy směrovosti vyzařování jednotlivých árií.

Příloha č. 1

Zprůměrované hodnoty SPL a výšky tónu písně "V zahradě na hrušce" operních (modrá) a popových (červená) zpěvaček v hlasovém poli, v tóninách shora: C dur, F dur a C dur o oktávu výš oproti zápisu.



Příloha č. 2

Originální tabulka slovního hodnocení volby nejhoršího mikrofonu. Řady - árie, sloupce – respondenti (pedagogové –tyrkysová, studenti – žlutá).

ID	1544	1531	1529	1524	1523	1520	1519	1463	1436	1433	1394
1	záznam s nepěkným prostorem	hlas působí zastřeně, i když si dorovnám hlasitost k ostatním ukázkám	subjektivně zastřený hlas	Nekonkrétní zvuk, zní ze zadu.	Útlum vyšších frekvencí, jako pod dekou	bližko	daleko, nesrozumitelné	Zcela nesrozumitelný projev, dojem "pod dekou". Jako by byla osa mikrofonu nevhodně naměřována.	Velmi utlumené	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	je to utlumené (jako přes deku a z dálky), připomíná to poslech z jiné místnosti
2	nejvíce zřetelný nějaký malý prostor, frekvenčně nevyvážené	rušivé odrazy	subjektivně zvuk slyšený z nepřímého směru + hřebenový filtr	Špatně umístění mikrofonu, zpěv zní hodně ze zadu.	Úbytek vyšších frekvencí, jako pod dekou, útlum frekvencí	zastřené	divně odrazy	Nahrávka je temná, chybí jí presence. Jako by byla zpěvačka velmi daleko od mikrofonu.	Utlumené.	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	utlumené, daleko
3	patrnost nepěkného prostoru, spektrální nevyváženost	moc daleko	výrazný hřebenový filtr	Špatně umístěný mikrofon, zvuk je hodně rozmazaný.	Pod dekou, útlum hlavně vyšších frekvencí		odrazy, vzdálenost	Nahrávka opět temnější, chybí presence.	Zatlumený zvuk.	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	tlumené a velmi lyrické, hodně se mění celková dynamika (chvílemi zvuk jakob vypadává)
4	projev prostoru, nevyváženost spektra, "pod dekou"	moc daleko	subjektivně zastřený hlas, hřebenový filtr	Špatně umístěný mikrofon, zvuk je hodně rozmazaný.	Jako pod dekou, útlum vyšších frekvencí		jako předtím, hřebenac...	Nahrávka opět "pod dekou"	Utlumené.	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	tlumené, pod dekou, jako z jiného pokoje
5	projev prostoru, nevyváženost spektra	příliš sycivá	subjektivně zastřenější barva, hřebenový filtr	Nepřirozeně znějící.	S útlumem, z dálky		daleko, odrazy	Příliš temný a vzdálený zvuk	Tlumený zvuk.	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	utlumené
6	prostor, nevyváženost spektra	moc daleko	subj. slyšitelný hřebenový filtr	Nezřetelný zvuk a nepěkné zabarvení.	Pod dekou, chybí vyšší frekvence, koupelnový efekt	nepříjemná	vzdálenost, odrazy, barva	Zvuk opět působí vzdáleně.	Utlumený zvuk.	zastřené, nezní to jako přímý zvuk	utlumené, velmi daleko a velmi temné, moc smutné

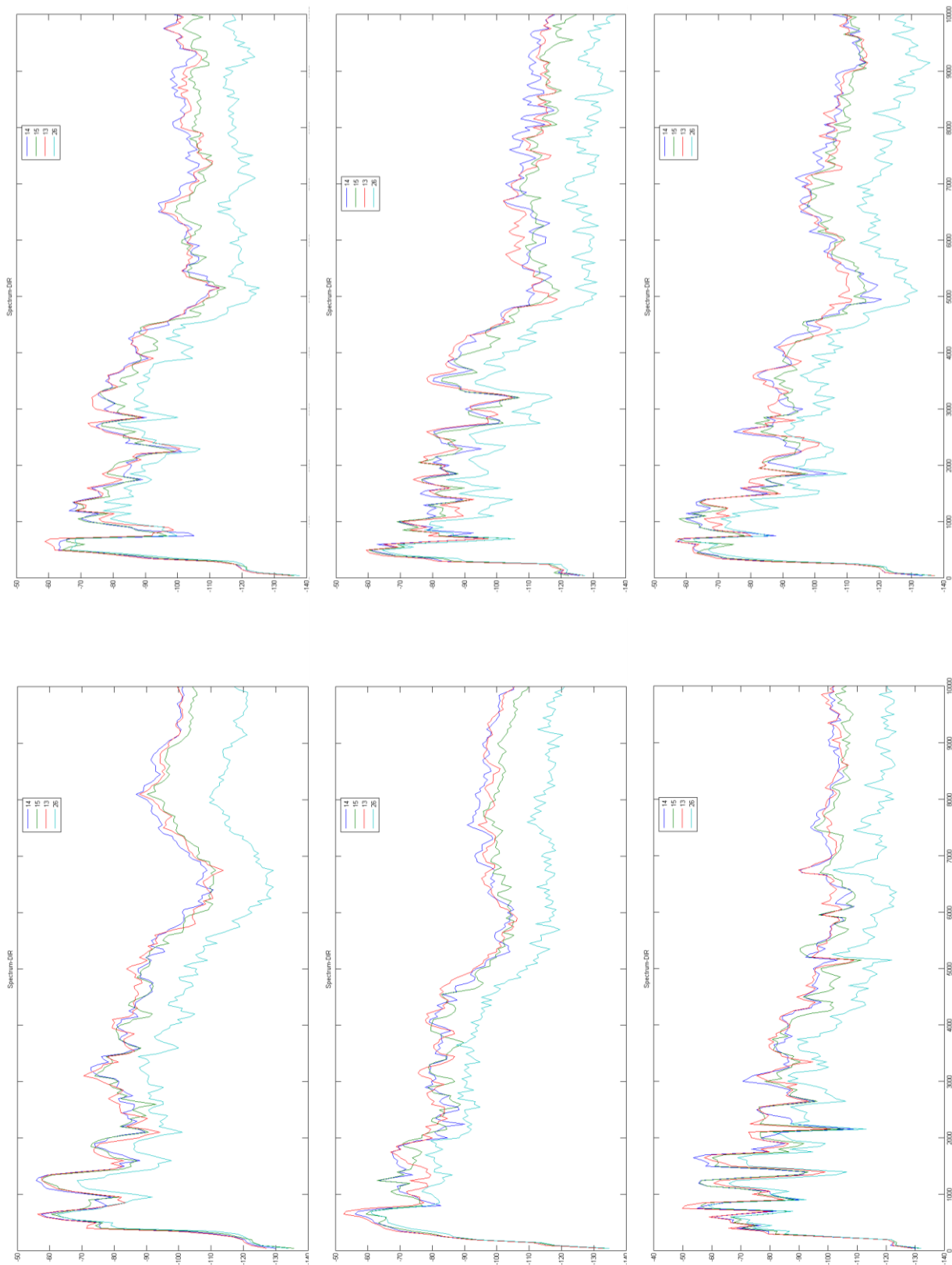
Příloha č. 3

Originální tabulka slovního hodnocení volby nejlepšího mikrofonu. Řady - árie, sloupce - respondenti (pedagogové -tyrkysová, studenti - žlutá).

ID	1544	1531	1529	1524	1523	1520	1519	1463	1436	1433	1394
1	kulatější, příjemnější na poslech, méně nepřijemných vyšších středových frek.	ostatní se mi líbí méně	subjektivně vyrovnanější barva než A	Akorát tak vyvážený poměr- výšek a basů.	Větší zvonivost, která prospívá tomuto hlasu	fajn	nejhezčí barva	Nejhezčí barva ze všech možností, oproti ukázce B presentnější.	přirozená, méně výrazné sykavky než u B.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	A a B jsou dle mne velmi podobné, ale u B není zvuk tak jasný (co v některých pasážích vyzváří určitý zmatový dojem). Tady jsem se přiklonil jasnosti zvuku
2	prezentní, příjemný, vyvážený	nemění se tolik barva hlasu na různých vokálech	subjektivně plnější barva než A	Zvuk je sametový a tak akorát vyvážený.	Zvonivá, což svědčí tomuto hlasu, mnohem víc frekvenčně vyvážená	fajn	nejlepší vzdálenost	Pěkná barva, plný a presentní zvuk.	Jasná a pěkná dynamika.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	zvuk je jednoznačně hlasitější, a tedy lépe diskriminují hlásky, nemá tak temný charakter jako A. Preferuji jasnost a čistotu zvuku.
3	spektrálně vyváženější se mi zdá A, nicméně u C je příjemnější dynamický rozsah a nejsou zde tak výrazné "výbušné" samohlásky	nejméně výrazny škraloupek v hlase, ne tak ostré sykavky jako v C	subjektivně příjemnější barva než C	Krásně vyvážené.	Hlas sedí víc než A. Plnější základ, více středních frekvencí	nejzřetelnější	nejlepší barva, vzdálenost	Nejpříjemnější vzdálenost od zdroje (A jsem vnímal hodně blízko, B zase příliš daleko). Příjemná barva až na výrazné sykavky.	jasné a sykavky/rušivé elementy se mi zdají nejméně vadící.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	A je jednoznačně světlejší, jasnější, ostřejší, hlasitější, bližší (C je mírně utlumený oproti A, ale má také zajímavý charakter, že není takový přímo - tedy nezní jako přímo do ucha).
4	prezentní, spektrálně vyvážené	světlejší barva se mi k této árii líbí víc	více vyšších kmitočtů než C (srozumitelnější)	Jasný zvuk.	Zářivější, světlejší, zvonivější. Prospívá víc, již temnému hlasu	barva vzdálenost	barva vzdálenost	Dlouho jsem chtěl dát B, ale C mi přijde kulatější a s méně výraznými sykavkami. Působí méně presentněji, ale stále příjemně.	průzračný zvuk.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	B - je hodně přímý zvuk, ale preferuji v tomto případě spíše C, protože mírně utlumení a jistá ekvalizace vytváří více lyrický dojem.
5	prezence, detail, i přesto že dynamika B se mi zdá příjemnější	je sice moc daleko, ale nejlépe zvládá dynamický rozsah	subjektivně nejsrozumitelnější, subj. o trochu více nízkých kmitočtů než B	Přirozeně znějící barva hlasu ve výškách i v nižší poloze.	Zvonivější, světlejší, lépe barevně vynikne ve vibratech	barva vzdálenost	barva vzdálenost	Barevně nejhezčí	Hezký, plně znějící.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	A - je hodně přímý zvuk, který v tomto případě lépe zvyrazňuje jas hlasu. (B je velmi pěkné i více lyričtější, ale někdy mi přijde, že některé alikvoty v průběhu změny výšek vypadávají).
6	vyrovnanost spektra, příjemná prezence, příjemná dynamika	světlejší barva se mi líbí víc	subjektivně vyrovnanější barva než B, srozumitelnější	Dobry poměr, akorát tak vyvážené.	Lépe sedí barva hlasu, kulaté, hodně pevný základ ve středových frekvencích	příjemná	barva vzdálenost	Vyvážený zvuk, oproti B ne tolik presentní.	Hezký, plný zvuk.	vyvážené frekvenční spektrum, dobrá srozumitelnost	preferuji B, kde je zvuk mírně méně ostrý - zamatovější, lyričtější a není tak velmi slyšet všechny drobnosti v hlase. Jinak C - jakoby velmi přímý zvuk, zpěvačka hodně tráví sama od sebe (OGNUS DEI místo AGNUS), a v tak přímém zvuku jsou vyraznější všechny změny v hlase - co spíše ruší.

Příloha č. 4

LTAS spektra pro všechny árie, které byly zahrnuty do poslechového testu. Po otočení horizontálně shora: 1., 3., 5. árie (levý sloupec), 2., 4., 6. árie (pravý sloupec). Referenční mikrofon č. 14 (modrá), spodní mikrofon č. 13 (červená), horní mikrofon č. 15 (zelená), mikrofon č. 26 ze zadního směru (tyrkysová).



Příloha č. 5

Polar grafy směrovosti vyzařování jednotlivých árií shora od 1. do 6. Barvy směrů jsou znázorněny v příložených tabulkách. Pravý sloupec zobrazuje šikmé vertikální směry (úhly dle tabulky).

