

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA BIOFYZIKY

RIGORÓZNÍ PRÁCE

Měření hladin akustického tlaku nejtišších a nejhlasitějších fonací člověka: Metodologie a normativní hodnoty

Mgr. Hana Šrámková

Olomouc 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem rigorózní práci vypracovala samostatně za použití uvedené literatury.

V Praze, dne 19. 5. 2017

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji RNDr. Janu Švecovi Ph.D. et Ph.D. za vedení, přístup a neocenitelné zkušenosti, jež mi předával během celého mého studia a za podporu a pochopení v jeho závěru. V neposlední řadě také za pomoc při psaní publikací, na nichž je založena tato práce.

Děkuji Christianu T. Herbstovi za jeho pomoc, bez níž by moje anglická publikace nikdy nevyšla a také Tomáši Fürstovi za jeho programátorské příspěvky.

Děkuji také mým současným kolegům a především mému nadřízenému, Janu Tučkovi, za motivaci k dokončení studia a pochopení.

Také děkuji své rodině a přátelům za motivaci a podporu.

Práce byla v minulosti podpořena:

- projektem GAČR 101/08/1155,
- studentskými projekty Univerzity Palackého PrF 2010 050, PrF 2011 024, PrF_2012_026, PrF_2013_017 and PrF_2014_029
- projektem Evropského sociálního fondu CZ.1.07/2.4.00/17.0009 „Partnerství a věda“.
- projektem OP VK CZ.1.07/2.3.00/20.0057,
- projektem OP VK CZ.1.07/2.3.00/30.0004 “POST-UP”
- projektem OP VK CZ.1.07/2.4.00/17.0009

V současné době tato práce souvisí s řešením grantu GAČR č. GA16-01246S.

ABSTRAKT

Znalost dynamického rozsahu lidského hlasu je velmi důležitá například pro stanovení diagnózy při léčbě hlasových poruch nebo také pro vědecké účely. Mnoho autorů publikuje studie zaměřené na dynamický rozsah lidského hlasu, ovšem jejich metodologie bývá rozdílná a přesné hodnoty extrémních dynamických limitů jsou často nejasné. Z tohoto důvodu byl vytvořen experiment s pečlivě zdokumentovaným a jednoduše opakovatelným postupem měření extrémních limitů normálního (zdravého) lidského hlasu.

V první publikaci z roku 2011 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro prvních 37 subjektů – 23 žen a 14 mužů. Při měření byly použity dva typy mikrofonů - hlavový mikrofon pro měření nejtišších fonací ve vzdálenosti cca 5-10 cm od úst a standardní mikrofon zvukoměru pro měření nejhlasitějších fonací ve vzdálenosti 30 cm od úst. Oba mikrofony byly metodou dvoustupňové kalibrace zkalibrovány na standardní vzdálenost 30 cm od úst. Nejhlasitější fonace byla zjištěna ze záznamu zvolání slov Hej! Hou! Haló! jako špičková hladina akustického tlaku. Nejtíší fonace byla zjištěna z fonace samohlásky [a:] jako minimální hodnota časově vážené hladiny akustického tlaku se standardní rychlou časovou konstantou (při analýze byla použita individuální manuální úprava záznamu). Hladina špičkového akustického tlaku nejhlasitější fonace byla zjištěna 127 dB ve vzdálenosti 30 cm od úst a hladina nejtíší fonace 31 dB (s A-váhovým filtrem) v téže vzdálenosti.

V další fázi experimentu bylo pro získání přesnějších výsledků postupně měřeno dalších 43 subjektů – 17 žen a 26 mužů (tedy celkem 80 subjektů – 40 žen a 40 mužů). Postup měření byl zachován. Při prvních analýzách záznamů se jako problematická jevila především analýza záznamů nejtišších fonací, konkrétně detekce znělých částí fonací, neboť výsledky z první publikace byly získány pomocí manuálních úprav nahrávek. Pro přesnější a především automatickou analýzu dat byl nově použit program Praat a všechny již získané záznamy nejtišších fonací byly znovu analyzovány. Nově byla zjištěna nejextrémnější ekvivalentní hladina nejtíší fonace 32 dB (s A-váhovým filtrem) ve vzdálenosti 30 cm od úst a také zde byla detailně popsána metodologie plně automatické analýzy.

Přestože druhá publikace je zaměřena pouze na nejtíší fonace, během měření byla dále zjišťována také nejhlasitější fonace lidského hlasu. Celková nejextrémnější špičková hladina akustického tlaku byla zjištěna 139 dB ve vzdálenosti 30 cm od úst.

Dalším významným výsledkem celého experimentu je stanovení požadavků na hladinu šumu pozadí v měřící místnosti při měření lidského hlasu. Pro snížení okolního šumu byla měření prováděna v akusticky utlumených místnostech a také bylo použito filtrace signálu (standardní váhové filtry A, C a Z a také speciální hornopropustný filtr). Hladiny 25 dB (A-filtrace) a 38 dB (bez filtrace) byly stanoveny jako hladiny šumu zajišťující přesné měření nejtišších fonací ve 30 cm od úst u 95 % normální populace. Takový požadavek je o 15 dB nižší než dřívější doporučení UEP [23] pro měření lidského hlasu.

ABSTRACT

The knowledge of the dynamic extremes of the human voice is important for voice diagnostics and for scientific purposes. Numerous authors have published on the dynamic range of human voice but the methodology has been quite heterogeneous and the exact values of the dynamic extremes are often unclear. The purpose was therefore to set together carefully documented study about measuring dynamic limits of normal (healthy) human voice with easily reproducible methodology.

Results for first 37 healthy subjects (23 women and 14 men) were published in the first publication from 2011. Whole experiment was done with using two types of microphones: a head-mounted microphone was used for measuring of the softest phonations (at the distance of 5-10 cm) and a stand-mounted microphone for the loudest phonations (at 30 cm). Both microphones were calibrated by a two-step calibration for standard distance 30 cm. The loudest level was determined from calling Czech words Hej!, Hou!, Haló! as a peak sound pressure level. The softest level was determined from the softest sustained phonations on vowel [a:] as a minimal fast-time-weighted sound pressure level (individual manual editing was used). The level of the loudest phonation was found to be 127 dB at 30 cm from the mouth and the softest phonation was found to be 31 dB (A-weighted) at 30 cm from mouth.

Additional 43 healthy subjects (17 women and 26 men, which mean 80 subjects together – 40 women and 40 men) were measured at the next phase of this experiment to get better and more precise results. The measurement procedure was kept the same. Analysis of the softest phonations appeared to be the most problematic part in the first phase of our experiment. Results in the first publication from 2011 were obtained using individual manual editing of recordings to define voiced parts. Program Praat was newly used for automatic analysis of the softest phonations and all recordings (also from the first phase of experiment) were analyzed this way. The second publication presents the most extreme soft phonation equivalent level of 32 dB (A-weighted) at 30 cm from mouth and also detailed procedure of fully automatic analysis.

The loudest phonations of human voice were also recorded in the second part of the experiment even if they were not published. The loudest measured phonation had the peak sound pressure level of 139 dB at 30 cm from the mouth.

Another important result of this experiment was determination of requirements on background noise level in rooms for voice measurements. An acoustically damped room and filtration (standard A, C or Z filters or custom high-pass filter) were used to eliminate the influence of the noise. To assure accurate measurements of the softest phonations at 30 cm from the mouth for more than 95% of vocally healthy subjects, the background noise levels should be at least 25 dB (A-weighted) and 38 dB (without filtration). Such background noise levels are 15 dB lower than the background noise level (40 dB A-weighted) previously recommended by UEP [23].

PUBLIKACE

Tato práce je založena na následujících publikacích, které jsou zařazeny v Příloze 2:

[A] Šrámková H., Granqvist S., Fürst T., Švec J.G.: „Měření dynamického rozsahu lidského hlasu“ (Measurements of dynamic range of human voice), *Akustické listy* 17(3) : p. 11 – 18, 2011.

[B] Šrámková H., Granqvist S., Herbst Ch. T., Švec J.G.: „The softest sound levels of human voice in normal subjects“, *Journal of Acoustical Society of America* 137(1): p. 407 – 418, 2015.

SEZNAM ZKRATEK

hp – hornopropustný (filtr) (z angl. High-pass)

rms – časově průměrovaná hodnota (z angl. Root Mean Square)

SD – standardní odchylka (z angl. Standard deviation)

SPL – hladina akustického tlaku (z angl. Sound Pressure Level)

SNR – odstup signálu od šumu (z angl. Signal to Noise Ratio)

VHI – stupeň hlasového postižení (z angl. Voice Handicap Index)

UEP – Unie Evropských foniatrů (z angl. Union of European Phoniaticians)

POUŽITÝ SOFTWARE

Multi-Speech – model 3700, verze 3.2.0., KayPENTAX, USA

Matlab – R2012a, 7.14.0.739, Math Works, Natick, MA

Praat – version5.3.02

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	PŘEHLED PROBLEMATIKY	3
2.1	NEJHLASITĚJŠÍ FONACE	3
2.2	NEJTIŠŠÍ FONACE	3
3	CÍLE PRÁCE	5
4	METODIKA	6
4.1	SUBJEKTY.....	6
4.2	VYBAVENÍ	6
4.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	7
4.4	ANALÝZA DAT	7
4.4.1	<i>Nejhlasiťejší fonace</i>	8
4.4.2	<i>Filtrace</i>	9
4.4.3	<i>Šum</i>	10
4.4.4	<i>Nejtišší fonace</i>	10
4.5	STATISTIKA.....	12
5	VÝSLEDKY	13
5.1	NEJHLASITĚJŠÍ FONACE	13
5.2	ŠUM	13
5.3	NEJTIŠŠÍ FONACE	14
5.3.1	<i>Publikace [A]</i>	14
5.3.2	<i>Publikace [B]</i>	15
6	DISKUZE	17
6.1	NEJHLASITĚJŠÍ FONACE	17
6.2	ŠUM	17
6.3	NEJTIŠŠÍ FONACE	20
6.3.1	<i>Nejtišší fonace a frekvenční vážení</i>	20
6.3.2	<i>Časové vážení a detekce prahu znělého hlasu</i>	21
6.3.3	<i>Nejtišší fonace</i>	22
7	ZÁVĚR	23
8	LITERATURA	25
	PŘÍLOHA 1 – ŽIVOTOPIS	28
	PŘÍLOHA 2 – PUBLIKACE	29

1 ÚVOD

Podrobnější studium literatury věnované tématu dynamického rozsahu lidského hlasu prozrazuje značnou různorodost publikovaných údajů a nejednotnost metod měření a vyhodnocování dat [30]. Nejčastěji jde o měření tzv. hlasového pole (fonetogramu), což je grafické zobrazení hlasových možností dané osoby, tedy závislosti dynamického rozsahu na frekvenčním rozsahu. V takových publikacích jsou uváděny především průměrné zjištěné hodnoty a jejich směrodatné odchylky, často pouze ve formě grafů. Ve většině případů se také jedná spíše o posouzení odlišností způsobených různými faktory ovlivňujícími hlas než o zjištění extrémních či normativních hodnot. Obecně jsou k tomuto účelu používány automatické programy, u kterých nebývá jasné, jak přesně a jakým algoritmem byly dané hodnoty vlastně určeny. Metodologie je nejednotná a způsob zjištění přesných hraničních hodnot je často nejasný.

Nedílnou součástí kvalitního měření dynamického rozsahu lidského hlasu je především potřeba dostatečně kvalitního vybavení. Měření by mělo probíhat v akusticky vhodné, tedy dostatečně tiché místnosti bez vlivu odrazů a rezonancí. Správně vybraný mikrofon by kromě jiného měl umožňovat záznam hlasu v celém jeho dynamickém rozsahu a signál tak neznehodnocovat ani nijak jinak neovlivňovat. Otázkou tedy je, jaký minimální dynamický rozsah by měl mikrofon mít, aby zaznamenal jak nejtišší, tak i nejhlasitější fonace jakékoli osoby?

Cílem našeho experimentu bylo proto sestavení pečlivě zdokumentovaného, jednoduše opakovatelného postupu pro měření extrémních možností normálního (zdravého) lidského hlasu a stanovení normativních hodnot.

Během celého experimentu bylo změřeno celkem 80 hlasově neškolených osob (40 žen a 40 mužů) se zdravým (normálním) hlasem. Byly použity dva různé mikrofony, oba kalibrovány tak, aby dávaly hodnoty odpovídající hladině akustického tlaku ve standardní vzdálenosti 30 cm od úst. Hlavový mikrofon (ve vzdálenosti cca 5-10 cm) byl použit pro měření nejtišších fonací a samostatně stojící mikrofon (ve vzdálenosti 30 cm) pro měření nejhlasitějších fonací a pro kalibraci.

Nejhlasitější fonace byla stanovena ze záznamu zvolání českých slov „Hej, Hou, Haló“, nejtišší fonace pak využitím několika různých metod ze stabilní držené fonace samohlásky [a:]. Záznamy nejtišších fonací byly v počáteční fázi experimentu manuálně upravovány – odstraňovány části

neznělých fonací, ve druhé části pak bylo již použito automatické analýzy pomocí programu Praat [3]. Pro snížení hladiny šumu pozadí bylo nahrávání provedeno v akusticky upravených místnostech a bylo využito také filtrace signálů (a to pomocí standardních A, C nebo Z filtrů nebo také speciálního hornopropustného filtru).

Pro nalezení nejhlasitější fonace byla jako nejvhodnější metoda určena metoda odečtení špičkové hladiny akustického tlaku. V případě nejnižších fonací bylo v druhé části experimentů [B] zjištěno, že program Praat poskytuje dostatečně přesnou automatickou detekci bezhlasých segmentů fonace. Jako nejstabilnější a nejreprezentativnější metoda pro stanovení extrémních hodnot nejnižší fonace se ukázala metoda výpočtu ekvivalentní hladiny akustického tlaku (v rámci 1 sekundy L_{eq1s}).

2 PŘEHLED PROBLEMATIKY

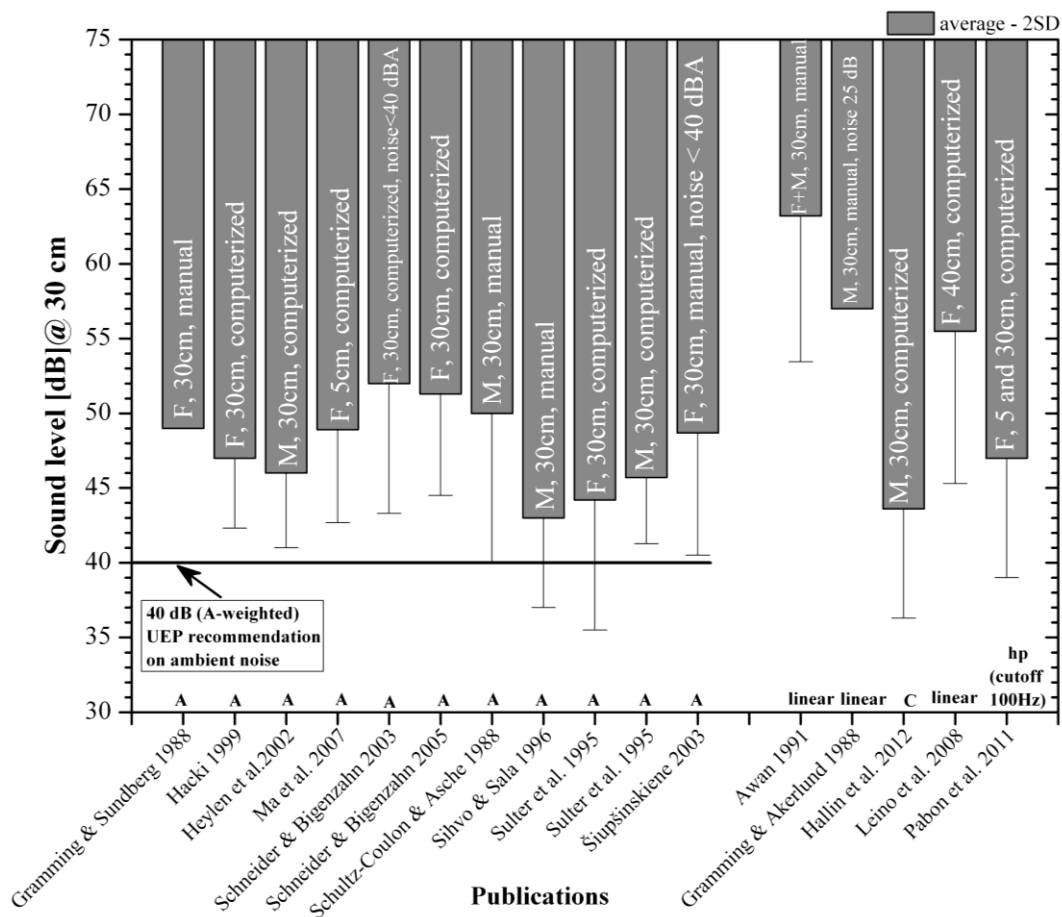
Dynamický rozsah lidského hlasu může být ovlivněn mnoha faktory, například pohlavím (studováno v Chen 2007 [16], Pabon 2011 [22], Sulter 1995 [27] a dalších), věkem (v Böhme 1995 [4], Heylen 1998 [12], Wuyts 2002 [34] a dalších), trénovaností (v Awan 1991 [2], Heylen 2002 [15], Sulter 1995 [27] a dalších) či onemocněním hlasu (v Angerstein 1998 [1], Ma 2007 [19] a dalších).

2.1 Nejhlasitější fonace

Z vybraných publikací byly jako nejvyšší zjištěny extrémní hodnoty 127,5 dB (bez filtrace) v Leino 2008 [21] při zvolání, 122 dB (A filtrace) v Angerstein 1998 [1] při zvolání a v Cabrera 2002 [5] při zpěvu. Hodnoty průměrné pak $115,5 \pm 2,1$ dB u žen (bez filtrace) v Lamarche 2010 [20] při zpěvu, $112,9 \pm 6,4$ dB u mužů (bez filtrace) v Leino 2008 [21] při zvolání, 106 ± 6 dB u žen (použití nestandardní filtrace) v Pabon 2011 [22] při zpěvu nebo $104,1 \pm 7,8$ dB u žen (A filtrace) v Sulter 1995 [27] při zpěvu.

2.2 Nejtišší fonace

Z vybraných publikací byly jako nejnižší zjištěny extrémní hodnoty 41 dB (A filtrace) v Hacki 1996 [9] při zpěvu, 42,1 dB u žen (bez filtrace) v Coleman 1977 [6]. Hodnoty průměrné pak $44,2 \pm 4,4$ dB u žen (A filtrace) v Sulter 1995 [27] při zpěvu nebo $46 \pm 2,5$ dB u žen (A filtrace) v Heylen 2002 [15] při zpěvu.



Obr. 1: Příklady publikací s nejnižšími fonacemi u zdravých osob. Symboly A, C, hp a linear znamenají A-váhový filtr, C-váhový filtr, speciální hornopropustný filtr a bez filtrace. Horizontální čára pak vyznačuje limit 40 dBA jako maximální hladinu hluku doporučenou UEP [23] při měření lidského hlasu. Uvnitř každého baru je pak informace o pohlaví subjektu (M – muž, F – žena), vzdálenost mikrofону od úst, metoda měření (manuální nebo automatická) a hladina hluku (je-li v publikaci uvedena).

3 CÍLE PRÁCE

Cílem představeného experimentu je stanovení limitů dynamického rozsahu lidského hlasu – nejhlasitější a nejtisší možné fonace, u zdravých, normálních osob.

Cílem první uváděné publikace bylo měření dynamického rozsahu pro stanovení technických požadavků na měřící aparaturu. V průběhu experimentu a především v průběhu zpracování naměřených hodnot byly zjištěny problémy při analýze nejtisších fonací (stanovení znělých částí záznamu) a proto bylo cílem druhé uváděné publikace zajištění plně a jednoduše opakovatelného postupu pro měření a analýzu nejtisších fonací lidského hlasu.

4 METODIKA

4.1 Subjekty

V první části experimentu (uvedeno v publikaci [A]) bylo měřeno 37 subjektů – 23 žen a 14 mužů. Byly vybrány osoby se zdravým normálním hlasem bez ohledu na fakt, mají-li hlas trénovaný či nikoliv. Všichni dobrovolníci nejprve vyplnili dotazník Voice Handicap Index (VHI) ([18], [32]) pro zjištění subjektivních hlasových potíží.

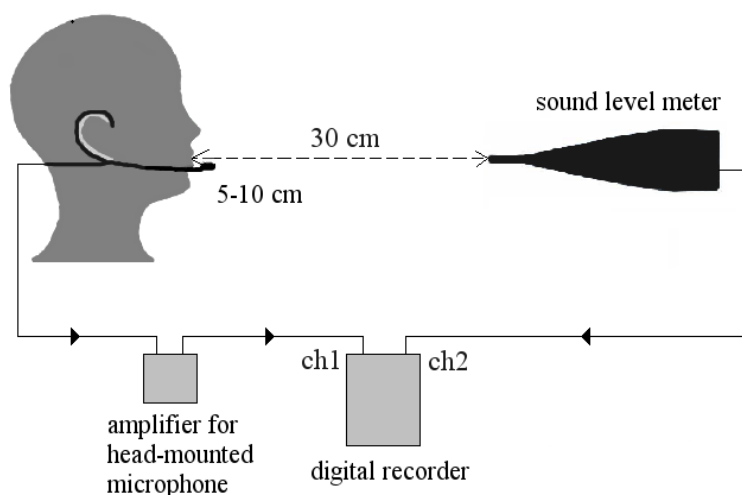
Ve druhé části experimentu bylo změřeno dalších 43 subjektů – 17 žen a 26 mužů (v publikaci [B] pro dosažení celkového počtu 80 subjektů). Všichni vyplnili dotazník VHI a byli vyhodnoceni jako osoby s normálním zdravým hlasem.

Z celkového souboru 80 osob bylo 40 žen průměrného věku 23 let (od 14 do 48 let) a 40 mužů průměrného věku 28 let (od 14 do 58 let). Dvacet osob (13 žen a 7 mužů) bylo členy amatérského pěveckého sboru a ostatní (27 žen a 33 mužů) byli studenti a členové Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

4.2 Vybavení

Všechna měření probíhala ve velmi tichých místnostech (zkušebna sboru – hladina akustického tlaku pozadí 23 dBA, a nahrávací místnost Českého rozhlasu Olomouc – hladina akustického tlaku pozadí 18 dBA).

Při všech měřeních byly použity dva typy mikrofonů - hlavový mikrofon (DPA typ 4066) pro měření nejtisších fonací ve vzdálenosti cca 5-10 cm od úst a standardní mikrofon zvukoměru (1/2“ kondenzátorový mikrofon Brüel&Kjaer typ 4188) pro měření nejhlasitějších fonací ve vzdálenosti 30 cm od úst. Pro kalibraci byl použit kalibrátor Brüel&Kjaer (typ 4231). Měření bylo zaznamenáno pomocí digitálního rekordéru M-Audio (typ Microtrack II) ve formátu „wav“. Přístrojová sestava během měření je znázorněna na Obr. 2.



Obr. 2: Přístrojová sestava při měření

4.3 Postup měření

Pro měření dynamického rozsahu lidského hlasu byly analyzovány následující kroky:

1. Vyslovení jména a příjmení vyšetřovaného a datum měření
2. Dvoustupňová kalibrace obou mikrofonů ([33],[A],[B]):
 - a. Záznam kalibračního tónu (94 dB) z kalibrátoru nasazeného na mikrofon zvukoměru
 - b. Fonace samohlásky [a:] na pohodlné výšce tónu po několik sekund
3. Záznam přibližně 5 sec ticha
4. Co nejtišší fonace samohlásky [a:] na pohodlné výšce tónu
5. Co nejhlasitější fonace - zvolání „Hej!, Hou! Haló!“

4.4 Analýza dat

Záznamy z měření byly zpracovány v počítači pomocí programu Multi-Speech a pro dvoustupňovou kalibraci, filtraci a další matematické výpočty bylo využito programu Matlab. Ve druhé části experimentu [B] byl nově použit také program Praat pro analýzu nejtišších fonací (viz dále).

4.4.1 Nejhlasitější fonace

Analýza nejhlasitějších fonací probíhala u všech 80 subjektů stejně. V programu Multi-Speech byla manuálně vystřižena část záznamu s nejhlasitější fonací. Pomocí programu Matlab byla detekována špičková hladina akustického tlaku ze záznamu signálu mikrofonu zvukoměru L_{Zpeak} (dB) podle rovnice:

$$L_{Zpeak} = 20 \cdot \log\left(\frac{p_{peak}}{p_0}\right)$$

kde p_0 je referenční akustický tlak (20 μ Pa) a p_{peak} je změřený špičkový akustický tlak (Pa) dle rovnice:

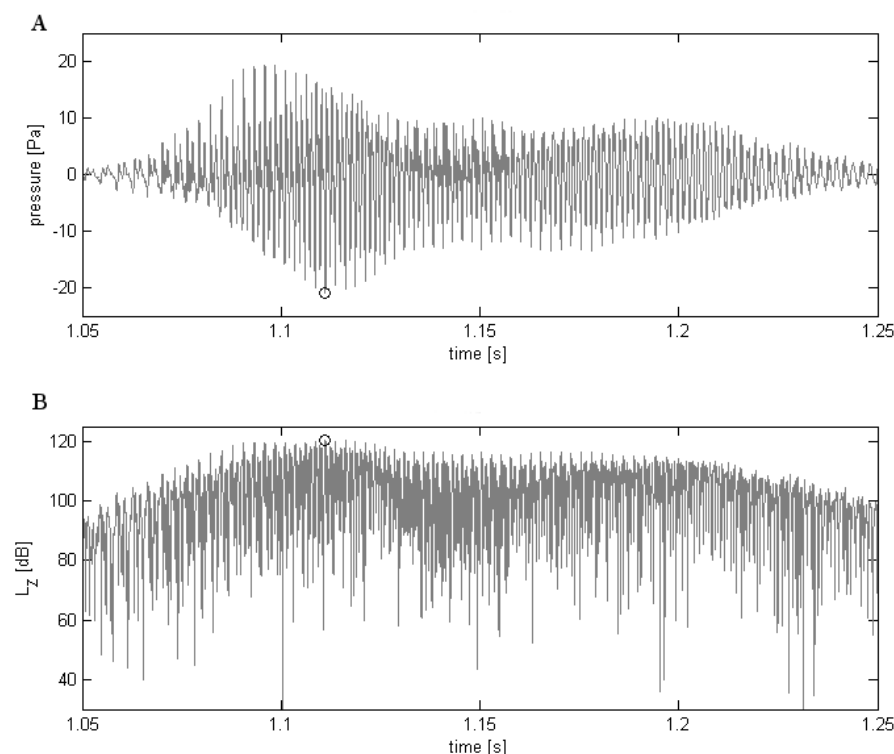
$$p_{peak} = c \cdot y_{peak}$$

kde c je faktor dvoustupňové kalibrace pro signál ze zvukoměru (podrobněji viz [A]) a y_{peak} je:

$$y_{peak} = \max|y|$$

kde y je původní signál ze záznamu zvukoměru (podrobněji viz [A]).

Ukázka záznamu nejhlasitější fonace s vyznačenou polohou špičkového akustického tlaku je na Obr. 3.



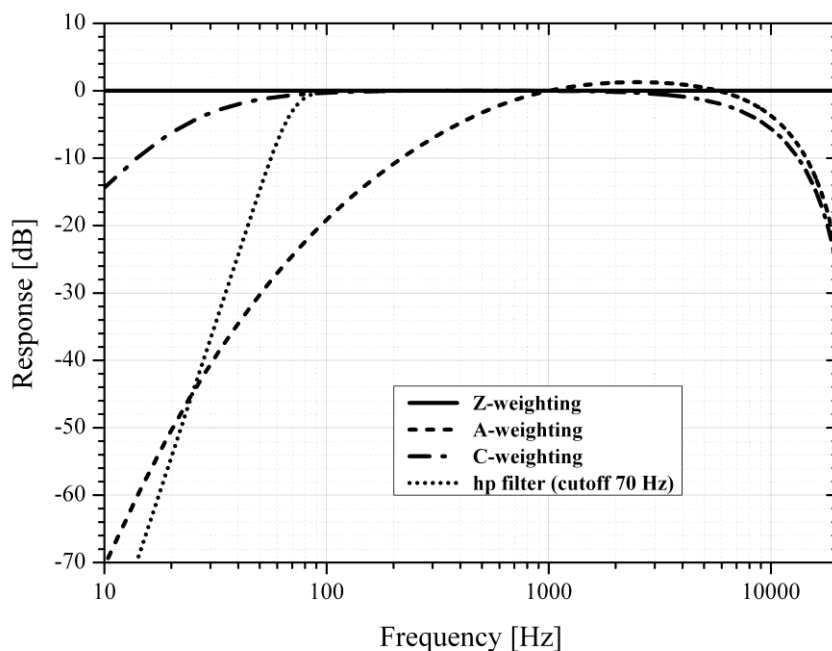
Obr. 3: Ukázka záznamu nejhlasitější fonace - akustický tlak (A), ze kterého byla poté vypočtena špičková hladina akustického tlaku (B).

4.4.2 Filtrace

Pro analýzu hlasu (hluk a zvuk obecně) jsou definovány 3 standardní frekvenční váhové filtry A, C a Z [17]. A-váhový filtr odpovídá citlivosti lidského ucha (je tedy nejcitlivější na frekvencích v rozsahu 1-5 kHz a ostatní frekvence potlačuje). C-váhový filtr je lineární v rozsahu 32-8000 Hz a ostatní frekvence potlačuje o více než 3 dB. Z-váhový filtr signál nijak neovlivňuje (je lineární nebo také nulový – z angl. Zero).

Při analýze dynamického rozsahu lidského hlasu byly aplikovány tyto tři frekvenční váhové filtry (každý zvlášť či v různých kombinacích) na každou fonaci v programu Matlab (A a C filtr podle [7], Z filtr jako originální záznam bez modifikace).

Dále byl na všechny záznamy v programu Matlab použit také speciální hornopropustný filtr (hp filtr - typ „butterworth“ 5. řádu). Tento filtr potlačuje všechny frekvence pod tzv. zlomovou frekvencí stanovenou na 70 Hz. Tato hodnota byla vybrána po analýze základní frekvence (F_0) všech záznamů nejnižších fonací. Hp filtr byl nastaven tak, aby nejnižší zjištěnou základní frekvenci (86 dB) neovlivnil o více než 0,6 dB a byl tak potlačen pouze nízkofrekvenční šum. Křivky frekvenční závislosti všech použitých filtrů jsou uvedeny na Obr. 4.



Obr. 4: Křivky frekvenční závislosti filtrů A, C, Z a hp použitých v programu Matlab.

4.4.3 Šum

Při měření nejtišších fonací je důležité, zda není měření ovlivněno hladinou šumu. K tomuto problému může dojít, pokud je nedostatečný odstup signálu od šumu (SNR z angl. Singal to Noise Ratio), viz dále. Hladinu šumu lze snížit vhodnou filtrací, je-li energie šumu koncentrována na jiných frekvencích než energie vlastního signálu.

Hladina šumu byla určována pro každé jedno měření dané osoby a to z bodu č. 3 v postupu měření (5 sec ticha). Pomocí programu Multi-Speech byla vystřižena daná tichá pasáž záznamu z hlavového mikrofону a analyzována pomocí programu Matlab jako ekvivalentní (neboli časově průměrovaná) hladina akustického tlaku L_{eq} (dB) [B] (resp. L_T v [A]) a dále označována také podle zvolené filtrace L_{Aeq} , L_{Ceq} , L_{Zeq} , L_{hpeq} nebo v kombinaci s hornopropustným filtrem hp L_{hpAeq} , L_{hpCeq} , L_{hpZeq} (resp. L_{AT} , L_{CT} , L_{ZT} , L_{hpT} nebo jejich kombinace L_{hpAT} , L_{hpCT} a L_{hpZT} v [A]).

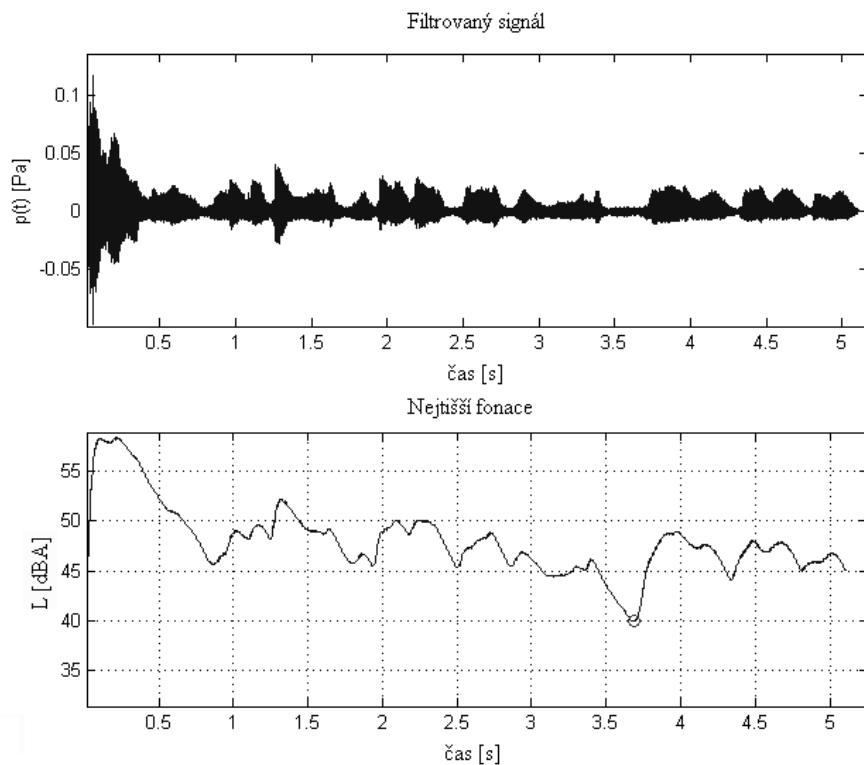
4.4.4 Nejtišší fonace

4.4.4.1 Publikace [A]

V programu Multi-Speech byla z každého záznamu vystřižena část s nejtišší fonací. Pro výpočet nejtišší fonace bylo nutné mít na záznamu pouze části se znělým hlasem. Pro zviditelnění přechodu fonace ze znělé do neznělé části byl nejprve odfiltrován šum pomocí váhových filtrů A, C, hp nebo jejich kombinací. Neznělé části, včetně přechodových stavů fonace-šum byly manuálně odstřiženy a takto upravený záznam byl použit pro zjištění nejtišší fonace.

V programu Matlab byla z upravených záznamů vypočtena časově vážená hladina akustického tlaku L_{XYF} (t.j., L_{AF} , L_{CF} , L_{hpF} , L_{hpAF} nebo L_{hpCF}), kde písmeno F značí použití standardního rychlého časového vážení (podrobněji viz [A]).

Z takto vypočtených hladin akustického tlaku pak byla pro každý záznam nalezena hladina minimální. Záznam nejtišší fonace s vyznačenou minimální hladinou akustického tlaku je na Obr. 5.



Obr. 5: Záznam nejtišší fonace filtrované pomocí standardního váhového filtru A, nahoře jako závislost akustického tlaku na čase a dole jako závislost hladin akustického tlaku na čase (při použití standardního rychlého časového vážení) s vyznačenou nejnižší hladinou.

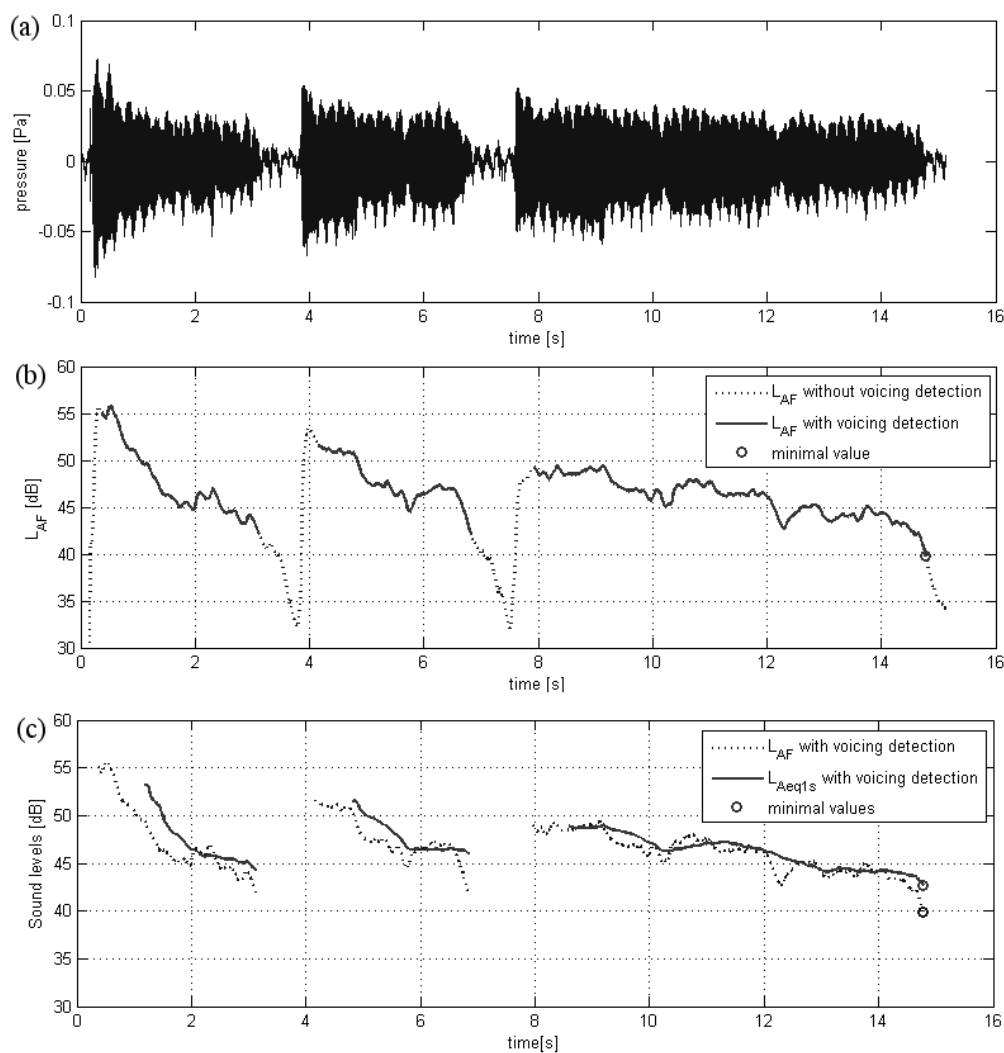
4.4.4.2 Publikace [B]

Detekce znělých/neznělých částí

V programu Multi-Speech byla z každého záznamu vystřižena část s nejtišší fonací. Pro identifikaci neznělých částí záznamu byl použit program Praat [3]. Detekce neznělých částí byla založena na frekvenční analýze záznamu. V podstatě byl stanoven frekvenční rozsah, v rámci něhož byla fonace označena jako znělá a mimo něj jako neznělá (podrobněji viz [B]).

Detekce nejtišší fonace

Pouze části záznamu označeny v programu Praat jako znělé části byly poté dále analyzovány. V programu Matlab byla vypočtena časově vážená hladina akustického tlaku (L_F) (t.j., L_{AF} , L_{CF} , L_{ZF} , L_{hpF} , L_{hpAF} nebo L_{hpCF}) a průběžná ekvivalentní hladina akustického tlaku v rámci časového intervalu $T = 1$ s (L_{eq1s}) (t.j., L_{Aeq1s} , L_{Ceq1s} , L_{Zeq1s} , L_{hpEq1s} , $L_{hpAeq1s}$ nebo $L_{hpCeq1s}$) pro všech 80 záznamů nejtišších fonací. Z každé průběžné hladiny pak byla detekována její minimální hodnota, viz Obr. 6.



Obr. 6: Detekce časově vážené hladiny (L_{AF}) a ekvivalentní hladiny (L_{Aeq1s}). (a) Signál z mikrofону [Pa] – 3x po sobě samohláska [a:]. (b) Časově vážená hladina akustického tlaku L_{AF} s vyznačením znělých (plně)/neznělých (tečkovaně) částí a minimální hladinou. (c) Porovnání časového vážení L_{AF} (tečkovaně) a průběžné ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq1s} (plně) s vyznačením minimálních hodnot pro obě metody.

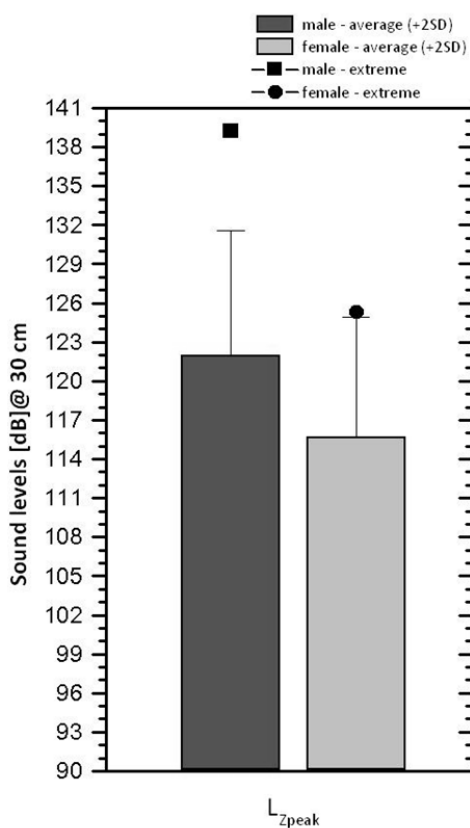
4.5 Statistika

Ve druhé části experimentu byla pro publikaci [B] provedena statistická analýza záznamů nejtišších fonací. Pomocí statistických testů byla ověřena normalita dat, vypočítány průměrné hodnoty, mediány, standardní odchylky, 5% a 95% kvantily. Kvantily pak byly použity pro stanovení hladin pro normální populaci (hladiny mezi 5% a 95% kvantilem).

5 VÝSLEDKY

5.1 Nejhlasitější fonace

Naměřené hodnoty pro všech 80 subjektů nebyly prozatím publikovány. Výsledné hodnoty jsou následující: **u žen** byla naměřena nejvyšší špičková hladina akustického tlaku L_{zpeak} **125 dB** a **u mužů 139 dB** ve vzdálenosti 30 cm od úst. Průměrná hodnota byla **u žen $116 \pm 4,6$ dB** a **u mužů $122 \pm 4,8$ dB** (\pm SD). Graficky viz Obr. 7.

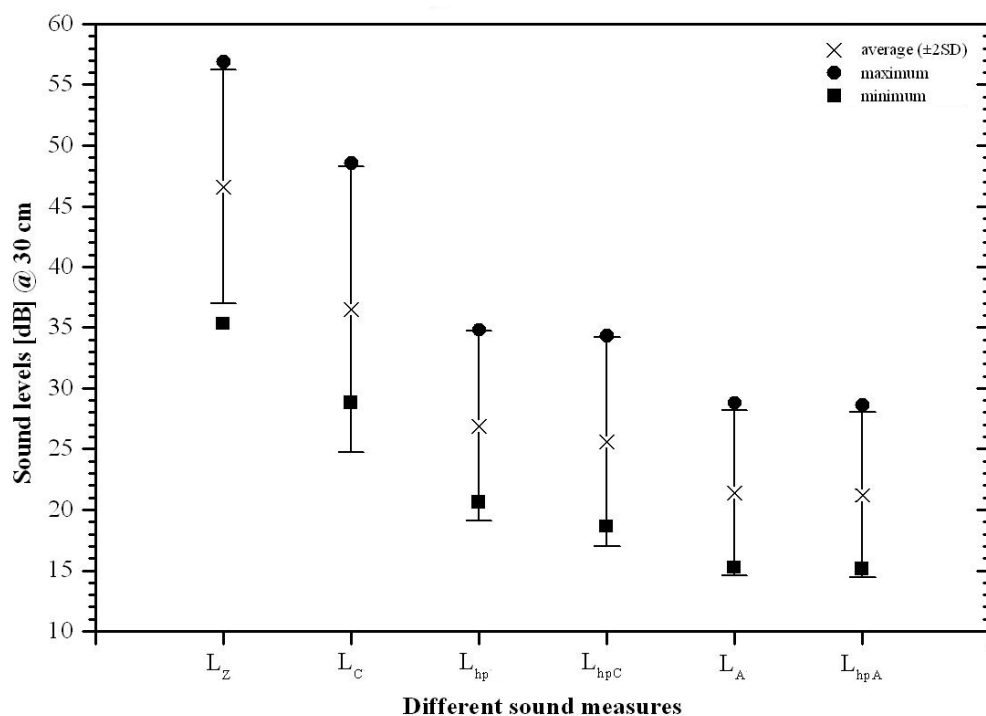


Obr. 7: Nejhlasitější fonace jako špičková hladina akustického tlaku (bez filtrace)

5.2 Šum

Během celého experimentu (při měření všech 80 subjektů) bylo zaznamenáno mimo jiné také 5 sec ticha. Z těchto nahrávek z hlavového mikrofону byly analyzovány průměrné ekvivalentní

hladiny akustického tlaku šumu pozadí ze všech 80 záznamů. Dle druhu aplikovaného filtru a frekvenčního vážení byly zjištěny následující průměrné hodnoty \pm SD: **46,6 \pm 4,8 dB (L_{Zeq})**, 36,5 \pm 5,9 dB (L_{Ceq}), 26,8 \pm 3,9 dB (L_{hpZeq}), 25,5 \pm 4,4 dB (L_{hpCeq}), 21,2 \pm 3,4 dB (L_{Aeq}), **21,1 \pm 3,4 dB (L_{hpAeq})**. Graficky viz Obr. 8.



Obr. 8: Hladiny akustického tlaku šumu při aplikaci různých druhů filtrů

5.3 Nejtišší fonace

5.3.1 Publikace [A]

Naměřené hodnoty pro prvních 37 subjektů byly publikovány v [A]. Průměrná rychle časově vážená hladina akustického tlaku L_{hpAF} byla **u žen 45 \pm 4 dB (\pm SD)** a **u mužů 37 \pm 5 dB (\pm SD)**. Celková nejtišší rychle časově vážená hladina akustického tlaku dle druhu aplikovaného filtru byla **u žen 39 dB** a **31 dB u mužů**.

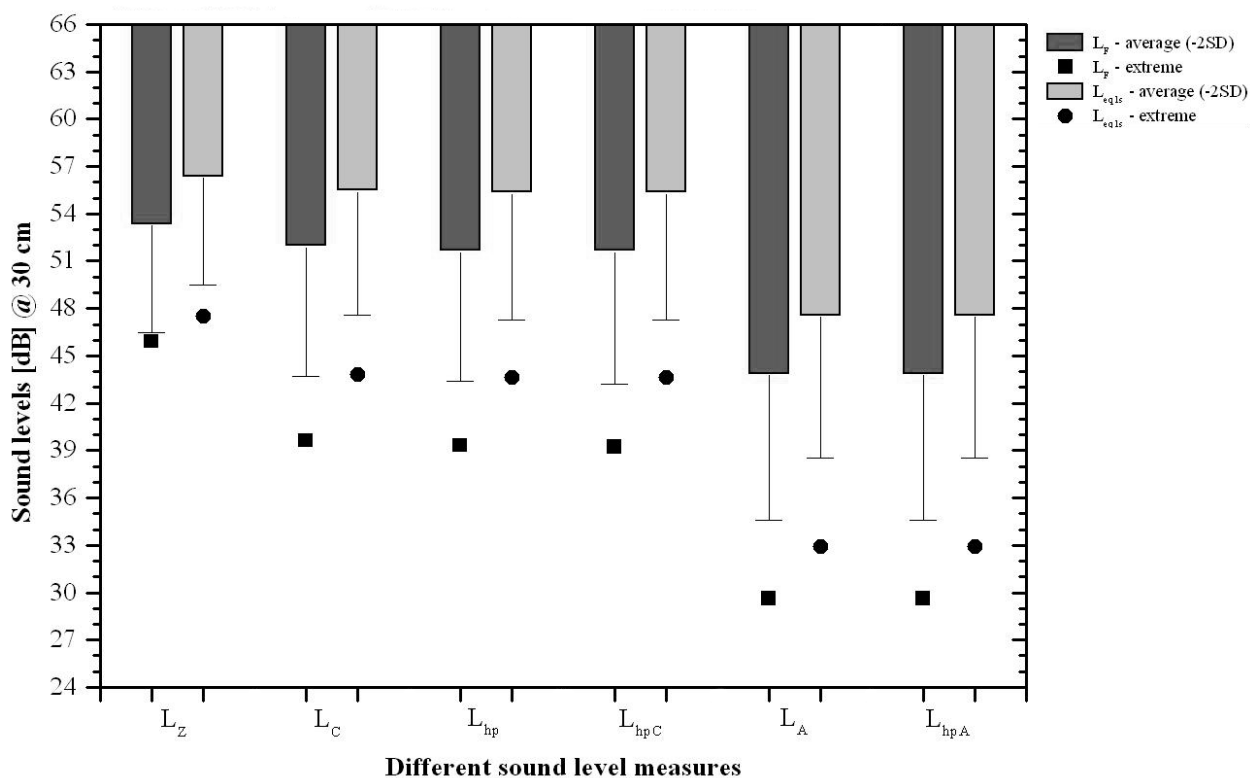
5.3.2 Publikace [B]

Naměřené hodnoty pro všech 80 subjektů byly publikovány v [B]. Nejdůležitější výsledné hodnoty jsou následující:

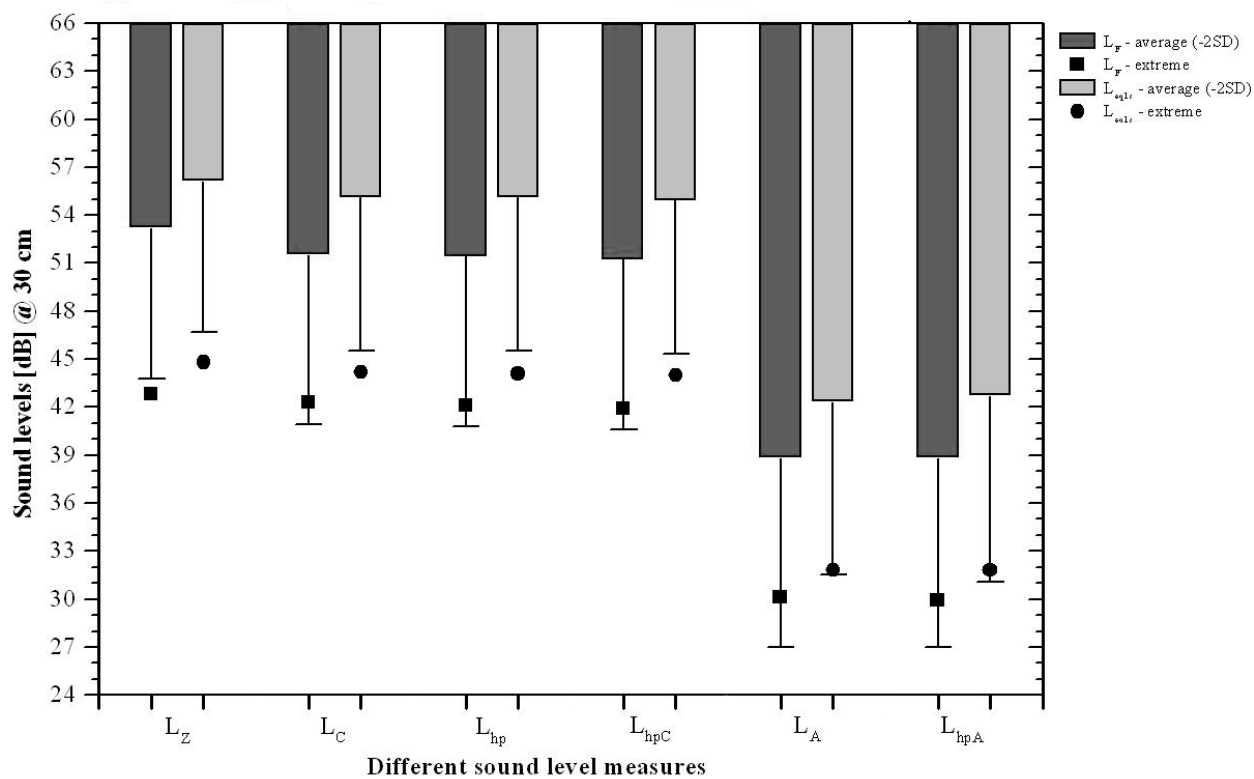
Průměrná časově vážená hladina akustického tlaku L_{hpAF} byla u žen $43,8 \pm 4,6$ dB (\pm SD) a u mužů $38,7 \pm 5,4$ dB (\pm SD). Celková nejnižší časově vážená hladina akustického tlaku byla u žen 29,6 dB a 29,9 dB u mužů.

Průměrná ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{hpAeq1s}$ byla u žen $47,5 \pm 4,5$ dB (\pm SD) a u mužů $42,3 \pm 5,4$ dB (\pm SD). Celková nejnižší ekvivalentní hladina akustického tlaku byla u žen 32,9 dB a 31,8 dB u mužů.

Podrobnější výsledky viz [B]. Porovnání výsledků obou metod jsou na Obr. 9 a Obr. 10.



Obr. 9: Porovnání nejnižších fonací při použití dvou metod (L_f a L_{eq1s}) u ŽEN



Obr. 10: Porovnání nejnižších fonací při použití dvou metod (L_F a L_{eq1s}) u MUŽŮ

6 DISKUZE

6.1 Nejhlasitější fonace

Byly zjištěny průměrné špičkové hladiny akustického tlaku nejhlasitější fonace u žen $116 \pm 4,6$ dB a u mužů $122 \pm 4,8$ dB (\pm SD). Celková nejhlasitější fonace byla naměřena 139 dB (bez filtrace) ve vzdálenosti 30 cm od úst, zjištěna u 22-letého studenta univerzity.

V porovnání s ostatními publikacemi (viz kap. 2.1) se výsledky našeho experimentu jeví jako vyšší než většina dosud publikovaných hladin. To může být způsobeno hned několika faktory. Nejvýznamnějším faktorem se zdá být způsob fonace. Pro náš experiment byla od vyšetřovaných osob vyžadována nejhlasitější fonace jako zvolání, kdežto ve většině jiných publikací je způsob nejhlasitější fonace uváděn jako zpěv nebo co nejhlasitější fonace samohlásky [a:] (podrobněji viz publikace [A]). Také způsob analýzy – výběr špičkové hladiny akustického tlaku spíše než jeho průměrné či časově vážené hladiny, mohl být příčinou vyšších zjištěných hodnot. A v neposlední řadě zde hraje roli také výběr subjektů – tedy v našem případě zdravých osob pro získání normativních hodnot spíše než zjišťování vlivu onemocnění, věku nebo trénovanosti na dynamiku lidského hlasu.

6.2 Šum

Ideálním prostředím pro měření nejnižších fonací lidského hlasu je absolutně tichá místnost. V reálném prostředí je dosažení takových podmínek téměř nemožné. Běžné tiché místnosti mohou mít hladinu šumu pozadí okolo 40 dBA (což odpovídá doporučení UEP pro maximální hladinu šumu pro měření lidského hlasu [23]). Toto doporučení se v porovnání s našimi výsledky jeví být pro přesné měření lidského hlasu příliš mírné.

Pro zajištění minimálního vlivu šumu na měření byly v experimentu zavedeny následující kroky:

- 1) Pro měření byly vybrány velmi tiché místnosti
- 2) Nejtišší fonace byly měřeny ve vzdálenosti 5 - 10 cm od úst (čímž bylo dosaženo lepšího odstupu signálu od šumu v porovnání s měřením ve vzdálenosti 30 cm od úst [31])
- 3) Hladina šumu na záznamu byla snížena pomocí filtrací (váhové filtry a hp filtr).

Hladina šumu na nefiltrovaných záznamech (L_{Zeq}) z hlavového mikrofonu byla průměrně $46,6 \pm 4,8$ dB (\pm SD). Takto vysoká hladina hluku (malý odstup signálu od šumu pozadí - průměrně okolo 9,5 dB) nepříznivě ovlivňovala (navyšovala) většinu měření nejtišších fonací.

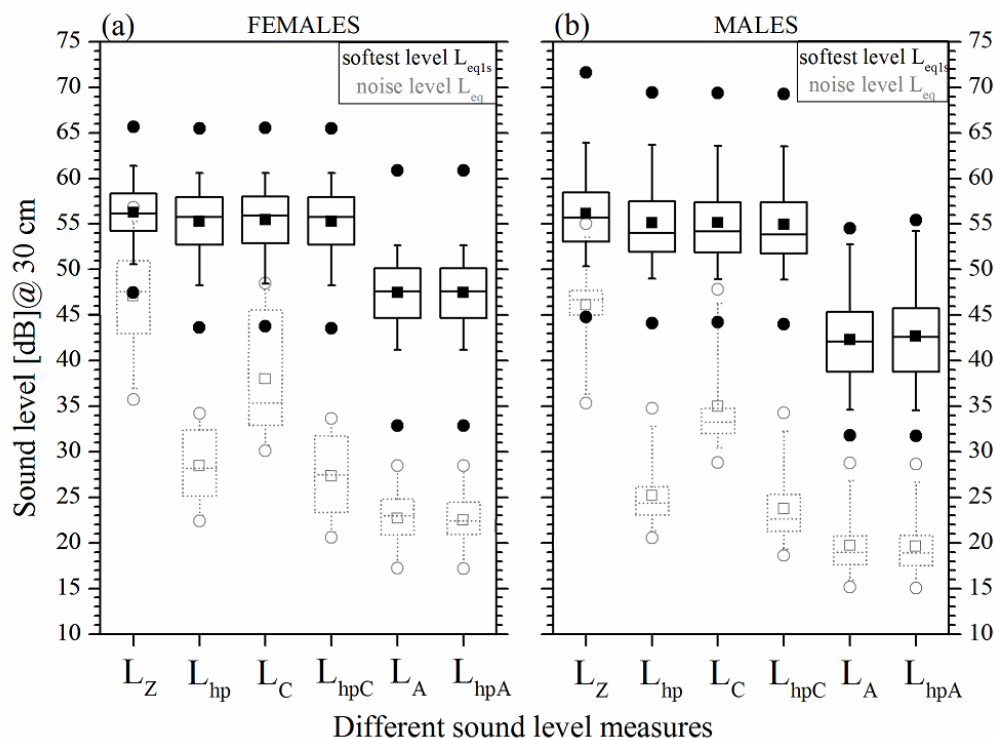
Pomocí C-váhového filtru (L_{Ceq}) bylo dosaženo snížení hladiny šumu na $36,5 \pm 5,9$ dB (\pm SD). Ani takové snížení hladiny šumu ovšem nezajistilo dostatečný odstup signálu od šumu ve všech případech (odstup průměrně okolo 18,5 dB).

Pomocí speciálního hornopropustného (hp) filtru (L_{hpeq}) bylo dosaženo snížení hladiny šumu průměrně o 20 dB na $26,8 \pm 3,9$ dB. Tímto druhem filtrace již bylo zajištěno přesné měření nejtišších fonací ve všech 80 případech (odstup průměrně okolo 28 dB).

Nejúčinnějším druhem filtrace se ukázala být kombinace hp a A-váhového filtru (L_{hpAeq}). Průměrná hladina šumu záznamů z hlavového mikrofonu byla zjištěna $21,1 \pm 3,4$ dB (\pm SD), došlo tedy ke snížení hladiny šumu až o 25 dB (odstup průměrně okolo 24 dB).

Vliv druhu filtrací na hladiny šumu a na hladiny nejtišších fonací je na Obr. 11. Je zřejmé, že filtry Z a C nesníží hladinu šumu natolik, aby nedocházelo k ovlivnění nejtišších fonací (odstup signálu od šumu není dostatečně velký). Výsledky pro A-váhový filtr a jeho kombinaci s hp filtrem jsou v podstatě totožné.

Důkladnější analýzou výsledků bylo zjištěno, že pouze odstup signálu od šumu (SNR) větší než 10 dB zajišťuje měření lidského hlasu s dostatečnou přesností, a to lepší než 0,5 dB (viz Appendix v [B]).



Obr. 11: Vliv různých druhů filtrací na hladiny šumu pozadí L_{eq} (šedá) a hladiny nejtišších fonací $L_{eq,1s}$ (černá) u ŽEN (a) a u MUŽŮ (b). Popis od spodu: extrémní minimum (dolní bod), 5% kvantil (dolní konec úsečky), 25% kvantil (dolní hrana boxu), medián (střední linie boxu), průměr (čtverec), 75% kvantil (horní hrana boxu), 95% kvantil (horní konec úsečky), extrémní maximum (horní bod).

Z uvedených výsledků je možné stanovit určitá doporučení a požadavky na hladinu šumu pozadí při měření nejtišších fonací:

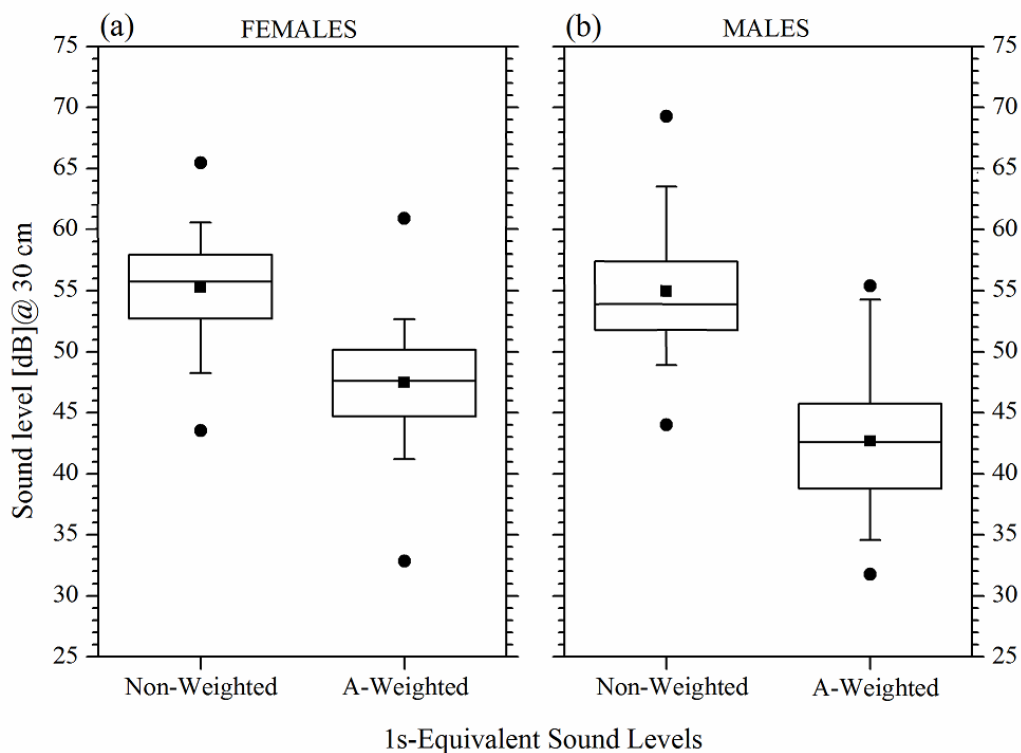
Maximální hladina šumu pozadí v místnosti pro měření - 40 dBA doporučená UEP ve [23] se jeví jako příliš vysoká při měření nejtišších fonací ve vzdálenosti 30 cm od úst. V takovém případě je odstup signálu od šumu (SNR) příliš nízký a šum pozadí nepříznivě ovlivňuje naměřené hodnoty. Analýzou hladin šumu pozadí ze všech 80 záznamů bylo zjištěno, že hladiny 25 dB (A-filtrace) a 38 dB (bez filtrace) poskytují dostatečný odstup signálu od šumu (SNR alespoň 10 dB) a zajišťují tak přesné měření nejtišších fonací ve 30 cm od úst u normální populace (mezi 5% a 95% kvantilem). V případě měření pomocí hlavového mikrofonu v menší vzdálenosti (5 - 10 cm) je pak možné za hladiny šumu poskytující dostatečný odstup signálu od šumu považovat hladiny okolo 35 - 40 dB (A-filtrace) a 48 - 53 dB (bez filtrace) (viz publikace [B]).

V každém případě je vždy třeba hladinu šumu pozadí měřit a uvést spolu s výsledky měření nejtišších fonací, aby bylo zřejmé, zdali šum neovlivnil výsledky měření.

6.3 Nejtišší fonace

6.3.1 Nejtišší fonace a frekvenční vážení

Dle výsledků první [A] i druhé [B] uváděné publikace je zřejmé, že významným faktorem ovlivňujícím hladinu akustického tlaku lidského hlasu je volba druhu frekvenčního vážení. Zatímco standardní váhové filtry C a Z hladiny hlasu téměř vůbec neovlivňují (z hlediska měření lidského hlasu je možné je považovat za ekvivalentní), standardní váhový filtr A utlumí poměrně významně spektrum lidského hlasu a to především pod 1 000 Hz (podrobněji viz [B]). Jelikož je základní frekvence mužského hlasu okolo 100 Hz a ženského okolo 200 Hz, mužské hlasy jsou tak ovlivněny A filtrací více než ženské. U žen jsou hladiny s použitím filtrace typu A průměrně o 8 dB a u mužů o 13 dB nižší než hladiny s filtrací typu C nebo Z (viz. Obr. 12).



Obr. 12: Vliv druhu filtrace (bez filtrace a s A-váhovou filtrací) na hladiny nejtišších fonací ($L_{eq,1s}$) u žen a u mužů. Popis od spodu: extrémní minimum (dolní bod), 5% kvantil (dolní konec úsečky), 25% kvantil (dolní hrana boxu), medián (střední linie boxu), průměr (čtverec), 75% kvantil (horní hrana boxu), 95% kvantil (horní konec úsečky), extrémní maximum (horní bod).

Použití A-váhového filtru pro měření hlasu je doporučeno Unií Evropských foniatrů (UEP) [23], nicméně toto doporučení není vždy respektováno. Setkáváme se tak s publikacemi s výsledky s různými druhy použité filtrace signálu a tedy, jak vyplývá z výše uvedených skutečností, s výsledky vzájemně neporovnatelnými.

6.3.2 Časové vážení a detekce prahu znělého hlasu

V publikaci [A] bylo přihlédnuto také k dalšímu faktoru ovlivňujícímu hladiny akustického tlaku lidského hlasu, a to k volbě typu časového vážení. Lidský hlas, a to především při tichých fonacích, má tendence být nestabilní. Volba konstanty časového vážení pak ovlivňuje detekci nejtišších fonací. Časové vážení typu S (pomalé, z angl. Slow, s periodou $T = 1$ s) vykazuje menší fluktuační hladiny akustického tlaku než časové vážení typu F (rychlé, z angl. Fast, s periodou $T = 0,125$ s). Vzhledem k nestabilitě nejtišších fonací, bylo v první publikaci zvoleno rychlé časové vážení umožňující detekci nižších hladin akustického tlaku než vážení pomalé. Rychlé časové vážení je také doporučeno UEP [23].

V publikaci [B] pak byl tento problém řešen více do hloubky. Během analýzy výsledků bylo zjištěno, že minima hladin rychlého časového vážení (L_F) se nacházejí povětšinou na konci fonací, kdy amplituda signálu rychle klesá. Takto zjištěné hodnoty tedy zřejmě neodpovídají minimům stabilních fonací ale spíše fázi přechodu mezi znělým a již neznělým hlasem (tzv. přechodové děje).

K analýze pomocí rychlého časového vážení (L_F) byla tedy nově přidána také metoda časového průměrování (L_{eq1s} ekvivalentní hladina s periodou $T = 1$ s). Tento způsob analýzy redukuje vliv nestabilního konce fonace, jelikož zjišťuje minimum z průměrné hladiny fonace za 1 sekundu.

S tímto problémem souvisí také další faktor ovlivňující hladinu akustického tlaku lidského hlasu, a tím je volba detekce prahu znělého hlasu.

V první publikaci [A] byly neznělé části hlasu (nestabilní a neperiodické části signálu) manuálně odstraněny ze záznamu a veškerá další analýza byla provedena na takto upravených záznamech. Ruční editaci záznamu lze považovat za významnou limitaci této pilotní studie, neboť zahrnuje nebezpečí nepřesností při odstraňování částí záznamu bez fonace a přechodových dějů na začátku a konci fonací.

Z toho důvodu byl pro publikaci [B] použit program Praat, jenž zajišťoval automatickou detekci neznělých částí záznamů a při zjišťování minimálních hladin v programu Matlab již tyto části nebyly brány v potaz.

Celý proces analýzy nejtišších fonací tak byl zjednodušen a zautomatizován, postup byl detailně popsán a je snadno opakovatelný.

6.3.3 Nejtišší fonace

Dle konečných výsledků v publikaci [B] je hladina akustického tlaku pro nejtišší stabilní fonace:

Bez filtrace ($L_{\text{eq}1\text{s}}$)

- průměrná hladina 55 dB u mužů i žen
- fonace normální zdravé populace se může pohybovat mezi 5% a 95% kvantilem:

48 – 67 dB u mužů

48 – 64 dB u žen

A-váhová filtrace ($L_{\text{Aeq}1\text{s}}$)

- průměrná hladina 42 dB u mužů a 47 dB u žen
- fonace normální zdravé populace se může pohybovat mezi 5% a 95% kvantilem:

35 – 53 dB u mužů

41 – 53 dB u žen

7 ZÁVĚR

V představeném experimentu byly zjišťovány extrémní hladiny akustického tlaku u osob se zdravým normálním hlasem.

Výsledky tohoto experimentu jsou poměrně dosti odlišné od již dříve publikovaných hodnot mnoha různých autorů a ukazují na větší dynamický rozsah lidského hlasu, než bylo doposud uvažováno. To může souviset s odlišnou metodou analýzy záznamů. U nejhlasitějších fonací je to především způsob zaznamenané fonace (zvolání) a také detekce špičkové nefiltrované hladiny akustického tlaku.

Nejproblematictější částí celého předkládaného experimentu byla analýza nejtišších fonací. V první části (v [A]) byly záznamy zpracovávány manuálně. Ve druhé části experimentu (v [B]) byla tedy hlavní pozornost zaměřena na tuto problematiku. Celý proces detekce znělých fonací byl zautomatizován (již nebylo třeba manuálních úprav) a stal se tedy jednoduše opakovatelným. Dále byl porovnán vliv různých druhů filtrací a metod analýzy na výslednou hodnotu (vždy jeden stejný záznam byl analyzován několika způsoby a výsledky porovnány).

Jako nejspolehlivější a nejpřesnější při analýze nejtišších fonací lidského hlasu byla vyhodnocena metoda výpočtu ekvivalentní hladiny akustického tlaku v rámci 1 sekundy ($L_{eq,1s}$).

Během analýzy bylo zjištěno, že váhové filtry C a Z neposkytují dostatečné utlumení nízkofrekvenčního šumu a ten tak významně ovlivňuje výsledné hladiny fonací. A-váhový filtr naopak významně potlačuje nízkofrekvenční šum, společně s ním ovšem ovlivňuje také hladiny nejtišších fonací. Jelikož tento druh filtrace odpovídá citlivosti lidského ucha, je takové měření určitým způsobem významné, ovšem má-li měření hodnotit skutečně extrémní hladiny, pak ani tento druh filtrace není zcela vhodný. Navíc bylo jasně prokázáno, že hladiny získané pomocí různých druhů filtrací jsou vzájemně zcela neporovnatelné.

Dalším významným výsledkem experimentu je stanovení požadavků na hladinu šumu pozadí v měřící místnosti. Aby byl zajištěn dostatečný odstup signálu od šumu, musí být hladina šumu pod 25 dB (A-váhový filtr) a 38 dB (C nebo Z váhové filtry) pro měření fonací ve vzdálenosti 30 cm od úst. Takový požadavek je o celých 15 dB nižší než požadavek stanovený UEP v [23]. Dostatečného odstupu signálu od šumu lze dosáhnout také účinnou filtrace (nejlépe pečlivým výběrem hornopropustného filtru) nebo také použitím mikrofону blíže k ústům (hlavový mikrofón ve vzdálenosti 5-10 cm).

Všechny uvedené skutečnosti jsou detailně popsány v publikacích [A] a [B] jež jsou součástí této práce – viz příloha.

8 LITERATURA

- [1] **Angerstein W.** (1998): „Sound pressure level examinations of the calling and speaking voice in healthy persons and in patients with hyperfunctional dysphonia.“ *Logopedics Phoniatrics Vocology* 23:21-25.
- [2] **Awan S.N.** (1991): „Phonetographic Profiles and Fo-SPL Characteristics of Untrained Versus Trained Vocal Groups.“ *Journal of Voice* 5:41-50.
- [3] **Boersma P., Weenink D.** (2013): „Praat: Doing phonetics by computer.“ (Institute of Phonetic Sciences, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands), <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- [4] **Böhme G., Stuchlik G.** (1995): „Voice profiles and standard voice profile of untrained children.“ *Journal of Voice* 9: 304-307
- [5] **Cabrera D., Davis P.** (2002): „Recording the operatic voice for acoustic analysis.“ *Acoustics Australia* 30:103-108.
- [6] **Coleman R.F., Mabis J.H., Hinson J.K.** (1977): „Fundamental Frequency – Sound Pressure Level Profiles of Adult Male and Female Voices.“ *Journal of Speech and Hearing Research* 20:197-204.
- [7] **Couvreur C.** (1997): „Octave“ in Matlab Central (The Math Works, Inc.). <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69-octave> (Last viewed March 17, 2014).
- [8] **Gramming P.** (1991): „Vocal loudness and frequency capabilities of the voice.“ *Journal of Voice* 5: 144-157.
- [9] **Gramming P., Åkerlund L.** (1988): „Non-organic dysphonia. Phonetograms for normal and pathological voices.“ *Acta Otolaryngol.* 106, 468-476.
- [10] **Gramming P., Sundberg J.** (1988): „Spectrum factors relevant to phonetogram measurement.“ *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 2352-2360.
- [11] **Hacki T.** (1996): „Comparative speaking, shouting and singing voice range profile measurement: physiological and pathological aspects.“ *Logopedics Phoniatrics Vocology* 21:123-129.

- [12] **Hacki T.** (1999): „Vocal capabilities of nonprofessional singers evaluated by measurement and superimposition of their speaking, shouting and singing voice range profiles.“ HNO 47, 809-815.
- [13] **Hallin A.E.,** Frost K., Holmberg E.B., Södersten M. (2012): „Voice and speech range profiles and Voice Handicap Index for males – methodological issues and data.“ Logoped. Phoniatr. Vocol. 37, 47-61.
- [14] **Heylen L.,** Wuyts F.L., Mertens F., De Bodt M., Pattyn J., Croux C., Van de Heyning P.H. (1998): „Evaluation of the vocal performance of children using a voice range profile index.“ Journal of Speech Language and Hearing Research 41:232-238.
- [15] **Heylen L.,** Wuyts F.L., Mertens F., De Bodt M., Van de Heyning P.H. (2002): „Normative voice range profiles of male and female professional voice users.“ Journal of Voice 16:1-7.
- [16] **Chen S.H.** (2007): „Sex differences in frequency and intensity in reading and voice range profiles for Taiwanese adult speakers.“ Folia Phoniatica et Logopaedica 59:1-9.
- [17] **IEC 61672-1** (2002): „Sound level meters - Part 1: Specification.“ in Electroacoustics (International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland), Chaps. 1-5.
- [18] **Jacobson B.,** Johnson A., Grywalski C., Silbergleit A. K., Jacobson G. P., and Benninger M. S. (1997): „The voice handicap index (VHI): Development and validation.“ J. Speech-Lang. Path. 6, 66-70.
- [19] **Ma E.,** Robertson J., Radford C., Vagne S., El-Halabi R., Yiu E. (2007): „Reliability of speaking and maximum voice range measures in screening for dysphonia.“ Journal of Voice 21:397-406.
- [20] **Lamarche A.,** Ternstrom S., Pabon P. (2010): „The Singer's Voice Range Profile: Female Professional Opera Soloists.“ Journal of Voice 24:410-426.
- [21] **Leino T.,** Laukkanen A.M., Ilomaki I., Maki E. (2008): „Assessment of Vocal Capacity of Finnish University Students.“ Folia Phoniatica et Logopaedica 60:199-209.
- [22] **Pabon P.,** Ternstrom S., Lamarche A. (2011): „Fourier descriptor analysis and unification of voice range profile contours: method and applications.“ Journal of Speech, Language, and Hearing Research 54:755-776.
- [23] **Schneider B.,** Bigenzahn W. (2003): „Influence of glottal closure configuration on vocal efficacy in young normal-speaking women.“ Journal of Voice 17, 468-480.
- [24] **Schneider B.,** Bigenzahn W. (2005): „Vocal risk factors for occupational voice disorders in female teaching students.“ Eur. Arch. Otorhinolaryngol. 262, 272-276.

- [25] **Schultz-Coulon H. J.**, Asche S. (1988): „Das „Normstimmfeld“ – ein Vorschlag.“ *Sprache-Stimme-Gehör* 12, 5-8.
- [26] **Schutte H.K.**, Seidner W. (1983): „Recommendation by the Union-Of-European-Phoniatricians (UEP) – Standardizing Voice Area Measurement Phonetography.“ *Folia Phoniatica* 35: 286-288.
- [27] **Sihvo M.**, Sala E. (1996): „Sound level variation fading for pianissimo and fortissimo phonations in repeated measurements.“ *Journal of Voice* 10, 262-268.
- [28] **Šiupšinskiene N.** (2003): „Quantitative analysis of professionally trained versus untrained voices.“ *Medicina (Kaunas)* 39, 36-46.
- [29] **Sulter A.M.**, Schutte H.K., Miller D.G. (1995): „Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training.“ *Journal of Voice* 9: 363-377.
- [30] **Šrámková H.** (2010): „Vyšetření dynamického rozsahu akustického tlaku lidského hlasu.“ Univerzita Palackého v Olomouci (diplomová práce)
- [31] **Švec J.G.**, Granqvist S. (2010): „Guidelines for selecting microphones for human voice production research.“ *American Journal of Speech – Language Pathology* 19: 356-368
- [32] **Švec J.G.** a kol. (2009): „Česká verze dotazníku Voice Handicap Index pro kvantitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem.“ *Otorinolaryngologie a Foniatrie* 3: 132-139
- [33] **Švec J.G.**, Popolo P.S., Titze I.R. (2003): „Measurement of vocal doses in speech: experimental procedure and signal processing.“ *Logopedics Phoniatics Vocology* 28: 181-192
- [34] **Wuyts F.L.**, Heylen L., Mertens F. De B.M., Van de Heyning P.H. (2002): „Normative voice range profiles of untrained boys and girls.“ *Journal of Voice* 16:460-465.

PŘÍLOHA 1 – ŽIVOTOPIS

Osobní a kontaktní údaje

Jméno a příjmení: Hana Šrámková
Titul: Mgr.
Datum narození: 9.9.1985
Adresa: Skrbeňská 9
783 35 Horka nad Moravou
Telefon: +420 777 036 537
E-mail: sramkova.hana@centrum.cz

Vzdělání

2010 – 2015: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta
doktorské studium, obor: Biofyzika

2008 – 2010: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta
navazující magisterské studium, obor: Biofyzika
(studium zakončeno státní závěrečnou zkouškou, Mgr.)

2005 – 2008: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta
bakalářské studium, obor: Biofyzika
(studium zakončeno státní závěrečnou zkouškou, Bc.)

2001 – 2005: Gymnázium Olomouc – Hejčín
Tomkova 45, Olomouc

Pracovní zkušenosti

říjen 2014 – dosud SONING Praha a.s., Plzeňská 846/66, 150 00 Praha 5
Akustik (stavební akustika, hluky)

2012 – září 2014 Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra biofyziky
Vědecko-výzkumný pracovník

Zahraniční stáže

20.-21.5.2014 **Výukový kurz - Teorie a praxe měření hluku**
(Brüel&Kjaer) Ukončen certifikátem

2.9.-1.12.2013 **Stáž na Dánské Technické Univerzitě**
Lyngby, Dánsko

PŘÍLOHA 2 – PUBLIKACE

Šrámková H., Granqvist S., Fürst T., Švec J.G.: „Měření dynamického rozsahu lidského hlasu“ (Measurements of dynamic range of human voice), *Akustické listy* 17(3) : p. 11 – 18, 2011.

Šrámková H., Granqvist S., Herbst Ch. T., Švec J.G.: „The softest sound levels of human voice in normal subjects“, *Journal of Acoustical Society of America* 137(1): p. 407 – 418, 2015.