

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vyšetření dynamického rozsahu akustického
tlaku u lidského hlasu**

Vypracovala : Bc. Hana Šrámková

Studijní obor : Biofyzika

Vedoucí diplomové práce : RNDr. Jan G. Švec, Ph.D. et Ph.D.

Konzultant : RNDr. Tomáš Fürst, Ph.D.

Děkuji vedoucímu diplomové práce, RNDr. Janu G. Švecovi, Ph.D. et Ph.D. a konzultantu diplomové práce RNDr. Tomáši Fürstovi, Ph.D. Dále děkuji panu Svantemu Granqvistovi, Ph.D. za rady ohledně filtrování signálu, paní Lence Dohnalové, jejímu pěveckému sboru a dobrovolníkům z Př.F. UP za ochotu sloužit jako experimentální subjekty, Mgr. Tomáši Hanzlíkovi, Ph.D. z Katedry hudební výchovy Pd.F. UP za možnost použít jeho pracovnu při vyšetřování v budově Konviktu UPOL a paní Ivaně Plíhalové a Českému rozhlasu za poskytnutí prostor pro pořízení zvukových záznamů

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením RNDr. Jana G. Švece, Ph.D. et Ph.D. a za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 26.4. 2010

SOUHRN

Diplomová práce je zaměřena na experimentální stanovení dynamického rozsahu lidského hlasu na souboru osob bez hlasových obtíží. Data publikovaná v odborné literatuře poskytují nejednoznačné informace ohledně dynamického rozsahu hlasu, kdy publikované střední hodnoty a značné standardní odchylky vyvolávají podezření na nepřesnost údajů.

Prozatím nebyla publikována studie s jasně formulovanými požadavky na mikrofony s ohledem na extrémní výsledky analýzy lidského hlasu. V mé předešlé (bakalářské) práci byla použita data, která byla převzata ze studií uvádějících pouze střední naměřené hodnoty a jejich standardní odchylky. Tyto hodnoty se ovšem projeví jako nedostačující. Proto je v této práci uvedena předchozí teorie do praxe. Je vyšetřeno 14 mužů a 24 žen, u kterých je hlas registrován pomocí zvukoměru a hlavového mikrofonu. U každého z nich je pomocí programů Multi-Speech a Matlab vyhodnocena minimální a maximální dosažená hodnota hladiny akustického tlaku. Z těchto hodnot jsou následně stanoveny typy distribucí, střední hodnoty a standardní odchylky. Výsledná data jsou poté v práci použita pro specifikaci požadavků na mikrofony určené pro registraci lidského hlasu.

SEZNAM ZKRATEK

SPL = angl. Sound Pressure Level = hladina akustického tlaku

SD = angl. Standard Deviation = standardní deviace (odchylka)

rms = angl. Root Mean Square = druhá odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu časového průběhu funkce

SEZNAM POJMŮ

Akustický tlak = Sound pressure (p) = efektivní hodnota okamžitých akustických tlaků za daný časový interval, pokud není stanoveno jinak. Jednotkou akustického tlaku je pascal (Pa).

Hladina akustického tlaku = Sound pressure level (SPL, L) = logaritmus poměru daného akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku; hladina akustického tlaku v decibelech (dB) je dvacetinásobek dekadického logaritmu tohoto poměru

Špičkový akustický tlak = Peak sound pressure = nejvyšší okamžitá absolutní hodnota akustického tlaku během stanoveného časového intervalu

Hladina špičkového akustického tlaku = Peak sound level (L_p) = dvacetinásobek dekadického logaritmu poměru špičkového akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku. Špičkový akustický tlak se získá se standardním kmitočtovým vážením.

Střední hodnota kvadrátu akustického tlaku = Mean square sound pressure (p^2) = akustický tlak vyčíslený jako střední kvadratická hodnota akustického tlaku v prostoru a čase; vyjadřuje se v pascalech na druhou.

Časově průměrovaná hladina akustického tlaku = Time-average sound pressure level (L) = logaritmus poměru dané efektivní hodnoty akustického tlaku během stanoveného časového intervalu k referenčnímu akustickému tlaku

Časově vážená hladina akustického tlaku = Time-weighted sound level ($L(t)$) = dvacetinásobek dekadického logaritmu poměru dané efektivní hodnoty akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku

Referenční akustický tlak = Reference sound pressure (p_{ref}) = konvenčně zvolená referenční veličina. Není-li stanoveno jinak, je jeho hodnota pro zvuk šířený vzduchem 20 μ Pa a pro zvuk šířený jiným prostředím než vzduchem 1 μ Pa.

Vše převzato z ČSN 01 1600 : Akustika – Terminologie, Český normalizační institut (2003) , ČSN EN 61672-1 : Elektroakustika - Zvukoměry – Část 1: Technické požadavky, Český normalizační institut (2003).

OBSAH

1. ÚVOD.....	1
2. PŘEHLED PROBLEMATIKY.....	2
2.1. Lidský hlas.....	2
2.2. Měření hladiny akustického tlaku lidského hlasu.....	4
2.2.1. Akustický tlak a hladina akustického tlaku.....	4
2.2.2. Filtrace šumu.....	4
2.2.3. Kmitočtové váhové filtry A, C, Z.....	5
2.2.4. Časové průměrování a vážení.....	6
2.3. Přehled literatury o dynamickém rozsahu hlasu.....	8
2.4. Dotazník VHI.....	10
2.5. Statistika – typ distribuce výsledků.....	11
2.5.1. Normální (Gaussovské) rozdělení.....	11
2.5.2. Logaritmickeo-normální (lognormální) rozdělení	12
2.5.3. Standardní (směrodatná) odchylka σ	13
2.5.4. Testování hypotéz.....	14
3. CÍLE PRÁCE.....	15
4. MATERIÁL A METODIKA MĚŘENÍ.....	16
4.1. Subjekty a místo měření	16
4.2. Přístroje.....	17
4.3. Software.....	19
4.4. Postup měření	20
4.5. Vyhodnocení pomocí Multi-Speech a Matlab.....	22
4.5.1. Dvoufázová kalibrace.....	22
4.5.2. Nejhlasitější fonace.....	23
4.5.3. Šum.....	24
4.5.4. Určení základní frekvence (F_0) nejtišší fonace.....	25
4.5.5. Filtrace.....	25
4.5.6. Vyhodnocení nejtišší fonace.....	27
5. VÝSLEDKY.....	28
5.1. Vyhodnocení dotazníku VHI.....	28
5.2. Nejhlasitější fonace L_p	30
5.3. Základní frekvence (F_0) nejtišší fonace.....	33

5.4. Šum.....	36
5.5. Nejtišší fonace $L(t)$	38
6. DISKUSE.....	44
6.1. Zjištění nejhlasitější a nejtišší fonace.....	44
6.2. Zjištění statistického rozdělení naměřených SPL.....	47
6.3. Specifikace požadavků na mikrofony.....	48
7. ZÁVĚR.....	51
8. SEZNAM LITERATURY.....	53
PŘÍLOHA 1 : Dotazník VHL.....	56
PŘÍLOHA 2 : M-funkce v programu Matlab.....	57

1. ÚVOD

Tato experimentální diplomová práce vychází z mé rešeršní bakalářské práce, která se zabývala shrnutím výsledků měření lidského hlasu, tedy především měření jeho frekvenčního a dynamického rozsahu. Zjištěné extrémní výsledky pak byly využity na stanovení technických požadavků pro akustickou registraci lidského hlasu a řeči, tedy na mikrofony a jiné přístroje nutné pro nahrávání. Výsledkem této práce bylo zjištění, že část publikovaných článků má silné nedostatky a většina potřebných hodnot buďto nebyla nalezena nebo byla znehodnocena nedostatkem informací. Nejpálčivějším problémem bakalářské práce pak byl nedostatek informací o statistickém zpracování dat. Většina autorů sice uváděla střední hodnoty a jejich standardní odchylky, ovšem nezmiňovala se o typu rozdělení nebo vůbec o jeho prozkoumání. Při předpokladu normálního (Gaussovského) rozdělení a následném výpočtu pravděpodobných extrémních hodnot vzniklo podezření, že tyto výsledné hodnoty mohou být přehnané, neboť takto stanoveným parametrům nevyhovují téměř žádné registrační systémy.

V důsledku toho byla sestavena metoda konkrétního experimentu pro tuto diplomovou práci během něhož bylo pečlivě dbáno především na co nejpřesnější popis měření a uvedení všech potřebných dat. Byla provedena statistická analýza a extrémní hodnoty pak porovnány s výsledky z publikovaných prací a znovu vyhodnoceny parametry pro akustickou registraci lidského hlasu.

2. PŘEHLED PROBLEMATIKY

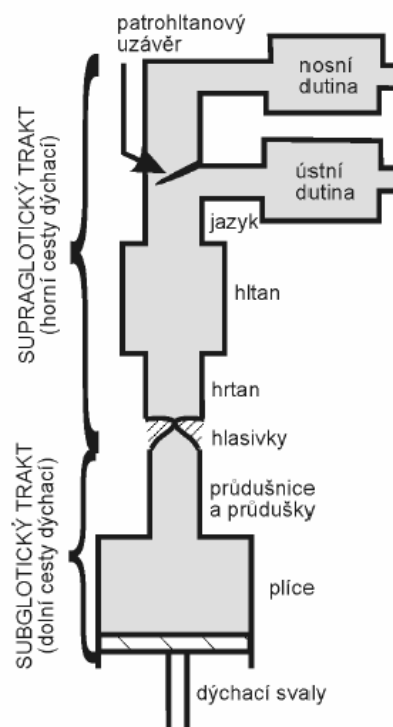
2.1. Lidský hlas

Lidský hlas je nejen tvorba zvuků o různé frekvenci a intenzitě, ale také podstata schopnosti řeči a tvorby slov. Je to pro každého z nás jedna z nejdůležitějších součástí života. Nejde jen o prostředek k dorozumívání, hlas nám může říct mnoho o tom, kdo jej vytváří. Je-li to člověk mladý, starý, je-li to žena nebo muž i zda je zdravý či nikoli.

Vznik hlasu

Hlas se tvoří v dýchacím ústrojí neboli hlasovém akustickém systému zahrnujícím plíce, průdušky, průdušnici, hrtan, hltan a dutiny ústní a nosní (Obr.1).

Plíce mění při dýchání svůj objem a tedy i tlak v nich. Při výdechu jsou plíce stlačeny a proud vzduchu z nich vycházející rozechvívá hlasivky umístěné v hrtanu. Kmity hlasivek vytváří periodické změny vzdušného tlaku, tedy prvotní akustický signál. Tento signál se dostává do rezonančních dutin nad hlasivkami (Švec 1996), kde je transformován na výsledný akustický signál. Tato teorie tvorby hlasu se nazývá teorie zdroje a filtru (Fant 1960; Sundberg 1977, 1987; Rothenberg 1981; Titze 1994 cit. v práci Švec 1996) (Obr.2). Výsledný akustický signál pak vystupuje ústy a nosem ven do prostoru.



Obr.1 : Schématické znázornění hlasového akustického signálu. Podle Flanagana (1965) a převzato z Švec J.G.(1996)



Obr.2: Dva stupně tvoření hlasu. Převzato z práce Švec (1996)

Základní vlastnosti hlasu

Vlastnosti lidského hlasu vychází z akustiky a jsou to především základní frekvence (výška hlasu), frekvenční spektrum (barva hlasu) a hladina akustického tlaku (síla hlasu).

Základní frekvence hlasu (výška)

Frekvence kmitů hlasivek určuje základní frekvenci (tón) hlasu (F_0) (viz dále). Frekvenční rozsah lidského hlasu je vymezen nejnižší a nejvyšší možnou základní frekvencí jakou je daná osoba schopna vytvořit. Obecně se pohybuje v rozmezí cca. 70 – 500 Hz u mužů a 140 – 1 000 Hz u žen (Švec 1996). Sulter (1995) ve své studii osob bez hlasového tréninku uvádí rozsah u mužů 74 – 785 Hz, u žen pak 128 – 1320 Hz (střední hodnoty).

Barva (frekvenční spektrum hlasu)

Barva je vlastnost sluchového vnímání, která umožňuje posluchači usoudit, že dva neidentické zvuky mající stejnou hlasitost a výšku si nejsou podobné (ČSN 01 1600, 2003).

Běžné tóny nejsou téměř nikdy jednoduché, ale tóny složené. Kromě základního tónu, určujícího výšku celkového tónu, jsou v něm obsaženy také tóny harmonické (Špelda 1958). Barva závisí také na průvodních šumech a šelestech, které vznikají při vytváření tónu. Proto je pro věrné sejmutí hlasu třeba zaznamenat nejen základní tón hlasu, ale i tóny harmonické a případné šumy, které při řeči vznikají.

Frekvenční spektrum hlasu se liší podle toho, jde-li o samohlásky (a, e, i, o, u) nebo o souhlásky (b, c, d, ...). V závislosti na hlásce mohou tak vznikat zvuky obsahující frekvence například až 12 000 Hz (Palková 1994).

Dynamický rozsah

Dynamický rozsah je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hladinou akustického tlaku, které je člověk schopen hlasem dosáhnout (viz dále).

2.2. Měření hladiny akustického tlaku lidského hlasu

2.2.1. Akustický tlak a hladina akustického tlaku

Dynamické vlastnosti hlasu odráží produkovaný akustický tlak. Hladina akustického tlaku (označována zkratkou SPL, z anglického „sound pressure level“) má logaritmický vztah k akustickému tlaku p podle rovnice :

$$L = 20 \cdot \log (p/p_{\text{ref}}), \quad (1)$$

kde p_{ref} je referenční hodnota akustického tlaku vzduchu (20 μPa) (Akustika – Terminologie 2003). Tato hodnota v pascálech odpovídá nule v decibelech. Tlak 1 Pa je přibližně roven 94 dB (Škvor 2001, Švec & Granqvist 2010).

Pro měření SPL je důležitým faktorem vzdálenost od úst, a to podle „zákona vzdálenosti“ :

$$L_{d2} = L_{d1} - 20 \cdot \log (d_2/d_1), \quad (2)$$

kde L_{d1} a L_{d2} jsou SPL ve dvou různých vzdálenostech d_1 a d_2 (Švec & Granqvist 2010).

Při měření hladiny akustického tlaku při umístění mikrofonu na stojanu ve vzdálenosti 30 cm od úst, stojí-li subjekt na jednom místě a jeho pohyby nejsou nijak omezeny, lze podle obecných zkušeností očekávat přesnost měření (variabilitu) ± 1 dB. Přesnost kalibrace hlavového mikrofonu je odvozena od přesnosti kalibrace. V případě dvoustupňové kalibrace (viz dále) je tato přesnost dána pohybem měřeného subjektu při vyslovování kalibrační samohlásky /a/ , což také odpovídá variabilitě ± 1 dB. Z toho důvodu zde budou hodnoty hladin akustického tlaku uváděny pouze v celých číslech a stejně tak jejich standardní odchylky.

2.2.2. Filtrace šumu

Při zjišťování nejtišších fonací lidského hlasu se zároveň s fonací zaznamenává také šum místnosti, což může výsledek do značné míry ovlivnit. Hladina šumu místnosti by měla být alespoň 15 dB pod SPL nejtišších fonací (Švec & Granqvist 2010). Při měření v běžné místnosti nebo místnosti která není ideálně odhlučněná často šum tuto hladinu často přesahuje. Je tedy dobré si hladinu šumu nejprve zjistit (postup viz dále) a poté rozhodnout, zda lze záznamy použít nebo je nutné je nejprve přefiltrovat.

Je-li nutná filtrace, pak základními možnostmi jsou kmitočtové váhové filtry A, C nebo Z (viz 2.2.3.) nebo v případě tohoto experimentu vlastní filtr pracovně nazvaný S (viz 4.5.5.) .

2.2.3. Kmitočtové váhové filtry A, C, Z

Váhový filtr A

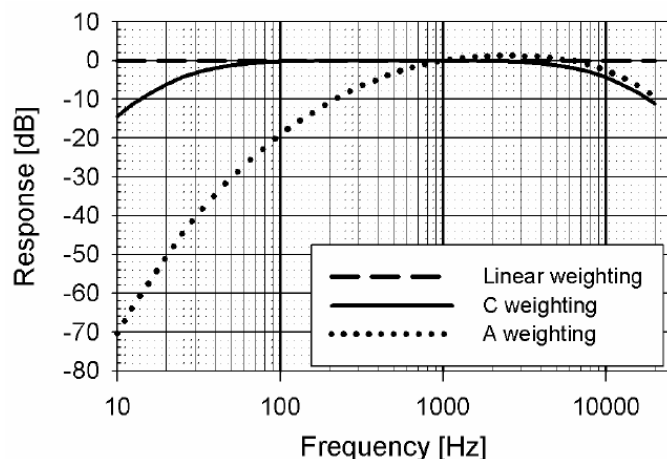
Váhový filtr A je definovaný v mezinárodních standardech IEC 61672:2003 na základě citlivosti lidského ucha na relativně slabé zvuky (40 Fonů, které v 1 kHz odpovídají SPL 40 dB) (ČSN 01 1600, 2003 a Švec & Granqvist 2010). Jde o základní standardní filtr pro většinu zvukoměrů. Z Obr.3 a Tab.1 je zřejmé, že tento filtr poměrně silně zeslabuje nízké a částečně také velmi vysoké frekvence. Frekvence mezi tím buďto neovlivní nijak (při 1000 Hz je zeslabení 0 dB) nebo je velmi mírně zesílí. Na tuto oblast cca 1 – 6 kHz je lidské ucho nejcitlivější. SPL v dB měřená pomocí A nebo C filtry bývá označována jako SPL v dB(A) respektive dB(C) (Švec & Granqvist 2010).

Váhový filtr C

Z Obr.3 a Tab.1 je také zřejmé, že váhový filtr C zeslabí velmi nízké a velmi vysoké frekvence, kdežto oblast cca 50 Hz – 4 kHz, ve které je soustředěna většina energie hlasu (Švec & Granqvist 2010) nijak neovlivní.

Váhový filtr Z

Váhový filtr Z je tzv. nulový (z angl. „zero“), lineární filtr, tedy filtr, který původní signál nijak neovlivní. Tento filtr byl zaveden teprve nedávno se schválením mezinárodní normy IEC 61672:2003.



Obr.3: Frekvenční odezva filtru A - tečkovaně , filtru C - plná čára a filtru Z – přerušovaná čára. Převzato z Švec & Granqvist, 2010.

Jmenovitý kmitočet ^{a)} Hz	Kmitočtová váhová funkce ^{b)} dB			Tolerance (dB)	
	A	C	Z	Třída	
				1	2
10	-70,4	-14,3	0,0	+3,5; -∞	+5,5; -∞
12,5	-63,4	-11,2	0,0	+3,0; -∞	+5,5; -∞
16	-56,7	-8,5	0,0	+2,5; -4,5	+5,5; -∞
20	-50,5	-6,2	0,0	±2,5	±3,5
25	-44,7	-4,4	0,0	+2,5; -2,0	±3,5
31,5	-39,4	-3,0	0,0	±2,0	±3,5
40	-34,6	-2,0	0,0	±1,5	±2,5
50	-30,2	-1,3	0,0	±1,5	±2,5
63	-26,2	-0,8	0,0	±1,5	±2,5
80	-22,5	-0,5	0,0	±1,5	±2,5
100	-19,1	-0,3	0,0	±1,5	±2,0
125	-16,1	-0,2	0,0	±1,5	±2,0
160	-13,4	-0,1	0,0	±1,5	±2,0
200	-10,9	0,0	0,0	±1,5	±2,0
250	-8,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
315	-6,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
400	-4,8	0,0	0,0	±1,4	±1,9
500	-3,2	0,0	0,0	±1,4	±1,9
630	-1,9	0,0	0,0	±1,4	±1,9
800	-0,8	0,0	0,0	±1,4	±1,9
1 000	0	0	0	±1,1	±1,4
1 250	+0,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
1 600	+1,0	-0,1	0,0	±1,6	±2,6
2 000	+1,2	-0,2	0,0	±1,6	±2,6
2 500	+1,3	-0,3	0,0	±1,6	±3,1
3 150	+1,2	-0,5	0,0	±1,6	±3,1
4 000	+1,0	-0,8	0,0	±1,6	±3,6
5 000	+0,5	-1,3	0,0	±2,1	±4,1
6 300	-0,1	-2,0	0,0	+2,1; -2,6	±5,1
8 000	-1,1	-3,0	0,0	+2,1; -3,1	±5,6
10 000	-2,5	-4,4	0,0	+2,6; -3,6	+5,6; -∞
12 500	-4,3	-6,2	0,0	+3,0; -6,0	+6,0; -∞
16 000	-6,6	-8,5	0,0	+3,5; -17,0	+6,0; -∞
20 000	-9,3	-11,2	0,0	+4,0; -∞	+6,0; -∞

Tab.1.: Zeslabení filtrováním pomocí váhových filtrů A, C nebo Z v daných frekvencích (kmitočtech) a tolerance pro zvukoměry. Převzato z ČSN EN 61672-1 (2003)

2.2.4. Časové průměrování a vážení

Časové průměrování

Obecná rovnice pro časově průměrovanou SPL je :

$$L = 20 \lg \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{t-T}^t p_A^2(\xi) d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\}, \quad (3)$$

kde T je časový interval průměrování a ξ je pomocná proměnná časové integrace (ČSN 01 1600, 2003).

Hodnota :

$$\left[(1/T) \int_{t-T}^t p_A^2(\xi) d\xi \right]^{1/2}$$

v rovnici (3) je tzv. rms hodnota (z angl. root mean square, odmocnina střední hodnoty kvadrátu), kterou lze v případě digitálního signálu také vyjádřit rovnicí :

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K p^2(k)}{K}} \quad , \quad (4)$$

kde p je hodnota akustického tlaku zaznamenaná mikrofonom nebo zvukoměrem a K je délka záznamu odpovídající celkovému počtu vzorků. (Švec, Popolo and Titze 2003).

Funkce rms byla v této práci použita při kalibraci a pro výpočet SPL šumu.

Časové vážení

Obecná rovnice pro časově váženou SPL je :

$$L(t) = 20 \lg \left\{ \left[(1/\tau) \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\} \quad , \quad (5)$$

kde τ je exponenciální časová konstanta a ξ je pomocná proměnná časové integrace (Česká technická norma 2003).

Existují dvě standardní možnosti časového vážení v závislosti na volbě konstanty τ . Buďto je to vážení rychlé (fast = F), kdy $\tau = 0,125$ s nebo vážení pomalé (slow = S), kdy $\tau = 1$ s.

Rovnice pro výpočet časově vážené SPL byla využita při výpočtu nejtišší fonace.

2.3. Přehled literatury o dynamickém rozsahu hlasu

Pro srovnání s touto diplomovou prací bylo vybráno několik studií, které se zabývají měření lidského hlasu, konkrétně jeho dynamického rozsahu. Cíl výzkumu a metodika měření se ovšem často liší (Přehled výsledků viz Tab.2). Angerstein (1998) se ve své práci zabývá srovnáním základních frekvencí F_0 a SPL při volání zdravých osob a pacientů s dysfonií. Protože zde nebyly zjišťovány SPL nejnižších fonací nýbrž SPL přirozených fonací, lze tedy srovnávat pouze naměřené SPL nejhlasitějších fonací při volání. Awan (1993) v práci uvádí výsledky měření hlasového pole trénovaných a netrénovaných žen a mužů. Tato práce je ovšem zaměřena spíše na měření maximálních a minimálních SPL přirozených fonací a výsledné hodnoty proto nebudou natolik extrémní. V práci Bakena (2000) je pak uvedeno shrnutí několika měření hlasu a řeči, z nichž pro srovnání je nejpodstatnější práce Coleman (1977), který zkoumal vliv pohlaví na měření. Böhme (1995) se věnoval měření netrénovaných dětí ve věku 7 – 10 let stejně tak jako Wuyts (2002). Z výsledků je zřejmé, že dynamický rozsah u dětí ještě není natolik rozvinutý jako u dospělých. Heylen (2002) měřil hlasové pole trénovaných žen a mužů, naopak Leino (2008) žen a mužů netrénovaných. Ma (2006 a 2007) ve svých pracích zkoumá vliv dysfonie na hlasové pole, pouze v roce 2007 byla standardizována metodika měření. Schneider (2003) ve své práci zkoumá vliv konfigurace uzavírání hlasivek na hlasové pole a mimo jiné provádí také videostroboskopii. V práci z roku 2005 pak zkoumá faktory ovlivňující hlas mladých učitelek. Sulter (1995) ve své práci uvádí výsledky měření hlasového pole trénovaných a netrénovaných mužů a žen. Tyto hodnoty byly nejvíce extrémní a bylo z nich vycházeno v mé bakalářské práci (Šrámková 2008). Teles-Magalhaes (2000) ve své práci uvádí výsledky z měření hlasového pole starších zdravých žen, což je také zřejmé na méně extrémních výsledcích než uvádí práce o zdravých mladých lidech.

Ve většině publikovaných studií o měření hlasového pole či jiných experimentů zahrnujících také měření dynamického rozsahu lidského hlasu jsou uváděny pouze změřené střední hodnoty. Například v publikacích Heylena (2002) nebo Wuytse (2002) dokonce nejsou uváděny ani tyto, pouze grafy znázorňující hlasová pole a požadované hodnoty je potřeba si odečíst z grafu. V pracích Schneiderové (2003) nebo v práci Teles-Magalhaesové (2000) autorky uvádí nejen hodnoty střední a jejich standardní odchylky, ale také naměřený rozsah a tudíž minimální a maximální experimentálně naměřené hodnoty.

V některých pracích byla měření prováděna v různých vzdálenostech od úst, což je nutné brát v potaz. Například Coleman (1977) (cit. v Baken 2000) měřil ve vzdálenosti 15,24 cm, Leino (2008) měřil ve vzdálenosti 40 cm a Ma (2006) ve vzdálenosti 10 cm od úst. Tyto

hodnoty je tedy nutné přepočíst podle rovnice (2) na standardizovanou vzdálenost 30 cm, kterou doporučuje UEP (Union of European Phoniaticians) (Schneider 2003, Teles-Magalhaes 2000), aby bylo možné srovnání zjištěných dat.

Častým nedostatkem je také statistické zpracování dat, tedy zjištění typu rozdělení naměřených dat, které autoři ani neprovádí a uvádí pouze zjištěné standardní odchylky (SD).

Celkový přehled studií zaměřených na dynamický rozsah lidského hlasu je uveden spolu s hodnotami důležitými pro srovnání s touto diplomovou prací v Tab.2.

Výsledky ve 30 cm	počet osob	filtrace	L(t) střední (SD)	Lp střední (SD)
Angerstein 1998	127	A	-	107,5 (7,1)
Awan 1993	40	Z	64,75 (2,21)	75,00 (1,72)
Coleman 1977(cit. v Baken 2000)	22	necit.	*42 (necit)	*120 (necit)
Böhme 1995	277	A	50 (5)	91 (8)
Heylen 2002	89	A	46 (-)	99 (-)
Leino 2008	252	Z	*55,5 (5,1)	*101,1 (9,4)
Ma 2006	161	A	*39,20 (3,23)	*99,80 (6,07)
Ma 2007	125	A	48,91 (3,12)	109,28 (5,18)
»Schneider 2003	546	A	56 (3,92)	93 (7,12)
Schneider 2005	144	A	52,7 (4,0)	94,2 (6,2)
Sulter 1995	224	A	44,2 (6,80)	104,1 (9,17)
»Teles-Magalhaes 2000	40	A	50,88 (3,66)	83,53 (6,24)
Wuyts 2002	74	A	49 (-)	92 (-)

Tab.2: Střední hodnoty a jejich standardní odchylky nejnižší fonace L(t) (dB) a nejhlasitější fonace Lp (dB) z publikovaných článků. Symbolem " * " jsou označeny hodnoty původně měřené v jiné vzdálenosti než 30 cm a které tedy bylo nutné přepočítat podle (2). Symbolem " » " jsou označeny studie, ve kterých autoři uvádí i minimální a maximální naměřenou hodnotu.

2.4. Dotazník VHI

Jedním ze základních instrumentů, které byly vyvinuty pro kvantifikaci subjektivních potíží pacientů u poruch hlasu, je tzv. Voice Handicap Index (VHI), neboli „Index hlasového postižení“ (Jacobson a kol. 1997, podle Švec a kol., 2009), jehož původní anglická verze byla přeložena do mnoha světových jazyků (Švec a kol., 2009). Tento index (potažmo dotazník) byl vyhodnocen u každého měřeného subjektu a to ve verzi převzaté z práce Švece a kol. (2009), která je uvedena v Příloze 1. K výsledkům tohoto dotazníku vyhodnocených pomocí Tab.3 bylo přihlédnuto před provedením měření konkrétní osoby. Dalším kritériem pro vyhodnocení je také hodnota 8,75 (SD = 14,97), což je celkové skóre VHI pro subjekty bez jakýchkoli potíží s hlasem (Švec a kol., 2009).

Část VHI	Stupeň hlasových potíží		
	Mírné	Střední	Těžké
Funkční	10,07 (1,99)	12,41 (1,38)	18,30 (1,50)
Fyzická	15,54 (1,97)	18,63 (1,37)	22,78 (1,48)
Emoční	8,08 (2,31)	13,33 (1,61)	20,30 (1,74)
VHI celkem	33,69 (5,60)	44,37 (3,88)	61,39 (4,21)

Tab.3: Střední hodnoty (a směrodatné odchylky) pro VHI části : funkční (P), fyzická (F) a emoční (E) a pro celkové VHI skóre jako funkce hlasových potíží subjektivně vnímaných pacientem. Podle Jacobson a kol. (1997), převzato z Švec a kol. (2009).

2.5. Statistika – typ distribuce výsledků

Pro zjištění typu statistického rozdělení výsledných dat je nejprve zapotřebí zvolit konkrétní hypotézu, tedy jaká distribuce je očekávána. V tomto případě byla k testování zvolena hypotéza o normálním rozdělení jako nejpravděpodobnější, jelikož jde o biologická data jež jsou téměř vždy normálního rozdělení. Poté navázala hypotéza o lognormálním rozdělení, jež byla zvolena jako doplňková především proto, že SPL v jednotkách dB je logaritmus akustického tlaku v jednotkách Pa a tedy, jsou-li hodnoty SPL v jednotkách decibel normálního rozdělení, pak původní hodnoty akustického tlaku jsou při aplikaci rovnic (1) a (13) lognormální.

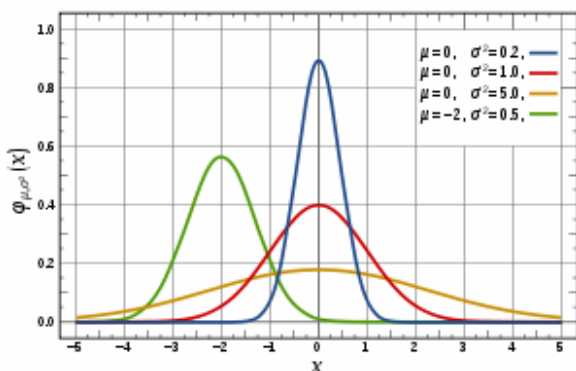
2.5.1. Normální (Gaussovské) rozdělení

Normální rozdělení je nejdůležitějším pravděpodobnostním rozdělením, které slouží jako model chování náhodných jevů v technice a přírodních vědách. Obecně lze říci, že toto rozdělení je vhodné, působí-li na danou veličinu velký počet nepatrných a vzájemně nezávislých vlivů.

Normální rozdělení pravděpodobnosti pro střední hodnotu μ : $-\infty < \mu < \infty$ a rozptyl $\sigma^2 > 0$ je definováno hustotou pravděpodobnosti $f(x)$ (Obr.4). Ze znalosti hustoty pravděpodobnosti lze určit pravděpodobnost, že náhodná veličina x nabude hodnoty z intervalu od a do b , jako integrál od a do b z $f(x)$ dx. Rovnice pro hustotu pravděpodobnosti je :

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in \mathbb{R}, \quad (6)$$

kde μ je střední hodnota charakterizující polohu tohoto rozdělení, σ^2 je rozptyl hodnot x okolo střední hodnoty (variance) (Matlab help).



Obr. 4: Graf hustot pravděpodobnosti normálního rozdělení pro různé parametry μ a σ^2 .

Převzato z www.wikipedia.org.

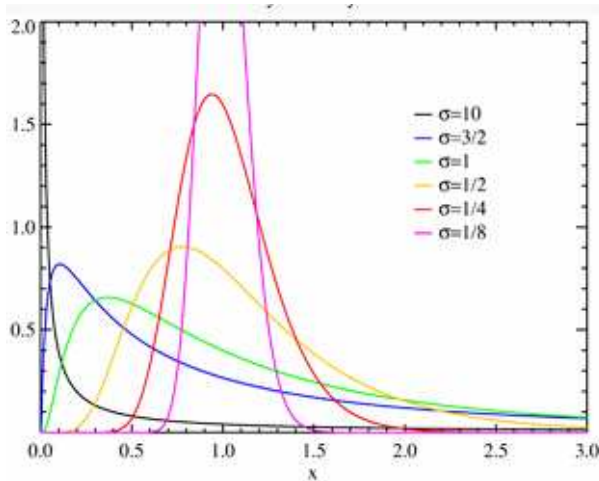
2.5.2. Logaritmicko-normální (lognormální) rozdělení

Obecně se toto rozdělení používá, je-li náhodná veličina X výsledkem velkého počtu nezávislých náhodných vlivů, které se navzájem násobí. Jestliže má náhodná veličina $Y = \ln(X)$ normální rozdělení s parametry μ a σ^2 , pak veličina X má logaritmicko-normální rozdělení s parametry μ a σ^2 .

Hustota pravděpodobnosti (Obr.5) má tvar :

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0 \quad (7)$$

kde μ je střední hodnota charakterizující polohu tohoto rozdělení, σ^2 je rozptyl hodnot x okolo střední hodnoty (variance) (Matlab help).



Obr. 5: Graf hustot pravděpodobnosti logaritmicko-normálního rozdělení v závislosti na parametru σ . Převzato z www.wikipedia.org.

2.5.3. Standardní (směrodatná) odchylka σ

Standardní odchylka (SD) je definována jako odmocnina z rozptylu σ^2 náhodné veličiny x . Pro její výpočet lze použít dvou variant :

$$SD1 = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

$$SD2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

kde $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ a n je počet vzorků. Výpočet SD2 dává menší hodnoty než SD1.

SD1 ač je neintuitivní, je nevychýlená a to v tom smyslu, že když se na SD1 díváme jako na náhodnou veličinu, je přesně rovna parametru σ a proto se používá častěji (Anděl 2005). Dále zde tedy bude používána standardní odchylka SD1 podle rovnice (8), označována jako SD.

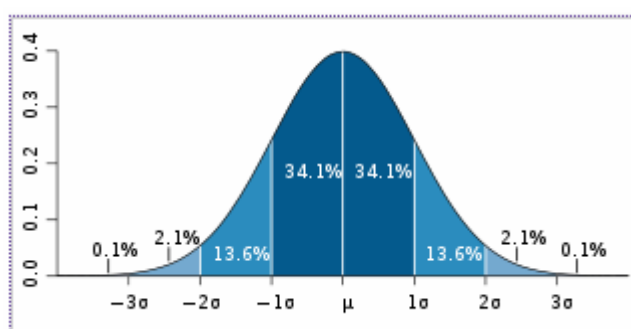
V programu Matlab je hodnota SD vypočítána pomocí příkazu: `SD = std(x)`, kde x jsou naměřené hodnoty.

Předpokládáme-li normální rozdělení naměřených hodnot (Obr.6), pak platí že:

v rozmezí 1 SD (tedy v intervalu $\mu - \sigma$, $\mu + \sigma$) je přibližně 68,26% naměřených hodnot

v rozmezí 2 SD je přibližně 95,46% naměřených hodnot

v rozmezí 3 SD je přibližně 99,73% naměřených hodnot (Anděl 2005).



Obr. 6: Graf normálního rozdělení pravděpodobnosti kde jsou tmavě, středně a světle modře vyznačeny standardní odchylky a jejich procentuální zastoupení naměřených hodnot. Převzato z www.wikipedia.org.

2.5.4. Testování hypotéz

Aby bylo možno rozhodnout, zdali rozdělení změřených dat odpovídá normálnímu rozdělení, je potřeba provést test normality. V tomto případě byl využit opět program Matlab a test normality Jarque-Bera (JB test) :

$[h,p] = \text{jbttest}(x)$, kde x jsou naměřené hodnoty.

Tento test dává výsledky : hodnota $h = 0$ nebo 1 , kdy $h = 0$ znamená, že hypotézu normality nelze zamítnout. To může být způsobeno tím, že data skutečně pocházejí z normálního rozdělení, nebo je jednoduše jen příliš málo dat na zamítnutí hypotézy. Jestliže $h = 1$, pak byla hypotéza normality zamítnuta a nejde o výběr z normálního rozdělení.

Dalším výsledkem testu je tzv. p-hodnota (p-value), což odpovídá pravděpodobnosti, že za platnosti nulové hypotézy (tedy že data pocházejí z normálního rozdělení) naměříme data, která jsou stejně nebo ještě více vzdálená normalitě než ta, co máme. Čím menší je tedy hodnota p , tím méně je pravděpodobné, že data jsou normálního rozdělení. Za hraniční hodnotu bývá považována hodnota $p = 0,05$ (Zvárová 2004).

Pro testování hypotézy normálním rozdělení (potažmo logaritmicko-normálním rozdělení) byl použit program Matlab (viz Příloha 2: m-funkce1 a m-funkce2).

3. CÍLE PRÁCE

Cíl první :

Zjistit jaké nejvyšší a jaké nejnižší hladiny akustického tlaku lze očekávat u zdravého člověka.

Cíl druhý :

Zjistit zda rozdělení naměřených hodnot hladin akustického tlaku odpovídá normálnímu rozdělení.

Cíl třetí :

Na základě naměřených hodnot specifikovat minimální požadavky na mikrofony (hladinu šumu, maximální hladinu akustického tlaku), tak aby byly schopny zaznamenat hlas v celém dynamickém rozsahu.

4. MATERIÁL A METODIKA MĚŘENÍ

4.1. Subjekty a místo měření

Postupně bylo změřeno 38 subjektů, z toho 24 žen a 14 mužů ve věku 15 - 49 let (viz Tab.4). K měření byly nejprve využity jen minimálně upravované prostory s vyhovující akustikou (co nejnižší možný šum nebo hluk a minimální rezonance či ozvěna) a na část měření pak nahrávací studio Českého rozhlasu Olomouc. Před započítáním měření každý ze subjektů vyplnil připravený VHI dotazník týkající se jeho subjektivního pocitu zdraví hlasu (viz 2.3.) (Švec a kol. 2009).

číslo subjektu	pohlaví	věk	číslo subjektu	pohlaví	věk
1	žena	17	20	žena	15
2	žena	25	21	muž	44
3	žena	20	22	muž	15
4	žena	49	23	žena	27
5	muž	32	24	muž	21
6	muž	33	25	žena	21
7	žena	30	26	žena	21
8	žena	17	27	muž	42
9	žena	16	28	žena	28
10	žena	16	29	žena	24
11	muž	36	30	muž	25
12	žena	22	31	muž	33
13	muž	24	32	muž	38
14	žena	24	33	žena	30
15	muž	35	34	žena	23
16	žena	29	35	žena	34
17	muž	17	36	muž	24
18	žena	20	37	žena	24
19	žena	25	38	žena	22

Tab.4: Přehled měřených subjektů podle pohlaví a věku

4.2. Přístroje

Mikrofon

K měření byl použit hlavový všesměrový elektretový mikrofon značky DPA, typ 4066 (Obr.7). Jde o mikrofon, který lze velmi lehce a přitom stabilně připevnit na hlavu měřené osoby a nedochází tak ke změně vzdálenosti mikrofonu od úst ačkoli se subjekt pohybuje. Mikrofon je schopen zaznamenat až 144 dB(A), jeho dynamický rozsah je 97 dB, hladina jeho vlastního šumu je 26 dB a frekvenční rozsah je 20 Hz – 20 kHz. Frekvenční charakteristika tohoto mikrofonu je rovná okolo 0 dB v oblasti 50 Hz – 4 kHz. Tyto parametry vyhovují požadavkům na mikrofony pro měření hlasu (Švec & Granqvist 2010 a www.dpamicrophones.com)



Obr.7: Hlavový mikrofon značky DPA. Převzato z www.dpamicrophones.com.

Zvukoměr

Byl použit zvukoměr značky Brüel and Kjaer, typ 2238 Mediator (Obr.8). Tento zvukoměr je schopen měřit frekvenční rozsah 20 Hz – 12,5 kHz a dynamický rozsah má 80 dB (www.bksv.com). Součástí tohoto zvukoměru je kondenzátorový mikrofon, který splňuje kritéria pro laboratorní mikrofony typu LS1. Tento mikrofon byl použit simultánně s hlavovým mikrofonem pro snímání hlasu.

Obr.8 : Zvukoměr značky B&K. Převzato z www.bksv.com



Kalibrátor

Byl použit kalibrátor značky Brüel and Kjaer, typ 4231 (Obr.9). Kalibrátor vydává čistý sinusový tón na frekvenci 1000 Hz o SPL 94 dB nebo 114 dB (www.bksv.com). Pro kalibraci byl použit tón s hladinou zvuku 94 dB.



Obr.9: Kalibrátor značky B&K a jeho použití (nasazení na zvukoměr). Převzato z www.bksv.com.

Předzesilovač

Pro hlavový mikrofon byl použit předzesilovač značky DPA, typ MMA 6000 (Obr.10). Tento předzesilovač má dva nezávislé identické kanály s odděleným ovládáním zesílení. Vstupy kanálů jsou opatřeny konektory Microdot a poskytují také napájení pro připojený mikrofon (www.dpamicrophones.com).



Obr.10: Předzesilovač značky DPA. Převzato z www.dpamicrophones.com

Rekordér

Byl použit digitální rekordér značky M-Audio, typ Microtrack II. (Obr.11). Vstupy kanálů jsou opatřeny konektory 1/4" TRS. Rekordér poskytuje řadu individuálních nastavení, například vzorkovací frekvence, rozlišení, omezovač nebo výběr formátu nahrávaných dat : WAV, MP3 a BWF (www.m-audio.com).



Obr.11: Rekordér značky M-Audio. Převzato z www.m-audio.com.

4.3. Software

Multi-Speech

Pro zpracování záznamů fonací byl použit program Multi-Speech model 3700, verze 3.2.0., firmy KayPENTAX, USA (<http://www.kayelemetrics.com>).

Matlab

Pro matematické výpočty, filtrování záznamů a statistickou analýzu dat byl použit program Matlab 7.0.1., MathWorks (<http://www.mathworks.com/>).

4.4. Postup měření

Nastavení přístrojů

Zvukoměr - rozsah : 60 – 140 dB

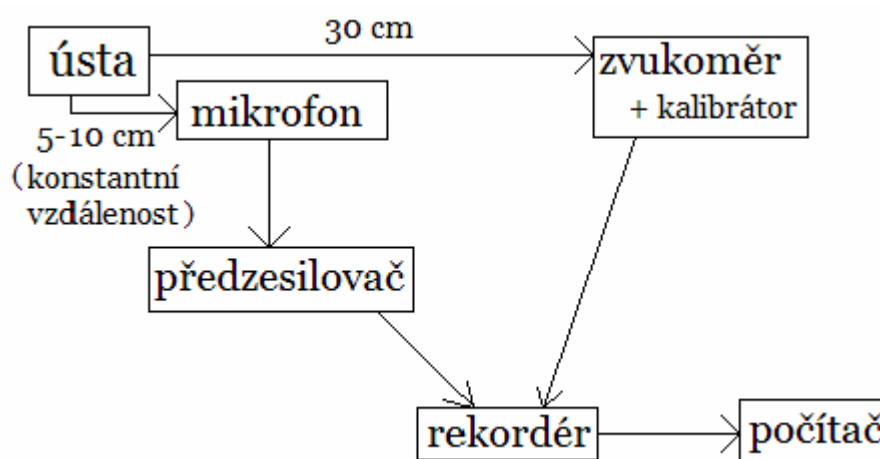
- váhové filtry : širokopásmový/rychlý, filtr C
- lineární výstup AC = střídavý

Předzesilovač - levý kanál (vstup hlavového mikrofonu) : zesílení 15 dB

Rekordér - konektory : 1/4" TRS

- input monitor : on
- encoder : formát wav (bez komprimace)
- vzorkovací frekvence : 48 kHz
- rozlišení : 24 bitů
- kanál : stereo
- omezovač : vypnutý
- kanál R (zvukoměr) – zesílení (citlivost) 3
 - nastaveno tak, aby nedošlo k přebuzení signálu při nejhlasitější fonaci.
- L (hlavový mikrofon) – zesílení (citlivost) 1
 - nastaveno tak, aby byl signál dostatečně silný, ale šum nebyl příliš velký.

Výstup z mikrofonu byl zapojen do předzesilovače. Výstup z předzesilovače a ze zvukoměru pak byly připojeny k digitálnímu rekordéru. Data zaznamenaná rekordérem pak byla přes USB kabel převedena do počítače a zde zpracována (Obr.12).



Obr.12: Schéma zapojení přístrojů a důležité vzdálenosti.

Metoda měření

Před konkrétním měřením byli všichni požádáni o vyplnění dotazníku VHI (viz 2.4.). Poté byl připevněn hlavový mikrofon a předzesilovač a subjekt byl vyzván k dodržení vzdálenosti 30 cm od zvukoměru. To bylo v průběhu měření pečlivě kontrolováno. Po spuštění záznamu byl postup následující :

1. vyslovení jména a příjmení vyšetřovaného a datum měření
2. dvoufázová kalibrace obou mikrofonů
3. samohláska /a/ na pohodlné výšce tónu
4. počítání od 11 do 20
5. čtení úryvku „Podzim na Starém Bělidle“
6. co nejdelší fonace na samohlásku /a/, pohodlná výška tónu
7. co nejnižší fonace na samohlásku /a/, pohodlná výška tónu
8. co nejnižší tón na samohlásku /a/
9. co nejvyšší tón na samohlásku /a/
10. co nejhlasitější fonace – zvolání Hej!, Hou! a Haló!

Záznamy bodů 3, 4 a 5 jsou určeny k vyhodnocení SPL přirozené fonace, záznam bodu 6 pro zjištění nejdelší fonace, související s kapacitou plic subjektů. Záznamy bodů 8 a 9 pak pro vyhodnocení nejnižší a nejvyšší frekvence fonace. Zjištěné hodnoty jsou k dispozici, ale jejich vyhodnocení se přímo nevztahuje k cílům této práce a proto dále nebudou uváděny.

4.5. Vyhodnocení pomocí programů Multi-Speech a Matlab

4.5.1. Dvofázová kalibrace

Pro kalibraci hladin akustického tlaku snímaných hlavovým mikrofonem a mikrofonem zvukoměru byla použita tzv. „dvoustupňová kalibrace“ popsaná v práci Švec, Popolo and Titze (2003).

Použitím hlavového mikrofonu lze dosáhnout výrazného snížení hladiny šumu na rozdíl od měření pouze zvukoměrem, a to díky možnosti jeho upevnění v menší vzdálenosti od úst. Aby byla zajištěna přesná SPL kalibrace hlavového mikrofonu je nutné, aby tento mikrofon měl co nejrovnější frekvenční odezvu a to především v oblasti 70 – 5000 Hz (Švec, Popolo and Titze, 2003). Dvoustupňová kalibrace pak předpokládá, že vzdálenost hlavového mikrofonu od úst je po dobu měření daného experimentálního subjektu konstantní (Obr.12, 4.4.).

Princip dvoustupňové kalibrace byl následující: zvukoměr byl umístěn na stojanu ve standardní vzdálenosti 30 cm od úst a hlavový mikrofon byl umístěn ve vzdálenosti 5-10 cm od úst (změření přesné vzdálenosti není v případě dvoustupňové kalibrace nutné, je ale nutné aby vzdálenost mikrofonu od úst byla v průběhu celého měření konstantní). Po spuštění nahrávacího zařízení byl na zvukoměr po dobu několika sekund přiložen kalibrátor vydávající zvuk s hladinou akustického tlaku 94 dB (první fáze). Poté subjekt fonoval samohlásku /a/, na přirozené výšce tónu s pohodlnou, přibližně konstantní hlasitostí (druhá fáze). Záznam těchto zvuků byl použit pro:

- a) nalezení kalibračního faktoru (c_2) pro signál mikrofonu zvukoměru;
- b) nalezení kalibračního faktoru (c_1) pro signál hlavového mikrofonu, tak aby tento signál měl během fonace stejné hodnoty akustického tlaku p jako zkalibrovaný signál mikrofonu zvukoměru. SPL hlavového mikrofonu tak odpovídá SPL, které jsou ve vzdálenosti zvukoměru (t.j. 30 cm). Znalost přesné vzdálenosti hlavového mikrofonu tak není nutná, neboť díky kalibraci jsou všechny hodnoty akustického tlaku počítány jako by byly měřeny ve vzdálenosti 30 cm.

Pro kalibraci byly v programu Multi-Speech vystřiženy z celkového záznamu měření dvě části. Část se záznamem kalibračního signálu z kalibrátoru a to na kanálu 2 (tedy kanálu zvukoměru) a část se záznamem samohlásky /a/ v pohodlné výšce tónu a to v obou kanálech (zvukoměr - kanál 2 i mikrofon – kanál 1).

Výpočet faktorů c1 a c2

Nejprve byla ze záznamu signálu kalibrátoru na kanálu 2 vypočtena hodnota rms podle (4). Hodnota faktoru c2 pak byla dopočítána z rovnice :

$$L_r = 20 \cdot \log (c_2 \cdot \text{rms}) , \quad (10)$$

kde L_r je rovno kalibrační hodnotě 94 dB.

Poté byla vypočtena hodnota rms1 ze záznamu samohlásky /a/ z kanálu 1 a hodnota rms2 z téhož záznamu, ale z kanálu 2, což umožnilo výpočet hodnoty faktoru c1 podle rovnice:

$$c_1 = c_2 \cdot \text{rms}_2 / \text{rms}_1 . \quad (11)$$

(Švec, Popolo and Titze, 2003). Tyto hodnoty faktorů pak byly použity pro výpočet nejtíší a nejhlasitější fonace.

Pro výpočet faktorů c1 a c2 byl použit program Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce3).

4.5.2. Nejhlasitější fonace

Pro určení hodnot nejhlasitější fonace byla nejprve v programu Multi-Speech vystřižena část se záznamem nejhlasitější fonace (Obr.13). Z kalibrace byla použita zjištěná hodnota faktoru c2 a dále byla v programu Matlab vypočtena funkce h :

$$h = \max |y| , \quad (12)$$

kde y je původní signál.

Pro přepočet původního zaznamenaného signálu na tlak byla použita rovnice :

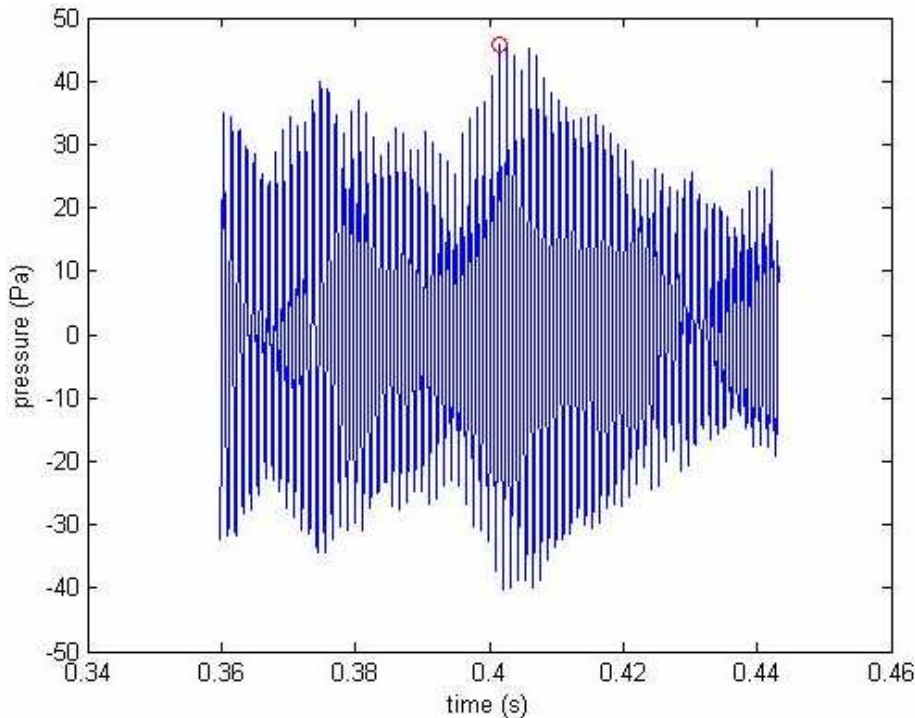
$$p = y \cdot p_{\text{ref}} \cdot c_2 , \quad (13)$$

kde p_{ref} je referenční akustický tlak a faktor c2 odpovídá předem vypočtené kalibrační konstantě pro signál mikrofону zvukoměru.

Dále pak byla pomocí funkce h vypočtena špičková hodnota SPL L_p (dB) podle rovnice :

$$L_p = 20 \cdot \log (c_2 \cdot h) . \quad (14)$$

Pro výpočet funkce h a hodnoty L_p byl použit program Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce4).



Obr.13: Graf závislosti akustického tlaku p (Pa) na čase t (s). Červený kroužek vyznačuje polohu maximálního akustického tlaku [přepočtením podle rovnice (1), či (14) pak lze obdržet hodnotu L_p].

4.5.3. Šum

Je-li šum místnosti příliš silný, t.j., je-li odstup signálu od šumu méně než 15 dB, může dojít ke zkreslení měření (Švec & Granqvist, 2010). Je-li však energie šumu koncentrována na jiných frekvencích než energie vlastního signálu, je možno hladinu šumu snížit vhodnou filtrací. Pro zjištění hladin šumu byla pomocí programu Multi-Speech vystřížena část se záznamem na kterém byl pouze šum místnosti. Z kalibrace byly použity zjištěné hodnoty faktorů c_1 a c_2 a v programu Matlab byly vypočteny hodnoty rms_1 a rms_2 pro kanály záznamu šumu. Z těchto hodnot pak byly vypočteny časově průměrované SPL (L) pro oba kanály dle rovnic :

$$L_1 = 20 \cdot \log (c_1 \cdot rms_1) \quad \text{a} \quad (15)$$

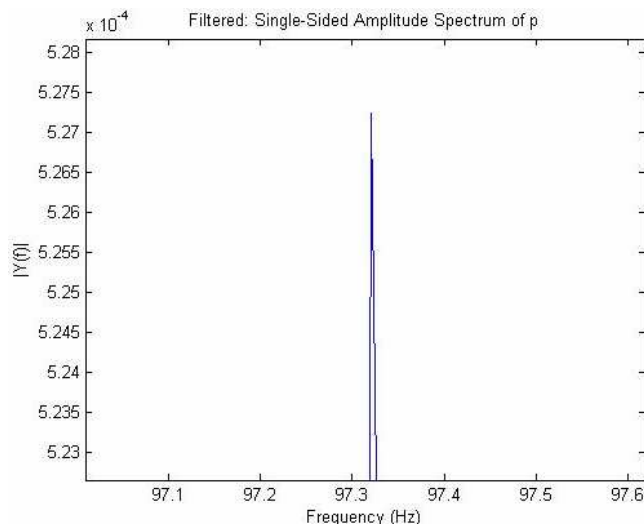
$$L_2 = 20 \cdot \log (c_2 \cdot rms_2) . \quad (16)$$

Pomocí programu Matlab byl aplikován filtr (viz dále), tyto hodnoty byly poté znovu zjištěny pro oba kanály a porovnány s hladinami nejnižších fonací každého měřeného subjektu.

Pro zjištění SPL původního a filtrovaného šumu byl použit program Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce5).

4.5.4. Určení základní frekvence (F_0) nejnižší fonace

Základní frekvence hlasu F_0 je fonace, odpovídající frekvenci kmitání hlasivek. Podle Sultera (1995) je pro ženy průměrná hodnota cca 220 Hz a pro muže 123 Hz. V tomto případě je důležité zjištění základní frekvence nejnižší fonace pro nastavení parametrů filtru S (viz dále). Tato frekvence (Obr.14) byla zjištěna pomocí programu Matlab a nebo ji lze odečíst přímo z grafu (např. Obr.16).

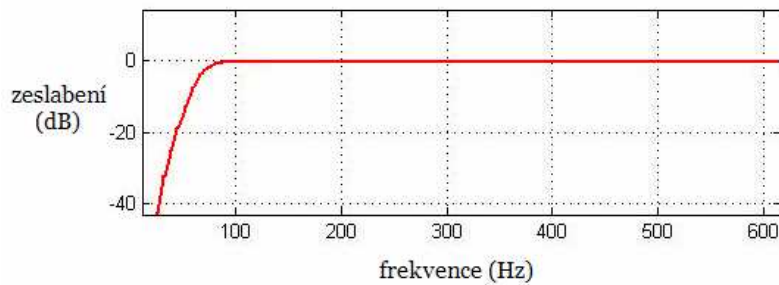


Obr.14: Část grafu závislosti původního signálu nejnižší fonace na frekvenci z Obr.16. Modrý vrchol představuje fonaci v nejnižší zjištěné základní frekvenci cca 97 Hz.

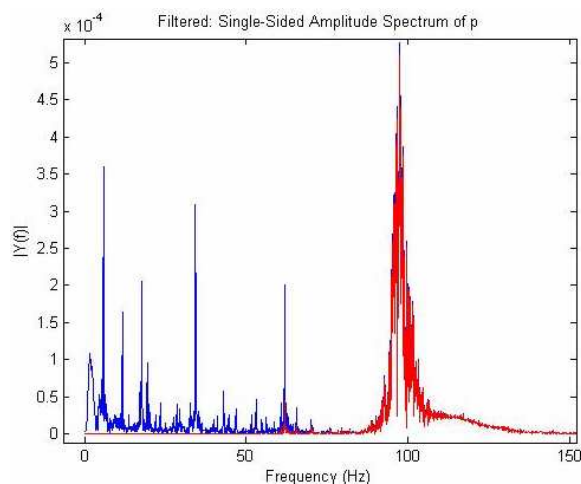
4.5.5. Filtrace

Filtr S

K filtraci šumu byl kromě váhových filtrů A nebo C použit i hornofrekvenční filtr „butterworth“, tedy filtr který je maximálně rovný v pásmu ponechaných frekvencí (nedochází zde k žádnému zeslabení). Tento filtr byl speciálně pro tento případ napsán v programu Matlab a parametry byly nastaveny tak, aby nedošlo k odfiltrování nejnižší fonované frekvence ale pouze nízkofrekvenčního šumu. Lze tedy zadat tzv. zlomovou (angl. „cutoff“) frekvenci hornopropustného filtru, pod níž je již pouze šum. Na této frekvenci dojde k zeslabení signálu okolo 3 dB a u vyšších frekvencí se toto zeslabení již pouze snižuje (Obr.15). Zeslabení základní frekvence fonace F_0 by přitom mělo být co nejmenší a nemělo by přesáhnout 1 dB. Dalším důležitým parametrem je řád filtru, který nastavuje sklon jeho „hrany“ (Butterworth 1930 a Matlab help).



Obr.15: Frekvenční odezva filtru S. Z grafu je zřejmé, že filtr zeslabuje frekvence exponenciálně dle nastavených parametrů : zlomová frekvence = 70 Hz a řád filtru = 5.



Obr.16: Graf závislosti původního signálu nejnižší fonace na frekvenci. Modře je značen původní signál a červeně pak přefiltrovaný filtrem S s parametry popsány u Obr.15. Základní frekvence F_0 nejnižší fonace je v tomto případě 97 Hz, tedy pod zlomovou frekvencí 70 Hz je jistě již pouze šum.

Filtrace

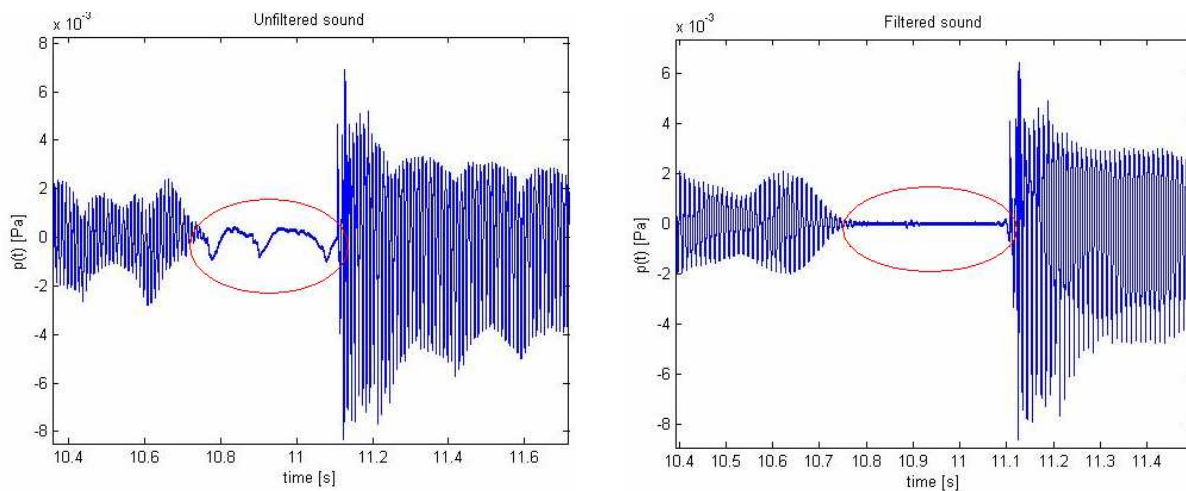
Pro filtrování šumu byly použity filtry S, A, C, Z nebo jejich kombinace v programu Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce6).

Pro filtraci typu A byl použit předdefinovaný filtr A ze souboru adsgn v programu Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce7) (Couvreur 1997).

Pro filtraci typu C byl použit předdefinovaný filtr C ze souboru cdsn v programu Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce8) (Couvreur 1997).

4.5.6. Vyhodnocení nejtíší fonace

Nejprve byla pomocí programu Multi-Speech vystřížena část se záznamem s nejtíší fonací. Jelikož při nahrávání nelze zabránit přechodu fonace v šepot, kdy se hlas téměř nebo úplně ztrácí a nahrává se po určitou dobu pouze šum, musely být záznamy s nejtíší fonací nejprve upraveny. To bylo v tomto experimentu provedeno tak, že záznamy byly přefiltrovány filtry S, A nebo C (postupy viz 4.5.5.), což jasně zviditelnilo ztráty fonace (Obr.17). Tyto části pak byly vystříženy tak, aby v nahrávce zůstaly pouze části znělého hlasu, a takto upravené soubory byly poté použity pro zjištění SPL nejtíších fonací.



Obr.17: Části grafů závislosti akustického tlaku p (Pa) na čase t (s) nejtíší fonace. Vlevo nefiltrovaná část, vpravo tatáž část filtrovaná s jasně rozpoznatelným přechodem v šum.

Pro filtraci S, A, C nebo Z a výpočet $L(t)$ ze záznamu filtrovaného filtrem S, A nebo C byla použita zjištěná hodnota faktoru c_1 a použit program Matlab (viz Příloha 2 – m-funkce9)

5. VÝSLEDKY

5.1. Vyhodnocení dotazníku VHI

Výsledky vyhodnocení dotazníku VHI jsou uvedeny v Tab. 5. a Tab.6.

Ženy						Muži					
č.s.	Aktuální potíže	P hod	F hod	E hod	c.h.	č.s.	Aktuální potíže	P hod	F hod	E hod	c.h.
4	žádné	0	0	0	0	32	žádné	0	0	0	0
33	žádné	2	0	0	2	11	žádné	2	1	0	3
14	žádné	3	0	0	3	13	žádné	3	0	1	4
29	žádné	1	2	1	4	15	žádné	5	1	0	6
9	žádné	4	1	1	6	21	žádné	3	3	0	6
37	žádné	2	3	1	6	30	žádné	3	2	1	6
20	žádné	3	2	3	8	36	žádné	4	0	3	7
23	žádné	6	3	0	9	6	žádné	5	3	0	8
1	žádné	3	5	2	10	17	žádné	2	3	3	8
10	žádné	6	2	2	10	24	žádné	5	2	2	9
3	žádné	10	1	2	13	5	žádné	8	4	3	15
12	žádné	6	3	6	15	22	žádné	10	6	14	30
19	žádné	14	5	2	21	27	mírné	12	6	10	28
26	žádné	12	4	5	21	31	střední	18	8	1	27
28	žádné	10	7	5	22						
2	žádné	9	10	5	24						
38	mírné	5	2	0	7						
25	mírné	3	7	1	11						
35	mírné	13	5	0	18						
8	mírné	8	3	9	20						
18	mírné	2	13	9	24						
16	mírné	18	7	1	26						
34	mírné	15	9	14	38						
7	mírné	19	16	18	53						

Tab.5: Subjektivní hodnocení aktuálních potíží měřených žen a mužů. Č.s. je číslo měřeného subjektu a c.h. je celková hodnota VHI.

	Ženy				Muži			
	P hod	F hod	E hod	c.h.	P hod	F hod	E hod	c.h.
průměr	7,25	4,58	3,63	15,46	5,71	2,79	2,71	11,21
SD	5,52	4,14	4,70	12,24	4,81	2,49	4,18	9,88

Tab.6: Průměrné hodnoty a jejich standardní odchylky pro subjektivní hodnocení aktuálních potíží měřených žen a mužů. C.h. je celková hodnota VHI.

Dotazník VHI je vyhodnocován podle Tab.3 v kapitole 2.4, podle Jacobson a kol. (1997), převzato z Švec a kol. (2009). Průměrné celkové hodnoty jsou uvedeny jako počet bodů a v závorce jejich standardní odchylky.

1. Aktuální potíže : žádné : 28 z 38 osob (16 žen, 12 mužů)
 mírné : 9 (8 žen, 1 muž)
 střední : 1 (1 muž)
2. P hodnota : průměrně : 6,68 (5,26) bodů = žádné potíže
 žádné potíže (0 – 8 bodů) : 26 z 38 osob (15 žen, 11 mužů)
 mírné potíže (9 – 11) : 4 (3 ženy, 1 muž)
 střední potíže (12 – 15) : 5 (4 ženy, 1 muž)
 těžké potíže (16 – 19) : 3 (2 ženy, 1 muž)
2. F hodnota : průměrně : 3,92 body (3,69) = žádné potíže
 žádné potíže (0 – 12) : 36 z 38 osob (22 žen, 14 mužů)
 mírné potíže (13 – 17) : 2 (2 ženy)
 střední potíže (18 – 20) : 0
 těžké potíže (21 – 23) : 0
3. E hodnota : průměrně : 3,29 body (4,48) = žádné potíže
 žádné potíže (0 – 5) : 31 z 38 osob (19 žen, 12 mužů)
 mírné potíže (6 – 10) : 4 (3 ženy, 1 muž)
 střední potíže (11 – 16) : 2 (1 žena, 1 muž)
 těžké potíže (17 – 21) : 1 (1 žena)
4. Celková hodnota : průměrně : 13,89 bodů (11,48) = žádné potíže
 žádné potíže (0 – 26) : 33 z 38 osob (22 žen, 11 mužů)
 mírné potíže (27 – 39) : 4 (1 žena, 3 muži)
 střední potíže (40 – 52) : 0
 těžké potíže (53 – 62) : 1 (1 žena)

Podle Švece a kol. (2009) celková hodnota VHI do 8,76 (14,97) odpovídá zdravému normálnímu hlasu. Počty osob odpovídající podle výše uvedené hodnoty souboru osob s normálním hlasem jsou uvedeny v Tab.7.

	8,76	+ 1SD	+ 2SD	+ 3SD
celkem	17	30	37	38
žen	8	19	23	24
mužů	9	11	14	14

Tab.7: Tabulka uvádí počty osob (z celkového počtu 38, t.j. 24 žen a 14 mužů), které odpovídají hodnotě 8,76 a jejím standardním odchylkám, tedy splňují předpoklad pro osoby se zdravým normálním hlasem.

5.2. Nejhlasiťjší fonace Lp

Nejhlasiťjší fonace byla v programu Matlab vypočtena jako špičková hladina akustického tlaku v jednotkách decibel. Tuto hodnotu lze přepočítat na špičkový akustický tlak v jednotkách pascal a to podle rovnice (1). Přehled výsledků je uveden v Tab.8 a Tab.9.

Ženy			Muži		
č.s.	Lp (dB)	p (Pa)	č.s.	Lp (dB)	p (Pa)
26	103	3,0	24	116	12,6
9	110	6,6	31	116	12,6
20	111	7,1	30	117	14,9
19	113	8,7	22	118	15,9
25	113	8,7	21	118	16,3
35	113	9,4	5	120	20,5
2	115	11,9	27	120	20,9
23	115	11,9	32	123	28,6
16	116	12,7	17	124	32,6
29	116	13,2	13	124	32,8
14	117	13,4	36	125	35,4
7	117	13,7	11	126	39,4
34	117	13,9	6	126	41,6
38	117	14,0	15	127	45,8
3	118	15,3			
37	118	15,6			
18	118	16,5			
8	119	18,4			
4	119	18,7			
28	120	19,1			
1	120	21,2			
33	121	21,9			
10	123	27,1			
12	125	36,6			

Tab.8: Vypočtené špičkové hodnoty nehlasiťjší fonace v jednotkách dB a Pa ve vzdálenosti 30 cm od úst zvlášť pro ženy a muže. Č.s. je označení čísla měřeného subjektu. Červeně je vyznačena hodnota nejhlasiťjší naměřené fonace v decibelech a v pascalech.

	Ženy		Muži	
	Lp (dB)	p _p (Pa)	Lp (dB)	p _p (Pa)
průměr	116	14,9	121	26,4
SD	5	7,1	4	11,5

Tab.9: Průměrné hodnoty špičkových nehlasiťjších fonací v jednotkách dB a Pa ve vzdálenosti 30 cm od úst a jejich standardní odchylky pro ženy a pro muže.

Aplikací JB testu normality na naměřené hodnoty SPL v jednotkách dB u žen bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané nejhlasiťjší fonace L_p mají hodnoty : $h = 0$ a $p = 0,1281$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

Aplikací JB testu normality na naměřené hodnoty SPL v jednotkách dB u mužů bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané nejhlasiťjší fonace L_p mají hodnoty : $h = 0$ a $p = 0,4132$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

Aplikací JB testu normality na celkové naměřené hodnoty SPL v jednotkách dB bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané nejhlasiťjší fonace L_p mají hodnoty : $h = 0$ a $p = 0,3136$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

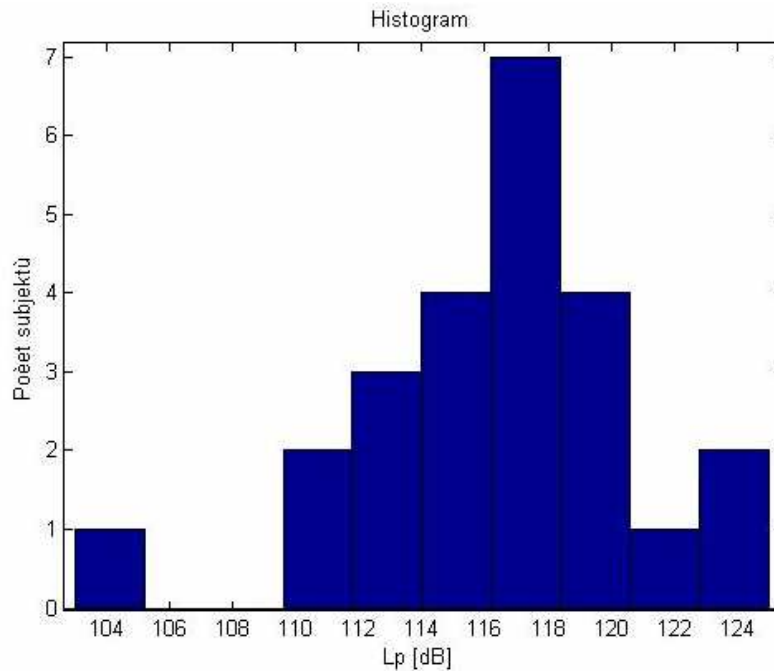
Aplikací JB testu na naměřené hodnoty akustického tlaku v jednotkách Pa podle m-funkce1 (Příloha 2) byly zjištěny hodnoty $h = 0$ a $p = 0,0664$. Lze tedy říci, že hodnota p se blíží hranici zamítnutí hypotézy (předpokládáme-li kritérium zamítnutí na hodnotě $p = 0,05$). V důsledku toho je možné usuzovat, že hodnoty špičkového akustického tlaku p_p jsou podle kap. 2.5.2. spíše logaritmicko-normálního rozdělení.

Pomocí programu Matlab byly vypočteny hodnoty standardních odchylek SD (viz kapitola 2.5.3.). Střední hodnoty L_p a hodnoty extrémní vypočítané pomocí jedné, dvou a tří standardních odchylek jsou uvedeny v Tab.10.

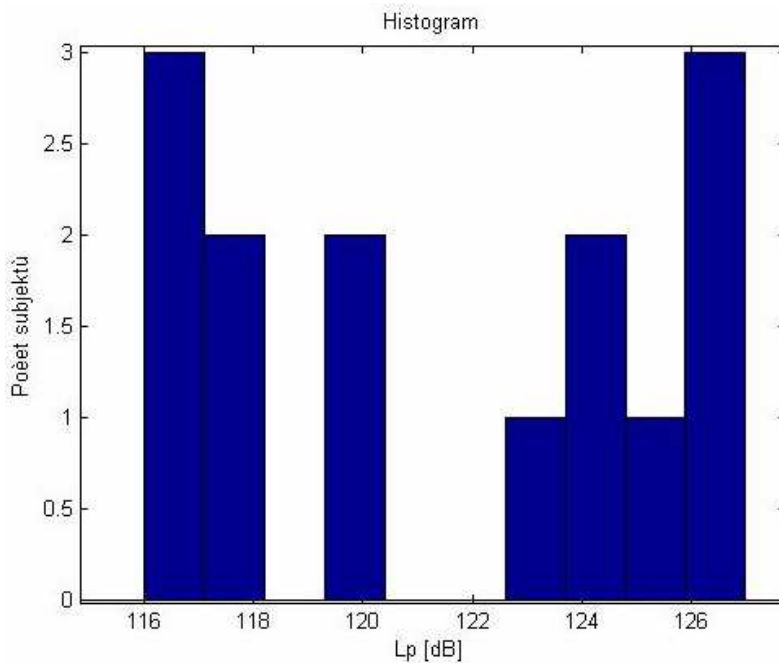
	L_p střední (SD)	$L_p + 1SD$	$L_p + 2SD$	$L_p + 3SD$
celková	118 (5)	123	128	133
ženy	116 (5)	121	126	131
muži	121 (4)	125	129	133

Tab.10: Vypočtené střední a extrémní špičkové hodnoty nejhlasiťjší fonace v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst pro ženy, pro muže a hodnoty celkové. Červeně jsou označeny nejhlasiťjší vypočítané hodnoty SPL.

Dále byly pomocí programu Matlab vytvořeny histogramy (rozdělení naměřených dat) zvlášť pro ženy a pro muže uvedené na Obr.18 a Obr.19. Pomocí těchto histogramů si lze udělat představu o tom, zda jsou naměřená data normálního rozdělení, tedy jestli se podobá jejich rozdělení křivce hustoty pravděpodobnosti na Obr.4 v 2.5.1. nebo Obr.6 v 2.5.3.



Obr.18: Histogram nejhlasitějších fonací Lp (dB) žen.



Obr.19: Histogram nejhlasitějších fonací Lp (dB) mužů.

5.3. Základní frekvence (F_0) nejtišší fonace

Přehled výsledků základních frekvencí pro nejtišší fonace pro ženy a pro muže jsou uvedeny v Tab.11 a Tab.12.

Ženy		Muži	
č.s.	F_0 (Hz)	č.s.	F_0 (Hz)
33	201	15	97
18	215	13	98
1	219	27	99
2	227	11	107
37	229	17	107
38	237	30	127
26	240	32	130
34	242	31	133
23	245	36	143
19	250	24	145
14	252	22	149
20	256	6	154
29	263	5	157
12	265	21	157
10	270		
7	271		
35	271		
3	273		
28	277		
8	298		
25	302		
16	314		
9	315		
4	338		

Tab.11: Hodnoty F_0 v jednotkách Hz (vyčtené z grafů) nejtišší fonace pro ženy a pro muže. Č.s. je označení čísla měřeného subjektu. Červeně je vyznačena minimální hodnota F_0 důležitá pro stanovení parametrů filtru S.

Zlomová frekvence filtru S (viz. 4.5.5.) byla podle podmínky o maximálním zeslabení základní frekvence o 1 dB, stanovena na 70 Hz. Při takto zvolené zlomové frekvenci zeslabuje filtr S nejnižší základní frekvenci 97 dB o pouhých 0,2 dB.

	Ženy	Muži
	F₀ (Hz)	F₀ (Hz)
průměr	261	129
SD	34	23

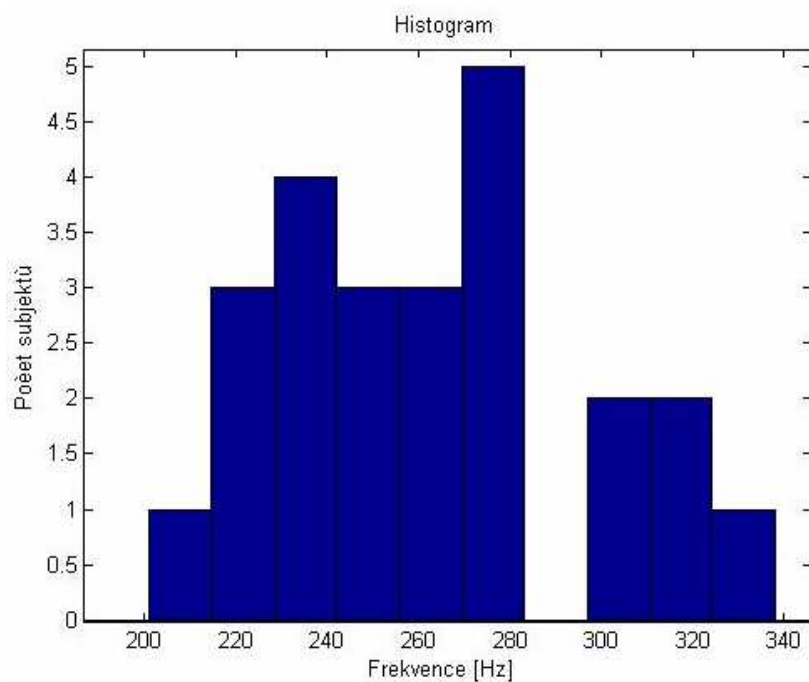
Tab.12: Průměrné hodnoty F_0 v jednotkách Hz pro muže a pro ženy a jejich standardní odchylky.

Aplikací JB testu normality na naměřené hodnoty základních frekvencí u žen bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané F_0 mají hodnoty $h = 0$ a $p = 0,6239$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

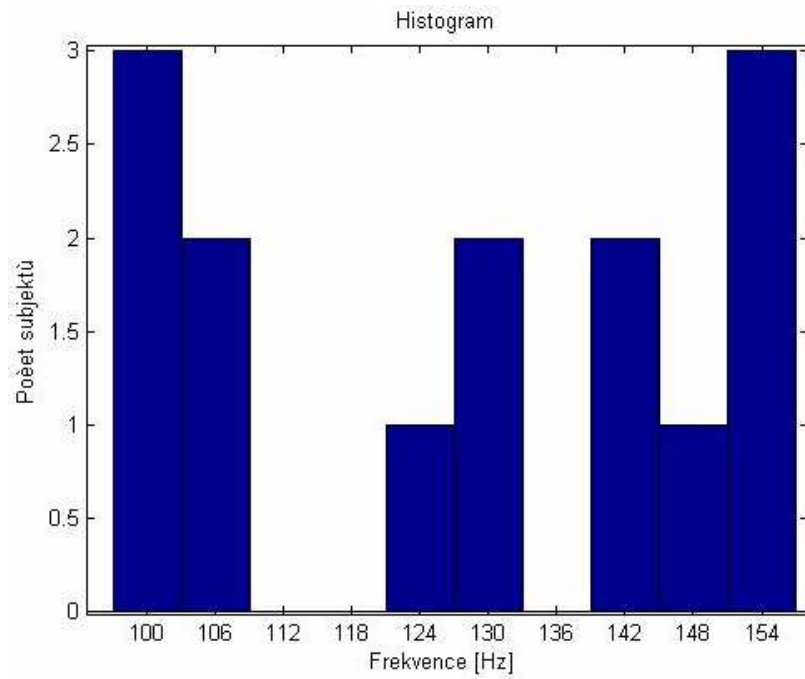
Aplikací JB testu normality na naměřené hodnoty základních frekvencí u mužů bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané F_0 mají hodnoty : $h = 0$ a $p = 0,4083$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

Aplikací JB testu normality na celkové naměřené hodnoty základních frekvencí bylo v programu Matlab zjištěno, že vypočítané F_0 mají hodnoty : $h = 0$ a $p = 0,2202$. To znamená, že hypotézu o normálním rozdělení těchto dat nelze zamítnout.

Dále byly pomocí programu Matlab vytvořeny histogramy (rozdělení naměřených dat) zvlášť pro ženy a pro muže uvedené na Obr.20 a Obr.21.



Obr.20: Histogram základních frekvencí F_0 žen.



Obr.21: Histogram základních frekvencí F_0 mužů.

5.4. Šum

Přehled výsledků SPL šumu pro měřené subjekty jsou uvedeny v Tab.13 a Tab.14.

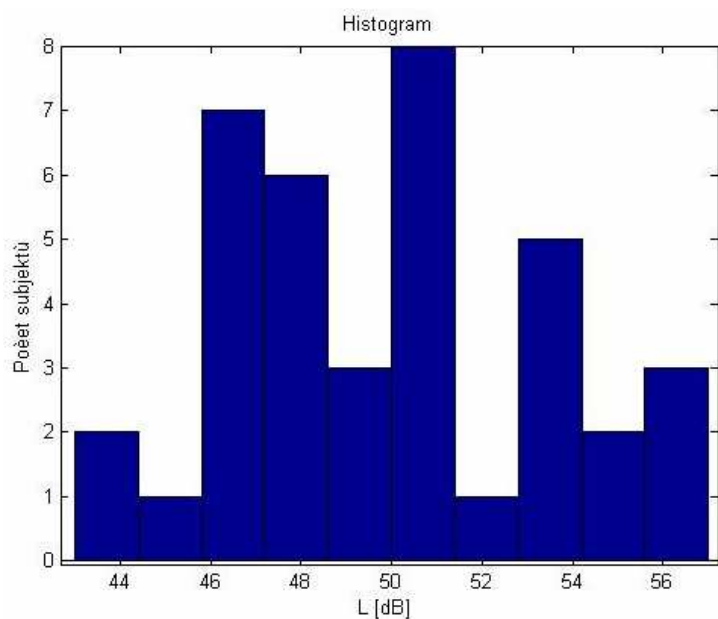
č.s.	originál		S		A		C		SA		AS		SC		CS	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
29	43	59	26	51	22	41	31	55	22	41	22	41	25	50	25	50
32	44	60	27	51	25	42	33	55	25	42	25	42	27	50	27	50
25	45	60	25	51	20	42	32	55	20	41	20	41	24	50	24	50
30	46	60	24	51	18	41	33	55	18	41	18	41	23	49	23	49
24	46	60	25	50	20	41	33	55	20	41	20	41	23	49	23	49
33	47	60	27	51	24	42	34	56	24	42	24	42	26	50	27	50
27	47	60	26	51	24	42	34	55	24	42	24	42	25	50	25	50
31	47	60	24	51	19	42	33	56	19	41	19	41	23	50	23	50
36	47	60	27	51	22	42	35	55	21	42	22	42	26	50	26	50
34	47	60	27	50	22	41	35	54	21	41	22	41	26	48	26	48
37	48	60	25	50	20	41	34	55	20	41	20	41	23	49	23	49
35	48	60	25	51	20	42	34	56	20	41	20	42	24	50	24	50
21	48	66	25	51	16	41	39	59	15	41	16	41	24	50	24	50
3	48	63	29	51	23	42	43	59	22	41	22	41	28	50	28	50
38	48	59	27	51	22	42	36	55	20	41	22	41	26	50	27	50
13	48	63	31	52	26	43	42	59	26	43	26	43	30	51	30	51
5	49	67	26	51	19	41	40	59	19	41	19	41	26	50	26	50
28	49	60	29	51	26	42	36	56	26	42	26	42	28	50	28	50
10	50	62	33	52	23	42	46	59	22	41	22	42	32	51	32	51
20	51	63	31	51	22	41	46	59	20	41	21	41	30	50	30	50
1	51	62	32	51	24	42	45	59	23	41	24	41	32	50	32	50
14	51	62	32	52	24	42	46	59	24	42	24	42	32	52	32	52
8	51	63	32	51	24	42	46	59	23	41	23	41	31	51	31	51
26	51	60	30	51	24	41	38	56	24	41	24	41	29	50	29	50
15	51	63	35	52	25	42	45	59	24	42	24	42	34	51	34	51
23	51	63	33	51	25	41	47	59	24	41	25	41	33	50	33	50
4	51	63	33	51	25	42	46	59	24	41	24	42	32	50	32	50
9	52	62	34	52	24	42	48	60	23	41	23	41	33	51	33	51
19	53	66	29	51	22	41	44	59	22	41	22	41	28	50	28	50
22	53	67	32	51	27	42	46	61	27	42	27	42	31	50	32	51
11	53	66	30	51	23	41	46	60	22	41	22	41	29	50	29	50
17	54	67	31	51	23	41	47	61	23	41	23	41	30	50	30	50
16	54	66	32	51	26	41	47	60	25	41	25	41	32	51	32	51
6	55	67	33	51	28	42	48	61	28	42	28	42	33	50	33	50
12	55	65	33	51	28	42	48	60	27	41	28	41	33	51	33	51
18	56	66	34	51	28	42	49	60	28	41	28	41	33	51	33	51
2	57	66	34	52	27	44	47	60	27	44	27	44	33	51	33	51
7	57	66	35	51	29	42	50	60	28	42	28	42	35	50	35	50

Tab.13: Vypočítané časově průměrované SPL šumu v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst, kanál 1 – L1 (hlavový mikrofon) a kanál 2 – L2 (zvukoměr). Hodnoty vlevo označené „originál“ jsou SPL ze záznamu šumu, ostatní hodnoty jsou SPL šumu filtrovaných záznamů filtry S, A, C nebo jejich kombinací. Č.s. je označení čísla měřeného subjektu. Červeně jsou vyznačeny nejvyšší a nejnižší hodnoty SPL filtrovaného šumu.

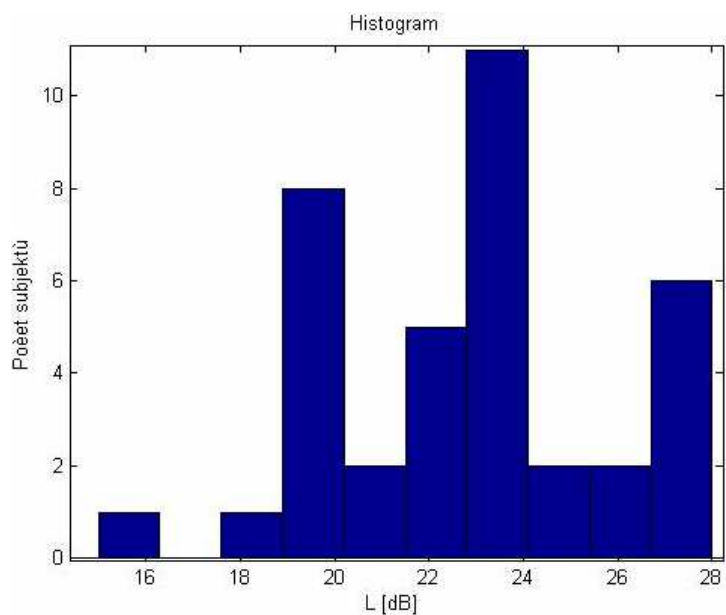
	originál		S		A		C		SA		AS		SC		CS	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
pr	50	63	30	51	23	42	41	58	23	41	23	41	29	50	29	50
SD	4	3	3	0	3	1	6	2	3	1	3	1	4	1	4	1

Tab.14: Průměrné hodnoty SPL šumu v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst filtrované přes filtr S, A, C nebo jejich kombinace a jejich standardní odchylky. Zkratka „pr“ označuje průměrnou hodnotu.

Dále byly pomocí programu Matlab vytvořeny histogramy (rozdělení naměřených dat) zvlášť pro ženy a pro muže uvedené na Obr.22 a Obr.23.



Obr.22: Histogram SPL (dB) originálního šumu na kanálu 1.



Obr. 23: Příklad histogramu SPL (dB) šumu na kanálu 1 filtrovaného kombinací filtrů S a A.

5.5. Nejtišší fonace L(t)

Přehled výsledků nejtišších fonací pro ženy a pro muže jsou uvedeny v Tab.15 a Tab.16.

Ženy								Muži							
č.s.	S	A	C	SA	AS	SC	CS	č.s.	S	A	C	SA	AS	SC	CS
28	47	40	47	40	40	47	47	21	45	33	47	32	33	45	46
38	48	39	48	39	39	48	48	5	46	39	47	34	39	46	46
14	49	43	50	43	43	49	49	32	46	32	40	32	32	46	40
34	49	40	49	40	40	49	49	31	48	33	48	33	33	48	48
33	49	39	49	39	39	49	49	27	49	32	49	31	31	49	49
26	49	41	49	41	41	49	49	30	49	35	49	35	35	49	49
25	49	45	50	45	45	49	49	36	51	42	51	42	42	51	51
10	50	46	51	42	46	50	50	17	52	37	53	35	37	51	51
7	50	44	53	44	44	50	50	24	52	40	52	40	40	52	52
1	50	43	52	41	43	50	51	11	52	37	52	36	37	52	52
37	51	42	51	42	42	51	51	22	52	46	54	46	46	52	53
4	51	45	52	45	45	51	51	15	54	38	55	36	38	54	54
19	52	44	53	44	44	52	52	13	56	42	56	39	42	56	56
20	53	45	53	45	45	53	53	6	59	48	59	46	48	59	59
35	53	45	53	45	45	53	53								
8	53	47	54	47	47	53	53								
29	53	45	53	45	45	53	53								
12	55	49	58	47	49	55	57								
3	55	48	55	48	48	55	55								
23	55	47	56	47	47	55	55								
9	56	50	55	51	50	56	55								
18	56	46	56	46	46	56	56								
2	58	49	58	49	49	58	58								
16	62	57	62	57	57	62	62								

Tab.15: Vypočítané časově vážené SPL (L(t)) v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst po filtraci S, A, C nebo jejich kombinací zvlášť pro ženy a pro muže. Modře jsou označené hodnoty po dvojí filtraci, které jsou vyšší než hodnoty po jedné filtraci (viz kapitola 6. Diskuse). Červeně jsou označeny hodnoty nejtišších zjištěných fonací.

	Ženy							Muži						
	S	A	C	SA	AS	SC	CS	S	A	C	SA	AS	SC	CS
p	52	45	53	45	45	52	52	51	38	51	37	38	51	50
SD	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5

Tab.16: Průměrné hodnoty SPL nejtišších fonací v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst filtrované přes filtr S, A, C nebo jejich kombinace a jejich standardní odchylky. Zkratka „p“ označuje průměrnou hodnotu.

Výsledky aplikací JB testu normality na naměřené hodnoty SPL nejtišších fonací v jednotkách decibel s různými filtry u žen a u mužů jsou uvedeny v Tab.17 a Tab.18.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	0	0	0	0	0	0	0
p	0,2781	0,1499	0,5149	0,0962	0,1499	0,2781	0,3072

Tab.17: Výsledky JB testu pro nejtišší fonace v jednotkách decibel z různě filtrovaných záznamů pro ženy.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	0	0	0	0	0	0	0
p	0,7336	0,5830	0,7983	0,4582	0,6114	0,7207	0,8829

Tab.18: Výsledky JB testu pro nejtišší fonace v jednotkách decibel z různě filtrovaných záznamů pro muže.

Výsledky aplikací JB testu normality na celkové naměřené hodnoty SPL nejtišších fonací s různými filtry jsou uvedeny v Tab.19.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	0	0	0	0	0	0	0
p	0,3358	0,9774	0,7123	0,9402	0,9732	0,3346	0,6328

Tab.19: Výsledky JB testu pro celkové (ženy i muži) nejtišší fonace z různě filtrovaných záznamů.

Tyto výsledky znamenají, že hypotézu o normálním rozdělení naměřených hodnot SPL nejtišších fonací v jednotkách decibel jakkoli filtrovaných, pro ženy a pro muže zvlášť i celkové, nelze zamítnout.

Výsledky aplikací JB testu na akustické tlaky v jednotkách pascal (výpočet v m-funkce2 (Příloha 2) z hodnot v jednotkách dB) s různými filtry u žen a u mužů jsou uvedeny v Tab.20 a Tab.21, pro celkové hodnoty pak v Tab.22.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	1	1	1	1	1	1	1
p	0	0	0	0	0	0	0

Tab.20: Výsledky JB testu pro nejtišší fonace v jednotkách pascal z různě filtrovaných záznamů pro ženy.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	0	0	0	0	0	0	0
p	0,1370	0,1682	0,4446	0,1966	0,1772	0,1163	0,2595

Tab.21: Výsledky JB testu pro nejtišší fonace v jednotkách pascal z různě filtrovaných záznamů pro muže.

	S	A	C	SA	AS	SC	CS
h	1	1	1	1	1	1	1
p	0	0	0	0	0	0	0

Tab.22: Výsledky JB testu pro celkové (ženy i muži) nejtišší fonace v jednotkách pascal z různě filtrovaných záznamů.

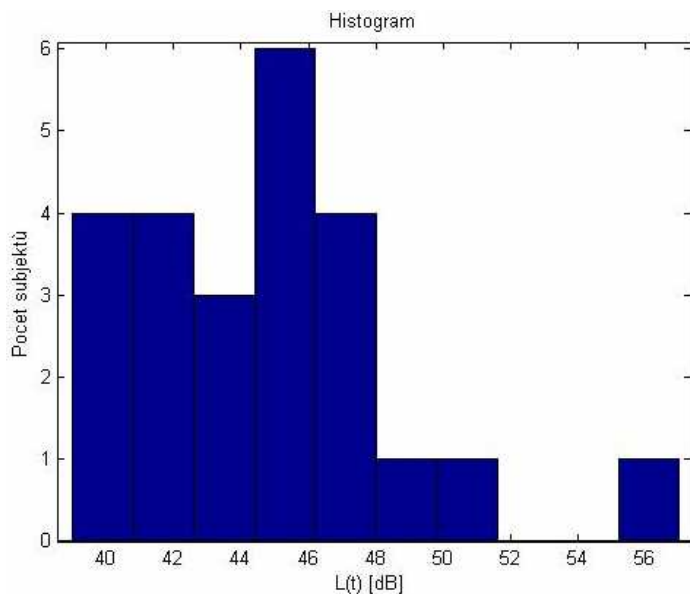
Tyto výsledky znamenají, že hypotéza o normálním rozdělení všech naměřených hodnot SPL nejtišších fonací v jednotkách pascal byla zamítnuta pro hodnoty zjištěné u žen a hodnoty celkové. Pro hodnoty zjištěné u mužů nelze hypotézu zamítnout. To ovšem mohlo být způsobeno pouhým nedostatkem dat jelikož u hodnot celkových pak byla hypotéza zamítnuta. V důsledku toho je možné usuzovat, že hodnoty akustických tlaků v jednotkách pascal jsou podle 2.5.2. logaritmicke-normálního rozdělení.

Pomocí programu Matlab byly dále vypočteny hodnoty standardních odchylek SD (viz kapitola 2.5.3.). Střední hodnoty $L(t)$ a hodnoty extrémní vypočítané pomocí jedné, dvou a tří standardních odchylek jsou uvedeny v Tab.23.

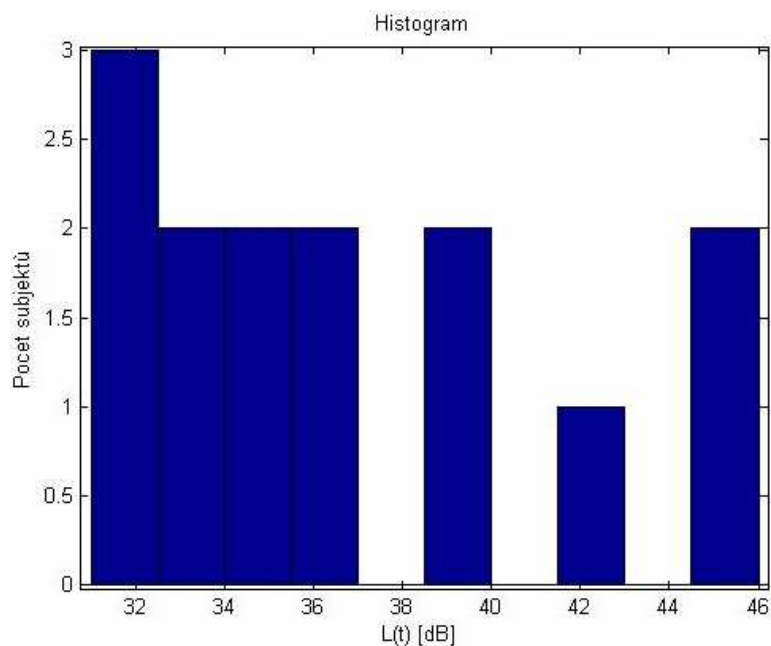
	L(t) střední (SD)	L(t) - 1SD	L(t) - 2SD	L(t) - 3SD
Celková				
S	52 (4)	48	44	40
A	43 (6)	37	31	25
C	52 (4)	48	44	40
SA	42 (6)	36	30	24
AS	43 (6)	37	31	25
SC	52 (4)	48	44	40
CS	52 (4)	48	44	40
Ženy				
S	52 (4)	48	44	40
A	45 (4)	41	37	33
C	53 (4)	49	45	41
SA	45 (4)	41	37	33
AS	45 (4)	41	37	33
SC	52 (4)	48	44	40
CS	52 (4)	48	44	40
Muži				
S	51 (4)	47	43	39
A	38 (5)	33	28	23
C	51 (5)	46	41	36
SA	37 (5)	32	27	22
AS	38 (5)	33	28	23
SC	51 (4)	47	43	39
CS	50 (5)	45	40	35

Tab.23: Vypočtené střední a extrémní časově vážené hodnoty nejtišších fonací v jednotkách dB ve vzdálenosti 30 cm od úst pro ženy, pro muže a hodnoty celkové. Červeně jsou označené nejtišší extrémní hodnoty SPL celkové, pro ženy a pro muže.

Dále byly pomocí programu Matlab vytvořeny histogramy (rozdělení naměřených dat) zvlášť pro ženy a pro muže uvedené na Obr.24 a Obr.25.



Obr.24: Histogram SPL nejtišších fonací žen ze záznamu filtrovaného kombinací filtrů S a A.



Obr.25: Histogram SPL nejtišších fonací mužů ze záznamu filtrovaného kombinací filtrů S a A

Dále byly z hodnot SPL ($L(t)$) nejtišších fonací a hodnot SPL (L) šumů z totožných záznamů vypočteny rozdíly těchto hodnot (tedy $L(t) - L$) v jednotkách dB (Tab.25 pro ženy a pro muže). Hodnoty těchto rozdílů SPL by měly být menší než 15 dB (4.5.3. a Švec & Granqvist 2010). Typy filtrací a počty subjektů, kde nebylo toto kritérium splněno jsou uvedeny v Tab.24.

	nesplněno
filtr S	0
filtr A	6
filtr C	26
filtr SA	8
filtr AS	5
filtr SC	0
filtr CS	1

Tab.24: Typy filtrů a počty osob, u kterých nebylo splněno kritérium o 15 dB odstupu SPL šumu od SPL nejtišší fonace.

Ženy																					
č.s.	LtS (dB)	šum (dB)	O	LtA (dB)	šum (dB)	O	LtC (dB)	šum (dB)	O	LtSA (dB)	šum (dB)	O	LtAS (dB)	šum (dB)	O	LtSC (dB)	šum (dB)	O	LtSC (dB)	šum (dB)	O
28	47	29	18	40	26	14	47	36	11	40	26	14	40	26	14	47	28	20	47	28	20
38	48	27	21	39	22	17	48	36	13	39	20	19	39	22	17	48	26	22	48	27	21
14	49	32	16	43	24	18	50	46	4	43	24	19	43	24	19	49	32	17	49	32	17
34	49	27	22	40	22	18	49	35	14	40	21	19	40	22	18	49	26	23	49	26	23
33	49	27	22	39	24	15	49	34	15	39	24	15	39	24	15	49	26	23	49	27	22
26	49	30	19	41	24	17	49	38	12	41	24	17	41	24	17	49	29	20	49	29	20
25	49	25	24	45	20	25	50	32	18	45	20	25	45	20	25	49	24	25	49	24	25
10	50	33	17	46	23	23	51	46	5	42	22	20	46	22	24	50	32	18	50	32	18
7	50	35	15	44	29	16	53	50	3	44	28	16	44	28	16	50	35	15	50	35	15
1	50	32	18	43	24	19	52	45	7	41	23	17	43	24	19	50	32	18	51	32	20
37	51	25	26	42	20	22	51	34	17	42	20	22	42	20	22	51	23	28	51	23	28
4	51	33	18	45	25	21	52	46	5	45	24	21	45	24	21	51	32	19	51	32	19
19	52	29	23	44	22	22	53	44	10	44	22	22	44	22	23	52	28	24	52	28	24
20	53	31	22	45	22	23	53	46	8	45	20	24	45	21	24	53	30	23	53	30	23
35	53	25	28	45	20	25	53	34	19	45	20	26	45	20	25	53	24	30	53	24	29
8	53	32	21	47	24	24	54	46	8	47	23	25	47	23	25	53	31	22	53	31	22
29	53	26	27	45	22	23	53	31	22	45	22	23	45	22	23	53	25	28	53	25	28
12	55	33	22	49	28	22	58	48	10	47	27	20	49	28	22	55	33	22	57	33	24
3	55	29	26	48	23	26	55	43	12	48	22	27	48	22	26	55	28	27	55	28	27
23	55	33	22	47	25	21	56	47	9	47	24	23	47	25	22	55	33	23	55	33	23
9	56	34	22	50	24	26	55	48	8	51	23	28	50	23	27	56	33	23	55	33	22
18	56	34	22	46	28	18	56	48	8	46	28	18	46	28	18	56	33	22	56	33	22
2	58	34	24	49	27	21	58	47	11	49	27	21	49	27	21	58	33	25	58	33	25
16	62	32	30	57	26	32	62	47	15	57	25	33	57	25	32	62	32	30	62	32	30
Muži																					
č.s.	LtS (dB)	šum (dB)	O	LtA (dB)	šum (dB)	O	LtC (dB)	šum (dB)	O	LtSA (dB)	šum (dB)	O	LtAS (dB)	šum (dB)	O	LtSC (dB)	šum (dB)	O	LtSC (dB)	šum (dB)	O
21	45	25	20	33	16	16	47	39	8	32	15	17	33	16	17	45	24	21	46	24	22
5	46	26	20	39	19	19	47	40	7	34	19	15	39	19	20	46	26	20	46	26	20
32	46	27	19	32	25	6	40	33	7	32	25	6	32	25	6	46	27	19	40	27	13
31	48	24	24	33	19	13	48	33	15	33	19	13	33	19	13	48	23	25	48	23	25
27	49	26	23	32	24	8	49	34	15	31	24	8	31	24	8	49	25	23	49	25	23
30	49	24	25	35	18	17	49	33	16	35	18	17	35	18	17	49	23	26	49	23	26
36	51	27	24	42	22	20	51	35	16	42	21	21	42	22	20	51	26	25	51	26	25
17	52	31	21	37	23	14	53	47	7	35	23	13	37	23	15	51	30	22	51	30	22
24	52	25	27	40	20	19	52	33	19	40	20	20	40	20	19	52	23	28	52	23	28
11	52	30	22	37	23	15	52	46	7	36	22	14	37	22	15	52	29	22	52	29	22
22	52	32	20	46	27	19	54	46	8	46	27	19	46	27	19	52	31	21	53	32	21
15	54	35	19	38	25	13	55	45	10	36	24	12	38	24	13	54	34	20	54	34	20
13	56	31	26	42	26	16	56	42	15	39	26	13	42	26	16	56	30	26	56	30	26
6	59	33	26	48	28	20	59	48	11	46	28	18	48	28	20	59	33	26	59	33	26

Tab.25: Hodnoty nejtišších fonací L(t) (dB), hodnoty šumu (dB) na kanálu 1 z totožných záznamů a jejich rozdíl (dB), ve vzdálenosti 30 cm od úst, pro ženy a pro muže. Modře označené jsou hodnoty nižší než 15 dB. Červeně je označená SPL nejtišší fonace s největším odstupem SPL fonace od SPL šumu. Písmeno „O“ označuje rozdíl hodnot SPL fonace a SPL šumu

6. DISKUSE

Ze statistického vyhodnocení (5.1., Tab.7) vyplývá, že 37 z 38 vyšetřených osob se celkovou hodnotou VHI vešlo do intervalu 2 SD hodnot zjištěných pro subjekty se zdravým hlasem uvedených v práci Švec a kol. (2009). Ojedinele se vyskytly střední až těžké subjektivní potíže v jednotlivých dílčích hodnotách dotazníku VHI, což mohlo být způsobeno subjektivním podhodnocením sebe sama daných osob. Ovšem pouze u jednoho subjektu (číslo 7) vycházelo celkové skóre VHI jako těžké potíže a tento subjekt tak ani nespádá do intervalu 2 SD pro osoby se zdravým hlasem. Jelikož ale nevykazoval extrémní hodnoty ani u nejtíšších ani u nejhlasitějších fonací, lze tento nedostatek zanedbat a celkový vzorek vyšetřených subjektů pokládat za reprezentativní pro osoby se zdravým hlasem.

6.1. Zjištění nejhlasitější a nejtíšší fonace

Nejhlasitější fonace

Při zjišťování nejhlasitější fonace byla použita metoda pro zjištění špičkové SPL ne vážené SPL, jak by tomu bylo pouhým odečítáním hodnot z displeje zvukoměru. Tento postup je důležitý pro specifikaci parametru mikrofonu, jelikož je nutné znát špičkovou hodnotu SPL (horní limit dynamického rozsahu mikrofonu), která nesmí být přebuzena.

Celkové špičkové hodnoty nejhlasitějších fonací L_p v jednotkách dB jsou průměrně 118 dB (5 SD), u žen je to průměrná hodnota L_p 116 dB (5) a u mužů 121 dB (4). Extrémní naměřená hodnota je $L_{p_n} = 127 \text{ dB}$, což odpovídá cca 46 Pa (muž, č.s.15). Jak bylo uvedeno v 4.4., u zvukoměru byl nastaven horní limit dynamického rozsahu 140 dB (vzdálenost 30 cm od úst) a tato hodnota tedy jistě nebyla překročena. Nedošlo tak k přebuzení mikrofonu zvukoměru a výsledné hodnoty nebyly nijak zkresleny. Přesnost zjištění nejhlasitější fonace je $\pm 1 \text{ dB}$ jak již bylo řečeno v 2.2. To je způsobeno například pohybem měřené osoby při fonacích, tedy mírnou změnou vzdálenosti mikrofonu zvukoměru od úst, čemuž je téměř nemožné zabránit.

Z vypočítaných hodnot standardních odchylek lze dojít až k extrémním vypočítaným hodnotám:

$$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 2SD = 128 \text{ dB}$$

$$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 3SD = 133 \text{ dB.}$$

Tyto extrémní hodnoty ovšem platí pro ideální normální rozdělení, což zde nebylo vyvráceno ale ani potvrzeno. Zjištěné hodnoty p z JB testu napovídají, že pravděpodobnost normálního rozložení je kolem 13 % u žen a kolem 41% u mužů, což znamená, že vypočítané standardní odchylky nejsou zcela spolehlivé. Vizualně lze podle histogramů (Obr.18 pro ženy a Obr.19 pro muže) usoudit, že rozdělení naměřených hodnot u žen je připomíná křivku normálního

rozdělení poněkud zkosenou doprava, kdežto rozdělení hodnot u mužů příliš podobnosti s normálním rozložením nevykazuje. To může být způsobeno především malým počtem měřených subjektů. Vypočtené extrémní hodnoty lze tedy použít při srovnání s ostatními pracemi, ovšem pro stanovení požadavků na mikrofony zde raději využijeme extrémní naměřené SPL nejhlasitější fonace, tedy hodnotu 127 dB ve vzdálenosti 30 cm od úst, jelikož jak bylo řečeno, nebylo dokázáno, že hodnoty jsou normálního rozdělení, ale pouze to, že tuto hypotézu nelze zamítnout.

V porovnání s publikovanou literaturou (viz 2.3.) je hodnota zjištěné celkové střední SPL nejhlasitější fonace (118 dB), ač v přesnosti pouze na jednotky, extrémnější než ve většině publikovaných studií. To může být způsobeno především tím, že mnoho autorů při měření zjišťovalo pouze hodnoty nejhlasitějších fonací při zpěvu a ne při volání (křiku), jako tomu bylo zde.

Například ale Coleman (1977) má střední hodnoty SPL nejhlasitějších fonací ještě vyšší než jsou hodnoty zjištěné v této práci, a to 120 dB. Jelikož o jeho práci nebyly zjištěny podrobnější informace, není možné říci, jaké jsou naměřené standardní odchylky a proto nelze porovnat vypočítané extrémní hodnoty (+ 2, + 3 SD) pro další porovnání. Pracemi s hodnotami blízcími se zjištěným hodnotám jsou studie Ma (2007) se střední hodnotou 109,28 (5,18 SD) nebo Angerstein (1998) se střední hodnotou 107,5 (7,1). V případě práce Sultera (1995), ze které bylo vycházeno v mé bakalářské práci (Šrámková 2008), byly střední hodnoty uváděny pouze pro ženy a pro muže zvlášť. Pro ženy to bylo 99,9 dB (9,76) a pro muže 99,2 dB (10,8). Ani tyto hodnoty ovšem nepřesahují hodnotu naměřenou v této diplomové práci.

Ma (2007) $L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 2SD = 114,46 \text{ dB}$

$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 3SD = 119,64 \text{ dB}$

Angerstein (1998) $L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 2SD = 114,6 \text{ dB}$

$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 3SD = 121,7 \text{ dB}$

Bakalářská práce (Šrámková 2008) (převzato z Sulter 1995)

$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 2SD = 120,8 \text{ dB}$

$L_{p_v} = \text{střední hodnota} + 3SD = 131,6 \text{ dB}$

Nejtišší fonace

Při zjišťování nejtišších fonací došlo u některých druhů filtrací (nejvíce například u filtru C) k tak malému snížení (odfiltrování) SPL šumu, že výsledné hodnoty SPL nejtišších fonací mají stále jen velmi malý odstup od SPL šumu. Pokud bychom brali v úvahu takovéto naměřené hodnoty, je možné, že takový šum by příliš ovlivnil fonaci a ta by byla uměle navýšena (Švec a Granqvist 2010). Jiné filtry (například S, C nebo jejich kombinace) sice snížili SPL šumu dostatečně, ovšem SPL fonací nebyly ty nejnižší zjištěné. Nejtišší fonace se stále ještě dostatečně velkým odstupem SPL od SPL šumu dává kombinace filtrů S a A. Uváděné výsledky tak jsou výsledky po filtraci této kombinace filtrů. U některých hodnot byly zjištěny nepřesnosti, tedy například když fonace filtrovaná filtrem A nabyla nižší hodnoty než fonace filtrovaná dvěma filtry, S a A. Podrobnou analýzou bylo zjištěno, že tyto artefakty byly zapříčiněny nepřesným, nejednotným vystřížením šumu při úpravě záznamů, což způsobilo, že nejnižší hodnoty byly odečteny z různých časů v záznamu (modře označené hodnoty v Tab.15).

Celkové časově vážené hodnoty nejtišších fonací $L(t)$ v jednotkách dB jsou průměrně 42 dB (6 SD), u žen 45 dB (4) a u mužů 37 dB (5). Extrémní naměřená hodnota je brána v úvahu pouze ta, u níž je SPL nejtišší fonace alespoň 15 dB nad SPL šumu. Celková nejtišší fonace je tak $L(t)_n = \underline{32 \text{ dB}}$, kdy SPL šumu je 17 dB pod touto nejtišší fonací (muž, č.s.21). Přesnost zjištění nejtišších fonací je $\pm 1 \text{ dB}$, jak již bylo řečeno v 2.2.

Z vypočítaných hodnot standardních odchylek lze dojít až k extrémním vypočítaným hodnotám:

$$L(t)_v = \text{střední hodnota} + 2SD = \underline{27 \text{ dB}}$$

$$L(t)_v = \text{střední hodnota} + 3SD = \underline{22 \text{ dB}}.$$

Tyto extrémní hodnoty ovšem opět platí pouze pro ideální normální rozdělení. Ačkoliv pravděpodobnost normálního rozložení je, podle výsledků JB testu, kolem 95%, což je značně vyšší pravděpodobnost než v případě hodnot zjištěných pro nejhlasiťjší fonace histogramy (Obr.24 pro ženy a Obr.25 pro muže pro filtrace SA) nápadnou podobnost s normálním rozložením zcela nevykazují, což může být způsobeno především malým počtem měřených subjektů. Vypočtené extrémní hodnoty lze tedy také použít pouze při srovnání s ostatními pracemi. Pro stanovení požadavků na mikrofony využijeme extrémní naměřené SPL nejtišší fonace s dostatečným odstupem od šumu, tedy hodnotu 32 dB ve vzdálenosti 30 cm od úst.

Jak bylo uvedeno v 4.2. hlavový mikrofon DPA použitý při tomto měření produkuje vlastní šum 26 dB. Vzhledem k tomu, že nejtišší fonace dosáhla hodnoty 32 dB ve vzdálenosti 30 cm od úst a hlavový mikrofon byl umístěn ve vzdálenosti cca 5 – 10 cm, kde je aktuální hodnota SPL o 10 – 15 dB silnější, odstup SPL nejtišší fonace od SPL šumu je tak 16

– 21 dB, což splňuje kritérium 15 dB a více. Vlastní šum mikrofonu je navíc zahrnut spolu s šumem místnosti v celkových změřených hodnotách SPL šumu, uvedených v Tab.13.

V porovnání s publikovanou literaturou (viz 2.3.) jsou celkové střední hodnoty opět extrémnější než jiné. Pouze Ma (2006) má střední hodnoty SPL nejtišších fonací jen o málo vyšší, a to 39,20 dB (3,23). V případě práce Sultera (1995) ze které bylo vycházeno v bakalářské práci (Šrámková 2008), byly střední hodnoty opět uváděny pouze pro ženy a pro muže zvlášť. Pro ženy to bylo 49,6 dB (8,61) a pro muže 46,2 dB (5,42). Ani tyto hodnoty ovšem nepřesahují hodnotu zjištěnou v této diplomové práci. Navíc u těchto prací není uvedena SPL šumu při měření nejtišších fonací a proto nemůžeme posoudit, jaký je jeho odstup od SPL nejtišší fonace. Hodnoty uváděné v literatuře tedy nejsou zaručené.

Ma (2006) $L(t)_v = \text{střední hodnota} + 2SD = 35,97 \text{ dB}$

$L(t)_v = \text{střední hodnota} + 3SD = 32,74 \text{ dB}$

Bakalářská práce (Šrámková 2008) (převzato z Sulter 1995)

$L(t)_v = \text{střední hodnota} + 2SD = 32,38 \text{ dB}$

$L(t)_v = \text{střední hodnota} + 3SD = 23,77 \text{ dB}$.

Na druhou stranu je třeba říci, že při vyhodnocování nejtišších fonací byly zaznamenány značné nestability hlasu, což znamená, že odečet minimální hodnoty může výrazně záviset na použitém výpočetním algoritmu. Vzhledem k tomu, že pro stanovení SPL hodnoty nejtišší fonace doposud neexistuje standardně uznávaný algoritmus, a různí autoři používají různé metody (které často nejsou detailně popsány), tyto hodnoty bude třeba v budoucnosti ověřit podrobněji.

6.2. Zjištění statistického rozdělení naměřených SPL

Aplikací JB testu normality na výsledná data nejhlasitějších a nejtišších fonací bylo zjištěno, že hypotézu o normálním rozdělení nelze zamítnout ale ani potvrdit. Pro hodnoty akustického tlaku v jednotkách Pa byla hypotéza normálního rozdělení buď téměř nebo úplně zamítnuta a můžeme tak říci, že v důsledku normality rozdělení hodnot v jednotkách decibel jsou hodnoty akustického tlaku spíše lognormálního rozdělení. Tento poznatek odpovídá známému faktu, že lidského ucho je nastaveno tak, aby bylo citlivé na decibely a tedy na logaritmickou škálu (Fechner-Weberův zákon, viz Sedláček 1956).

6.3. Specifikace požadavků na mikrofony

Mikrofony pro měření hlasu by měly splňovat následující kritéria (Švec a Granqvist 2010) :

1. horní limit dynamického rozsahu mikrofonu by měl mít nejméně hodnotu SPL nejhlasitější fonace (ve 30 a v 5 cm)
2. SPL šumu by měl být alespoň 15 dB pod SPL nejtišší fonace (ve 30 a v 5 cm)

Podle hodnot naměřených v této práci lze stanovit požadavky na dynamický rozsah mikrofonu pro kvalitní záznam lidského hlasu. Nejhlasitější zjištěná fonace, změřená u osoby se zdravým hlasem ve vzdálenosti 30 cm od úst je $L_p = 127$ dB. Ve vzdálenosti 5 cm tato hodnota, podle rovnice (2), odpovídá $L_p = 143$ dB .

Nejtišší zjištěnou fonaci u zdravého hlasu ve vzdálenosti 30 cm od úst je možné očekávat až $L(t) = 32$ dB. Ve vzdálenosti 5 cm od úst je to $L(t) = 48$ dB. Při aplikaci kritéria na 15 dB odstup fonace od šumu dostáváme následující hodnoty pro maximální šum mikrofonu: $L = 17$ dB ve vzdálenosti 30 cm a $L = 33$ dB ve vzdálenosti 5 cm.

V Tab.26 jsou uvedeny příklady všesměrových mikrofonů publikovaných v práci Švec, Šrámková a Granqvist (2009). Oranžově jsou označeny hodnoty, které nebyly zjištěny, nebo hodnoty které nevyhovují stanoveným podmínkám z Švec, Šrámková, Granqvist (2009) : minimální $F_0 = 50$ Hz, frekvence maximálního zdvihu citlivosti 8 kHz, minimální SPL 40/55 dB(A) ve vzdálenostech 30/5 cm, maximální SPL 130/145 dB ve vzdálenosti 30/5 cm.

Červeně jsou označeny hodnoty SPL šumu a maximální SPL fonace nevyhovující nově stanoveným požadavkům na SPL v daných vzdálenostech d_m . Modře jsou označeny mikrofony, které vyhovují podmínkám na frekvence a frekvenční charakteristiky mikrofonu z Švec, Šrámková, Granqvist (2009) a nově stanoveným podmínkám na SPL.

Brand and model	Type	d_m	L_{noise}	L_{max}	F_{min}	F_{max}	ΔL	L_{pp}	F_{pp}	F_{ppmax}	Price
		cm	dB	dB	Hz	kHz	dB	dB	kHz	kHz	CZK
S :HSP 2	HM	5	28	150	20	20	2	4	3	13	13140
S :HS 2	HM	5	26	142	20	20	N	N	N	N	11700
AKG :HC 577	HM	5	26	133	20	20	3	2	10	15	12687
Shure :WBH53T	HM	5	35	142	20	20	N	N	N	N	8991
S :MKE 2-4 GoldC	LPL	5	26	N	10	20	3	6	4	12	7893
S :MKE Platinum 4C	LPL	5	26	140	20	20	1	4	7	12,5	7812
S :MKE 2EW GOLD	LPL	5	N	142	20	20	2	6	4	12,5	5670
Sony :MCM-C10	LPL	5	N	N	50	15	N	N	N	N	N
S :MKH 800-P48	CL	30	10	136	30	20	0	7	10	30	73055
S :MKH 20-P48	CL	30	10	134	12	20	0	0	Flat	Flat	26910
AKG :C 414 LTD	CL	30	20	140	20	20	2	7	5	12	27200
AKG :C 12 VR	CL	30	22	138	30	20	3	5	2,1	7	107400
AKG :C 4000 B	CL	30	8	145/155	20	20	3	5	1,5	11	15171
AKG :CK 62-ULS	CL	30	13	140	20	20	0	2	5,2	5,2	5511
AKG :CK 92	CL	30	17	132/142	20	20	1	2	4	10	5051
AKG :Perception 420	CL	30	16	135/155	20	20	2	6	5	10	7800
B&K :4958	CL	30	28	140	10	20	1	2	4	10,5	N
B&K :4188	CL	30	15,8	146	8	12,5	N	N	N	N	N
B&K :4950	CL	30	15	142	8	16	0	3	5	10	N
B&K :4942	CL	30	14,6	146	6,3	16	0,5	1,5	5	10,3	N
B&K :4145	CL	30	10	146	3	18	1	2	0,7	10	N
Olympus:ME30W	CL	30	N	N	20	20	N	N	N	N	N
Shure :SM63L	CL	30	N	N	80	20	10	4	2	3	4941

Tab.26: Parametry všesměrových mikrofonů. Převzato z Švec, Šrámková, Granqvist (2009).

L_{noise} = šumová hladina

L_{max} = maximální akustický tlak

F_{min} = minimální snímatelná frekvence (pokles citlivosti o 3 dB)

F_{max} = maximální snímatelná frekvence (pokles citlivosti o 3 dB)

ΔL = výchylky citlivosti ve frekvenční oblasti 70 – 5000 Hz

L_{pp} = maximální zdvih citlivosti na vysokých frekvencích

F_{pp} = frekvence začátku zdvihu citlivosti (frekvence kdy zdvih přesáhne 2 dB)

F_{ppmax} = frekvence maximálního zdvihu citlivosti

S = značka mikrofonů Sennheiser

B&K = značka mikrofonů Brüel & Kjaer

N = hodnota nebyla uvedena

HM = hlavový mikrofon

LPL = klopový mikrofon

CL = klasický mikrofon

Tab.27 uvádí přehled parametrů směrových mikrofonů uváděných v práci Švec, Šrámková, Granqvist (2009). Oranžově jsou označeny hodnoty, které nebyly zjištěny, nebo hodnoty které nevyhovují podmínkám z Švec, Šrámková, Granqvist (2009).

Červeně jsou označeny hodnoty SPL šumu a SPL nejhlasitější fonace nevyhovující nově stanoveným požadavkům na SPL v daných vzdálenostech d_m . Modře jsou označeny mikrofony, které vyhovují podmínkám na frekvence a frekvenční charakteristiky mikrofonu z Švec, Šrámková, Granqvist (2009) a nově stanoveným podmínkám na SPL.

Brand and model	Type	d_m cm	L_{noise} dBA	L_{max} dB	F_{min} Hz	F_{max} kHz	ΔL dB	L_{pp} dB	F_{pp} kHz	F_{ppmax} kHz	Price CZK
S : HSP 4	HM	1	37	150	40	20	2	9	5	10	13140
AKG : C 520/C	HM	N	31	130	60	20	12	6	3	8,5	N
Shure : SM12A	HM	N	N	N	50	50	N	N	N	N	6291
S : ME 104	LPL	N	30	N	40	20	10	6	3	10	4920
S : ME 4-N	LPL	1	N	120	40	20	12	3	8	12	1171
Sony:ECMCS10	LPL	N	N	N	100	16	N	N	N	N	1785
S :MKH 800 TWIN	CL	N	12	134	30	50	1	5	5,5	42,5	N
S :MKH 800-P48	CL	1	10	136	30	20	1	5	20,5	30,5	73055
S : MKH 40-P48	CL	N	12	134	40	20	0	0	Flat	Flat	N
S : MD 441 U	CL	N	N	135	20	20	N	N	N	N	15217
S : MD 421 II	CL	N	N	N	30	17	8	8	1,1	5	21400
S : e 914	CL	N	N	N	30	17	10	10	1,2	5	10700
AKG :C 414 LTD	CL	N	19	137	20	20	N	N	N	N	11240
AKG : C 12 VR	CL	N	6	152	20	20	4	5	1	13	27200
AKG : C 451 B	CL	N	22	128	30	20	8	10	1,5	8	107400
AKG : C 4000 B	CL	N	18	135	20	20	4	4	3	12	10111
AKG : C 3000 B	CL	N	8	145/155	20	20	7	6	3	6,5	15171
AKG : C 1000 S	CL	N	14	140/150	20	20	6	8	1	6,5	7133
AKG : Solid Tube	CL	1	21	137	50	20	12	2	3	10	N
AKG :CK 61ULS	CL	N	20	130/145	20	20	2	0	Flat	Flat	25840
AKG : C 391 B	CL	N	13	140	20	20	0	2	10	10	5511
AKG :Perception 420	CL	N	17	132/142	20	20	2	2	2	10	9651
Shure : PG58	CL	N	16	135/155	20	20	4	4	1,6	11	7800
Shure : SM81-LC	CL	N	N	N	60	15	7	3	1,5	3,5	1521
Audix : SCX25	CL	N	16	146	20	20	2	2	1	4,5	10790

Tab.27: Parametry směrových mikrofonů, d_m je vzdálenost ve které je frekvenční charakteristika nejrovnější. Převzato z Švec, Šrámková, Granqvist (2009).

Podle Tab.26 a Tab.27 jsou mikrofony vyhovující požadavkům :

všesměrové : S : HSP 2, S : MKH 800-P48, S : MKH 20-P48, AKG : CK 62-ULS

AKG : CK 92, B&K : 4942, B&K : 4145

směrové : S :MKH 800-P48.

7. ZÁVĚR

Byly experimentálně zjištěny SPL nejhlasitější a nejtíší fonace, které lze očekávat u osob se zdravým normálním hlasem. Pro změření nejhlasitější fonace byl použit zvukoměr ve vzdálenosti 30 cm od úst, kdy v nastavení zvukoměru bylo zvoleno C váhové filtrování. Hodnoty byly vypočteny jako špičkové SPL s celkovým průměrem naměřených hodnot 118 dB (5 SD). Extrémní naměřená špičková SPL nejhlasitější fonace pak byla 127 dB a to u muže číslo 15. Extrémní vypočtené (podle standardních odchylek) SPL nejhlasitější fonace byly 128 dB (+ 2SD) a 133 dB (+ 3SD). Jelikož nebylo 100 % potvrzeno normální rozdělení dat, byly takto vypočtené extrémní hodnoty využity pouze pro srovnání s ostatními publikovanými hodnotami, ale ne pro stanovení požadavků na mikrofony. Pro tento účel byla využita raději extrémní naměřená hodnota, tedy 127 dB ve vzdálenosti 30 cm a přepočet na vzdálenost 5 cm od úst 143 dB.

Dále byla experimentálně zjištěna SPL nejtíší fonace pro jejíž měření byl použit hlavový mikrofon ve vzdálenosti 5 – 10 cm od úst, kdy naměřené hodnoty byly zkalibrovány tak, že výsledné hodnoty SPL jsou jako by fonace byly měřeny ve vzdálenosti 30 cm. Pro výpočet nejtíší fonace byla využita filtrace záznamu a to váhovými filtry A nebo C, experimentálně navrženým hornopropustným filtrem S nebo jejich vzájemnou kombinací. Nejnižší výsledné hodnoty byly zjištěny při filtraci kombinací filtrů S a A. Filtrace byla také prováděna pro zviditelnění přechodu fonace v šum nebo šepot a tyto části musely být vystříženy. Jelikož tato úprava byla založena na subjektivním výběru dat, mohly tak být způsobeny chyby. Tato úprava je tedy vhodná k vylepšení a další podrobné studii. Bylo by vhodné stanovit přesné parametry pro úpravu a samotnou metodu zjednodušit a zautomatizovat. Zde byla zjištěna hodnota časové vážené SPL nejtíší fonace, průměrně 42 dB (6 SD). Extrémní naměřená časově vážená SPL nejtíší fonace byla 32 dB, a to u muže číslo 21. Tato hodnota byla vybrána jako nejtíší, jelikož odstup SPL šumu při této fonaci byl větší než udávaných 15 dB. Extrémní vypočtené (podle standardních odchylek) SPL nejtíší fonace byly 27 dB (+ 2SD) a 22 dB (+ 3SD). Jelikož nebylo 100 % potvrzeno normální rozdělení dat, byly takto vypočtené extrémní hodnoty využity pouze pro srovnání s ostatními publikovanými hodnotami, ale ne pro stanovení požadavků na mikrofony. Pro tento účel byla využita raději extrémní naměřená hodnota, tedy 32 dB ve vzdálenosti 30 cm a přepočet na vzdálenost 5 cm od úst, 48 dB. Tedy, SPL vlastního šumu mikrofonu by neměl přesáhnout 17 dB ve vzdálenosti 30 cm a 33 dB ve vzdálenosti 5 cm od úst.

V mé bakalářské práci (Šrámková 2008) byly požadavky na mikrofony extrémnějši, jelikož šlo o hodnoty vypočtené pomocí standardních odchylek. Takovýmito parametrům pak

vyhovovaly pouze tři všesměrové (S : MKH 800-P48, S : MKH 20-P48 a B&K : 4145) a jeden směrový mikrofon (S : MKH 800-P48) z uvedených tabulek (Tab.26 a Tab.27). Požadavkům na SPL nejhlasitější fonace a SPL vlastního šumu mikrofonu stanoveným v této práci a ostatním požadavkům podle Švec, Šrámková a Granqvist (2009) plně vyhovovalo 7 všesměrových mikrofonů a 1 směrový mikrofon ze seznamu mikrofonů v Tab.26 a Tab.27 (Švec, Šrámková, Granqvist 2009, Šrámková 2008). Nově stanovené požadavky jsou tedy méně extrémní, ovšem lze se 100 % jistotou říci, že odpovídají opravdu naměřeným hodnotám a ne hodnotám vypočítaným a založeným na normalitě dat. Na druhou stranu nelze vyloučit možnost, že se vyskytne osoba, která bude hlasitější než osoby zde změřené. Bylo by proto vhodné v budoucnosti provést ověření výsledků na větším množství osob.

V předchozím byly také zmíněny nové postupy a způsob měření. Například při měření SPL nejhlasitější fonace, kdy byly zjišťovány hodnoty při volání (křiku) a ne SPL zpěvního hlasu a také způsob odečítání hodnot jako špičkových SPL a ne vážených, jak tomu je u většiny ostatních prací. Nový byl také způsob zjišťování nejnižších fonací, tedy filtrace záznamů a zvolené typy filtrů, zpracování záznamů, aby neobsahovaly šum nebo šepot, a výběr takových hodnot, které mají odstup od šumu alespoň 15 dB. Tato metodika ovšem potřebuje zjednodušení, standardizaci a zautomatizování postupů, což je popud k dalšímu studiu například pro disertační práci.

Na základě změřených dat lze na otázky stanovených v cílech práce krátce zodpovědět takto:

1) Jaké nejvyšší a jaké nejnižší hladiny akustického tlaku lze očekávat u zdravého člověka?

Podle námi naměřených hodnot lze ve vzdálenosti 30 cm od úst očekávat nejnižší hladiny akustického tlaku $L(t)$ až kolem 32 dB(A) a u nejhlasitějších fonací špičkové hladiny akustického tlaku L_p až 127 dB(Z).

2) Odpovídá rozdělení naměřených hodnot hladin akustického tlaku normálnímu rozdělení?

Statistickou analýzou v programu Matlab bylo zjištěno, že hypotézu o normálním rozdělení hodnot SPL v jednotkách decibel nelze zamítnout.

3) Jaké jsou minimální požadavky na mikrofony (maximální špičková hladina akustického tlaku a hladina šumu), tak aby byly schopny zaznamenat hlas v celém dynamickém rozsahu?

Maximální SPL šumu mikrofonu by měla být $L = 17$ dB(A) ve 30 cm a $L = 33$ dB(A) ve vzdálenosti 5 cm od úst. Maximální špičková SPL by měla být nejméně na hodnotě $L_p = 127$ dB(Z) ve 30 cm a $L_p = 143$ dB(Z) ve vzdálenosti 5 cm od úst

8. SEZNAM LITERATURY

1. Anděl J. (2005) „Základy matematické statistiky“ MFF UK, Praha
2. Angerstein W. (1998) „Sound pressure level examinations of the calling and speaking voice in healthy persons and in patients with hyperfunctional dysphonia“ *Log Phon Vocol* 1998, 23: 21-25
3. Awan S. N. (1993) „Superimposition of speaking voice characteristics and phonetograms in untrained and trained vocal groups“ *Journal of Voice*, Vol.7, No. 1, pp. 30-37
4. Baken R. J. & Orlikoff R. F. (2000) „Clinical measurement of speech and voice“ San Diego, CA: Singular Publishing Group, 2000.
5. Böhme G. (1995) „Voice profiles and standard voice profile of untrained children“ *Journal of Voice*, Vol.9, No. 3, pp. 304-307
6. Butterworth S. (1930) „On the Theory of Filter Amplifiers“ *Experimental Wireless and the Wireless Engineer*, vol. 7
7. Coleman R. F., Mabis J. H. and Hinson J. K. (1977) „Fundamental frequency-sound pressure level profiles of adult male and female voices“ *J.Speech Hear.Res.* 20 (2):197-204, 1977 (citováno v práci Baken (2000))
8. Couvreur Ch. (1997) - Definice filtru A v souboru adsgn v programu Matlab, Faculte Polytechnique de Mons, Belgie, staženo z <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69>
9. Couvreur Ch. (1997) - Definice filtru C v souboru cdsn v programu Matlab, Faculte Polytechnique de Mons, Belgie, staženo z <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69>
10. ČSN 01 1600 (2003) „Akustika – Terminologie.“ Český normalizační institut, Praha
11. ČSN EN 61672-1 (2003) „Elektroakustika – Zvukoměry – Část 1 : Technické požadavky.“ Český normalizační institut, Praha
12. Heylen L. (2002) „Normative voice range profiles of male and female professional voice users“ *Journal of Voice*, Vol. 16, No.1, pp. 1-7
13. Jacobson B. H., Johnson A., Grywalski C., Silbergleit A. K., Jacobson G. P., Benninger M. S., Newman C. W. (1997) „The voice handicap index (VHI): development and validation“. *Journal of Speech-Language Pathology*, Vol. 6: pp. 66-70 (citován v Švec a kol. 2009).
14. Leino T. (2008) „Assessment of vocal capacity of finnish university students“ *Folia Phoniatr Logop* 2008, 60: 199-209

15. Ma E. P.-M. (2006) „Multiparametric evaluation of dysphonic severity“ *Journal of Voice*, Vol. 20, No. 3, pp. 380-390
16. Ma E. P.-M. (2007) „Reliability of speaking and maximum voice range measures in screening for dysphonia“ *Journal of Voice*, Vol. 21, No. 4, pp. 397-406
17. Matlab help, Matlab 7.0.1. , MathWorks 2004, <http://www.mathworks.com>
18. Palková Z. (1994) „Fonetika a fonologie češtiny“ Praha - Universita Karlova, vydavatelství Karolinum
19. Sedláček K. (1956) „Základy audiologie“, Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
20. Schneider B. (2003) „Influence of glottal closure configuration on vocal efficacy in young normal-speaking woman“ *Journal of Voice*, Vol. 17, No. 4, pp. 468-480
21. Schneider B. (2005) „Vocal risk factors for occupational voice disorders in female teaching students“ *Eur Arch Otorhinolaryngol* 262 : 272-276
22. Sulter A. M., Schutte H. K. and Miller D. G. (1995) „Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training.“ *Journal of Voice* 9, no.4: 363-377
23. Škvor Z. (2001) „Akustika a elektroakustika“ Academia, Praha
24. Špelda A. (1958) „Úvod do akustiky pro hudebníky“ Praha – Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění
25. Šrámková H. (2008) „Technické požadavky pro akustickou registraci hlasu a řeči“ Bakalářská práce, UP Olomouc
26. Švec J. G. a Granqvist S. (2010) „Guidelines for selecting microphones for human voice production research“ (v recenzním řízení)
27. Švec J. G. a kol. (2009) „Česká verze dotazníku Voice Handicap Index pro kvalitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem.“ *Otorinolaryng. a Foniatr. (Praha)*, 58, 2009, č.3, s 132-139
28. Švec J. G., Popolo P. S. and Titze I. R. (2003) „Measurement of vocal doses in speech: experimental procedure and signal processing.“ *Logoped Phoniatr Vocol* 2003
29. Švec J. G. (1996) „ Studium mechanicko-akustických vlastností zdroje lidského hlasu.“ Disertační práce, UP Olomouc
30. Švec J. G., Šrámková H. and Granqvist S. (2009) „Basic requirements on microphones for voice recordings. In: Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications“ 6th International Workshop (MAVEBA 2009), edited by C. Manfredi, Firenze, Italy:Firenze University Press, 2009, p. 157-160

31. Teles-Magalhaes L. C. (2000) „Study of the elderly females' voice by phonetography“
Journal of Voice, Vol. 14, No. 3, pp. 310-321
32. Wuyts F. L. (2002) „Normative voice range profiles of untrained boys and girls“ Journal
of Voice, Vol. 16, No. 4, pp. 460-465
33. Zvárová J. (2004) „Základy statistiky pro biomedicínské obory“ Karolinum, Praha
34. <http://www.bksv.com>
35. <http://www.dpamicrophones.com>
36. <http://www.m-audio.com>
37. <http://www.wikipedia.org>

PŘÍLOHA 1 : Dotazník VHI

Index hlasového postižení - Voice Handicap Index (VHI), česká sjednocená verze.

Jméno a příjmení: _____ Datum narození: _____ Dnešní datum: _____

Níže uvedené výroky vyjadřují běžně používané popisy vlivu hlasu a jeho postižení na lidský život.
Zakroužkujte odpověď, která nejlépe odpovídá Vaší situaci.

Stupeň Vašich hlasových potíží dnes: Žádné Mírné Střední Těžké

	Nikdy	Téměř nikdy	Někdy	Téměř vždy	Vždy
P1. Stává se, že mi během mluvení dochází dech.	0	1	2	3	4
P2. Zvuk mého hlasu se v průběhu dne mění.	0	1	2	3	4
P3. Stává se, že se mě lidé ptají, co to mám s hlasem.	0	1	2	3	4
P4. Můj hlas zní skřípavě a vyprahle.	0	1	2	3	4
P5. Abych ze sebe vydal/a hlas, musím vynaložit úsilí.	0	1	2	3	4
P6. Stává se, že dopředu nevím, jak můj hlas bude znít, když promluví.	0	1	2	3	4
P7. Když mluvím, snažím se měnit svůj hlas, aby zněl jinak.	0	1	2	3	4
P8. Mluvení mě stojí hodně úsilí.	0	1	2	3	4
P9. Večer je můj hlas znatelně horší než ráno.	0	1	2	3	4
P10. Stává se, že mi během mluvení hlas z ničeho nic vypoví službu.	0	1	2	3	4
F1. Stává se, že můj hlas lidé špatně slyší.	0	1	2	3	4
F2. V hlučném prostředí mi lidé špatně rozumějí.	0	1	2	3	4
F3. Moje rodina mě špatně slyší, když na ně doma zavolám.	0	1	2	3	4
F4. Kvůli potížím s hlasem používám telefon méně často než bych chtěl/a.	0	1	2	3	4
F5. Kvůli potížím s hlasem se raději vyhýbám situacím, kde bych měl/a mluvit ve skupině lidí.	0	1	2	3	4
F6. Kvůli potížím s hlasem mluvím méně často s přáteli, sousedy či rodinou.	0	1	2	3	4
F7. Lidé mě při rozhovoru často žádají, abych jim něco zopakoval/a.	0	1	2	3	4
F8. Potíže s hlasem mě omezují v osobním a společenském životě.	0	1	2	3	4
F9. Kvůli potížím s hlasem se cítím vyloučen/a, když si ostatní povídají.	0	1	2	3	4
F10. Mé potíže s hlasem mají nepříznivý dopad na mé výtědky.	0	1	2	3	4
E1. Kvůli potížím s hlasem jsem nervózní, když mám s někým mluvit.	0	1	2	3	4
E2. Zdá se mi, že můj hlas je lidem nepříjemný.	0	1	2	3	4
E3. Zdá se mi, že ostatní mé potíže s hlasem nechápu.	0	1	2	3	4
E4. Potíže s hlasem mi způsobují rozladění/rozčilení/nespokojenost.	0	1	2	3	4
E5. Kvůli potížím s hlasem jsem méně podnikavý/á, společenský/á.	0	1	2	3	4
E6. Kvůli potížím s hlasem se cítím znevýhodněn/a, hendikepován/a.	0	1	2	3	4
E7. Rozčiluje mě, když mě lidé žádají, abych opakoval/a, co jsem říkal/a.	0	1	2	3	4
E8. Cítím se trapně, když mě lidé žádají, abych opakoval/a, co jsem říkal/a.	0	1	2	3	4
E9. Kvůli potížím s hlasem se cítím neschopný/á.	0	1	2	3	4
E10. Stydím se za své potíže s hlasem.	0	1	2	3	4

Vyhodnocení: P hodnota _____, F hodnota _____, E hodnota _____. Celková hodnota _____.

PŘÍLOHA 2 : M-funkce v programu Matlab

m-funkce1 (normalita dat) :

```
% x obsahuje údaje v decibelech
% x = 20*log10(c2*h)                                     %výpočet SPL nejhlasitější fonace

c2 = 4.0e6;                                             %konstanta c2 v odpovídajících jednotkách
y = 10.^(x./20);                                       %y jako původní signál
y = y/c2;
pref = 2*10^-5;
z = y*pref*c2;                                         %z jako zkalibrovaný signál v jednotkách Pa

disp('normalita x v dB')
[h,p] = jbtest(x)                                       %JB test normality na SPL v dB
disp('normalita akustických tlaků y')
[h,p] = jbtest(z)                                       %JB test normality z
```

m-funkce2 (normalita dat) :

```
% x obsahuje údaje v decibelech
% x = 20*log10(c1*rms)                                  %výpočet SPL nejtíší fonace

c1 = 2.0e5;                                             %konstanta c1 v odpovídajících jednotkách
y = 10.^(x./20);                                       %y jako původní signál
y = y/c1;
pref = 2*10^-5;
z = y*pref*c1;                                         %z jako zkalibrovaný signál v jednotkách Pa

disp('normalita x v dB')
[h,p] = jbtest(x)                                       %JB test normality na SPL v dB
disp('normalita akustických tlaků y')
[h,p] = jbtest(y)                                       %JB test normality y
```

m-funkce3 (zjištění faktorů c1 a c2) :

```
filename = 'kalibrace.wav';
[y, Fs, nbits] = wavread(filename);

N = length(y(:,2));
rms = sqrt(sum(y.^2)/N);

Lr = 94;
c2 = 10^(Lr/20)/rms

filename = 'samohlaska.wav';
[y, Fs, nbits] = wavread(filename);
N = length(y(:,2));
rms2 = sqrt(sum(y(:,2).^2)/N);
N = length(y(:,1));
rms1 = sqrt(sum(y(:,1).^2)/N);
c1 = c2*rms2/rms1

%soubor se záznamem kalibračního signálu 94 dB
%načtení souboru kde y je zaznamenaný signál, Fs
%je vzorkovací frekvence a nbits je použitá bitová
%hloubka vzorkování
%      čteno z kanálu 2
%aplikace rovnice (4)

%vložení konstanty SPL kalibrace : 94 dB
%aplikace rovnice (10)

%soubor se záznamem samohlásky /a/
%čteno z kanálu 2
%aplikace rovnice (4)
%čteno z kanálu 1
%aplikace rovnice (4)
%aplikace rovnice (11)
```

m-funkce4 (výpočet funkce h a nejhlasitější fonace Lp):

```
filename = 'nejhlasitejsi.wav';           %soubor se záznamem nejhlasitějších fonací
[y, Fs, nbits] = wavread(filename);
N = length(y(:,2));                       %čteno z kanálu 2 délky N
n = 1:N;                                   %vzorkový vektor n
t = n./Fs;                                 %čas odpovídající každému vzorku n
pref = 2*10^-5;                           %vložení konstanty referenčního tlaku
[h,i] = max(abs(y));                       %aplikace rovnice (12)
p = y*pref*c2;                             %aplikace rovnice (13)

plot(t((i-2000):(i+2000)),P((i-2000):(i+2000)));
                                           %vytvoření grafu závislosti tlaku na čase v okolí
                                           %4000 vzorků

hold on
plot(t(i),P(i),'ro');                     %vytvoření grafu závislosti tlaku na čase a
                                           %vyznačení hodnoty nejhlasitější fonace

xlabel('time (s)');                        %popis osy x - čas
ylabel('pressure (Pa)');                  %popis osy y - tlak

Lp = 20*log10(c2*h);                      %aplikace rovnice (14)
```

m-funkce5 (výpočet SPL šumu před a po filtraci) :

```
filename = 'sum.wav';                       %soubor se záznamem šumu
[y, Fs, nbits] = wavread(filename);
N = length(y(:,2));                         %čteno z kanálu 2 a jeho délka
rms2 = sqrt(sum(y(:,2).^2)/N);              %aplikace (4)
N = length(y(:,1));                         %čteno z kanálu 1 a jeho délka
rms1 = sqrt(sum(y(:,1).^2)/N);              %aplikace (4)

L1 = 20*log10(c1*rms1);                     %výpočet SPL původního záznamu, aplikace (15)
L2 = 20*log10(c2*rms2);                     %aplikace (16)

filename = 'filtrovany_sum.wav';            %soubor se záznamem odfiltrovaného šumu
[y, Fs, nbits] = wavread(filename);
N = length(y(:,2));                         %čteno z kanálu 2 a jeho délka
rms2 = sqrt(sum(y(:,2).^2)/N);              %aplikace (4)
N = length(y(:,1));                         %čteno z kanálu 1 a jeho délka
rms1 = sqrt(sum(y(:,1).^2)/N);              %aplikace (4)

L1 = 20*log10(c1*rms1);                     %výpočet SPL filtrovaného záznamu
L2 = 20*log10(c2*rms2);
```

m-funkce6 (filtrace šumu) :

```
filenameSum = 'sum.wav'; %soubor se záznamem šumu
weighting1='S'; %1. typ filtrace (S, A nebo C)
weighting2='Z'; %2.typ filtrace (S, A, C nebo Z)
[y, fs, nbits] = wavread(filenameSum); %načtení záznamu šumu
y1 = y(:,1); %čteno z kanálu 1
Tfast=0.125; %časová konstanta pro rychlé vážení
Tslow=1; %časová konstanta pro pomalé vážení
t=1:length(y1); %délka záznamu
t=t/fs;

%1. filtrace
if (weighting1=='A') %pro zadanou A filtraci
    [B,A] = adsgn(fs); %načtení definice A filtru (viz dále)
    y1f = filter(B,A,y1); %filtrace signálu
    y2f = filter(B,A,y2);
elseif (weighting1=='C') %pro zadanou C filtraci
    [B,A] = cdsn(fs); %načtení definice C filtru (viz dále)
    y1f = filter(B,A,y1);
    y2f = filter(B,A,y2);
elseif (weighting1=='S') %pro zadanou S filtraci
    [B,A]=butter(5,70/(fs/2), 'high'); %parametry filtru
    y1f=filter(B,A,y1); %filtrace signálu
    y1f=flipud(y1f);
    y1f=filter(B,A,y1f);
    y1f=flipud(y1f);
    y2f=filter(B,A,y2);
    y2f=flipud(y2f);
    y2f=filter(B,A,y2f);
    y2f=flipud(y2f);
elseif (weighting1=='Z') %pro zadanou Z filtraci
    y1f = y1; %filtrovaný signál je původní signál
    y2f = y2;
end

N = length(y1f); %délka filtrovaného signálu a aplikace (4)
rms1 = sqrt(sum(y1f.^2)/N);
N = length(y2f);
rms2 = sqrt(sum(y2f.^2)/N);

L1f = 20*log10(c1*rms1) %výpočet filtrované SPL, aplikace (15) a (16)
L2f = 20*log10(c2*rms2)
```

%2. filtrace je opakování téhož jen signály a SPL jsou jinak označeny.

m-funkce7 (Definice analogového A váhového filtru podle IEC/CD 1672) :

```
function [B,A] = adsgn(Fs);
f1 = 20.598997;
f2 = 107.65265;
f3 = 737.86223;
f4 = 12194.217;
A1000 = 1.9997;
pi = 3.14159265358979;

NUMs = [ (2*pi*f4)^2*(10^(A1000/20)) 0 0 0 0 ];
DENs = conv([1 +4*pi*f4 (2*pi*f4)^2],[1 +4*pi*f1 (2*pi*f1)^2]);
DENs = conv(conv(DENs,[1 2*pi*f3]),[1 2*pi*f2]);
[B,A] = bilinear(NUMs,DENs,Fs);
```

m-funkce8 (Definice analogového C váhového filtru podle IEC/CD 1672) :

```
function [B,A] = cdsn(Fs);
f1 = 20.598997;
f4 = 12194.217;
C1000 = 0.0619;
pi = 3.14159265358979;

NUMs = [ (2*pi*f4)^2*(10^(C1000/20)) 0 0 ];
DENs = conv([1 +4*pi*f4 (2*pi*f4)^2],[1 +4*pi*f1 (2*pi*f1)^2]);
[B,A] = bilinear(NUMs,DENs,Fs);
```

m-funkce9 (filtrace a výpočet nejnižší fonace L(t)) :

```
filenameNT = 'filtrovane.uprava.wav'; %soubor se záznamem nejnižší fonace upravené
%filtrem S, A nebo C
weighting='S'; %typ filtrace S, A, C nebo Z
Ti='fast'; %časová konstanta pro výpočet SPL(rychlá)
pref=2*10^-5; %referenční tlak
Tfast=0.125; %časová konstanta pro rychlé vážení
Tslow=1; %časová konstanta pro pomalé vážení
[y,fs,nbits]=wavread(filenameNT); %načtení souboru
t=1:length(y);
t=t/fs;

if (weighting=='A') %pro zadanou A filtraci
    [B,A] = adsgn(fs);
    yf=filter(B,A,y); %filtrace signálu
elseif (weighting=='C') %pro zadanou C filtraci
    [B,A] = cdsn(fs);
    yf=filter(B,A,y);
elseif (weighting=='S') %pro zadanou S filtraci
    [B,A]=butter(5,70/(fs/2),'high'); %parametry filtru S
    yf=filter(B,A,y);
    yf=flipud(yf);
    yf=filter(B,A,yf);
    yf=flipud(yf);
elseif (weighting=='Z') %pro zadanou Z filtraci
    yf = y; %filtrováný signál je původní signál
end
```

```

p = c1.*yf; %kalibrace akustického tlaku
figure
subplot(2,1,1)
plot(t,p*pref,'b') %vytvoření grafu závislosti akust. tlaku na čase
title('Filtered sound')
xlabel('time [s]'),
ylabel('p(t) [Pa]')
hold on

T = 0; %časové průměrování
if Ti=='fast' T = Tfast; end; %rychlé
if Ti=='slow' T = Tslow; end; %pomalé

[B,A]=butter(1,1/(2*pi*T*(fs/2)),'low'); %vytvoření filtru, který odpovídá exponenciálnímu
%poklesu U = exp(-t/T)
p = sqrt(filter(B,A,p.*p)); %p jako filtrovaný signál

Lp = 20*log10(p); %výpočet nejtišších fonací v dB
is = ceil(0.500*fs); %výběr minima ze všech nejtišších fonací
[Ltmin,imin] = min(Lt(is:end))
imin = is+imin-1;

subplot(2,1,2) %vytvoření grafu závislosti Lt na čase
plot(t,Lt);
title('Sound Level');
xlabel('time [s]');
ylabel(strcat('Lt [dB',weighting,']'));
grid on
hold on
plot (t(imin),Ltmin,'ro') %vyznačení hodnoty nejtišší fonace

```