

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

REALIZACE POSLECHOVÝCH TESTŮ PRO SUBJEKTIVNÍ
HODNOCENÍ KVALITY ZVUKOVÝCH SIGNÁLŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

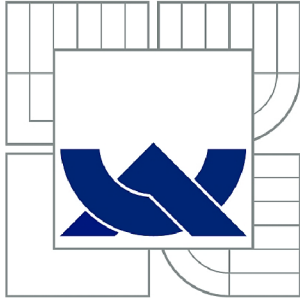
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

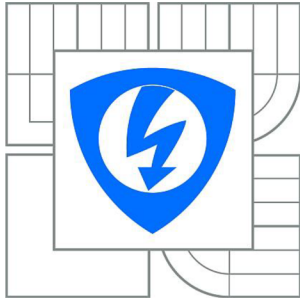
MARTIN PAŘENICA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

REALIZACE POSLECHOVÝCH TESTŮ PRO SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY ZVUKOVÝCH SIGNÁLŮ

IMPLEMENTATION OF LISTENING TESTS FOR SUBJECTIVE ASSESSMENT OF AUDIO SIGNAL
QUALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

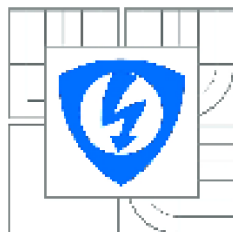
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN PAŘENICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ RÁŠO

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Pařenica
Ročník: 3

ID: 119564
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Realizace poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality zvukových signálů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce studenta bude měření subjektivní poslechové kvality zvukových signálů, tedy provádění poslechových testů. Student dostane sadu zvukových ukázek a jeho cílem bude provést poslechové testy a stanovit subjektivní kvalitu těchto nahrávek. Součástí práce bude také statistické vyhodnocení získaných dat pomocí vhodné statistické analýzy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] MELKA, Alois. Základy experimentální psychoakustiky. 1. vyd. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2005. 328 s. ISBN 80-7331-043-0.
- [2] SYROVÝ, Václav. Hudební akustika. Praha : Základy experimentální psychoakustiky, 2003. 427 s. ISBN 80-7331-901-2.
- [3] ITU-R, BS.1116.1-1: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems, 1997.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 5.6.2013

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Rášo
Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce je realizace poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality zvukových signálů, zejména míry zašumění zvukového signálu, pomocí vhodné metody. Na základě povahy experimentu byla zvolena metoda posuzování na subjektivních posuzovacích škálách, ke které byla sestavena příslušná škála. Pomocí vytvořené aplikace byly provedeny psychoakustické poslechové testy, které byly poté vyhodnoceny doporučenou statistickou analýzou. Tímto způsobem byla získána databáze hodnot, kterou lze případně porovnat se závěry, získanými pomocí některé objektivní metody pro hodnocení kvality zvukových signálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

poslechový test, míra zašumění, subjektivní posuzovací škála, Pearsonův korelační koeficient, Studentův test

ABSTRACT

The topic of this thesis is the implementation of subjective listening tests for assessing the quality of audio signals, especially the rate of noise in audio signal, using appropriate method. Based on the nature of the experiment, the rating-scale procedure was chosen, to which were drawn the appropriate range. Through the creation of an application were made psychoacoustic listening tests, which were then evaluated by the recommended statistical analysis. In this way they were obtained the values, which can be possibly compared with the conclusions obtained by using some objective method for assessing the quality of audio signals.

KEYWORDS

listening test, the rate of noisy, rating-scale procedure, Pearson correlation coefficient, Student's test

PAŘENICA, M. *Realizace poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality zvukových signálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 79 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Rášo.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Realizace poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality zvukových signálů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé práce Ing. Ondřejovi Rášovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	- 12 -
1 Zvuk a jeho šíření	- 13 -
1.1 Základní veličiny zvukového pole	- 14 -
1.1 Odvozené veličiny zvukového pole	- 14 -
2 Fyziologická akustika	- 16 -
3 Subjektivní akustika	- 19 -
3.1 Subjektivní akustické veličiny	- 21 -
3.2 Maskovací jev	- 23 -
3.3 Kritická pásma slyšení	- 25 -
4 Experimentální psychoakustika	- 26 -
4.1 Psychoakustická měření	- 27 -
4.2 Psychoakustický experiment	- 30 -
4.3 Psychoakustické metody měření	- 31 -
5 Realizace poslechových testů	- 34 -
5.1 Posuzování na subjektivních posuzovacích škálách	- 34 -
5.2 Sestavení subjektivní posuzovací škály	- 35 -
5.3 Druhy zkreslení audio signálů	- 37 -
5.4 Návrh experimentální procedury	- 41 -
5.5 Sestavení plánu experimentu	- 46 -
5.6 Technické zabezpečení experimentu	- 47 -
5.7 Sběr dat	- 50 -
5.8 Statistická analýza dat a interpretace výsledků	- 52 -
6 Závěr	- 66 -
Seznam literatury	- 67 -
Přehled symbolů, veličin a zkratk	- 69 -
Seznam příloh	- 70 -
A Instrukční list	- 71 -
B Dotazník	- 72 -
C Tabulky naměřených hodnot	- 73 -
D Popis souborů na médiu	- 79 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Psychoakustický řetěz.	-12-
2.1	Sluchový orgán (převzato z [20]).	-16-
3.1	Práh slyšení.	-19-
3.2	Křivky stejné hlasitosti (převzato z [14]).	-20-
3.3	Princip frekvenčního maskování (převzato z [1]).	-24-
3.4	Průběh časového maskování (převzato z [1]).	-24-
3.5	Graf závislosti šířky kritického pásma na kmitočtu (převzato z [21]).	-25-
4.1	Schématické znázornění subjektivního vnímání (převzato z [10]).	-27-
5.1	Průběh organizace percepčního pole.	-36-
5.2	Grafické rozhraní jednoho testovacího okna.	-44-
5.3	Grafické rozhraní tréninkového okna.	-45-
5.4	Grafické rozhraní zácvikového okna.	-45-
5.5	Časové průběhy všech tří hudebních nahrávek.	-48-
5.6	Časové průběhy všech tří šumových signálů.	-49-
5.7	Spektrogramy všech tří šumových signálů.	-50-
5.8	Skupinová matice naměřených hodnot experimentu.	-51-
5.9	Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce A – kvartet.	-56-
5.10	Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce B – pop.	-57-
5.11	Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce C – country.	-57-
5.12	Grafické srovnání průměrné hlasitosti šumu v jednotlivých nahrávkách.	-58-
5.13	Grafické srovnání průměrných hlasitostí jednotlivých šumů v hudbě.	-59-
5.14	Hodnocení subjektivní hlasitosti všech reprodukováných podnětů.	-62-
5.15	Hodnocení vlivu okolního prostředí na průběh experimentu.	-63-
5.16	Výsledky posouzení vlastního sluchu posluchačů.	-63-

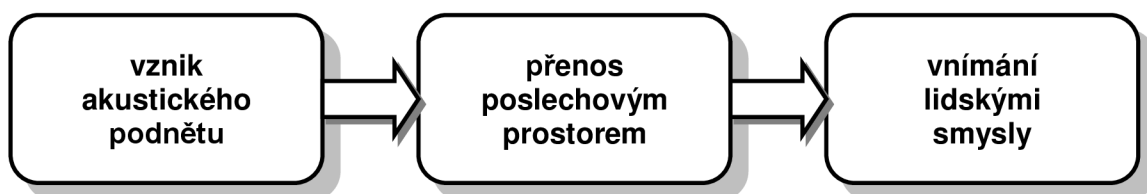
SEZNAM TABULEK

4.1	Guilfordovo třídění psychofyzických a škálovacích metod (převzato [10]).	-32-
5.1	Subjektivní posuzovací škála pro určení míry zašumění hudebního signálu.	-36-
5.2	Přehled proměnných pro měření míry zašumění hudebního signálu.	-42-
5.3	Hodnoty korelačních koeficientů.	-53-
5.4	Časový průběh experimentu.	-54-
5.5	Zjednodušená skupinová matice naměřených hodnot experimentu.	-55-
5.6	Studentův test t pro interakci posluchač x nahrávka.	-60-
5.7	Studentův test t pro interakci posluchač x šum.	-61-
5.8	Studentův test t pro interakci posluchač x nahrávka x šum.	-61-
C.1	Naměřené hodnoty posluchače č. 1.	-73-
C.2	Naměřené hodnoty posluchače č. 2.	-73-
C.3	Naměřené hodnoty posluchače č. 3.	-74-
C.4	Naměřené hodnoty posluchače č. 4.	-74-
C.5	Naměřené hodnoty posluchače č. 5.	-74-
C.6	Naměřené hodnoty posluchače č. 6.	-75-
C.7	Naměřené hodnoty posluchače č. 7.	-75-
C.8	Naměřené hodnoty posluchače č. 8.	-75-
C.9	Naměřené hodnoty posluchače č. 9.	-76-
C.10	Naměřené hodnoty posluchače č. 10.	-76-
C.11	Naměřené hodnoty posluchače č. 11.	-76-
C.12	Naměřené hodnoty posluchače č. 12.	-77-
C.13	Naměřené hodnoty posluchače č. 13.	-77-
C.14	Naměřené hodnoty posluchače č. 14.	-77-
C.15	Naměřené hodnoty posluchače č. 15.	-78-
C.16	Naměřené hodnoty posluchače č. 16.	-78-

ÚVOD

Zadání této bakalářské práce spočívalo v návrhu experimentu pro zjištění subjektivního vjemu slyšitelnosti různých šumových signálů na pozadí hudební nahrávky. Tento experiment by měl být poté aplikován formou poslechových testů, které představují velmi efektivní způsob získávání dat od pokusných osob. Výsledky by měly být zpracovány vhodnou statistickou analýzou, pomocí které bude umožněna interpretace nejdůležitějších poznatků a závěrů z měření.

V první kapitole jsou zavedeny některé důležité pojmy vycházející z obecných principů *klasické fyziky*. Pomocí těchto principů bude možné popsat část psychoakustického řetězce, a to zdroj zvuku a jeho přenos prostorem (obr. 1.1).



Obr. 1.1: Psychoakustický řetězec.

Dále je potřeba popsat zkoumaný jev z hlediska fyziologie člověka. Daná kapitola by tak měla přispět k pochopení vnímání zvuku lidskými smysly. Jsou také nastíněny základní principy *psychofyziky*.

Náplní třetí kapitoly je popis nejdůležitějších mechanismů subjektivní akustiky, která úzce souvisí s danou problematikou poslechových testů. Kapitola také obsahuje příklad skutečné křivky prahu slyšení, naměřené v jednom z předchozích ročníků studia na fakultě.

Následuje rozbor nového vědního oboru *experimentální psychoakustiky* převážně na základě publikace Ing. Aloise Melky, CSc, který se touto problematikou intenzivně zabývá a jehož doporučení a postupy jsou respektovány v rámci celého řešení poslechových testů. Poté je již přistoupeno k jejich samotné realizaci. Ta sestává z výběru měřicí metody, vytvoření subjektivní škály, návrhu experimentální procedury a vývoji programového vybavení experimentu. Výsledky jsou interpretovány na základě příslušné statistické analýzy dle literatury.

1 ZVUK A JEHO ŠÍŘENÍ

Zvuk je ve své podstatě mechanické kmitání částic daného prostředí, které může být, dle uspořádání těchto částic, pevné, kapalně nebo plynné. Druh prostředí pak ovlivňuje způsob, jakým se zvuk v tomto prostředí šíří. Dále však bude uvažováno pouze prostředí plynné ve formě volného zvukového pole, které je teoreticky homogenní a také difúzní, což umožňuje šíření zvuku všemi směry. Princip tohoto šíření spočívá v předávání kinetické energie mezi částicemi, což mění jejich hustotu na různých místech zvukového pole. Tyto změny hustoty formují *zvukovou vlnu*, která postupuje od zdroje zvuku danou rychlostí šíření. Její hodnota je přímo úměrná hustotě částic a teplotě okolního prostředí, tedy kinetické energii částic. Dále lze definovat kulovou *vlnoplochu*, což je spojnice míst se stejnou fází kmitání částic. Protože její efektivní plocha roste se vzdáleností od zdroje a amplituda naopak klesá, jde o vlnění podélné. Při známé frekvenci zvukové vlny, tedy rychlosti kmitání, lze stanovit i její délku v metrech, obecně vzdálenost mezi dvěma sousedními vlnoplochami, jako

$$\lambda = \frac{c_0}{f}, \quad (1.1)$$

kde c_0 je rychlost zvuku v metrech za sekundu za jistých referenčních podmínek daného prostředí a f je frekvence v hertzech. Převrácená hodnota frekvence pak odpovídá jedné periodě zvukové vlny v čase, z čehož plyne že

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1.2)$$

kde T je perioda v jednotkách sekund.

1.1 Základní veličiny zvukového pole

Existuje soubor veličin, které charakterizují zvukové pole a slouží k popisu vlastností zvuku v daném prostředí. Mezi takové veličiny patří [14]

- *Akustický tlak* – měří se v pascálech a nazývá se tak rozdíl mezi okamžitou hodnotou celkového tlaku v daném bodě zvukového pole za přítomnosti zvuku a statickou hodnotou tlaku atmosférického. Je dán střídavým časovým průběhem, přičemž okamžitá hodnota v jednom bodě je určena jako velikost síly působící na jednotku plochy, tedy

$$p(t) = \frac{F(t)}{S}. \quad (1.3)$$

- *Akustická výchylka* – je způsobena kmitavým pohybem částic prostředí kolem svých rovnovážných poloh do míst s menší hodnotou akustického tlaku. Je funkcí času

$$y = y(t). \quad (1.4)$$

- *Akustická rychlost* – je potom rychlost, jakou tyto částice kolem svých rovnovážných poloh kmitají. Určí se jako derivace akustické výchylky podle času, tedy

$$v = \frac{\partial y}{\partial t}. \quad (1.5)$$

1.1 Odvozené veličiny zvukového pole

Závislost některých veličin na daných fyzikálních podmínkách však nemá striktně lineární průběh. Vzhledem k tomu, jakým způsobem lidské ucho zvuk vnímá, je vhodné pro popis akustických veličin použít logaritmické měřítko.

Pro kvantitativní vyjádření určitých energetických veličin se používají poměrové logaritmické hladiny (*Level*), obecně určené vztahem

$$L = \log \frac{x}{x_0}, \quad (1.6)$$

kde x_0 je referenční hodnota veličiny x , ke které je vztažena aktuálně měřená hodnota této veličiny. Jednotkou je Bel, respektive jedna desetina této jednotky kvůli jemnějšímu rozdělení zkoumané veličiny, 1 dB. Takto dostaneme obecný vztah, který se používá v běžné praxi,

$$L = 10 \log \frac{x}{x_0} \text{ [dB]}, \quad (1.7)$$

inverzně pak

$$x = x_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}. \quad (1.8)$$

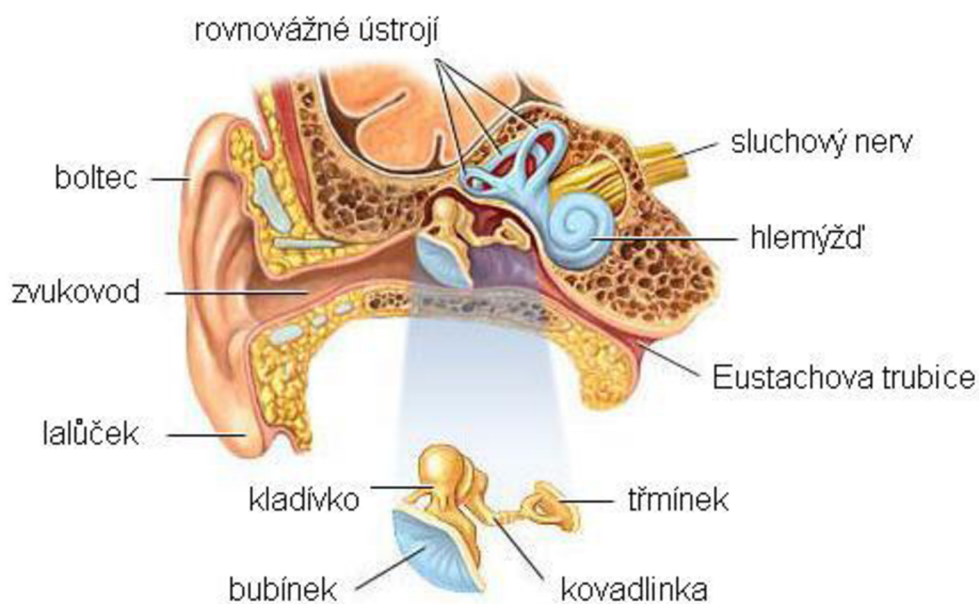
Tímto způsobem lze vyjádřit dané akustické veličiny za předpokladu, že je to pro měření výhodné. Nejpoužívanější je však *hladina akustického tlaku* (*Sound Pressure Level, SPL*) podle vztahu [14]

$$L_p = 10 \log \frac{P}{p_0} \text{ [dB}_{\text{SPL}}], \quad (1.9)$$

kde p_0 je referenční hodnota akustického tlaku $2 \cdot 10^{-5}$ Pa a odpovídá prahu slyšení při kmitočtu zvukové vlny 1 kHz, tedy 0 dB_{SPL}. Jde o nejmenší postřehnutelnou změnu akustického tlaku lidským uchem.

2 FYZIOLOGICKÁ AKUSTIKA

Sdružuje poznatky z *fyzikální akustiky* a *fyziologie*, což umožňuje popsat proces detekce zvuku člověkem. Každý člověk vnímá zvuk celým svým tělem, nejvíce však oblastí hlavy a sluchového ústrojí. Samotný sluchový orgán (obr. 2.1) je složen ze tří částí [6].



Obr. 2.1: Sluchový orgán (převzato z [20]).

Zevní ucho je složeno z ušního boltce a zvukovodu zakončeného bubínkem, na který je přiveden usměrněný a zesílený zvuk z okolního prostředí. Bubínek se vlivem působení zachyceného zvuku rozkmitá a předává tyto kmity do dalších částí.

Střední ucho sestává z bubínkové dutiny, která je Eustachovou trubicí spojena s nosohltanem, což udržuje její vzdušnost. V dutině jsou umístěny středoušní kůstky, které umožňují přenos zvukového signálu pákovým mechanismem. Kladívko je rukojetí pevně přirostlé k bubínku, přejímá jeho kmity a přes hlavičku je dále vede na kovadlinku. Ta je zakončena dlouhým výběžkem, který je spojen s třmínkem. Zde dochází k převodu mechanických kmitů ze vzdušného prostředí komory do prostředí tekutého skrze oválné okénko v hlemýždi (*cochlea*) vnitřního ucha.

Vnitřní ucho je koncová část sluchového orgánu, která je chráněna spánkovou kostí a je složena ze statokinetického ústrojí, zajišťující rovnovážný pohyb v prostoru, a tekutiny (*endolymfy*) stočeného kanálku ve tvaru hlemýždě. Zvlněním tekutiny vzhledem k vláskovým buňkám, formující tzv. *Cortiho orgán*, probíhá elektrochemický děj, který generuje nervové vzruchy ve formě elektrických impulzů, jenž jsou vedeny sluchovým nervem do nervových jader. Parametry těchto impulzů jsou vyhodnocovány v mozku a určují tak výsledný sluchový vjem.

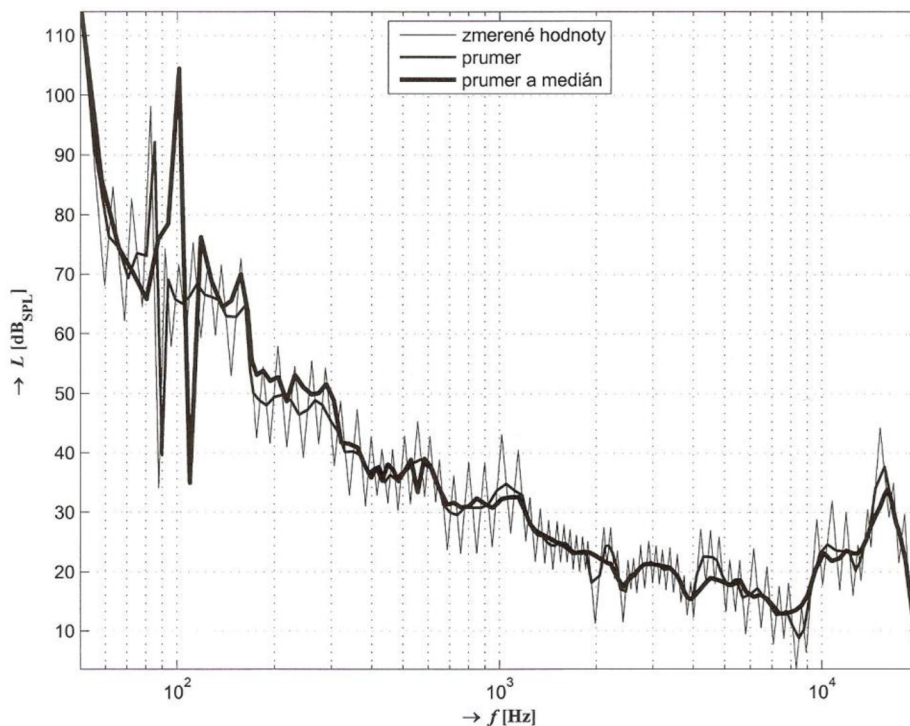
Celý tento děj je možné popsat také z hlediska vzájemných vztahů mezi fyzikálními zákony a psychickými procesy, které zkoumá věda zvaná *psychofyzika* [12]. Zde vše probíhá na úrovni smyslových analyzátorů neboli receptorů. V našem případě jde o sluchové ústrojí, přesněji jeho boltec, který registruje jakoukoliv nezanedbatelnou změnu energie vnějšího podnětu působícího na člověka. Tato energie se v závislosti na fyziologii daného smyslového orgánu mění na tzv. *akční potenciál*, který reaguje na centrální nervový systém. Takto jsme schopni vnímat zvuk, ale i vizuální informace, pachy, doteky nebo chutě. Nejdůležitějším parametrem receptorů je jejich senzitivita, tedy citlivost. Jde o nejmenší rozpoznatelnou změnu vnější energie daného typu, která je schopna vyvolat na rozhraní receptoru byť jen nepatrnou reakci. Smyslové analyzátoři jsou však adaptivní, jejich reakce a velikost vytvořeného akčního potenciálu je závislá na čase. Pokud tedy vnější podnět působí dostatečně dlouho, receptor se vlivu jeho energie přizpůsobí a vytvoří buď větší nebo menší odezvu, v závislosti na požadovaném efektu. Tento jev, v podstatě určitý obranný mechanismus, se označuje jako sensorická adaptace a disponují jí všechny naše smyslové orgány.

Daný povel ve formě elektrického signálu je poté vyslán k mozku. Tam probíhá přenos a zpracování tohoto signálu pomocí sítě neuronů, buněk o koncentraci mnoha milionů. Každý neuron se skládá z těla (*soma*) a dlouhého výběžku (*axon*). Jeho úkolem je vést tyto signály k cílovým mozkovým částem a tím vyvolat určitý motorický nebo psychologický jev. Na rozhraní dvou neuronů se vytvoří *synoptická štěrbin*, která umožňuje přejmutí signálu a tedy i dané informace mezi těmito neurony. K tomu jsou zapotřebí speciální chemické látky, tzv. *neurotransmitery*, které tuto štěrbinu vyplní. V průběhu života přicházíme právě o tyto spoje, nikoliv o samotné neurony, případně máme nedostatek látek potřebných k přenosu. To se postupně projeví například jako úbytek fyzické zdatnosti nebo pokles nálady.

Z hlediska psychofyziky patří děj detekce zvuku mezi tzv. senzorické procesy, v psychologii označované jako čítí (*sensing*). Jeho jednotkou je počíteč [12].

3 SUBJEKTIVNÍ AKUSTIKA

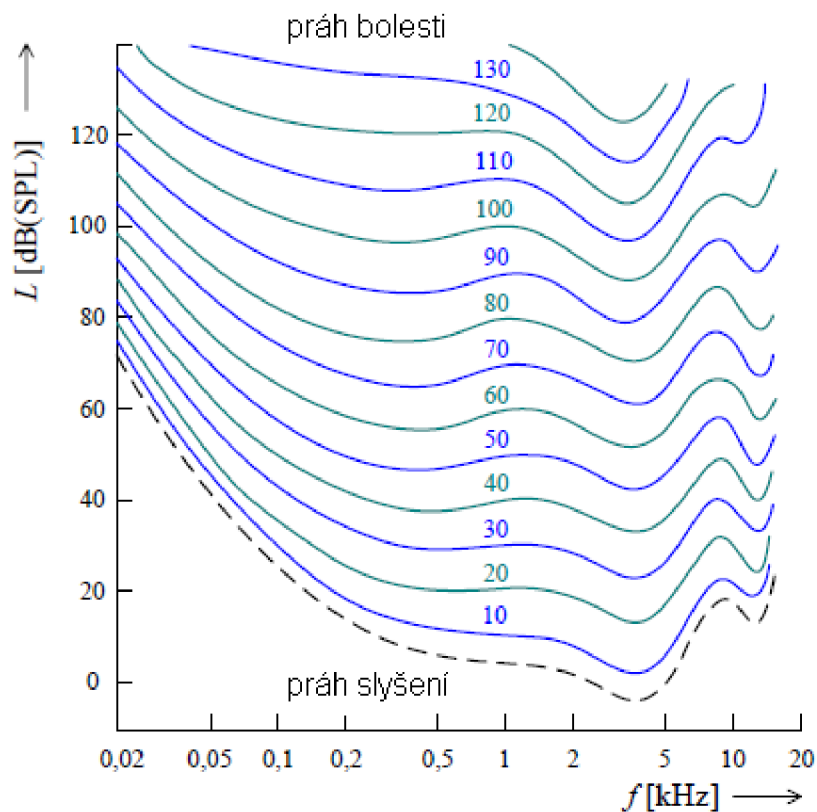
Výsledný sluchový vjem je závislý především na frekvenci přichozího akustického signálu. Ta může mít různé hodnoty slyšitelného pásma, tedy přibližně v rozsahu 20 Hz až 20 kHz. Zvuky s frekvencí pod dolní hranicí tohoto rozsahu se označují jako infrazvuky a obvykle jsou člověkem vnímány zcela jiným smyslem – hmatem. Zvuky s frekvencí nad horní hranicí se nazývají ultrazvuky a našly uplatnění zejména v lékařství. Tato vlastnost sluchového orgánu je vyjádřena jako závislost hladiny akustického tlaku na kmitočtu. Měření její dolní meze – prahu slyšení – patří k základním psychoakustickým měřením [10]. Každá taková křivka představuje čistě individuální a jedinečnou charakteristiku, která pokrývá spektrum tónů od velmi nízkých, přes střední, kde křivka vykazuje největší závislost a tedy i citlivost lidského ucha (zhruba 3 – 5 kHz), až po tóny vysoké. Měření prahu slyšení se obvykle provádí pomocí harmonických sinusových signálů. Příklad takového měření s využitím metody *nastavování zvukových podnětů* [10] je uveden na obr. 3.1. Jde o křivku absolutního prahu slyšení, jejíž hodnoty byly naměřeny pomocí tzv. „Békésy trackingu“ dle postupu v [15].



Obr. 3.1: Práh slyšení.

Křivka je ale také závislá na charakteru zvuku, tedy jeho frekvenčním spektru, a monaurálním (jedním uchem) nebo binaurálním (oběma ušima) způsobu poslechu [14]. Typickým jevem je také klesání citlivosti sluchu s věkem, zejména u vyšších kmitočtů dochází k posunutí křivky prahu slyšení směrem nahoru k větším hodnotám hladiny akustického tlaku. Důsledkem toho potom může být i prakticky úplná neschopnost slyšení některých velmi vysokých kmitočtů. Hodnoty kolem 140 dB definují tzv. práh bolesti, tedy hladinu akustického tlaku závislou na kmitočtu, kterou již lidské ucho vnímá jako bolest a při delším působení může dojít i k jeho nevratnému poškození.

Z grafu je také patrné, že svislá osa má značně velký rozsah. Teoreticky to může být i do zmiňovaných 140 dB, tj. hodnoty hladiny akustického tlaku v rozmezí sedmi řádů. Experimentálně bylo zjištěno, že v tomto rozsahu lze najít křivky spojující tóny, které při různých kmitočtech a hladinách akustického tlaku vnímá lidské ucho subjektivně jako stejně hlasité. Tyto křivky jsou označovány jako křivky stejné hlasitosti (viz obr. 3.2) a staly se základem psychoakustického modelu pro kompresní algoritmy digitálních zvukových signálů [14].



Obr. 3.2: Křivky stejné hlasitosti (převzato z [14]).

Jak již bylo řečeno, kmitočtová osa nemusí být vynesena lineárně, ale z praktického hlediska jako logaritmická, protože rozlišovací schopnost lidského ucha má přibližně takovýto charakter [21].

Z toho vychází další důležitý poznatek psychofyziky, a to závislost mezi fyzikální příčinnou a výsledným sluchovým vjemem, jakožto jejím důsledkem. K jejímu popisu se používá tzv. *Weber-Fechnerův zákon* ve tvaru [10]

$$R = c \cdot \log S + a, \quad (3.1)$$

kde R je velikost (intenzita) sluchového vjemu, S je velikost (intenzita) podnětu, c a a jsou konstanty. Říká, že intenzita vjemu je logaritmickou funkcí intenzity podnětu, jinými slovy geometrický přírůstek intenzity podnětu odpovídá aritmetickému přírůstku intenzity vjemu.

3.1 Subjektivní akustické veličiny

- *Hlasitost* – patří mezi základní subjektivní akustické veličiny a rozumí se jí „vlastnost sluchového vnímání, podle které lze uspořádat zvuky na stupnici v rozsahu od tichých po hlasité“ [3]. Obecně vyjadřuje určité kvantum zvuku závislé na intenzitě akustického tlaku dopadající zvukové vlny, přesněji o míru subjektivního vnímání kmitočtově závislých hladin akustického tlaku. Práh slyšení definuje tzv. křivku nulové hlasitosti. Následný rozsah hladin hlasitosti se měří v jednotkách fon (*Phone*, *Ph*). Jeden fon označuje hlasitost referenční sinusové vlny o kmitočtu 1 kHz při hladině akustického tlaku 1 dB_{SPL}. Všechny ostatní tóny dané křivky potom budou vnímány, při změně obou závislých veličin, jako stejně hlasité. Tyto křivky pak označujeme jako isofonické a v tomto případě si údaje na obou stupnicích korespondují (1 dB odpovídá velikosti 1 Ph, viz obr. 3.2). Definovaná jednotka však není pro subjektivní vnímání zcela přesná, protože křivky jsou na obou krajích celého spektra relativně značně zhuštěny a směrem k vyšším hladinám jsou změny hlasitosti mnohem zřetelnější.

Proto byla stanovena lineární jednotka *subjektivní hlasitosti* 1 son (*Sone*), jako hlasitost referenční sinusové vlny o kmitočtu 1 kHz při hladině akustického tlaku 40 dB_{SPL} (40 Ph). Hlasitost hodnocená posluchačem jako *n*-krát větší bude mít potom hodnotu *n* sonů [3]. Přírůstek 10 dB k hladině akustického tlaku bude mít tedy za následek dvojnásobné zvětšení vnímané subjektivní hlasitosti (2 sony). Subjektivní hlasitost je, na rozdíl od hladiny hlasitosti, veličinou aditivní.

- *Výška zvuku* – je způsob, jakým lidské ucho vnímá různé kmitočty přichozí akustické vlny. Rozlišují se tři druhy vnímání výšky zvuku. Lidé disponující absolutním sluchem jsou schopni rozeznat jakýkoliv kmitočet akustického signálu, tj. určit jeho absolutní výšku. Většina lidí je však schopna rozeznat pouze poměrnou hodnotu výšky dvou tónů, tedy výšku relativní. Z toho vychází veličina *subjektivní výška zvuku* daná opět lineární stupnicí v jednotkách mel (*Melody*), dle [3] určena jako „*vlastnost zvukového vnímání umožňující uspořádat zvuky na stupnici v rozsahu od hlubokých po vysoké*“. Hodnota výšky 1000 melů odpovídá výšce referenční sinusové vlny o kmitočtu 1 kHz při hladině akustického tlaku 40 dB_{SPL}. Výška hodnocená posluchačem jako *n*-krát větší bude mít potom hodnotu *n* tisíc melů.
- *Subjektivní doba trvání zvuku* – je potom odchylka mezi dobou, po kterou lidské ucho daný zvuk vnímá a skutečnou dobou trvání tohoto zvuku. Měří se v jednotkách dura (*Duration*). Bylo dokázáno, že u velmi krátkých zvuků pod jednu sekundu, je subjektivní doba trvání vnímána jako delší. Minimální postřehnutelná změna zvuku je pak přibližně 2 ms [21].
- Poslední základní atribut sluchového vjemu je tzv. *barva zvuku*, což je poměrně komplexní pojem sdružující řadu dílčích subjektivních veličin, který je dle normy [3] definován jako „*vlastnost sluchového vnímání, která umožňuje posluchači usoudit, že dva neidentické zvuky mající stejnou hlasitost a stejnou výšku si nejsou podobné*“. Tato definice však uvažuje stejný způsob prezentace a podání obou akustických signálů. V praxi tak barva zvuku závisí na použitém elektroakustickém měniči a mnoha dalších faktorech. Je také ovlivněna nelineárním zkreslením lidského ucha, za jehož původce je považován středoušní reflex a hydrodynamické děje ve vnitřním uchu.

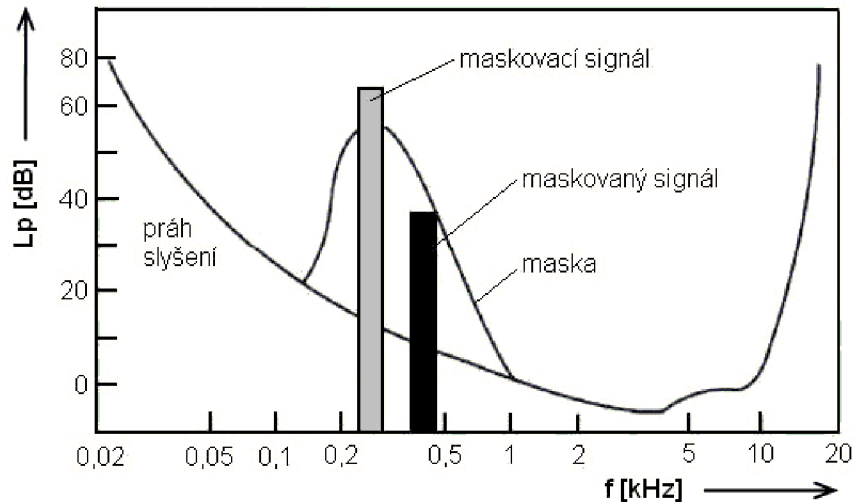
Podstata tohoto zkreslení spočívá v tom, že kromě základní harmonické složky přivedeného čistého tónu bude výsledný vnímaný signál obsahovat také nové vyšší harmonické složky nebo jejich kombinace (v případě dvou signálů). Tyto přídatné složky, způsobující nelinearitu přenosové charakteristiky lidského ucha, se ve fyziologické akustice označují jako aurální tóny [14].

3.2 Maskovací jev

S tím souvisí i další důležitá vlastnost sluchového orgánu, jev tzv. *maskování* [21]. Pokud přichází akustický signál není dán pouze základní harmonickou jednoho čistého tónu, ale složeninou dvou nebo více tónů rozdílných fyzikálních parametrů (amplituda, kmitočet, fáze), tak nedokonalost lidského ucha způsobuje, že člověk není schopen tyto dílčí parametry samostatně rozlišit a vnímá jejich určitý integrál. Při jejich souzvuku se tak může stát, že vlivem dostatečného rozdílu těchto parametrů dojde k úplnému potlačení sluchového vjemu slabšího z nich. Za tohoto stavu tedy maskovací akustický signál ovlivnil signál maskovaný, který byl překryt jeho maskovacím prahem (obálkou). Rozlišují se dva hlavní typy maskovacího jevu [14]

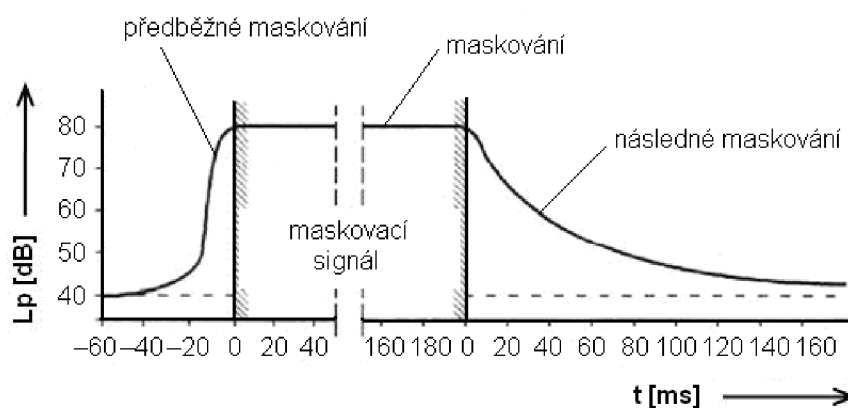
- *Frekvenční maskování* – vzniká při vnímání dvou kmitočtově blízkých tónů rozdílných intenzit. Tón o nižší intenzitě je zakryt maskovací křivkou (maskou) a jeho příspěvek do výsledného sluchového vjemu je potlačen. To způsobuje celkové zvýšení prahu slyšení v této oblasti (obr. 3.3). Bylo také dokázáno, že při velmi malém rozdílovém kmitočtu obou tónů (přibližně 20 Hz a méně [15]) dochází ke vzniku harmonických složek zcela nového signálu o kmitočtu daném aritmetickým průměrem kmitočtů obou přichozích signálů, který je navíc amplitudově modulován signálem o hodnotě tohoto rozdílového kmitočtu. V důsledku toho vnímáme pouze tento nový tón ve formě záznějů, ve fyziologické akustice často označovaných jako rázy. Z hlediska komprese digitálních zvukových signálů je výhodnější nahradit čistý maskovací tón úzkopásmovým, potažmo širokopásmovým šumem, který je schopen maskovat daleko větší část frekvenčního spektra, zejména střední kmitočty.

Při zdrojovém kódování zvukových signálů naopak harmonický signál maskuje kvantizační šum, který vzniká konečným počtem kvantizačních hladin při A / D převodu (např. kódér MPEG [5]).



Obr. 3.3: Princip frekvenčního maskování (převzato z [1]).

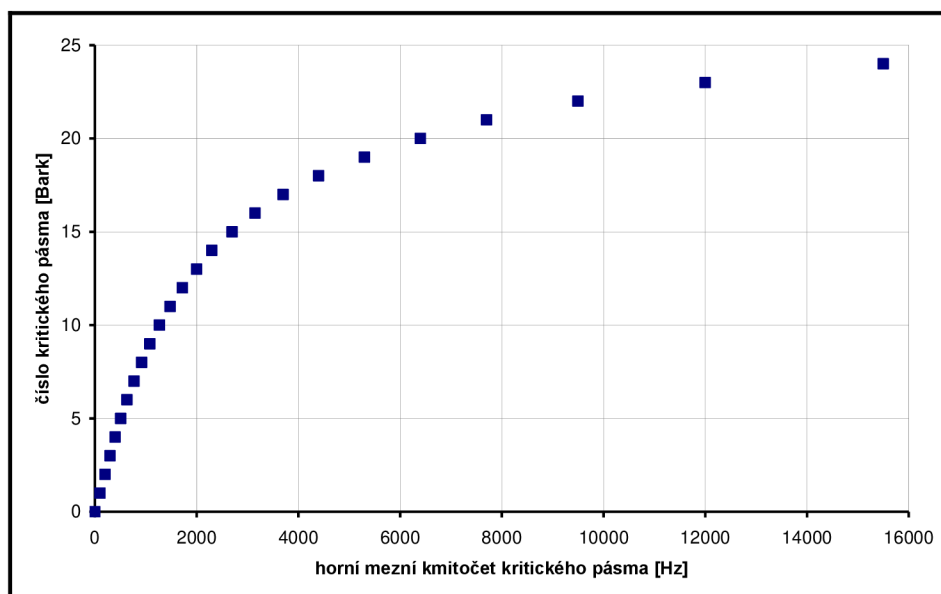
- *Časové maskování* – nastává v případě, kdy mají maskovací a maskovaný signál velmi malou časovou diferencí. Zde se jedná o maskování předběžné (*pre-masking*), kdy maskovaný signál těsně předbíhá signál maskovací, nebo zpětné (*post-masking*), kdy maskovaný signál následuje bezprostředně po signálu maskovacím. Vlivem setrvačnosti lidského ucha má post-masking daleko delší dobu trvání (viz obr. 3.4).



Obr. 3.4: Průběh časového maskování (převzato z [1]).

3.3 Kritická pásma slyšení

Další důležitou vlastností lidského ucha je způsob analýzy frekvence přichozícího akustického signálu. Vlivem fyzických dispozic tohoto orgánu totiž dochází k mapování jednotlivých frekvencí z kmitočtové oblasti do prostorové lokality vnitřního ucha. Tímto způsobem se celé frekvenční spektrum rozdělí na tzv. *kritická pásma*, což jsou pásma, ve kterých dochází za určitých podmínek ke konstantnímu vnímání hlasitosti. Dle literatury [21] je kritických pásem v rámci slyšitelné oblasti 24, přičemž každé je určeno svou šířkou a středním kmitočtem. Pořadové číslo daného pásma v závislosti na jeho dolním mezním kmitočtu je určeno *barkovou stupnicí*, kdy každý Bark odpovídá stejně dlouhému segmentu hlemýždě vnitřního ucha a určuje polohu na bazilární membráně, kde dojde k maximálnímu rozkmitu vláskových buněk. Toto rozdělení bylo zjištěno experimentálně a umožňuje jednodušší aproximaci maskovacích křivek transformovaných do barkové stupnice. Šířka pásma jednoho Barku byla určena maskováním testovacího čistého tónu úzkopásmovým šumem, který byl vystředěn do blízkého okolí kolem tohoto tónu. Pokud se šířka pásma šumu rovnala šířce pásma tvaru funkce sluchového vnímání a hodnoty užitečného výkonu a výkonu šumu byly stejné, tón již nebyl slyšet a daná šířka pásma potom odpovídala jednomu pásmu kritickému. U velmi nízkých tónů je šířka pásma téměř konstantní, poté roste s frekvencí [21], jak je patrné z obr. 3.5.



Obr. 3.5: Graf závislosti šířky kritického pásma na kmitočtu (převzato z [21]).

4 EXPERIMENTÁLNÍ PSYCHOAKUSTIKA

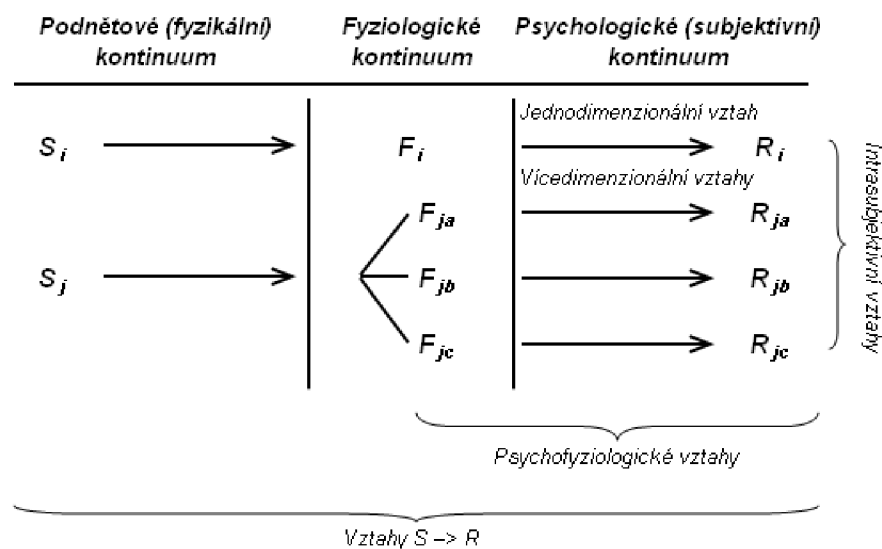
Tato aplikovaná psychologická disciplína popisuje transformaci akustické vlny z roviny objektivně fyzikální do roviny subjektivního vnímání a zjišťuje tak kvantitativní vztahy mezi akustickými podněty a sluchovými vjemy. Jde o poměrně nový vědní obor kombinující poznatky z obecné psychologie a akustiky, jehož základy se začaly objevovat koncem 90. let v Německu, tehdy ještě jako vedlejší produkt *experimentální psychofyziky* [10].

Vnímání neboli percepce jako taková patří mezi základní procesy kognitivní psychologie a je definována jako organizace a interpretace sensorických informací. Obsahuje dva subprocesy, tj. organizace percepčního pole, kdy dochází k tzv. centraci na figuru, a rozpoznávání, kdy člověk začíná chápat významy těchto percepovaných objektů [12]. V literatuře [10] jsou uvedeny dvě odlišné teorie procesu vnímání z hlediska psychofyziky. Podle jedné existují vztahy mezi fyzikálními podněty a vyvolanými smyslovými počitky, jakožto elementárními složkami jednoho komplexního vjemu. Druhá zastává pojetí, podle níž každý vjem představuje čistě individuální celistvý prožitek, který takovým způsobem dělit nelze. Zkoumá tak kvantitativní vztahy mezi psychologickými proměnnými a určitými jinými proměnnými. Tyto proměnné mohou být kvalitativní, což jsou proměnné, jejichž hodnoty nelze vyjádřit numericky, ale pouze slovně. Předmětem studií jsou však téměř vždy proměnné kvantitativní, jejichž aktuálním hodnotám se říká data. Dále pak lze mezi proměnnými rozlišit tři druhy vztahů [10]

- *Vztah $S \rightarrow R$* – je vztah mezi podnětovou fyzikální proměnnou (*Stimulus*) a psychologickou subjektivní proměnnou (*Response*). Změny podnětové nezávislé proměnné jsou příčinou změn psychologické závislé proměnné, jakožto jejich reakcí na ně. Příslušný smyslový orgán je zde považován pouze za „černou skříňku“.
- *Psychofyziologický vztah* – je kauzální vztah příčiny a následku mezi fyziologickou a psychologickou proměnnou. Zde je nezávislou proměnnou fyziologický proces.

- *Intrasubjektivní vztahy* – jsou pak vzájemné vztahy mezi různými psychologickými proměnnými bez ohledu na možné příčiny jejich vzniku. Zjišťuje se zde pouze těsnost vztahu vyšetřovaných proměnných, při jehož výzkumu se často využívá statistická metoda korelační analýzy.

Tyto vztahy, které psychofyzika vyšetřuje, pak vytvářejí celkové schéma subjektivního vnímání, přičemž podle počtu odpovídajících proměnných lze rozlišit vztahy jednorozměrné a vícerozměrné (obr. 4.1).



Obr. 4.1: Schématické znázornění subjektivního vnímání (převzato z [10]).

4.1 Psychoakustická měření

Měření v psychologii je dle definice chápáno jako „přiřazování čísel objektům nebo jevům podle určitých pravidel“ [10]. Psychoakustická měření jsou součástí tzv. psychometrie, tedy disciplíny, zabývající se měřením psychických jevů pomocí různých psychometrických metod.

Interpretace naměřených hodnot psychoakustických proměnných se provádí pomocí vhodného druhu škálování. Rozlišujeme celkem čtyři typy psychologických škál dle *Stevensova systému hierarchického třídění* [18], které jsou popsány v literatuře [10]

- *Nominální škála* – představuje nejnižší úroveň měření a nejjednodušší typ psychologické škály. Jde o pouhé třídění neboli kategorizaci získaných dat, definované jako zařazování objektů nebo jevů podle určitého kritéria do kategorií, které se vzájemně vylučují.
- *Pořadová škála* – je nižší forma kvantifikace naměřených výsledků, kdy už je možné vyjádřit jejich vzájemný pořadový vztah. Vzhledem k tomu, že stále jde o škálování nemetrické, není možné určit velikost rozdílů mezi jednotlivými body stupnice. Nelze tedy předpokládat, že intervaly mezi sousedními body na pořadové škále jsou stejně velké.
- *Intervalová škála* – představuje nižší úroveň metrického škálování, kde je již možné určit jednotku měření, tedy interval, jemuž v kterékoliv části stupnice odpovídá stejně velký rozdíl měřené subjektivní proměnné. U této škály musí být určen její relativní nulový bod (počátek), směr a velikost jednotky měření. Lze porovnávat velikost různých intervalů, tj. číselné rozdíly mezi různými dvojicemi hodnot na stupnici, avšak není dovoleno vyjadřovat jednu číselnou hodnotu jako zlomek nebo násobek druhé. Na naměřená data je také přípustné aplikovat lineární transformaci ve tvaru

$$y = a + bx, \tag{4.1}$$

- kde
- x je libovolná hodnota původní škály,
 - y je její korespondující hodnota na škále transformované,
 - a je konstanta umožňující posunutí nulového bodu,
 - b je nenulová konstanta ovlivňující velikost jednotky měření, případně směr stupnice (při záporném znaménku).

- *Poměrová škála* – je vůbec nejvyšší úroveň měření a proto jsou nároky kladené na vlastnosti měřených objektů či jevů rovněž nejvyšší. Přibyla zde možnost určovat stejné poměry mezi dvěma jakýmkoliv body stupnice a stanovit absolutní nulový bod. Výsledky můžeme upravit podobnostní transformací ve tvaru

$$y = bx, \quad (4.2)$$

přičemž označení proměnných je stejné jako ve vzorci (4.1).

Kvalita měření je často spojována s metodou standardizovaných psychologických testů, které jsou definovány jako „*měřící metody určené k individuálnímu zjišťování různých lidských schopností, znalostí či dovedností, anebo k posuzování struktury a uzpůsobení lidské osobnosti*“ [10]. Pro kvantitativní vyjádření dosažených výsledků se používá termín testové skóre. Hlavními kritérii pro posouzení kvality jakéhokoliv psychologického měření jsou [10]

- *Reliabilita* – tj. spolehlivost a přesnost, s níž měřící metoda měří, co měří. Je čistě vnitřní záležitostí měřící metody a je charakterizována chybou měření, což je odchylka naměřené hodnoty od hodnoty skutečné. Vyskytovat se může ve formách systematických, jejichž hodnoty jsou při různých měřeních přibližně stejné, a náhodných, jejichž velikost a směr nelze předpokládat.
- *Validita* – neboli platnost měření vyjadřuje, do jaké míry psychologický test nebo jiná psychologická měřící metoda skutečně měří to, co měřit má. Kromě měřící metody se také vztahuje k něčemu, co leží mimo metodu samotnou.
- *Objektivita* – je potom stupeň nezávislosti výsledků měření na přání a očekávání jak osob, které měření řídí, vyhodnocují a interpretují jeho výsledky (tj. experimentátora a jeho spolupracovníků), tak osob, které se na měření podílejí jakožto pokusné osoby. Ke stejným nebo podobným výsledkům a závěrům by tedy měly dojít různé osoby při měření předepsaným způsobem a za předepsaných podmínek.

Pomocí uvedených principů lze realizovat např. měření zvukové kvality hudebních nahrávek, nástrojů, aparatur, ale i akustické kvality poslechových prostorů, z hlediska nejrůznějších parametrů. Zajímavou aplikací psychoakustiky je také tzv. *zvukový design výroby*. Jedná se o optimalizaci konstrukce daného zařízení takovým způsobem, aby zvuky, které zařízení za chodu produkuje, byly pro uživatele co nejméně obtěžující a nepříjemné, ideálně pak některé tyto zvuky úplně odstranit. To s sebou většinou přináší vyšší náklady na výrobu a použité materiály, takže je vhodné najít mezi těmito hledisky určitý kompromis.

4.2 Psychoakustický experiment

Tato měření jsou součástí experimentální psychologie, tedy empirické formy výzkumu, který se provádí výhradně pomocí metody experimentu. Jedná se o systematické pozorování určitého psychologického jevu a snahu tento jev pokud možno kvantitativně popsat. Dle definice jde o „*proces, při kterém experimentátor za podmínek jím samotným co nejpřesněji připravených, kontrolovaných a pozměňovaných zjišťuje a zaznamenává (ať kvantitativně či kvalitativně) určité reakce, způsoby chování, projevy nebo prožitky pokusných osob, aby ověřil hypotézu o kauzální závislosti těchto výsledků na experimentálních podmínkách*“ [10]. Tyto podmínky lze stanovit v přirozeném nebo laboratorním prostředí, přičemž obě formy mají své výhody i nevýhody. Přirozené prostředí je sice autentičtější a dosažené výsledky jsou poměrně vypovídající, na druhou stranu však lze v tomto prostředí jen velmi těžko udržovat stálost počátečních podmínek experimentu. Laboratorní prostředí umožňuje nastavení konstantních podmínek měření a lepší kontrolu proměnných, ale také se zde může vyskytnout zkreslení výsledků z důvodu určité sterility a nerealističnosti.

Implementaci experimentu do psychologie přispěl rozvoj tzv. *behaviorismu*, jednoho z nejdůležitějších psychologických směrů 20. století v Americe. Tehdejší vědci považovali osobnost za soubor ustálených zvyků chování a uvažování, které jsou důsledkem působení okolního prostředí. Tato teorie popírá mysl a reakce na podněty definuje pouze jako fyziologické pochody v nervovém systému (tzv. vzorce chování), které jsou determinovány okolím [12].

Psychoakustický experiment je pak v literatuře [10] definován jako specifická forma psychologického experimentu zaměřená na sledování účinků zvukových podnětů. V některých případech bývá doplňován nebo i nahrazován další možnou formou používanou v empirickém výzkumu psychoakustických procesů, a to metodou výběrového šetření neboli průzkumu. Jedná se o sběr informací od skupiny osob, nejčastěji technikou standardizovaných dotazníků nebo interview.

Při psychoakustickém experimentu jsou zkoumány účinky nezávisle proměnné a zjišťovány hodnoty závisle proměnné, jakožto hodnoty cílové. Obvykle ale nastane situace, kdy výsledek měření ovlivňují ještě další nežádoucí proměnné, které experimentátor není schopen kontrolovat. Omezení vlivu těchto vnějších rušivých proměnných je poměrně složitou záležitostí a lze ho dosáhnout například jejich změřením a následnou eliminací vhodnou statistickou metodou nebo snahou o jejich zkonstantnění [10].

Celkovou strukturu psychoakustického experimentu lze zhruba charakterizovat těmito etapami [10]

- a) kritické studium zdrojů informací,
- b) vymezení problému a formulování hypotéz,
- c) výběr podnětů,
- d) výběr pokusných osob,
- e) návrh experimentální procedury,
- f) sestavení plánu experimentu,
- g) sběr dat,
- h) statistická analýza dat,
- i) interpretace výsledků a napsání zprávy.

4.3 Psychoakustické metody měření

Velice důležitou etapou celého výzkumu je volba jedné nebo více metod psychometrie, které by byly pro povahu experimentu vhodné. Jejich rozdělení vychází z *Guilfordova třídění psychofyzických a škálovacích metod* [4] a bere v úvahu jak hlavní cíl měření,

tedy výsledný typ psychologické škály, tak způsob měření. Ten může být založen na přímém pozorování měřených objektů (*direktní metody*) nebo na pravděpodobnosti výskytu naměřených výsledků (*indirektní metody*). Toto rozdělení v závislosti na obou klasifikačních principech je uvedeno v tab. 4.1. Některé metody se v tabulce objevují vícekrát, protože je lze použít pro oba principy a tedy i různé cíle měření.

Tab. 4.1: Guilfordovo třídění psychofyzických a škálovacích metod (převzato z [10]).

Hlavní cíl měření	Direktní metody	Indirektní metody
Určování ekvivalence podnětů	Metoda průměrné chyby Metoda minimálních změn	Metoda konstantních rozdílů Metoda párového srovnávání
Určování pořadí podnětů	Metoda seřazování do pořadí Metoda následných kategorií Metody posuzování na subjektivních posuzovacích škálách	Metoda párového srovnávání Metoda rozvinutí dat
Určování rovnosti intervalů	Metoda právě postřehnutelných rozdílů Metoda stejných vzdáleností Metoda zdánlivě stejných intervalů	Metoda párového srovnávání Metoda seřazování do pořadí Metoda triadického srovnávání Metoda čtveřic Metoda následných kategorií Metoda podobných reakcí Metoda vyvážených hodnot
Určování poměrů	Metoda dělení na části Metoda násobných podnětů Metoda konstantního součtu	Metody srovnávání poměrů

Psychometrické metody, které nejčastěji připadají v úvahu pro psychoakustická měření, jsou [10]

- *Metoda konstantních podnětů,*
- *Metoda párového srovnávání,*
- *Metoda seřazování do pořadí,*
- *Metody posuzování na subjektivních posuzovacích škálách,*
- *Metoda nastavování zvukových podnětů,*
- *Metoda sémantického diferenciálu,*
- *Metoda měření podobnosti zvukových podnětů.*

Pro některé aplikace je vhodné tyto měřicí metody různě kombinovat. Jejich použití je v psychoakustice obvykle dáno formou *poslechových testů*, které umožňují měření subjektivní zvukové kvality velmi efektivním způsobem.

5 REALIZACE POSLECHOVÝCH TESTŮ

V práci [9] byly pomocí *metody nastavování zvukových podnětů* změřeny prahy slyšitelnosti pro různé druhy šumů na pozadí hudebních a řečových signálů. Zde toto měření rozšíříme o subjektivní určení *míry slyšitelnosti* šumového signálu v hudebním úryvku. Jinými slovy budeme zjišťovat, jak *moc* je šum v hudbě slyšet a do jaké míry ruší posluchačův kontinuální sluchový vjem. Výsledkem by mělo být zachycení kvalitativní povahy tohoto jevu prostřednictvím kvantitativního vyjádření na pomezí pořadové a intervalové psychologické škály.

5.1 Posuzování na subjektivních posuzovacích škálách

K tomuto účelu je nevhodnější využít direktní *metodu posuzování zvukových podnětů na subjektivních posuzovacích škálách* (*rating-scale procedure, rating method*). Jde o nejoblíbenější a nejužívanější psychometrickou metodu, protože její aplikace je rychlá, jednoduchá a univerzální. Pro pokusné osoby je navíc poměrně zajímavá, protože interpretace jejich *soudů* bývá pro většinu jedinců velmi intuitivní. Spočívá v umístění daného podnětu na spojitém psychologickém kontinuu v závislosti na posouzení vjemu, který tento podnět v posluchači vyvolal [10].

Z Guilfordova rozdělení subjektivních posuzovacích škál připadají pro posuzování zvukových podnětů v úvahu dva typy [10]

- *Numerická škála* – je tvořena posloupností celých čísel, která je doplněna slovními popisy všech nebo alespoň některých hodnot. Posluchač má za úkol přiřadit každému podnětu to číslo stupnice, jehož slovní popis nejlépe odpovídá vyvolanému vjemu. Hlavním předpokladem při sestavování numerické škály je alespoň přibližné splnění podmínky vzájemné korespondence hodnot psychoakustické proměnné s jejich slovními popisy. Přírůstky číselných hodnot by tedy měly co nejvíce odpovídat významovým rozdílům mezi sousedními definicemi, takže měření by mělo probíhat alespoň na úrovni intervalové škály.

- *Grafická škála* – je nejpoužívanějším typem subjektivní posuzovací škály, protože práce s ní je pro posluchače zajímavější a snazší než se škálou numerickou. Posuzování podnětů se zde provádí grafickým vyznačením bodu na úsečce, kam by posluchač posuzovaný podnět umístil. Tyto úsečky se mohou lišit délkou, měřítkem, číselným nebo slovním popisem jednotlivých bodů a také vodorovnou nebo svislou orientací. Navrhování a používání grafických škál se řídí mnoha zásadami a doporučeními, která by měla být respektována, avšak pouze s ohledem na povahu hlavního cíle měření.

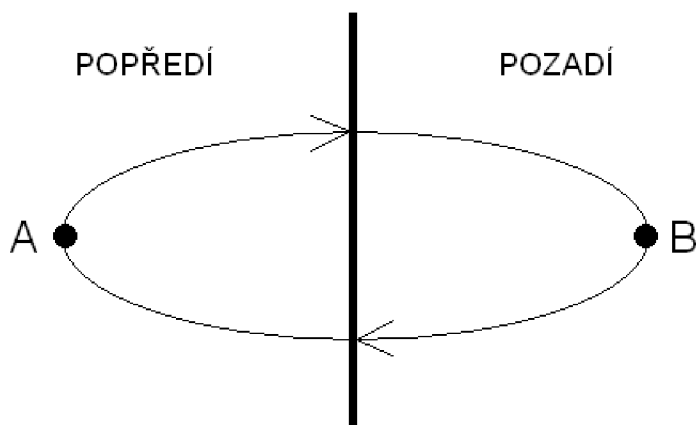
Společným krokem pro oba typy je pak určení názvu a počtu stupňů posuzovací škály a sestavení definic a popisů jejich jednotlivých stupňů i samotné měřené subjektivní proměnné. Tyto údaje by měly být co nejstručnější, nejvýstižnější a dobře srozumitelné i pro laika. Pro volbu počtu stupňů však neexistuje žádný univerzální způsob, který by byl vhodný pro každou situaci. Obecně se výsledný počet stupňů v experimentální psychologii pohybuje v rozmezí od 2 do 21, přičemž nejčastěji se doporučuje sedmistupňová škála [4], [10].

5.2 Sestavení subjektivní posuzovací škály

Na základě předchozích poznatků byla v této práci zvolena *sedmistupňová bipolární numerická škála* pro měření subjektivní psychoakustické veličiny *míra zašumění hudebního signálu*, definované jako *určení slyšitelnosti šumu pozadí v hudební nahrávce, tedy jak moc je šum v nahrávce slyšet*. Bipolární charakter stupnice je dán jejím zakotvením dvěma významově protikladnými extrémy, mezi kterými se dané psychologické kontinuum rozprostírá. V tomto případě jde o dvojici antonymních sousloví *zcela nezašuměný – zcela zašuměný*. Slovním popisem jsou opatřeny i všechny kotevní body mezi těmito póly.

Tento přístup částečně vychází z *metody sémantického diferenciálu*, která se v psychoakustickém výzkumu používá k zjišťování základních percepčních dimenzí vícerozměrných subjektivních veličin. Takto se dané objekty hodnotí podle souboru mnoha dílčích faktorů, což umožňuje jejich komplexnější posouzení z hlediska jejich vlastností, barvy zvuku nebo zvukové kvality (např. v pracích [2], [8]).

Z hlediska rušivého efektu při vnímání reprodukované hudby je škála doplněna o popis vycházející z doporučení [13] pro subjektivní posuzování míry poškození akustického signálu, k čemuž dochází v audiosystémech při přenosu signálu od zdroje zvuku k uším posluchače. Zde uvedené popisky v posledním sloupci jsou také založeny na principech obecné psychologie, zejména procesu organizace percepčního pole. Teoretický konstrukt tohoto děje je znázorněn na obr. 5.1.



Obr. 5.1: Průběh organizace percepčního pole.

Výsledná podoba subjektivní posuzovací škály pro posouzení míry zašumění hudebního signálu je uvedena v tab. 5.1.

Tab. 5.1: Subjektivní posuzovací škála pro určení míry zašumění hudebního signálu.

stupeň	slovní popis	doplňující popis rušivého efektu
0	zcela nezašuměný	<i>nahrávka je naprosto čistá, hudbu vnímám nerušeně</i>
1	téměř vůbec nezašuměný	<i>šum pozadí je postřehnutelný, avšak skoro neruší</i>
2	mírně zašuměný	<i>mírně rušivý</i>
3	částečně zašuměný	<i>rušivý</i>
4	velmi zašuměný	<i>velmi rušivý</i>
5	téměř úplně zašuměný	<i>hudba je šumem vytlačena na pozadí, skoro ji neslyším</i>
6	zcela zašuměný	<i>nahrávka je naprosto zarušená, vnímám už pouze šum</i>

Z porovnání všech psychoakustických metod měření dle [10] vyplývá, že navržený postup je relativně časově nenáročný, je vhodný i pro velký počet podnětů a umožňuje vytvoření pořadové až intervalové stupnice, což vyhovuje zadání. Počet soudů jedné osoby je zde dán vztahem

$$o = kn, \quad (5.1)$$

kde n je počet měřených objektů a k počet opakování měření.

5.3 Druhy zkreslení audio signálů

Při přenosu audiovizuálních informací dochází, vlivem nedokonalosti použitých technických prostředků, ke ztrátě informace a vzniku rušivých signálů, které přijímané informace do jisté míry znehodnocují. Tyto *šumy* jsou produktem nutných transformačních operací pro přizpůsobení přenášeného signálu danému komunikačnímu kanálu. V našem případě jde například o převod analogového signálu na digitální, zdrojové kódování audio signálů pomocí různých komprimačních algoritmů nebo kanálové kódování zvyšující odolnost proti vlivům okolního prostředí. Tyto procesy mají za následek určité *zkreslení* výsledného audio signálu, které sdružuje všechny dílčí nedokonalosti elektroakustického řetězce a určuje celkovou podobu signálu vnímanou posluchačem. Obecně tedy lze toto zkreslení definovat jako [16]

$$z(t) = m(t) + n(t), \quad (5.2)$$

kde $m(t)$ je okamžitá velikost užitečného (původního) signálu,

$n(t)$ je okamžitá velikost šumového signálu,

$z(t)$ je okamžitá velikost výsledného signálu vnímaná posluchačem.

Jedním z nejdůležitějších parametrů takového přenosu je *odstup signálu od šumu* (*Signal to Noise Ratio, SNR*), který udává výkonový poměr užitečného a šumového signálu, vyjádřen jako [16]

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_0^t m^2(t)}{\sum_0^t n^2(t)} \text{ [dB]}, \quad (5.3)$$

přičemž označení signálů je stejné jako ve vzorci (5.2).

V přenosových soustavách lze z hlediska charakteru rozlišit několik druhů zkreslení, které mohou mít vliv na výsledný sluchový vjem posluchače.

- *Harmonické zkreslení* – je způsobeno nelinearitou aktivních součástí přenosové soustavy, čímž dochází ke vzniku vyšších harmonických složek, které jsou určeny celistvým násobkem kmitočtu základní harmonické původního signálu a jsou k tomuto signálu přičteny. V přenášeném signálu dochází ke změnám tvaru amplitudy a signál je tak zkreslen. Míra tohoto zkreslení je obvykle definována veličinou THD (*Total Harmonic Distortion*), která představuje výkonový poměr vyšších harmonických a základního signálu. Vyjadřuje se v procentech a její hodnota by měla být co nejmenší (např. u reproduktorů typicky do 5%). Toto zkreslení je posluchačem vnímáno jako tón určité frekvence, přičemž sudé harmonické nepůsobí tak rušivě jako harmonické liché [14].

Zvláštním případem harmonického zkreslení je tzv. oříznutí signálu (*clipping*), kdy jsou odstraněny ostré signálové špičky nad určitou úrovní v kladné i záporné části signálu. Je to důsledek přebuzení zesilovače, který začne signál ořezávat pouze na hodnotu svého maximální zesílení. Vlivem vzniku vyšších harmonických dochází ke zkreslení signálu ve výškách, s rostoucím výstupním výkonem se zvyšuje i jeho celková hlasitost a sinusový signál se tak stále více blíží signálu obdélníkovému. Takto zkreslený audio signál obvykle nelze úplně opravit, protože informace obsažené ve špičkách jsou zcela ztraceny.

Částečné obnovy těchto informací lze dosáhnout například vhodnou interpolací známých vzorků signálu.

- *Intermitentní zkreslení* – je opět následek nelinearity přenosového systému a projevuje se vznikem součtových a rozdílových kombinací různých harmonických složek. Tyto nežádoucí produkty již nesouvisí s původním signálem a proto působí mnohem rušivěji, zejména na vyšších kmitočtech. Krajním případem je přítomnost velmi nepříjemného „pazvuku“ v původním signálu, který je nespojitý a neustále se opakuje s určitou periodou.
- *Impulsní zkreslení* – charakterizuje ho krátká doba trvání a vysoká výkonová úroveň. Obvykle je způsobeno přechodovými jevy spínacích prvků elektroakustického řetězce a ve výsledném signálu ho lze identifikovat jako posloupnost impulzů (tzv. shlukové chyby), které jsou přičteny k šumu pozadí.
- *Stochastické zkreslení* – je zkreslení způsobené zcela náhodným rušivým signálem. Tento signál nelze, na rozdíl od signálu deterministického, jednoznačně popsat rovnicí okamžité hodnoty v čase pomocí konstantních parametrů, ale pouze statisticky. Jeho hlavní vlastností je tedy velmi nepravidelné chování a nezávislost na čase. Četnost různých hodnot v takovém signálu lze vyjádřit graficky pomocí histogramu, přičemž s rostoucím počtem naměřených hodnot se tento graf blíží tzv. *normálnímu (Gaussovu) rozdělení*. Toto rozdělení představuje rozptyl signálu kolem střední hodnoty a většina šumů má právě takovýto charakter [16]. Podle stálosti statistických parametrů v čase lze rozlišit náhodné signály stacionární a nestacionární, případně lze mluvit o signálech pseudonáhodných, které jsou generované počítačovým algoritmem. V audio signálech je stochastický šum nejzřetelnější v tichých pasážích, kdy není maskován užitečným signálem a tedy hodnota parametru SNR je velmi nízká. Kvůli snadnému rozlišení různých typů šumu byla zavedena přibližná analogie mezi frekvenčním spektrem těchto signálů a frekvenčním spektrem barevného světla [14].

Bílý šum (*White noise*) je náhodný signál s přibližně plochým spektrem a konstantní spektrální hustotou výkonu. Dvě jakákoliv stejně široká pásma mají tedy stejnou energii. Podobně jako v bílém světle jsou v něm rovnoměrně zastoupeny všechny frekvence, což je patrné z jeho spektrogramu. Ten zobrazuje spektrum signálu jako funkci času, kdy vertikální osa představuje frekvenci a amplituda je udávána pouze relativně např. ve stupních šedi jednotlivých obrazových bodů (tmavá maxima, světlá minima), jde tedy o pseudotrojrozměrné zobrazení. Bílý šum je hojně využíván pro měřicí nebo umělecké účely a jeho vhodnou filtrací lze získat zcela odlišný typ šumu, viz dále.

Růžový šum (*Pink noise*) je signál, jehož hustota výkonu lineárně klesá s převrácenou hodnotou frekvence. Spektrální sklon růžového šumu je 3 dB na oktávu, takže vyšší frekvence jsou v něm zastoupeny méně. Inverzně k tomuto signálu existuje šum modrý (azurový).

Hnědý šum (*Brownian noise*) se také někdy označuje jako šum červený (*red noise*) a jeho hustota výkonu klesá s převrácenou hodnotou druhé mocniny frekvence. Sklon je tedy 6 dB na oktávu, takže některé vyšší frekvence nejsou v signálu vůbec obsaženy. Křivka časového průběhu takového signálu nemá tak ostré vrcholy, šum působí mnohem jemněji a ne tak rušivě a lze ho přirovnat například ke hluku při silném dešti. Opakem hnědého šumu je šum fialový (purpurový).

Šedý šum (*Grey noise*) je původní bílý šum podroben korekcí váhovým filtrem typu A, jehož invertovaná korekční křivka modeluje vnímání zvuku lidským sluchovým orgánem. Šedý šum se proto v psychoakustice používá k měření křivek stejné hlasitosti [10].

- *Výpadky signálu* – se projevují jako velmi rychlý pokles výkonové úrovně, kdy po určitou dobu je signál prakticky neslyšitelný, a poté rychlý nárůst na původní hodnotu. V tomto přechodu má tedy signál nespojitý charakter.

Samotný užitečný signál, reprezentující reálný zvuk nebo hudební úryvek formou elektrického napětí, má obvykle velmi složitý tvar frekvenčního spektra a proto lze říci, že se nejvíce blíží signálu náhodnému. Obsahuje různé frekvence v rámci slyšitelného pásma, takže při převodu na číslicový signál musí být vzorkován s minimálně dvojnásobnou frekvencí horní meze tohoto pásma (tato podmínka se označuje jako *Shannon-Kotělnikovův teorém* [16]). Například pro bezztrátový audio formát WAV (*Waveform audio file format*) byla stanovena vzorkovací frekvence 44,1 kHz při 16-ti bitovém kvantování, což odpovídá běžné CD kvalitě. Naopak ztrátové formáty využívající psychoakustického modelu lidského sluchu se pomocí kompresních algoritmů snaží o redukci bitového toku při zachování dostatečné zvukové kvality pro běžný poslech.

5.4 Návrh experimentální procedury

Samotné měření bude probíhat formou poslechových testů částečně řízeného experimentu (pokusná osoba bude mít možnost zasáhnout do jeho průběhu) technikou binaurální stereofonie, tedy za pomoci sluchátek. Experiment bude individuální, takže sezení bude probíhat s každým posluchačem zvlášť za přibližně stejných experimentálních podmínek (standardní poslechová místnost). Posluchači bude předložena sada hudebních nahrávek a jeho úkolem bude nahrávky ohodnotit dle výše uvedené škály (viz kap. 5.2). Nahrávky budou zarušeny několika druhy *stacionárních stochastických signálů* různých hlasitostí, což bude určovat subjektivní míru zašumění hudebního signálu. Hlasitost užitečného signálu všech nahrávek bude po celou dobu měření konstantní, nicméně s proměnnou hodnotou hlasitosti šumu pozadí se bude měnit i výsledný odstup signálu od šumu. Pro přehlednost je v tab. 5.2 uveden seznam všech proměnných, se kterými budeme během měření pracovat.

Tab. 5.2: Přehled proměnných pro měření míry zašumění hudebního signálu.

<i>Proměnná</i>	<i>Počet prvků</i>	<i>Specifikace proměnné</i>	<i>Označení nebo hodnoty proměnné</i>
Nezávisle proměnné:	5		
Posluchač	16	soubor pokusných osob	1, 2, 3, ... , 16
Hudební úryvek	3	Track 48 - Quartet Track 69 - ABBA Track 70 - Eddie Rabbitt	A B C
Typ šumu	3	Cassette Tape Computer Fan Vinyl	N1 N2 N3
Hodnota SNR	7	0, 5, 10, 15, 20, 30, 40	SNR1 SNR4 SNR7 SNR2 SNR5 SNR3 SNR6
Počet opakování	2	1. test 2. test (retest)	1 2
Závisle proměnná:	1		
Míra zašumění hudebního signálu	7	0 ... zcela nezašuměný 6 ... zcela zašuměný	$r = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$

Počty prvků nezávisle proměnných vycházejí z doporučení dle [10] a při jejich stanovení jsem bral v úvahu povahu a časovou náročnost experimentu pro pokusné osoby z hlediska počtu jejich soudů (viz vzorec (5.1)). Výběr samotných prvků vycházel ze zadání bakalářské práce.

- *Výběr pokusných osob* – byl proveden jednoduchou formou libovolného výběru, kdy se vzorek sestavuje z osob, které jsou snadno dostupné a ochotné ke spolupráci [10].
- *Výběr akustických podnětů* – vycházel z veřejně dostupné knihovny pro subjektivní hodnocení zvukové kvality organizace EBU (*European Broadcasting Union*) [17].
- *Hodnoty SNR* – byly zvoleny na základě výsledků interpretovaných v [9], kdy naměřené hodnoty, při kterých šum v nahrávkách již nebyl slyšet, zde posloužily jako mezní hodnoty, které již nemá smysl překračovat.

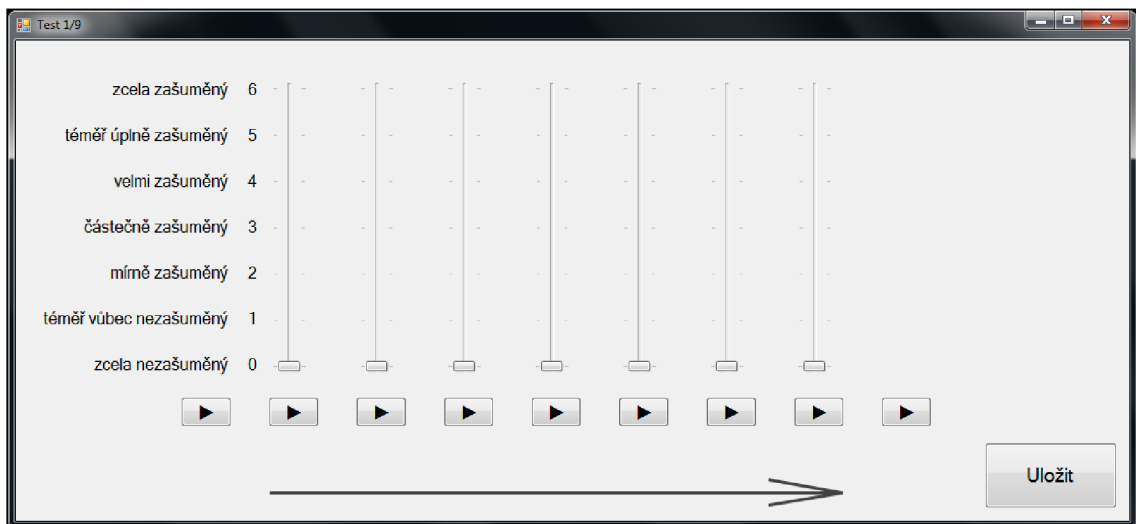
- *Počet opakování* – s ohledem na časovou náročnost stanoven na nejmenší přípustnou hodnotu, tedy hlavní měření a opakované měření (retest).

S ohledem na zvolenou metodu měření lze rozlišit několik druhů chyb, kterými může být experiment zatížen. Jejich minimalizace by však měla být prováděna s přihlédnutím k celkové časové náročnosti experimentu. Mezi nejčastěji se vyskytující systematické chyby patří [10]

- *Efekt pořadí* – představuje závislost účinků různých ošetření, tedy kombinací nezávislých proměnných, na jejich časovém sledu. To lze eliminovat použitím jiného pořadí předkládaných ošetření u každé pokusné osoby. V našem případě bude experimentální sezení probíhat s každou pokusnou osobou zvlášť a pořadí předložených ošetření bude vždy určeno zcela náhodně. Tím také zajistíme nezávislost soudů mezi jednotlivými pokusnými osobami.
- *Chyba ze shovívavosti* – se projevuje tím, že pokusné osoby mají tendenci lépe hodnotit ty objekty, které dobře znají a s nimiž se nějak ztotožňují. Proto nebudeme volit komerční a všeobecně známé nahrávky.
- *Chyba centrální tendence* – způsobuje, že pokusné osoby se zdráhají používat extrémní hodnoty škály a své odpovědi stlačují ke středu stupnice. V našem případě však mají extrémy pouze referenční charakter, takže by toto zkreslení nemělo být významné. V samotném hodnocení je však pokusné osoby mohou použít bez jakéhokoliv omezení.
- *Haló efekt, logická chyba při posuzování, a chyba z blízkosti* – mohou být díky povaze experimentu zanedbány.

Vlastní poslechové testy budou realizovány pomocí počítačové aplikace, která by měla být jednoduchá, intuitivní a měla by mít uživatelsky přívětivé grafické rozhraní. Na základě předběžných testů bylo navrženo vhodné GUI (*Graphic User Interface*) pro získání co nejnáročnějších výsledků od pokusných osob. Každé experimentální sezení bude sestávat z několika testů očíslovaných podle pořadí.

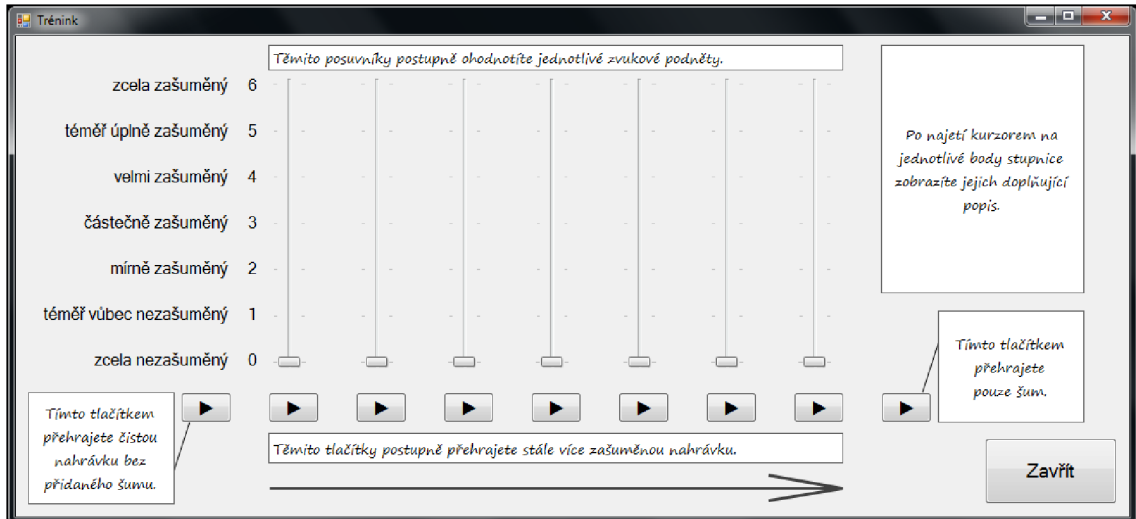
Každý test bude představovat zcela náhodnou kombinaci *nahrávka – šum*, celkem tedy bude třeba ohodnotit 9 kombinací. V rámci jednoho testu bude posluchači předložena sada nahrávek, které si bude mít možnost postupně přehrát pomocí tlačítek. Nad každým tlačítkem bude k dispozici posuvník, který umožní ohodnocení dané nahrávky pomocí příslušné škály. Výsledná podoba jedné takové „obrazovky“ je uvedena na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Grafické rozhraní jednoho testovacího okna.

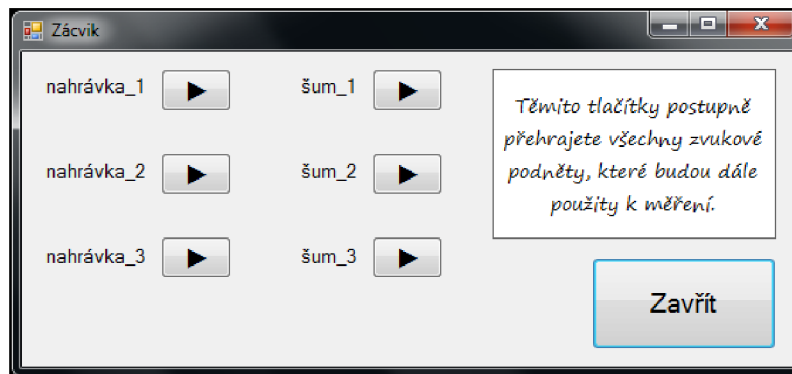
První tlačítko přehrává čistou nahrávku bez přidaného šumu. Dále následuje sada „mixů“ nahrávky a šumového signálu od nejméně zašuměného (největší hodnota SNR) po nejvíce zašuměný (nejmenší hodnota SNR). Poslední tlačítko přehrává už pouze samotný šum. Hodnotí se však pouze podněty mezi dvěma referenčními tlačítky („čistá nahrávka“ a „pouze šum“). Najetím kurzoru myši na jednotlivé body stupnice se zobrazí jejich doplňující popis z hlediska rušivého efektu (viz tab. 5.1). Program je vytvořen tak, aby byl pro uživatele patrný monotónní růst jednotlivých hodnot posuvníků, což odpovídá teoretickým předpokladům. Po ohodnocení všech podnětů a kliknutí na tlačítko „Uložit“ se hodnoty zapíší do tabulky na pozadí programu a vygeneruje se další kombinace *nahrávka – šum*, až do ohodnocení všech kombinací. Poté se program zastaví a po potvrzení uživatelem spustí celé měření znovu (avšak v jiném pořadí) v rámci retestu. Po skončení měření se data vyexportují do výstupního souboru programu Excel.

Další možností aplikace je spuštění zkušebního testu s popiskami všech funkcí programu, jehož hodnoty se však nikam nezapisují a slouží pouze pro pochopení principů samotného měření (obr. 5.3).



Obr. 5.3: Grafické rozhraní tréninkového okna.

Uživatel bude mít také možnost přehrát si všechny referenční podněty v rámci okna „Zácvik“ (obr. 5.4).



Obr. 5.4: Grafické rozhraní zácvikového okna.

Počet přehrání všech stimulů v rámci celé aplikace bude neomezen, takže uživatel bude mít bezprostřední možnost porovnat svá hodnocení v závislosti na změně SNR, pouze ale v rámci jedné „obrazovky“ (obr. 5.2). Mezi jednotlivými stimuly také nebude žádný časový limit na odpověď.

5.5 Sestavení plánu experimentu

V následujícím textu bude popsán přesný průběh experimentu rozdělen do několika bodů. Nejprve bude ze skupiny 16-ti posluchačů náhodně vybrán jeden posluchač, se kterým se experimentální sezení provede. Takto budou postupně vybráni všichni posluchači. Každé experimentální sezení bude probíhat tímto způsobem:

- 1) Posluchač bude podroben instruktáži v ústní i písemné podobě, kde mu budou vysvětleny nejdůležitější principy a cíle měření (vzor instruktážního listu je uveden v příloze A). V této části mu bude také dán prostor pro případné dotazy. Instruktáž by neměla přesáhnout *5 minut*.
- 2) Následovat bude zácvik posluchače, kdy mu budou postupně přehrány všechny hudební nahrávky zcela nezašuměné (referenční stupeň 0) a všechny druhy šumů o maximální hlasitosti. Všechny podněty budou také stručně popsány. Tato část měla trvat zhruba *2 minuty*.
- 3) V rámci tréninku bude posluchači předložena jedna hudební nahrávka zarušená určitým typem šumového signálu a odstupňovaná podle různých hodnot SNR. Posluchač bude mít za úkol ohodnotit míru zašumění těchto stimulů a následně toto hodnocení s experimentátorem stručně diskutovat. Použitá nahrávka a typ šumového signálu však nebudou součástí následného „ostrého“ měření. Délka této části by měla být asi *2 minuty*.
- 4) Poté dojde k samotnému měření pod dohledem experimentátora. Posluchač ohodnotí celkem 9 sad po 7-mi stimulech (další 2 mají pouze referenční charakter – „čistá nahrávka“ a „pouze šum“), přičemž každý stimul si bude moci pustit opakovaně a také ho kdykoliv zastavit, avšak po potvrzení hodnocení daného okna se již k tomuto oknu nebude možno vrátit. Celkem tedy bude vygenerováno 63 stimulů (+ 18 referenčních). Optimální doba trvání jednoho stimulu byla stanovena na 7 sekund. Měření by mělo trvat maximálně *10 minut*.
- 5) Přestávka mezi testem a retestem v délce *2 minut*. Prostor pro případnou doplňující otázku ze strany posluchače.

- 6) Opakované měření dle postupu popsaném v bodě 4) (cca 8 *minut*). Celkem tedy bude ohodnoceno 126 stimulů (při 36-ti referencích, které si však posluchač není povinen přehrát), přičemž každá hudební nahrávka bude ohodnocena 42-krát.
- 7) Po skončení měření bude posluchači předložen krátký dotazník pro zhodnocení několika aspektů poslechového testu (cca 1 *minuta*, viz příloha B).

Jedno sezení by tak mělo trvat maximálně 30 *minut*, což je ještě přijatelné z hlediska časové náročnosti pro pokusné osoby.

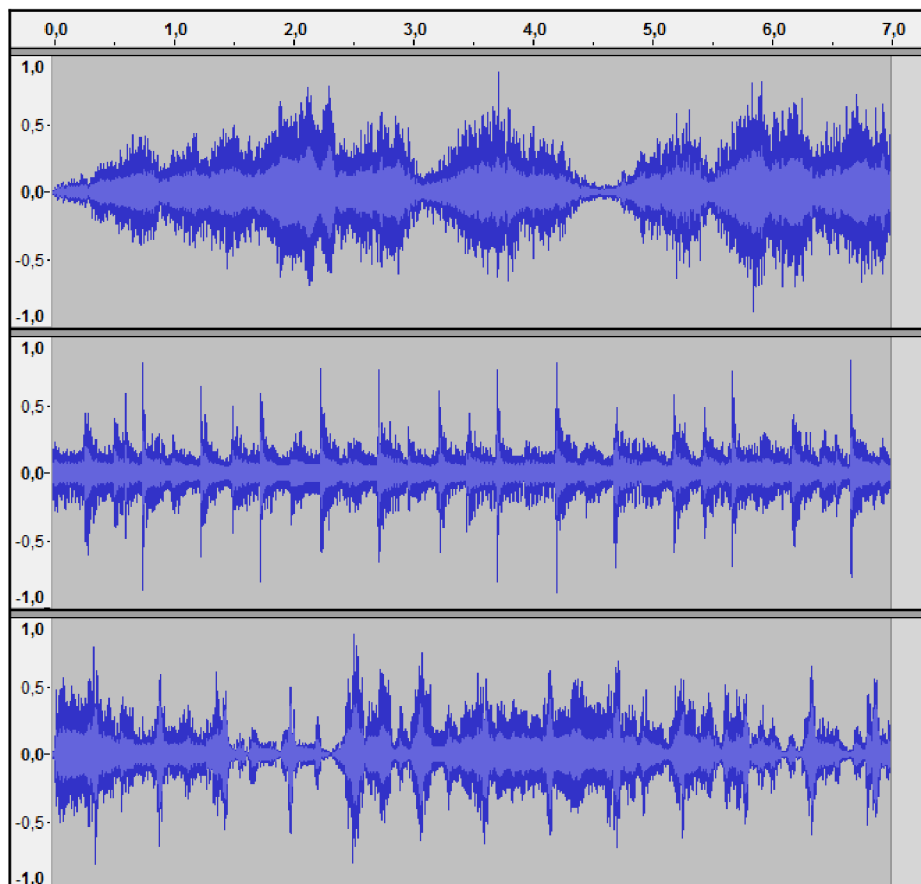
5.6 Technické zabezpečení experimentu

Experiment byl uskutečněn v laboratoři SD 5.61 na Ústavu telekomunikací FEKT VUT v Brně. Použity byly následující hardwarové a softwarové prostředky:

- PC s Win 7 Professional, Service Pack 1
- Externí zvuková karta M-AUDIO ProFire 610
- Sluchátka AKG K 240 MkII
- Microsoft Visual Studio 2010 Professional (*tvorba aplikace v jazyce VB*)
- MATLAB (*vytvoření směsí hudebních nahrávek a šumů*)
- Microsoft Office Professional Edition 2003 (*archivace naměřených hodnot*)

Hudební soubory byly staženy z [17] ve stereofonní podobě bezztrátového formátu FLAC, poté byly zkonvertovány do formátu WAV, převedeny na monofonní stopy a smíchány s šumovými signály. Zvolené nahrávky byly vybírány s ohledem na povahu experimentu a také věkovou skupinu posluchačů. Byla také zohledněna poslechová odlišnost všech tří nahrávek (pouze vokály, pouze hudba, vokály + hudba):

- *Quartet* – vokální kvartet (soprán, alt, tenor a bas) bez hudebního podkladu.
- *ABBA* – zástupce populární hudby elektronického charakteru (bez vokálů).
- *Eddie Rabbitt* – country nahrávka s použitím běžných nástrojů (vokály + zpěv).

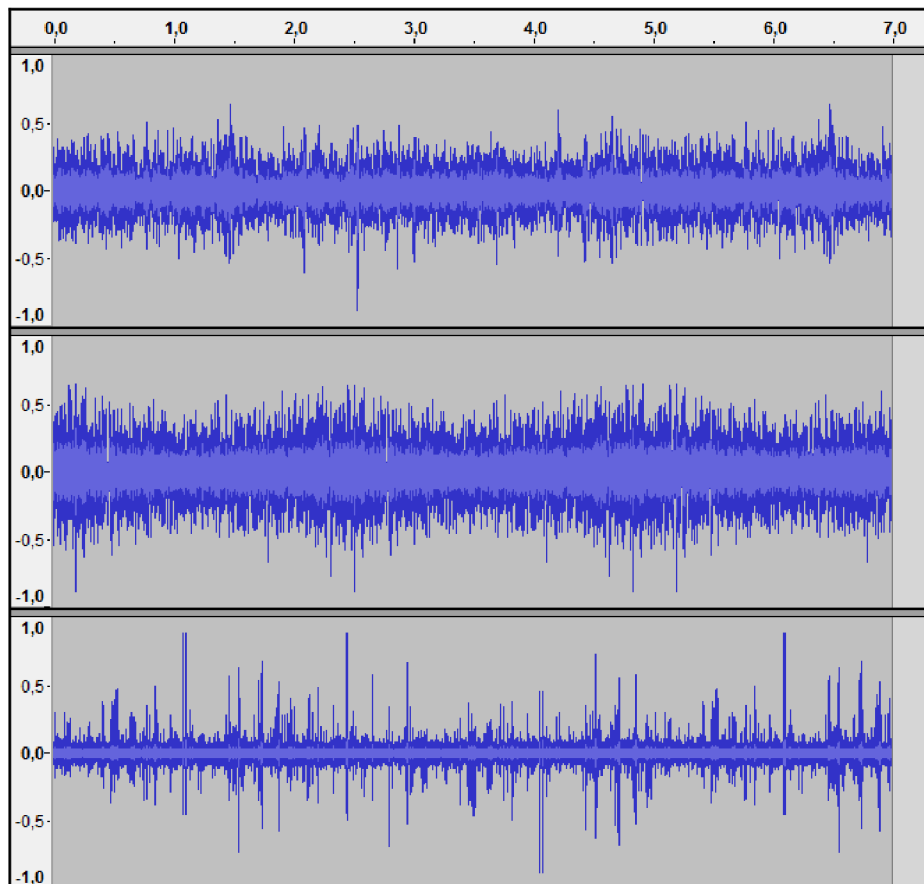


Obr. 5.5: Časové průběhy všech tří hudebních nahrávek
(osa x – čas [s]; osa y – amplituda) v pořadí:

1) *Quartet* 2) *ABBA* 3) *Eddie Rabbitt*

Použité šumové signály reálného charakteru jsou následující:

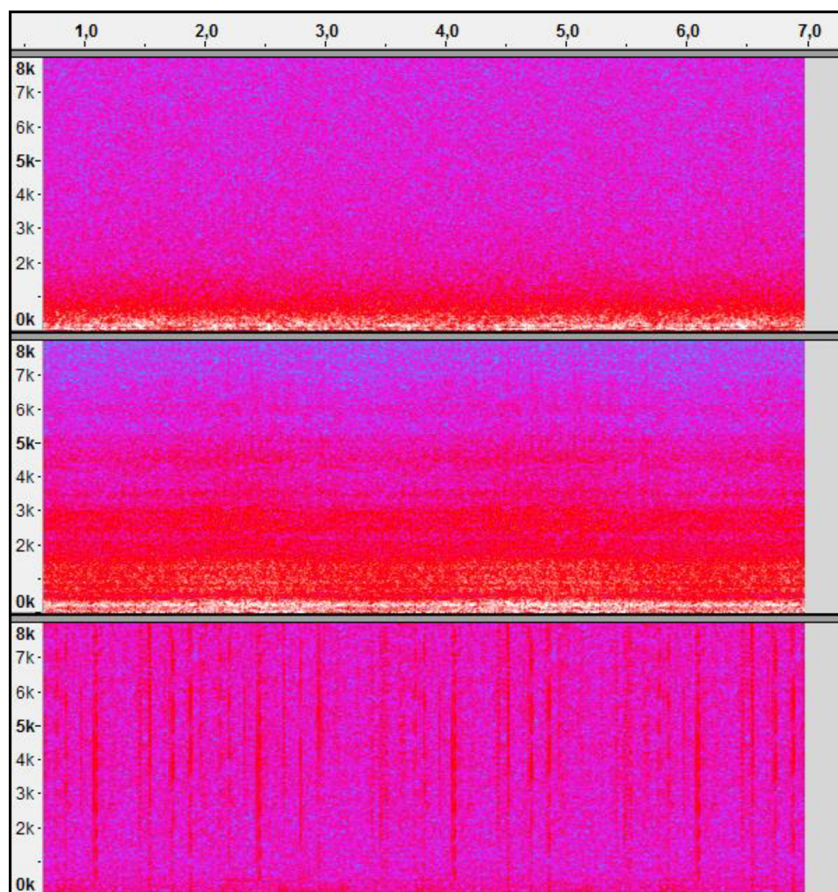
- *Cassette Tape* – šum prázdné magnetofonové kazety, poslechem podobný bílému šumu.
- *Computer Fan* – šum ventilátoru stolního počítače, poslechem podobný šumu růžovému.
- *Vinyl* – impulsní rušení vinylové desky.



Obr. 5.6: Časové průběhy všech tří šumových signálů

(osa x – čas [s]; osa y – amplituda) v pořadí:

1) *Cassette Tape* 2) *Computer Fan* 3) *Vinyl*



Obr. 5.7: Spektrogramy všech tří šumových signálů
 (osa x – čas [s]; osa y – frekvence [Hz]; osa z – PSD [dB/Hz]) v pořadí:
 1) *Cassette Tape* 2) *Computer Fan* 3) *Vinyl*

5.7 Sběr dat

Dle plánu experimentu popsaném v kap. 5.5 byly od všech pokusných osob získány naměřená data. Hodnoty každého posluchače byly uloženy do tzv. *individuálních matic* (viz příloha C), ze kterých byla sestavena jedna *skupinová matice* (viz obr. 5.8). Experimentu se zúčastnilo celkem 16 osob (14 mužů a 2 ženy) převážně studentů FEKT VUT v Brně.

Posluchač	Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
		1							2							3							40	30	20	15	10	5	0
		40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0							
1	A	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	3,5	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0							
2		0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	1,0	2,5	3,5	4,5	5,0	5,5	6,0							
3		0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0							
4		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	4,0	5,0	0,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	4,5							
5		0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	5,5	1,0	2,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0							
6		0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	5,0	5,0							
7		0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	4,5	5,0	0,0	1,0	1,5	2,5	4,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,5	6,0							
8		0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,5	5,0	6,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0							
9		0,0	0,0	1,5	2,5	3,5	4,5	6,0	0,0	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,5	1,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,0							
10		0,0	0,0	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	0,0	0,0	1,5	3,0	4,5	5,0	6,0	2,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,0							
11		0,0	1,0	3,0	4,0	5,0	5,5	6,5	0,0	1,0	2,5	3,5	5,0	6,0	6,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
12		0,5	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	1,5	2,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0							
13		0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	0,0	0,5	2,0	2,5	4,0	5,5	6,0	0,5	2,5	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0							
14		0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0							
15		0,5	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
16		1,0	2,0	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	5,5	6,0							
průměr:		0,2	0,9	2,2	3,2	4,1	4,9	5,5	0,1	0,6	1,6	2,6	3,7	4,7	5,5	1,2	2,3	3,3	4,1	4,8	5,3	5,8	0,5	1,3	2,4	3,3	4,2	5,0	5,6
1	B	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0							
2		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	5,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0							
3		0,0	0,0	1,5	2,0	2,5	3,5	5,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0							
4		0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	3,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,5	2,5	3,5	5,0							
5		0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5							
6		0,0	0,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0							
7		0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	1,0	2,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0							
8		0,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5							
9		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	0,0	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0	6,0							
10		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	5,0	0,0	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	6,0							
11		0,0	0,5	2,0	3,0	3,5	5,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
12		0,0	0,5	2,0	3,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0							
13		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	0,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0							
14		0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	4,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,5							
15		0,5	0,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
16		0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	1,5	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0	6,0							
průměr:		0,1	0,2	1,3	2,2	3,0	4,1	5,2	0,0	0,0	0,5	1,4	2,5	3,7	4,8	0,6	1,7	2,7	3,6	4,5	5,2	5,8	0,2	0,6	1,5	2,4	3,3	4,3	5,3
1	C	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,5	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5	0,0	1,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0							
2		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	0,5	1,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0							
3		0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0							
4		0,0	0,0	0,0	0,5	2,5	3,5	5,0	0,0	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,5	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5							
5		0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0							
6		0,0	0,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,0	4,5	5,0	1,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0							
7		0,0	0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,5	0,0	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0							
8		0,0	0,5	1,5	2,5	4,0	5,0	5,5	0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	4,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0							
9		0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	6,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	0,0	1,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0							
10		0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	0,0	0,0	1,5	3,0	4,0	4,5	5,5	1,0	2,0	4,0	4,0	4,5	5,5	6,0							
11		0,0	0,5	2,0	2,5	4,0	5,0	5,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0	1,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,0	6,0							
12		0,0	0,5	1,5	2,5	4,0	4,0	5,0	0,0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	1,5	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0							
13		0,0	0,5	1,5	2,5	3,0	4,5	6,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,0	4,0	5,5	0,0	1,0	2,0	4,0	4,5	5,0	6,0							
14		0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5							
15		0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	2,0	2,5	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
16		0,0	1,0	2,5	4,0	5,0	5,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	2,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
průměr:		0,0	0,3	1,3	2,3	3,4	4,3	5,3	0,0	0,5	1,4	2,3	3,2	4,2	5,2	0,7	1,4	2,7	3,6	4,4	5,2	5,8	0,2	0,7	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4
Aritmetické průměry pro šumy		0,1	0,5	1,6	2,5	3,5	4,4	5,4	0,0	0,4	1,2	2,1	3,1	4,2	5,2	0,8	1,8	2,9	3,8	4,5	5,2	5,8							

Obr. 5.8: Skupinová matice naměřených hodnot experimentu.

Tato matice poskytuje přehledný souhrn všech naměřených hodnot v rámci experimentu. Každý řádek představuje hodnocení jednoho posluchače (1 až 16) přes všechny tři šumy (1 – kazeta, 2 – větrák, 3 – vinyl) rozdělených podle odstupu od jednotlivých hudebních nahrávek (A – kvartet, B – pop, C – country).

Hodnoty odstupů signálu od šumu tedy postupují od nejméně zašuměné nahrávky ($SNR = 40$) až po nejvíce zašuměnou nahrávku ($SNR = 0$).

Kvůli následné statistické analýze je matice doplněna o výpočty aritmetických průměrů v rámci horizontálního i vertikálního směru matice. Pod každou nahrávkou je řádek představující aritmetické průměry pro všechny pokusné osoby podle hodnoty SNR. Z těchto průměrů jsou v pravé části matice vypočteny hodnoty aritmetických průměrů pro každou hudební nahrávku přes všechny šумы, např. výpočet pro nahrávku A o hodnotě $SNR = 40$ vychází $(0,2 + 0,1 + 1,2) : 3 = 0,5$. Obdobným způsobem jsou vypočteny aritmetické průměry pro každý šum přes všechny hudební nahrávky v dolní části matice.

5.8 Statistická analýza dat a interpretace výsledků

V této kapitole budou interpretovány nejdůležitější výsledky a závěry, které mohly být díky experimentu stanoveny. Všechny jejich interpretace jsou podloženy statistickou analýzou dle postupu uvedeném v [10].

5.8.1 Retestová reliabilita

Nejprve je třeba ověřit vliv tzv. *dependability*, která je dle literatury [10] definována jako „*míra shody výsledků při opakovaném měření, tedy stupeň zobecnitelnosti výsledků vzhledem k času*“. Z toho důvodu se toto kritérium také označuje jako *retestová reliabilita*. Její velikost se odhaduje z velikosti koeficientu korelace (*Pearsonův součinný koeficient*) vypočteného ze dvou sad dat, získaných při prvním a opakovaném měření, tj. při testu a retestu. Tímto způsobem lze posoudit spolehlivost měření celé skupiny pokusných osob (tab. 5.3). Důležitá je i volba délky časového intervalu mezi oběma měřeními (*retestový interval*), která může ovlivnit tzv. *krátkodobou stabilitu měření* (v našem případě byla prodleva mezi oběma měřeními relativně krátká). Pro každou individuální matici hodnot byl tedy vypočítán korelační koeficient ve tvaru [10]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right) \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2 \right]}}, \quad (5.4)$$

kde x_i, y_i jsou vzájemně korespondující hodnoty korelovaných proměnných x a y ,
 N je počet členů v každé z obou řad při $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

Tab. 5.3: Hodnoty korelačních koeficientů.

posluchač	r
1	0,955
2	0,978
3	0,949
4	0,958
5	0,941
6	0,939
7	0,966
8	0,924
9	0,976
10	0,967
11	0,950
12	0,953
13	0,947
14	0,951
15	0,970
16	0,941

Jeho velikost může nabývat hodnot v rozsahu $r \in \langle -1; 1 \rangle$, přičemž extrémní hodnoty vyjadřují nejtěsnější možný lineární vztah mezi korelovanými proměnnými v dopředném nebo zpětném směru (podle znaménka). Vzhledem k tomu, že vypočtené hodnoty jsou velmi vysoké a u žádného posluchače nebyla zjištěna statisticky významně nízká hodnota korelačního koeficientu, lze považovat naměřené hodnoty testu a retestu za signifikantní. Na základě těchto výsledků můžeme říci, že žádný z posluchačů neprovedl vlivem nepozornosti chybné měření (např. výrazně odlišné hodnocení stejného podnětu v testu a retestu vlivem nechtěného kliknutí myši apod.).

Zajímavé je také porovnání délky jednotlivých měření u různých pokusných osob. Při plánování experimentu jsme předpokládali, že délka testu by měla trvat maximálně 10 minut a délka retestu zhruba 8 minut. V tabulce 5.4 jsou uvedeny časové relace experimentu u všech pokusných osob.

Tab. 5.4: Časový průběh experimentu.

posluchač	délka testu	délka retestu	celkem
1	6:16	5:34	11:50
2	9:10	8:00	17:10
3	14:03	11:14	25:17
4	9:51	6:14	16:05
5	6:37	6:19	12:56
6	10:23	7:25	17:48
7	9:48	6:07	15:55
8	13:13	9:11	22:44
9	10:48	7:40	18:28
10	6:25	5:06	11:31
11	8:08	5:31	13:39
12	9:45	8:02	17:47
13	6:28	5:48	12:16
14	5:05	3:59	9:04
15	8:20	6:35	14:55
16	10:55	9:42	20:37
průměr:	9:06	7:00	16:06

Zde je patrné, že délky měření u jednotlivých posluchačů se poměrně výrazně liší. Například u posluchačů 3 a 8 byly zjištěny velmi vysoké hodnoty doby trvání testu a retestu. To však mohlo být způsobeno tím, že posluchač měření spustil, avšak poté ještě konzultoval některé nejasnosti s experimentátorem. Naopak u posluchače 14 jsou tyto hodnoty až podezřele nízké, takže je možné, že tento posluchač provedl měření méně pečlivě. Průměrné hodnoty doby trvání testu a retestu však vyšly dle předpokladů. Optimální byla i přestávka mezi testem a retestem v délce 2 minut.

5.8.2 Interakce mezi posuzovanými objekty

Prohlídkou skupinové matice (obr. 5.8) je zřejmé, že existují tzv. *interindividuální rozdíly* mezi posudky jednotlivých osob. Experiment byl vystaven tak, aby při nejnepříznivějším stavu, kdy posluchač zaznamenal rostoucí zašumění hudební

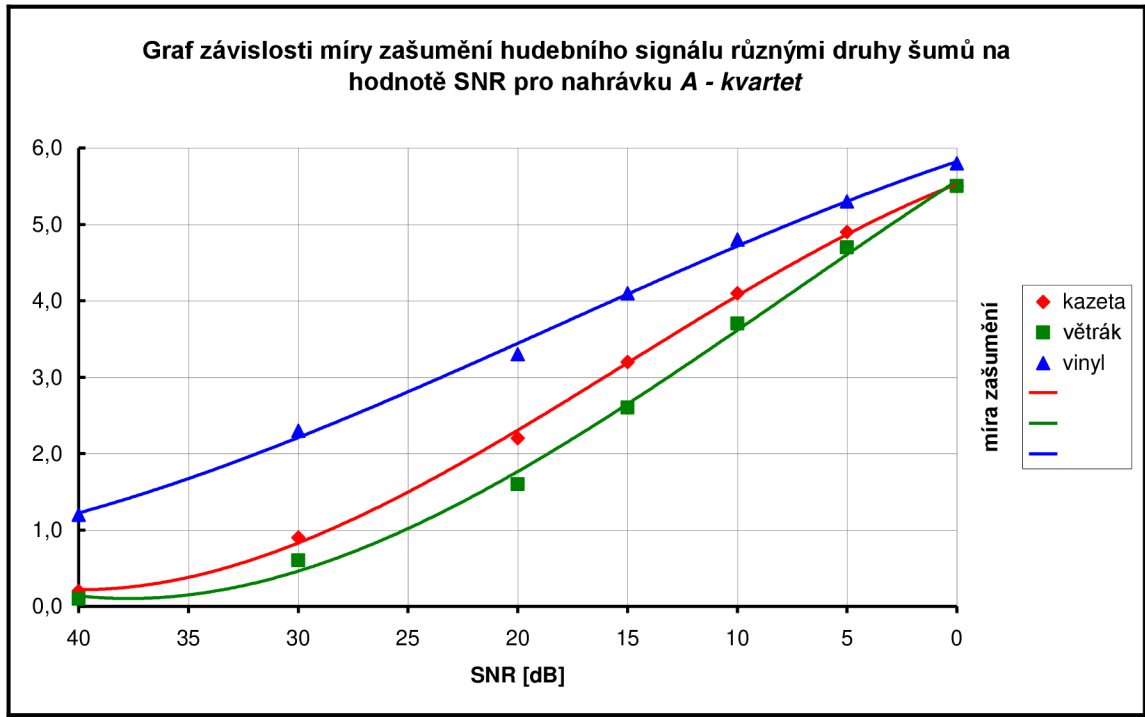
nahrávky, ale nebyl schopen rozlišit přechody mezi jednotlivými stupni posuzovací škály, mohl podněty ohodnotit lineárně, kdy každému podnětu přiřadil jeden stupeň (pro 7 hodnot *SNR* bylo k dispozici 7 stupňů, tedy lineární přímka). Díky počtu opakování $k = 2$ je však velmi malá pravděpodobnost, že by jednu kombinaci *nahrávka – šum* ohodnotil postupně od 0 – zcela nezašuměný po 6 – zcela zašuměný dvakrát po sobě. Tento případ nastal pouze u 8-mi z celkového počtu 2016 hodnocení (tedy pouze u necelých 0,5% všech hodnocení). Tento poznatek nám do jisté míry zajišťuje jistou variabilitu soudů pokusných osob a tedy skutečnost, že posluchači se soustředili na přechody mezi jednotlivými stupni posuzovací škály.

Z porovnání aritmetických průměrů hodnot získaných od všech posluchačů (řádek „*průměr*“ pod každou hudební nahrávkou) je také patrné, že docházelo k *interakci* mezi posuzovanými hudebními nahrávkami a použitými šumovými signály. Tyto interakce jsou přehledně shrnuty v tab. 5.5 (*žlutá část*). Tabulka je také doplněna o celkové aritmetické průměry pro jednotlivé nahrávky a šумы (sloupce „*Aritmetické průměry pro nahrávky*“ a řádek „*Aritmetické průměry pro šумы*“), které představují *bilou část* tabulky. Tato zjednodušená skupinová matice má oproti úplné skupinové matici opačnou orientaci, kvůli přehlednosti jsou hodnoty *SNR* ve vertikálním směru.

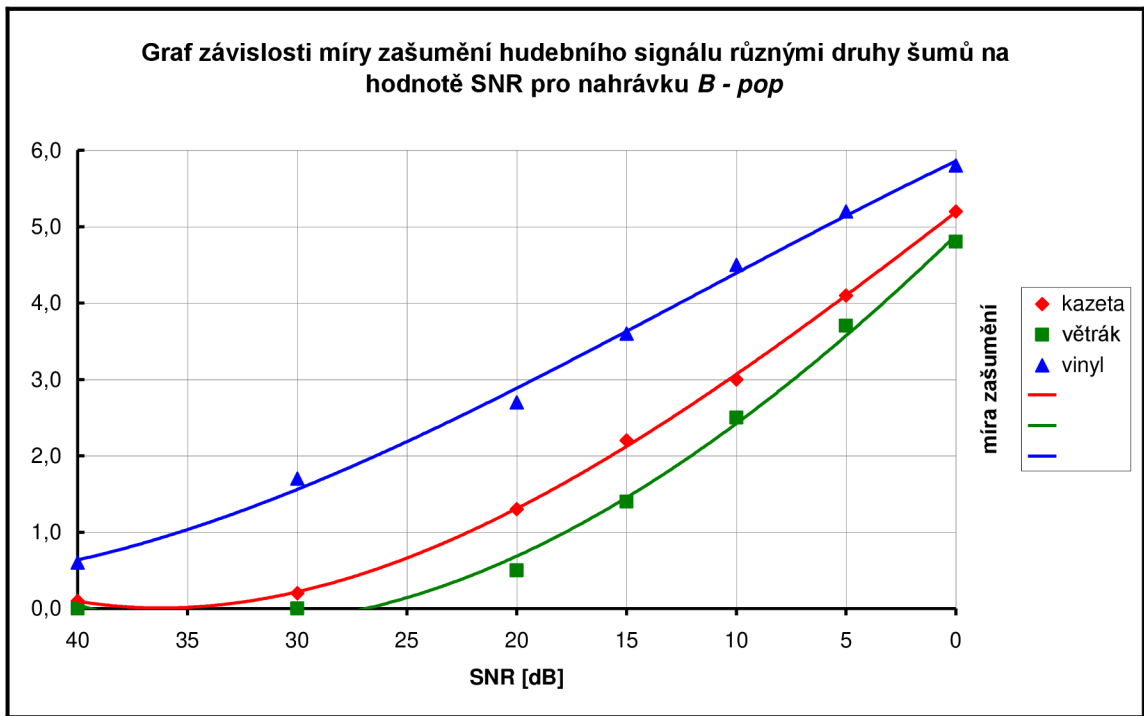
Tab. 5.5: Zjednodušená skupinová matice naměřených hodnot experimentu.

<i>SNR</i>	A			B			C			1	2	3
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
40	0,2	0,1	1,2	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,7	0,1	0	0,8
30	0,9	0,6	2,3	0,2	0,0	1,7	0,3	0,5	1,4	0,5	0,4	1,8
20	2,2	1,6	3,3	1,3	0,5	2,7	1,3	1,4	2,7	1,6	1,2	2,9
15	3,2	2,6	4,1	2,2	1,4	3,6	2,3	2,3	3,6	2,5	2,1	3,8
10	4,1	3,7	4,8	3,0	2,5	4,5	3,4	3,2	4,4	3,5	3,1	4,5
5	4,9	4,7	5,3	4,1	3,7	5,2	4,3	4,2	5,2	4,4	4,2	5,2
0	5,5	5,5	5,8	5,2	4,8	5,8	5,3	5,2	5,8	5,4	5,2	5,8
<i>SNR</i>	A			B			C			-		
40	0,5			0,2			0,2					
30	1,3			0,6			0,7					
20	2,4			1,5			1,8					
15	3,3			2,4			2,7					
10	4,2			3,3			3,6					
5	5,0			4,3			4,5					
0	5,6			5,3			5,4					

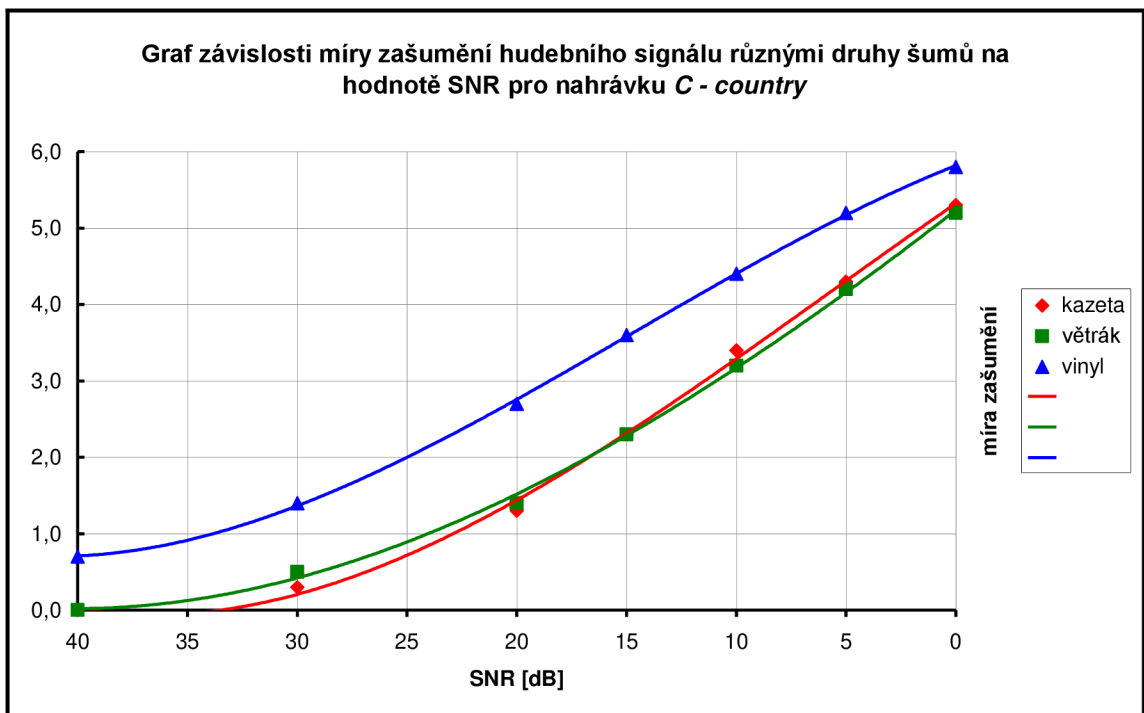
Nejprve si zjištěná data vyjádříme graficky a to jak z pohledu interakce *nahrávka – šum* (žlutá část tabulky, obr. 5.9 – 5.11), tak pro celkové aritmetické průměry jednotlivých nahrávek a šumů (*bilá část* tabulky).



Obr. 5.9: Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce
A – kvartet

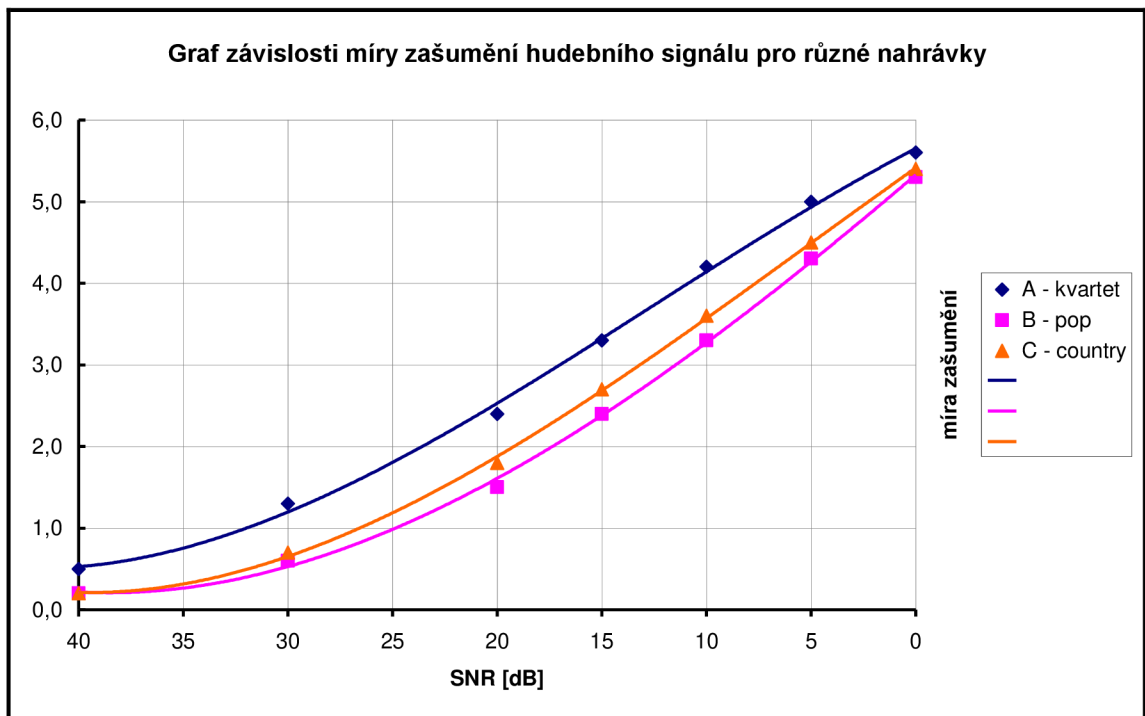


Obr. 5.10: Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce
B - pop



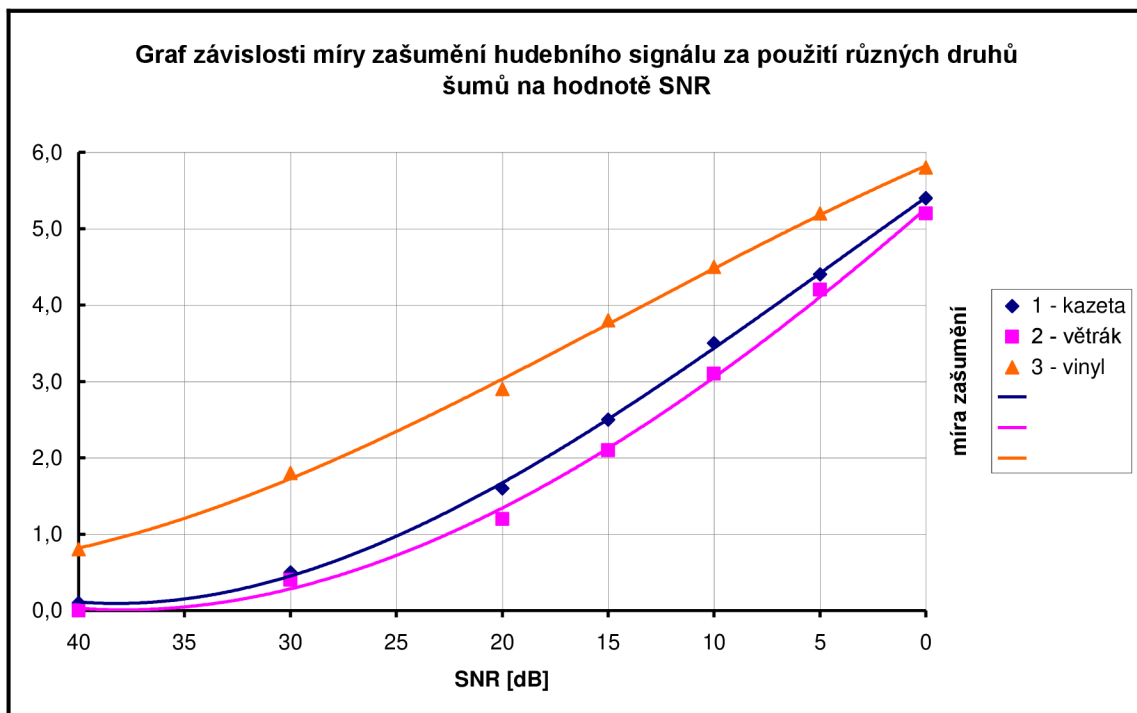
Obr. 5.11: Grafické srovnání rostoucí hlasitosti různých šumů v nahrávce
C - country

Z těchto závislostí lze vyvodit, že subjektivní vjem míry zašumění hudebního signálu byl ve všech nahrávkách největší za použití šumu 3 – *vinyl*. Menších rozdílů aritmetických průměrů dosahovaly zbývající dva šumy, přičemž křivka šumu 1 – *kazeta* byla ve všech nahrávkách mírně nad křivkou šumu 2 – *větrák*. Dále si uvedeme grafické závislosti pro jednotlivé nahrávky (obr. 5.12) i pro jednotlivé šumy (obr. 5.13).



Obr. 5.12: Grafické srovnání průměrné hlasitosti šumu v jednotlivých nahrávkách.

Z průběhu vyplývá, že posluchači šum nejvíce vnímali v nahrávce A – *kvartet*, naopak ve zbylých dvou nahrávkách B – *pop* a C – *country* byly rozdíly minimální.



Obr. 5.13: Grafické srovnání průměrných hlasitostí jednotlivých šumů v hudbě.

Dále jasně vidíme, že i celkový aritmetický průměr přes všechny nahrávky jasně hovoří pro šum 3 – *vinyl*, za nímž následují s poměrně velkým odstupem (zhruba 1 stupeň) šumy 1 – *kazeta* a 2 – *větrák*, které jsou srovnatelné.

Z tab. 5.5 však musíme určit, které interakce (*posluchač* x *nahrávka*, *posluchač* x *šum*, případně *posluchač* x *nahrávka* x *šum*) jsou statisticky významné a zda mezi některými objekty existuje „skutečný“ rozdíl. K tomu využijeme tzv. *Studentův test t*, který porovnává aritmetické průměry různých dvojic měřených objektů. Hodnota *t* se vypočítá ze vzorce [10]

$$t_{AB} = \frac{M_A - M_B}{\sqrt{\frac{2P\check{C}_{R \times P}}{kmn}}}, \quad (5.5)$$

- kde M_A, M_B jsou průměrná hodnocení objektů A a B ,
 $P\check{C}_{R \times P}$ je hodnota průměrného čtverce pro interakci proměnné R a P ,
 k je počet opakovaných posouzení,
 m je počet posluchačů,
 n je počet prvků.

Hodnotu průměrného čtverce $P\check{C}_{R \times P}$ vypočítáme jako součet čtverců $S\check{C}_{R \times P}$ dělený odpovídajícím počtem *stupňů volnosti*. Ten je definován jako počet prvků n zmenšený o jedničku. Vypočítanou hodnotu t_{AB} poté porovnáme s kritickou hodnotou pro daný stupeň volnosti sv na hladině významnosti α (lze najít např. v [11]) a pokud $t_{AB} > t_{krit}$, lze testovaný rozdíl mezi objekty A a B na této hladině významnosti prohlásit za signifikantní.

- **Interakce posluchač x nahrávka** – nejprve budeme zjišťovat, zda existuje skutečný rozdíl ve vnímání slyšitelnosti šumu v nahrávkách A (*kvartet*), B (*pop*) a C (*country*). Provedeme tedy závislé srovnání párů $A-B$, $A-C$ a $B-C$ dle vzorce (5.5), přičemž $sv = (\text{počet posluchačů} - 1) * (\text{počet nahrávek} - 1) = (16 - 1) * (3 - 1) = 15 * 2 = 30$, $k = 2$, $m = 16$, $n = 3$ a $\alpha = 0,005$. Výsledky jsou uvedeny v tab. 5.6.

Tab. 5.6: Studentův test t pro interakci posluchač x nahrávka.

pár	d_1	d_2	Δd	SČ	PČ	t	t_{krit}	$t > t_{krit}$
A-B	3,2	2,5	0,7	44,755	1,492	3,970	2,750	ano
A-C	3,2	2,7	0,5	44,774	1,492	2,836	2,750	ano
B-C	2,5	2,7	0,2	44,149	1,472	1,142	2,750	ne

Vidíme, že pro 2 ze 3 testovaných párů vyšel test úspěšně a proto lze prohlásit, že mezi párem $A-B$ a $A-C$ existuje skutečný rozdíl ve vnímání slyšitelnosti šumového signálu.

- **Interakce posluchač x šum** – dále zjistíme, zda existuje skutečný rozdíl ve vnímání slyšitelnosti samotných šumů 1 (*kazeta*), 2 (*větrák*) a 3 (*vinyl*). Ostatní proměnné ve vzorci (5.5) zůstávají stejné. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.7.

Tab. 5.7: Studentův test t pro interakci posluchač x šum.

pár	d_1	d_2	Δd	SČ	PČ	t	t_{krit}	$t > t_{krit}$
1-2	2,6	2,3	0,3	46,594	1,553	1,668	2,750	ne
1-3	2,6	3,5	0,9	46,654	1,555	5,000	2,750	ano
2-3	2,3	3,5	1,2	47,889	1,596	6,581	2,750	ano

V tomto případě dopadl test úspěšně pro dvojici 1-3 a 2-3, takže opět lze říci, že mezi těmito dvojicemi existuje skutečný rozdíl.

- **Interakce posluchač x nahrávka x šum** – nakonec můžeme také otestovat významnost trojité interakce všech tří proměnných. Kvůli velkému počtu závislých párů musí být uvažována „přísnější“ hladina významnosti $\alpha = 0,001$ při $sv = 60$.

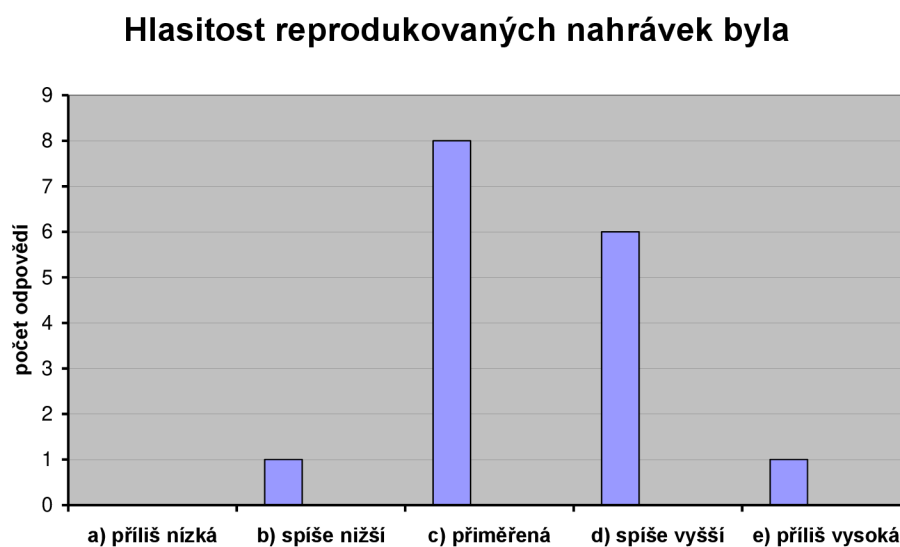
Tab. 5.8: Studentův test t pro interakci posluchač x nahrávka x šum.

pár	d_1	d_2	Δd	SČ	PČ	t	t_{krit}	$t > t_{krit}$
A1-A2	3,0	2,7	0,3	49,574	0,826	2,287	3,232	ne
A1-A3	3,0	3,8	0,8	42,997	0,717	6,546	3,232	ano
A1-B1	3,0	2,3	0,7	48,115	0,802	5,415	3,232	ano
A1-B2	3,0	1,8	1,2	50,104	0,835	9,098	3,232	ano
A1-B3	3,0	3,4	0,4	46,144	0,769	3,160	3,232	ne
A1-C1	3,0	2,4	0,6	49,609	0,827	4,571	3,232	ano
A1-C2	3,0	2,4	0,6	47,360	0,789	4,681	3,232	ano
A1-C3	3,0	3,4	0,4	46,380	0,773	3,152	3,232	ne
A2-A3	2,7	3,8	1,1	46,394	0,773	8,668	3,232	ano
A2-B1	2,7	2,3	0,4	48,149	0,802	3,095	3,232	ne
A2-B2	2,7	1,8	0,9	49,132	0,819	6,890	3,232	ano
A2-B3	2,7	3,4	0,7	48,692	0,812	5,382	3,232	ano
A2-C1	2,7	2,4	0,3	49,895	0,832	2,279	3,232	ne
A2-C2	2,7	2,4	0,3	47,614	0,794	2,333	3,232	ne
A2-C3	2,7	3,4	0,7	54,469	0,908	5,091	3,232	ano
A3-B1	3,8	2,3	1,5	47,172	0,786	11,722	3,232	ano
A3-B2	3,8	1,8	2,0	51,812	0,864	14,907	3,232	ano
A3-B3	3,8	3,4	0,4	38,572	0,643	3,456	3,232	ano
A3-C1	3,8	2,4	1,4	48,004	0,800	10,844	3,232	ano
A3-C2	3,8	2,4	1,4	45,837	0,764	11,097	3,232	ano
A3-C3	3,8	3,4	0,4	39,057	0,651	3,435	3,232	ano
B1-B2	2,3	1,8	0,5	44,549	0,742	4,022	3,232	ano
B1-B3	2,3	3,4	1,1	48,429	0,807	8,484	3,232	ano
B1-C1	2,3	2,4	0,1	46,854	0,781	0,784	3,232	ne
B1-C2	2,3	2,4	0,1	44,535	0,742	0,804	3,232	ne
B1-C3	2,3	3,4	1,1	48,455	0,808	8,478	3,232	ano
B2-B3	1,8	3,4	1,6	51,834	0,864	11,926	3,232	ano
B2-C1	1,8	2,4	0,6	46,969	0,783	4,698	3,232	ano
B2-C2	1,8	2,4	0,6	44,604	0,743	4,823	3,232	ano
B2-C3	1,8	3,4	1,6	51,724	0,862	11,941	3,232	ano
B3-C1	3,4	2,4	1,0	49,569	0,826	7,623	3,232	ano
B3-C2	3,4	2,4	1,0	47,364	0,789	7,811	3,232	ano
B3-C3	3,4	3,4	0,0	43,284	0,721	0,000	3,232	ne
C1-C2	2,4	2,4	0,0	46,509	0,775	0,000	3,232	ne
C1-C3	2,4	3,4	1,0	49,629	0,827	7,618	3,232	ano

U tohoto nejsložitějšího případu bylo dokázáno, že statisticky významný rozdíl existuje u většiny testovaných párů, kromě těch, které jsou v tab. 5.8 uvedeny *červeně*.

5.8.3 Hodnocení aspektů poslechového testu

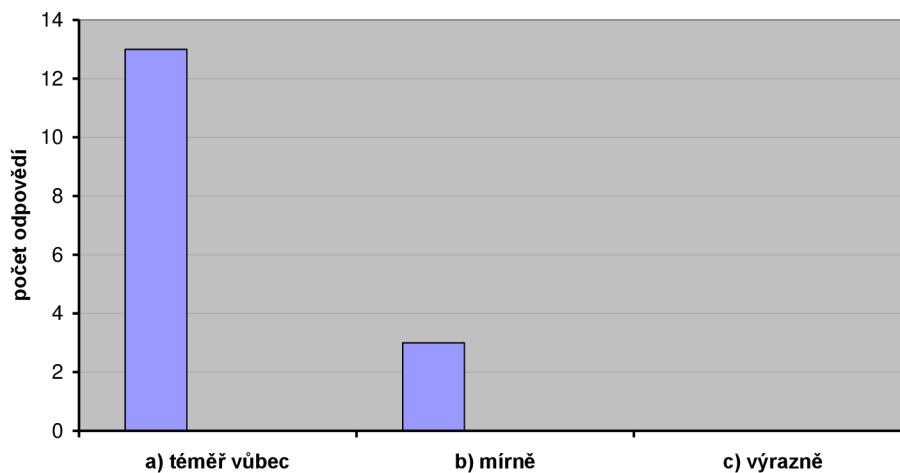
Po skončení poslechového testu byl každému posluchači předložen krátký dotazník k ohodnocení některých jeho aspektů. Výsledky dotazníku jsou následující:



Obr. 5.14: Hodnocení subjektivní hlasitosti všech reprodukováných podnětů.

Z rozložení odpovědí na otázku 1) (obr. 5.14) je patrné, že většině posluchačům se zdála hlasitost *přiměřená*, případně *spíše vyšší*. Je možné, že tento aspekt měl vliv na některé hodnoty subjektivní škály. Například posluchač, který označil hlasitost reprodukováných nahrávek za *příliš vysokou* mohl být tímto nucen k udělování vyšších známek, protože hlasitost byla pro něj již nepříjemná.

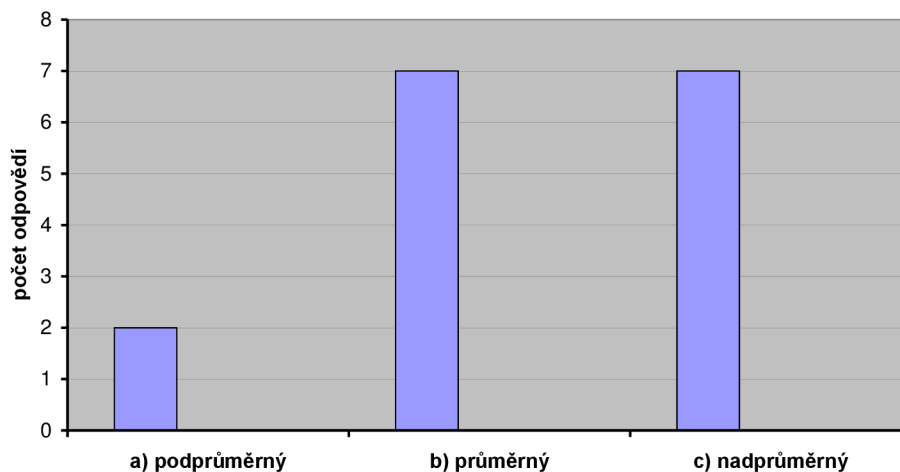
Hluk okolního prostředí mě vyrušoval



Obr. 5.15: Hodnocení vlivu okolního prostředí na průběh experimentu.

Z hodnocení tohoto aspektu (viz obr. 5.15) je zřejmé, že v průběhu experimentu nedocházelo k výskytu rušivých vlivů, které by mohly ovlivnit jeho výsledky. To bylo zajištěno použitím kvalitních uzavřených sluchátek.

Svůj sluch bych hodnotil jako



Obr. 5.16: Výsledky posouzení vlastního sluchu posluchačů.

Z grafu na obr. 5.16 je zajímavé, že velký počet posluchačů se domnívá, že disponuje *nadprůměrným* sluchem. Naopak pouze dva posluchači hodnotí svůj sluch jako *podprůměrný*. To by mohlo znamenat, že většina posluchačů byla pro poslechový test dostatečně kvalifikovaná.

Všichni posluchači na závěr uvedli, že zadání zcela pochopili a že průběh poslechového testu proto považují za platný.

5.8.4 Shrnutí výsledků experimentu

Na základě analýzy všech naměřených hodnot byly vyvozeny tyto závěry:

- Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu byla ověřena *spolehlivost soudů* pokusných osob v rámci testu a retestu. Průměrná hodnota koeficientu pro celou skupinu pokusných osob byla $0,954$, tedy více než *95%-ní* korelace mezi hodnotami obou měření. Všechny naměřené hodnoty tedy lze považovat za platné a lze je použít pro další postup.
- Z průměrných hodnot doby testu a retestu pro všechny pokusné osoby lze říci, že byl splněn požadavek na únosnost délky experimentu z hlediska únavy pokusných osob. Jedno experimentální sezení trvalo průměrně lehce nad *15 minut* (pouze „čisté“ měření).
- Byla zjištěna interakce mezi proměnnými *posluchač x nahrávka*, *posluchač x šum* a *posluchač x nahrávka x šum*. Z výsledků Studentova testu je patrné následující:
 - ✚ Existuje skutečný rozdíl mezi nahrávkami *A – kvartet* a *B – pop*, resp. *A – kvartet* a *C – country*, což je patrné i z grafu na obr. 5.12. To je pravděpodobně dáno samotným charakterem jednotlivých nahrávek.

Ze srovnání časových průběhů na obr. 5.5 je zřejmé, že nahrávka *A – kvartet* má sice poměrně velkou dynamiku signálu, ale z důvodu absence hudebního doprovodu obsahuje klidnější pasáže, kde není šum tolik maskován užitečným signálem. Subjektivní vjem slyšitelnosti šumu je zde tedy větší. Statisticky významný rozdíl mezi nahrávkami *B – pop* a *C – country* nebyl prokázán.

✚ Dále byl zjištěn skutečný rozdíl mezi šumy *1 – kazeta* a *3 – vinyl*, resp. *2 – větrák* a *3 – vinyl* (viz také graf na obr. 5.13). Opět můžeme porovnat charakter všech tří šumů na obr. 5.6. Z časového průběhu šumu *3 – vinyl* jsou patrné ostré signálové špičky, které koncentrují poměrně velký výkon signálu do relativně malých časových okamžiků (desítky až stovky ms). Toto impulsní rušení pak způsobuje, že subjektivní vjem slyšitelnosti tohoto šumu je větší i na pozadí hudební nahrávky vysoké výkonové úrovně (a tedy i velkého SNR). To se projevuje tím, že křivka nárůstu míry zašumění hudebního signálu na obr. 5.13 vychází z vyššího bodu posuzovací škály. Impulsy jsou dobře viditelné i na spektrogramu šumu vinylové desky na obr. 5.7.

✚ Výsledky trojitých interakcí z tab. 5.8 lze interpretovat tak, že nezáleží na tom, zda posluchači pustíme podnětovou kombinaci *A1* nebo některou z kombinací *A2*, *B3* nebo *C3*. To např. dokazuje, že šum *kazeta* v nahrávce *kvartet* ruší stejně jako šum *vinyl* v ostatních nahrávkách. Dále bylo potvrzeno, že šumy *kazeta* a *větrák* jsou na sobě skutečně nezávislé. Bylo také zjištěno, že šum *vinyl* ruší stejně v nahrávkách *pop* i *country*.

- Z hodnocení několika aspektů poslechového testu můžeme říci, že experiment dopadl úspěšně. Za jedinou výhradu lze považovat vyšší hlasitost reprodukováných nahrávek, protože při nízkých hodnotách SNR působily některé šumy na posluchače již značně nepříjemně.

6 ZÁVĚR

Tématem mé bakalářské práce bylo zjistit, jak člověk subjektivně vnímá reálný šumový signál na pozadí hudební nahrávky. Předpokladem pro studii této problematiky byl vliv proměnné hlasitosti šumového signálu při konstantní úrovni signálu užitečného (tedy různé hodnoty SNR). Zvolil jsem hodnoty od $SNR = 0$, kdy mají oba signály stejnou výkonovou úroveň, do $SNR = 40$, kdy je šum ve většině případech již neslyšitelný. Krok mezi těmito mezními hodnotami byl 5 – 10 dB, podle potřeby detailnějšího zachycení dané části psychologického kontinua.

Po výběru vhodných nahrávek a šumových signálů jsem přistoupil k volbě optimální psychoakustické metody měření. Na základě prostudování některých již realizovaných experimentů jsem zvolil metodu *posuzování na subjektivních posuzovacích škálách* a vytvořil k ní příslušnou škálu. Po návrhu průběhu celého experimentu jsem tuto metodu aplikoval pomocí vytvořeného počítačového programu na reprezentativní vzorek posluchačů. Experiment byl proveden formou poslechových testů, které se běžně používají pro měření subjektivní poslechové kvality zvukových signálů.

Z následné analýzy naměřených hodnot jsem zjistil, že subjektivní vjem míry zašumění zvukového signálu je silně závislý na maskování šumu užitečným signálem a také na charakteru jednotlivých podnětů. Nejvíce byl šum slyšitelný v nahrávce *A – kvartet*, která obsahovala jen vokální složku. Míra slyšitelnosti šumu v nahrávkách *B – pop* a *C – country* byla srovnatelná. Jako nejvíce rušivý se projevil impulsní šum vinylové desky, který byl pro posluchače i relativně nepříjemný. Poté byly dále zkoumány všechny možné kombinace *nahrávka – šum* z hlediska jejich vzájemných interakcí.

Celkově hodnotím průběh poslechových testů velmi kladně, posluchači odpovídali stabilně a během měření se obvykle nevyskytly žádné nejasnosti. Bezproblémová byla i práce s vlastní aplikací, kterou jsem vytvořil výhradně pro potřeby této bakalářské práce. Hlavní přínos mé práce vidím ve vytvoření představy o subjektivním vjemu slyšitelnosti šumu v hudební nahrávce, což doposud nebylo nikde zdokumentováno. Hodnoty naměřené v této práci mohou být následně použity pro porovnání subjektivních a objektivních metod pro hodnocení kvality zvukových signálů. Zadání bakalářské práce tak bylo splněno v plném rozsahu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] BALÍK, Miroslav. *Číslíkové zpracování akustických signálů* [online]. Brno: FEKT VUT, 2010, 104 s. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=40695
- [2] BISMARCK, G. Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes. *Acustica* 30. 1974, s. 146-159.
- [3] ČSN 01 1600. *Akustika – Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [4] GUILFORD, J. P. *Psychometric methods*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1954.
- [5] HANUS, Stanislav. *Základy televizní techniky III: přednášky*. 1. vyd. Brno: FEKT VUT, 2010, 103 s. ISBN 978-80-214-4206-1.
- [6] HONZÍKOVÁ, Nataša a Petr HONZÍK. *Biologie člověka* [online]. Brno: FEKT VUT, 2003, 134 s. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=21520
- [7] JELÍNEK, Jakub. *Možnosti odhlučnění počítače* [online]. Brno, 2006 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2006/BP_Jelinek.pdf. Bakalářská práce. FSI VUT. 43 s. Vedoucí práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
- [8] JURČ, Róbert. *Porovnanie výsledkov psychoakustických testování zvukov vysávačov* [online]. Praha: FEL ČVUT, s. 64-69 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://radio.feld.cvut.cz/AES/atp2004/proc/atp04p08.pdf>
- [9] KOVAŘÍK, Tomáš. *Řízení poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality audio signálu*. Brno, 2012. 71 s. Diplomová práce. FEKT VUT. Vedoucí práce Ing. Ondřej Rášo.
- [10] MELKA, Alois. *Základy experimentální psychoakustiky*. 1. vyd. Praha: Akademie múzických umění, 2005, 327 s. ISBN 80-733-1043-0.
- [11] PEARSON, E. S. a H. O. HARTLEY. *Biometrika Tables for Statisticians, Vol. I*. Third Edition. 1966, s. 146.

- [12] PRAŽÁKOVÁ, Věra a Miroslava ČAPKOVÁ. *Základy psychologie a biologické základy vývoje* [online]. Brno: FEKT VUT, 2004, 100 s. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=21739
- [13] Recommendation ITU-R BS.562-3. *Subjective assessment of sound quality*.
- [14] SCHIMMEL, Jiří. *Elektroakustika* [online]. Brno: FEKT VUT, 2013 [cit. 2013-06-05]. ISBN 978-80-214-4716-5. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=71624
- [15] SCHIMMEL, Jiří. *Měření vlastností sluchu* [online]. Učební text k laboratorním cvičením předmětu Elektroakustika, Brno: FEKT VUT, s. 1-10 [cit. 2012-12-12].
- [16] SMĚKAL, Zdeněk. *Analýza signálů a soustav* [online]. Brno: FEKT VUT, 2012, 251 s. [cit. 2013-06-05]. ISBN 978-80-214-4453-9. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=67866
- [17] Sound Quality Assessment Material recordings for subjective tests [online]. Geneva, 2008 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://tech.ebu.ch/publications/sqamcd>
- [18] STEVENS, S. S. *Mathematics, measurement and psychophysics: Handbook of experimental psychology*. 1st ed. New York: J. Wiley & Sons, 1951.
- [19] SVOBODA, Radek. *Experimenty s psychoakustickou kompresí zvuku* [online]. Praha, 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/svobora4_2010bach.pdf. Bakalářská práce. FEL ČVUT. 54 s. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Šnorek, CSc.
- [20] Tinnitus. *PRO-AUDIO, s.r.o.* [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.pro-audio.cz/tinnitus/>
- [21] ZWICKER, E. a Hugo FASTL. *Psychoacoustics: facts and models*. 1st ed. Berlin: Springer, 1990.

PŘEHLED SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

A / D	<i>Analog / Digital</i>	převod analogového signálu na digitální
CD	<i>Compact Disk</i>	fyzické médium
EBU	<i>European Broadcasting Union</i>	Evropská vysílací unie
FLAC	<i>Free Lossless Audio Codec</i>	bezztrátový zvukový kodek
GUI	<i>Graphic User Interface</i>	grafické uživatelské rozhraní
MPEG	<i>Motion Picture Experts Group</i>	standard pro kódování obrazu
PC	<i>Personal Computer</i>	osobní počítač
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>	odstup signálu od šumu
SPL	<i>Sound Pressure Level</i>	hladina akustického tlaku
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>	míra zkreslení zvukového signálu
WAV	<i>Waveform audio file format</i>	bezztrátový zvukový kodek

SEZNAM PŘÍLOH

- A Instrukční list**
- B Dotazník**
- C Tabulky naměřených hodnot**
- D Popis souborů na médiu**

A INSTRUKTÁŽNÍ LIST

INSTRUKCE

Dobrý den,

děkuji Vám za účast na experimentu. Cílem tohoto měření bude zjištění subjektivní *míry slyšitelnosti* šumového signálu na pozadí hudební nahrávky, tedy jak *moc* je šum v hudbě slyšet. K tomuto účelu využijeme posuzovací škálu, podle které budete zašuměné nahrávky hodnotit. Popis jednotlivých stupňů posuzovací škály je uveden v následující tabulce:

stupeň	slovní popis	doplňující popis rušivého efektu
0	zcela nezašuměný	<i>nahrávka je naprosto čistá, hudbu vnímám nerušeně</i>
1	téměř vůbec nezašuměný	<i>šum pozadí je postřehnutelný, avšak skoro neruší</i>
2	mírně zašuměný	<i>mírně rušivý</i>
3	částečně zašuměný	<i>rušivý</i>
4	velmi zašuměný	<i>velmi rušivý</i>
5	téměř úplně zašuměný	<i>hudba je šumem vytlačena na pozadí, skoro ji neslyším</i>
6	zcela zašuměný	<i>nahrávka je naprosto zarušená, vnímám už pouze šum</i>

Části experimentu:

- 1) Zácvik** V této části se budete moci seznámit se všemi zvukovými podněty.
- 2) Trénink** Samotné měření a obsluhu programu si můžete vyzkoušet „nanečisto“.
- 3) Měření** Proběhnou dvě sady měření (test + opakovaný test).

V rámci měření budete mít za úkol ohodnotit 3 různé hudební nahrávky zarušené 3-mi různými typy šumového signálu (celkem tedy 9 kombinací nahrávka – šum). Každá kombinace bude odstupňována podle hlasitosti šumu v nahrávce od nejméně hlasitého po nejvíce hlasitý. Pro srovnání budete mít možnost přehrát si jak čistou nahrávku, tak pouze šum. Všechny kombinace proběhnou pro větší přesnost ještě jednou, avšak v jiném pořadí. Celkem tedy budete hodnotit 18 „obrazovek“, které bude program postupně nabízet.

B DOTAZNÍK

DOTAZNÍK

Nyní prosím ohodnot' te následující aspekty poslechového testu:

- 1) Hlasitost reprodukováných nahrávek byla
 - a) příliš nízká
 - b) spíše nižší
 - c) přiměřená
 - d) spíše vyšší
 - e) příliš vysoká

- 2) Hluk okolního prostředí mě vyrušoval
 - a) téměř vůbec
 - b) mírně
 - c) výrazně

- 3) Svůj sluch bych hodnotil jako
 - a) podprůměrný
 - b) průměrný
 - c) nadprůměrný

- 4) Průběh poslechového testu považuji za
 - a) zcela platný, zadání jsem pochopil
 - b) platný, ale během měření jsem měl určité nejasnosti
 - c) neplatný, z důvodu:

Jméno:

Datum:

C TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

Tab. C.1: Naměřené hodnoty posluchače č. 1.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3						pro nahrávky									
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	2	3	4	5	5	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	6	0,3	0,8	1,8	2,8	3,3	4,3	5,2
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2	2	3	4	1	2	3	4	4	5	6							
	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	3,5	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0							
B	0	0	1	2	3	3	4	0	0	1	1	2	3	4	1	2	3	4	4	5	6	0,3	0,7	1,5	2,3	3,0	3,8	5,0
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	5	1	2	3	4	4	5	6							
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0							
C	0	0	1	2	3	4	5	0	0	2	3	4	5	5	0	1	3	3	4	5	6	0,0	0,5	1,8	2,5	3,5	4,3	5,2
	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	2	3	3	4	0	1	2	3	4	5	6							
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,5	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5	0,0	1,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,2	1,2	2,2	3,2	4,0	4,8	0,0	0,2	1,2	1,8	2,7	3,5	4,5	0,7	1,7	2,8	3,7	4,0	5,0	6,0	-						

Tab. C.2: Naměřené hodnoty posluchače č. 2.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3						pro nahrávky									
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	3	4	5	5	6	6	0,3	1,5	2,5	3,5	4,3	5,2	6,0
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	5	6							
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	1,0	2,5	3,5	4,5	5,0	5,5	6,0							
B	0	0	1	2	3	5	6	0	0	1	2	3	5	6	1	2	3	4	5	6	6	0,2	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	5,8
	0	0	1	2	3	5	6	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6							
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	5,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0							
C	0	0	1	2	3	5	6	0	0	1	2	3	4	6	1	1	3	3	4	5	6	0,2	0,3	1,5	2,3	3,3	4,5	5,8
	0	0	1	2	3	4	6	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6							
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	0,5	1,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,3	1,3	2,3	3,3	4,8	6,0	0,0	0,3	1,3	2,3	3,3	4,5	5,7	0,7	1,7	2,8	3,7	4,5	5,3	6,0	-						

Tab. C.3: Naměřené hodnoty posluchače č. 3.

Nahrávka	Šum																								Aritmetické průměry pro nahrávky										
	1								2								3																		
	40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0				
A	0	1	2	3	4	5	6	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	6								0,3	1,0	2,0	2,8	3,3	4,3	5,3
	0	1	2	3	3	4	5	0	0	1	1	2	3	4	1	2	3	4	4	5	6														
	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0														
B	0	0	2	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	4	1	3	4	5	5	5	6								0,3	0,8	1,7	2,3	3,0	3,8	5,0
	0	0	1	2	2	3	5	0	0	1	1	2	3	4	1	2	2	3	4	5	6														
	0,0	0,0	1,5	2,0	2,5	3,5	5,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0														
C	0	0	1	2	2	3	4	0	0	1	1	2	3	4	1	2	3	4	4	5	6								0,3	0,7	1,5	2,2	2,7	3,7	4,7
	0	0	1	1	2	3	4	0	1	1	2	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6														
	0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0														
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,3	1,5	2,2	2,7	3,7	4,8	0,0	0,2	0,8	1,3	2,2	3,2	4,2	1,0	2,0	2,8	3,8	4,2	5,0	6,0								-						

Tab. C.4: Naměřené hodnoty posluchače č. 4.

Nahrávka	Šum																								Aritmetické průměry pro nahrávky										
	1								2								3																		
	40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0				
A	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2	2	4	5	0	0	2	2	3	4	4								0,0	0,2	1,2	1,8	2,7	4,0	4,8
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	1	2	4	5	0	1	1	2	3	4	5														
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	1,5	2,0	4,0	5,0	0,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	4,5														
B	0	0	0	0	1	3	4	0	0	0	1	1	2	4	0	0	0	2	3	3	5								0,0	0,0	0,0	0,8	1,5	2,8	4,3
	0	0	0	0	1	3	4	0	0	0	1	1	2	4	0	0	0	1	2	4	5														
	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	3,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,5	2,5	3,5	5,0														
C	0	0	0	0	2	3	5	0	0	0	2	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5								0,0	0,0	0,3	1,3	2,7	3,7	5,0
	0	0	0	1	3	4	5	0	0	1	2	3	4	6	0	0	0	1	2	3	4														
	0,0	0,0	0,0	0,5	2,5	3,5	5,0	0,0	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,5	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5														
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,0	0,3	0,8	2,2	3,5	4,7	0,0	0,0	0,5	1,5	2,0	3,3	4,8	0,0	0,2	0,7	1,7	2,7	3,7	4,7								-						

Tab. C.5: Naměřené hodnoty posluchače č. 5.

Nahrávka	Šum																								Aritmetické průměry pro nahrávky										
	1								2								3																		
	40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0		40	30	20	15	10	5	0				
A	0	1	2	3	4	5	5	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	5								0,3	0,8	2,2	3,0	3,8	4,8	5,2
	0	0	2	3	4	5	5	0	0	1	2	3	5	6	1	2	4	4	5	5	5														
	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	5,5	1,0	2,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0														
B	0	0	1	1	2	3	4	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5	6								0,0	0,3	1,0	1,8	2,7	3,8	4,8
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	4	5	0	1	2	3	3	4	5														
	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5														
C	0	0	1	1	2	3	5	0	0	1	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5	6								0,2	0,5	1,5	2,3	3,2	4,2	5,3
	0	0	1	3	4	5	6	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	6														
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	6,0														
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,2	1,3	2,2	3,2	4,2	5,0	0,0	0,0	0,7	1,5	2,5	3,8	4,8	0,5	1,5	2,7	3,5	4,0	4,8	5,5								-						

Tab. C.6: Naměřené hodnoty posluchače č. 6.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry									
	1						2						3						pro nahrávky									
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	3	4	4	5	5	0	1	2	3	4	4	5	2	3	4	4	5	5	5							
	1	1	2	3	4	5	5	1	1	2	3	4	5	5	1	2	3	4	5	5	5	0,8	1,5	2,7	3,5	4,3	4,8	5,0
	0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	5,0	5,0							
B	0	0	2	3	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	1	2	2	3	4	4	5							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	1	2	3	5	1	2	3	3	4	4	5	0,3	0,7	1,7	2,3	3,2	3,8	5,0
	0,0	0,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0							
C	0	0	2	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	5	1	2	3	4	4	4	5							
	0	0	1	2	3	4	5	0	1	1	2	2	4	5	1	1	3	3	4	5	5	0,3	0,8	2,0	2,7	3,3	4,3	5,0
	0,0	0,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,0	4,5	5,0	1,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,2	0,3	1,8	2,7	3,3	4,3	5,0	0,2	0,7	1,5	2,3	3,2	4,2	5,0	1,2	2,0	3,0	3,5	4,3	4,5	5,0	-						

Tab. C.7: Naměřené hodnoty posluchače č. 7.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry									
	1						2						3						pro nahrávky									
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	2	3	4	4	5	0	1	2	3	4	4	5	2	3	4	4	5	5	6							
	0	1	2	4	5	5	5	0	1	1	2	4	4	5	2	3	4	4	5	6	6	0,7	1,7	2,5	3,3	4,5	4,7	5,3
	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	4,5	5,0	0,0	1,0	1,5	2,5	4,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,5	6,0							
B	0	1	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	4	5	1	2	4	4	5	5	6							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	4	1	2	4	4	5	5	6	0,3	0,8	1,7	2,3	3,3	4,2	5,2
	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	1,0	2,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0							
C	0	0	1	3	4	4	5	0	1	2	3	4	4	5	1	2	3	4	5	5	6							
	0	1	1	2	3	4	6	0	1	2	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	6	0,3	1,2	2,0	3,0	4,0	4,5	5,5
	0,0	0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,5	0,0	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,7	1,3	2,7	3,7	4,2	5,2	0,0	0,7	1,2	2,0	3,2	3,8	4,8	1,3	2,3	3,7	4,0	5,0	5,3	6,0	-						

Tab. C.8: Naměřené hodnoty posluchače č. 8.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry									
	1						2						3						pro nahrávky									
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	2	3	4	5	6	0	1	1	2	4	5	6	0	1	1	2	3	5	6							
	0	1	2	3	4	5	6	0	0	1	2	3	5	6	1	2	3	4	5	5	6	0,2	1,0	1,7	2,7	3,8	5,0	6,0
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,5	5,0	6,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0							
B	0	1	2	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5	5							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	0,0	0,5	1,3	2,2	3,2	4,2	5,0
	0,0	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5							
C	0	1	2	3	5	6	6	0	0	1	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2	3	4	6	0	1	2	3	4	5	6	0,0	0,5	1,5	2,7	3,8	4,8	5,8
	0,0	0,5	1,5	2,5	4,0	5,0	5,5	0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	4,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,7	1,7	2,5	3,7	4,7	5,5	0,0	0,2	0,8	2,0	3,2	4,3	5,5	0,2	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	5,8	-						

Tab. C.9: Naměřené hodnoty posluchače č. 9.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	0	2	3	3	4	6	0	0	0	2	3	4	5	1	2	4	5	5	6	6							
	0	0	1	2	4	5	6	0	0	1	2	3	4	5	0	1	3	4	5	6	6	0,2	0,5	1,8	3,0	3,8	4,8	5,7
	0,0	0,0	1,5	2,5	3,5	4,5	6,0	0,0	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	0,5	1,5	3,5	4,5	5,0	6,0	6,0							
B	0	0	1	2	3	4	6	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	4	5	6	6							
	0	0	1	2	3	4	6	0	0	0	1	2	3	4	0	2	3	4	5	6	6	0,0	0,5	1,2	2,3	3,3	4,3	5,3
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	0,0	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0	6,0							
C	0	0	1	2	4	5	6	0	0	1	1	2	3	4	0	1	3	4	5	6	6							
	0	0	1	2	3	4	6	0	0	0	1	2	3	4	0	1	3	4	5	6	6	0,0	0,3	1,5	2,3	3,5	4,5	5,3
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	6,0	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	0,0	1,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,0	1,2	2,2	3,3	4,3	6,0	0,0	0,0	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3	0,2	1,3	3,0	4,2	5,0	6,0	6,0	-						

Tab. C.10: Naměřené hodnoty posluchače č. 10.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	0	2	3	4	5	6	0	0	2	4	5	5	6	2	4	5	5	5	6	6							
	0	0	2	4	4	5	6	0	0	1	2	4	5	6	2	4	4	5	6	6	6	0,7	1,3	2,7	3,8	4,7	5,3	6,0
	0,0	0,0	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	0,0	0,0	1,5	3,0	4,5	5,0	6,0	2,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,0							
B	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	5	0	2	4	4	5	6	6							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	3	4	5	0	2	3	4	5	6	6	0,0	0,7	1,5	2,3	3,5	4,5	5,3
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	5,0	0,0	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	6,0							
C	0	0	1	3	4	4	5	0	0	1	3	4	4	5	1	2	4	4	4	5	6							
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	2	3	4	5	6	1	2	4	4	5	6	6	0,3	0,7	2,2	3,2	4,0	4,7	5,5
	0,0	0,0	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	0,0	0,0	1,5	3,0	4,0	4,5	5,5	1,0	2,0	4,0	4,0	4,5	5,5	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,0	1,3	2,7	3,5	4,3	5,3	0,0	0,0	1,0	2,3	3,7	4,3	5,5	1,0	2,7	4,0	4,3	5,0	5,8	6,0	-						

Tab. C.11: Naměřené hodnoty posluchače č. 11.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	3	4	5	5	5	0	1	2	3	4	6	6	2	4	4	5	6	6	6							
	0	1	3	4	5	6	6	0	1	3	4	6	6	6	1	2	4	5	6	6	6	0,5	1,7	3,2	4,2	5,3	5,8	5,8
	0,0	1,0	3,0	4,0	5,0	5,5	5,5	0,0	1,0	2,5	3,5	5,0	6,0	6,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
B	0	0	2	3	3	4	6	0	0	1	2	3	4	5	1	2	4	4	5	6	6							
	0	1	2	3	4	6	6	0	0	1	2	4	5	6	1	2	3	5	6	6	6	0,3	0,8	2,2	3,2	4,2	5,2	5,8
	0,0	0,5	2,0	3,0	3,5	5,0	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
C	0	1	2	2	4	4	5	0	1	2	3	4	6	6	1	2	4	4	5	6	6							
	0	0	2	3	4	6	6	0	1	2	3	4	6	6	1	3	4	5	6	6	6	0,3	1,3	2,7	3,3	4,5	5,7	5,8
	0,0	0,5	2,0	2,5	4,0	5,0	5,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0	1,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,7	2,3	3,2	4,2	5,2	5,7	0,0	0,7	1,8	2,8	4,2	5,5	5,8	1,2	2,5	3,8	4,7	5,7	6,0	6,0	-						

Tab. C.12: Naměřené hodnoty posluchače č. 12.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	1	2	3	4	4	5	6	0	1	2	3	4	5	5	1	2	3	3	4	5	6	0,7	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,7
	0	1	2	3	4	5	5	0	1	2	3	4	5	6	2	3	3	4	5	5	6							
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	1,5	2,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0							
B	0	0	2	3	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	5	6	0,3	0,8	2,0	2,8	3,5	4,3	5,3
	0	1	2	3	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	3	4	5	6							
	0,0	0,5	2,0	3,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0							
C	0	0	1	2	4	4	5	0	1	2	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	6	0,5	1,2	2,2	2,8	3,7	4,3	5,3
	0	1	2	3	4	4	5	0	1	2	3	3	4	5	2	2	3	3	4	5	6							
	0,0	0,5	1,5	2,5	4,0	4,0	5,0	0,0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	1,5	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,2	0,8	2,0	3,0	3,7	4,3	5,2	0,0	0,7	1,7	2,5	3,3	4,3	5,2	1,3	2,2	3,0	3,5	4,3	5,0	6,0	-						

Tab. C.13: Naměřené hodnoty posluchače č. 13.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	1	2	3	4	5	6	0	1	3	3	5	6	6	0	3	4	4	5	6	6	0,2	1,3	2,5	3,2	4,2	5,3	5,8
	0	1	2	3	4	5	5	0	0	1	2	3	5	6	1	2	3	4	4	5	6							
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	0,0	0,5	2,0	2,5	4,0	5,5	6,0	0,5	2,5	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0							
B	0	0	1	2	3	4	6	0	0	1	2	3	5	6	0	2	3	4	5	6	6	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0
	0	0	1	2	3	5	6	0	0	1	2	3	5	6	0	1	2	3	4	5	6							
	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	0,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0							
C	0	1	1	2	3	5	6	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	5	6	0,0	0,7	1,7	3,0	3,5	4,5	5,8
	0	0	2	3	3	4	6	0	1	2	3	3	4	6	0	1	2	4	4	5	6							
	0,0	0,5	1,5	2,5	3,0	4,5	6,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,0	4,0	5,5	0,0	1,0	2,0	4,0	4,5	5,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,5	1,5	2,5	3,3	4,7	5,8	0,0	0,3	1,5	2,3	3,3	4,8	5,8	0,2	1,7	2,7	3,8	4,5	5,3	6,0	-						

Tab. C.14: Naměřené hodnoty posluchače č. 14.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	0	0	2	3	4	5	6	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	4	5	6	0,3	1,0	2,2	3,2	4,0	4,8	5,8
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	5	6							
	0,0	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0							
B	0	0	1	1	2	3	4	0	0	0	1	2	2	4	0	0	1	2	3	4	5	0,2	0,3	1,0	1,8	2,8	3,5	4,7
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	1	2	3	4	1	2	3	4	5	5	6							
	0,0	0,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	4,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5	5,5							
C	0	0	0	1	2	3	4	0	0	0	1	2	3	5	0	0	1	2	3	4	5	0,0	0,2	0,8	1,8	2,8	3,8	5,0
	0	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6							
	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	0,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	0,0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5							
Aritm. průměry pro šumy	0,0	0,2	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	0,0	0,2	0,7	1,7	2,7	3,5	4,8	0,5	1,2	2,2	3,2	4,0	4,7	5,7	-						

Tab. C.15: Naměřené hodnoty posluchače č. 15.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	1	2	4	5	6	6	6	1	2	3	4	5	6	6	2	3	4	5	6	6	6							
	0	2	3	4	5	6	6	1	2	3	4	5	6	6	2	3	4	5	6	6	6	1,2	2,3	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0
	0,5	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
B	1	1	3	4	5	6	6	0	0	1	2	4	5	6	2	3	4	5	6	6	6							
	0	0	2	3	4	5	6	0	0	1	2	4	5	6	1	2	3	4	5	6	6	0,7	1,0	2,3	3,3	4,7	5,5	6,0
	0,5	0,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	0,0	0,0	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
C	0	1	2	4	5	6	6	0	1	2	4	5	6	6	2	2	4	5	6	6	6							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	6	6	0,7	1,5	2,7	4,0	5,0	5,7	6,0
	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	2,0	2,5	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,3	1,2	2,7	3,8	4,8	5,7	6,0	0,3	1,0	2,0	3,2	4,5	5,5	6,0	1,8	2,7	3,8	4,8	5,8	6,0	6,0	-						

Tab. C.16: Naměřené hodnoty posluchače č. 16.

Nahrávka	Šum																		Aritmetické průměry pro nahrávky									
	1						2						3															
	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0	40	30	20	15	10	5	0
A	1	2	4	5	6	6	6	1	2	3	4	5	6	6	2	3	4	5	6	6	6							
	1	2	3	3	4	5	5	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	5	6	1,0	2,0	3,2	4,0	5,0	5,5	5,8
	1,0	2,0	3,5	4,0	5,0	5,5	5,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	5,5	6,0							
B	1	1	3	4	5	6	6	0	0	1	2	4	5	6	2	3	4	5	6	6	6							
	0	1	2	3	3	4	5	0	0	1	2	3	4	5	1	3	4	5	5	6	6	0,7	1,3	2,5	3,5	4,3	5,2	5,7
	0,5	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	0,0	0,0	1,0	2,0	3,5	4,5	5,5	1,5	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0	6,0							
C	0	1	2	4	5	6	6	0	1	2	4	5	6	6	2	2	4	5	6	6	6							
	0	1	3	4	5	5	6	0	1	2	2	3	4	5	2	2	3	4	5	6	6	0,7	1,3	2,7	3,8	4,8	5,5	5,8
	0,0	1,0	2,5	4,0	5,0	5,5	6,0	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	2,0	2,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,0							
Aritm. průměry pro šumy	0,5	1,3	2,8	3,8	4,7	5,3	5,7	0,2	0,8	1,8	2,8	4,0	5,0	5,7	1,7	2,5	3,7	4,7	5,5	5,8	6,0	-						

D POPIS SOUBORŮ NA MÉDIU

Na přiloženém médiu jsou (kromě elektronické verze práce) umístěny zdrojové kódy realizované aplikace a také všechny *.wav soubory použité při měření. Aplikace vyžaduje změnu cesty k adresáři s těmito soubory podle potřeby. Výchozí označení diskové jednotky je D:\.