

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

ŘÍZENÍ POSLECHOVÝCH TESTŮ PRO SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ
KVALITY AUDIO SIGNÁLU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ KOVAŘÍK

BRNO 2012



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

ŘÍZENÍ POSLECHOVÝCH TESTŮ PRO SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY AUDIO SIGNÁLU

EVALUATION OF LISTENING TESTS FOR SUBJECTIVE ASSESSMENT OF AUDIO QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ KOVAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ RÁŠO

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Tomáš Kovařík

ID: 106554

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Řízení poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality audio signálu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce bude měření subjektivní poslechové kvality audio materiálů, tedy provádění poslechových testů. V rámci diplomové práce student dostane sadu krátkých audio nahrávek. Tyto nahrávky budou zarušené šumem pozadí s rozdílným SNR. Cílem studenta bude stanovit práh slyšitelnosti tohoto šumu pozadí. Tedy stanovit průměrnou hodnotu SNR (vždy staženo ke konkrétní nahrávce a šumu pozadí) pro kterou šum pozadí bude pro posluchače neslyšitelný. Student tedy zvolí vhodný poslechových test. Tento test realizuje a výsledky vyhodnotí 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] VLACH, J., HÁVLÍČEK, J., VLACH, M.: Začínáme s LabVIEW. BEN, Praha 2008. ISBN: 978-80-7300-245-9.
- [4] ITU-R, BS.1116.1-1: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems, 1997.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 24.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Rášo

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce bylo provedení poslechových testů. Pro tyto testy zvolit vhodné metody provedení, testy provést a získaná data vyhodnotit pomocí statistických analýz. Z výsledků prvního testu poté sestavit výslednou intervalovou škálu a u druhého poslechového testu stanovit průměrné hodnoty SNR pro šumy pozadí.

KLÍČOVÁ SLOVA

psychoakustický experiment, pořadová škála, intervalová škála, metoda seřazování do pořadí, SNR, metoda nastavování zvukových podnětů, Pearsonův koeficient korelace

ABSTRACT

The point of this thesis was to perform listening tests. Appropriate methods of performance were selected for these tests, tests were carried out and the data were analyzed using statistical analysis. Then was compiled the resulting interval scale from results of the first test and in the second listening test were determined average values SNR for background noises.

KEYWORDS

psychoacoustic experiment, ordinal scale, interval scale, method of rank order, SNR, method of adjustment, Pearson correlation coefficient

KOVAŘÍK, Tomáš *Řízení poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality audio signálu.*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2012. 71 s. Vedoucí práce byl Ing. Rášo Ondřej,

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řízení poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality audio signálu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 Ing. Ondřejovi Rášovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc i další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Výzkum popsáný v této diplomové 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.

OBSAH

Úvod	13
1 Základní pojmy	14
1.1 Psychoakustický experiment	15
2 Teoretický úvod k testu č.1	16
2.1 Typy škál v psychologii	16
2.1.1 Nominální škála	16
2.1.2 Pořadová škála	16
2.1.3 Intervalová škála	17
2.1.4 Poměrová škála	17
2.2 Metoda seřazování do pořadí	18
3 Poslechový test č.1	19
3.1 Příprava poslechového testu	19
3.2 Průběh poslechového testu	21
3.3 Výsledky poslechového testu č.1	22
3.3.1 Zjištění shody mezi posuzovateli	22
3.3.2 Vytvoření pořadové škály	24
3.3.3 Vytvoření intervalové škály	25
3.3.4 Shrnutí výsledků poslechového testu	27
4 Teoretický úvod k testu č.2	29
4.1 Hlasitost čistých tónů	29
4.2 Hlasitost složených zvuků	30
4.3 Metoda nastavování zvukových podnětů	30
5 Poslechový test č.2	32
5.1 Příprava poslechového testu	33
5.1.1 Programové vybavení	33
5.1.2 Technické vybavení	35
5.2 Průběh poslechového testu	37
5.3 Výsledky poslechového testu č.2	39
5.3.1 Zjištění spolehlivosti měření skupiny	40
5.3.2 Krátkodobá stabilita měření	42
5.3.3 Ověření spolehlivosti jednotlivých osob	44
5.3.4 Shrnutí výsledků poslechového testu	47

6 Závěr	50
Literatura	52
Seznam symbolů, veličin a zkratk	53
Seznam příloh	54
A Příloha k poslechovému testu č.1	55
A.1 Bílý šum	55
A.2 Hluk baru	56
A.3 Šum kazety	57
A.4 Fonograf	58
A.5 Ventilátor PC	59
A.6 Sprcha	60
A.7 Tón 1 kHz	61
A.8 Vinylová deska	62
A.9 Vuvuzela	63
A.10 Vítr	64
B Příloha k poslechovému testu č.2	65
B.1 Dotazník	65
B.2 Instrukce	66
B.3 Data získaná při poslechovém testu č.2	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Znázornění hlavních oblastí zájmu nové psychofyziky (převzato z [2]).	14
3.1	Vzhled programu pro metodu seřazování do pořadí.	20
3.2	Počítačová učebna.	21
3.3	Grafické zobrazení výsledků na intervalové škále.	27
5.1	Spektrogramy pro nahrávku kytary a šum vinylové desky: A) šum vinylové desky, B) „Čistá“ nahrávka kytary, C) Součet obou nahrávek pro SNR = 10 dB, D) SNR = 15 dB, E) SNR = 20 dB, F) SNR = 25 dB, G) SNR = 30 dB, H) SNR = 35 dB, I) SNR = 40 dB, J) SNR = 45 dB, K) SNR = 55 dB.	32
5.2	Vzhled programu s popisem.	33
5.3	Vzhled programu.	34
5.4	Chybové hlášení.	34
5.5	Potvrzení odeslání.	35
5.6	Měření parametrů sluchátek	35
5.7	Frekvenční charakteristika sluchátek	36
5.8	Pracoviště pro test	37
5.9	Zvuková karta	37
5.10	Sluchátka	38
5.11	Skupinové aritmetické průměry a 95% intervaly spolehlivosti	39
5.12	Bodový diagram, regresní přímka a 95% pásmo spolehlivosti pro korelační vztah mezi hodnotami nastavení SNR u nahrávky Abba při testu ($A1$) a retestu ($A2$).	42
A.1	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	55
A.2	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	56
A.3	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	57
A.4	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	58
A.5	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	59
A.6	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	60
A.7	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh d) přiblížení časového průběhu	61

A.8	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	62
A.9	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	63
A.10	a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh	64
B.1	Grafické rozhraní programu.	66

SEZNAM TABULEK

2.1	Stevensův hierarchický systém třídění škál	16
3.1	Označení šumů	20
3.2	Odpovědi studentů	23
3.3	Tabulka pro metodu seřazování do pořadí	24
3.4	Tabulka s výsledky	27
3.5	tabulka pro vytvoření intervalové škály	28
5.1	Tabulka s označením	39
5.2	Korelační koeficienty nahrávek	42
5.3	Korelační koeficienty nahrávek 2	43
5.4	Tabulka pro výpočet Spearmanova koeficientu	44
5.5	Tabulka hodnot Spearmanova koeficientu	46
5.6	Výsledky pro nahrávku Abba	47
5.7	Výsledky pro nahrávku Speech	47
5.8	Výsledky pro nahrávku Guitar	47
5.9	Výsledky pro nahrávku Mozart	48
5.10	Výsledky pro nahrávku Eddie Rabbitt	48
5.11	Výsledky pro nahrávku Vocal	48
5.12	Výsledky dotazníku	49
B.1	Data získaná od posluchačů 1 až 4	67
B.2	Data získaná od posluchačů 5 až 8	68
B.3	Data získaná od posluchačů 9 až 12	69
B.4	Data získaná od posluchačů 13 až 16	70
B.5	Data získaná od posluchačů 17 až 20	71

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá subjektivními poslechovými testy a jejich vyhodnocením. Rozdíl mezi subjektivními a objektivními veličinami spočívá v tom, že objektivní veličiny je možné změřit nebo určit jejich hodnotu (velikost). Oproti tomu subjektivní veličiny je obtížné změřit nebo získat jejich hodnotu, protože závisí na individuálních pocitech hodnotitele.

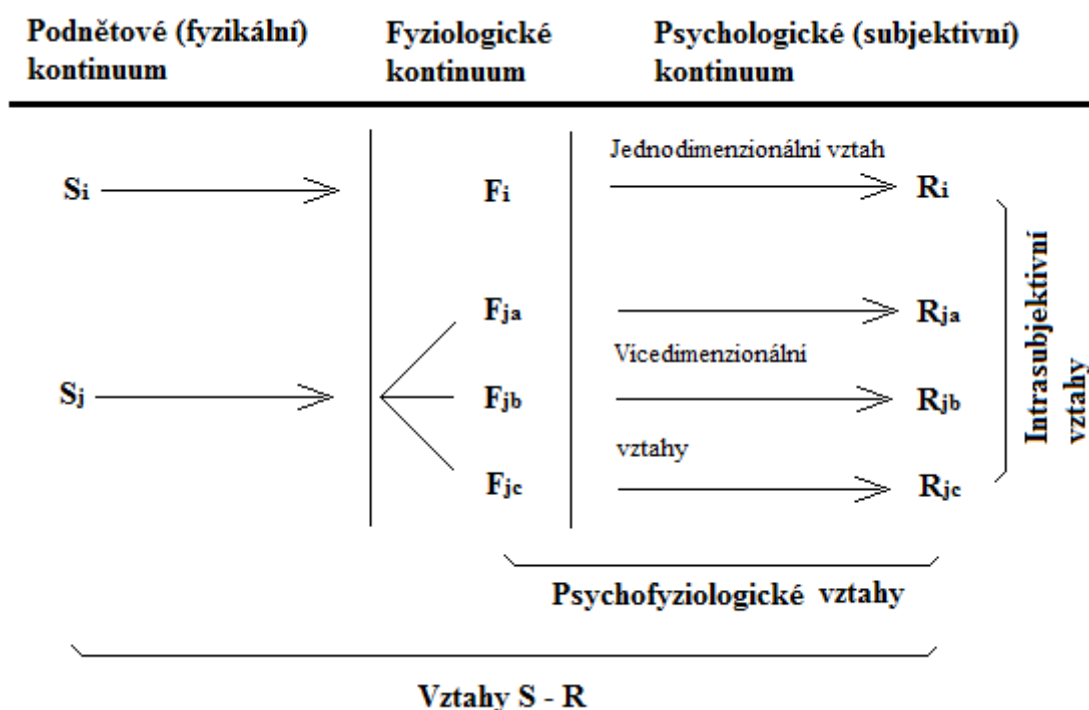
Náplní této diplomové práce je provedení dvou poslechových testů. Poslechový test č.1 byl proveden v rámci semestrálního projektu a jeho cílem bylo subjektivní ohodnocení sady nahrávek různých šumů. Původní plán byl ohodnotit šumy s rozdílnými hlasitostmi na subjektivní intervalové škále, která by popisovala subjektivní vjem hlasitosti testovaných nahrávek. Kvůli komplikované realizaci poslechového testu, bylo od tohoto plánu upuštěno. Nebylo totiž možné jednoduše změřit SPL referenčních tónů, ke kterým byly vytvořené nahrávky normovány. Bez této normalizace hlasitosti by výsledky provedeného poslechového testu nemohly být použity jako srovnávací materiál k objektivním veličinám. Kvůli náročné realizaci jsme pozměnily zadání na provedení poslechového testu, kdy budou hodnoceny šumy podle subjektivního pocitu příjemnosti. K provedení testu bude zvolena metoda seřazování do pořadí. Osoby, které se zúčastní tohoto poslechového testu, budou mít za úkol seřadit dané nahrávky šumů podle pocitu příjemnosti. Získané výsledky se podrobí vhodné statistické analýze a následně bude vytvořena výsledná intervalová škála.

U poslechového testu č.2 je cílem stanovení průměrných hodnot prahu slyšitelnosti šumů pozadí. Toho bude dosaženo pomocí metody nastavování zvukových podmětů, při které budou pokusným osobám předkládány nahrávky s různými hodnotami SNR. Úkolem osob, které se zúčastní testu, bude ve vytvořeném programu označit nahrávku, ve které již šum pozadí neuslyší. Získaná data budou podrobena statistické analýze, na základě které se ověří jejich spolehlivost.

1 ZÁKLADNÍ POJMY

Psychoakustika je vědní disciplína, v níž se spojuje *akustika* a *psychologie*. Zajímá se o nejrůznější otázky týkající se např. měření prahů slyšení nebo posuzování zvukové kvality hudebních nástrojů.

Přesněji, jak je uvedeno v literatuře [2] je cílem *psychoakustiky* zjišťování kvantitativních vztahů mezi akustickými podněty a sluchovými vjemy. Předchůdcem *psychoakustiky* je odvětví psychologie, které vzniklo v 19. století v Německu a nazývá se *psychofyzika*. *Klasická psychofyzika* se zabývala zkoumáním vztahů mezi fyzikálními podněty a jimi vyvolanými počítky, ze kterých se skládají komplexnější vjemy. *Nová psychofyzika* takovéto dělení odmítá, protože podle ní prý neodpovídá skutečnosti a zavádí tzv. *celostní prožitek*. *Nová psychofyzika* vznikla zhruba v polovině 20. století v závislosti na rozvoji detekce signálu a nových přístupů k měření v psychologii. Zabývá se zkoumáním kvantitativních vztahů mezi psychologickými a jinými proměnnými.



Obr. 1.1: Znázornění hlavních oblastí zájmu nové psychofyziky (převzato z [2]).

Podle [2] *nová psychofyzika* sleduje tři druhy vztahů. *Vztahy S - R* předpokládají, že příčinou změn proměnné R jsou změny podnětové proměnné S . Znamená to tedy, že podnět je *nezávisle proměnnou* a psychologická reakce *závisle proměnnou*. *Psychofyziologické vztahy* předpokládají, že mezi oběma proměnnými existuje vztah

příčiny (F) a následků (E), takže kauzální vztah. Oproti vztahu S - R u psychofyziologických vztahů většinou není možné přímo manipulovat s nezávisle proměnnou F. Je ovšem možné vytvořit skupiny pokusných osob, kdy pro tyto osoby bude určitá hodnota proměnné F typická (např. různé věkové skupiny). Zkoumání psychofyziologických vztahů není možné provádět bez znalosti fyziologických procesů, veličin a metod měření. Intrasubjektivní vztahy představují vztahy mezi různými psychologickými proměnnými bez ohledu na to, které podmětové podmínky a fyziologické procesy tvoří jejich základ. Při řešení těchto vztahů nás zajímá více těsnost vztahů řešených proměnných než to, kterou proměnnou máme považovat za příčinu a za následek. U tohoto typu výzkumu se často používá statistická technika korelační analýzy. [2]

1.1 Psychoakustický experiment

Do psychologie se *experiment*, který má původ v oblasti přírodních věd, dostal prostřednictvím fyziologie smyslů. Psychologie poté obsah pojmu *experiment* rozšířila. Jeden z nejdůležitějších směrů moderní psychologie tzv. *behaviorismus* vypracoval některé své metody, které umožňují také složité psychické jevy uchopit *kvantitativním* způsobem [2].

Nicméně někdy je nutné při psychologickém experimentu zabývat se i psychologickými proměnnými, které nelze pozorovat v prostoru ani měřit v čase a lze je uchopit pouze *kvalitativně*. *Behaviorismus* ovšem prožitkovou stránku psychické činnosti poměrně zanedbával a poukazoval při tom na nedostatečnou objektivitu jejího postihování a zajímal se spíše o zkoumání lidského chování, kde bylo možné definovat proměnnou nezávisle pomocí fyzikálních pramenů experimentální situace. To vedlo ke kritice *behaviorismu*, který ale i tak přispěl díky svému bezpodmínečnému vyžadování objektivitu k rozvoji experimentální psychologie. *Psychoakustický experiment* je speciálním typem psychologického experimentu, který se soustředí na pozorování účinku zvukových podnětů. V literatuře [2] je psychologický experiment definován jako: „Experiment při němž experimentátor za podmínek jím samotným co nejpřesněji připravených, kontrolovaných a pozměňovaných zjišťuje a zaznamenává (ať kvalitativně nebo kvantitativně) určité reakce, způsoby chování, projevy nebo požítky pokusných osob, aby ověřil určitou hypotézu o kauzální závislosti těchto výsledků na experimentálních podmínkách“ [2].

2 TEORETICKÝ ÚVOD K TESTU Č.1

Tato část práce je věnována teoretickému popisu třídění škál v psychologii a principu metody seřazování do pořadí, která je využita k provedení poslechového testu č.1.

2.1 Typy škál v psychologii

V psychologii existuje několik typů třídění škál. Nejvíce se využívá Stevensova hierarchického systému, který rozlišil 4 druhy škál na nominální, pořadové, intervalové a poměrové. Tyto škály se od sebe liší svou úrovní od nejobecnější a nejjednodušší škály nominální až po škály poměrové, které jsou velmi specifické [2],[1].

Tab. 2.1: Stevensův hierarchický systém třídění škál

Druh měření	Typ škály	Forma škálování	Úroveň měření
klasifikace	nominální	nemetrická	nejnižší
kvantifikace	pořadová	nemetrická	↓
kvantifikace	intervalová	metrická	↓
kvantifikace	poměrová	metrická	nejvyšší

2.1.1 Nominální škála

Nominální škála je nejjednodušším typem psychologické škály, která přináší nejméně informací. Jedná se o jednoduché třídění dat, kdy všechny prvky je možné zařadit do kategorií, které se navzájem vylučují a každý prvek může být zařazen pouze do jedné z nich.

Při použití nominální škály je nutné nejprve stanovit kritéria, podle kterých se budou jednotlivé prvky řadit do dané kategorie. Tyto kategorie musí být řádně definovány. Takto definované kategorie poté můžeme označovat čísly nebo libovolnými symboly např. písmeny, znaky. Při přiřazení čísel třídám, tato čísla neznamenaají skutečnou hodnotu, slouží pouze pro rozlišení skupin a můžeme je tedy libovolně měnit a přitom zůstane stupnice invariantní. Využití nominální škály je např. při třídění osob podle vzdělání, profese, věku a pohlaví [2],[1].

2.1.2 Pořadová škála

Základním znakem při použití pořadové škály je to, že musíme znát pořadový vztah mezi jednotlivými jevy. Na základě tohoto vztahu můžeme konstatovat, že sledovaný

jev A je lepší (větší, silnější atd.) než jev B nebo naopak.

Jelikož pořadová škála stejně tak jako nominální škála nemá jednotku měření, nejsme schopni určit velikost rozdílů mezi jednotlivými body na stupnici. Pořadové škály se často vyskytují v psychologii a to tehdy, kdy nejsme schopni získávaná data přesně měřit. Ve sportu se běžně uvádí pořadí sportovců, které není nijak ovlivněno rozdílem mezi pořadím. Rozdíl mezi jejich výkony kdy např. mezi prvním a druhým byl těsný rozdíl a mezi druhým a třetím výrazný, nejsme pouze z pořadové škály schopni určit [2],[1].

2.1.3 Intervalová škála

Tento typ škály již tvoří metrické škálování. K vytvoření je třeba sestavit data tak, aby byla stejná vzdálenost mezi jednotlivými body. Není však rozhodující, jestli se všechny body stupnice ve výsledné práci vyskytnou.

Je potřeba najít experimentální operaci, která umožní jednotlivým podnětům přiřadit čísla tak, aby dvěma stejným vzdálenostem odpovídaly dva stejné číselné poměry (např. aby rozdíly mezi A a B , B a C atd. odpovídaly rozdílům $x_B - x_A = x_C - x_B = \dots$). U intervalové škály již můžeme na rozdíl od pořadové škály porovnávat velikosti různých intervalů tzn. porovnávat jejich číselné rozdíly. Příkladem intervalové škály, která se běžně využívá je měření teploty na Celsiově stupnici, měření času, nadmořské výšky atd. Při zpracovávání dat z intervalové škály můžeme použít většinu parametrických statistických metod (standardní odchylky, průměry atd.) Můžeme také provádět lineární transformaci [2],[1]

$$y = a + bx \tag{2.1}$$

kde

a ... konstanta umožňující posunutí nulového bodu,

b ... konstanta ovlivňující velikost jednotky měření,

x ... libovolná hodnota ležící na původní škále,

y ... hodnota na transformované škále.

2.1.4 Poměrová škála

Poměrová škála vyjadřuje nejvyšší formu měření, proto nároky kladené na vlastnosti měřených objektů nebo jevů jsou také nejvyšší.

Tato škála je charakteristická tím, že poměr intervalů mezi dvěma sousedními body na škále je stejný jako poměr mezi kterýmikoliv jinými dvěma sousedními body (tzn. aby platilo $x_B/x_A = x_C/x_B = x_D/x_C = konst.$). Poměrové škály se nejčastěji používají při měření fyzikálních veličin jako hmotnost, čas a délka. Poměrová

škála má na rozdíl od intervalové škály absolutní nulový bod (měřená veličina zde má skutečně nulovou hodnotu) [2],[1]. Při zpracování dat z poměrových škál je možné používat všechny statistické metody, které jsou povoleny u intervalových škál a navíc geometrický průměr a variační koeficient. Můžeme také provádět podobnostní transformace [2],[1]

$$y = bx \tag{2.2}$$

kde

b ... konstanta ovlivňující velikost jednotky měření,

x ... původní hodnota,

y ... transformovaná hodnota.

2.2 Metoda seřazování do pořadí

Metoda seřazování do pořadí patří v psychologii k nejpoužívanějším metodám měření, protože má širokou možnost využití a aplikovatelnost na nejrůznější druhy zkoumaných problémů. Její obliba je dána také tím, že umožňuje celkem rychle změřit i větší počet zkoumaných objektů a sestavit tak pořadovou škálu [2],[1].

Metoda spočívá v tom, že osoby, se kterými je prováděn pokus (nebo experiment), mají za úkol seřadit předložené podněty do *pořadí* podle předem daného kritéria. V našem případě se jednalo o subjektivní posouzení příjemnosti. Jednotlivé osoby musí přiřadit *pořadí* $r = 1$ podnětu, který jim byl nejpříjemnější až po podnět který byl nejnepříjemnější a tomu přiřadit *pořadí* $r = n$. Osoby musí přiřadit *pořadí* každému z předložených podnětů. V literaturách se vyskytují dva podobné výrazy: *pořadí* (značí se většinou r) a *pořadová hodnota* (značí se R). Výraz *pořadí* je běžně používán a znamená, že při řazení nějakých podnětů osoby přiřadí *pořadí* $r = 1$ podnětu, který odpovídá nejvíce hledanému jevu a *pořadí* $r = n$ udělí podnětu, který má jevu nejméně. Používání výrazu *pořadová hodnota* je založeno na myšlence, že při zpracovávání dat je výhodnější, pokud číselná hodnota u podnětu roste zároveň s „velikostí“ hledaného jevu. Převod mezi *pořadím* r_A a *pořadovou hodnotou* R_A u podnětu S_A se provádí podle vzorce [2],[1]

$$R_A = n - r_A + 1 \tag{2.3}$$

kde

n ... celkový počet podnětů

R_A ... pořadová hodnota

r_A ... pořadí

3 POSLECHOVÝ TEST Č.1

V této části práce je popsána příprava, průběh a výsledky prvního provedeného poslechového testu.

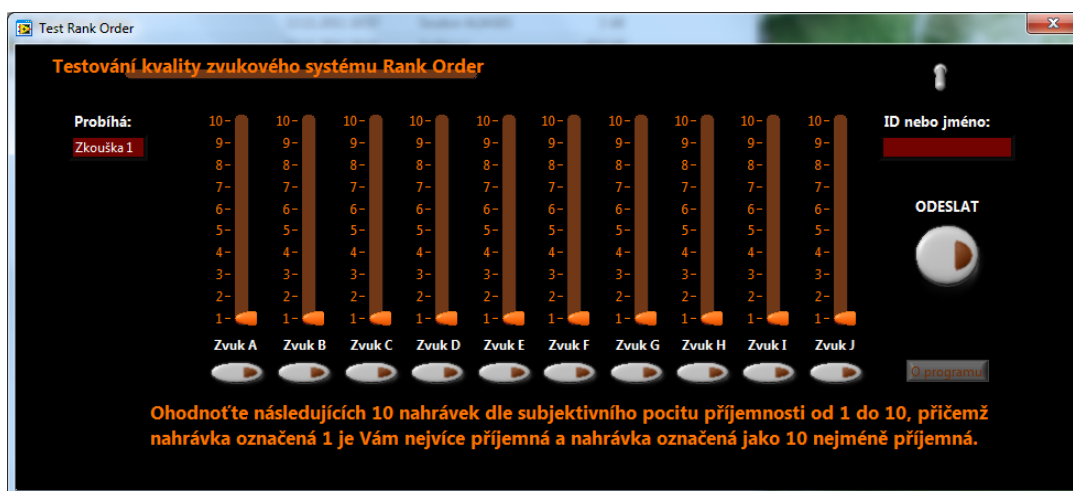
3.1 Příprava poslechového testu

Původním cílem prvního poslechového testu bylo ohodnotit sadu nahrávek různých šumů s rozdílnými hlasitostmi na subjektivní intervalové škále, která by popisovala subjektivní vjem hlasitosti testovaných nahrávek. A získat tak srovnávací materiál k objektivním veličinám, které se snaží predikovat subjektivní vjem hlasitosti složených zvuků, jako např. hlasitost v sonech. Bohužel kvůli komplikované realizaci tohoto poslechového testu, bylo od tohoto plánu upuštěno. Potřebovali bychom simulátor hlavy a torza s vestavěnými mikrofony v ušních boltcích pro správné nastavení hlasitostí a pro proměření kmitočtových charakteristik použitých sluchátek. Toto zařízení nebylo k dispozici, jelikož byl test proveden mimo areál VUT. Bez této normalizace hlasitosti by výsledky provedeného poslechového testu nemohly být použity jako srovnávací materiál k objektivním veličinám.

Po úpravě zadání bylo cílem ohodnotit předložené nahrávky podle subjektivního pocitu příjemnosti. Bylo nutné zvolit vhodnou metodu provedení testu a na základě výsledků vytvořit pomocí statistických metod výslednou intervalovou škálu. Jako vhodnou pro provedení testu jsem zvolil metodu seřazování do pořadí (method of rank order) a to proto, že použitím této metody dostaneme výsledky, které lze za určitých podmínek použít k vytvoření intervalové škály. Těmito podmínkami je buď velký počet osob, se kterými je test prováděn (cca $m \geq 100$) a nebo i při menším počtu osob m , pokud lze předpokládat normální rozdělení tříděných podnětů [2],[1].

Test byl proveden na Střední průmyslové škole a Obchodní akademii Uherský Brod. Osoby, které test prováděly, byli studenti druhého ročníku oboru technického lycea. Z počtu 25 studentů bylo 6 dívek a 19 chlapců ve věku 16 až 17 let. Při realizaci programového vybavení bylo vycházeno z [4], tuto implementaci však bylo nutné modifikovat do výsledné podoby, která by umožňovala použití tohoto programového vybavení v navrhovaném poslechovém testu. Modifikace programu z [4] spočívala v tom, že původní verze neumožňovala hodnotit více jak deset nahrávek. Jelikož v počátcích plánování tohoto poslechového testu bylo hodnocení patnácti nahrávek, bylo nutné tuto možnost doprogramovat. Dále bylo do GUI (grafického uživatelského prostředí) doplněno jak při hodnocení nahrávek postupovat.

Výsledné GUI je zobrazeno na obrázku 3.1. Úkolem studentů bylo předložené šumy v tomto programu ohodnotit podle subjektivního pocitu příjemnosti.



Obr. 3.1: Vzhled programu pro metodu seřazování do pořadí.

Seznam šumů, které byly při testu použity je v tabulce 3.1. Všechny šumy byly upraveny tak, aby jejich délka trvání byla 5 vteřin a výkon -30 dB.

Tab. 3.1: Označení šumů

Bílý šum	A
Hluk baru	B
Šum kazety	C
Fonograf	D
Ventilátor PC	E
Sprcha	F
Tón 1 KHz	G
Vinylová deska	H
Vuvuzela	I
Vítr	J

3.2 Průběh poslechového testu

Poslechový test probíhal jako částečně řízený, což znamená, že před jeho začátkem bylo studentům vysvětleno, co je jejich úkolem a jak mají daný program ovládat, aby bylo dosaženo správných výsledků. Pro snadnější provedení testu byla studentům navržena varianta, jak mají postupovat při sestavování pořadí u jednotlivých nahrávek (tímto návrhem se však studenti nemuseli řídit). Test byl proveden v pondělí 14.11.2011 v počítačové učebně zobrazené na obrázku 3.2 .



Obr. 3.2: Počítačová učebna.

Na jednotlivé počítače bylo nutné nainstalovat volně šiřitelné prostředí LabVIEW Run-Time Engine 2010 [6], protože program použitý pro provedení testu je vytvořen v programu LabVIEW a pro své spuštění vyžaduje speciální knihovny. Poté na takto připravených počítačích byl spuštěn program a proveden test. Pro co nejdůvěryhodnější výsledky testu měli studenti nasazeny sluchátka a mohli si jednotlivé nahrávky pouštět v jakémkoli pořadí a také opakovaně.

3.3 Výsledky poslechového testu č.1

Při vyhodnocování výsledků testu byl použit postup publikovaný v [2].

3.3.1 Zjištění shody mezi posuzovateli

Před samotným zpracováním dat od studentů je potřeba zjistit statistickou významnost získaným dat a ujistit se tak, že jsou správná. Tuto významnost zjistíme pomocí Kendallova koeficientu konkordance značeným jako W , který určuje shodu hodnocení jednotlivých studentů. Při maximální shodě mezi osobami, které test prováděly, by koeficient W měl hodnotu 1, při naprostém nesouhlasu odpovědí by hodnota byla 0. Koeficient W zjistíme ze vztahu

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (3.1)$$

kde

m ... počet hodnotitelů

n ... počet posuzovaných objektů.

$$S = \sum_{k=1}^n R_k^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^n R_k\right)^2}{n} \quad (3.2)$$

kde

n ... počet posuzovaných objektů.

R_k ... součet pořadí

V tabulce 3.2 jsou uvedeny pořadí, která jednotliví studenti přiřadili testovaným šumům. Z tabulky vyplývá, že student označený číslem 17 přiřadil pořadí k šumům zřejmě opačně, a proto k sestavení výsledků nebylo jeho hodnocení použito. Po vyřazení hodnocení č. 17 má S hodnotu

$$S = 199518 - \frac{(1320)^2}{10} = 25278 \quad (3.3)$$

a Kendallův koeficient

$$W = \frac{12 \cdot 25278}{24^2 \cdot (10^3 - 10)} \cong 0,532 \quad (3.4)$$

Statistická významnost koeficientu W se zjistí testem χ^2 pro sv

$$sv = n - 1 \quad (3.5)$$

kde

sv ... stupně volnosti.

a χ^2 se vypočítá ze vzorce

$$\chi^2 = m \cdot (n - 1) \cdot W \quad (3.6)$$

Po dosazení hodnot získáme hodnotu $\chi^2 = 114,9$. Z tabulky kritických hodnot testového kritéria χ^2 [7] pro náš počet stupňů volnosti $sv = 9$ zjistíme, že kritické hodnoty na hladině významnosti $\alpha_{0,05} = 16,919$ a $\alpha_{0,01} = 21,666$ jsou podstatně nižší než naše získaná hodnota $\chi^2 = 114,9$. Můžeme tedy tvrdit, že data získaná z testu jsou statisticky vysoce významná na hladině $\alpha = 0,01$.

Tab. 3.2: Odpovědi studentů

Pokusná osoba	Objekt										Σ
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	3	1	5	8	7	4	10	9	2	6	55
2	9	1	5	6	2	3	10	4	8	7	55
3	9	1	3	4	5	7	10	8	6	2	55
4	7	3	2	4	8	5	10	9	6	1	55
5	5	1	3	7	2	4	10	9	8	6	55
6	6	3	1	8	2	5	10	9	7	4	55
7	7	8	1	2	3	5	10	9	6	4	55
8	8	4	1	6	2	9	10	7	5	3	55
9	6	3	5	9	2	4	10	7	1	8	55
10	5	1	3	9	2	8	6	7	4	10	55
11	6	3	2	7	5	4	10	9	8	1	55
12	10	2	6	5	3	9	7	8	4	1	55
13	8	1	2	6	4	3	10	9	7	5	55
14	10	5	2	9	3	6	4	7	8	1	55
15	8	1	2	5	3	6	9	7	10	4	55
16	7	4	2	8	3	6	9	10	5	1	55
17	5	10	7	8	3	4	2	6	9	1	55
18	10	2	3	4	1	9	7	8	6	5	55
19	6	1	2	7	3	4	10	9	8	5	55
20	8	2	1	4	3	7	10	6	5	9	55
21	6	1	3	10	2	5	9	7	4	8	55
22	8	5	1	7	4	3	10	9	6	2	55
23	9	3	1	2	4	7	10	8	6	5	55
24	2	4	5	9	6	3	8	10	7	1	55
25	9	4	1	8	3	2	6	5	10	7	55

3.3.2 Vytvoření pořadové škály

Poté, co známe statistickou významnost Kendallova koeficientu konkordance, můžeme z dosažených výsledků sestavit výsledné pořadí testovaných šumů [2].

Tab. 3.3: Tabulka pro metodu seřazování do pořadí

Pokusná osoba č.	Objekt										Σ
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	3	1	5	8	7	4	10	9	2	6	55
2	9	1	5	6	2	3	10	4	8	7	55
3	9	1	3	4	5	7	10	8	6	2	55
4	7	3	2	4	8	5	10	9	6	1	55
5	5	1	3	7	2	4	10	9	8	6	55
6	6	3	1	8	2	5	10	9	7	4	55
7	7	8	1	2	3	5	10	9	6	4	55
8	8	4	1	6	2	9	10	7	5	3	55
9	6	3	5	9	2	4	10	7	1	8	55
10	5	1	3	9	2	8	6	7	4	10	55
11	6	3	2	7	5	4	10	9	8	1	55
12	10	2	6	5	3	9	7	8	4	1	55
13	8	1	2	6	4	3	10	9	7	5	55
14	10	5	2	9	3	6	4	7	8	1	55
15	8	1	2	5	3	6	9	7	10	4	55
16	7	4	2	8	3	6	9	10	5	1	55
17	10	2	3	4	1	9	7	8	6	5	55
18	6	1	2	7	3	4	10	9	8	5	55
19	8	2	1	4	3	7	10	6	5	9	55
20	6	1	3	10	2	5	9	7	4	8	55
21	8	5	1	7	4	3	10	9	6	2	55
22	9	3	1	2	4	7	10	8	6	5	55
23	2	4	5	9	6	3	8	10	7	1	55
24	9	4	1	8	3	2	6	5	10	7	55
$R_k = \sum r_{vz}$	172	64	62	154	82	128	215	190	147	106	1320
r_{Σ}	8	2	1	7	3	5	10	9	6	4	55
Me	7,5	2,5	2	7	3	5	10	8	6	4,5	55,5
r_{Me}	8	2	1	7	3	5	10	9	6	4	55
M	7,17	2,67	2,58	6,42	3,42	5,33	8,96	7,92	6,13	4,42	55
r_M	8	2	1	7	3	5	10	9	6	4	55

V tabulce 3.3 je sestavena pořadová škála, která se určila podle velikosti součtů pořadí $R_k = \sum r_{jk}$. Výsledné pořadí r_{\sum} je určeno tak, že šum, který má nejmenší součet pořadí $\sum r_{jk}$, má nejlepší umístění ($r_{\sum} = 1$) a šum, který má největší součet pořadí $\sum r_{jk}$, má nejhorší umístění ($r_{\sum} = 10$). Pro srovnání jsou v tabulce uvedeny také hodnoty mediánů Me , aritmetických průměrů M a z nich sestavená pořadí r_{Me} a r_M . V tabulce 3.1 je uvedeno označení šumů, které bylo použito při testu a vyhodnocování výsledků. Výsledné pořadová škála testovaných šumů je $C - B - E - J - F - I - D - A - H - G$.

3.3.3 Vytvoření intervalové škály

Pro výpočet intervalové škály je potřeba převést pořadí r_j na pořadovou hodnotu R_j podle vzorce [2]

$$R_A = n - r_a + 1. \quad (3.7)$$

Dále se musí vypočítat centilová hodnota P_j pro každou pořadovou hodnotu R_j podle vzorce [2]

$$P_j = \frac{(R_j - 0,5)}{n} \quad (3.8)$$

kde

$j \dots 1, 2, \dots, n,$

$n \dots$ počet posuzovaných objektů.

Centilová hodnota P_j udává podíl části plochy, které leží pod křivkou normálního rozdělení a sahající po střed j -tého intervalu, z celkové plochy pod křivkou. K vypočteným centilovým hodnotám P_j se poté zjistí v tabulce standardizovaného normálního rozdělení odpovídající normalizovaná pořadová hodnota z_j . Tato hodnota vyjadřuje vzdálenost středu j -tého intervalu od středu normálního rozložení. Může nabývat kladnou, nulovou nebo zápornou hodnotu. Poloha R_k každého testovaného objektu se na intervalové škále určí ze vzorce [2]

$$R_k = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^n f_{jk} \cdot z_j \quad (3.9)$$

kde

$m \dots$ počet hodnotitelů,

$n \dots$ počet posuzovaných objektů.

$f_{jk} \dots$ četnost pořadí r_j každého objektu.

$z_j \dots$ normalizovaná pořadová hodnota.

V tabulce 3.5 jsou také kromě výsledné intervalové škály R_k uvedeny hodnoty transformované intervalové škály R'_k tak, aby neobsahovala záporné hodnoty. Toho lze

dosáhnout pomocí lineární transformace

$$R'_k = R_k + 1,212. \quad (3.10)$$

Pro srovnání výsledků použitím různých metod, jsou v tabulce uvedeny také hodnoty vypočtené pomocí C-škály. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v řádku označeném R_k^G . Pro co nejviditelnější srovnání výsledků je potřeba, aby objekty umístěné na okrajích škály měly stejné hodnoty. Toho dosáhneme lineární transformací hodnot R'_k pomocí rovnice

$$R''_k = 1,802 \cdot R'_k + 2,792. \quad (3.11)$$

Dále jsou v tabulce pro srovnání uvedeny hodnoty součtu pořadí $\sum R_{jk}$ a pořadové hodnoty R_{jk} vypočtené v kapitole 3.3.2. Ve sloupci označeném R_k''' jsou hodnoty přepočítány pro lepší orientaci na intervalovou škálu s hodnotami od 1 do 10 podle

$$R_k''' = -4,186 \cdot R'_k + 10. \quad (3.12)$$

Výsledné pořadí testovaných šumů na intervalové škále je $C - B - E - J - F - I - D - A - H - G$. Díky tomu, že výsledné pořadí je na intervalové škále, můžeme říci, že rozdíl mezi šumem, který se umístil na prvním místě a šumem na druhém místě, je jen minimální. Takové tvrzení z výsledků umístěných na pořadové škále nejsme schopni určit.

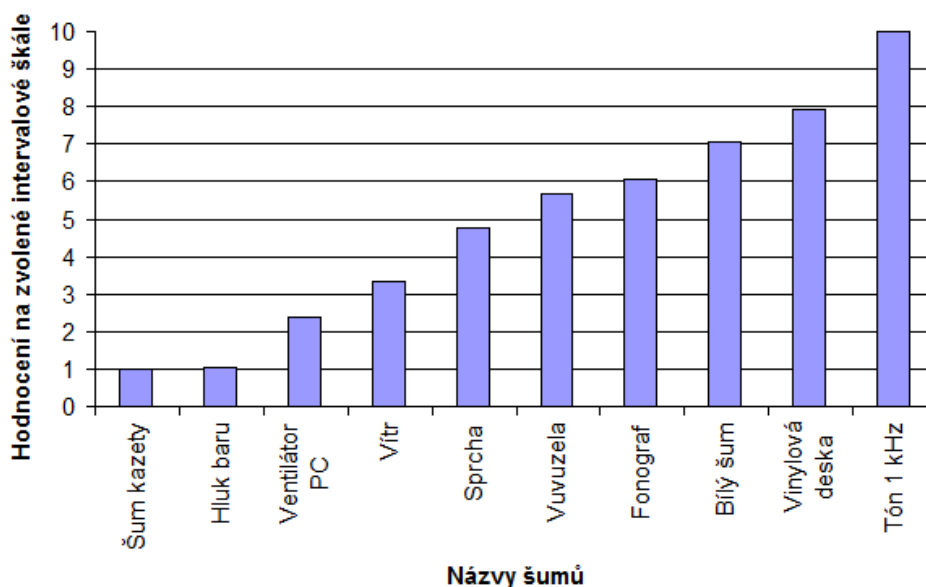
3.3.4 Shrnutí výsledků poslechového testu

V tabulce 3.4 jsou shrnuty výsledky umístění posuzovaných šumů na pořadové a intervalové škále. Šumy jsou seřazeny od nejpříjemnějšího po nejnejpříjemnější.

Tab. 3.4: Tabulka s výsledky

Objekt	Šum kazety	Hluk baru	Ventilátor PC	Vítr	Sprcha	Vuvuzela	Fonograf	Bílý šum	Vinylová deska	Tón 1 kHz
škála	C	B	E	J	F	I	D	A	H	G
pořad.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
inter.	1.000	1.020	2,395	3,319	4,779	5,687	6.068	7.068	7,934	10,001

Z šumů seřazených podle pořadové škály ovšem nejsme schopni určit, jaké rozdíly byly mezi jednotlivými šumy. Tyto rozdíly jsou patrné z výsledků umístění šumů na intervalové škále, jejíž výsledky jsou graficky zobrazeny v grafu 3.3. Z grafu je patrné, že rozdíl mezi šumem, který se umístil na prvním místě a šumem na druhém místě, je minimální. Nejhůře hodnoceným byl šum G (tón 1 kHz), což je způsobeno zřejmě tím, že zvuky vyskytující se v běžném okolí člověka nejsou tvořeny jen čistým harmonickým průběhem.



Obr. 3.3: Grafické zobrazení výsledků na intervalové škále.

Tab. 3.5: tabulka pro vytvoření intervalové škály

r_j	R_j	Objekt										Σ	P_j	Z_j				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J							
1	10	0	9	7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	6	24	0,95	1,645
2	9	1	3	7	2	7	1	0	0	1	0	0	0	1	2	24	0,85	1,036
3	8	1	5	5	0	8	4	0	0	8	4	0	0	0	1	24	0,75	0,674
4	7	0	4	0	4	3	5	1	1	3	5	1	1	3	3	24	0,65	0,385
5	6	2	2	4	2	2	4	0	1	3	4	0	1	3	4	24	0,55	0,126
6	5	5	0	1	3	1	3	1	3	1	3	2	1	6	2	24	0,45	-0,126
7	4	3	0	0	4	1	4	1	3	1	3	2	6	3	2	24	0,35	-0,385
8	3	5	1	0	4	1	4	1	1	1	1	1	4	5	2	24	0,25	-0,674
9	2	4	0	0	4	0	4	0	3	3	3	3	9	0	1	24	0,15	-1,036
10	1	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	15	2	2	1	24	0,05	-1,645
Σf_{jk}		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	240		
R_k		-0,511	0,933	0,938	-0,273	0,605	0,035	-1,212	-0,718	-0,182	0,384						0,000	
R'_k		0,701	2,145	2,150	0,939	1,817	1,247	0,000	0,494	1,030	1,596						12,120	
R''_k		7,068	1,020	1,000	6,068	2,395	4,779	10,001	7,934	5,687	3,319						49,271	
R'''_k		4,054	6,658	6,667	4,485	6,066	5,040	2,792	3,681	4,694	5,669						49,761	
$R_k^{[G]}$		4,283	6,708	6,667	4,542	6,083	5,042	2,792	3,625	4,750	5,708						50	
Σr_{jk}		172	64	62	154	82	128	215	190	147	106						1320	
R_{jk}		8	2	1	7	3	5	10	9	6	4						55	

4 TEORETICKÝ ÚVOD K TESTU Č.2

Tato část práce je věnována teoretickému popisu hlasitosti čistých tónů, složených zvuků a principu metody nastavování podnětů, která je použita pro poslechový test č.2.

4.1 Hlasitost čistých tónů

V literatuře [8] je hlasitost definována jako: „Vlastnost sluchového vnímání, podle které lze uspořádat zvuky na stupnici od tichých po hlasité“. Hlasitost čistého tónu závisí na velikosti jeho akustického tlaku a zároveň na jeho kmitočtu a době trvání. Nejstarší vjemová veličina, která se využívá pro určování hlasitosti libovolného zvuku je hladina hlasitosti, jejíž jednotkou je fón (phon). Hladina hlasitosti zvuku ve fónech je číselně rovna hladině akustického tlaku v decibelech referenčního zvuku, která je hodnocena stejně hlasitě jako daný zvuk. Měření hladiny akustického tlaku se provádí za nepřítomnosti posluchače v bodě odpovídajícímu poloze středu jeho hlavy, poslech je binaurální. [2],[8]

Hladina hlasitosti se určí vztahem [2]

$$L_N = L_{1000} = 20 \log \frac{p_{1000}}{p_0} \quad (4.1)$$

kde

L_N ... hladina hlasitosti posuzovaného zvuku ve fónech,

L_{1000} ... hladina akustického tlaku čistého tónu o kmitočtu 1000 Hz v decibelech,

p_{1000} ... akustický tlak čistého tónu o kmitočtu 1000 Hz v pascálech,

p_0 ... referenční akustický tlak 20 μ Pa.

Stupnice hladiny hlasitosti je smíšená - z poloviny psychologická a z poloviny fyzikální. Měření se provádí tak, že se subjektivně srovnávají vjemy hlasitosti zvuku měřeného a referenčního sinusového tónu 1000 Hz, jehož hladina akustického tlaku se postupně mění a to tak dlouho, až se oba srovnávané zvuky posluchači jeví jako stejně hlasité. Při poslechu probíhá fyzikální měření hladiny akustického tlaku referenčního tónu a zároveň subjektivní měření (srovnávání) hlasitosti obou zvukových podnětů. Hodnota hladiny hlasitosti změřená ve fónech nevyjadřuje přímo intenzitu vjemu hlasitosti, je pouze odkazem na číselně stejně velkou decibelovou hodnotu hladiny akustického tlaku sinusového tónu 1000 Hz, považovaného za stejně hlasitý jako měřený zvuk.[2]

Hladinu hlasitosti můžeme stanovit pro jakýkoliv zvuk. Pro měření se využívají většinou tóny, které jsou delší než 500 ms a vykazují slušnou spolehlivost. Průměrné

hodnoty hladin hlasitosti, které byly získány měřením velkých populací zdravých osob, se zobrazují v závislosti na kmitočtu a nazývají se křivky stejné hlasitosti.[2]

4.2 Hlasitost složených zvuků

Určování hladiny hlasitosti složených zvuků nelze určit pouhým sečtením hladin hlasitosti jejich jednotlivých složek. Melka uvádí, že: „Hladinu hlasitosti nelze považovat za aditivní veličinu. Sčítat hodnoty hlasitosti jednotlivých zvuků vyjádřené v sonech můžeme pouze u zvuků, mezi kterými nedochází ke spektrálnímu maskování, tzn. u zvuků, jejichž spektra jsou od sebe na ose kmitočtu velmi vzdálená. Ovšem spektra většiny složených reálných zvuků tuto podmínku nesplňují. Vyhodnocování jejich výsledné hlasitosti sluchovým analyzátozem je po té velmi složité.“ [2] Psychoakustická měření hladiny hlasitosti zvuků s různými spektry vedla k závěru, že při vytváření vjemu hlasitosti složeného zvuku se uplatňují dva rozdílné druhy sčítání:

- Sčítání intenzit spektrálních složek zvuku ležících uvnitř kritických pásem slyšení. Celková intenzita každého kritického pásma vyvolává specifickou hlasitost. [2]
- Sčítání příspěvků jednotlivých kritických pásem, tzn. jejich dílčích hlasitostí do výsledné součtové hlasitosti. U tohoto druhu sčítání ovšem k celkové hlasitosti přispívají pouze spektra, která nejsou maskována jiným zvukem, tzn. jejichž hladina leží nad prahem maskovaného slyšení. [2]

4.3 Metoda nastavování zvukových podnětů

Oproti jiným psychoakustickým měřicím metodám je hlavní výhodou metody nastavování její velká efektivnost, která má dvě příčiny. První příčinou je to, že jde o adaptivní metodu, to znamená metodu, při které pokusné osoby volí hodnotu podnětu podle své reakce na předcházející podnět. Pokusné osoby se pohybují na podnětovém kontinuu, převážně jen v blízkém okolí bodu, který je cílem měření, např. bod optimální hlasitosti poslechu, optimální zvukové kvality výrobku nebo podnětový práh určitého druhu zkreslení zvukového signálu. Existence příliš snadných podnětů, u kterých je odpověď od pokusné osoby zcela evidentní a nebo příliš nesnadné podněty, u kterých je pokusná osoba nucena hádat, se na rozdíl od adaptivních metod automaticky minimalizuje. Druhou příčinou je to, že se výsledek měření docela snadno odvozuje přímo z nastavených hodnot podnětové proměnné a není potřeba ho pracně odvozovat nepřímou ze soudů několika různých měření. [2]

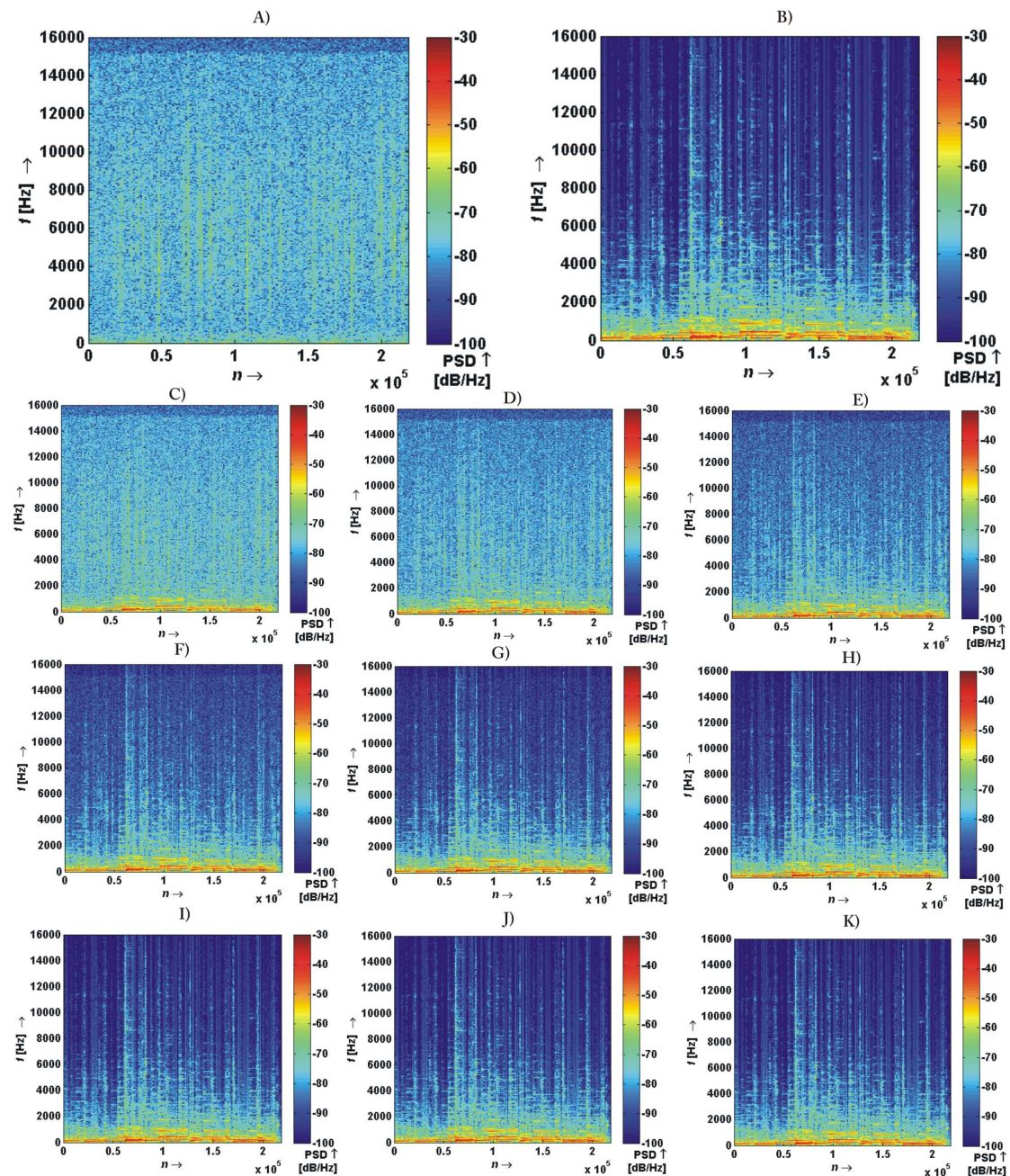
Mezi ostatní výhody metody nastavování patří, že se pokusná osoba na experimentu musí nutně aktivně účastnit a tím je pro ni toto měření zajímavé. Způsob

měření umožňuje pokusným osobám dobře se na měřené podmínky soustředit a příliš je neunavuje. Provedení psychoakustického experimentu touto metodou ovšem znamená, že jednotlivá měření je nutné provádět s každou pokusnou osobou samostatně. Při metodě nastavování v psychoakustice se většinou pracuje se záznamy přirozených zvukových signálů, hudby, řeči nebo s elektronicky generovanými umělými akustickými signály. Pokusné osoby v obou případech nastavují při poslechu signálu vhodným ovladačem některý z jeho parametrů. V některých případech je pokusným osobám umožněno měnit velikost podmětu pouze jedním směrem. Jejich úkolem je, aby nastavování ukončili v okamžiku, kdy na základě jejich vjemu dojde k hledanému jevu (např. při hledání prahu slyšitelnosti šumu). U takového typu experimentu musíme počítat s tím, že výsledná nastavení budou pokusnými osobami systematicky nadhodnocována nebo podhodnocována. Toto je zapříčiněno tím, že pokusná osoba většinou přejde přes optimální polohu a nastavování ukončí později než by měla. U příliš opatrných pokusných osob, ale může nastat opačný jev, tzn. že raději skončí s nastavováním dříve, než aby optimální hodnotu nastavení překročili. Aby se těmto chybám zabránilo, je nejlepší dát pokusným osobám možnost regulovat velikost hledané proměnné libovolně v obou směrech, než budou s výsledkem nastavení spokojeny. [2]

Určitým indikátorem chyby může být u metody nastavování doba, kterou pokusné osoby potřebují k jednomu nastavení. Pokud je tato doba nastavování příliš krátká, může to znamenat nepečlivost, případně lhostejnost dotyčné osoby na výsledku. Naopak příliš pečlivé osoby nastavování prodlužují, čímž dochází k jejich únavě a zhoršení jejich výkonu. [2]

5 POSLECHOVÝ TEST Č.2

Cílem tohoto psychoakustického experimentu bylo zjištění prahu slyšitelnosti šumu pozadí v hudebních a řečových signálech.



Obr. 5.1: Spektrogramy pro nahrávku kytary a šum vinylové desky: A) šum vinil. desky, B) „Čistá“ nahrávka kytary, C) Součet obou nahrávek pro SNR = 10 dB, D) SNR = 15 dB, E) SNR = 20 dB, F) SNR = 25 dB, G) SNR = 30 dB, H) SNR = 35 dB, I) SNR = 40 dB, J) SNR = 45 dB, K) SNR = 55 dB.

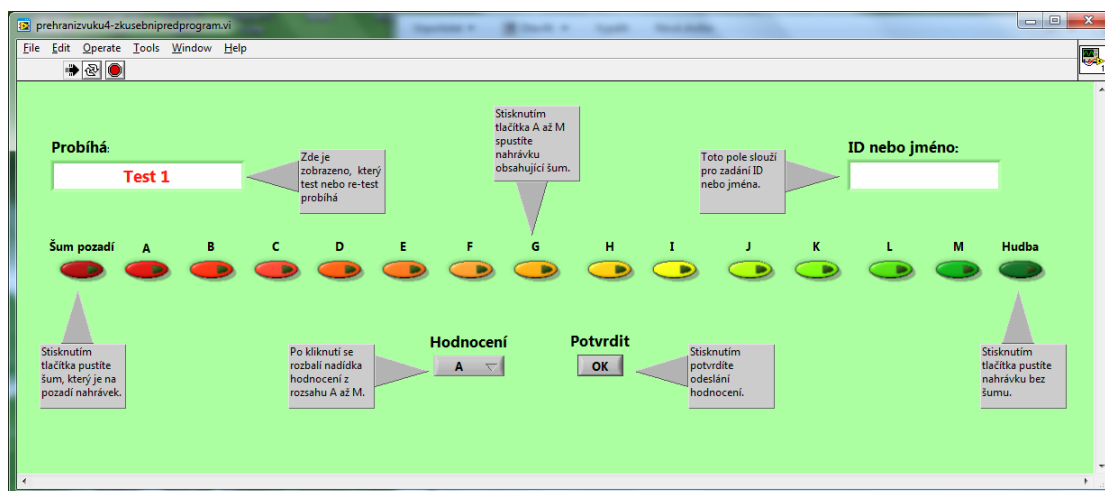
Osobám, které se zúčastnily tohoto experimentu, bylo dáno k ohodnocení 18 sad zarušených nahrávek. Tato sada nahrávek jim byla předložena během testu dvakrát (jednou během testu a jednou během retestu). V každé sadě nahrávek se měnila hlasitost šumu pozadí (hlasitost hudební a řečové složky se neměnila), jak je zobrazeno na obrázku 5.1, kde A) je zobrazen spektrogram šumu vinilové desky, B) spektrogram „Čisté“ nahrávky kytary a na obrázcích C) až K) jsou zobrazeny spektrogramy součtů obou nahrávek pro různé hodnoty SNR. Úkolem osob bylo označit tu nahrávku, ve které šum pozadí již nebudou slyšet. V následujících kapitolách je popsána příprava, průběh a výsledky druhého provedeného poslechového testu.

5.1 Příprava poslechového testu

Před provedením druhého poslechového testu bylo nutné zajistit programové a technické vybavení, pomocí kterého bude poslechový test proveden.

5.1.1 Programové vybavení

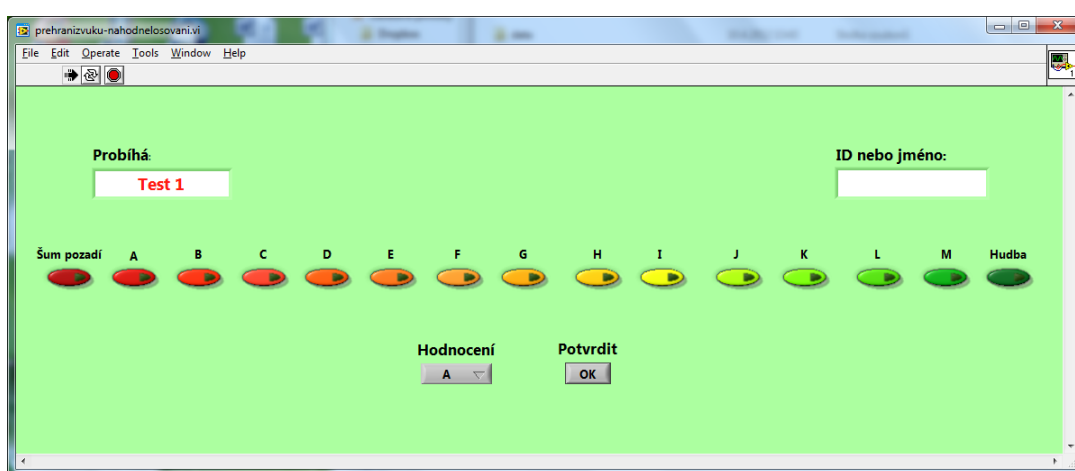
Tento program byl vytvořen v prostředí LabVIEW a je nastaven pro hodnocení 18 nahrávek. Tyto nahrávky jsou sestaveny ze šesti hudebních ukázek a ke každé ukázce jsou přiřazeny tři šумы. Pro natrénování posluchačů, kteří test prováděli, byl vytvořen také trénovací program, který obsahuje jednu hudební ukázkou se třemi různými šумы. GUI trénovacího programu je na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Vzhled programu s popisem.

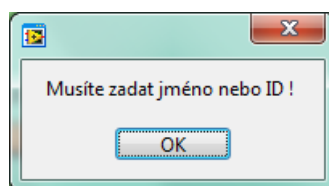
Účelem trénovacího programu bylo, aby se osoby, které test prováděly, seznámily s funkcí programu, průběhem testu a byly taky co nejlépe připraveni na samotný

poslechový test. Jednotlivé ovládací prvky programu jsou v této verzi popsány pomocí informačních „bublin“ přímo v GUI. Program vytvořený přímo pro test po spuštění náhodně vybere jednu hudební ukázkou ze šesti a k ní jeden ze tří šumů. Pro lepší orientaci a snadnější hodnocení posluchačů je program nastaven tak, že pokud se jako první zvolí hudební ukázkou č.2 a k ní šum č.2, tak po odeslání hodnocení se náhodně zvolí šum č.1 nebo č.3. Teprve po ohodnocení hudební ukázkou č.2 všemi třemi zvolenými šumy dojde k náhodnému vylosování další hudební ukázkou a celý způsob se opakuje až do vylosování všech možností. Náhodné losování pořadí má zabránit zapamatování si hodnocení z první sady poslechu. GUI, ve kterém probíhal test, je zobrazeno na obrázku 5.3.



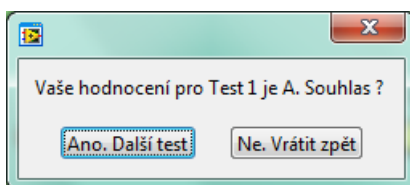
Obr. 5.3: Vzhled programu.

Po spuštění programu posluchač pomocí tlačítek A až M spouští hudební ukázkou smíchanou se šumem. Na obrázku 5.3 je také vidět, že jednotlivá tlačítka A až M jsou rozlišena barevně. Čím červenější je barva tlačítka, tím více obsahuje šum. Tlačítko označené písmenem A obsahuje hudební ukázkou, ve které je odstup signál - šum 10 dB. Tlačítko označené písmenem M obsahuje hudební ukázkou, ve které je odstup signál - šum 70 dB. Tlačítkem Hudba si posluchač spustí čistou hudební ukázkou bez šumu a tlačítkem Šum pozadí spustí pouze šum, kterým je hudební ukázkou zarušena.



Obr. 5.4: Chybové hlášení.

V levém horním rohu je zobrazeno kolikátý test právě posluchač hodnotí. Poté, co posluchač určí, pod kterým tlačítkem již není schopen šum v hudební ukázce rozeznat, vybere toto označení tlačítka v rozbalovací nabídce Hodnocení a následně jej pomocí tlačítka Potvrdit odešle. Pokud před odesláním hodnocení posluchač nevyplnil jméno nebo ID, nebude mu odeslání hodnocení dovoleno, jak je zobrazeno na obrázku 5.4. Pokud je jméno vyplněno, tak se po stisknutí tlačítka Odeslat zobrazí dialog, který je zobrazen na obrázku 5.5, ve které je shrnuto kolikátý test posluchač hodnotí a jaké hodnocení chce odeslat s možností změny odpovědi.



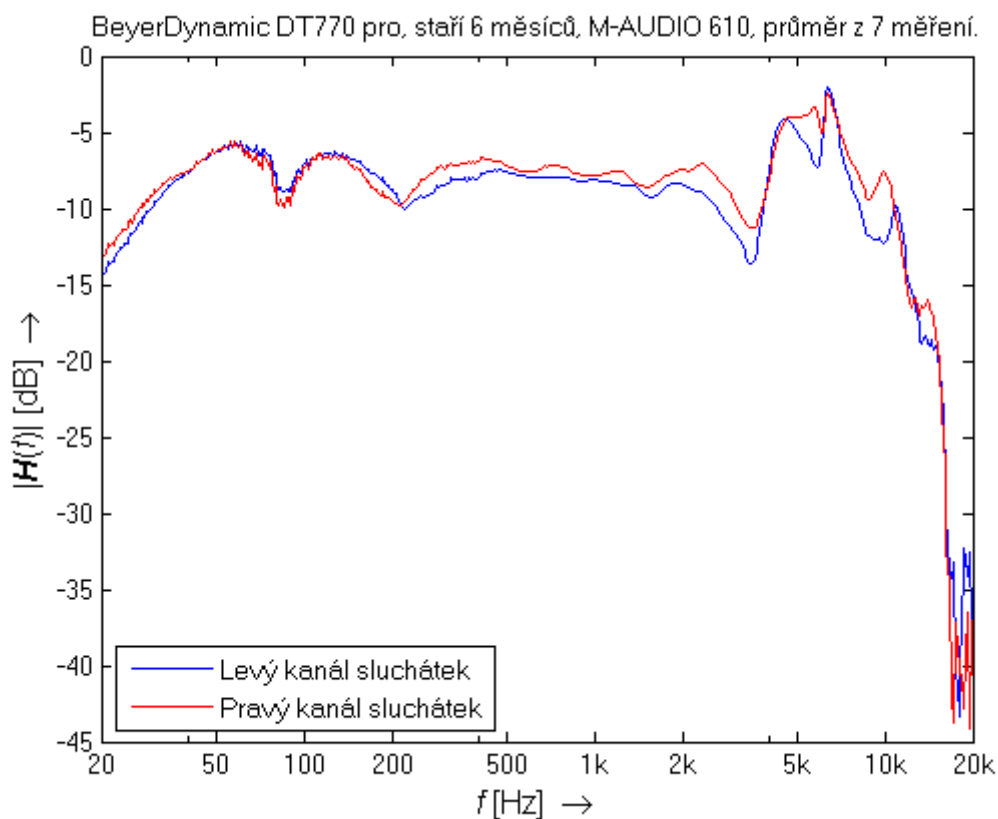
Obr. 5.5: Potvrzení odeslání.

5.1.2 Technické vybavení



Obr. 5.6: Měření parametrů sluchátek

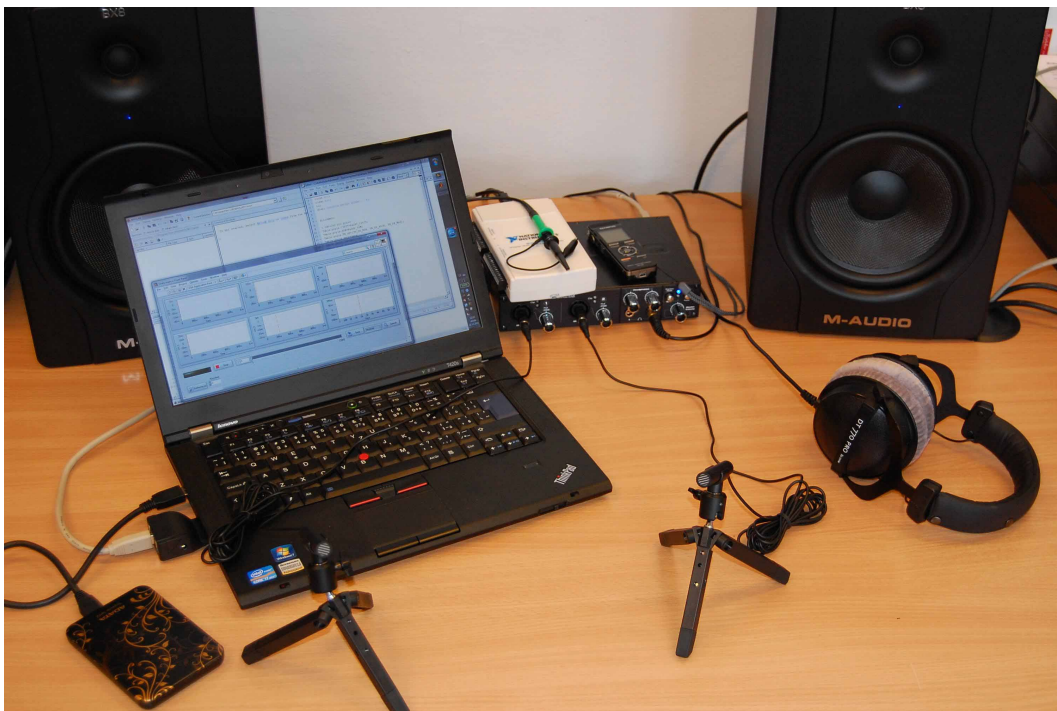
Mezi přípravy technického vybavení poslechového testu patřilo změření frekvenční charakteristiky sluchátek. Průběh měření je zobrazen na obrázku 5.6. Během měření bylo zjištěno, že má na měřenou charakteristiku vliv poloha sluchátek. Proto byla během měření zvolena jedna poloha usazení sluchátek na figuríně a toto umístění nebylo měněno. Bylo proměřeno několik typů sluchátek a nakonec byly zvoleny sluchátka Beyerdynamic DT 770 PRO, jejichž frekvenční charakteristika je zobrazena na obrázku 5.7.



Obr. 5.7: Frekvenční charakteristika sluchátek

5.2 Průběh poslechového testu

Poslechový test byl proveden opět jako částečně řízený. Jednotlivým posluchačům, kteří se testu účastnili, bylo vysvětleno, jak mají v průběhu testu postupovat a co je jejich úkolem.



Obr. 5.8: Pracoviště pro test

Pro co nejlepší informovanost byly posluchačům předloženy také instrukce vytištěné na papíře, na kterých bylo zobrazeno okno programu a popsáno, co je po nich vyžadováno. Tento list instrukcí je uveden v příloze B.2.



Obr. 5.9: Zvuková karta

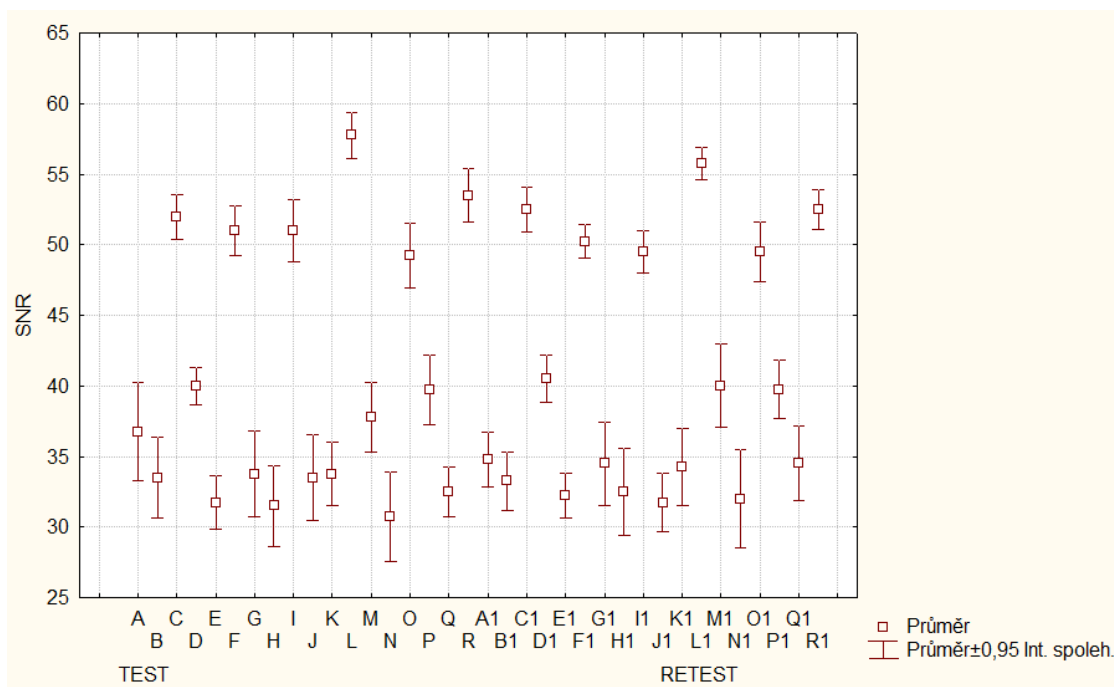
Test byl proveden v laboratoři VUT Brno. Testu se zúčastnilo 20 pokusných osob, z toho 4 ženy a 16 mužů. Po ukončení testu byl každé pokusné osobě předložen dotazník, ve kterém hodnotily aspekty poslechové kvality předložených nahrávek. Tento dotazník je uveden v příloze B.1. Pracoviště, na kterém posluchači test prováděli je zobrazeno na obrázku 5.8. Na počítači použitým při testu bylo nainstalováno volně šířitelné prostředí LabVIEW Run-Time Engine 2010 [6], které je potřeba z důvodu doplnění knihoven systému potřebných pro spuštění programu vytvořeného v prostředí LabVIEW. Pro zajištění co možná nejlepší reprodukce byla použita externí zvuková karta M-Audio ProFire 610 zobrazená na obrázku 5.9 a sluchátka Beyerdynamic DT 770 PRO zobrazená na obrázku 5.10.



Obr. 5.10: Sluchátka

5.3 Výsledky poslechového testu č.2

Při vyhodnocování výsledků testu byl použit postup publikovaný v [2]. Pro charakteristiku polohy se nejčastěji používá aritmetický průměr. Ze statistických testů se používá Studentův test t pro testování rozdílů mezi průměry.



Obr. 5.11: Skupinové aritmetické průměry a 95% intervaly spolehlivosti

U dvourozměrných charakteristik rozdělení lze pro méně početné řady korelovaných dat použít Spearmanův koeficient pořadové korelace a nebo pro více početné řady Pearsonův koeficient korelace.

Tab. 5.1: Tabulka s označením

Ozn.	Nahrávka
A	Abba-vent. PC
B	Abba-kazeta
C	Abba-vinyl. deska
D	Speech-vent. PC
E	Speech-kazeta
F	Speech-vinyl. deska
G	Guitar-vent. PC
H	Guitar-kazeta
I	Guitar-vinyl. deska
J	Mozart-vent. PC
K	Mozart-kazeta
L	Mozart-vinyl. deska
M	Eddie Rabb.-vent. PC
N	Eddie Rabb.-kazeta
O	Eddie Rabb.-v. deska
P	Vocal-vent. PC
Q	Vocal-kazeta
R	Vocal-vinyl. deska

Na obrázku 5.11 jsou pro 18 testových a 18 retestových nastavování vyneseny skupinové aritmetické průměry SNR a interval spolehlivosti pro hodnotu $P = 0,95$. Interval spolehlivosti obecně představuje oblast hodnot měřené proměnné, ve které se s velkou pravděpodobností (např. $P = 0,95$ nebo $P = 0,99$) nachází hodnota odhadovaného statistického parametru [2]. V našem případě interval spolehlivosti určuje interval, ve kterém s 95 % pravděpodobností leží průměrná hodnota SNR získaná v poslechovém testu od všech osob.

5.3.1 Zjištění spolehlivosti měření skupiny

Spolehlivost měření celé skupiny pokusných osob jako celku bude posouzena odhadem retestové reability měření. Jelikož časový interval mezi provedením testu a retestu byl relativně krátký, je vhodnější mluvit o krátkodobé stabilitě měření celé skupiny [2].

Tuto velikost zjistíme korelováním dvou řad všech korespondujících hodnot měřené veličiny z testu a retestu, které jsme získali od všech $m = 20$ osob pro všech $n = 18$ podnětů. V tomto případě má každá řada $N = 360$ členů. Pro vyjádření těsnosti korelačního vztahu byl použit Pearsonův součinný koeficient korelace r , který bývá označen většinou zkráceně jako korelační koeficient. Může nabývat hodnoty z rozsahu $-1 \leq r \leq +1$. Hodnota $r = 0$ vyjadřuje, že mezi proměnnými neexistuje žádný lineární vztah. Hodnoty koeficientu korelace $r_{min} = -1$ a $r_{max} = +1$ vyjadřují nejtěsnější možný lineární vztah mezi korelovanými proměnnými v obou směrech tedy lineární funkční závislost. Pearsonův součinný koeficient korelace se vypočítá ze vztahu [2]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2\right] \cdot \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2\right]}} \quad (5.1)$$

kde

$x_i, y_i \dots$ vzájemně korespondující hodnoty korelovaných proměnných x a y pro $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

$N \dots$ počet členů v každé z obou řad
nebo podle vztahu [2]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x) \cdot (y_i - M_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - M_y)^2}} \quad (5.2)$$

kde

$x_i, y_i \dots$ vzájemně korespondující hodnoty korelovaných proměnných x a y pro $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

$N \dots$ počet členů v každé z obou řad

$M_x, M_y \dots$ aritmetické průměry výběrů změřených hodnot x_i a y_i

Vzorec 5.1 je určený přímo k výpočtu r ze změřených dat, vzorec 5.2 využívá odchylek změřených hodnot od příslušných výběrových průměrů M_x a M_y .

V poslechovém testu bylo $N = 360$ a vypočítaná hodnota koeficientu korelace z testu a retestu je $r_{TR} = 0,848$. Statistická významnost vypočítané hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu r se ověřuje oboustranným testem t pro $sv = N - 2$ stupně volnosti. Hodnota t se vypočítá podle vzorce [2]

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r^2}} \quad (5.3)$$

kde

$r \dots$ hodnota Pearsonova součinného koeficientu korelace

$N \dots$ počet členů v každé z obou korelovaných řad

Testuje se nulová hypotéza H_0 , která tvrdí, že mezi dvěma srovnávanými proměnnými neexistuje žádná lineární závislost ($r = 0$). Aby bylo možné zamítnout nulovou hypotézu na zvolené hladině významnosti α , musí být vypočtená hodnota t větší než kritická hodnota $t_{krit\alpha}$, kterou nalezneme v tabulce kritických hodnot t pro $sv = N - 2$. Po dosazení do vzorce 5.3

$$t = 0,848 \cdot \sqrt{\frac{360 - 2}{1 - 0,848^2}} \quad (5.4)$$

získáme hodnotu $t = 30,274$, která je mnohem větší než hodnoty $t_{krit0,05} = 1,9600$ a $t_{krit0,01} = 2,5758$ uvedené v tabulce kritických hodnot. Tvrzení, že mezi získanými hodnotami z testu a retestu neexistuje žádný lineární korelační vztah, můžeme tedy s velmi vysokou pravděpodobností zamítnout.

Získanou hodnotu r_{TR} můžeme také ověřit porovnáním s nejmenší významnou hodnotou koeficientu korelace pro $sv = N - 2$ a pro zvolenou hladinu významnosti α , kterou nalezneme v tabulce kritických hodnot Pearsonova korelačního koeficientu. Z této tabulky zjistíme, že pro $sv = 358$ se kritické hodnoty rovnají $r_{krit0,05} = 0,098$ a $r_{krit0,01} = 0,129$. Protože obě tyto kritické hodnoty jsou mnohem menší než vypočítaná hodnota $r_{TR} = 0,848$. Vypočtenou hodnotu r_{TR} můžeme tedy po tomto ověření považovat za statisticky vysoce významnou.

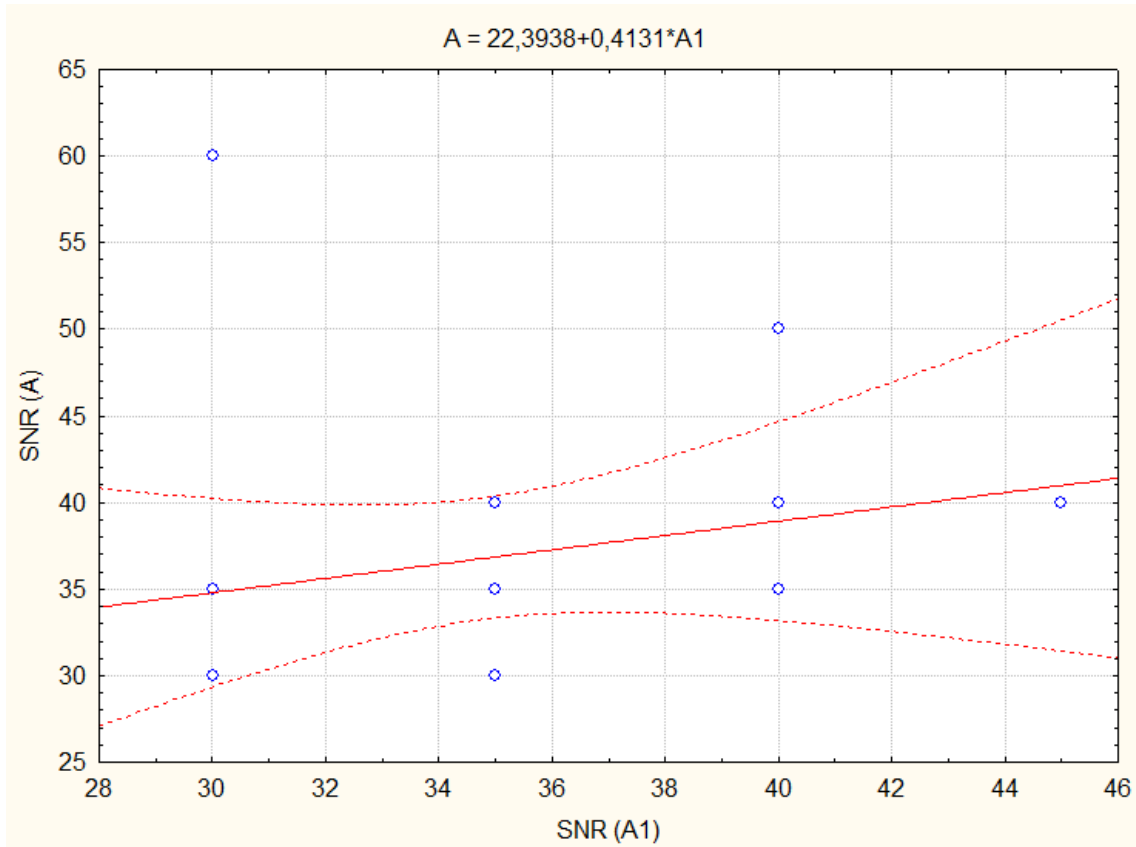
5.3.2 Krátkodobá stabilita měření

Krátkodobou stabilitu měření můžeme také odhadovat pro jednotlivé hudební ukázky použité v testu. V tomto případě má každá z korelovaných řad hodnotu $N = 3 \cdot 20 = 60$ členů a $sv = N - 2 = 58$. Nejnižší významné hodnoty korelace jsou pro $sv = 58$ $r_{krit0,05} = 0,254$ a $r_{krit0,01} = 0,330$.

Tab. 5.2: Korelační koeficienty nahrávek

Nahrávka	Abba	Speech	Guitar	Mozart	Eddie Rabbitt	Vocal
r_{TR}	0,397	0,702	0,691	0,635	0,814	0,442

V tabulce 5.2 jsou uvedeny hodnoty korelačních koeficientů r_{TR} jednotlivých nahrávek, které byly použity při poslechovém testu.



Obr. 5.12: Bodový diagram, regresní přímka a 95% pásmo spolehlivosti pro korelační vztah mezi hodnotami nastavení SNR u nahrávky Abba při testu ($A1$) a retestu ($A2$).

U čtyř hudebních ukázek byly zjištěny vysoce významné hodnoty retestové reability, ovšem u nahrávky Abba a šumu ventilátoru PC je hodnota podezřele nízká. Zpětnou kontrolou použitých dat bylo zjištěno, že příčinou této nízké hodnoty je extrémní nastavení $SNR = 60 \text{ dB}$ jedné z pokusných osob při hodnocení nahrávky Abba při testu. Tato extrémní hodnota je velmi dobře patrná z bodového diagramu na obrázku 5.12. Příčina nastavení této extrémní hodnoty se již nedala zjistit. Mohlo se jednat např. o „úlet“ pokusné osoby. Melka uvádí, že: „I jediná extrémně odchýlená hodnota v jedné ze dvou sad korelovaných dat může značným způsobem ovlivnit sklon regresní přímky a zkreslit tak i hodnotu korelace. Tento problém lze řešit tak, že data příslušné pokusné osoby vyloučíme ze zpracování a nebo tuto chybnou hodnotu korigujeme vhodně odhadnutou „správnou“ hodnotou.“ [2] Rozhodl jsem se pro druhou variantu řešení a tuto extrémně chybnou hodnotu jsem nahradil hodnotou průměrnou tj. $SNR = 35 \text{ dB}$. Po provedení této korekce se uvedená hodnota v tabulce 5.2 z původní nízké hodnoty $r_{TR} = 0,397$ změnila na mnohem větší hodnotu $r_{TR} = 0,591$. U hudební ukázky Vocal je hodnota korelačního koeficientu také nižší. Při kontrole dat nebyla zjištěna žádná extrémně vychýlená hodnota, která by snižovala velikost korelačního koeficientu. Pro statistickou významnost koeficientu je důležité, že tato hodnota je vyšší než kritická hodnota udávaná v tabulkách. Nyní upravená tabulka hodnot korelačních koeficientů r_{TR} jednotlivých nahrávek má tvar:

Tab. 5.3: Korelační koeficienty nahrávek 2

Nahrávka	Abba	Speech	Guitar	Mozart	Eddie Rabbitt	Vocal
r_{TR}	0,591	0,702	0,691	0,635	0,814	0,442

Můžeme tedy konstatovat, že v rámci celé skupiny $m = 20$ osob, u všech šesti hudebních nahrávek, na které byli vždy aplikovány tři šumy (tzn. celkem 18 ukázek), jsou získané výsledky statisticky významné a to jak na hladině významnosti $\alpha_{0,05}$ tak $\alpha_{0,01}$. Vypočítaná hodnota Pearsonova součinného koeficientu korelace $r_{TR} = 0,848$ podle vzorce 5.1 odpovídá stavu po korekci.

5.3.3 Ověření spolehlivosti jednotlivých osob

Ověření spolehlivosti jednotlivých osob můžeme posoudit krátkodobou stabilitou měření pro každou jednotlivou pokusnou osobu zvlášť. Toho dosáhneme korelováním dvou uspořádaných řad hodnot jejich individuálních nastavení získaných z testu a retestu. K tomuto výpočtu se nejčastěji používá Spearmanův koeficient pořadové korelace p . Jeho předností a výhodou je to, že jeho velikost není příliš ovlivněna výskytem extrémních hodnot tak jako Pearsonův koeficient r . Před výpočtem Spearmanova koeficientu p musíme nejprve změřené hodnoty přetransformovat podle velikosti v každé z obou řad na hodnoty pořadí. Hodnotu koeficientu vypočítáme podle vzorce [2]

$$p = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N d_i^2}{N \cdot (N^2 - 1)} \quad (5.5)$$

kde

d_i ... rozdíl mezi hodnotami pořadí ležícími v obou řadách na i -tém místě,
 N ... počet členů v každé z korelovaných řad.

Spearmanův koeficient pořadové korelace p může nabývat stejných hodnot jako Pearsonův koeficient korelace r (od -1 do $+1$). Pokud se hodnota $p = +1$ znamená to úplnou shodu pořadí, hodnota $p = -1$ znamená, že pořadí jsou inverzní a hodnota $p = 0$ značí, že pořadí jsou nezávislá [2].

Tab. 5.4: Tabulka pro výpočet Spearmanova koeficientu

nahrávka	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Σ
test	40	35	50	40	35	50	40	35	50	-
retest	35	35	55	40	30	50	40	35	50	-
pořadí - test	11	7	15,5	11	7	15,5	11	7	15,5	-
pořadí - retest	7	7	17	11	3	14,5	11	7	14,5	-
d_i	4	0	-1,5	0	4	1	0	0	1	-
d_i^2	16	0	2,25	0	16	1	0	0	1	-
nahrávka	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	-
test	30	30	55	35	25	45	35	30	50	-
retest	30	35	55	40	25	45	35	30	55	-
pořadí - test	3	3	18	7	1	13	7	3	15,5	171
pořadí - retest	3	7	17	11	1	13	7	3	17	171
d_i	0	-4	1	-4	0	0	0	0	-1,5	0
d_i^2	0	16	1	16	0	0	0	0	2,25	71.5

Protože se v našem případě v přetransformovaných hodnotách na pořadí vyskytují sloučená pořadí, je třeba pro výpočet Spearmanova koeficientu použít upravený vzorec [2]

$$p_{korig} = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N d_i^2}{N \cdot (N^2 - 1) - (T_x + T_y)} \quad (5.6)$$

kde

$T_x, T_y \dots$ hodnoty korekcí na sloučená pořadí,

$N \dots$ počet členů v každé z korelovaných řad.

Hodnotu T_x a T_y spočítáme podle

$$T_x = 0,5 \cdot \sum (t_x^3 - t_x) \quad (5.7)$$

$$T_y = 0,5 \cdot \sum (t_y^3 - t_y) \quad (5.8)$$

kde

$t_x, t_y \dots$ počty sloučených pořadí v jednotlivých skupinách.

Pro získání hodnoty Spearmanova koeficientu pořadové korelace p pro pokusnou osobu číslo jedna musíme nejprve spočítat hodnoty T_x a T_y , které získáme po dosazení do vzorců 5.7 a 5.8. Hodnota T_x je

$$T_x = 0,5 \cdot (6 \cdot 24 + 4 \cdot 60 + 5 \cdot 120) = 492 \quad (5.9)$$

a hodnota T_y je

$$T_y = 0,5 \cdot (2 \cdot 6 + 9 \cdot 24 + 5 \cdot 120) = 414 \quad (5.10)$$

Poté hodnoty T_x a T_y použijeme do vzorce 5.6, kde za N dosadíme počet nahrávek $n = 18$ a za $\sum_{i=1}^N d_i^2$ dáme hodnotu 71,5 získanou z tabulky 5.4. Výsledná hodnota Spearmanova koeficientu p korigovaná na sloučená pořadí je poté

$$p_{korig} = 1 - \frac{6 \cdot 71,5}{18 \cdot (18^2 - 1) - (492 + 414)} \cong 0,913 \quad (5.11)$$

Statistická významnost Spearmanova koeficientu pořadové korelace p se testuje stejně jako Pearsonův koeficient r testem t pro $sv = N - 2$ stupně volnosti. Po dosazení do vzorce 5.3 získáme hodnotu

$$t = 0,913 \cdot \sqrt{\frac{16}{1 - 0,913^2}} \cong 8,952 \quad (5.12)$$

Tuto hodnotu porovnáme s hodnotami v tabulce kritických hodnot t pro $sv = 16$ na zvolené hladině významnosti. Kritické hodnoty se rovnají $t_{krit0,05} = 2,120$

a $t_{krit0,01} = 2,921$. Obě hodnoty jsou menší než vypočítaná hodnota $t = 8,952$. Můžeme tedy s velkou jistotou předpokládat, že mezi získanými hodnotami od pokusné osoby číslo jedna z testu a retestu existuje pozitivní korelační vztah.

Hodnoty Spearmanova koeficientu pořadové korelace p a k nim příslušné hodnoty pro test t od všech osob, které provedli poslechový test jsou uvedeny níže v tabulce 5.5.

Tab. 5.5: Tabulka hodnot Spearmanova koeficientu

pok. osoba č.	p	t
1	0,913	8,952
2	0,866	9,463
3	0,886	10,496
4	0,836	8,257
5	0,907	11,897
6	0,928	13,834
7	0,948	16,629
8	0,918	12,823
9	0,774	6,512
10	0,955	18,008
11	0,920	13,011
12	0,890	10,734
13	0,957	18,460
14	0,742	5,843
15	0,964	20,323
16	0,705	5,192
17	0,607	3,873
18	0,705	5,192
19	0,920	13,011
20	0,914	12,467

Z tabulky vyplývá, že spolehlivost jednotlivých osob, které se zúčastnily testu, je vysoká. U 15 z nich je hodnota měřeného koeficientu několikanásobně větší než tabulkově udávaná kritická hodnota. Pouze u 5 osob je hodnota nižší, ale ani u těchto osob neklesla pod hodnotu kritickou. V literatuře [2] je uvedeno, že pokud se u některých osob z testu nepodařilo dokázat významnou pozitivní korelaci mezi jejími výsledky, neznamená to nutně, že jde o osoby „nevhodné“ k provedení takového psychoakustického experimentu. Příčinou může být například krátký nácvik na začátku experimentu nebo to, že se jejich model posuzování vytváří pomaleji a počet

opakování dvakrát pro ně nebyl dostačující.

5.3.4 Shrnutí výsledků poslechového testu

Následující tabulky 5.6 až 5.11 uvádějí změřené prahy slyšitelnosti jednotlivých šumů v pozadí daných nahrávek. Jsou zde stanoveny průměrné hodnoty změřené pro test, retest a celkové průměrné hodnoty SNR, kdy šum pozadí již nebyl pro posluchače slyšitelný. Pro test byl použit šum ventilátoru PC, šum kazety a šum vinylové desky v nahrávkách Abba, Speech, Guitar, Mozart, Eddie Rabbitt a Vocal. Z porovnání tabulek vyplývá, že u šumu ventilátoru PC se hranice slyšitelnosti pohybovala v rozmezí od 32,625 dB do 40,25 dB SNR, pro šum kazety od 31,375 dB do 34 dB SNR a pro šum vinylové desky od 49,375 dB do 56,75 dB SNR.

Tab. 5.6: Výsledky pro nahrávku Abba

Název	Abba					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	35,5	34,75	33,5	33,25	52	52,5
Celk.průměr [dB]	35,125		33,375		52,25	

Tab. 5.7: Výsledky pro nahrávku Speech

Název	Speech					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	40	40,5	31,75	32,25	51	50,25
Celk.průměr [dB]	40,25		32		50,625	

Tab. 5.8: Výsledky pro nahrávku Guitar

Název	Guitar					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	33,75	34,5	31,5	32,5	51	49,5
Celk.průměr [dB]	34,125		32		50,25	

Tab. 5.9: Výsledky pro nahrávku Mozart

Název	Mozart					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	33,5	31,75	33,75	34,25	57,75	55,75
Celk.průměr [dB]	32,625		34		56,75	

Tab. 5.10: Výsledky pro nahrávku Eddie Rabbitt

Název	Eddie Rabbitt					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	37,75	40	30,75	32	49,25	49,5
Celk.průměr [dB]	38,875		31,375		49,375	

Tab. 5.11: Výsledky pro nahrávku Vocal

Název	Vocal					
Šum	Ventilátor PC		Šum kazety		Vinylová deska	
Měření	test	retest	test	retest	test	retest
Průměr [dB]	39,75	39,75	32,5	34,5	53,5	52,5
Celk.průměr [dB]	39,75		33,5		53	

V tabulce 5.12 jsou uvedeny všechny odpovědi získané v dotazníku, který byl předkládán posluchačům vždy po provedení experimentu. Znění dotazníku je uvedeno v příloze B.1. Dotazník byl zaměřen na hodnocení aspektů poslechové kvality předložených nahrávek. Jeho vyhodnocení dopadlo následovně:

- 80% dotázných hodnotilo hlasitost nahrávek jako přiměřenou, 10% jako hlasitější, 5% uvedlo, že je tišší a 5%, že je příliš hlasitá. Jeden posluchač uvedl, že šum u některých nahrávek byl na začátku příliš hlasitý.
- Hluk okolí nijak významně nevyrušoval 80% dotázaných. 15% uvedlo, že je okolní hluk trochu vyrušoval a 5%, že je výrazně vyrušoval.
- 80 % posluchačů hodnotilo svůj sluch jako průměrný, 15% jako podprůměrný a 5% jako nadprůměrný. Všichni dotazovaní se shodli, že považují své hodnocení v experimentu za platné.

Tab. 5.12: Výsledky dotazníku

Ohodnocení hlasitosti	
Možnosti	Počet odpovědí
Příliš hlasité	1
Hlasitější	2
Přiměřená hlasitost	16
Tišíší	1
Příliš tiché	0
Ohodnocení vlivu hluku v okolí při experimentu	
Možnosti	Počet odpovědí
Hluk okolí mě nevyrušoval	16
Hluk okolí mě trochu vyrušoval	3
Hluk okolí mě velmi výrazně vyrušoval	1
Jak by jste ohodnotili svůj sluch?	
Možnosti	Počet odpovědí
Nadprůměrný	1
Průměrný	16
Podprůměrný	3
Považujete své hodnocení v experimentu za platné?	
Možnosti	Počet odpovědí
Ano	20
Ne	0

6 ZÁVĚR

V této diplomové práci byly provedeny dva poslechové testy podle zvolených metod. Práce je rozdělena do pěti částí. V První části jsou ve stručnosti popsány základní pojmy používané v psychoakustice a psychoakustický experiment. Druhá část obsahuje teoretické podklady vztahující se k poslechovému testu č.1. Dále jsou zde popsány nejpoužívanější typy škál podle tzv. Stevensova hierarchického systému a metoda seřazování do pořadí. Třetí část se zabývá přípravou a tím, co vše bylo nutné před provedením poslechového testu č.1 zajistit. Následuje zpracování získaných dat v testu a jejich použití při výpočtu výsledných škál. Byla provedena statistická analýza získaných dat a zjištěn Kendallův koeficient konkordance. Dále byla vytvořena pořadová škála, kde jsou testované šумы seřazeny podle subjektivního pocitu příjemnosti a výsledná intervalová škála. Čtvrtá část obsahuje teoretický úvod k poslechovému testu č.2, je zde popsána hlasitost a metoda nastavování zvukových podnětů. Pátá část se týká přípravy poslechového testu č.2 a následuje popsání jednotlivých statických analýz, na základě kterých byla vyhodnocována spolehlivost dat získaných v testu. Nakonec jsou v tabulkách uvedeny průměrné naměřené hodnoty SNR pro jednotlivé nahrávky, které byly zarušeny různými šумы.

Z výsledků prvního poslechového testu byla vytvořena pořadová a následně intervalová škála. Intervalová škála umožňuje se získanými výsledky provádět více operací. Z pořadové škály např. nejsme schopni určit rozdíly mezi jednotlivým umístěním šumů. Získáme tak pouhé pořadí, kdy nejlepší výsledek je umístěn na prvním místě a nejhorší na posledním místě. Oproti tomu intervalová škála nám umožňuje zjištění rozdílů mezi jednotlivými šумы. Díky tomu bylo zjištěno, že rozdíl mezi šумы C (šum kazety), který skončil na prvním místě a šumem B (hluk baru) na druhém místě, je minimální. To může být způsobeno tím, že mezi jednotlivými šумы je ze subjektivního pocitu příjemnosti minimální rozdíl. Z vytvořených škál plyne, že z testovaných nahrávek je subjektivně nejpříjemnější šum C (šum kazety) a nejméně příjemný je šum G (tón 1 kHz). To je zřejmě důsledkem toho, že zvuky, které se vyskytují v běžném prostředí okolo člověka, nebývají obvykle tvořeny pouze čistým harmonickým průběhem. Podobné testy, při kterých se hodnotí subjektivní příjemnost, mají využití např. při konstrukci dopravních prostředků nebo při navrhování budov.

Z výsledků druhého poslechového testu byly stanoveny jednotlivé prahy slyšitelnosti šumů, kterými byly zarušeny testované nahrávky. Pomocí statistických analýz byla zjištěna spolehlivost jednotlivých pokusných osob a spolehlivost celé skupiny. Byla také ověřena krátkodobá stabilita měření. Všechny provedené statistické analýzy vyšly pozitivně, z čehož můžeme usuzovat, že výsledky získané druhým poslechovým testem, jsou spolehlivé. Ze získaných dat v poslechovém testu č.2 plyne,

že z testovaných šumů (šum ventilátoru PC, šum kazety a šum vinylové desky) dosahoval nejvyšších hodnot SNR šum vinylové desky (50,6 – 56,8) SNR, následně šum ventilátoru PC (32,6 – 40,3) SNR a nejnižších hodnot dosahoval šum kazety (31,4 – 34) SNR.

LITERATURA

- [1] BŘICHÁČEK, V. *Úvod do psychologického škálování*. Vyd. 1. Bratislava : Psychodiagnostické a didaktické testy, 1978. 321 s.
- [2] MELKA, A. *Základy experimentální psychoakustiky*. 1. vyd. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2005. 327 s. ISBN 8073310430
- [3] SYROVÝ, V. *Hudební akustika*. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2003. 427 s. ISBN 80-7331-901-2.
- [4] ŠPETA M. *Programová implementace subjektivních testů zvukové kvality*. Brno: VUT v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav Telekomunikací, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Rášo.
- [5] VLACH, J., HÁVLÍČEK, J., VLACH, M. *Začínáme s LabVIEW*. BEN, Praha 2008. ISBN: 978-80-7300-245-9.
- [6] *LabVIEW Runtime Engine* [online]. 2011, poslední aktualizace 2. 1. 2011 [cit. 14. 11. 2011].
Dostupné z URL: <<http://joule.ni.com/nidu/cds/view/p/id/2534/lang/en>>.
- [7] *Standard Normal table* [online]. 2011, poslední aktualizace 21. 10. 2011 [cit. 25. 11. 2011].
Dostupné z URL: <<http://www.math.ucdavis.edu/~gravner/MAT135A/materials/standardnormaltable.pdf>>.
- [8] ČSN 01 1600 *Akustika - Terminologie* Český normalizační institut, Praha 2003. 80 s.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

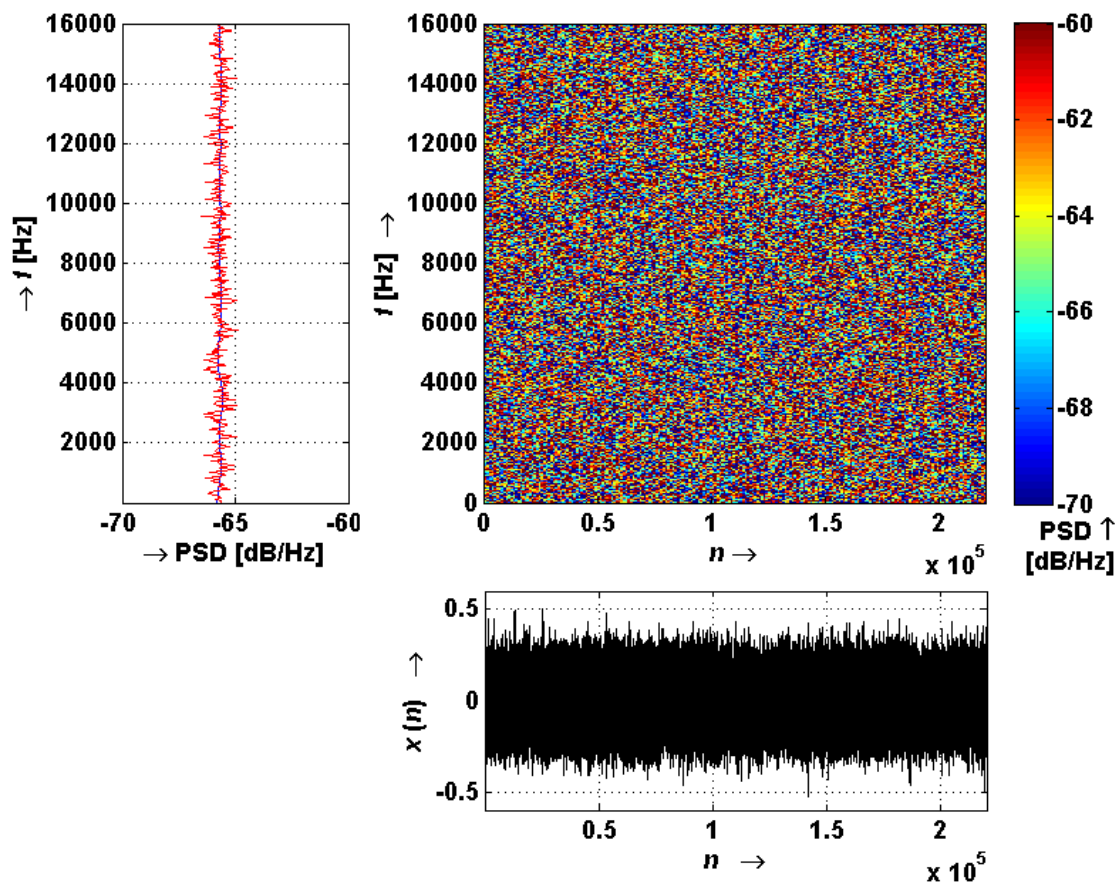
d_i	Rozdíl mezi hodnotami pořadí
GUI	Grafické uživatelské prostředí – Graphical User Interface
LabVIEW	Laboratorní prostředí pro vývoj virtuálních přístrojů – Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
M	Aritmetický průměr
Me	Medián
p	Spearmanův koeficient pořadové korelace
P_j	Centilová hodnota
r	Pearsonův koeficient korelace
R_a	Pořadová hodnota
SNR	Odstup signálu od šumu – Signal to Noise Ratio
SPL	Hladina akustického tlaku – Sound Pressure Level
sv	Stupně volnosti
t	Studentův test
W	Kendallův koeficient konkordance
Z_j	Normalizovaná pořadová hodnota
α	Hladina významnosti
χ^2	Testové kritérium

SEZNAM PŘÍLOH

A Příloha k poslechovému testu č.1	55
A.1 Bílý šum	55
A.2 Hluk baru	56
A.3 Šum kazety	57
A.4 Fonograf	58
A.5 Ventilátor PC	59
A.6 Sprcha	60
A.7 Tón 1 kHz	61
A.8 Vinylová deska	62
A.9 Vuvuzela	63
A.10 Vítr	64
B Příloha k poslechovému testu č.2	65
B.1 Dotazník	65
B.2 Instrukce	66
B.3 Data získaná při poslechovém testu č.2	67

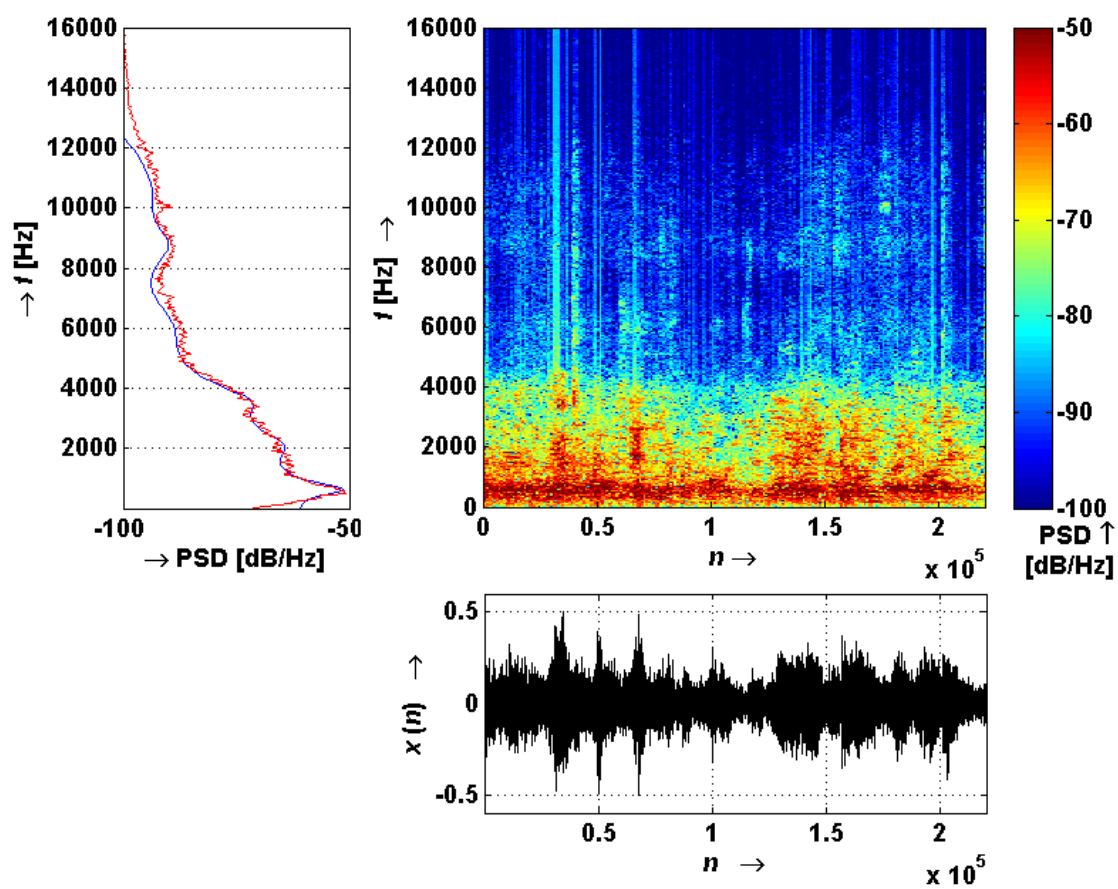
A PŘÍLOHA K POSLECHOVÉMU TESTU Č.1

A.1 Bílý šum



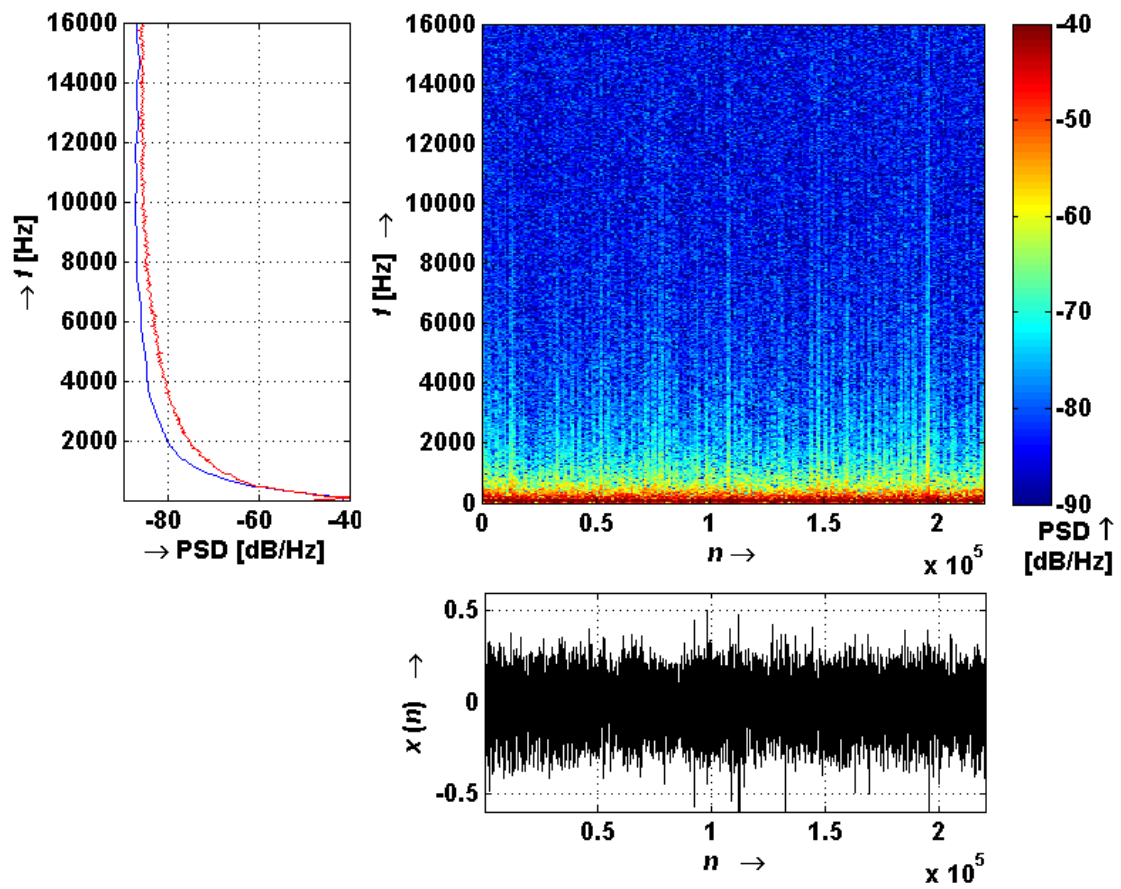
Obr. A.1: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.2 Hluk baru



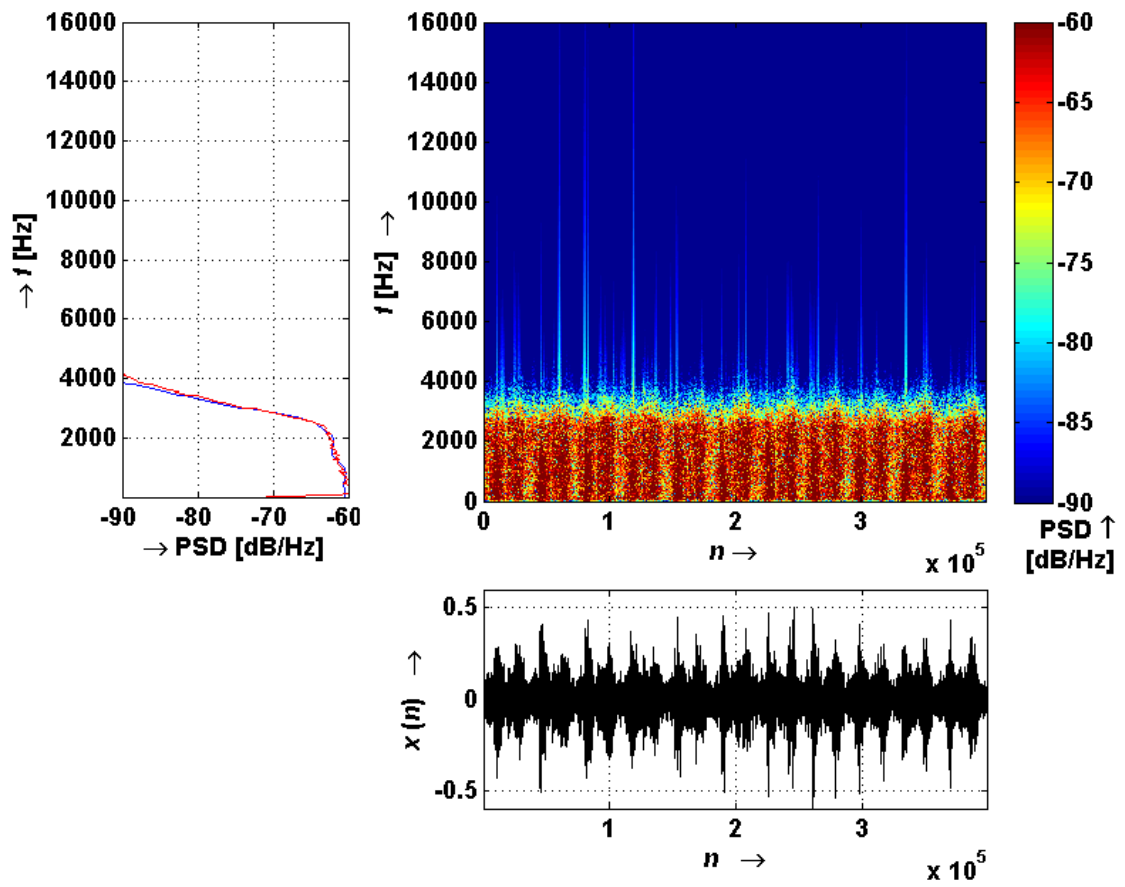
Obr. A.2: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.3 Šum kazety



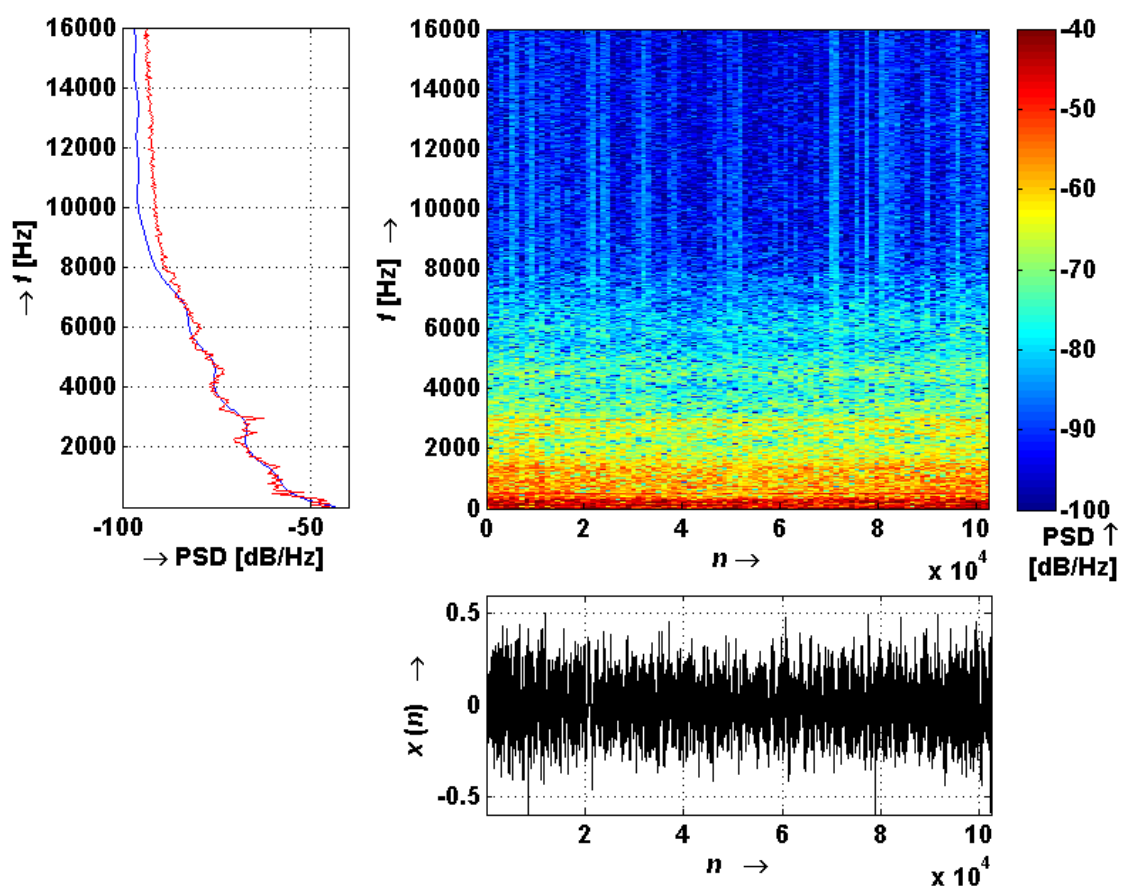
Obr. A.3: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.4 Fonograf



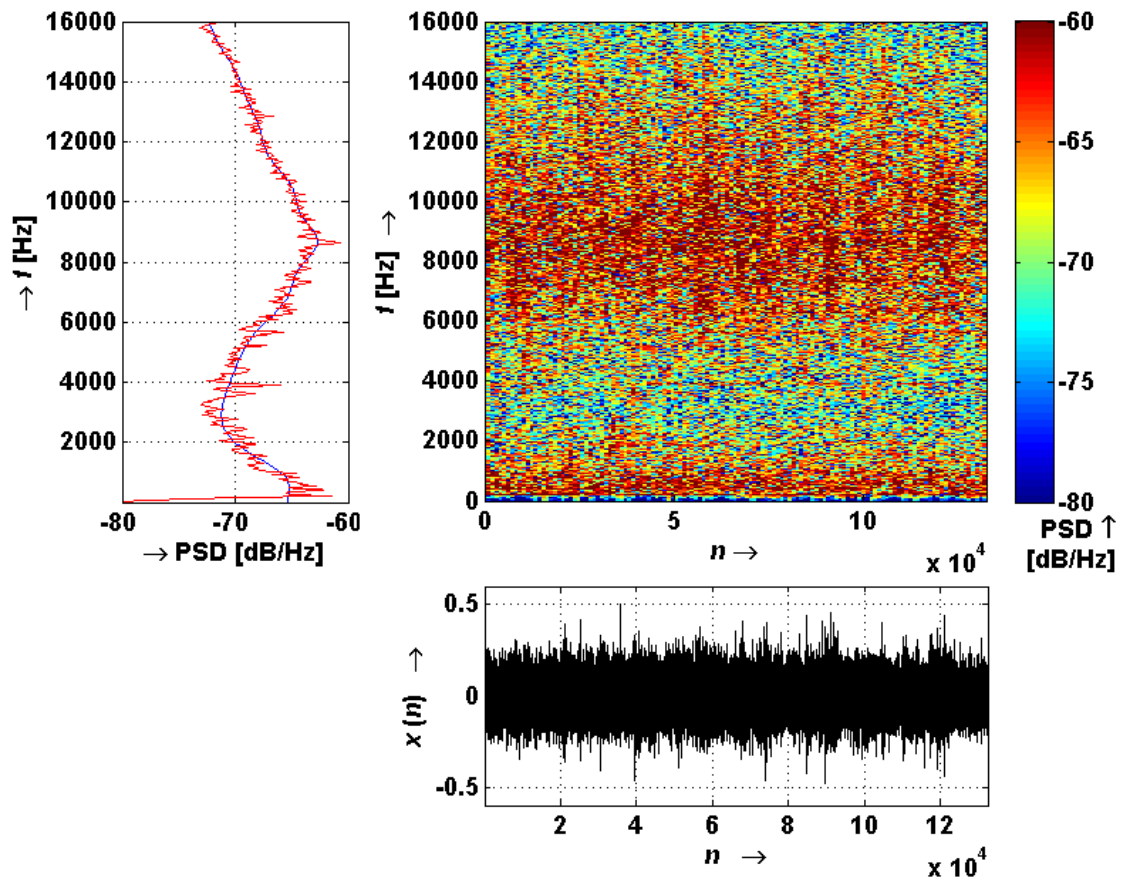
Obr. A.4: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.5 Ventilátor PC



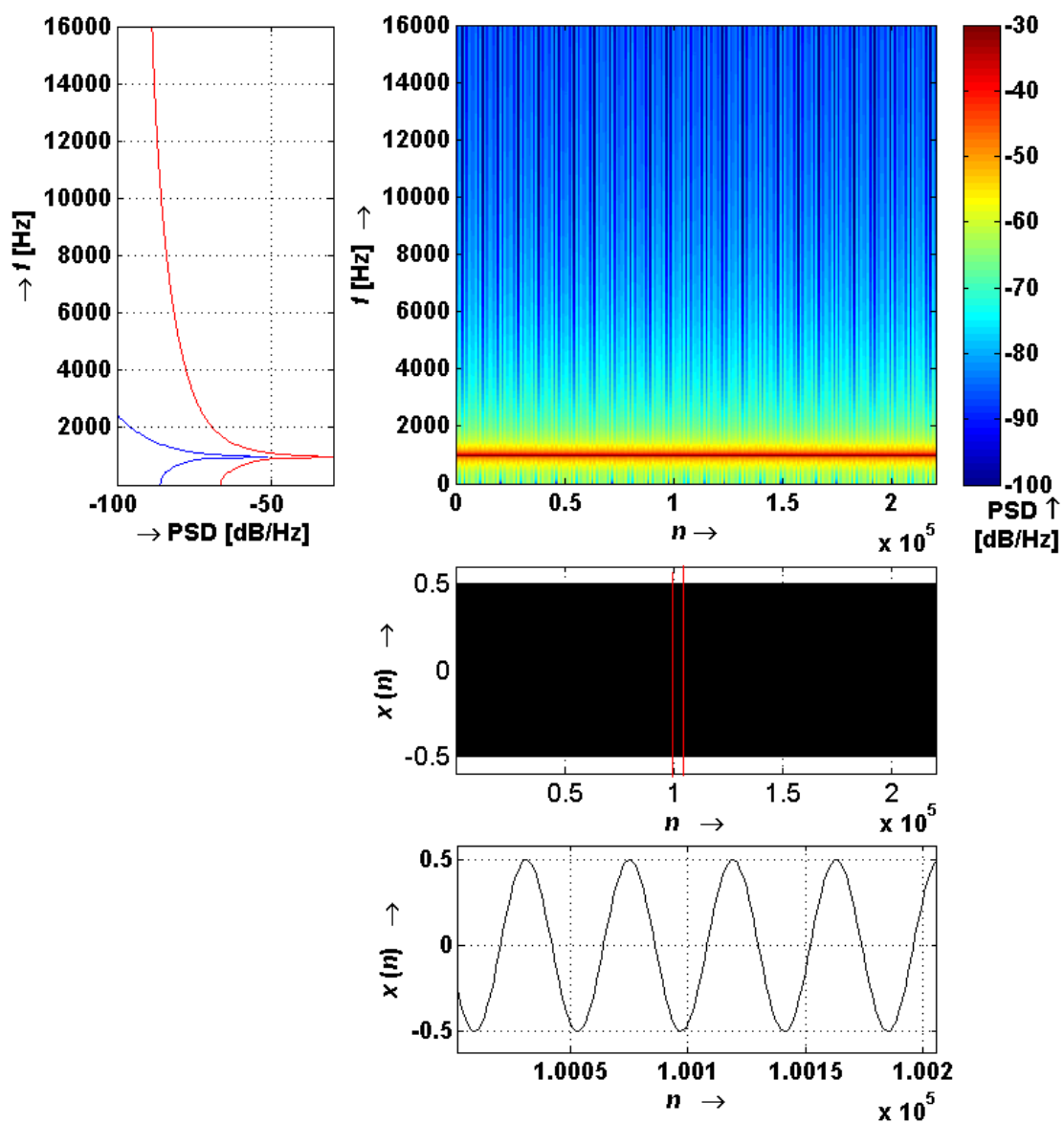
Obr. A.5: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.6 Sprcha



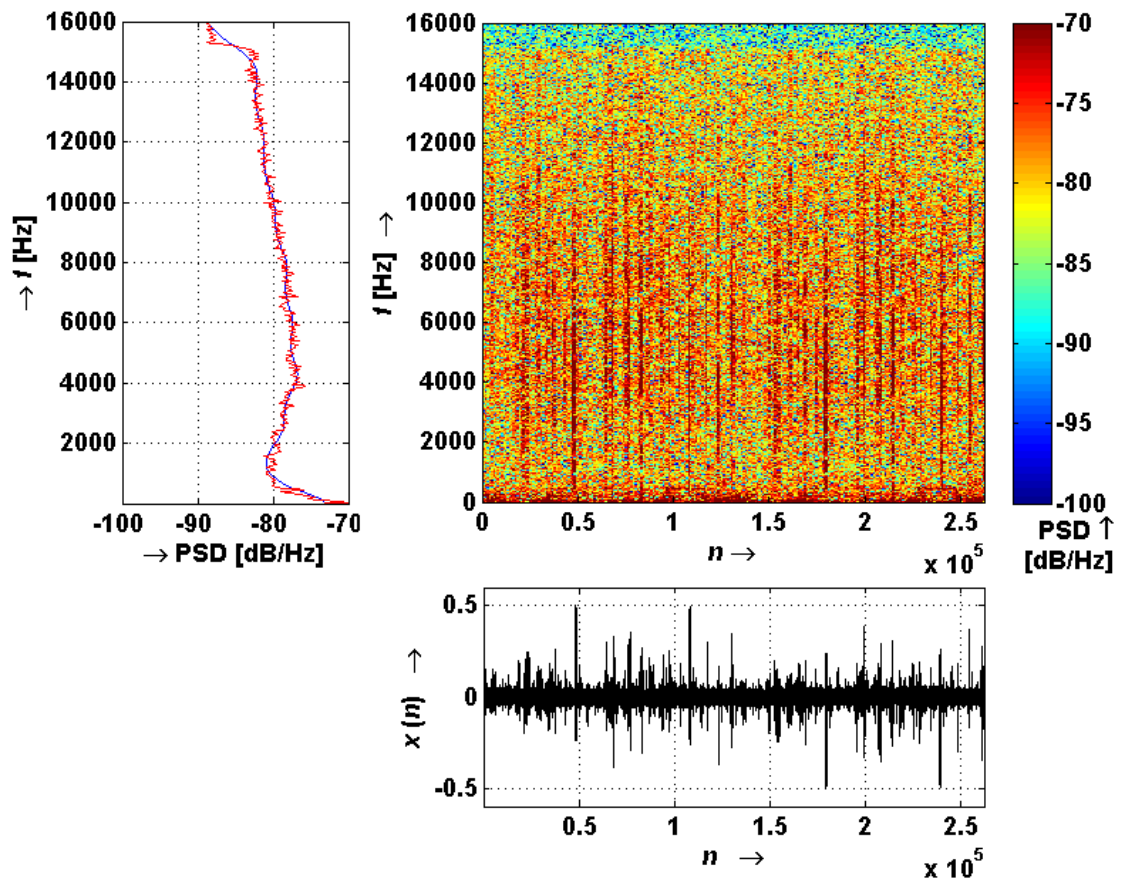
Obr. A.6: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.7 Tón 1 kHz



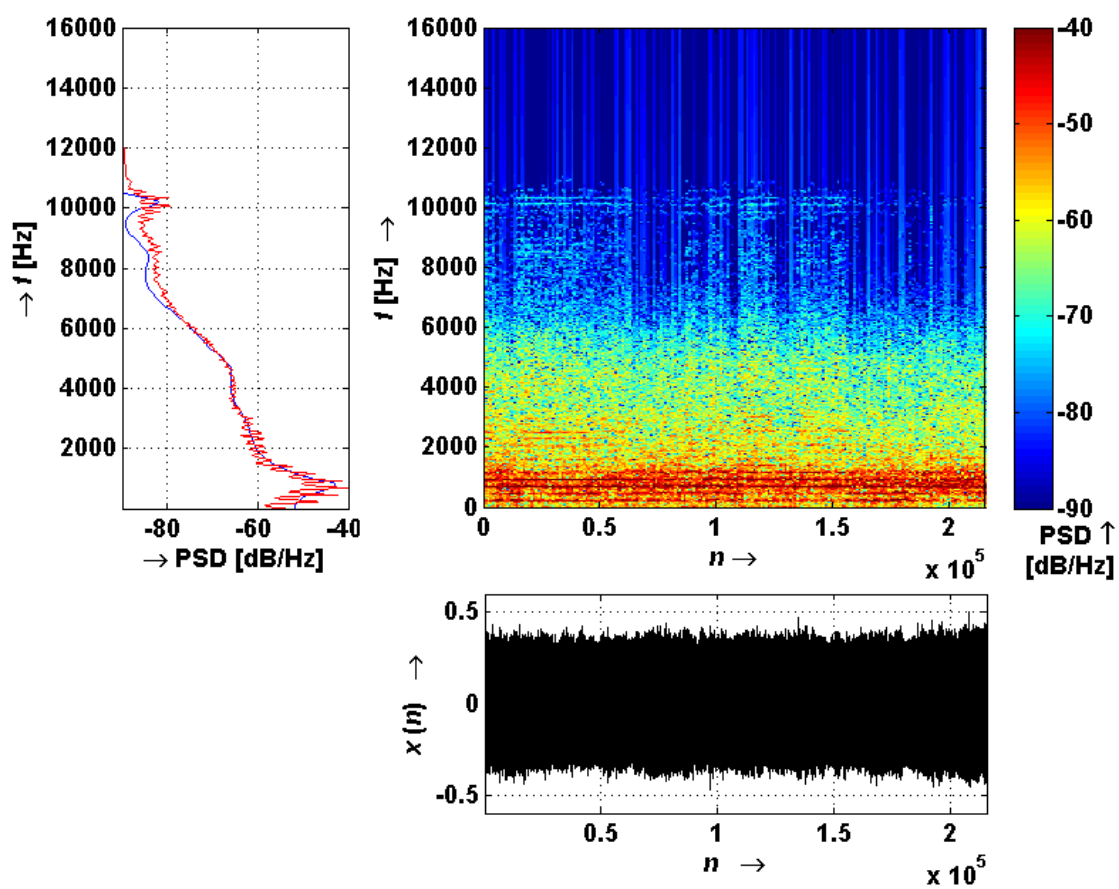
Obr. A.7: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh d) přiblížení časového průběhu

A.8 Vinylová deska



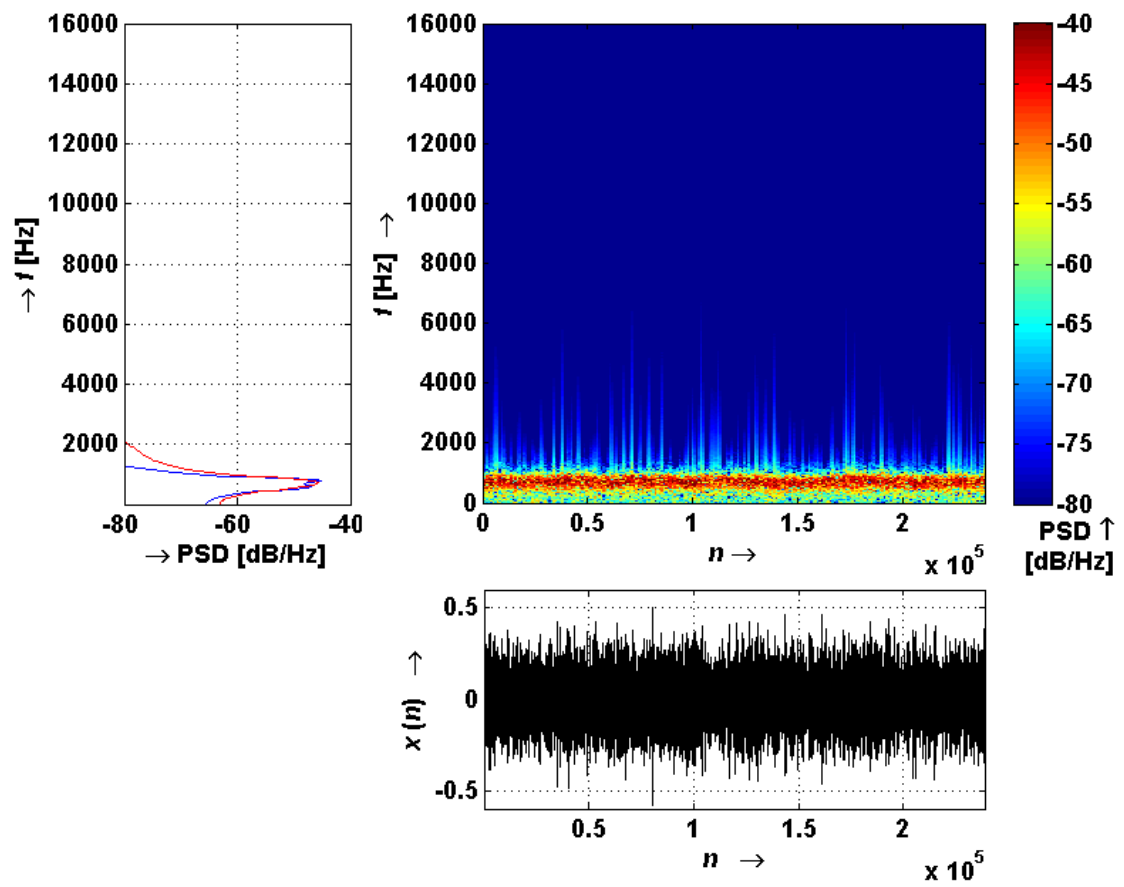
Obr. A.8: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.9 Vuvuzela



Obr. A.9: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

A.10 Vítr



Obr. A.10: a) Odhad PSD: Barlettova metoda (červený průběh), LPC model 22. řádu (modrý průběh) b) spektrogram c) časový průběh

B PŘÍLOHA K POSLECHOVÉMU TESTU Č.2

B.1 Dotazník

Jméno nebo ID:

Datum:

Ohodnoťte prosím následující aspekty poslechové kvality předložených nahrávek.

Škála ohodnocení hlasitosti:

- 5 - příliš hlasité
- 4 - hlasitější
- 3 - přiměřená hlasitost
- 2 - tišší
- 1 - příliš tiché

Škála ohodnocení vlivu okolí (šumu a hluku) na měření.

- 3 - Hluk okolí mě nijak významně nevyrušoval
- 2 - Hluk okolí mě trochu vyrušoval
- 1 - Hluk okolí mě velmi výrazně vyrušoval

Jakou známkou byste ohodnotili svůj sluch:

- 3 - Nadprůměrný
- 2 - Průměrný
- 1 - Podprůměrný

Považujete svoje hodnocení v experimentu za platné?

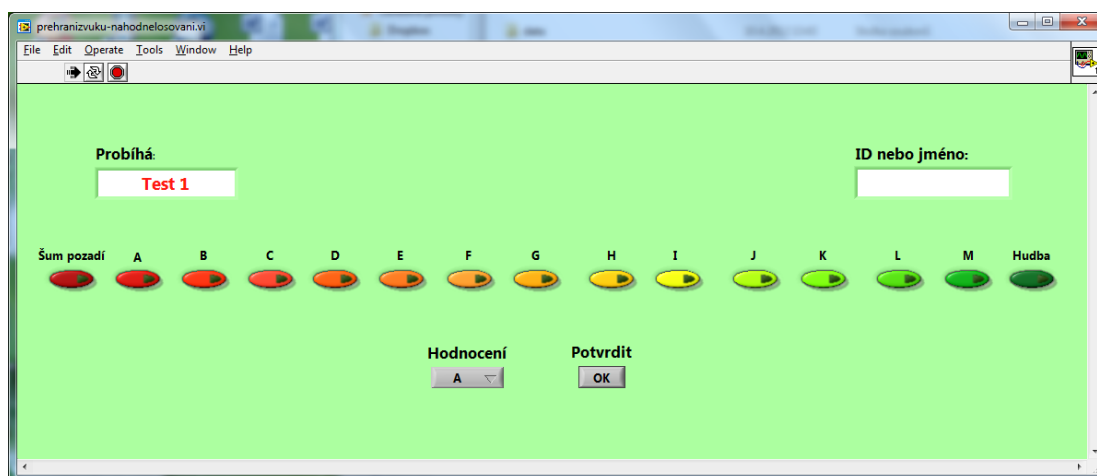
- 2 - ANO, myslím, že jsem vše ohodnotil podle svých schopností.
- 1 - NE, uveďte důvod (např. nepochopil jsem zadání:, omylem jsem minimálně jednou špatně odpověděl atd.).
- DŮVOD:

Máte komentář k provedenému experimentu? Náměty na zlepšení, postřehy?

B.2 Instrukce

Cílem tohoto experimentu, je zjistit práh slyšitelnosti šumu pozadí v hudebních a řečových signálech. Bude Vám předloženo několik sad zarušených nahrávek. V každé sadě nahrávek se bude měnit hlasitost šumu pozadí (hlasitost hudební a řečové složky se nemění). Vaším úkolem bude označit tu nahrávku, ve které šum pozadí už NEBUDETE slyšet.

Grafické rozhraní programu tohoto experimentu je zobrazeno na obr.B.1



Obr. B.1: Grafické rozhraní programu.

Celý experiment se skládá ze tří částí. V první části se na cvičném hodnocení seznámíte s programem. Výsledky z této části nebudou dále zpracovávány. V druhé části bude probíhat ostré měření, celkem zde ohodnotíte 18 sad zarušených nahrávek. Poté bude následovat krátká pauza a pak v další (v třetí části) ohodnotíte dalších 18 sad zarušených nahrávek. Program se po každé části sám vypne. Celý experiment, by neměl trvat déle, než 15 minut...

B.3 Data získaná při poslechovém testu č.2

Tab. B.1: Data získaná od posluchačů 1 až 4

	osoba 1		osoba 2		osoba 3		osoba 4	
	test	retest	test	retest	test	retest	test	retest
Abba-vent. PC	40	35	35	35	30	30	35	30
Abba-kazeta	35	35	35	35	20	25	35	35
Abba-vinyl. deska	50	55	55	55	45	50	50	55
Speech-vent. PC	40	40	40	40	40	35	35	45
Speech-kazeta	35	30	30	35	25	30	30	35
Speech-vinyl. deska	50	50	55	55	50	45	50	50
Guitar-vent. PC	40	40	35	40	25	30	30	35
Guitar-kazeta	35	35	30	30	25	25	30	30
Guitar-vinyl. deska	50	50	50	50	45	45	50	50
Mozart-vent. PC	30	30	35	35	25	25	30	30
Mozart-kazeta	30	35	35	35	30	30	30	30
Mozart-vinyl. deska	55	55	60	60	60	55	55	55
Eddie Rabbitt-vent. PC	35	40	40	45	35	40	35	50
Eddie Rabbitt-kazeta	25	25	30	40	20	25	30	30
Eddie Rabbitt-vinyl. deska	45	45	50	50	45	55	45	50
Vocal-vent. PC	35	35	50	40	35	50	35	35
Vocal-kazeta	30	30	35	30	30	45	30	35
Vocal-vinyl. deska	50	55	55	55	50	50	55	50

Tab. B.2: Data získaná od posluchačů 5 až 8

	osoba 5		osoba 6		osoba 7		osoba 8	
	test	retest	test	retest	test	retest	test	retest
Abba-vent. PC	40	35	35	35	30	30	35	35
Abba-kazeta	35	40	40	35	25	30	30	30
Abba-vinyl. deska	55	55	50	50	50	55	50	55
Speech-vent. PC	40	45	40	45	35	35	40	40
Speech-kazeta	35	30	35	35	25	25	35	30
Speech-vinyl. deska	55	50	50	55	45	50	50	50
Guitar-vent. PC	35	30	30	35	25	25	35	35
Guitar-kazeta	35	30	30	30	30	30	30	30
Guitar-vinyl. deska	55	50	50	50	50	50	50	50
Mozart-vent. PC	30	30	30	30	25	25	40	35
Mozart-kazeta	35	35	40	35	30	30	35	40
Mozart-vinyl. deska	60	55	55	55	55	55	60	60
Eddie Rabbitt-vent. PC	40	40	40	40	25	25	40	45
Eddie Rabbitt-kazeta	30	30	25	30	35	35	35	35
Eddie Rabbitt-vinyl. deska	50	50	50	55	55	55	50	55
Vocal-vent. PC	45	40	40	35	35	35	45	40
Vocal-kazeta	35	40	35	35	30	25	35	35
Vocal-vinyl. deska	60	55	50	50	50	50	55	50

Tab. B.3: Data získaná od posluchačů 9 až 12

	osoba 9		osoba 10		osoba 11		osoba 12	
	test	retest	test	retest	test	retest	test	retest
Abba-vent. PC	40	45	30	30	30	35	40	35
Abba-kazeta	45	35	25	25	30	30	40	35
Abba-vinyl. deska	50	55	50	50	55	50	50	50
Speech-vent. PC	45	40	35	35	40	40	40	40
Speech-kazeta	40	35	25	30	30	30	35	35
Speech-vinyl. deska	50	50	55	50	55	50	50	50
Guitar-vent. PC	35	45	30	30	30	30	35	35
Guitar-kazeta	35	45	20	25	30	30	30	30
Guitar-vinyl. deska	50	50	45	45	50	45	45	50
Mozart-vent. PC	40	40	30	25	30	30	30	35
Mozart-kazeta	35	30	30	30	30	30	35	35
Mozart-vinyl. deska	60	55	55	55	60	55	50	55
Eddie Rabbitt-vent. PC	45	50	35	35	45	45	40	40
Eddie Rabbitt-kazeta	50	50	25	25	35	30	35	30
Eddie Rabbitt-vinyl. deska	50	50	45	45	55	55	50	50
Vocal-vent. PC	45	45	35	35	40	40	40	40
Vocal-kazeta	40	35	30	30	30	35	40	35
Vocal-vinyl. deska	55	50	50	50	60	50	55	50

Tab. B.4: Data získaná od posluchačů 13 až 16

	osoba 13		osoba 14		osoba 15		osoba 16	
	test	retest	test	retest	test	retest	test	retest
Abba-vent. PC	35	35	35	40	35	35	35	30
Abba-kazeta	35	30	35	40	40	35	40	30
Abba-vinyl. deska	50	45	50	55	55	55	55	50
Speech-vent. PC	40	40	40	40	40	40	40	40
Speech-kazeta	30	30	35	35	30	30	30	30
Speech-vinyl. deska	45	45	50	50	50	50	50	50
Guitar-vent. PC	30	30	35	40	30	30	35	25
Guitar-kazeta	25	25	35	40	30	30	40	30
Guitar-vinyl. deska	50	45	60	45	50	55	45	50
Mozart-vent. PC	30	30	35	35	30	30	45	30
Mozart-kazeta	30	30	30	40	35	35	45	30
Mozart-vinyl. deska	55	50	60	55	55	55	60	55
Eddie Rabbitt-vent. PC	35	35	45	40	35	35	35	35
Eddie Rabbitt-kazeta	25	25	35	40	25	25	30	25
Eddie Rabbitt-vinyl. deska	45	40	50	50	45	45	45	45
Vocal-vent. PC	30	35	45	40	40	35	35	40
Vocal-kazeta	25	25	30	40	35	30	30	35
Vocal-vinyl. deska	50	50	45	55	55	55	55	55

Tab. B.5: Data získaná od posluchačů 17 až 20

	osoba 17		osoba 18		osoba 19		osoba 20	
	test	retest	test	retest	test	retest	test	retest
Abba-vent. PC	50	40	30	35	40	40	30	30
Abba-kazeta	35	35	30	40	30	35	30	30
Abba-vinyl. deska	60	55	50	55	55	55	55	45
Speech-vent. PC	45	40	40	40	45	50	40	40
Speech-kazeta	35	35	30	35	35	40	30	30
Speech-vinyl. deska	55	50	50	50	60	55	45	50
Guitar-vent. PC	55	45	40	45	30	35	35	30
Guitar-kazeta	50	40	30	50	30	30	30	35
Guitar-vinyl. deska	60	50	60	55	55	55	50	50
Mozart-vent. PC	50	40	35	35	40	35	30	30
Mozart-kazeta	30	55	45	35	35	35	30	30
Mozart-vinyl. deska	65	60	60	55	60	60	55	55
Eddie Rabbitt-vent. PC	40	35	45	50	30	35	35	40
Eddie Rabbitt-kazeta	40	45	30	40	25	25	30	30
Eddie Rabbitt-vinyl. deska	60	55	55	45	55	50	40	45
Vocal-vent. PC	45	45	40	45	45	45	35	40
Vocal-kazeta	35	45	30	40	35	35	30	30
Vocal-vinyl. deska	60	55	55	55	50	60	55	50