

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

# ANALÝZA PSYCHOAKUSTICKÉHO VNÍMÁNÍ AKORDŮ SLOŽENÝCH Z RŮZNĚ SYTÝCH A RŮZNĚ BAREVNÝCH SIGNÁLŮ

THE ANALYSIS OF PSYCHOACOUSTIC PERCEPTION OF CHORDS COMPOSED FROM DIFFERENT FULL  
AND VARIOUSLY COLORED SIGNALS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Vejmělka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2019

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**  
Ústav telekomunikací

**Student:** Daniel Vejmelka

**ID:** 186640

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### **Analýza psychoakustického vnímání akordů složených z různě sytých a různě barevných signálů**

#### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Student připraví sadu různě složitých akordů hraných různým druhem signálu – s nízkým, středním a vysokým počtem alikvótních složek a s různou mírou inharmonicit – od zcela harmonického spektra po silně inharmonické. Akordy mohou být hrány přirozenými i umělými nástroji. Jednotlivé tóny akordů rozloží shodně na stereo ose. Vytvoří dotazník s hodnotící škálou a provede poslechové testy na ideálním vzorku více než 100 respondentů. Vyhodnotí výsledky a dá je do souvislosti s jakostí tónbrů.

#### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] MELKA, A. Základy experimentální psychoakustiky. Praha: Akademie múzických umění, 2005. ISBN 80-733-043-0

[2] Štěpánek, J., Moravec, O., 2005 b. Barva hudebního zvuku a její slovní popis, Akademie múzických umění v Praze, Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU, ISBN 80-7331-031-7.

**Termín zadání:** 1.2.2019

**Termín odevzdání:** 27.5.2019

**Vedoucí práce:** MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

**Konzultant:**

**prof. Ing. Jiří Mišurec, 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**

Tato práce se zabývá vlivem frekvenčního spektra hudebních zvuků na psychoakustické vnímání posluchače. Zkoumá, jak ovlivní různě syté harmonické spektrum schopnost posluchače rozeznat jednotlivé tóny v akordu a jaký vliv má přítomnost inharmonických složek na srozumitelnost souzvuku. Věnuje se různým metodám psychoakustických měření a následného zpracování výsledků. Experiment je založen na metodě párového srovnávání a byl proveden formou poslechového testu s více než 100 respondenty. Test se zaměřuje na typické zástupce různých skupin hudebních nástrojů. Zkoumá vliv odlišnosti barvy zvuku u různých typů akordů. Dále práce obsahuje statistické zpracování získaných výsledků.

## **Klíčová slova**

Psychoakustika, poslechový test, alikvóty, akordy, inharmonicity

## **Abstract**

This thesis is dealing with the impact of frequency spectrum of musical sounds on psycho-acoustical perception of the listener. It studies how differently filled harmonic spectrums can influence listener's ability to determine individual notes in a chord and what influence, on recognizability of a chord, inharmonic elements have. It explores different methods of psycho-acoustic measurements and further data processing. The experiment is based on a method of paired comparisons and was realized in a form of listening test with more than 100 participants. The test is focused on typical representatives of different groups of musical instruments. It studies the impact of different colors of sound used in different types of chords. It further deals with statistical processing of the recovered data.

## **Key words**

Psychoacoustics, listening test, aliquots, chords, inharmonic elements

## **Bibliografická citace:**

*VEJMĚLKA, Daniel. Analýza psychoakustického vnímání akordů složených z různě sytých a různě barevných signálů. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118126>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ondřej Jirásek.*

## **Prohlášení**

*„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma psychoakustického vnímání akordů složených z různě sytých a různě barevných 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 jsem si 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.*

V Brně dne: **15. května 2019**

.....  
podpis autora

# Obsah

Abstrakt.....	1
Klíčová slova .....	1
Abstract.....	1
Key words .....	1
1. Úvod.....	10
2. Teorie .....	11
2.1 Psychoakustika obecně.....	11
2.2 Barva zvuku .....	11
2.3 Psychoakustické měření .....	12
2.3.1 Metody psychoakustických měření obecně .....	12
2.3.2 Metoda párového srovnávání.....	13
2.3.2.1 Praktický postup .....	14
2.3.2.2 Kontrola konzistence .....	14
2.3.2.3 Kontrola shody mezi respondenty .....	16
2.3.2.4 Statistické zpracování výsledků .....	18
3. Experiment .....	22
3.1 Poslechový test.....	22
3.1.1 Respondenti .....	22
3.1.2 Zvuky .....	25
3.1.2.1 Zvuky reálných nástrojů .....	26
3.1.2.2 Syntetické zvuky .....	29
3.1.3 Akordy .....	30
3.2 Výsledky a statistické zpracování .....	35
3.2.1 Kontrola konzistence .....	38
3.2.2 Kontrola shody mezi zkoumanými osobami .....	39
3.2.3 Výsledné škály .....	40
4. Závěr .....	43

## Seznam obrázků

Obrázek 3-1: Graf zaměstnání zkoumaných osob .....	24
Obrázek 3-2: Graf věkových skupin pole respondentů.....	24
Obrázek 3-3: Graf údajů o pohlaví respondentů.....	25
Obrázek 3-4 Spektogram mollového kvintakordu zahraného na klarinet .....	26
Obrázek 3-5 Spektogram mollového kvintakordu zahraného na housle .....	27
Obrázek 3-6 Spektogram mollového kvintakordu zahraného na trumpetu .....	27
Obrázek 3-7 Spektogram mollového kvintakordu zahraného na zvony .....	28
Obrázek 3-8 Spektogram mollového kvintakordu zahraného sinusovým signálem	29
Obrázek 3-9 Spektogram mollového kvintakordu zahraného trojúhelníkovým signálem .....	29
Obrázek 3-10 Spektogram mollového kvintakordu zahraného signálem obdélníkového průběhu.....	30
Obrázek 3-11 Spektogram dvojzvuku kvinta zahraného na housle.....	31
Obrázek 3-12 Spektogram dvojzvuku septima zahraného na housle .....	32
Obrázek 3-13 Spektogram durového kvintakordu zahraného na housle .....	32
Obrázek 3-14 Spektogram mollového kvintakordu zahraného na housle .....	33
Obrázek 3-15 Spektogram velkého septakordu zahraného na housle .....	33
Obrázek 3-16 Spektogram nonového akordu v clusteru zahraného na housle .....	34
Obrázek 3-17 Spektogram nonového akordu v otevřeném obratu zahraného na housle .....	34



## Seznam tabulek

Tabulka 2-1: Přípustné počty kruhových trojic pro $n < 8$ .....	15
Tabulka 2-2: Skupinová preferenční matice pro mollový kvintakord .....	16
Tabulka 2-3: Matice hodnot $C_2(p_{jk})$ .....	17
Tabulka 2-4: matice relativních skupinových preferencí pro mollový kvintakord...	18
Tabulka 2-5: Hodnoty z-skóre pro mollový kvintakord .....	19
Tabulka 2-6: Hodnoty řádkových součtů z-skóre a škálových hodnot.....	20
Tabulka 2-7: Skupinová preferenční matice se škálovými hodnotami .....	21
Tabulka 3-1 Dvojzvuk – kvinta, relativní preferenční matice .....	35
Tabulka 3-2 Dvojzvuk - velká septima, relativní preferenční matice.....	35
Tabulka 3-3 Durový kvintakord, relativní preferenční matice .....	36
Tabulka 3-4 Mollový kvintakord, relativní preferenční matice.....	36
Tabulka 3-5 Septakord, relativní preferenční matice.....	36
Tabulka 3-6 Otevřený obrat nonakordu, relativní preferenční matice.....	37
Tabulka 3-7 Nonakord v clusteru, relativní preferenční matice .....	37
Tabulka 3-8 Individuální preferenční matice posluchače č.4 .....	38
Tabulka 3-9: Koeficienty shody a jejich statistická významnost.....	39
Tabulka 3-10: Procentuální škály výsledků všech poslechových testů .....	41
Tabulka 3-11: Tabulka s hodnotami pořadové škály pro všechny poslechové testy	41
Tabulka 3-12: Pořadí a procentuální škála nástrojů.....	42

# 1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá tématem, jež balancuje na pokraji psychologické akustiky a instrumentace. Motivací k vypracování práce a prostor pro její potenciální využití se nachází na poli instrumentačním. Metody a statistické zpracování získaných výsledků pak nepokrytě vychází z již ustálených zásad psychologické akustiky. Je snahou, podobně jako většina prací psychologické akustiky, zachytit problematiku, jež se zdá na první pohled abstraktní a dát jí pevnou definici a faktické vyústění. Je to práce, která zkoumá proměnlivé vjemy na základě měnících se podnětů. A proto vždy bude velmi ovlivněna subjektivním vnímáním jedinců, kteří se na práci podíleli coby respondenti poslechových testů.

Konkrétně tato práce zkoumá, jak se mění vnímání hudebních souzvuků, když je k jejich vytvoření použito nástrojů s různě barevným zvukem. Toto je otázka, se kterou, se, ať již vědomě či ne, setkávají při práci skladatelé, aranžéři, zvukoví inženýři i samotní hudebníci denně. Každý, kdo se nějakým dílem kdy podílel na zvukové tvorbě, se jistě setkal s otázkou, zda nebude daný part znít v celkové kompozici lépe, bude-li zahrán jiným nástrojem, nebo s jinou výrazovou technikou, která také mění barvu zvuku. Touto otázkou se zabývá i tato práce.

Cílem práce tedy je navrhnout a vytvořit poslechový test, který by zkoumal srozumitelnost různě složitých souzvuků v závislosti na barvě tónu hudebního nástroje a navrhnout postup zpracování dat získaných z těchto testů. Následně provést vytvořený poslechový test s ideálním počtem přes 100 respondentů, výsledky zpracovat a diskutovat jejich souvislost s harmonickým spektrem použitých nástrojů.

Nejedná se však o kompletní rozbor všech známých světových hudebních nástrojů, a srovnání jejich psychoakustických vlivů na posluchače. Taková práce by vydala na knihy a knihy. Byla by také velmi časově i finančně nákladná, vzhledem k velkému počtu respondentů a časové náročnosti poslechových testů. Jedná se však o úvod do dané problematiky a vytyčení směru, kterým by bylo možné dále pokračovat. Zároveň však je cílem pokrýt typické zástupce hudebních nástrojů reálných i syntetických tím získat představu o trendu, kterým by se další výzkum ubíral.

## 2. TEORIE

### 2.1 Psychoakustika obecně

Psychologická akustika, zkráceně psychoakustika, je vědní disciplínou na pomezí oborů akustiky a psychologie. V nejširším pojetí je cílem psychoakustiky vyšetřování veškerých účinků zvukových dějů na psychiku člověka, tedy na jeho chování a prožívání. [1]. Tím pádem se do zájmu psychoakustických výzkumů může vejít vše od elementárních záležitostí, jako je měření prahu slyšitelnosti až po komplexní výzkumy, jako může být studium vlivu dlouhodobému vystavení hluku na pracovišti, optimalizaci zvukových systémů v autech, ale i hudebním výzkumům jako je ten, kterým se zabývá tato semestrální práce. Historicky vychází psychoakustika z oboru psychofyziky a experimentální psychologie. Počátek těchto dvou oborů se datuje do poloviny 19. století. Chápání psychofyziky se dělí na klasickou psychofyziku a moderní, tzv. novou psychofyziku. Rozdíl mezi těmito dvěma školami, se točí okolo vnímání počitků a vjemů. Zatímco klasická psychofyzika zkoumá vliv konkrétních samostatných podnětů, tzv. počitků, na vjemy člověka, moderní psychofyzika však říká, že žádné čisté počitky neexistují, že každý vjem člověka je ovlivněn prostředím, dozvukem podnětů předchozích atd., a že tudíž není vjem jen součtem jednotlivých počitků, ale individuálním celostním prožitkem [2]. Zde vidíme, že chápání celé vědní disciplíny psychoakustiky hraničí s filosofií. To však není předmětem této práce.

### 2.2 Barva zvuku

Barva zvuku, je velmi důležitá složka vnímané kvality zvuku, jejíž vnímání je stěžejní pro to jakým způsobem přijímáme hudební i nehudební zvukové informace. Nebýt barvy zvuku, nebyly bychom schopni odlišit různé hudební nástroje, různé zvuky okolního prostředí, ba ani elementární podněty jako rozdílné hlasy dvou osob či různé samohlásky v řeči.

Barva zvuku je mezinárodně definovaná jako „vlastnost sluchového vnímání, která umožňuje posluchači usoudit, že dva neidentické zvuky mající stejnou hlasitost a stejnou výšku si nejsou podobné.”[3, 4].

Jedná se o patrně nejsložitější a nejméně zkoumanou veličinu ze všech základních sluchových vjemových veličin, přesto však se jedná o veličinu nejméně probádanou. Vzhledem k náročnosti zkoumání vnímání barvy zvuku, nebylo ještě zcela dosaženo toho, aby bylo možné určit jednoznačně potvrzené elementární dimenze barvy zvuku. Existuje však shoda v názoru, že barvu zvuku je nutno považovat za vícerozměrnou precepční veličinu [5] a že k jejímu popisu stačí tři až čtyři z následujících elementárních precepčních dimenzí: ostrost, objem, drsnost, tónovost a jasnost.

Dříve panoval v psychoakustice názor, že barvu tónu určuje pouze jeho stacionární amplitudové spektrum. Tento názor prosazoval zejména německý fyziolog, lékař, fyzik a filosof Hermann Helmholtz. Dnes však již víme, že určitý vliv na barvu mají i nestacionární složky hudebního zvuku. Jedná se zejména o přechodové děje na začátku a konci zvuku (transienty), ale také různé pravidelné i nepravidelné modulace v jeho kvazistacionární části [1, 5].

Barva zvuku je také důležitou složkou vjemu akustické kvality prostorů určených k poslechu živé hudby a mluveného slova, při subjektivním posuzování vnímané zvukové kvality zařízení pro reprodukci zvuku a v oblasti kontroly a snižování hluku.

## **2.3 Psychoakustické měření**

V oblasti psychoakustiky je nejčastější výzkumnou strategií používanou v empirickém výzkumu experiment. Není to jediná možná cesta, je však nejběžnější. Někdy také k výzkumu slouží průzkum neboli dotazníkové šetření. Psychoakustický experiment je specifickou formou psychologického experimentu, který se soustředí na sledování účinků různých akustických podnětů.

### **2.3.1 Metody psychoakustických měření obecně**

Existuje několik základních metod používaných při psychoakustických experimentech. Tyto metody lze nejlépe rozdělit podle cíle, jehož chce experimentátor dosáhnout. Při měření se experimentátor může snažit dosáhnout následujícího:

- Určovat ekvivalentní podněty
- Stanovit pořadí podnětů
- Vytvořit stupnici se společnou jednotkou, tedy intervalovou škály

K dosažení každého z těchto uvedených cílů lze použít dva postupy, a to:

- Direktní metody, založené na přímém pozorování měřených objektů
- Indirektní metody, založené na pravděpodobnosti

Mezi zásadní patří metoda konstantních podnětů, párové srovnávání zvukových podnětů, seřazování zvukových podnětů do pořadí, posuzování zvukových podnětů na subjektivních posuzovacích škálách, nastavování zvukových podnětů, metoda sémantického diferenciálu a měření podobnosti zvukových podnětů. Mnohé z těchto metod by bylo možné přiřadit do více než jedné z kategorií, určených cíly, kterých má být dosaženo.

### 2.3.2 Metoda párového srovnávání

Metoda, která se nakonec jevila jako nejvhodnější pro splnění zadání práce, je metoda párového srovnávání podnětů. Metodu podle dříve naznačeného rozdělení můžeme přiřadit hned do několika kategorií. Jedná se o indirektní metodu a použita může být k určování ekvivalence podnětů, určování rovnosti intervalů, nebo určování pořadí podnětů, což je i náš případ. Tato metoda je založena na postupném párovém srovnání každého z celkem  $n$  posuzovaných podnětů se všemi zbývajících  $n-1$  podněty. Respondent poslechového testu potom označí jeden z dvojice podnětů za dominantní v předem definované souvislosti. V našem případě, posluchač vybírá ze dvojice stejných souzvuků, zahráných různými nástroji ten, jež se mu zdá srozumitelnější, a u kterého je snazší určit, o jaký akord se jedná. Hlavní nevýhodou této metody je to, že je velmi náročná na jednotlivé respondenty, a to proto, že má vysoké požadavky co se času i trpělivosti pokusné osoby týče.

Existuje několik variant této metody. První rozdělení je na případy, kdy připouštíme neutrální soud, tj. tvrzení, že oba podněty se zdají být v posuzovaném smyslu stejné, a že posluchač nevnímá mezi podněty rozdíl. Nebezpečí toho, že pokusná osoba dostane tuto možnost, tkví v možnosti, že se respondent v případě složitějšího rozhodování mezi dvěma vzorky uchýlí raději k neutrální odpovědi, než aby plýtlval úsilím na náročné rozhodnutí. Další rozdělení se odvíjí od důležitosti pořadí dvou srovnávaných vzorků. To znamená, zda může mít výrazný vliv na posluchačův vjem fakt, že jeden vzorek byl ve srovnávaném páru přehrán jako první nebo jako druhý. Zohlednění tohoto aspektu má velký vliv především na délku poslechového testu, který respondenti musejí podstoupit.

Zatímco totiž počet páru, při metodě kdy na pořadí vzorků v páru nezáleží je:

$$C_2(n) = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} = 0,5(n^2 - n), \quad (2-1)$$

kde  $C_2$  je celkový počet srovnávaných dvojic a  $n$  je počet všech vzorků. Tak u metody, kdy na pořadí vzorků v páru záleží, je celkový počet:

$$V_2(n) = n(n-1) = n^2 - n, \quad (2-2)$$

kde  $V_2$  je celkový počet dvojic vzorků a  $n$  je opět počet jednotlivých vzorků.

Metodu párového srovnávání, můžeme použít třemi způsoby, a to pokud:

- Jedna, nebo malé množství pokusných osob porovnávají všechny páry vzorků několikrát
- Velké množství pokusných osob porovnává všechny páry vzorků jen jednou
- Několik pokusných osob posuzuje několikrát opakovaně všechny páry podnětů

Různé využití těchto způsobů je následující: první způsob použijeme, chceme-li důkladně proměřit vnímání konkrétního jedince. Pokud zkoumáme průměrnou škálu populace, použijeme způsob druhý. Pro výzkum praktických problémů v psychoakustice se nejčastěji používá poslední uvedený způsob. V našem případě použijeme druhý způsob realizace metody párového srovnávání podnětů.

### 2.3.2.1 Praktický postup

Soudy pokusných osob zanášíme do matice  $n$ -tého řádu, kterou nazýváme preferenční matice, kde v každém políčku je vyneseno soud posluchače k porovnávané dvojici. Ted v případě, že posluchač určí vjem 1 jako dominantní nad vjemem 2 ( $S_1 > S_2$ ) zapíše se hodnota 1, v opačném případě se zapíše 0. Sečtením všech individuálních matic, dostáváme výslednou matici, tzv. kombinovanou matici. V našem případě, když jde o sloučení matic od různých subjektů, mluvíme o matici skupinových dat. Údaj v každém poli pak mluví o počtu preferencí, jež podnět získal při srovnání s druhým konkrétním podnětem. Hodnoty v jednotlivých polích tím pádem nabývají hodnot od 0 do  $m$ , kdy  $m$  je celkový počet posuzovaných dvojic. Pokud vydělíme všechny hodnoty v matici skupinových dat počtem posuzovaných dvojic  $m$ , získáme dominantní či preferenční matici poměrů. Hodnoty těchto poměrů  $p_{1,2}$  s nacházejí v intervalu  $0 \leq p_{1,2} \leq 1$ .

### 2.3.2.2 Kontrola konzistence

Vzhledem k tomu, že poslechové testy jsou často časově náročné, může docházet k únavě a nepozornosti pokusných osob a tím může být narušena konzistence jimi vynesených soudů. K zohlednění takovýchto inkonzistentních jevů, se využívá výpočtu Kendallova koeficientu konzistence. V individuálních preferenčních maticích jednotlivých pokusných osob sledujeme jejich jednotlivé soudy a porovnáváme je mezi sebou. Postup je takový, že ze všech porovnávaných vzorků sestavíme všechny možné trojice podnětů, a podíváme se na srovnání jejich vzájemných soudů. Tak tedy, máme-li trojici podnětů  $S_1$   $S_2$  a  $S_3$ , budeme zkoumat, jak si vzorky vedli při vzájemném srovnání konkrétní pokusnou osobou. Pokud posluchač naznal, že  $S_1 > S_2$  a zároveň  $S_2 > S_3$ , z logiky věci vyplývá, že při srovnání  $S_1$  a  $S_3$  bychom měli dostat vztah  $S_1 > S_3$ . Pokud by tomu tak nebylo, a posluchač usoudil, že  $S_3$  je dominantní nad  $S_1$ , šlo by o tzv. kruhovou trojici. To je jev, který poukazuje na inkonzistenci pokusné osoby, a jeho častý výskyt ve výpovědích je potřeba zohlednit při statistickém zpracování dat. Kendallův koeficient  $K$  je tedy určen vztahem:

$$K = 1 - \frac{d}{d_{max}}, \quad (2-3)$$

Kde  $d$  je počet kruhových trojic a  $d_{max}$  je maximální možný počet kruhových trojic při  $n$  podnětů.

Jelikož hledání kruhových trojic v individuálních maticích je poměrně časově náročné, odvodil Kendall jednoduchý vzorec pro výpočet koeficientu  $K$  bez znalosti počtu kruhových trojic, pro lichý počet  $n$ :

$$K = \frac{12 \sum (R_j - R_{stř})^2}{n^3 - n} \quad (2-4)$$

A pro sudá  $n$ :

$$K = \frac{12 \sum (R_j - R_{stř})^2 - 3n}{n^3 - 4n}, \quad (2-5)$$

Kde  $R_j$  je součet preferencí v  $j$ -tém řádku a  $R_{stř}$  je aritmetický průměr všech  $n$  hodnot řádkových součtů  $R_j$ .

Dosažením takto získaného Kendallova koeficientu  $K$  do následujícího vzorce:

$$d = \frac{n(n^2 - 1)(1 - K)}{24} \quad (2-6)$$

pro lichá  $n$ , a

$$d = \frac{n(n^2 - 4)(1 - K)}{24} \quad (2-7)$$

pro sudá  $n$ , získáme zpětně počet kruhových trojic v individuální matici daného posluchače.

Kendall vytvořil pro malé počty srovnávaných podnětů tabulku, ve které uvádí přípustné počty kruhových trojic soudů z párového srovnávání  $n$  podnětů pro dosažení statisticky významné hodnoty Kendallova koeficientu konzistence na hladinách významnosti 1% a 5% [6]. Při překročení těchto maximálních přípustných počtů, lze soudy dané osoby považovat za nekonzistentní a je potřeba její soudy vyřadit ze statistického zpracování dat.

**Tabulka 2-1: Přípustné počty kruhových trojic pro  $n < 8$**

$\alpha$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$
1%	0	0	0	0	2
5%	0	0	0	2	4

### 2.3.2.3 Kontrola shody mezi respondenty

Vedle kontroly konzistence výpovědí jednotlivých osob je potřeba se také zaměřit na to nakolik jsou shodné výpovědi jednotlivých respondentů. Přesvědčit se, zda se výpovědi jednotlivých zkoumaných osob víceméně shodují, nebo se naopak výrazně liší. Výrazné neshody, by mohly poukázat na určité nedostatky ve vypracování poslechového testu. Kendall ve své práci *Rank correlation methods* [6] navrhnul tzv. koeficient shody se symbolem  $u$ . Koeficient dosahuje hodnot od  $u_{min} = -1/m$  (pro lichá  $m$ ) a  $u_{min} = -1/(m-1)$  (pro sudá  $m$ ) po  $u_{max} = 1$ , kde  $m$  je počet pokusných osob. Maximální hodnoty koeficient nabývá, dochází-li ve výpovědích celé skupiny k absolutní shodě, tzn., že všichni respondenti odpovídali ve všech zkoumaných dvojicích stejně.

Výpočet koeficientu shody si ukážeme na příkladu výsledků jedné z částí poslechového testu a to konkrétně na výsledcích pro mollový kvintakord. V tabulce 2-2 vidíme skupinovou preferenční matici z párového srovnávání 7 vzorků mollového kvintakordu zahráného na 7 různých nástrojů, porovnávaných 122 respondenty. Skupinová preferenční matice vznikne sloučením individuálních preferenčních matic jednotlivých zkoumaných osob. Každý řádek tedy ukazuje, kolikrát respondenti vybrali daný nástroj jako dominantní při srovnání s ostatními nástroji. V řádcích tedy

získáváme informaci o pozitivních preferencích daného nástroje a v sloupcích o negativních.

**Tabulka 2-2: Skupinová preferenční matice pro mollový kvintakord**

<i>mollový kvintakord</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	34	13	120	54	46	46
housle	88	-	54	120	67	58	78
trumpeta	109	68	-	122	75	69	78
zvony	2	2	0	-	2	1	2
sinus	68	55	47	120	-	49	49
čtverec	76	64	53	121	73	-	68
trojúhelník	76	44	44	120	73	54	-

Správnost uložení dat do skupinové matice je možné ověřit dvěma způsoby. Součet hodnot dvou polí umístěných symetricky vůči diagonále z levého horního rohu do pravého spodního, musí vždy dát celkový počet respondentů  $m$ , tedy v našem případě 122, platí tedy vztah  $p_{jk} + p_{kj} = m = 122$ . Dále můžeme provést kontrolu sečtením řádkových a sloupcových součtů skupinových preferencí. Oba tyto součty musí dát stejný výsledek, který můžeme vyjádřit vztahem  $0,5(n^2 - n) m = 2562$ . Nyní již můžeme přistoupit k výpočtu Kendallova koeficientu shody  $u$ , který vyjádříme vztahem

$$u = \frac{8\Sigma}{m(m-1)n(n-1)}, \quad (2-8)$$



kde

$$\Sigma = \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \neq k}}^n C_2(p_{jk}) = \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \neq k}}^n \binom{p_{jk}}{2} = 0,5 \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \neq k}}^n (p_{jk}^2 - p_{jk}). \quad (2-9)$$

**Tabulka 2-3: Matice hodnot  $C_2(p_{jk})$**

<i>moll. kvintakord</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník	$\Sigma$
klarinet	-	561	78	7140	1431	1035	1035	11280
housle	3828	-	1431	7140	2211	1653	3003	19266
trumpeta	5886	2278	-	7381	2775	2346	3003	23669
zvony	1	1	0	-	1	0	1	4
sinus	2278	1485	1081	7140	-	1176	1176	14336
čtverec	2850	2016	1378	7260	2628	-	2278	18410
trojúhelník	2850	946	946	7140	2628	1431	-	15941
$\Sigma$	17693	7287	4914	43201	11674	7641	10496	102906

Nyní stačí dosadit do vzorce 2-8 součet řádkových součtů hodnot  $C_2(p_{jk})$ , čímž získáme hledanou hodnotu koeficientu shody:

$$u = 8 \frac{102906}{122 \cdot 121 \cdot 7 \cdot 6} - 1 = 1,328 - 1 = 0,328. \quad (2-10)$$

Pro početnější soubory párově srovnávaných podnětů Kendall doporučuje ověřit statistickou významnost pomocí testu  $\chi^2$  podle vztahu

$$\chi^2 = \frac{4}{m-2} \left[ \sum - \frac{1}{2} \binom{n}{2} \binom{m}{2} \frac{m-3}{m-2} \right], \quad (2-11)$$

pro stupeň volnosti, který vypočítáme pomocí vztahu:

$$sv = \binom{n}{2} \frac{m(m-1)}{(m-2)^2}. \quad (2-12)$$

Dosadíme do rovnic hodnoty:  $\Sigma=102906$ ,  $m=122$ ,  $n=7$ . Dostáváme  $\chi^2=868,38$  a  $sv=21,53$ . Ve statistických tabulkách kritických hodnot  $\chi^2$  zjistíme, že pro stupeň volnosti  $sv=22$  je kritická hodnota  $\chi^2=40,29$ . Námi vypočítaná hodnota  $\chi^2$  je výrazně vyšší a tudíž lze pokládat získanou hodnotu koeficientu shody za statisticky vysoce významnou. [5]

### 2.3.2.4 Statistické zpracování výsledků

Ve chvíli, kdy už máme před sebou skupinovou preferenční matici, ověřenou konsistenci i shodu mezi respondenty zbývá již pouze převést data z preferenční matice na nějaký smysluplný výstup, který by věrně prezentoval informaci získanou provedením poslechových testů. Nejjednodušší a nejpřímochařejší postup je vytvořit pořadí jednotlivých vzorků podle celkového počtu získaných preferencí od posluchačů. Použijeme-li s jistou nadsázkou sportovní analogii, vyznačíme, který vzorek se umístil na prvním místě druhém místě atd. V našem příkladu poslechových testů pro mollový kvintakord je tedy pořadí následující: trumpeta, housle, čtverec, trojúhelník, sinus, klarinet, zvony. Tato informace leč pravdivá je poněkud nepřesná, respektive omezená. Snížením úrovně škálování na úroveň pořadové škály totiž ztrácíme část informace, která lze z preferenční matice vyčíst. Například nemáme možnost dále porovnávat rozdíly v četnosti preference jednotlivých vzorků. Vrátime-li se k analogii se sportem, je to jako bychom věděli, kdo doběhnul v závodě jako první, ale nevíme, o kolik předběhl závodníka na druhém místě. Proto je více než vhodné se uchýlit k výpočtu hodnot jednotlivých podnětů na intervalové škále.

Způsobů, jak převést data preferenčních matic existuje mnoho, my se zaměříme na dva zásadní. První metoda je zvaná Guilfordův postup. Je poměrně komplikovaná a jak se později ukázalo ne až tak vhodná pro danou problematiku. Je však nejčastějším používaným způsobem škálování u metody párového srovnávání podnětů a tak je třeba se na něj podívat.

Prvním krokem bude transformace skupinové preferenční matice na relativní skupinovou preferenční matici, již jednoduše provedeme podle vztahu:  $p'_{jk} = \frac{p_{jk}}{m}$ , v našem konkrétním případě pak  $p'_{jk} = \frac{p_{jk}}{122}$ . Výsledkem je tedy matice, jejíž jednotlivé hodnoty odpovídají velikosti četnosti preferencí jednotlivých podnětů a zároveň platí, že součet dvou vzorků umístěných symetricky podle hlavní diagonály je vždy 1. Jako příklad opět použijeme výsledky poslechového testu pro mollový kvintakord.

**Tabulka 2-4: matice relativních skupinových preferencí pro mollový kvintakord**

moll. kvintakord	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník	$\Sigma$
klarinet	-	0,279	0,107	0,984	0,443	0,377	0,377	2,566
housle	0,721	-	0,443	0,984	0,549	0,475	0,639	3,811
trumpeta	0,893	0,557	-	1,000	0,615	0,566	0,639	4,270
zvony	0,016	0,016	0,000	-	0,016	0,008	0,016	0,074
sinus	0,557	0,451	0,385	0,984	-	0,402	0,402	3,180
čtverec	0,623	0,525	0,434	0,992	0,598	-	0,557	3,730
trojúhelník	0,623	0,361	0,361	0,984	0,598	0,443	-	3,369
$\Sigma$	3,434	2,189	1,730	5,926	2,820	2,270	2,631	21,000

Správnost převedení můžeme jednoduše zkontrolovat pomocí srovnání součtu jednotlivých řádkových součtů a součtu jednotlivých sloupcových součtů. Oba součty by měli vždy dát  $\sum = 0,5 \cdot (n^2 - n)$ , kde  $n$  odpovídá řádu matice, tedy počtu porovnávaných podnětů. V našem případě  $n = 7$ , tedy  $\sum = 0,5 \cdot (n^2 - n) = 21$ .

Druhým krokem bude převedení hodnoty relativních preferencí  $p'_{jk}$  na hodnoty tzv. standardního skóre  $z_{jk}$  (někdy zvaného z-skóre). Z definice standardního skóre vyplývá, že jeho hodnota představuje velikost rozdílu změřené hodnoty subjektivní proměnné  $R$  od hodnoty výběrového aritmetického průměru  $R_{stř}$  vyjádřenou v jednotkách výběrové směrodatné odchylky  $s$ : [5]

$$z = \frac{R - R_{stř}}{s} \quad (2-13)$$

V případě matice relativních preferencí je aritmetický průměr hodnot všech polí  $p_{stř}' = 0,5$ . Nejprve tedy zjistíme absolutní velikost rozdílu jednotlivých hodnot matice a  $p_{stř}' = 0,5$ . Pro vyhledání odpovídajícího z-skóre v tabulkách použijeme absolutní hodnotu rozdílu. Je-li výsledek rozdílu záporný, znamená to, že u dohledaného z-skóre musíme změnit znaménko. Pro příklad při převodu relativní skupinové preference vzorku s nahrávkou houslí nad vzorkem s nahrávkou trumpety, vidíme, že po odečtení aritmetického průměru 0,5 dostáváme zápornou hodnotu:

$$p_{jk}' - p_{stř}' = 0,443 - 0,5 = -0,057 \quad (2-14)$$

Pro vyhledání odpovídajícího z-skóre, tedy použijeme hodnotu 0,057 a poté změníme znaménko z-skóre. Z tabulky vyčteme, že hodnotě 0,057 odpovídá  $z_{jk} = -1,58$ . Hodnota, kterou tedy přiřadíme, bude  $z_{jk} = 1,58$ . Naštěstí existuje řada programů, včetně internetových aplikací, jež umožňují dohledání hodnoty  $z_{jk}$ , při zadání pouze hodnoty  $p_{jk}$ , takže je možné se tomuto zdoluhavému procesu vyhnout.

**Tabulka 2-5: Hodnoty z-skóre pro mollový kvintakord**

moll. kvintakord	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet		-0,586	-1,243	2,144	-0,14	-0,313	-0,313
housle	0,586		-0,143	2,144	0,12	-0,063	0,356
trumpeta	1,243	0,143		4	0,29	0,166	0,356
zvony	-2,144	-2,144	-4		-2,14	-2,408	-2,144
sinus	0,143	-0,123	-0,292	2,144		-0,248	-0,248
čtverec	0,313	0,063	-0,166	2,408	0,25		0,143
trojúhelník	0,313	-0,356	-0,356	2,144	0,25	-0,143	

Posledním krokem bude sestavení škály výsledků. Tu získáme pomocí výpočtu aritmetických průměrů  $M_j$  řádkových součtů hodnot skóre  $z$ .

$$M_{jk} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum z_{jk} = \left(\frac{1}{7}\right) \sum z_{jk} \quad (2-15)$$

Hodnoty  $M_j$  lze považovat za škálové hodnoty na intervalové stupnici, jejíž nulový bod je shodný s aritmetickým průměrem hodnot  $M_j$ . Pokud bychom nechtěli, aby se některé podněty ocitly v záporné části škály, můžeme stupnici lineárně transformovat přičtením kladné konstanty, jejíž hodnota odpovídá absolutní hodnotě nejméně preferovaného podnětu, ke všem hodnotám na škále. Tím získáme hodnoty pořadové škály  $R_j^*$ .

**Tabulka 2-6: Hodnoty řádkových součtů z-skóre a škálových hodnot**

moll. kvintakord	$\sum z_{jk}$	$M_j$	$R_j^*$
	-		
klarinet	0,454	-0,065	2,076
housle	3,003	0,429	2,570
trumpeta	6,2	0,8857	3,026
	-		
zvony	14,98	-2,141	0,000
sinus	1,376	0,1966	2,337
čtverec	3,009	0,4299	2,570
trojúhelník	1,85	0,2643	2,405

Způsob škálování podle Guilforda má, vedle toho, že je velmi pracný, několik nevýhod. Metoda lehce selhává, objevují-li se v preferenční matici extrémní hodnoty. Tzn., že respondenti u některého ze srovnávaných podnětů, téměř vždy dali přednost jeho oponentovi. Guilford určil jako extrémní hodnoty  $p_{jk}' > 0,977$  a  $p_{jk}' < 0,023$ . Při jejich výskytu je možné, je podle Guilforda vypustit a škálu sestavit z neúplné matice. To však v našem případě možné nebylo, jelikož obsahovala podnět (zvuk zvonů), jehož preference se, ve všech zkoumaných případech, objevovaly ve spodní extrémní oblasti. Zachování těchto hodnot narušilo konzistenci vzniklé škály. Jako druhý vážný problém se ukázaly hodnoty s poměrně malým rozdílem relativních preferencí. Nutnou aritmetizací a zaokrouhlováním v procesu dohledávání odpovídajícího z-skóre v tabulkách, došlo ke smazání těchto detailních rozdílů až do té míry, kdy bylo narušeno původní pořadí na základě četnosti preferencí. Proto bylo nutné vyhodnotit postup škálování podle Guilforda pro náš účel za nepoužitelný a uchýlit se k postupu druhému.

Druhý způsob nese jména dvou vědců P. Dunna a F. J. Kinga a je výrazně prostší. Vycházíme opět ze skupinové preferenční matice s řádkovými součty. Škálové hodnoty  $R_j^*$  pro jednotlivé podněty vypočítáme podle vztahu

$$R_j^* = \frac{R_j}{m(n-1)}, \quad (2-16)$$

kde  $m$  je opět celkový počet respondentů a  $n$  je počet srovnávaných podnětů.

**Tabulka 2-7: Skupinová preferenční matice se škálovými hodnotami**

<i>moll.kvintakord</i>	$R_j$	$R_j^{*[D-K]}$	$R_j^{*[G]}$
<b>klarinet</b>	313	0,428	2,076
<b>housle</b>	465	0,635	2,570
<b>trumpeta</b>	521	0,712	3,026
<b>zvony</b>	9	0,012	0,000
<b>sinus</b>	388	0,530	2,337
<b>čtverec</b>	455	0,622	2,570
<b>trojúhelník</b>	411	0,561	2,405

V tabulce 2-7 vidíme srovnání škálových hodnot získaných postupem podle Guilforda  $R_j^{*[G]}$  a podle Dunna a Kinga  $R_j^{*[D-K]}$ . Pokud vynásobíme škálové hodnoty získané postupem Dunna a Kinga, získáme procentní škálu, kde vidíme, v kolika procentech případů získal daný vzorek preferenci nad vzorkem, se kterým byl srovnáván. Tento způsob zápisu a zpracování výsledků se jeví jako nejpřesnější a nejpřehlednější. Zároveň nemá problém s extrémními hodnotami ani s hodnotami velmi blízkými. Všechny jednotlivé výsledky tedy pak v kapitole 3.2 *Výsledky a statistické zpracování* uvádím v tabulce s procentuální škálou.

## 3. EXPERIMENT

### 3.1 Poslechový test

Pro získání statistických údajů bylo zapotřebí provést poslechový test. K vytvoření poslechového testu byl použit DAW program Reaper. Za účelem dosažení konzistentních podmínek pro všechny posluchače, byla u všech posluchačů použita stejná aparatura, a to konkrétní jeden notebook se vždy stejně nastavenou hlasitostí na externí zvukové kartě a se stejnými sluchátky. Konkrétně notebook Lenovo ThinkPad T410, externí zvuková karta Lexicon Alpha a sluchátka Sennheiser HD 250 linear II. Důvod použití varianty se sluchátky byl čistě logistický. Vzhledem k délce poslechového testu a počtu respondentů potřebných k získání statisticky relevantních výsledků, by časový požadavek na adekvátní poslechovou místnost byl tak velký, že by nebylo možné takovou místnost zajistit. Varianta se sluchátky je především mobilní, tudíž nemusí respondenti docházet na jedno místo, ale může experimentátor obejít větší množství respondentů.

Test tedy probíhá následovně. Posluchač obdrží instrukce, ve kterých mu je sděleno, že uslyší velký počet dvojic vzorků, kdy v rámci dvojice se vždy jedná o stejný akord, a on má vybrat, která ze dvou variant byla srozumitelnější, tedy u které bylo snazší určit, o který akord se jedná a bylo slyšet jednotlivé tóny akordu. Každá dvojice je oddělená cinknutím, které se výrazně liší od všech vzorků. Posluchač značí své odpovědi do dotazníkového archu. V polovině testu je udělaná pauza, protože i po optimalizaci délky testu a výraznému omezení zkoumaných zvuků, je celkový počet dvojic porovnávaných vzorků 147 a při délce jedné dvojice 10 sekund je celkový čas testu přes 24 minut, což je čas, po který je velmi těžké udržet naprostou soustředěnost na detailní zvukové rozdíly.

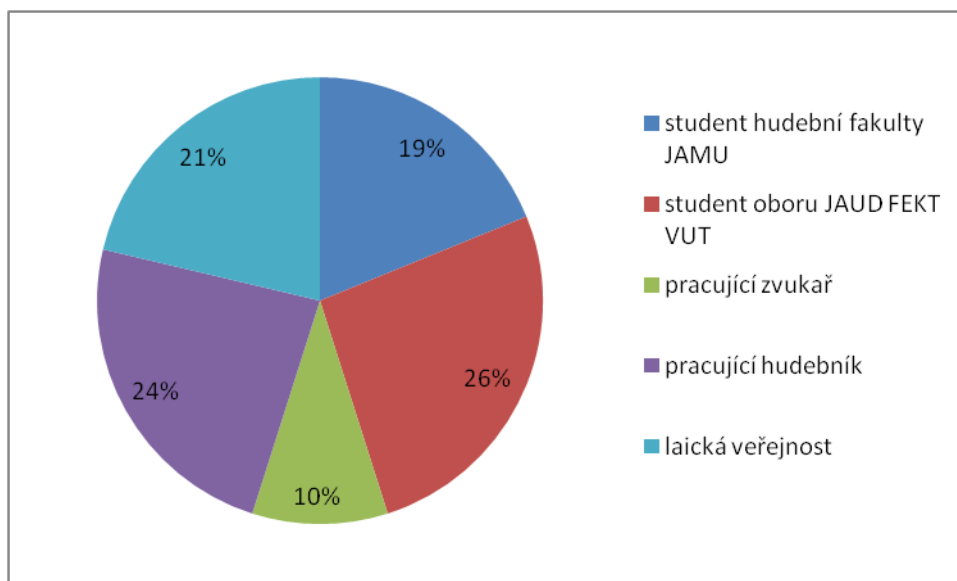
#### 3.1.1 Respondenti

Jelikož experiment nemá za cíl odhalit rozdílné vnímání jevu napříč různými skupinami populace, ale zkoumá vliv různých podnětů na rozdílnost vjemu posluchače, bylo zapotřebí vybrat takovou skupinu respondentů, která se bude skládat z osob, u nichž lze předpokládat věkem neovlivněné slyšení, tedy ideálně cca mezi věkem 18 až 25 let. Zároveň, jelikož se jedná o výzkum zaměřený na srozumitelnost souzvuků a akordů, by bylo ideální sehnat skupinu lidí, která má alespoň základní hudební vzdělání a znalosti. Vyvinutější hudební sluch, v tomto případě schopnost určit o jaký akord se jedná, není nutností pro určení, který ze dvou porovnávaných vzorků zdá se být srozumitelnější, ale taková schopnost je výhodou, a výraznější množství respondentů s rozvinutým hudebním relativním sluchem by byla přínosem pro relevantnost získaných výsledků. Relativním hudebním sluchem se nerozumí absolutní sluch, kdy jedinec je schopen bez reference určit tón, který slyší, ale schopnost určit typ akordu, či určit interval tónu od tónu referenčního. Z toho důvodu poslechové testy směřovali především ke studentům hudební fakulty JAMU, oboru Audio inženýrství na VUT, konzervatoří, oboru Hudební vědy na MUNI a nejrůznějším odborníkům z oboru, tj. zvukařům, hudebním režisérům a především pracujícím muzikantům.

Ideální počet všech respondentů, kteří test podstoupí, by měl být při použití metody párového srovnávání alespoň 100-200. V rámci semestrální práce byl proveden pilotní test s 10ti respondenty, aby bylo možné otestovat postup statistického zpracování výsledků a odhalit případné nedostatky poslechového testu. V rámci rozšíření výzkumu pro bakalářskou práci bylo osloveno přes 200 dalších možných výzkumných osob, z nich kladně zareagovalo a test podstoupilo dalších 119 respondentů. Z těchto 119 bylo 7 posluchačů vyřazeno pro nekonzistentnost jejich odpovědí. Přesný postup kontroly konzistence výpovědí popisují dále v kapitole 3.2 *Výsledky a statistické zpracování*. Jelikož podmínky poslechového testu byly zachovány nezměněné od pilotních testů, bylo možné zahrnout do celkového výzkumu i odpovědi respondentů z pilotního testu. Celkový počet respondentů tedy byl 122.

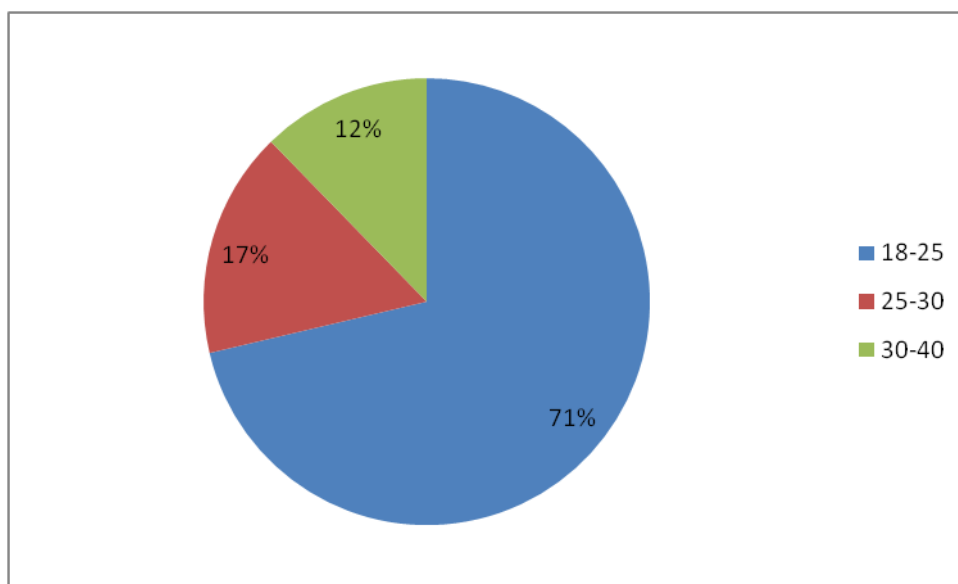
V rámci dotazníkového archu jsem zahrnul i tři otázky, které umožnily vytvořit si základní představu o demografickém složení pole zkoumaných osob. Ptal jsem se na pohlaví, věk a zaměstnání. Výzkum nebyl zaměřen na porovnání vnímání akordů v závislosti na odlišných vlastnostech posluchačů, ale na odlišných vlastnostech zvukových zdrojů. Toto rozšíření tedy není nijak zásadní pro zkoumanou problematiku, ale spíše uvádí do kontextu relevanci provedeného šetření. Dotazník byl naprosto anonymní.

Zřejmě nejzajímavější je v našem kontextu informace o profesi zkoumané osoby. Je zjevné, že člověk, který se s danou problematikou stýká denně, ač si to možná neuvědomuje, bude mít lepší předpoklad dodat směrodatné odpovědi v rámci poslechového testu, než osoba, která s problematikou do styku nepřijde a tím pádem je pro něj neuchopitelná až abstraktní. V tomto směru bylo složení pole respondentů odpovídající požadavkům. U 79% zúčastněných lze předpokládat předchozí interakci s problematikou oblasti barvy zvuku, srozumitelnosti hudebních ploch a instrumentace. U zbylých 21% zaměstnání neuvádím, jelikož nemají žádnou vazbu ke zkoumané problematice, pomineme-li možnost, kde by zaměstnání mohlo vést k předčasnému poškození sluchu. Žádný takový případ nenastal, a tudíž jej neuvádím. Přesto však byla snaha i zástupce laické veřejnosti vybírat z osob s kladným vztahem k hudbě a pochopením daného problému.



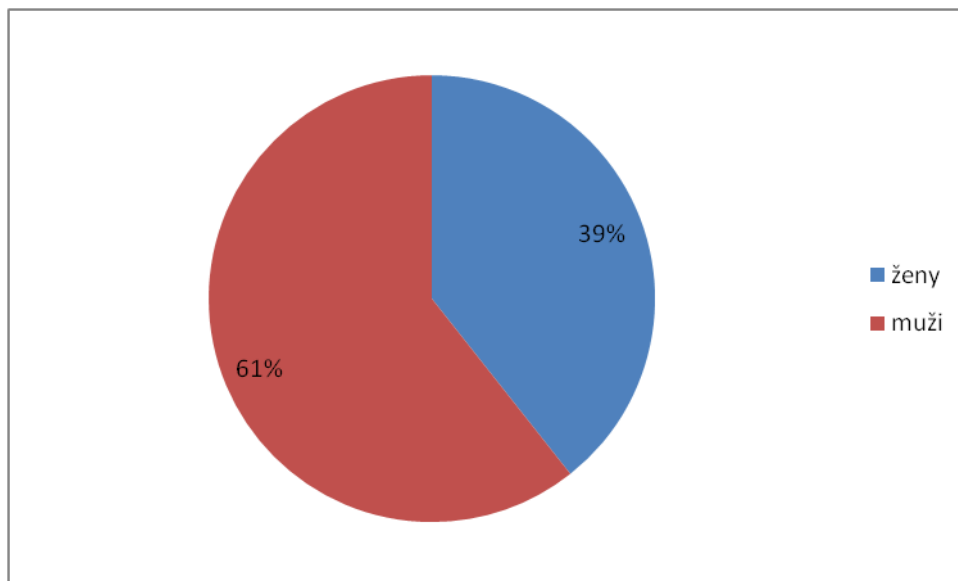
**Obrázek 3-1: Graf zaměstnání zkoumaných osob**

Údaje o pohlaví a věku respondentů jsou již méně relevantní. Mohou však být zajímavou informací. Z grafu zobrazujícího jednotlivé věkové skupiny, je vidět snaha sestavit pole respondentů z největší části z osob, u kterých lze předpokládat dobrý zdravotní stav sluchového aparátu.



**Obrázek 3-2: Graf věkových skupin pole respondentů**





**Obrázek 3-3: Graf údajů o pohlaví respondentů**

### 3.1.2 Zvuky

Poslechový test má za úkol porovnat srozumitelnost akordů, zahranych na nástroje s různou barvou tónů. Vzhledem k tomu, že v dnešní době se velmi často setkáváme s kombinací živých a elektronických nástrojů, a to jak ve studiu, tak při živých koncertech, rozhodl jsem se zahrnout do testů nástroje z obou dvou kategorií.

Problém, se kterým se experimentátor při psychoakustických poslechových testech potýká vždy, je délka testu. Obzvláště pak při metodě párového srovnávání podnětů. Vzhledem k tomu, že musí být porovnán každý vzorek s každým, celkový počet dvojic tak s rostoucím počtem vzorků narůstá podle rovnice

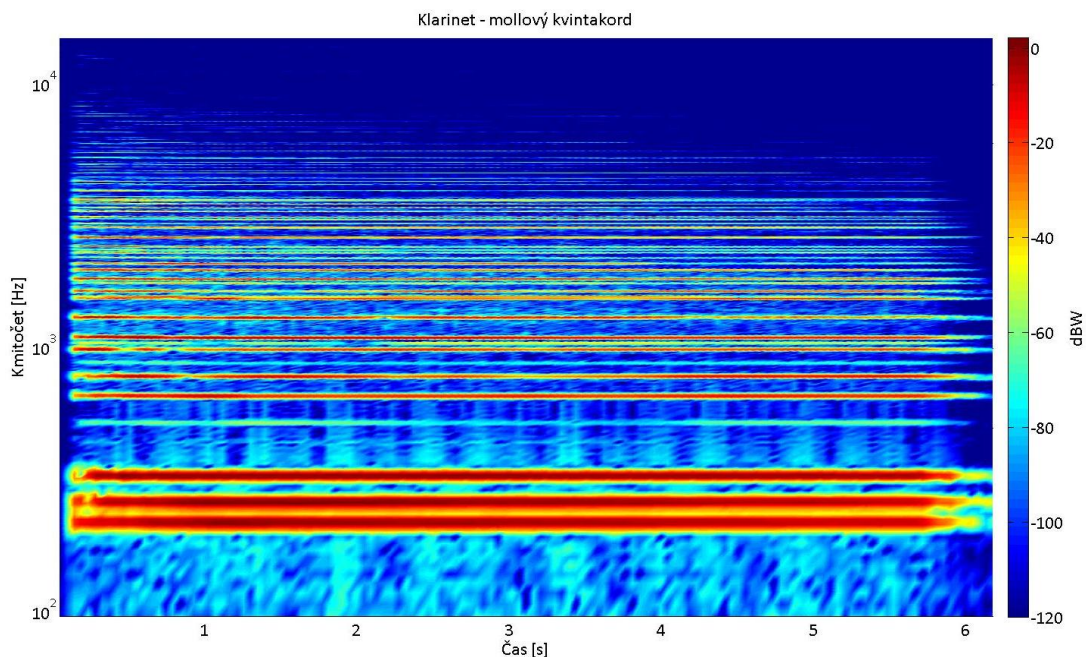
$$C_2(n) = \frac{1}{2}(n^2 - n). \quad (3-1)$$

Proto bylo nutné při výběru vzorků, původně zamýšlený rozsah výrazně omezit. Z reálných nástrojů symfonického orchestru, nakonec ve výsledném znění poslechového testu zůstaly pouze čtyři nástroje. Zvuky syntetického původu zůstaly pouze tři. Z toho důvodu, je test spíše nahlédnutím do vlivu rozdílnosti v barvě na srozumitelnost akordů, nežli kompletní analýzou směřovaného souboru nástrojů a zvuků. Zároveň však byly konkrétní nástroje, tak aby vhodně reprezentovali skupiny nástrojů s rozdílnou barvou zvuku, především s rozdílným výskytem výrazných vyšších harmonických.

Aby se omezil vliv rozdílné hlasitosti jednotlivých vzorků, byl každý vzorek proměřen pomocí VST nástroje HOFA 4U Meter, Fader & MS Pan, který umožňuje změřit hodnotu true peak. Všechny vzorky tudíž mají  $TP_{\max} = -3$  dBTP.

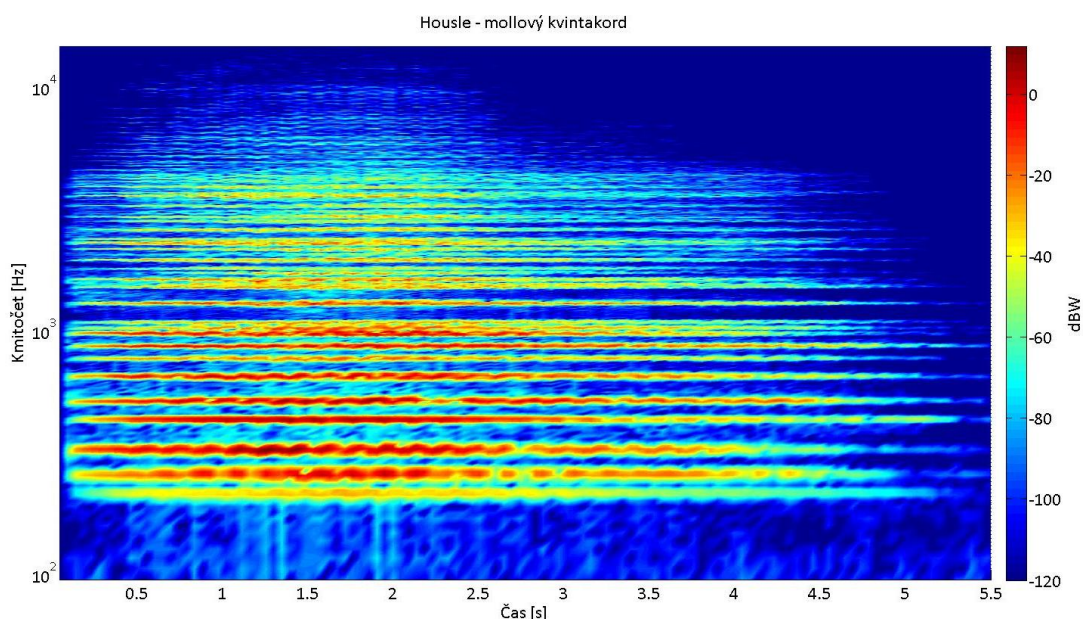
### 3.1.2.1 Zvuky reálných nástrojů

Byly vybrány nástroje s různě sytým frekvenčním spektrem, tzn. jeden nástroj s úzkým, jeden se středním a třetí s širokým. Jako zástupce s úzkým frekvenčním spektrem jsem vybral klarinet. U klarinetu při požití spektrogramu (obrázek 3-4) pozorujeme výrazně viditelných vyšších harmonických složek 6-7. Je nutné pamatovat na to, že spodní rejstříky klarinetu mají výrazně užší frekvenční spektrum než jeho vyšší rejstříky. Záměrně proto byl vzorek nahrán v nižších rejstřících.



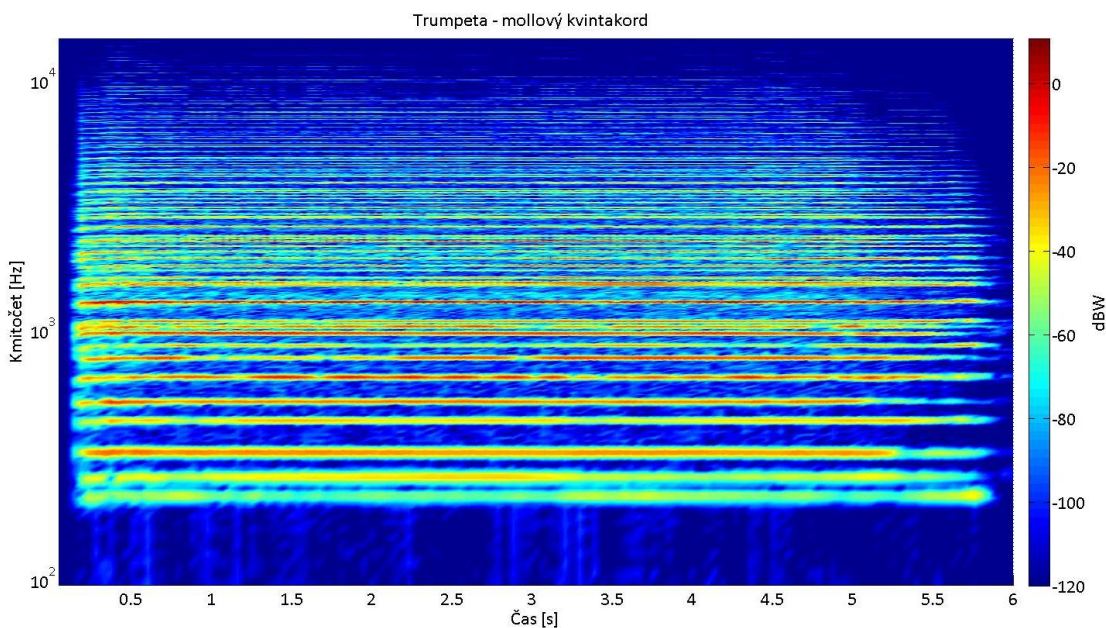
Obrázek 3-4 Spektrogram mollového kvintakordu zahraného na klarinet

Jako zástupce nástrojů se středně sytým frekvenčním spektrem, byly vybrány housle. U houslí vidíme jak vyšší počet lehce oddělitelných vyšších harmonických, tak sytější spektrum ve vyšších frekvencích, kde se tvoří shluky vyšších frekvencí, tzv. formantové oblasti a to konkrétně v oblasti od 4,5 do 7 KHz (obrázek 3-5). Méně znatelné shluky se objevují i okolo 10 KHz.



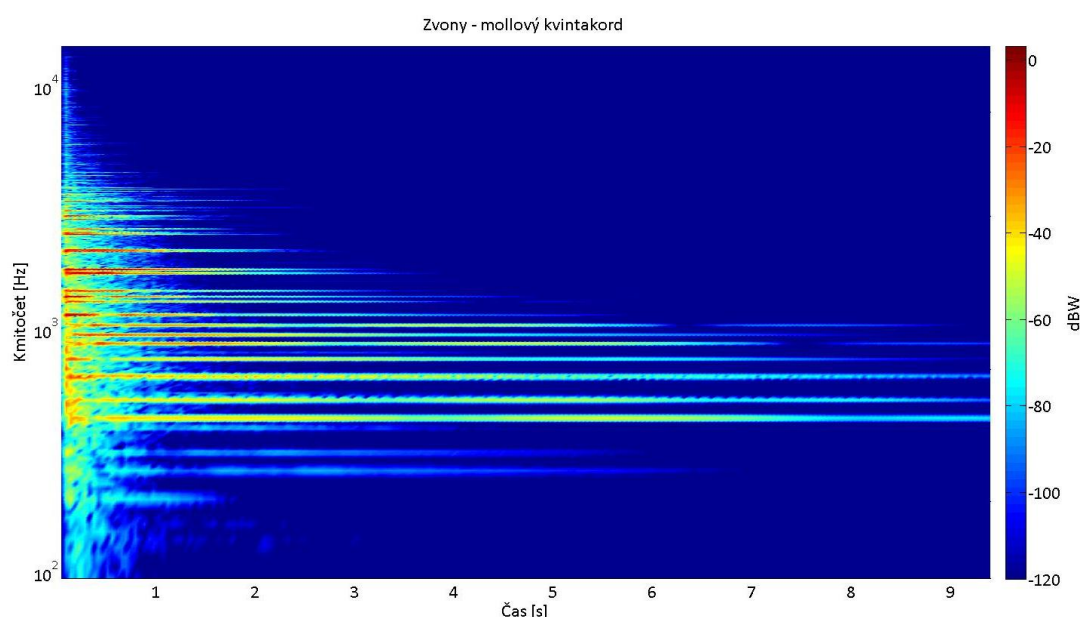
**Obrázek 3-5** Spektrogram mollového kvintakordu zahraného na housle

Jako typického zástupce skupiny nástrojů se sytým frekvenčním spektrem jsem vybral trumpetu. Trumpeta disponuje velmi sytým spektrem. Pozorujeme velké množství lehce oddělitelných vyšších harmonických. Počet těchto harmonických složek se může pohybovat až kolem 20 (obrázek 3-6). Zvuk tedy vykazuje větší ostrost než ostatní nástroje. Z toho důvodu lze u testů očekávat lepší srozumitelnost akordů. Jednotlivé vyšší harmonické frekvence pozorujeme až k přibližně 10 KHz, a dále pozorujeme shluky vyšších harmonických a to zejména kolem 11 400 Hz a 12 300 Hz.



**Obrázek 3-6** Spektrogram mollového kvintakordu zahraného na trumpetu

Zvláštní kategorií, již jsem chtěl do poslechových testů zahrnout, jsou nástroje s vyšším podílem inharmonicit ve svém frekvenčním spektru. Jedná se ve většině o nástroje s výraznou perkusivní kvalitou, které však zároveň ještě mají nepopiratelnou tónovou charakteristiku. Jako zástupce této kategorie jsem vybral orchestrální zvony (chimes). Tento nástroj má výraznou transientní oblast, která obsahuje velkou míru inharmonických složek. To je způsobeno samotnou podstatou nástroje a také technikou hry, kdy se kovové zvony rozeznívají úderem kovového kladívka, tudíž je zřejmé, že tón nástroje má velký podíl hlukové složky. Po odeznění transientního jevu zůstává znít samotný tón zvonů, u nějž na spektrografu pozorujeme velmi úzké frekvenční spektrum (obrázek 3-7). Výrazně viditelná je pouze první vyšší harmonická, proto lze očekávat, že srozumitelnost akordů zahraných na orchestrální zvony bude velmi špatná. Sytost frekvenčního spektra je nejlépe vidět na přiložených spektrogramech pro jednotlivé nástroje.



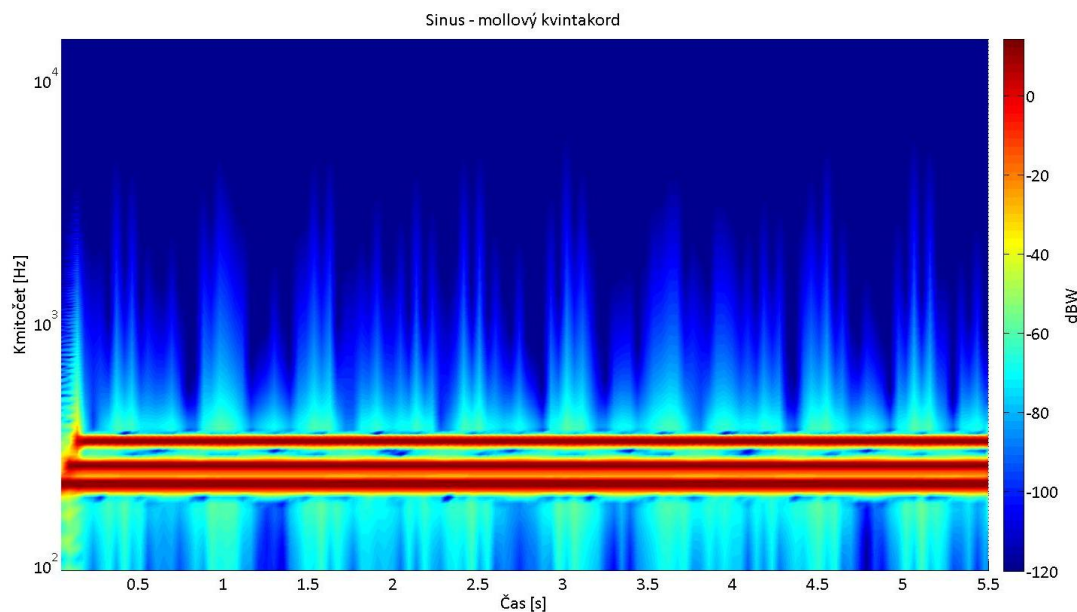
**Obrázek 3-7** Spektrogram mollového kvintakordu zahraného na zvony

K vytvoření vzorků se zvuky reálných nástrojů symfonického orchestru jsem použil smplovací nástroj EastWest Quantum Leap Symphonic Orchestra Gold. Tento sampler je jedním z nejpoužívanějších a nejvíce ceněných symfonických samplerů v historii. Jeho autorem je zvukový inženýr prof. Keith O Johnson, mnohokrát oceněný cenou Grammy za svoji práci v oblasti nahrávek klasické hudby. Nahrávky jednotlivých nástrojů i celých sekcí jsou pořízené v prvotřídní kvalitě v prostředí sálů symfonických orchestrů. K výrobě vzorků pro poslechový test, jsem pochopitelně využil, pouze zlomek množností, které tento prvotřídní nástroj nabízí. Požití takto pokročilého softwarového nástroje, by mělo zajistit podněty pro posluchače, které budou co možná nejvěrnější podnětům, jež by byly vyvolány poslechem reálných nástrojů nahraných přímo za účelem vytvoření testu. Přiblížit se podnětům vyvolaným poslechem nástrojů na živo nebylo záměrem, jelikož se očekává využití poznatků spíše pro studiovou tvorbu než pro práci kompoziční.

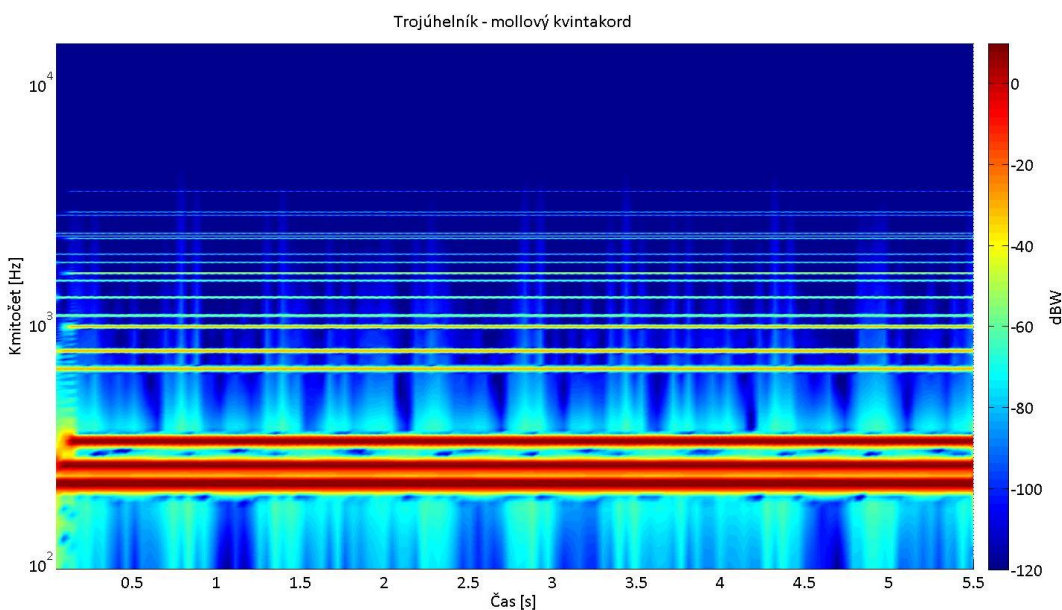


### 3.1.2.2 Syntetické zvuky

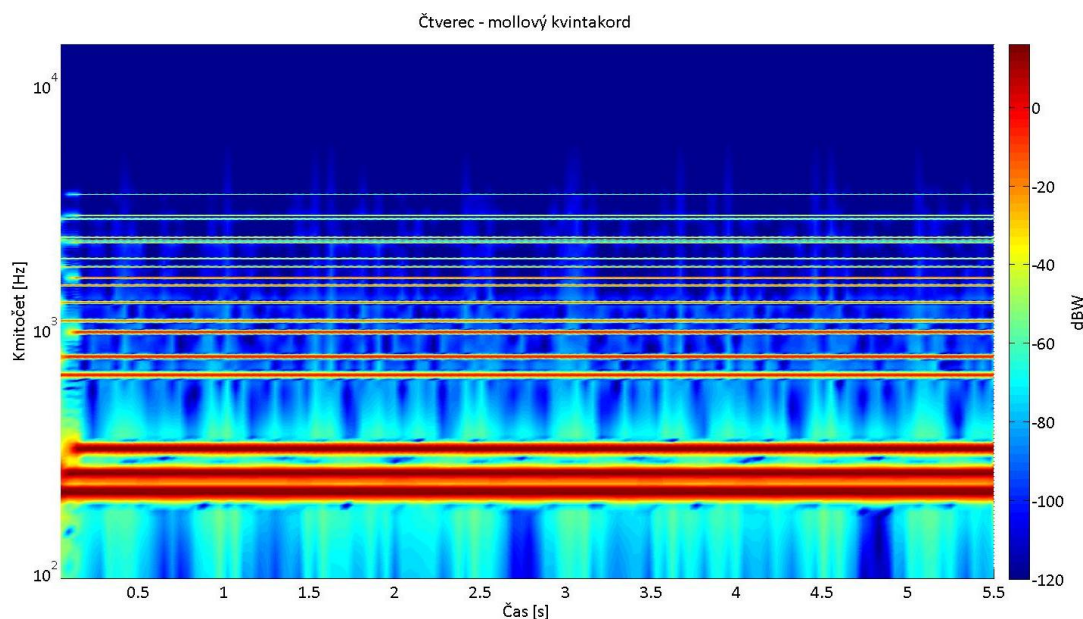
Ze syntetických nástrojů jsem použil pouze generátor základních průběhů signálu a vybral tři základní průběhy: sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový, kterému se v oblasti umělé tvorby hudebních zvuků říká čtvercový (z anglického *square*). Je to sice název fyzikálně nepřesný avšak již v oblasti syntetické hudby zažitý a tak jej v dalším rozboru používám. Nejvyšší srozumitelnost akordů se očekává u čtvercového průběhu, který je nejostřejší.



**Obrázek 3-8** Spektrogram mollového kvintakordu zahraného sinusovým signálem



**Obrázek 3-9** Spektrogram mollového kvintakordu zahraného trojúhelníkovým signálem



**Obrázek 3-10** Spektrogram mollového kvintakordu zahraniého signálem obdélníkového průběhu

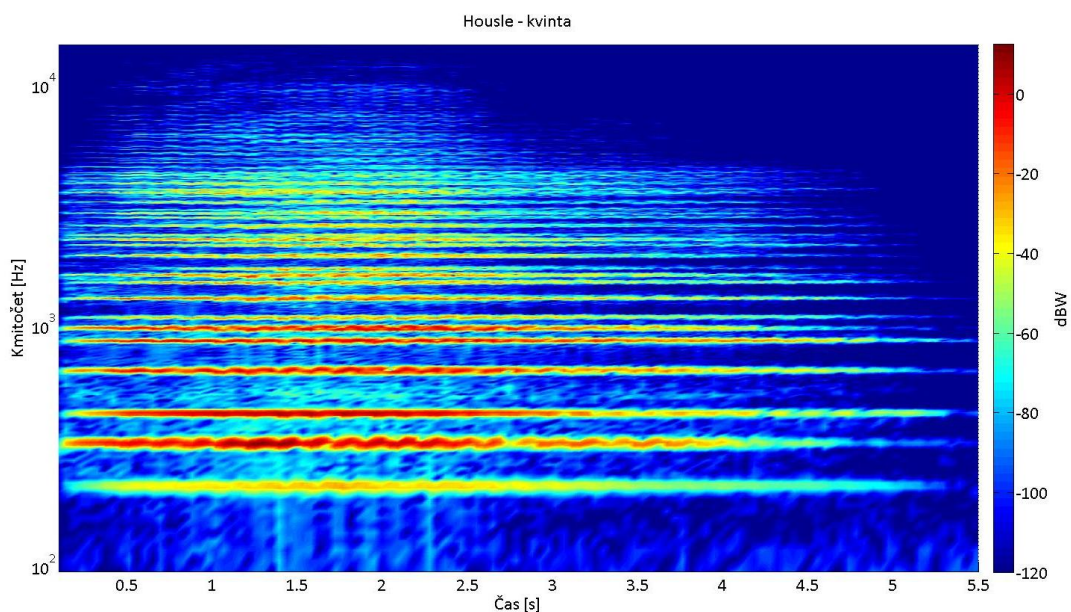
Pro výrobu syntetických zvuků jsem použil prostředí softwarového syntetizéru ADHDidi, který umožňuje generovat signály s různými základními průběhy, a také vytvářet spektrum vyšších harmonických. Tuto funkci jsem však nevyužil, jelikož jsme museli rozsah testu omezit na tři základní zvuky.

### 3.1.3 Akordy

V reálných životních situacích, při práci zvukového inženýra či aranžéra se spíše výjimečně setkáme s případem, kdy znějí tóny různých nástrojů samostatně. Mnohem častěji, vytvářejí nástroje plochy, a jejich sekce hrají různé akordy. V závislosti na hustotě zahraniého souzvuku a na sytosti harmonického spektra konkrétního nástroje se může srozumitelnost daného akordu měnit. Proto bylo důležité, prozkoumat srozumitelnost u různých akordů. Zkoumáme vždy, který z nástrojů je u každého akordu pro posluchače nejsrozumitelnější a získané výsledky potom porovnááme mezi jednotlivými akordy. U nástrojů se sytým harmonickým spektrem se dá předpokládat vyšší míra maskování, a to obzvláště u hustších akordových obrátů, kdy se vyšší harmonické jednoho tónu mohou maskovat s fundamenty vyšších tónů souzvuku.

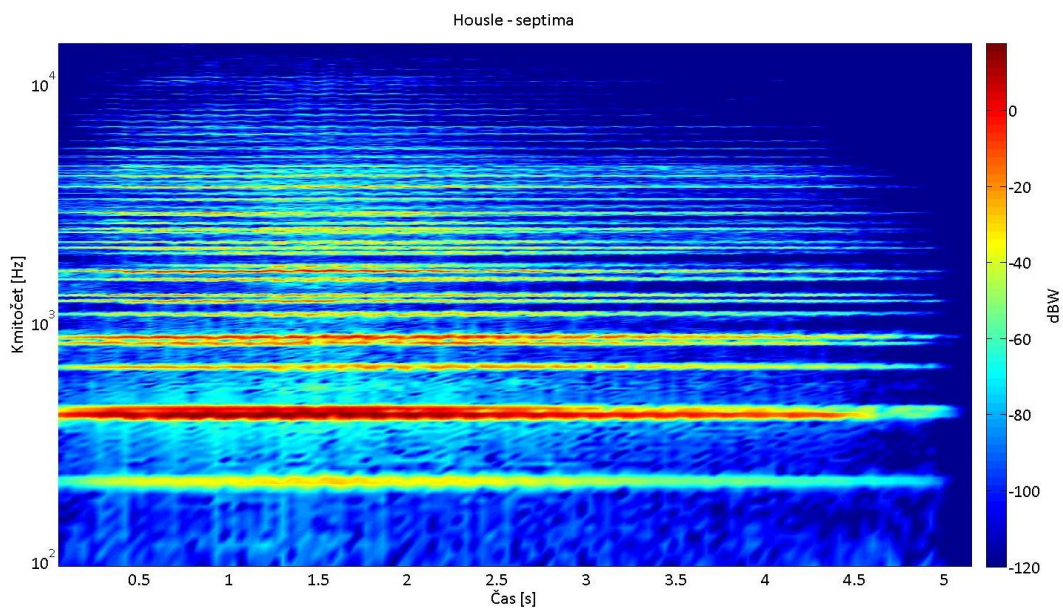
Souzvuky jsem rozdělil do těchto kategorií: dvojjzvuky, kvintakordy, septakordy, nonové akordy. Původní záměr byl udělat z každé kategorie větší množství zástupců a sledovat srozumitelnost v rámci kategorií i napříč nimi. Byly tedy vytvořeny vzorky s nejrůznějšími dvojjzvuky, různými obraty kvintakordů, septakordů i nonakordů. Výsledný počet vzorků však byl tak velký, vezmeme-li v úvahu potřebu u každého akordu srovnat sedm různých zvuků, tedy 21 porovnávaných dvojic, že by opět test nabyl neúnosné délky, což jak víme je u poslechových testů kontraproduktivní. Proto bylo nutné opět vybrat pouze pár charakteristických zástupců. Zůstali tedy tyto souzvuky: kvinta, velká septima, durový kvintakord v prvním obratu, mollový kvintakord v prvním obratu, velký septakord v prvním obratu, nonový akord zahráný v clusteru a nonový akord zahráný v otevřeném obratu.

Všechny vzorky byly nahrány ve stejné poloze a to proto, aby se eliminoval vliv rozdílné výšky na vnímání akordů. Je totiž zjevné, že akordy zahráné v krajních polohách, vysokých či nízkých, byli by hůře srozumitelné než akordy zahráné ve středních polohách. Konkrétně jsou všechny vzorky zahráné od malého a, tedy 220 Hz. Vliv polohy, v jaké je akord zahrán, je jistě důležitý, tento poslechový test se na něj však nezaměřuje.

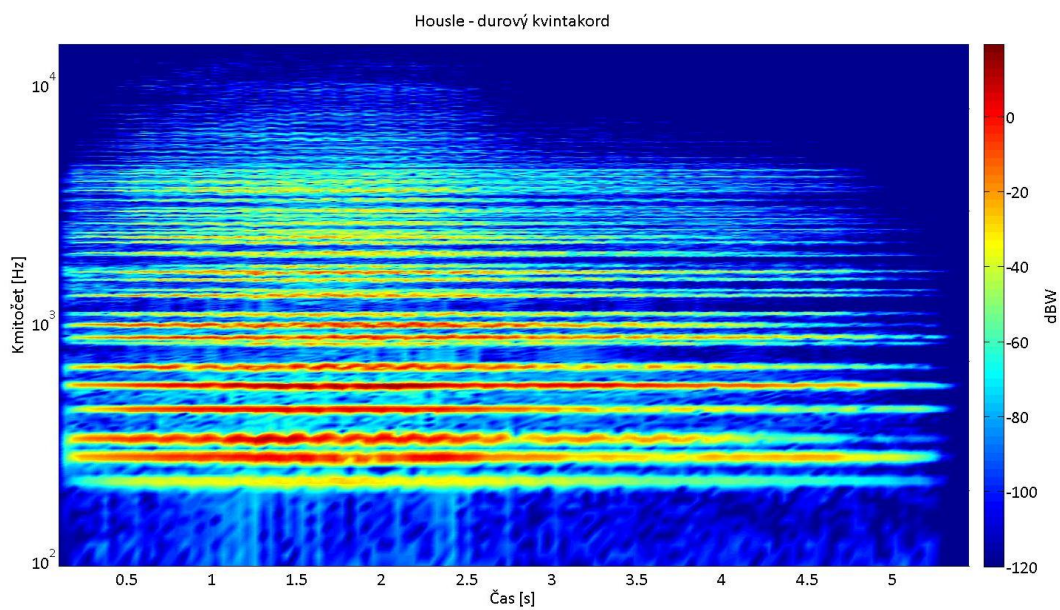


**Obrázek 3-11 Spektrogram dvojjzvuku kvinta zahráného na housle**



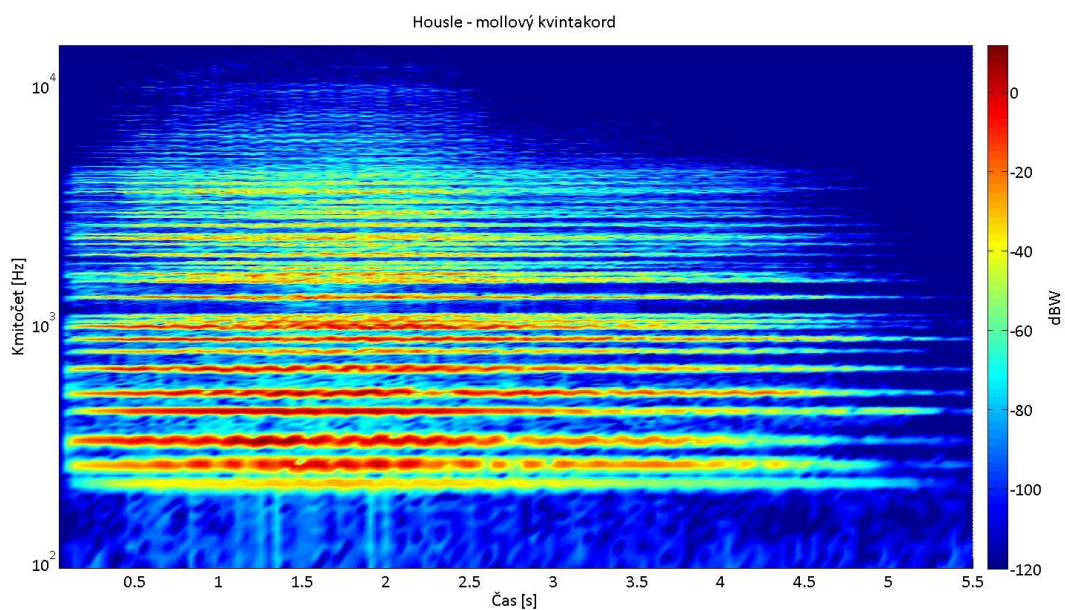


**Obrázek 3-12** Spektrogram dvojjvuku septima zahraného na housle

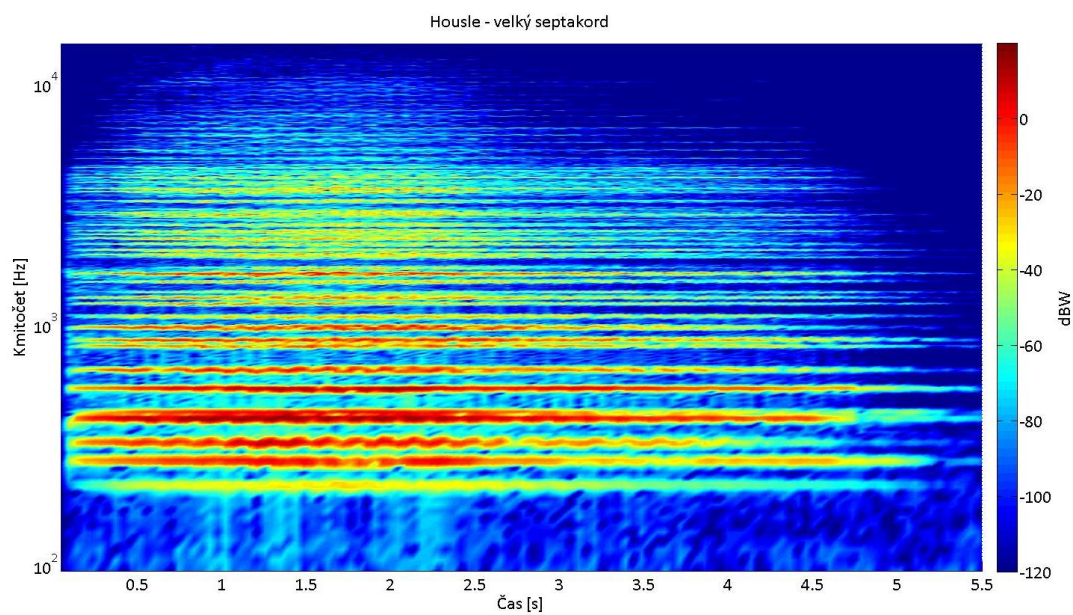


**Obrázek 3-13** Spektrogram durového kvintakordu zahraného na housle

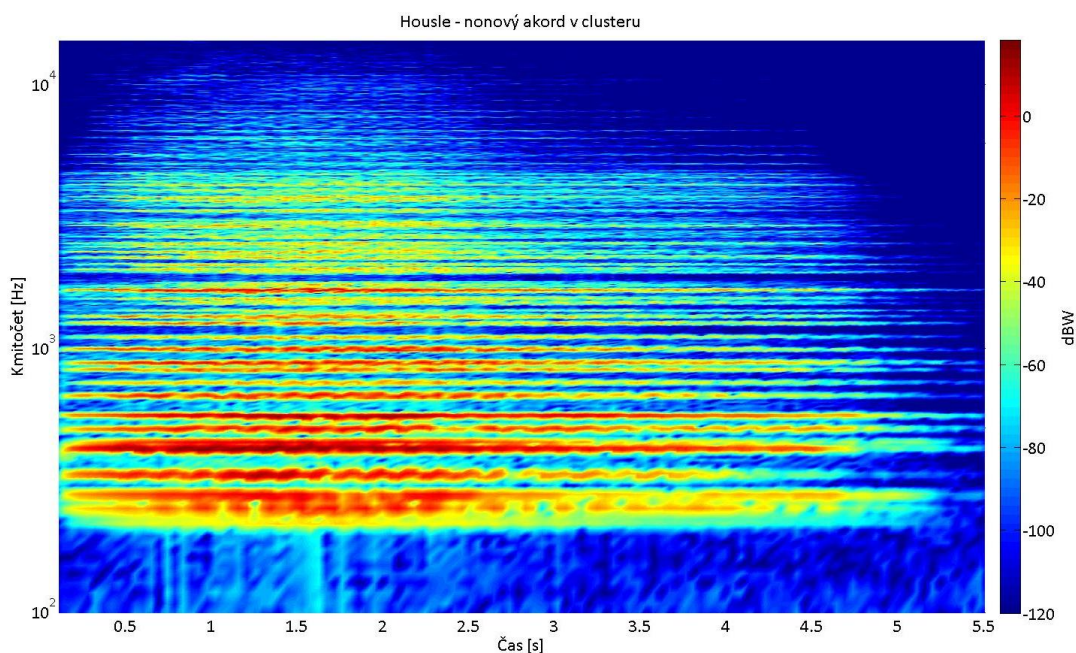




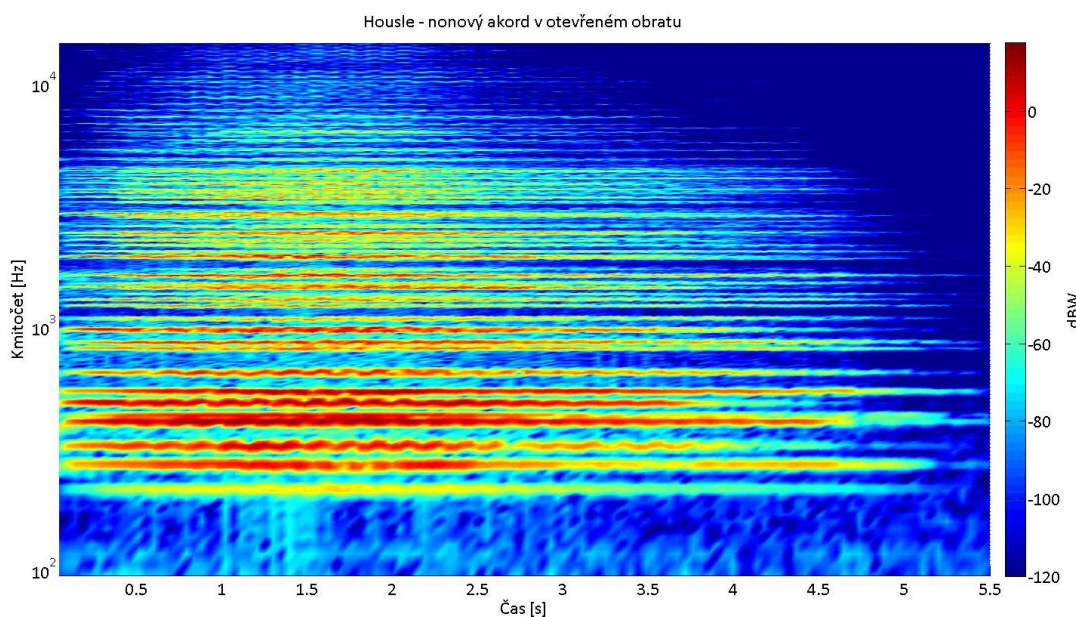
**Obrázek 3-14** Spektrogram mollového kvintakordu zahráného na housle



**Obrázek 3-15** Spektrogram velkého septakordu zahráného na housle



**Obrázek 3-16** Spektrogram nonového akordu v clusteru zahraného na housle



**Obrázek 3-17** Spektrogram nonového akordu v otevřeném obratu zahraného na housle

Na obrázcích 3-11 až 3-17 jsou spektrogramy všech zkoumaných akordů zahraných na housle. Můžeme pozorovat vliv akordů (v případě posledních dvou i obratu akordů) na hustotu harmonického spektra v oblasti vyšších harmonických. U jednodušších souzvuků, je ještě většina vyšších alikvotních složek dobře rozpoznatelná, zatímco u hustších harmonií vyšší harmonické začínají splývat. Všechny spektrogramy byly vytvořeny v prostředí Matlab, spoužitím Hanningova okna s délkou 4096 vzorků.

## 3.2 Výsledky a statistické zpracování

Jak již bylo zmíněno, v rámci semestrální práce byl proveden pouze pilotní poslechový test se skupinou 10-ti respondentů. Při dalším výzkumu pak bylo přidáno dalších 112 respondentů. Celkový počet provedených poslechových testů, jejichž výsledky bylo potřeba zpracovat, bylo tedy 122.

Všichni respondenti vyplnili dotazníkový arch, na kterém bylo 147 bodů, u každého, zaznačili, zda se jim zdál srozumitelnější akord v ukázce A či v ukázce B. Experimentátorem poté byly dotazníkové archy zpracovány, a vytvořeny jednotlivé matice individuálních dat, sečtením matic všech 122 respondentů, a vydělením získaných hodnot počtem respondentů, tedy 122, získáváme výslednou preferenční matici poměrů. Jelikož nelze porovnávat vnímání různých akordů mezi sebou, bylo nutné pro každý akord vytvořit poměrovou matici zvlášť.

V následujících tabulkách jsou vyneseny relativní preferenční matice pro všechny zkoumané akordy.

**Tabulka 3-1 Dvojjzvuk – kvinta, relativní preferenční matice**

<i>kvinta</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,205	0,074	0,975	0,402	0,336	0,352
housle	0,795	-	0,426	0,984	0,607	0,541	0,598
trumpeta	0,926	0,574	-	1,000	0,615	0,582	0,648
zvony	0,025	0,016	0,000	-	0,016	0,008	0,016
sinus	0,598	0,393	0,385	0,984	-	0,377	0,344
čtverec	0,664	0,459	0,418	0,992	0,623	-	0,508
trojúhelník	0,648	0,402	0,352	0,984	0,656	0,492	-

**Tabulka 3-2 Dvojjzvuk - velká septíma, relativní preferenční matice**

<i>septíma</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,254	0,107	0,984	0,434	0,311	0,369
housle	0,746	-	0,393	0,992	0,631	0,541	0,541
trumpeta	0,893	0,607	-	1,000	0,623	0,607	0,664
zvony	0,016	0,008	0,000	-	0,016	0,008	0,033
sinus	0,566	0,369	0,377	0,984	-	0,377	0,328
čtverec	0,689	0,459	0,393	0,992	0,623	-	0,566
trojúhelník	0,631	0,459	0,336	0,967	0,672	0,434	-

**Tabulka 3-3 Durový kvintakord, relativní preferenční matice**

<i>dur. kvintakord</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,213	0,156	0,984	0,451	0,361	0,369
housle	0,787	-	0,377	0,992	0,566	0,467	0,615
trumpeta	0,844	0,623	-	1,000	0,623	0,574	0,631
zvony	0,016	0,008	0,000	-	0,008	0,008	0,008
sinus	0,549	0,434	0,377	0,992	-	0,385	0,352
čtverec	0,639	0,533	0,426	0,992	0,615	-	0,533
trojúhelník	0,631	0,385	0,369	0,992	0,648	0,467	-

**Tabulka 3-4 Mollový kvintakord, relativní preferenční matice**

<i>mollový kvintakord</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,279	0,107	0,984	0,443	0,377	0,377
housle	0,721	-	0,443	0,984	0,549	0,475	0,639
trumpeta	0,893	0,557	-	1,000	0,615	0,566	0,639
zvony	0,016	0,016	0,000	-	0,016	0,008	0,016
sinus	0,557	0,451	0,385	0,984	-	0,402	0,402
čtverec	0,623	0,525	0,434	0,992	0,598	-	0,557
trojúhelník	0,623	0,361	0,361	0,984	0,598	0,443	-

**Tabulka 3-5 Septakord, relativní preferenční matice**

<i>septakord</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,361	0,336	0,992	0,484	0,361	0,418
housle	0,639	-	0,533	0,984	0,590	0,508	0,533
trumpeta	0,664	0,467	-	1,000	0,475	0,615	0,484
zvony	0,008	0,016	0,000	-	0,016	0,008	0,016
sinus	0,516	0,410	0,525	0,984	-	0,410	0,303
čtverec	0,639	0,492	0,385	0,992	0,590	-	0,451
trojúhelník	0,582	0,467	0,516	0,984	0,697	0,549	-

**Tabulka 3-6 Otevřený obrat nonakordu, relativní preferenční matice**

<i>non. akord široký voicing</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,492	0,426	1,000	0,467	0,352	0,336
housle	0,508	-	0,574	0,992	0,434	0,607	0,566
trumpeta	0,574	0,426	-	1,000	0,451	0,402	0,393
zvony	0,000	0,008	0,000	-	0,008	0,008	0,016
sinus	0,533	0,566	0,549	0,992	-	0,369	0,385
čtverec	0,648	0,393	0,598	0,992	0,631	-	0,631
trojúhelník	0,664	0,434	0,607	0,984	0,615	0,369	-

**Tabulka 3-7 Nonakord v clusteru, relativní preferenční matice**

<i>non. akord cluster</i>	klarinet	housle	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník
klarinet	-	0,492	0,549	1,000	0,475	0,336	0,557
housle	0,508	-	0,451	0,992	0,410	0,541	0,451
trumpeta	0,451	0,549	-	1,000	0,328	0,582	0,443
zvony	0,000	0,008	0,000	-	0,016	0,008	0,000
sinus	0,525	0,590	0,672	0,984	-	0,557	0,516
čtverec	0,664	0,459	0,418	0,992	0,443	-	0,459
trojúhelník	0,443	0,549	0,557	1,000	0,484	0,541	-



### 3.2.1 Kontrola konzistence

U každého z respondentů, bylo potřeba provést kontrolu konzistence, a to dosazením hodnot z individuální preferenční matice do vztahu (3-2) pro výpočet Kendallova koeficientu. Výpočet dokládám na příkladu pokusné osoby č.4 u mollového kvintakordu.

**Tabulka 3-8 Individuální preferenční matice posluchače č.4**

<i>non. akord cluster</i>	klarinet	housele	trumpeta	zvony	sinus	čtverec	trojúhelník	$R_j$	$(R_j - R_{stř})^2$
klarinet	-	0	0	1	1	0	0	2	1
housele	1	-	0	1	1	0	0	3	0
trumpeta	1	1	-	1	1	1	1	6	9
zvony	0	0	0	-	1	0	0	1	4
sinus	0	0	0	0	-	0	0	0	9
čtverec	1	1	0	1	1	-	1	6	4
trojúhelník	1	1	0	1	1	0	-	4	1
$\Sigma$	4	3	0	5	6	1	2	21	28

Dosazením potřebných hodnot do vztahu pro výpočet  $K$  pro lichý počet porovnávaných podnětů  $n$ :

$$K = \frac{12 \sum (R_j - R_{stř})^2}{n^3 - n}, \quad (3-2)$$

dostaneme

$$K = \frac{12 \cdot 28}{343 - 7}$$

$$K = 1.$$

Z těchto výpočtů již na první pohled vyplývá, že v případě tohoto posluchače nebyla nalezena, u testu zaměřeného na mollový kvintakord, žádná kruhová trojice. Pro úplnost však dosadíme vypočítaný koeficient  $K$  do vztahu pro zpětné zjištění počtu kruhových trojic  $d$ .

$$d = \frac{n(n^2 - 1)(1 - K)}{24} \quad (3-3)$$

$$d = \frac{7(49 - 1)(1 - 1)}{24}$$

$$d = 0$$

Díky těmto výpočtům víme, že je možné soudy pokusné osoby č.4 u testu zaměřeného na mollový kvintakord, považovat za konzistentní a tedy vhodné pro statistické zpracování. Tato kontrola byla provedena u všech poslechových testů u všech pokusných osob. Z celého souboru individuálních matic takto bylo pro nekonzistentnost vyřazeno pouze 7 případů, kdy se nekonzistentnost soudů objevila u většího počtu zkoumaných akordů, a proto byly odpovědi těchto respondentů vyřazeny z dalšího statistického zpracování. V těchto případech bylo možné sledovat určitý trend, u kterých akordů nejčastěji docházelo k nekonzistentnosti výpovědí. Nejčastěji tomu tak bylo u nonového akordu v clusteru, což je vcelku pochopitelné s ohledem na blízkou harmonii v akordu, kdy často dochází k jevu, kde se vyšší harmonické jednotlivých tónu natolik překrývají, že jejich srozumitelnost je výrazně nižší.

### 3.2.2 Kontrola shody mezi zkoumanými osobami

Podrobný postup kontroly shody mezi respondenty uvádím v teoretické části práce v kapitole 2.3.2.3. Zde uvádím konkrétní hodnoty vypočítaných koeficientů shody  $u$  a jejich statistické významnosti  $\chi^2$ .

**Tabulka 3-9: Koeficienty shody a jejich statistická významnost**

	kvinta	septima	A <sub>dur</sub>	A <sub>moll</sub>	A <sub>maj7</sub>	A9 (cluster)	A9 (široký)
$\sum C_2(p_{jk})$	104482	104044	103631	102906	100402	100085	100840
$u$	0,3481	0,3425	0,3372	0,3278	0,2955	0,2914	0,3012
$\chi^2$	920,91	906,31	892,54	868,38	784,91	774,34	799,51

Jelikož počet respondentů  $m$  a počet porovnávaných podnětů  $n$  byl u všech poslechových testů stejný, byl tím pádem stejný i stupeň volnosti, jenž určíme podle vztahu

$$sv = \binom{n}{2} \frac{m(m-1)}{(m-2)^2} \quad (3-4)$$

Stupeň volnosti  $sv$  je tedy pro všechny testy stejný jako v již uvedeném příkladu pro test s mollovým kvintakordem a to  $sv = 21,69$ . Pro tento stupeň volnosti je kritická hodnota  $\chi^2 = 40,29$ . Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že hodnoty významnosti koeficientu shody nabývají mnohonásobně vyšší hodnotu, a lze tedy považovat shodu výpovědi všech respondentů za dostačující. Tím se vylučuje možnost, že by větší část pole posluchačů nějakým zásadním způsobem zadání testu nepochopila, a tudíž by jejich výpovědi neodpovídali zkoumaným dopadům jednotlivých podnětů.

### 3.2.3 Výsledné škály

Po kontrole konzistence a shody zbývá už jen získaná data převést na škálu hodnot. V rámci teoretické přípravy byly vyzkoušeny dva způsoby škálování. Následně byl zvolen způsob škálování podle *Dunna a Kinga*, který umožňuje vytvoření procentuální škály, kde vidíme, v kolika procentech případů posluchač vybral daný podnět při jeho srovnání s podnětem jiným. V tabulce 3-10 uvádím souhrnný přehled všech provedených poslechových testů. Pozorujeme že, u prvních 4 souzvuků je pořadí vždy stejné i procentuální rozvržení preferencí se příliš neliší. To vcelku odpovídá předpokládanému výsledku, kdy posluchač u jednodušších souzvuků jako srozumitelnější volí vzorek zahrany na nástroj s ostřejším zvukem, tedy s větším počtem výrazných vyšších harmonických složek. Naopak, jak se harmonie zahušťuje, posluchači začínají dávat větší přednost vzorků zahrany na nástroje, jejichž zvuk má menší počet vyšších harmonických. Posluchač potom lépe rozezná jednotlivé tóny souzvuku, jelikož se mu jejich fundamenty neslévají s vyššími harmonickými nižších tónů.

V tabulce 3-11 potom uvádím jednotlivé pořadové škály konkrétních poslechových testů, kde vidíme, že u souzvuků, které jsou posluchačům obecně více povědomé, pro svůj častější výskyt v hudbě, volí posluchači jako srozumitelnější vzorky nahrané na reálné nástroje, zatímco u méně rozšířených souzvuků pozorujeme inklinaci k volbě zvuků umělých. Za tím může stát již výše zmíněný výskyt většího počtu výrazných vyšších harmonických a také formantových oblastí, které se u syntetických nástrojů neobjevují. Zároveň však může být důvodem pro tuto volbu to, že posluchač má v podvědomí spojené běžné souzvuky se zvukem reálných nástroj a tak při jejich srovnání se zvukem syntetickým dá reálnému přednost nehledě na to, zda je souzvuk srozumitelnější či ne. U složitějších souzvuků však již tuto podvědomou asociaci vytvořenu nemá a tak volí zvuk syntetický a harmonicky co nejjednodušší, kde přirozeně lépe slyší jednotlivé složky.



**Tabulka 3-10: Procentuální škály výsledků všech poslechových testů**

	kvinta	septíma	A <sub>dur</sub>	A <sub>moll</sub>	A <sub>maj7</sub>	A9 (cluster)	A9 (široký)
<b>klarinet</b>	39,07%	40,98%	42,21%	42,76%	49,18%	56,83%	51,23%
<b>housle</b>	65,85%	64,07%	63,39%	63,52%	63,11%	55,87%	61,34%
<b>trumpeta</b>	72,40%	73,22%	71,58%	71,17%	61,75%	55,87%	54,10%
<b>zvony</b>	1,37%	1,37%	0,82%	1,23%	1,09%	0,55%	0,68%
<b>sinus</b>	51,37%	50,00%	51,50%	53,01%	52,46%	64,07%	56,56%
<b>čtverec</b>	61,07%	62,02%	62,30%	62,16%	59,15%	57,24%	64,89%
<b>trojúhelník</b>	58,88%	58,33%	58,20%	56,15%	63,25%	59,56%	61,20%

**Tabulka 3-11: Tabulka s hodnotami pořadové škály pro všechny poslechové testy**

	kvinta	septíma	A <sub>dur</sub>	A <sub>moll</sub>	A <sub>maj7</sub>	A9 (cluster)	A9 (široký)
<b>klarinet</b>	6	6	6	6	6	4	6
<b>housle</b>	2	2	2	2	2	6	2
<b>trumpeta</b>	1	1	1	1	3	6	5
<b>zvony</b>	7	7	7	7	7	7	7
<b>sinus</b>	5	5	5	5	5	1	4
<b>čtverec</b>	3	3	3	3	4	3	1
<b>trojúhelník</b>	4	4	4	4	1	2	3

V závěrečné tabulce 3-12 vidíme, jak se jednotliví zástupci typických skupin nástrojů umístili napříč všemi poslechovými testy. Nejméně preferovaný byl ve všech testech zvuk orchestrálních zvonů pro svoji malou tónovost a přítomnost mnohých inharmonických složek.

**Tabulka 3-12: Pořadí a procentuální škála nástrojů  
napříč všemi poslechovými testy**

<b>1.</b>	trumpeta	65,73%
<b>2.</b>	housle	62,45%
<b>3.</b>	čtverec	61,26%
<b>4.</b>	trojúhelník	59,37%
<b>5.</b>	sinus	54,14%
<b>6.</b>	klarinet	46,04%
<b>7.</b>	zvony	1,01%

## 4. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za úkol zkoumat vliv různě sytého harmonického spektra zvuku hudebního nástroje na schopnost posluchače rozeznat jednotlivé tóny zahraného souzvuku.

V první části bakalářské práce byla provedena rešerše známých psychoakustických metod a byla vybrána metoda nejvíce se hodící k řešení zadané problematiky. Zvolená metoda je párové srovnávání podnětů. Pro experiment na základě této metody byla připravena škála vzorků různě složitých akordů, od dvojzvuků po pětizvuky, hraných různým druhem signálu, z nichž byl poté sestaven výsledný poslechový test. Zároveň byl připraven způsob zpracování výsledků získaných poslechovým testem.

V druhé části byl proveden samotný poslechový test. Poslechového testu se celkově zúčastnilo 122 respondentů. Výsledný test byl sestaven ze vzorků sedmi různých akordů, každý zahraných na sedm různých nástrojů. Jak nástroje, tak i akordy byly vybrány tak, aby bylo možné je považovat za reprezentativní zástupce typických skupin. Nástroje byly použity reálné i syntetické. V rámci testu posluchač vždy porovnával nástroje mezi sebou a vybíral ten, na nějž zahraný akord se mu zdál srozumitelnější, to znamená, u kterého mohl snáze určit jednotlivé tóny souzvuku. Po dokončení poslechových testů byly výsledky zpracovány a použity k vytvoření procentuálních škál pro jednotlivé akordy.

Výsledky poslechových testů ukázaly, že u jednodušších souzvuků posluchač dává přednost zvukům se sytějším harmonickým spektrem, zatímco u složitějších akordů dává přednost spíše zvukům s nízkým počtem alikvotních složek. Obecně je také možné pozorovat náklonnost posluchačů spíše k reálným nástrojům v porovnání s nástroji syntetickými. To lze přisoudit jak barevným vlastnostem zvuku reálných nástrojů (především přítomnosti formantových oblastí), tak i podvědomé asociaci zvuku reálných nástrojů s notoricky známými souzvuky. Také se ukázalo, že přítomnost velkého množství inharmonických složek má na srozumitelnost souzvuku negativní vliv.

Snahou práce nebylo vytvořit kompletní příručku nástrojů a jejich psychoakustického vnímání posluchači při použití v akordech, ale prozkoumat typické zástupce nástrojových skupin, čehož bylo dosaženo.

## Literatura

- [1] Rielander, M. M. (Editor): Reallexikon der Akustik. Verlag Erwin Bochinski, Frankfurt am Main 1982.
- [2] Melka, A: Základy Experimentální psychoakustiky. Nakladatelství AMU. Praha 2005
- [3] ČSN 01 1600: Akustika – Terminologie.
- [4] ČSN IEC 50(801): Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 801: Akustika a elektroakustika.
- [5] Reuter, C.: Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente. Peter Lang, Frankfurt/M. 1995.
- [6] Kendall, M. G.: Rank correlation methods. Griffin, London 1948.

# Seznam symbolů a zkratk

## Zkratky:

JAMU	...	Janáčkova akademie múzických umění
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně
MUNI	...	Masarykova univerzita
DAW	...	Digital Audio Workstation

## Symboly:

K	...	Kendallův koeficient konzistence	[-]
TP <sub>max</sub>	...	maximální hodnota true peak	[dBTP]
u	...	Kendallův koeficient shody	[-]

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Poslechový test je uložen na přiloženém CD.