VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021 Lenka Adamkovičová

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 VNÍMÁNÍ SOUZVUKŮ V PROSTORU S RŮZNÝM DOZVUKEM
ANALYSIS OF THE PERCEPTION OF CHORDS IN A SPACE WITH DIFFERENT REVERBERATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Lenka Adamkovičová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Studentka: Lenka Adamkovičová ***ID:*** 200602
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Analýza vnímání souzvuků v prostoru s různým dozvukem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Připravte a zrealizuje poslechový test na panelu nejméně 100 respondentů, jež budou vybráni z posluchačů a hudebníků, kteří se zpracováním zvuku či hudbou zabývají profesionálně nebo alespoň poloprofesionálně. V průzkumu se zaměřte na akordy rozmístěné různě na stereo ose a položené do prostoru s různou délkou a algoritmy dozvuku. Vzorky barev můžete vybrat z reálných zvuků, ale nejméně třetinu vytvořte sám pomocí aditivní syntézy i dalších syntetických technik. Poslechové vzorky připravte v prostředí se standardizovanými dozvuky (např. plate, bath room, chambre atd.). Na základě metody sémantického diferenciálu připravte dotazník, ve kterém respondenti určí míru čitelnosti jednotlivých akordů, ale také zhodnotí soudržnost kontrastních barev, míru disonance vždy bez a s dozvukem. Použijte metodu škálování podle Dunna a Kinga. Výstupem bude nalezení spojnic mezi čitelností jednotlivých hlasů, barvami, mírou disonance a mezi prostředími s různými dozvuky. V závěru shrňte případné kategorie a poznatky důležité pro praxi hudebníků a audio inženýrů – jaký vliv mají různě dlouhé a různě rozprostřené dozvuky na čitelnost souzvuků, na čitelnost a soudržnost barev a na vnímání disonancí.

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: 1.2.2021 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2021

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

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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

Táto bakalárska práca sa zaoberá analýzou subjektívneho vnímania súzvukov v priestoroch s rôznymi parametrami dozvuku. Na 32 vzoriek vymodelovaných pomocou aditívnej syntézy alebo samplov reálnych nástrojov bol použitý algoritmický reverb s 5 rôznymi nastaveniami parametrov. Takto upravené vzorky boli v posluchovom teste hodnotené 100 respondentami na 5 rôznych bipolárnych škálach. Cieľom práce bolo zistiť vplyv prostredí s rôzne sýtymi dozvukami na vnemy disonancie, príjemnosti, drsnosti a farby jednotlivých súzvukov. Výsledky prieskumu boli vynesené do grafov, v ktorých boli následne porovnávané.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

disonancia, dozvuk, posluchový test, psychoakustika, sémantický diferenciál

ABSTRACT

This bachelor's thesis is dealing with an analysis of subjective perception of chords in spaces with different reverberation parameters. An algorithmic reverb with 5 different settings of parameters was used on 32 chords or intervals created by either additive synthesis or from sampled real instruments. The modified sounds were then judged on 5 different bipolar scales by 100 respondents in a listening test. The goal of this work was to find the influence of reverbs with different parameters on perception of dissonance, pleasantness, roughness, and timbre of individual chords. Survey results were then plotted in graphs, in which they were compared to each other.

KEYWORDS

dissonance, reverberation, listening test, psychoacoustics, semantic differential

ADAMKOVIČOVÁ, Lenka. *Analýza vnímání souzvuků v prostoru s různým dozvukem*. Brno, 2021, 65 s. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedúci práce: MgA. Ing. Ondřej Jirásek, Ph.D.

Vysadené pomocou balíčku `thesis` verzie 4.00; `http://latex.feec.vutbr.cz`

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „Analýza vnímání souzvuků v prostoru s různým dozvukem“ som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autorka uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno ....

podpis autorky

POĎAKOVANIE

Rada by som poďakovala MgA. Ing. O. Jiráskovi, PhD. za vedenie, podporu a pomoc pri práci. Ďakujem všetkým kamarátom, ktorí mi pomáhali pri spúšťaní dotazníka. A tiež ďakujem všetkým respondentom za vyplnenie posluchového testu.

Obsah

Úvod **11**

1 Psychoakustika **12**
1.1 Tón a hluk . . . 12
1.2 Objektívne a subjektívne vlastnosti zvuku . . . 12
1.3 Spektrum tónu . . . 12

2 Farba tónu **14**
2.1 Drsnosť . . . 14
2.2 Ostrosť a jasnosť . . . 14

3 Konsonancia a disonancia **16**
3.1 Faktory ovplyvňujúce subjektívny vnem zvuku . . . 16
3.1.1 Maskovanie . . . 16
3.1.2 Rázy, drsnosť . . . 17
3.1.3 Frekvenčná poloha intervalu . . . 18
3.1.4 Kultúrne zvyklosti, žánrové preferencie . . . 18

4 Dozvuk **19**
4.1 Digitálny dozvuk . . . 19
4.1.1 Konvolučný reverb . . . 19
4.1.2 Algoritmický reverb . . . 19
4.2 Dozvuk a maskovanie . . . 20

5 Experiment **22**
5.1 Metóda sémantického diferenciálu . . . 22
5.1.1 Voľba posudzovacích škál . . . 22
5.2 Vzorky . . . 23
5.2.1 Výber dozvukov . . . 23
5.2.2 Výber vzoriek . . . 24
5.2.3 Kategorizácia vzoriek . . . 25

6 Prieskum **30**
6.1 Usporiadanie vzoriek v dotazníku . . . 30
6.2 Prostredie . . . 31
6.3 Respondenti . . . 32

7 Výsledky experimentu **34**
7.1 Spracovanie výsledkov 34
7.1.1 Skupina 1 34
7.1.2 Skupina 2 36
7.1.3 Skupina 3 37
7.1.4 Skupina 4 38
7.1.5 Skupina 5 40
7.1.6 Skupina 6 41
7.1.7 Skupina 7 42
7.1.8 Skupina 8 44
7.1.9 Vyhodnotenie podľa žánrových preferencií 46
7.2 Kontrola zhody odpovedí 50
7.3 Možné budúce rozšírenia výskumu 51

Záver **52**

Literatúra **54**

Zoznam symbolov, veličín a skratiek **56**
7.4 Skratky 56
7.5 Veličiny 56

Zoznam obrázkov

2.1 Schématické zobrazenie percepčného priestoru slovných atribútov s vyznačením polohy adjektíva ostrý, prevzaté z [18]. 14
4.1 Porovnanie spektier rovnakého intervalu v priestoroch s menej a viac bohatým dozvukom. 20
5.1 Príklad prostredia plug-in dozvuku - Studio. 23
5.2 Porovnanie spektrogramov prostredí Bathroom a Studio. 26
5.3 Spektrogramy - skupina 3, vzorky Bathroom a Cathedral Back. . . . 27
6.1 Prostredie dotazníka. 32
6.2 Vek respondentov. 32
6.3 Pohlavie respondentov. 32
6.4 Povolanie respondentov. 33
6.5 Dĺžka hudobnej praxe. 33
6.6 Preferované žánre. 33
6.7 Preferencia world music. 33
7.1 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 1. 35
7.2 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 2. 36
7.3 Porovnanie spektier prostredí Studio (najviac mäkké) a Cath. Back (najviac ostré). 38
7.4 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 3. 38
7.5 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 4. 39
7.6 Porovnanie výsledkov autokorelácie pre vz. Bathroom a Cath. Back. . 40
7.7 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 5. 41
7.8 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 6. 42
7.9 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 7. 43
7.10 Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 8. 45
7.11 Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre poslucháčov hudby inej než len západnej. 47
7.12 Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre vnem príjemnosti. 48
7.13 Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre vnem konsonancie. 49
7.14 Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre 5. skupinu, poslucháči jazzu. 50
15 Spektrogramy, skupina 1. 57
16 Spektrogramy, skupina 2. 58
17 Spektrogramy, skupina 3. 59
18 Spektrogramy, skupina 4. 60
19 Spektrogramy, skupina 5. 61
20 Spektrogramy, skupina 6. 62

21 Spektrogramy, skupina 7. 63
22 Spektrogramy, skupina 8. 64

Zoznam tabuliek

5.1 Parametre použitých prostredí plug-in reverbu. 23
5.2 Skupiny 1 - 5. 25
5.3 Skupina 6. 27
5.4 Skupina 7. 28
5.5 Skupina 8. 29
6.1 Poradie vzoriek v dotazníku. 30
7.1 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 1. 35
7.2 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 2. 36
7.3 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 3. 37
7.4 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 4. 39
7.5 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 5. 41
7.6 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 6. 42
7.7 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 7. 43
7.8 Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 8. 44

Úvod

Táto práca sa zaoberá vplyvom dozvuku na subjektívne vnímanie rôznych súzvukov. Skúma sa vplyv rôzne dlhých a rôzne bohatých dozvukov na súzvuky s rôznou mierou disonancie. Každý súzvuk (akord či interval) je hraný vždy iba jedným nástrojom. Skúmajú sa prevažne súzvuky disonantné, ktorých disonancia je buď na základe vzťahov medzi intervalmi používanými v európskej hudbe (ako príklad možno uviesť disonantný interval veľkej septimy), poprípade bola disonancia do akordu zavedená pomocou posunutia tónu inak konsonantného akordu. Akord je týmto posunutím vnímaný ako disonantný, pretože už nezapadá do vnímania hudby založenej na stupniciach z dvanástich poltónov, ako je tradíciou v západných kultúrach.

Jadrom tejto práce je teda umiestnenie súzvukov s rôznou mierou disonancie do prostredí s rôznymi parametrami dozvuku a skúmanie vplyvu dozvukov na vnímanie súzvukov poslucháčom. Predpokladá sa, že vďaka procesu maskovania, ktorý nastane hlavne v priestoroch s väčším podielom dozvuku na výslednom zvuku, bude vnem disonancie potlačený. V niekoľkých prípadoch bola skúmaná tiež úloha umiestnenia akordu a dozvuku na stereo osi. Predpokladá sa, že disonancia v akordoch umiestnených ďalej od stredu stereo osi bude potlačená nielen pridaným dozvukom, ale aj týmto posunutím.

Ďalej sa tiež skúma súvislosť medzi vnemom disonancie a vnemami príjemnosti a drsnosti. Je zaužívané, že disonanciu sprevádza vnem drsnosti. Takisto je častý predpoklad, že vnem disonancie je nepríjemný. Jedným z cieľov tejto práce je preto potvrdiť či vyvrátiť tieto súvislosti. Predpokladá sa, že vnem disonancie bude v prostrediach s dlhším dozvukom síce potlačený, avšak môže nastať situácia, kedy bude príliš veľké množstvo dozuku pre poslucháčov nepríjemné.

Skúmaný bude tiež vyplv subjektívnych preferencií na vnem zvuku. Respondenti budú rozdelení do skupín podľa nimi označenej žánrovej preferencie a ich výsledky budú vyhodnotené a porovnané s inými skupinami respondentov. Rovnako bude skúmané, či spĺňajú alebo vyvracajú jednotlivé predpoklady.

Všetky predpoklady budú testované na dotazníku vytvorenom na základe pilotného prieskumu, ktorý prebehol v zimnom semestri. Ten obsahoval 32 vzoriek rozdelených do ôsmich skupín hodnotených na škálach sémantického diferenciálu.

Výsledky práce by mali slúžiť napríklad pre zvukových inžinierov, ktorí sa pri mixáži skladieb spoliehajú hlavne na svoj vlastný cit. Výsledky v tejto práci ich však môžu nasmerovať napríklad k použitiu správneho typu dozvuku na zamaskovanie disonancie či naopak posilnenie disonantného vnemu. Takisto môžu byť výsledky práce použité ako návod pre ľudí začínajúcich s mixážou hudby, ktorí ešte nemajú cit pre použitie správneho dozvuku dostatočne vycibrený.

1 Psychoakustika

Psychologická akustika, skrátene psychoaustika, sa zaoberá skúmaním procesov v našom vedomí v súvislosti s vnímaním, resp. pôsobením zvuku. Nejde pritom o hraničnú disciplínu len dvoch vied: psychológie a akustiky, ale o prepojenie celého radu ďalších disciplín, ako sú napr. neurofyziológia, teória signálov, štatistika, kybernetika, ale aj estetika a iné. [19]

Cieľom psychoakustiky je vyšetrovanie účinkov zvukových dejov na psychiku človeka, v užšom poňatí je cieľom psychoakustiky zisťovanie kvantitatívnych vzťahov medzi akustickými podnetami a sluchovými vnemami. [12]

1.1 Tón a hluk

Zvuk je všetko, čo možno počuť. Zvuky možno rozdeliť na tóny a hluky. Tóny vznikajú pravidelným chvením hmoty, majú určitú presnú výšku, ktorú možno napodobniť spevom alebo hrou na hudobnom nástroji.

Hluky vznikajú nepravidelným chvením hmoty. Všetky zvuky, čo nie sú tóny, sú hluky; majú neurčitú výšku, nemožno ich zahrať alebo zaspievať. [20]

1.2 Objektívne a subjektívne vlastnosti zvuku

Podľa [19] je zvukový signál možné charakterizovať parametrami subjektívnymi a objektívnymi. Subjektívne vlastnosti vyplývajú z objektívnych. Patrí medzi ne výška, hlasitosť a farba. Objektívne vlastnosti tónov sú frekvencia, amplitúda a časový priebeh daného signálu, hlukové signály súvisia najmä s ich frekvenčnou štruktúrou, keďže nemožno presne určiť ich výšku a nemajú stálu frekvenciu - tieto vlastnosti ide pri hlukoch určiť iba približne. [20]

1.3 Spektrum tónu

Periodický signál je každá funkcia, ktorej priebeh sa v pravidelnom časovom intervale opakuje. Signály s jedinou sprektrálnou čiarou sú nazývané harmonické (sínusové a kosínusové priebehy), signály s väčším počtom zložiek v spektre sú komplexné.

Komplexné signály možno pre účely analýzy rozložiť na súčet harmonických zložiek, ktoré sú celočíselnými násobkami základnej frekvencie. Základná frekvencia sa nazýva fundament, jej násobky sú vyššie harmonické zložky. Každú harmonické zložku možno popísať jej frekvenciou a efektívnou hodnotou, každý signál možno vyjadriť pomocou jeho harmonických zložiek. Takýto popis sa nazýva frekvenčné

spektrum a väčšinou sa zakresľuje do grafu, kde os x popisuje frekvenciu a os y napríklad efektívnu hodnotu či amplitúdu. [17]

Okrem periodického signálu existujú i signály kváziperiodické vyznačujúce sa prítomnosťou vyšších harmonických zložiek, ktoré nie sú celošíselnými násobkami fundamentu. Harmonické zložky, ktorých pomer nie je možné vyjadriť celočíselným pomerom sú nazývané neharmonické (popr. inharmonické). Inharmonicity vyvolávajú zmenu farby, ktorá sa viac blíži k kovovej či zvonivej a možno ich nájsť napríklad v bicích či perkusívnych nástrojoch. [19]

2 Farba tónu

Vlastnosť sluchového vnímania, ktorá umožňuje poslucháčovi usúdiť, že dva neidentické zvuky majúce rovnakú hlasitosť a rovnakú výšku si nie sú podobné. [4]

2.1 Drsnosť

Už Helmholtz popisuje, že vnem disonancie je spojený s drsnosťou. Drsnosť vzniká pri relatívne rýchlych časových zmenách zvukového signálu, ktoré ľudský sluch nedokáže sledovať. Tento jav nastáva pri modulácii v rozsahu modulačných frekvencií približne 15 až 300 Hz, pričom modulačná frekvencia hodnoty približne 70 Hz je považovaná za hodnotu maximálnej drsnosti. [14]

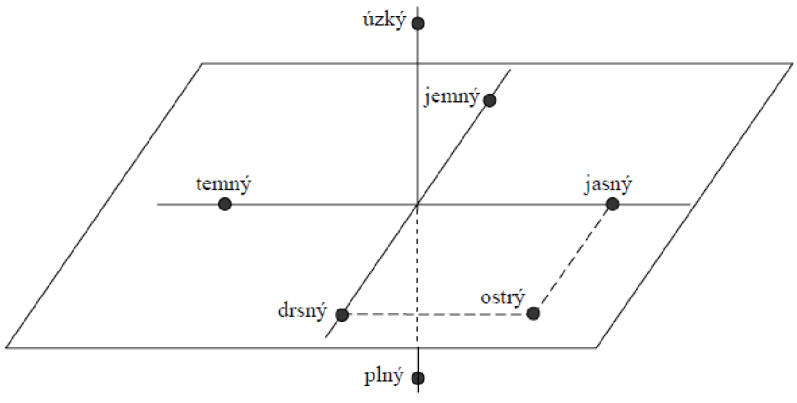
Drsnosť $R = 1$ asper je určená ako drsnosť čistého tónu o frekvencii 1000 Hz s hladinou akustického tlaku 60 dB amplitúdovo modulovaného modulačnou frekvenciou 70 Hz pri hĺbke modulácie $m = 1$. [12]

Vnem drsnosti sa stráca po prekročení šírky kritického písma.

2.2 Ostrosť a jasnosť

Helmholtz sformuloval vzťah medzi typom spektra tónu a jeho farby nasledovne:

U komplexných tónov s intenzívnymi harmonickými nad 6. alebo 7. zložkou je farba charakterizovaná ako ostrá a drsná, čo súvisí predovšetkým s konkrétnou zostavou vyšších harmonických. Stupeň ostrosti tak môže byť rôzny a veľmi charakteristický a zreteľne tieto nástroje odlišuje. [19]



Obr. 2.1: Schématické zobrazenie percepčného priestoru slovných atribútov s vyznačením polohy adjektíva ostrý, prevzaté z [18].

Podľa [12] sa ostrosť meria v jednotkách acum a hodnota 1 acum je definovaná ako ostrosť úzkopásmového šumu o šírke kritického pásma so strednou frekvenciou 1000 Hz a hladinou akustického tlaku 60 dB.

Možno teda povedať, že zvuky s väčšou koncentráciou energie (s polohou spektrálneho ťažiska) na vyšších frekvenciách spektra sú považované za ostrejšie.

Jasnosť je veľmi podobná ostrosti. Podľa Stumpfa je farba tónu určená i dominujúcimi frekvenčnými oblasťami, tzv. formantami. Väčšie množstvo energie sústredenej práve vo formantových oblastiach má za následok silnejší vnem jasnosti tónu. [19]

Štěpánek a Moravec položili ostrosť do trojdimenzionálneho percepšného priestoru farby zvuku mimo hlavné osi. Možno ale vidieť spojitosť ostrosti s jasnosťou a drsnosťou. Zvuk je teda podľa [18] ostrý, ak je jasný a zároveň drsný.

3 Konsonancia a disonancia

Spoločné znenie viacerých tónov v jednom okamihu vyvolá ich splývanie, súznenie, konsonanciu, alebo ich nesúzvuk, neľubozvučnosť, disonanciu. To, ktorý z týchto dvoch vnemov súzvuk vyvolá, je možno vysvetliť pomocou fyziky, psychofyziky, či psychoakustiky. V konečnom dôsledku však tento vnem závisí hlavne na intervalovom vzťahu súčasne hrajúcich tónov.

Počiatky tejto teórie sú spojované už s Pytagorom. Jeho proporčná teória vychádza zo všeobecne platného princípu elegancie malých čísel, ktorá hovorí, že čím jednoduchší je pomer frekvencií dvoch tónov, tým konsonantnejší je ich interval. Neskôr prišiel Helmholtz s koincidenčnou teóriou vychádzajúcou z miery zhody polôh vyšších harmonických zložiek dvoch tónov. Ďalšia teória, Stumpfova teória splývania zas na určenie miery disonancie využíva subjektívny pocit poslucháča. Úlohu tu zohráva maskovanie, ktoré spôsobí, že napr. približne 75 % poslucháčov považuje oktávu za jediný tón. Vyššie harmonické vrchného tónu oktávy totiž zapadajú presne do pozícií vyšších harmonických spodného tónu. [19] V prípade malej septimy je ale spoločných vyšších harmonických zložiek oveľa menej - až 7. vyššia harmonická spodného tónu sa zhoduje so 4. vyššou harmonickou vrchného tónu. Toto vedie k vyššiemu vnemu disonancie než pri oktáve.

3.1 Faktory ovplyvňujúce subjektívny vnem zvuku

3.1.1 Maskovanie

Sluchové pole je množina akustických intenzít a frekvencií ohraničená prahom počutia a prahom bolesti vo vertikálnom smere a dolnou a hornou sluchovou medzou vo smere horizontálnom (u dospelého človeka približne 20 Hz - 20 kHz). Prah počutia je minimálny priemerný akustický tlak, ktorý vyvolá u človeka s priemerným sluchom príslušný vnem.

Tóny spôsobujú podráždenie časti bazilárnej membrány ucha, ktorá následne nie je istý čas schopná prijať ďalšie podráždenie. Toto spôsobí posunutie prahu sluchu smerom nahor, a teda slabšie vnemy v zasiahnutej frekvenčnej oblasti budú zoslabené alebo úplne potlačené - nastáva maskovanie. [16]

Frekvenčné maskovanie je maskovanie tónov znejúcich v rovnaký okamih. Účinok maskovania je najvyšší v najbližšom okolí vlastnej frekvencie maskujúceho tónu, postupne približne symetricky klesá až po prekročenie šírky kritického pásma. Toto je dôležité pri skúmaní vnemov drsnosti vzniknutej medzi dvoma harmonickými zložkami, keďže pri príliš malom intervale možno predpokladať ich vzájomné maskovanie. [19]

Kritické pásma

Ak je čistý tón maskovaný šumom konštantným v celkom frekvenčnom pásme, tak sa na maskovaní tónu podieľa iba istá časť frekvenčného pásma - toto maskujúce pásmo je nazvané kritická šírka pásma. Kritické pásmo je teda frekvenčný interval ohraničený dvoma tónami, ktoré vyvolajú dve oddelené vychýlenia bazilárnej membrány - akýkoľvek menší interval by vyvolal vnem maskovania. [16] Jednotlivých pásiem je 24. Sú merané v jednotkách bark alebo v jednotkách ERB. [19]

Vnem maskovania je závislý na polohe tónov v kritických pásmach, keďže tóny v dvoch rozdielnych kritických pásmach sa nemôžu maskovať. Rovnako i pri komplexných tónoch a akordoch je vnem výslednej farby závislý na rozložení vyšších harmonických a súčtových či rozdielových tónoch vznikajúcich medzi nimi.

3.1.2 Rázy, drsnosť

Disonancia je spájaná so vznikom rázovania. Už Helmholtz pozoroval, že konsonantné intervaly sa vyznačujú absenciou rázov. [7] Rázy sú fyzikálny jav, ktorý vzniká pri zložení dvoch harmonických kmitaní veľmi blízkych, no nie zhodných, frekvencií. Výsledné kmitanie má tiež harmonický priebeh a jeho frekvencia je aritmetickým priemerom frekvencií skladaných kmitaní. Jeho amplitúda periodicky kolísa medzi súčtom a absolútnou hodnotou rozdielu amplitúd skladaných kmitaní. Výsledný zvuk je teda kolísavý, v angličtine sa rázy nazývajú beating = tepanie, tlkot. [19] [14]

Rázovanie pri komplexných tónoch (t. j. takých, ktorých spektrum je zložené z vyšších harmonických zložiek) nastáva i medzi ich vyššími harmonickými. Výskyt rázov alebo drsnosti medzi jednotlivými harmonickými zložkami je teda pri vnímaní disonancie významnejší než nižší počet zhodných harmonických.

Ako príklad možno uviesť malú septimu:

Ak bude spodný tón intervalu mať frekvenciu 100 Hz, tak vrchný bude mať f = 175 Hz.

Vyššie harmonické spodného tónu teda budú 100, 200, 300, 400, 500, atď. Vyššie harm. vrchného tónu budú 175, 350, 525, atď.

Podľa odseku 2.1 vnem drsnosti nastáva už pri frekvenčnom rozdieli približne 15 Hz. V prípade m. septimy je vidieť viacero vyšších harmonických vzdialených od seba o 25 Hz. Pri dostatočnej intenzite týchto zložiek možno teda hovoriť o vneme drsnosti. [19]

3.1.3 Frekvenčná poloha intervalu

Vnem drsnosti je ovplyvnený i relatívnou polohou intervalov, či už v akorde alebo medzi jednotlivými vyššími harmonickými tónmi. Frekvenčné rozdiely medzi intervalmi sú v nižších oktávach menšie než vo vyšších, takže vnem drsnosti nastáva v nižších oktávach i pre širšie intervaly - preto napríklad tercia pôsobí v nižších oktávach disonantne, no vo vyšších konsonantne. [19]

Toto súvisí i s frekvenčnou vzdialenosťou vzhľadom ku kritickým pásmam, ktoré sú v nižších frekvenciách užšie.

3.1.4 Kultúrne zvyklosti, žánrové preferencie

Vnemy disonancie a nepríjemnosti sú navzájom často spájané. Disonancia a konsonancia sú dokonca často definované pomocou príjemnosti a nepríjemnosti. [13] Možno povedať, že v západných pravidlách harmónie táto spojitosť platí. Západné chápanie hudby ako celku zloženého z oktáv, v ktorých je 12 poltónov ale nemôže byť brané ako univerzálne meradlo príjemnosti a konsonancie.

Ako príklad možno uviesť mikrotonálnu hudbu. Poltón je v západnej hudbe chápaný ako najmenší interval, jeho veľkosť je 100 centov. Intervaly menšie než 100 centov sú teda mikrotónové intervaly. Mikrotonalitu je možné nájsť v mnohých kultúrach, napríklad v Indonézii či na Blízkom východe.

Okrem kultúrnych rozdielov je možno skúmať i žánrové preferencie. Interval zmenšenej sekundy je podľa psychoakustických kritérií disonantný, v tradičnej západnej hudbe nie je veľmi populárny a použitý je najmä na vyvolanie nepríjemných emócií. V metale a punku má však populárne a dôležité miesto. [8]

Podobný je prípad fanúšikov jazzu. Jazzmeni používajú rôzne techniky odlišné od mainstreamovej západnej hudby, napríklad noty mimo akordov, hra známych melódií v iných tóninách, hra atonálna (bez akejkoľvek štruktúry akordov). Používanie bitonality, kde sólista použije inú tóninu, než zvyšok kapely. Rovnako je populárne využívanie mikrotónov. [11]

Možno teda tvrdiť, že na vnem zvuku má najväčší vplyv práve kultúra a subjektívne hudobné preferencie. Ľudia, ktorí neboli vystavení európskemu chápaniu harmónie môžu vykazovať menšiu averziu voči akordom západnou kultúrou braných ako disonantné a môžu ich dokonca chápať ako konsonantné. Rovnako ľudia preferujúci žánre využívajúce disonantné prvky môžu vnímať isté množstvo disonancie ako príjemné a žiadané.

4 Dozvuk

Jav dozvuku je charakteristický pre každú uzavretú miestnosť. Všeobecne sa za dozvuk považuje všetok zvuk šíriaci sa priestorom po vypnutí zdroja zvuku.

Je však tiež potrebné rozlišovať zvuk priamy a odrazený. Priamy zvuk opisuje najkratšiu dráhu priamo k poslucháčovi, do ucha dorazí ako prvý. Po ňom nasledujú zvuky odrazené: najskôr prvotné odrazy, charakteristické oneskorením určeným hlavne geometriou priestoru. Samotný dozvuk prichádza až po skupine prvotných odrazov. Narozdiel od prvotných odrazov je dozvuk rýchly sled odrazov, ktoré od seba navzájom nemožno rozlíšiť.

Možno teda povedať, že dozvuk nastáva v difúznej časti akustického poľa. Difúzne pole je také pole, v ktorom vznikajú odrazené vlny. V dozvukovej časti tohoto poľa dochádza k vzájomnému skladaniu priamych a odrazených vĺn. V bežných uzavretých priestoroch je dozvukové pole vždy difúzne. [19]

4.1 Digitálny dozvuk

Digitálny dozvuk je systém vytvorený tak, aby napodobnil vlastnosti reálneho dozvuku pomocou matematických procesov. Treba podotknúť, že digitálny dozvuk nedokáže dokonale verne napodobniť skutočný dozvuk, lebo v prírode existuje mnoho náhodných procesov a odchýliek, ktoré nemožno predpovedať ani najlepšími fyzikálnymi vzorcami. Digitálny dozvuk, pre ktorý sa i v slovenčine používa jeho anglický názov - reverb, možno rozdeliť na dve skupiny: konvolučný a algoritmický.

4.1.1 Konvolučný reverb

Konvolučný reverb využíva procesu konvolúcie a sú ním napodobňované skutočné existujúce priestory. Najskôr sa zmeria zvuková odozva miestnosti použitím zvukového impulzu, ktorý pokrýva celé počuteľné frekvenčné spektrum, napríklad sine sweep. Mikrofóny rozložené v miestnosti zachytia tento signál i dozvuk miestnosti. Zo zachyteného signálu je pomocou konvolúcie vytvorená impulzná odozva a konvolučný reverb potom túto odozvu aplikuje na zvuky ním prechádzajúce, čím napodobňuje dozvuk, aký by zvuky mali v danej miestnosti. Konvolučné reverby sú preto často vernejšie než tie algoritmické, no bývajú viac náročné na pamäť, keďže je potrebné mať knižnicu impulzných odoziev rôznych miestností. [6]

4.1.2 Algoritmický reverb

Algoritmický reverb pracuje na základe matematických algoritmov. Najskôr priamy signál prejde niekoľkými oneskorovacími linkami, čím sa vytvorí niekoľko rýchlych

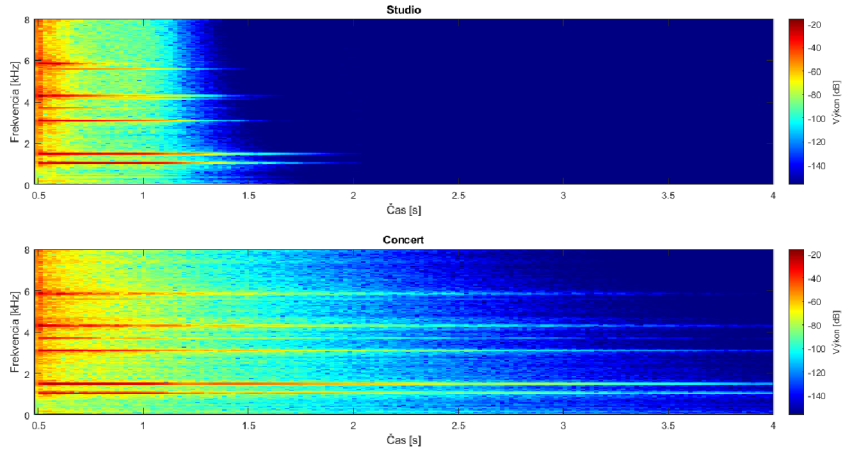
oneskorených verzií prvotného signálu. Tak vzniknú prvotné odrazy. Prvotné odrazy sú charakterizované parametrami ovplyvňujúcimi veľkosť a tvar simulovanej miestnosti [6], napríklad pri plug-in reverbe TrueVerb sú uvedené parametre Dimension, Distance či Pre Delay.

Dimension simuluje N-dimenzionálny priestor. Hodnota 3 teda upraví prvotné odrazy, aby sa správali ako v trojdimenzionálnom priestore. Distance zase ovplyvňuje vzdialenosť poslucháča od zdroja zvuku. Upravuje teda dobu, za ktorú prvotné odrazy dorazia k poslucháčovi a tiež ich hlasitosť. Ak je poslucháč ďalej od zdroja, prvotné odrazy k nemu budú cestovať dlhšie a dorazia k nemu ako tichšie, než keby bol blízko. Pre Delay značí dobu medzi priamym signálom a začiatkom prvotných odrazov. [3]

Prvotné odrazy sú následne v algoritmickom reverbe poslané do spätnoväzobných slučiek s oneskorovacími linkami. Tým sa vytvorí množstvo rôzne oneskorených a postupne utíchajúcich verzií signálu, ktoré tvoria samotný dozvuk. Dozvuk možno ovládať ďalšími parametrami, ako napríklad Decay Time, ktorý ovplyvňuje, koľkokrát zvuk prejde spätnoväzobnými slučkami a ako prudko sa bude zoslabovať. [6]

4.2 Dozvuk a maskovanie

Je dokázané, že bohatý dozvuk má negatívny vplyv na zrozumiteľnosť reči, čo je následok vzniknutého maskovania. Možno ho rozdeliť na tzv. overlap-masking spôsobené prekrytím energie dozvuku predchádzajúcej hlásky, a self-masking - maskovanie rozmazanou energiou danej hlásky. [15]



Obr. 4.1: Porovnanie spektier rovnakého intervalu v priestoroch s menej a viac bohatým dozvukom.

Možno teda predpokladať, že dozvuk bude mať negatívny dopad i na zrozumiteľnosť akordov. V prípade skúmania vplyvu na vnem disonancie to znamená, že vzniknuté maskovanie disonanciu potlačí.

Na druhú stranu, intenzita prvotných odrazov môže pridať na zrozumiteľnosti zvýšením odstupu signálu od šumu. Toto by mohlo mať vplyv v priestoroch s dlhým časom medzi priamym signálom a dozvukom, kde by mohlo nastať posilnenie harmonických zložiek a teda i silnejší vnem disonancie (v prípade disonantných akordov). [5]

5 Experiment

5.1 Metóda sémantického diferenciálu

Metóda sémantického diferenciálu bola zvolená, pretože umožňuje vzorky naraz posudzovať z viacerých hľadísk. Vďaka tomu sa v psychoakustike táto metóda používa na zisťovanie percepčných dimenzií subjektívnych veličín, akými sú napríklad farba zvuku, kvalita reprodukcie zvuku či rušivosť hluku. [12]

Podstatou metódy je vyšetrovanie objektov (v prípade tohoto prieskumu ide o zvukové vzorky) na niekoľkých bipolárnych grafických škálach. Najčastejšie sa používajú sedemstupňové škály, na ktorých koncoch sa nachádzajú póly. Póly sú definované dvojicou slov (zväčša adjektív) s protikladným významom. K popisu jednotlivých stupňov škál sa pridávajú výrazy vyjadrujúce intenzitu daného pojmu - napríklad mimoriadne, veľmi, trochu, ani - ani...

Pri spracovaní odpovedí, ktoré pokusné osoby zvolili, sa každému stupni škály priradí zodpovedajúca číselná hodnota (v prípade tohoto dotazníka boli vybrané hodnoty -3, -2, ..., 2, 3) a z aritmetických priemerov sa spraví polaritný profil. Ten sa môže zostaviť či už pre skupinu všetkých pokusných osôb, alebo pre rôzne špecifické podskupiny.

5.1.1 Voľba posudzovacích škál

Voľba vhodných párov antoným bola rozhodujúca pre celý experiment. V prípade zle zvolených slov totiž skúmané osoby nemuseli tieto slová pochopiť, poprípade ich mohli pochopiť nesprávne. Pri vypracovaní dotazníku bol nakoniec počet škál pre každý súzvuk obmedzený na 4 dvojice adjektív.

Jadrom práce je posúdenie vnemu konsonancie daných vzoriek. Preto boli ako prvý pár antoným zvolené slová konsonantný - disonantný. S vnemom konsonancie súvisí aj vnem príjemnosti. Druhá škála je teda dvojica príjemný - nepríjemný. Z teórie sa ďalej dá vyčítať, že vnem drsnosti je často spojovaný s vnemom disonancie. Na overenie bola preto ako tretia škála zvolená dvojica drsný - jemný. Tento pár bol vybraný s pomocou výsledkov experimentu [18].

Štvrtá škála je zamraná na skúmanie farby zvuku. Zvolené boli preto páry drsný - jemný, farebný - mdlý a ostrý - mäkký.

5.2 Vzorky

5.2.1 Výber dozvukov

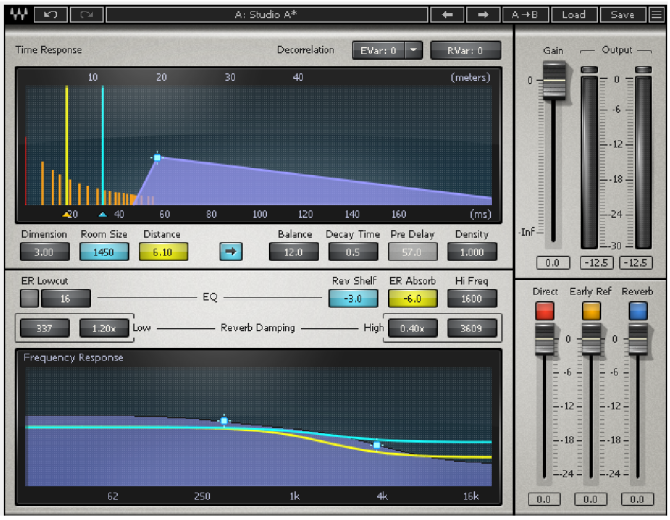
Kvôli obrovskému množstvu rôznych kombinácií parametrov dozvukov, ktoré možno vo svete nájsť, nie je možné, aby ich táto práca pokryla všetky. Preto bolo vybraných 5 prostredí, ktoré možno bežne v práci s hudbou stretnúť.

Na vytvorenie prostredí s rôznymi dozvukami bol použitý plug-in True Verb od firmy Waves. V ňom boli zvolené prednastavené prostredia, ktorých niektoré parametre boli následne upravené, čím vznikli prostredia s nasledovnými parametrami:

Názov presetu	Estate Bathroom	Studio A	Medium Concert II	Cathedral Front	Cathedral Back
Dimension	3,99	3,00	3,00	3,00	3,00
Room size [m^3]	50	1450	4039	20000	20000
Distance [m]	3,26	6,10	11,12	4,90	25,14
Decay time [s]	1	0,5	2,5	6,0	6,0
Pre delay [ms]	22,1	57,0	80,2	136,6	136,6
Density	0,00	1,00	0,65	0,85	0,85
LF Damp [Hz]	337	337	600	1459	1459
LF Ratio	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2
HF Damp [Hz]	3609	3609	3600	2945	2945
HF Ratio	1,15	0,40	0,50	0,30	0,30

Tab. 5.1: Parametre použitých prostredí plug-in reverbu.

Pozn.: Po zvyšok práce budú názvy niektorých presetov zjednodušené, a to: Estate Bathroom bude dalej nazývaný Bathroom, Studio A = Studio, Medium Concert II = Concert Hall.



Obr. 5.1: Príklad prostredia plug-in dozvuku - Studio.

Prostredia boli vybrané tak, aby pokryli extrémne situácie (napr. pri dobe dozvuku: 0,5 s v Studio až po 6 s v Cathedral, či veľkosti miestnosti: 50 - 20 000 m^3) a tiež situácie medzi týmito extrémami (napr. prostredie Concert Hall). Taktiež majú rôzny vplyv na farbu zvuku vďaka rôznym parametrom filtrov ovplyvňujúceho reverbovanie nízkych a vysokých frekvencií.

Prostredie Cathedral sa v dotazníku nachádza dvakrát, líši sa v parametri Distance. Na Distance závisí pocit polohy v danej miestnosti, vďaka čomu k poslucháčovi dorazia priamy zvuk, prvotné odrazy a dozvuk samotný v inom vzájomnom pomere času i intenzít. Iná mixtúra týchto prvkov znamená zmenu farby a prípadné lepšie či horšie maskovanie disonancie. V použitom plug-in TrueVerb parameter Distance reguluje pomer signálu efektovaného a bez efektu. Narozdiel od iných reverb plug-inov teda Distance zastupuje Dry/Wet ovládač. [3]

Plug-in reverb bol do vzoriek vložený ako Send efekt na samostatnej zbernici. Parameter Direct bol teda vypnutý, aby priamy signál nebol z tejto zbernice posielaný do master zbernice.

5.2.2 Výber vzoriek

Existuje ohromné množstvo hudobných nástrojov, či skutočných, alebo digitálnych, a teda i obrovské množstvo kombinácií súzvukov a farieb, ktoré nimi možno vytvoriť. Boli preto vybrané štyri druhy tónov: vzorky vytvorené pomocou sínusových zvukov aditívnou syntézou, vzorky trúbky ako predstaviteľa skupiny nástrojov so širokým frekvenčným spektrom, vzorky zvonkohry ako predstaviteľa skupiny nástrojov s podielom inharmonicít a šumu vo frekvenčnom spektre, a vzorky klavíra ako predstaviteľa nástroja, ktorého farba je väčšine ľuďom verne známa - vplyv návyku na zvuk a farbu nástroja môže tiež zohrať úlohu v hodnotení. Z tohoto dôvodu boli použité zvuky vytvorené aditívnou syntézou. Väčšina ľudí - hlavne laikov - na ne nie je zvyknutá, a to umožňuje väčšiu objektivitu pri ich posudzovaní, keďže sú menej ovplyvnení predchádzajúcou skúsenosťou.

Kvôli zamedzeniu vplyvu polohy akordu na vnem disonancie (popísané v časti 3.1.3) boli všetky intervaly v rozmedzí dvoch oktáv.

Vzorky boli editované v DAW Reaper v6.16, kde na ne bol použitý plug-in reverb efekt. Nakoniec boli všetky vzorky upravené na hodnotu L = -14 $\pm$ 1 LUFS, TP_{max} = -2 $\pm$ 1 dBTP, aby sa čo najviac zamedzil vplyv hlasitosti na posudzovanie. Treba podotknúť, že okrem efektov Reverb a Pitch Shifter (pri vzorkách, na ktorých sa skúmal vplyv mikrotonality na vnem konsonancie a príjemnosti) neboli tieto zvukové vzorky nijak ďalej efektované.

5.2.3 Kategorizácia vzoriek

Vzorky boli vytvorené tak, aby ich bolo možné medzi sebou rôzne porovnávať. Bolo preto dôležité, aby konečná množina skúmaných vzoriek nebola príliš veľká, čo by mohlo respondentov unaviť, ale zároveň, aby umožňovala danú problematiku dostatočne preskúmať. Nakoniec bolo vytvorených 8 skupín, ku každej skupine boli vypracované predpoklady, a tie boli následne overované v dotazníku.

Skupiny 1 až 5

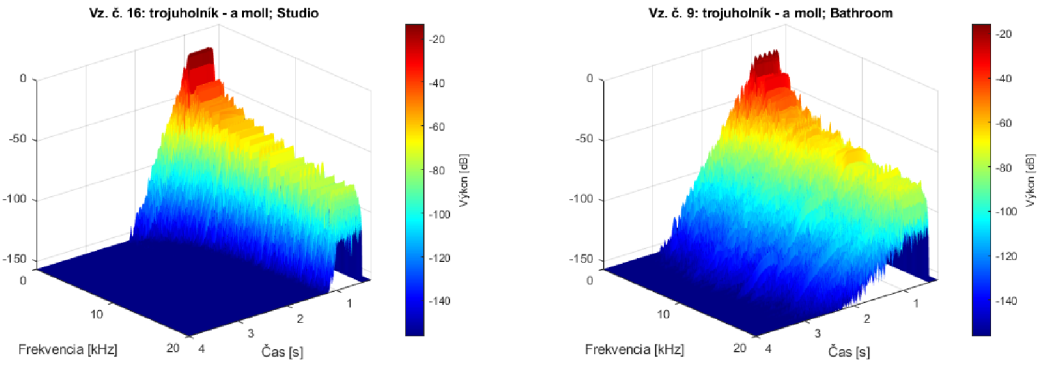
Por. č.	Nástroj	Tóny	Reverb Preset
16	trojuholník	A C E	Studio
9	trojuholník	A C E	Bathroom
29	trojuholník	A C E	Concert Hall
4	trojuholník	A C E	Cathedral Front
20	trojuholník	A C E	Cathedral Back
Skupina 1			
10	sínus	G H+50cents D	Studio
25	sínus	G H+50cents D	Bathroom
32	sínus	G H+50cents D	Concert Hall
7	sínus	G H+50cents D	Cathedral Front
18	sínus	G H+50cents D	Cathedral Back
Skupina 2			
30	sínus	G F	Studio
1	sínus	G F	Bathroom
27	sínus	G F	Concert Hall
23	sínus	G F	Cathedral Front
12	sínus	G F	Cathedral Back
Skupina 3			
5	trúbka	E G+50c B C	Studio
17	trúbka	E G+50c B C	Bathroom
24	trúbka	E G+50c B C	Concert Hall
28	trúbka	E G+50c B C	Cathedral Back
Skupina 4			
21	zvonkohra	C Fis	Studio
13	zvonkohra	C Fis	Bathroom
6	zvonkohra	C Fis	Concert Hall
26	zvonkohra	C Fis	Cathedral Back
Skupina 5			

Tab. 5.2: Skupiny 1 - 5.

V týchto skupinách sa porovnáva predovšetkým vplyv rôznych prostredí na vnem konsonancie a príjemnosti. Vzorky skupiny 1 až 3 boli vytvorené aditívnou syntézou. Jednotlivé tóny boli vytvorené použitím plug-in JS: Tone Generator. V druhej skupine bol navyše tón H pomocou plug in JS: Pitch Shifter posunutý o 50 centov vyššie. Na vytvorenie vzoriek skutočných nástrojov boli použité MIDI plug-iny od bigcat Instruments, voľne dostupné z [2]. V skupine 4 bol tón G posunutý taktiež o 50 centov vyššie.

Predpokladá sa, že vďaka dozvuku nastane dostatočné zamaskovanie disonancie, a preto budú jednotlivé vzorky vnímané ako konsonantnejšie so zvyšujúcou sa dobou dozvuku. V prostredí Cathedral Front ale maskovanie nemusí byť tak efektívne, keďže čas, za ktorý dozvuk dorazí k poslucháčovi je dlhší - toto poskytuje dlhšiu dobu, kedy poslucháč počuje iba priamy signál. Parameter Distance je v Cathedral Front menší než v Cath. Back. To spôsobí zmenu pomeru signálu bez a s reverbom, čo napodobňuje skutočnosť, že v prírodnom dozvuku poslucháč počuje viac priameho a menej odrazeného signálu, čím bližšie k zdroju zvuku sa nachádza. Tieto dva fakty znamenajú, že v prostredí Cath. Front, ktoré napodobňuje situáciu, kedy je poslucháč bližšie k zdroju zvuku, sa predpokladá menšia miera maskovania disonancie práve vďaka vyššie spomenutým vlastnostiam.

Ďalej je skúmaná farba zvuku. Jasnosť v skupinách 1 a 5 - trojuholníkový signál i zvonkohra majú pomerne veľký počet vyšších harmonických. Parametre filtru v prostredí Bathroom pomáhajú v dozvuku povzbudiť vyššie frekvencie, ktoré sú spojované s pocitom jasnosti - toto možno sledovať i na spektrogramoch.



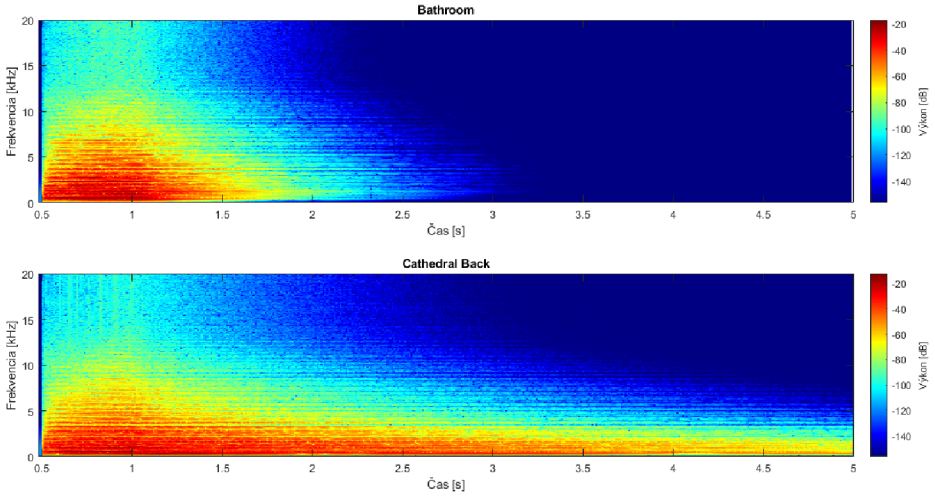
(a) Trojuholník - Studio

(b) Trojuholník - Bathroom

Obr. 5.2: Porovnanie spektrogramov prostredí Bathroom a Studio.

Ostrosť je popisovaná podobne ako jasnosť, závisí na formantových oblastiach nachádzajúcich sa vo vyšších frekvenčných pásmach. V skupine 3 sa preto nepredpokladá výrazná zmena, sínusový tón nemá vyššie harmonické zložky a teda ani formantové oblasti.

Pri trúbke však možno pozorovať zmenu pomerov energie v spektre. V Bathroom posilňuje nastavenie filtra vyššie frekvencie. V spektre preto možno pozorovať rozloženie energie medzi fundamentálnymi tónami a vyššššími harmonickými tónami posilnenými dozvukom ako vyrovnanejšie. Narozdiel od Studio, kde je vo vyšších frekvenciách nielen menej energie, ale tieto tóny i rýchlejšie zaniknú.



Obr. 5.3: Spektrogramy - skupina 3, vzorky Bathroom a Cathedral Back.

V skupine 2 je skúmaná farebnosť. Sínusový zvuk totiž obsahuje iba fundament bez vyšších harmonických zložiek. Toto znamená, že je jeho farba veľmi mäkká a mdlá. Predpokladá sa však, že vytvorenie akordu, v ktorom sa dokonca nachádza mierne rozladenie oproti klasickému európskemu ladeniu a tiež pridanie dozvuku vzorkám pridá na farebnosti.

Skupina 6

Porad. číslo	Nástroj	Tóny	Reverb Preset
18	sínus	G H+50 centov D	Cathedral Back
12	sínus	G F	Cathedral Back
14	sínus	G D	Cathedral Back

Tab. 5.3: Skupina 6.

Táto skupina je zameraná na skúmanie vplyvu dĺžky a bohatosti dozvuku na tón. Ako už bolo spomenuté vyššie, pri zvyšovaní dĺžky dozvuku a vzdialenosti poslucháča od zdroja zvuku sa predpokladá zamaskovanie vnímania disonancie. Podľa [9] by mal vz. č. 14, interval čistej kvinty, jednoznačne najviac konsonantný z tejto

štvorice. Potom by podľa predpokladov mal nasledovať interval malej septimy, vz. č. 4. Ako najviac disonantný by sa mal javiť vz. č. 18 - kvintakord, v ktorom bol jeden tón zvýšený o štvrťtón, keďže poslucháči zvyknutí prevažne na európsku hudbu sa s mikrotonalitou bežne nestretávajú. Je ale očakávané vyvrátenie týchto predpokladov práve vďaka použitiu dlhého času dozvuku spojeného s vysokou hodnotou parametra Distance.

Skupina 7

Porad. číslo	Nástroj	Tóny	Reverb Preset
11	trúbka	E G C	100% Dry
19	trúbka	E G C	Concert Hall
15	klavír	G C E	100% Dry
3	klavír	G C E	Concert Hall

Tab. 5.4: Skupina 7.

Ľudské ucho je zvyknuté na dozvuk, keďže takmer každý priestor nejaký dozvuk má. To znamená, že by priemerný človek mal nejaký dozvuk pri posluchu očakávať a vzorky, v ktorých dozvuk absentuje, by sa mali javiť ako neprirodzené - menej príjemné, než tie, ktoré nejaký dozvuk sprevádza. Tento predpoklad je skúšaný na vzorkách vytvorených zo zvukov trúbky a klavíra. Oba nástroje hrajú obrat kvintakordu, najskôr bez použitia akéhokoľvek dozvuku, ktoré podľa predpokladu budú poslucháčom znieť menej príjemne, než ďalšie dve vzorky umiestnené v prostredí Concert Hall.

Taktiež sa predpokladá, že respodentí budú hodnotiť farbu vzoriek bez pridaného dozvuku ako viac mdlú, bezfarebnú.

Skupina 8

V poslednej skupine je sústredenie na vplyv binaurálneho sluchu. Sú navzájom porovnávané vzorky zvonkohry v dvoch rôznych prostrediach - jedna dvojica je v prostredí s kratším, druhá s dlhým dozvukom. Bol použitý interval zväčšenej kvarty, ktorý je vnímaný ako disonantný. [7] Pri prvej dvojici (vz. č. 6 a 31) sa predpokladá, že vďaka posunutiu vz. č. 31 na stereo osi naľavo, bude vnem disonancie menej rozoznateľný. Citlivosť ľudského ucha je totiž horšia pri monoaurálnom posluchu, a preto by mala byť disonancia pri zvuku vzdialenom od centra stereo osi menej čitateľná. [1]

Porad. číslo	Nástroj	Tóny	Reverb Preset	Panorama	Reverb Pan
6	zvonkohra	C Fis	Concert Hall	L35 R35	Center
31	zvonkohra	As D	Concert Hall	L90 L70	L50
26	zvonkohra	C Fis	Cathedral Back	L35 R35	Center
2	zvonkohra	As D	Cathedral Back	L90 L70	R40
22	klavír	E A+25c H	Concert Hall	L35 0 R35	Center
8	klavír	E A+25c H	Cathedral Back	R90 R70 R50	R65

Tab. 5.5: Skupina 8.

Pozn.: Vysvetlenie skratiek použitých na označenie panoramovania jednotlivých tónov súzvukov a efektu reverb: L = naľavo od stredu stereo osi; R = napravo od stereo osi; Center = uprostred stereo osi.

Druhá dvojica (vz. č. 26 a 2) je síce okrem rozdielu v stereo rozložení tiež umiestnená v prostredí Cathedral Back, čo by malo pomôcť s maskovaním disonancie, avšak v tomto prípade je panoramovanie dozvuku iné. Zatiaľ čo zvuk prichádza zľava, dozvuk je umiestnený vpravo od stredu. Z toho sa dá odvodiť, že disonancia bude menej rozoznateľná vplyvom položenia intervalu ďalej od stredu, avšak dozvuk samotný disonanciu maskovať nebude, pretože je od zvuku vzdialený.

V poslednej dvojici (klavír, vz. č. 22 a 8) je skombinovaný vplyv posunutia na stereo osi i vplyv zväčšenia priestoru na vnem disonancie. Preto sa predpokladá, že vzorka č. 22, ktorá je na stereo ose uprostred a nachádza sa v priestore s menším dozvukom, bude poslucháčom pripadať omnoho disonantnejšia, než vzorka č. 8. Tá je totiž umiestnená v prostredí Cathedral Back a zvuk rovnako ako jeho dozvuk je panoramovaný napravo.

6 Prieskum

6.1 Usporiadanie vzoriek v dotazníku

Por. Číslo	Nástroj	Tóny	Reverb
1	sínus	G F	Bathroom
2	zvonkohra	As D	Cathedral Back
3	klavír	G C E	Concert Hall
4	trojuholník	A C E	Cathedral Front
5	trúbka	E G+50c B C	Studio
6	zvonkohra	C Fis	Concert Hall
7	sínus	G H+50cents D	Cathedral Front
8	klavír	E A+25c H	Cathedral Back
9	trojuholník	A C E	Bathroom
10	sínus	G H+50cents D	Studio
11	trúbka	E G C	100% Dry
12	sínus	G F	Cathedral Back
13	zvonkohra	C Fis	Bathroom
14	sínus	G D	Cathedral Back
15	klavír	G C E	100% Dry
16	trojuholník	A C E	Studio
17	trúbka	E G+50c B C	Bathroom
18	sínus	G H+50cents D	Cathedral Back
19	trúbka	E G C	Concert Hall
20	trojuholník	A C E	Cathedral Back
21	zvonkohra	C Fis	Studio
22	klavír	E A+25c H	Concert Hall
23	sínus	G F	Cathedral Front
24	trúbka	E G+50c B C	Concert Hall
25	sínus	G H+50cents D	Bathroom
26	zvonkohra	C Fis	Cathedral Back
27	sínus	G F	Concert Hall
28	trúbka	E G+50c B C	Cathedral Back
29	trojuholník	A C E	Concert Hall
30	sínus	G F	Studio
31	zvonkohra	As D	Concert Hall
32	sínus	G H+50cents D	Concert Hall

Tab. 6.1: Poradie vzoriek v dotazníku.

Všetky vzorky bolo potrebné usporiadať tak, aby bolo počas posluchového testu čo najviac zamedzené porovnávanie podobných vzoriek poslucháčmi. Toto sa dosiahlo vytvorením čo najväčších rozostupov medzi vzorkami z jednotlivých skupín. Vyhnutie sa porovnávaniu vzoriek navzájom a pestrosť dotazníku sa zabezpečili aj striedaním nástrojov skutočných a umelo vymodelovaných syntézou. Taktiež sa dbalo na to, aby po sebe nenasledovali vzorky s rovnakým efektom reverbu. Ďalej bolo kontrolované, aby po sebe čo najmenej nasledovali vzorky vytvorené z akordu či intervalu rovnakej stupnice. V tab. 6.1 je možno vidieť konečné poradie vzoriek.

6.2 Prostredie

Kvôli opatreniam v súvislosti s pandémiou COVID-19 musel pilotný výskum prebiehať na diaľku. Vo svojej práci [10] M. Klimeš spomínal neochotu účastníkov sťahovať si program na vyplnenie dotazníka. Preto bola zvolená online forma dotazníka v prostredí online softvéru Question Pro. Tento softvér bol vybraný, nakoľko umožňuje editáciu otázok pomocou HTML syntaxe. Do každej otázky sa načítali hudobné vzorky, .wav súbory v dĺžkach 4 - 11 sekúnd, uložené v cloudovom priestore Disk Google.

Keďže sa tento postup osvedčil, bolo prostredie použité i pre výskum v letnom semestri.

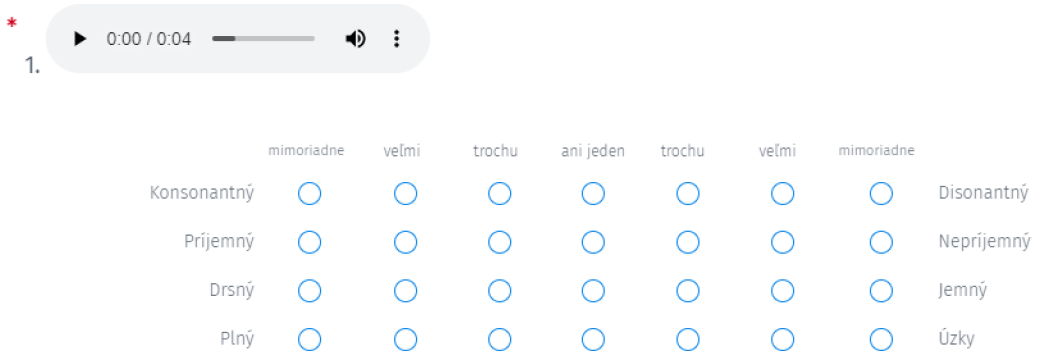
Najskôr respondent zodpovedal na otázky o jeho hudobnom vzdelaní a vzťahu k hudbe. Cieľom týchto otázok bolo ich využitie pri neskoršom rozbore odpovedí. Možno totiž skúmať skupiny ľudí, ktorí svoj sluch pravidelne trénujú zvlášť a porovnať ich odpovede s laickou verejnosťou. Tiež je možné skúmať rozdiely medzi poslucháčmi rôznych žánrov hudby.

Pred samotným dotazníkom bol podľa [12] vypracovaný úvod do dotazníka, aby sa zabezpečilo, že respondenti rozumejú použitým škálam. Respondenti boli tiež upozornení na používanie slúchadiel po dobu vypracovávania dotazníka kvôli zamedzeniu vplyvu miestnosti, v ktorej ho vypĺňajú, na ich sluchový vnem, a na dodržiavanie dvoch vložených miest na prestávky kvôli zamedzeniu únavy sluchu.

Vzorkám určeným na hodnotenie predchádzali zvuky, ktorých úlohou bolo umožniť respondentom vytvoriť si predstavu o rozmanitosti zvukov, ktoré budú následne hodnotiť. Po skúsenosti z pilotného dotazníka boli tiež slovne popísané ako zvuk jasný, drsný, konsonantný, disonantný a ostrý a všetky adjektíva použité v škálach boli vysvetlené i slovne. Toto malo slúžiť na zamedzenie nejasností a zmenšenie odchýliek, keďže, ako bolo uvádzané v starších prácach, napr. [10], prvé vzorky sa ukázali ako najviac náchylné na nepresné ohodnotenie.

Potom nasledoval samotný dotazník s hudobnými vzorkami. Pri každej vzorke boli štyri škály s dvojicami antoným, na každej škále mohol respondent vybrať

iba jednu možnosť. Tiež bola aktivovaná funkcia povinnosti zodpovedať na každú otázku, aby sa zabránilo nekompletným odpovediam, či už náhodou, alebo zámerne.

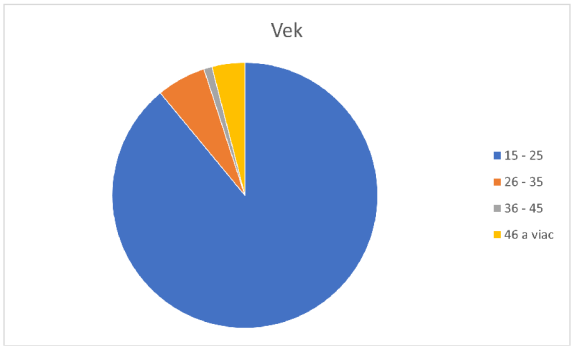


Obr. 6.1: Prostredie dotazníka.

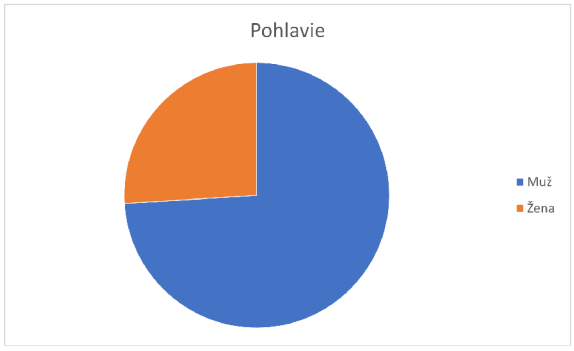
6.3 Respondenti

Respondenti boli braní hlavne spomedzi študentov odboru Audio inžinierstva, ďalej zo skupiny ľudí aktívne pracujúcich s hudbou či zvukom (napr. umelci či učitelia hudobných odborov) a taktiež veľká skupina laickej verejnosti.

Najskôr boli respondenti tázaní na vek a pohlavie.

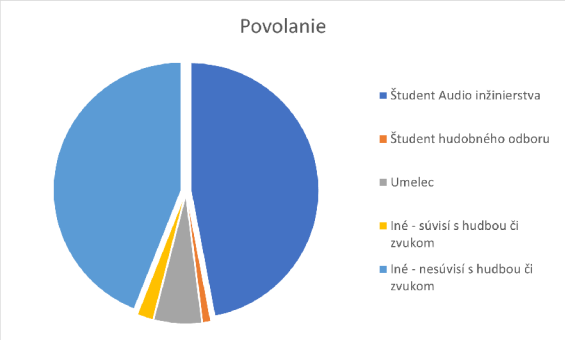


Obr. 6.2: Vek respondentov.

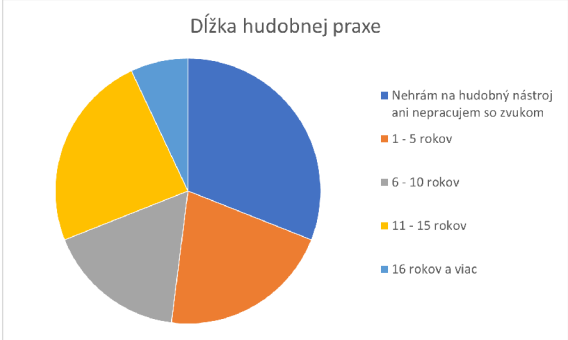


Obr. 6.3: Pohlavie respondentov.

Ďalej zodpovedali na otázky, ktoré mali za úlohu zistiť viac o ich vzťahu k hudbe: povolanie a dĺžka ich hudobnej praxe - ako dlho sa hudbe či práci so zvukom venujú.

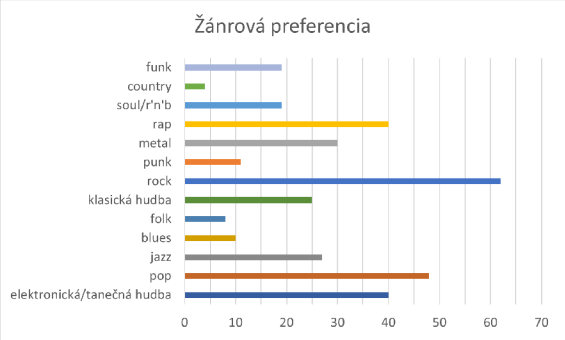


Obr. 6.4: Povolanie respondentov.



Obr. 6.5: Dĺžka hudobnej praxe.

Skúmané boli i žánrové preferencie respondentov. Okrem výberu žánrov sa tu nachádzala i otázka na preferenciu hudby inej ako západnej. Tieto údaje boli zozbierané kvôli možnosti porovnať vnímanie konsonancie a príjemnosti zvukov u ľudí preferujúcich rozdielne žánre.



Obr. 6.6: Preferované žánre.

Obr. 6.7: Preferencia world music.

7 Výsledky experimentu

7.1 Spracovanie výsledkov

Na analýzu výsledkov boli použité dve grafické zobrazenia. V tabuľke možno vidieť percentuálne rozloženie zvolených možností pre každú škálu. Nakoniec dotazník vyplnilo presne 100 respondentov. To znamená, že každému percentu zodpovedá presne jedna odpoveď. Pomenovanie stupňov škály je kvôli úspore miesta: M = mimoriadne, V = veľmi, T = trochu, A = ani - ani. Vďaka tabuľke možno vidieť, aký stupeň respondenti preferovali a aká veľká bola táto preferencia, poprípade či sa preferencie nakláňali viac k jednej časti škály alebo zostávali prevažne neutrálne.

Ďalej boli z hodnôt vypočítané aritmetické priemery, ktoré boli následne vynesené do grafov pre jednotlivé skupiny porovnávaných vzoriek. Grafy umožňujú rýchle zobrazenie, k akej hodnote na škále sa respondenti prikláňali v priemere najviac a tiež porovnanie vzoriek medzi sebou. Pri porovnávaní možno okamžite vidieť, pri ktorých vzorkách sa respondenti prikláňali ku extrémom škál výraznejšie.

Číselné hodnoty pre jednotlivé škály boli v intervale $\langle$-3; 3$\rangle$, z čoho vyplýva, že ak sa aritmetický priemer vzorky pohyboval v rozmedzí $\langle$-0,5; 0,5$\rangle$, tak sa respondenti nenakláňali výraznejšie ani k jednému vnemu. Naopak, ak hodnota priemeru bola menšia než -2, popr. väčšia než 2, znamená to výraznú preferenciu pre jeden z extrémov na škále.

Boli tiež spracované a porovnané odpovede pre rôzne skupiny ľudí, aby bolo možné skúmať vplyv viacerých faktorov na vnímanie zvuku.

7.1.1 Skupina 1

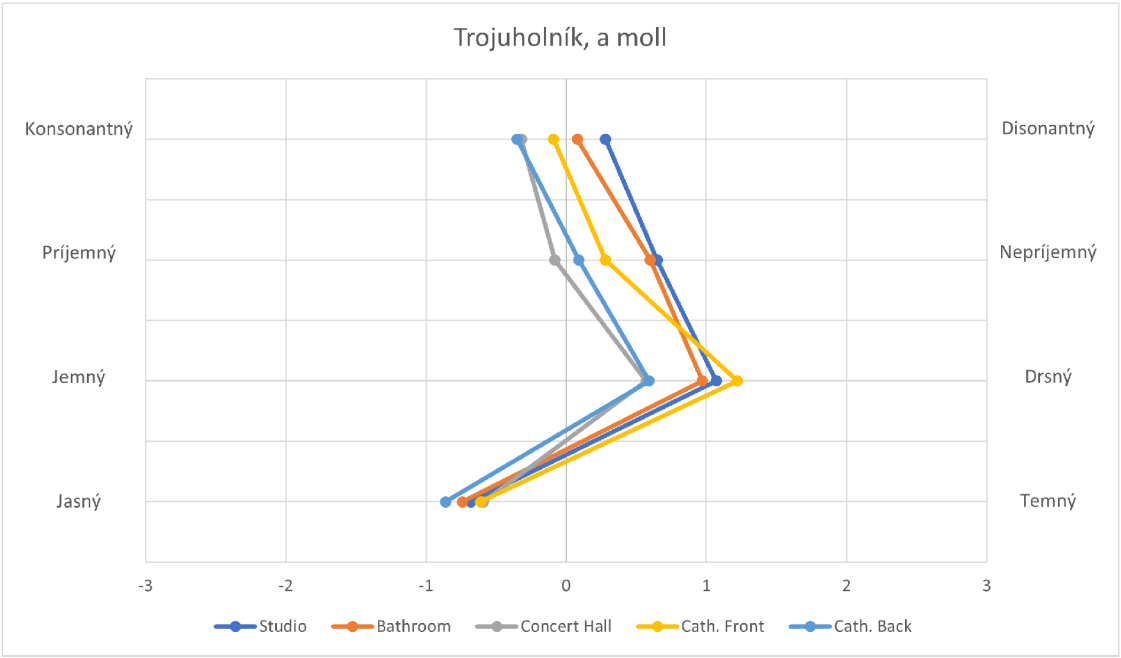
Vzorky sú v skupinách 1 - 3 zoradené zostupne: Studio, Bathroom, Concert Hall, Cathedral Front, Cathedral Back. Hrubo je vyznačené pole s najväčším percentuálnym podielom.

Možno vidieť, že najviac príjemné i konsonantné sa javili prostredia Cathedral a Concert Hall - potvrdilo sa teda, že bohatší dozvuk znamená zníženie vnemu disonancie. Najviac drsnosti bolo vnímanej pri Studio a Cathedral Front, čo zodpovedá predpokladu, že v Studio nie je dozvuk dostatočne bohatý na zamaskovanie disonancie a v prostredí Cath. Front je príliš veľký časový úsek medzi priamym signálom a dozvukom (toto rovnako spôsobí, že si poslucháč disonanciu stihne všimnúť, než ju dozvuk zamaskuje).

Pri hodnotení jasnosti nemožno pozorovať veľmi vysoké rozdiely.

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	2	12	22	11	**32**	15	6	Disonantný
	6	12	**26**	8	25	18	5	
	1	24	26	13	**29**	5	2	
	5	22	**23**	7	18	20	5	
	4	22	**33**	6	19	13	3	
Príjemný	1	8	14	13	**39**	17	8	Nepríjemný
	3	3	20	11	**40**	16	7	
	0	15	**31**	17	26	9	2	
	5	8	23	11	**33**	15	5	
	1	11	**30**	17	25	14	2	
Jemný	0	1	16	10	31	**34**	8	Drsný
	1	4	12	10	**39**	24	10	
	2	7	14	16	**39**	18	4	
	0	4	5	10	**40**	33	8	
	2	9	14	10	**42**	20	3	
Jasný	4	**31**	27	13	22	1	2	Temný
	5	**33**	30	10	13	7	2	
	6	25	**34**	11	15	4	5	
	9	**32**	25	5	13	12	4	
	8	30	**35**	6	17	3	1	

Tab. 7.1: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 1.

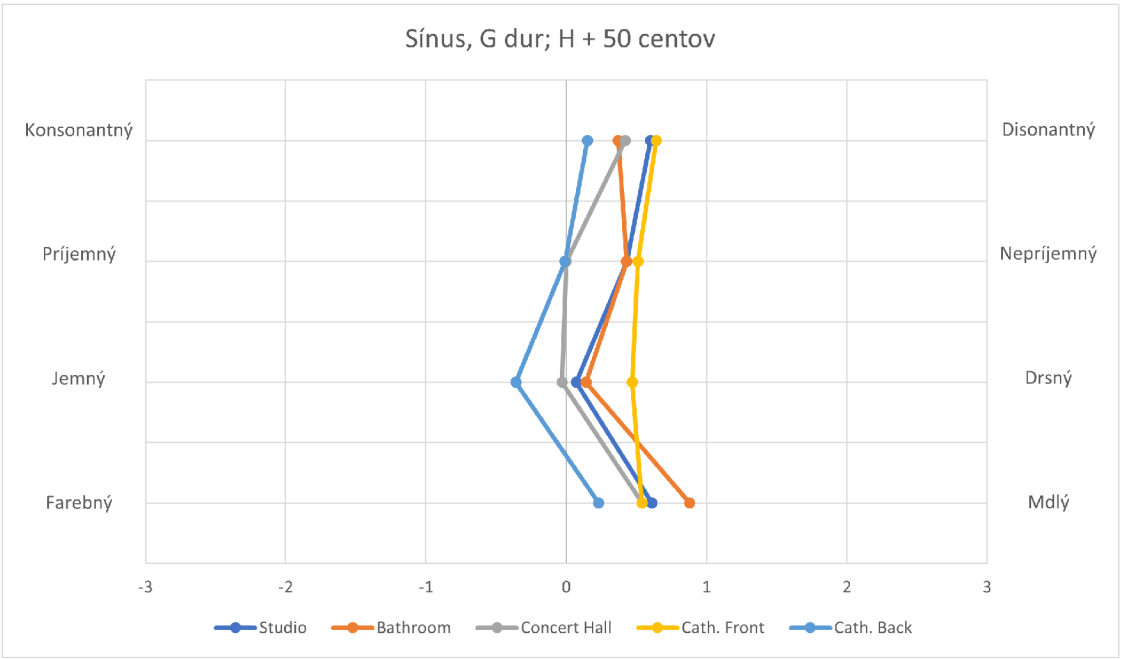


Obr. 7.1: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 1.

7.1.2 Skupina 2

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	2	6	21	11	**27**	**27**	6	Disonantný
	2	7	25	13	**29**	19	5	
	2	11	18	7	**40**	18	4	
	1	9	16	13	27	**28**	6	
	3	7	**38**	4	26	16	6	
Príjemný	2	2	27	14	**40**	12	3	Nepríjemný
	3	5	20	20	**33**	16	3	
	4	13	25	16	**33**	6	3	
	3	5	20	17	**36**	13	6	
	6	12	**30**	11	26	11	4	
Jemný	5	17	20	11	**30**	13	4	Drsný
	2	11	**33**	7	32	11	4	
	2	15	**34**	9	26	11	3	
	3	11	23	8	**27**	21	7	
	7	17	**35**	10	21	9	1	
Farebný	1	**7**	23	11	**30**	22	6	Mdlý
	5	**6**	11	9	29	**33**	7	
	3	12	18	10	25	**27**	5	
	3	**10**	21	9	**30**	19	8	
	2	19	**23**	10	**23**	15	8	

Tab. 7.2: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 2.



Obr. 7.2: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 2.

Znovu možno vidieť prostredia Studio a Cath. Front ako najmenej konsonantné a najmenej príjemné. Bohatosť dozvuku znova spôsobila menší vnem drsnosti a taktiež pridala vzorkám na farebnosti.

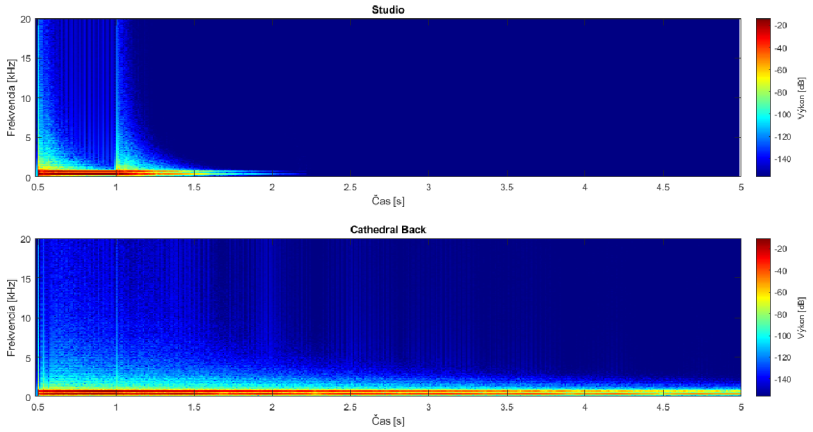
7.1.3 Skupina 3

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	2	8	28	16	**29**	11	6	Disonantný
	1	12	24	4	**31**	22	6	
	3	9	23	13	**37**	12	3	
	3	14	28	8	**31**	12	4	
	2	15	**33**	9	23	16	2	
Príjemný	3	7	23	27	**31**	6	3	Nepríjemný
	6	7	20	14	**35**	15	3	
	2	12	25	14	**37**	8	2	
	2	17	23	13	**31**	11	3	
	5	12	**26**	12	23	20	2	
Jemný	5	18	**37**	13	22	4	1	Drsný
	5	12	16	7	**39**	17	4	
	2	21	**37**	5	26	8	1	
	3	19	**32**	8	27	9	2	
	8	21	**29**	9	17	15	1	
Ostrý	4	**6**	16	10	**31**	24	9	Jemný
	1	**16**	20	4	28	**31**	0	
	2	12	20	6	**29**	26	5	
	4	**13**	24	8	**29**	20	2	
	4	20	21	9	**25**	15	6	

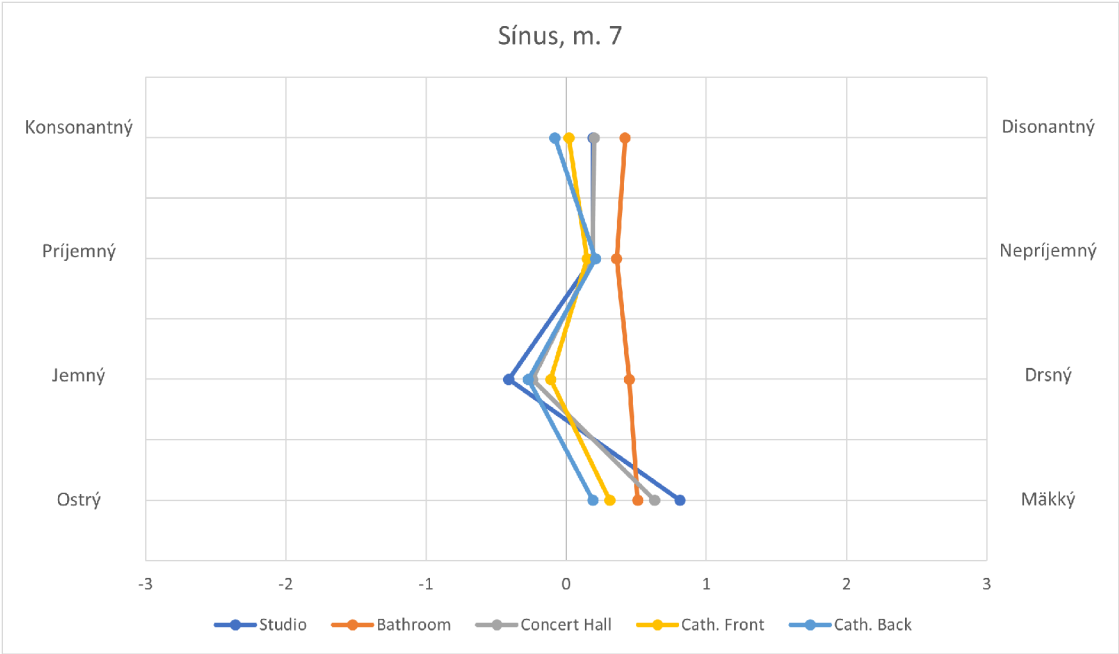
Tab. 7.3: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 3.

V tomto prípade sa predpokladom mierne vymyká prostredie Bathroom: Toto môže byť pripísané faktu, že to je prvý zvuk dotazníka, a i napriek piatim úvodným zvukom nemusel byť hodnotený úplne objektívne.

Pri hodnotení ostrosti je možné vidieť, že ako mäkkšie zvuky boli označené tie, ktorým chýba drsnosť (viz Studio označené ako najjemnejšie je zároveň najmäkkšie), alebo tie, ktorých spektrum je vo vyšších frekvenciách menej bohaté. Toto súhlasí s popisom dimenzií farby spomenutých v časti 2.2.



Obr. 7.3: Porovnanie spektier prostredí Studio (najviac mäkké) a Cath. Back (najviac ostré).



Obr. 7.4: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 3.

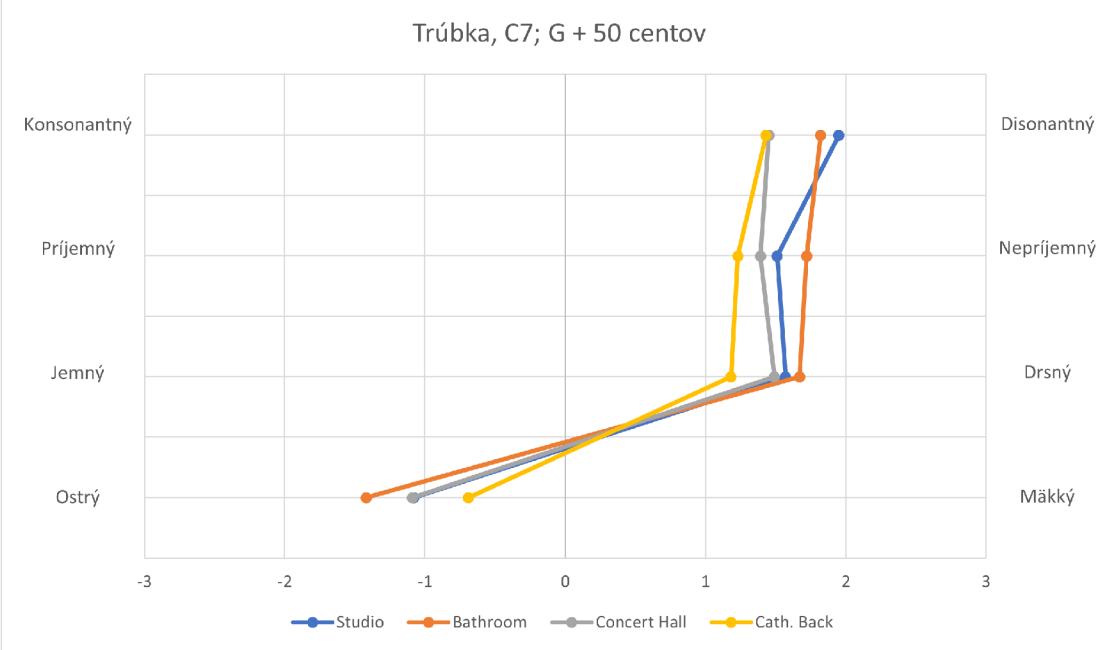
7.1.4 Skupina 4

Vzorky v skupinách 4 a 5 boli zoradené zostupne v poradí: Studio, Bathroom, Concert Hall, Cathedral Back.

V tejto skupine je vidieť súvislosť medzi drsnosťou a ostrosťou a tiež jasnosťou. Prostredie Bathroom bolo označené ako najviac drsné a zo spektra možno určiť,

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	1	5	3	4	6	38	**43**	Disonantný
	0	3	8	2	14	**37**	36	
	2	3	8	5	21	**39**	22	
	1	6	9	1	23	**36**	24	
Príjemný	2	2	6	11	27	**35**	17	Nepríjemný
	2	0	6	10	23	**36**	23	
	0	5	8	9	**36**	26	16	
	0	5	10	14	**35**	22	14	
Jemný	0	2	5	11	31	**38**	13	Drsný
	0	2	6	4	**36**	**36**	16	
	0	3	9	5	35	**37**	11	
	1	7	8	7	**40**	31	6	
Ostrý	14	**37**	29	6	12	2	0	Mäkký
	22	**41**	26	2	8	1	0	
	18	31	**34**	5	7	4	1	
	9	**34**	32	6	8	7	4	

Tab. 7.4: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 4.

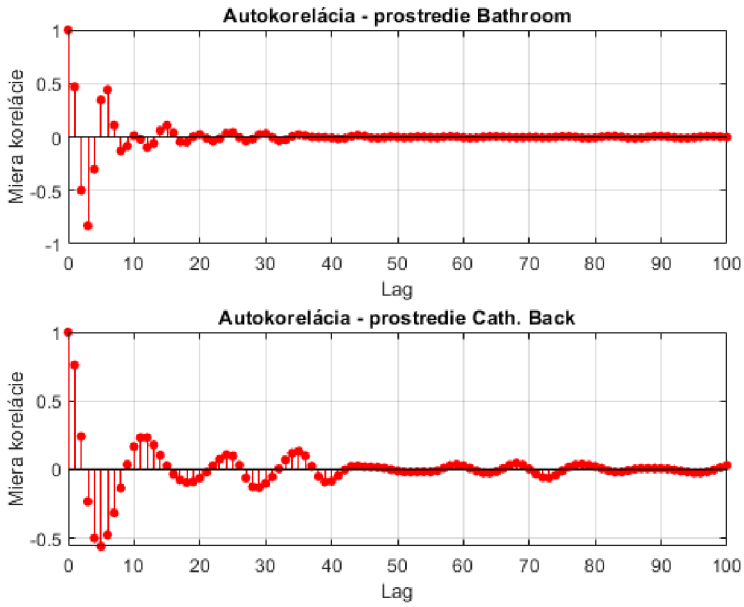


Obr. 7.5: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 4.

že Bathroom má tiež sústredené väčšie množstvo energie vo vyšších frekvenciách v porovnaní s napr. Cath. Back, ktoré bolo označené ako najmenej ostré.

Porovnaním pomocou funkcie autokorelácie možno vidieť rozdiely medzi prostrediami označenými ako najviac a najmenej drsné. V Bathroom sa nachádza veľa opakovaní zhodnosti a rozdielnosti vo vysokej frekvencii (čo môže naznačovať vyššiu

drsnosť), narozdiel od pomalších zmien v Cath. Back.



Obr. 7.6: Porovnanie výsledkov autokorelácie pre vz. Bathroom a Cath. Back.

7.1.5 Skupina 5

Poradie vzoriek je rovnaké ako v skupine 4, a to zostupne: Studio, Bathroom, Concert Hall, Cathedral Back.

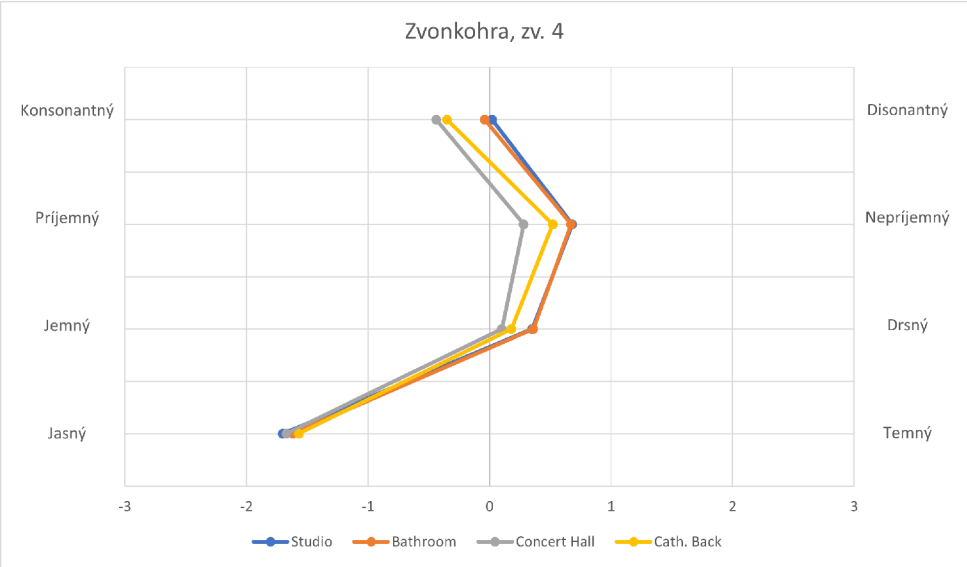
Zvonkohra má vo svojom spektre prítomné šumy a inharmonicity.

Znova sa potvrdilo vnímanie konsonancie a príjemnosti pri prostrediach s bohatším dozvukom. Dozvuk v prostredí Cathedral Back sa však ukázal ako pravdepodobne príliš bohatý a výrazne ubral na hodnotení príjemnosti zvuku.

Prítomnosť šumov v hornej časti frekvenčného spektra zrejme spôsobila fakt, že boli všetky zvuky hodnotené ako približne rovnako jasné. Výrazná zmena by bola očakávaná iba v prípade, že by nejaké prostredie výrazne potlačovalo vyššie frekvencie.

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	6	14	19	16	**27**	14	4	Disonantný
	5	13	25	13	**29**	12	3	
	10	15	**30**	8	28	9	0	
	4	24	**25**	12	22	11	2	
Príjemný	2	5	22	16	**36**	11	8	Nepríjemný
	2	5	26	12	**33**	15	7	
	5	8	26	15	**36**	7	3	
	4	9	**28**	7	**28**	17	7	
Jemný	3	14	21	14	**33**	10	5	Drsný
	5	13	23	10	**27**	19	3	
	8	12	27	7	**36**	8	2	
	6	17	20	17	**23**	12	5	
Jasný	37	**42**	10	6	2	2	1	Temný
	34	**45**	10	3	4	3	1	
	42	33	16	1	3	5	0	
	42	34	10	4	4	4	2	

Tab. 7.5: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 5.



Obr. 7.7: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 5.

7.1.6 Skupina 6

V tejto skupine sú všetky vzorky v prostredí Concert Hall, v tabuľke sú zostupne zoradené: G dur, veľká septima, čistá kvinta.

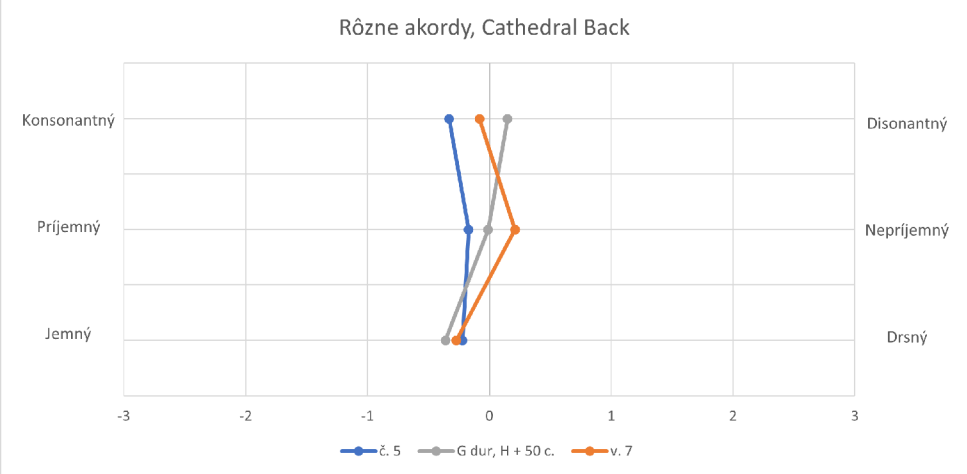
Vplyv bohatého dozvuku nemal na vnem konsonancie veľmi výrazný vplyv - najviac konsonantný interval čistej kvinty podľa teórie bol hodnotený ako najviac

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	3	7	**38**	4	26	16	6	Disonantný
	2	15	**33**	9	23	16	2	
	4	19	**32**	11	22	9	3	
Príjemný	6	12	**30**	11	26	11	4	Nepríjemný
	5	12	**26**	12	23	20	2	
	8	18	**27**	18	19	8	2	
Jemný	7	17	**35**	10	21	9	1	Drsný
	8	21	**29**	9	17	15	1	
	9	22	26	7	**28**	7	1	

Tab. 7.6: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 6.

konsonantný, naopak interval G dur s posunutím o štvrťtón zostal vnímaný ako najviac disonantný. Rozdiely medzi vzorkami sú však malé - rozdiel medzi dvoma okrajovými hodnotami je na škále približne 0,5.

Zaujímavé je, že ako najviac nepríjemný sa zdal interval malej septimy, i napriek jeho hodnoteniu prikláňajúcemu sa ku konsonancii. Takisto sa ukázal vplyv dozvuku na vnem drsnosti - všetky intervaly sú na škále približne na rovnakom mieste a prikláňajú sa k jemnej polovici škály.



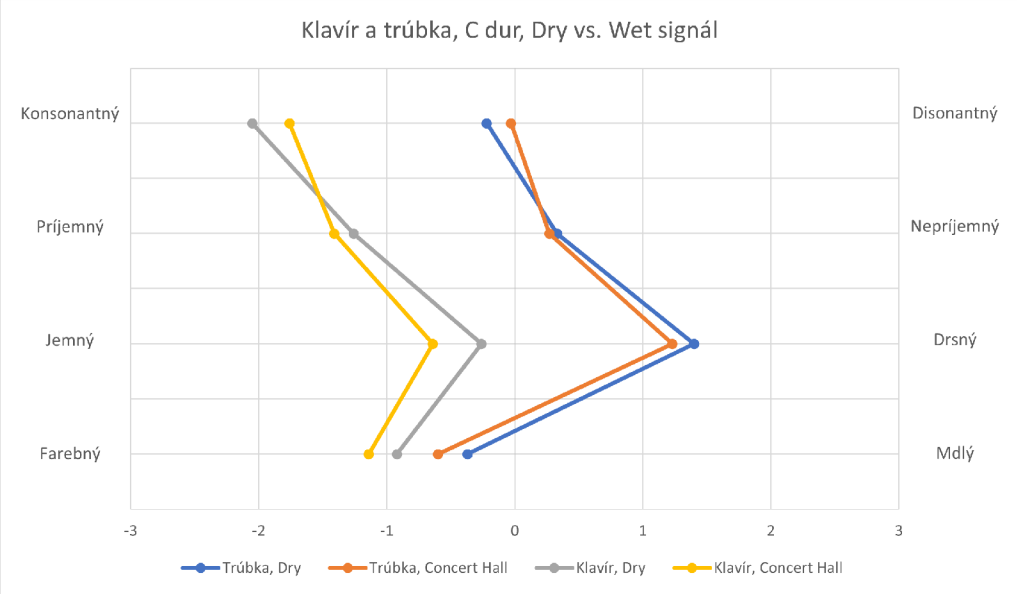
Obr. 7.8: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 6.

7.1.7 Skupina 7

Poradie vzoriek v tabuľke je zostupne: trúbka bez dozvuku, trúbka v prostredí Concert Hall, klavír bez dozvuku, klavír v prostredí Concert Hall. Boli použité obraty akordu C dur, keďže sa táto skupina sústredí hlavne na skúmanie vplyvu absencie dozvuku na vnem príjemnosti.

	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	9	**26**	20	3	17	15	10	Disonantný
	2	18	**27**	12	20	17	4	
	37	**42**	14	4	2	1	0	
	36	35	13	4	9	3	0	
Príjemný	1	20	**26**	10	21	16	6	Nepríjemný
	2	13	29	13	**31**	11	1	
	23	**37**	25	8	5	2	0	
	24	**39**	28	6	3	0	0	
Jemný	1	2	13	6	**37**	32	9	Drsný
	0	4	11	10	**45**	26	4	
	7	21	**32**	15	17	6	2	
	12	**30**	28	8	19	3	0	
Farebný	11	**34**	18	7	14	13	3	Mdlý
	6	**38**	29	6	14	6	1	
	17	**36**	25	7	9	6	0	
	23	**36**	24	6	7	4	0	

Tab. 7.7: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 7.



Obr. 7.9: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 7.

Predpokladalo sa, že akordy v prostredí bez dozvuku budú vnímané ako menej príjemné. Tento predpoklad sa naplnil, i keď rozdiely sú v prípade oboch dvojíc takmer zanedbateľné.

Nastal ale výrazný rozdiel vo vnímaní konsonancie, kde boli oba zvuky bez dozvuku označené ako disonantnejšie. Oba zvuky s dozvukom boli tiež označené ako farebnejšie než zvuky bez neho.

7.1.8 Skupina 8

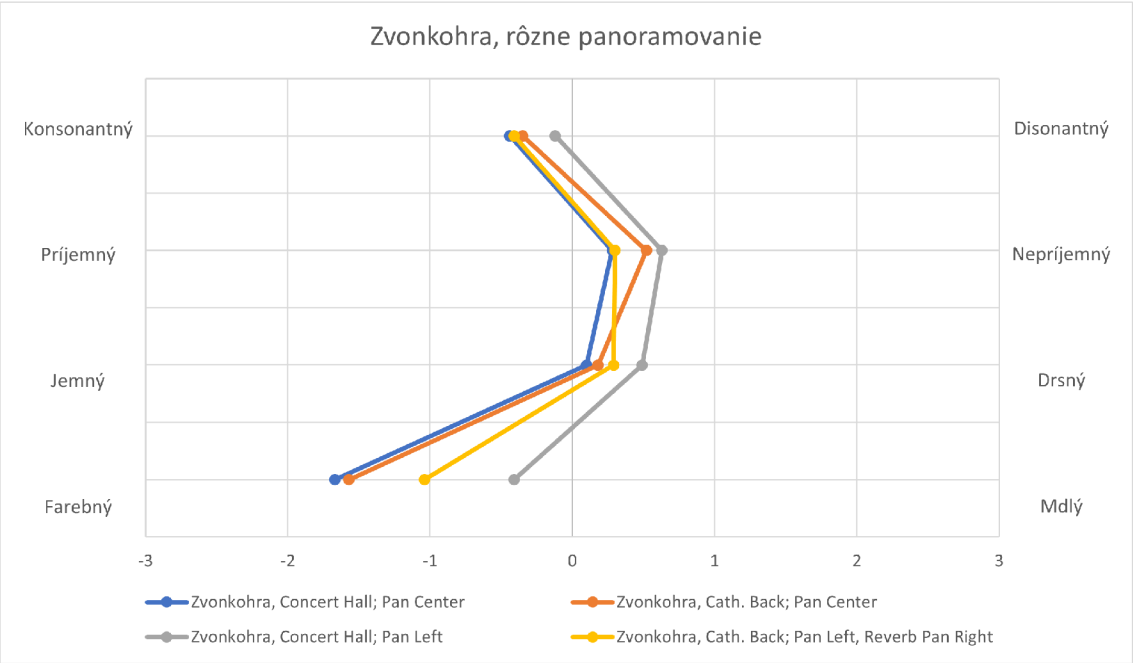
	M [%]	V [%]	T [%]	A [%]	T [%]	V [%]	M [%]	
Konsonantný	10	15	**30**	8	28	9	0	Disonantný
	6	14	27	9	**28**	15	1	
	4	24	**25**	12	22	11	2	
	8	**29**	16	10	20	14	3	
	4	8	18	6	**26**	25	13	
	9	19	13	4	**27**	17	11	
Príjemný	5	8	26	15	**36**	7	3	Nepríjemný
	6	5	25	10	**34**	14	6	
	4	9	**28**	7	**28**	17	7	
	5	13	**34**	6	24	10	8	
	4	18	**28**	16	21	8	5	
	13	14	**29**	6	26	7	5	
Jemný	8	12	27	7	**36**	8	2	Drsný
	3	18	18	11	**28**	19	3	
	6	17	20	17	**23**	12	5	
	10	**19**	15	13	18	**19**	6	
	2	15	**34**	9	29	10	1	
	6	**25**	24	9	**25**	8	3	
Farebný	**42**	33	16	1	3	5	0	Mdlý
	9	27	**34**	6	14	8	2	
	42	34	10	4	4	4	2	
	18	**34**	32	6	9	1	0	
	3	**35**	23	7	25	6	1	
	9	**32**	25	9	16	6	3	

Tab. 7.8: Percentuálne rozloženie odpovedí pre skupinu 8.

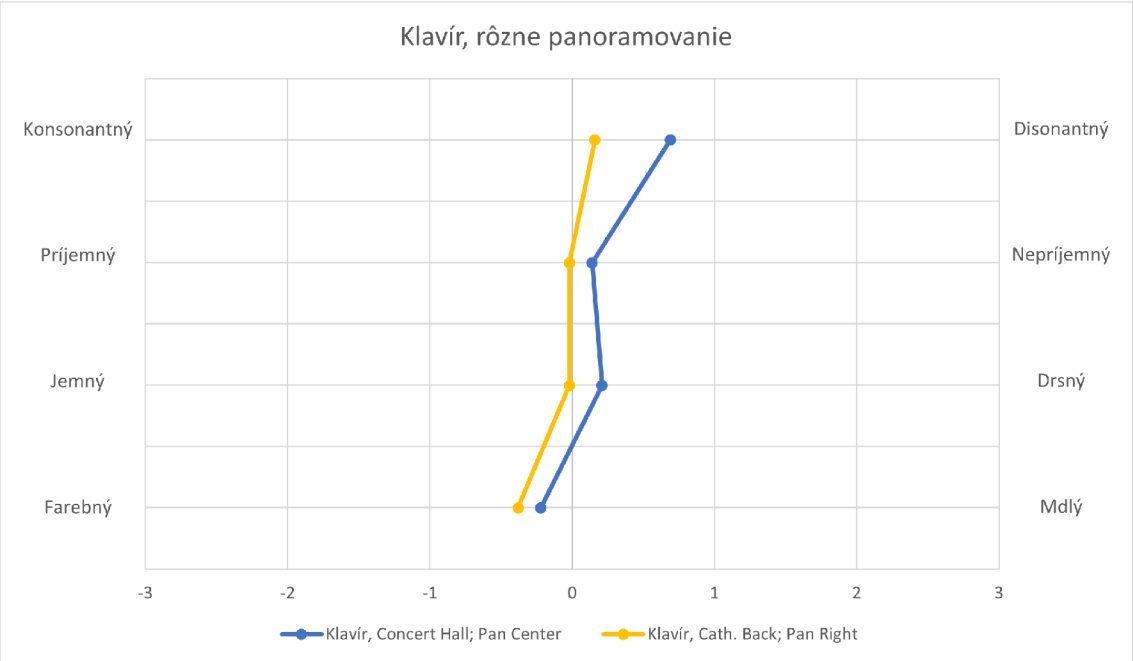
V poslednej skupine bolo k dozvuku pridané i rôzne rozloženie na stereo osi. Vzorky sú usporiadané zostupne: zvonkohra prostredie Concert Hall panoramovaná na stred, následne ten istý akord panoramovaný doľava, zvonkohra v prostredí Cathedral Back na stred, následne panoramovaná doľava s dozvukom panoramovaným doprava, klavír v prostredí Concert Hall panoramovaný na stred, klavír v Cathedral Back panoramovaný napravo od stredu stereo osi.

Pri zvonkohre sa nenaplnil predpoklad o zamaskovaní disonancie posunutím zvuku na stereo osi. Pri panoramovaní mimo stred v prostredí Concert Hall bol dokonca vnem disonancie najvyšší. Vzorky panoramované mimo stredu sa dokonca zdali respondentom ako drsnejšie.

Vzorky panovamované na stred stereo osi boli ale označené ako výrazne farebnejšie.



(a) Zvonkohra



(b) Klavír

Obr. 7.10: Vyhodnotenie sém. diferenciálu pre skupinu 8.

V prípade klavíra bol zvuk panoramovaný mimo stredu osy v prostredí s bohatším dozvukom označený ako konsonantnejší, príjemnejší, jemnejší i farebnejší. Predpoklad o zmenšení vnemu disonancie posunutím zvuku mimo stred stereo osi sa teda v tomto prípade vyplnil. Výrazná zmena v hodnotení tejto dvojice však

mohla byť spôsobená nielen panoramovaním, ale i zmenou bohatosti dozvuku - toto možno sledovať i v zvýšení dojmu farebnosti, ktorý v predchádzajúcom prípade naopak klesol.

7.1.9 Vyhodnotenie podľa žánrových preferencií

Východná hudba a príjemnosť

Vyhodnocované boli iba vzorky zo skupín 1 - 5 a skúmaný bol vnem príjemnosti. Výber vzoriek bol zvolený na základe pravidiel disonancie v západnej hudbe - teda prevažne európskeho a amerického hudobného mainstreamu (ďalej ozn. ako západná hudba). Bol teda vynesený predpoklad, že ľudia pravidelne počúvajúci i žánre iných kultúr budú zvyknutí na iné druhy harmónie, v ktorých sa často objavujú rôzne prvky v európskej hudbe považované za veľmi disonantné a preto málo používané.

Možno konštatovať, že tento predpoklad sa vyplnil. Ľudia, ktorí označili, že počúvajú aj inú než západnú hudbu, hodnotili takmer všetky vzorky ako príjemnejšie, v mnohých prípadoch dokonca oveľa príjemnejšie než zvyšní respodenti.

Jazz, metal, punk a konsonancia, príjemnosť

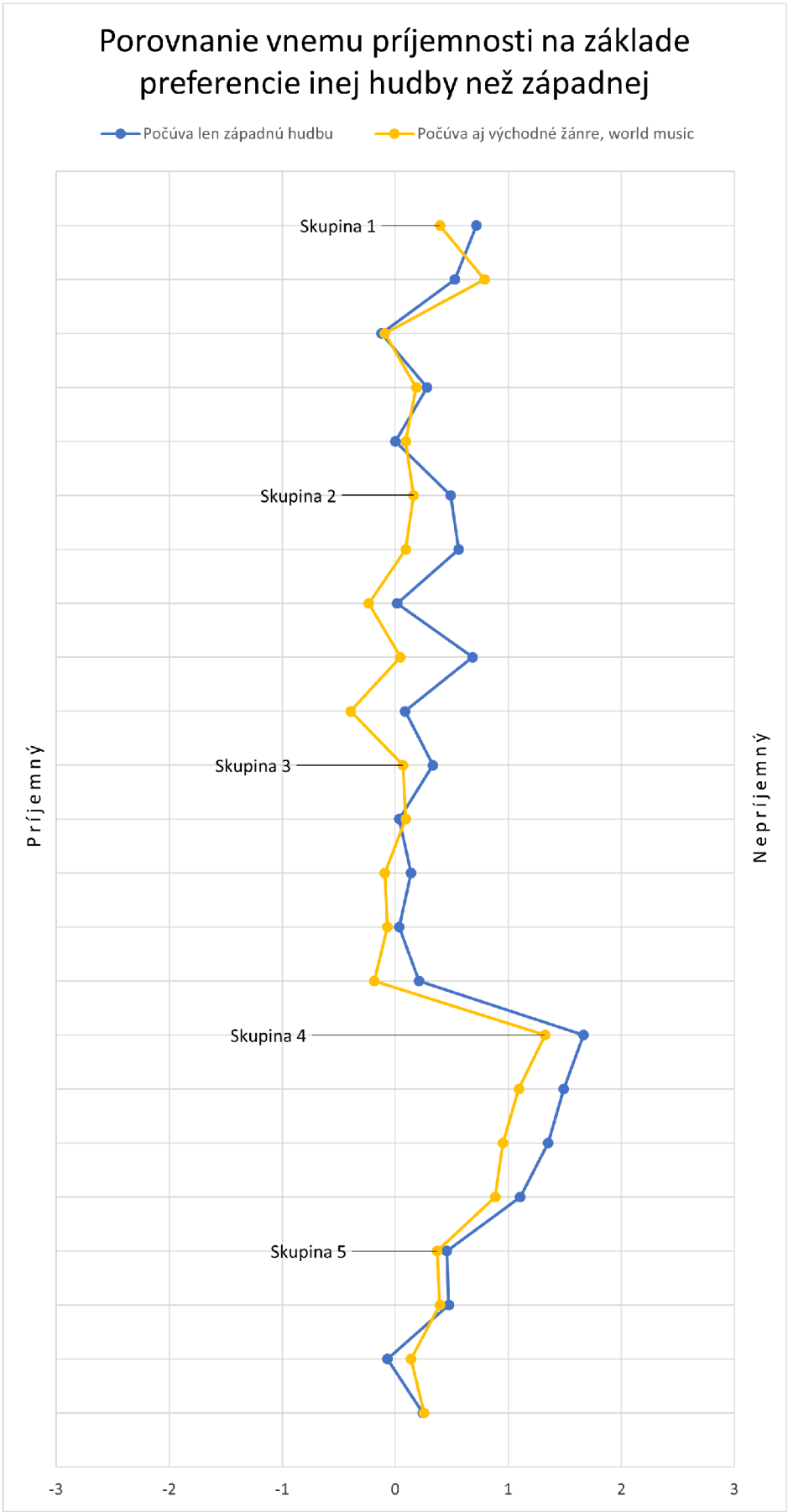
Ďalším z predpokladov bol, že fanúšikovia žánrov, v ktorých sa vyskytujú intervaly označované ako disonantné, budú tieto intervaly hodnotiť ako príjemnejšie. Popri vneme príjemnosti bol vynesený tiež vnem konsonancie kvôli zisteniu súvislosti medzi disonanciou a nepríjemnosťou.

Boli porovnávané tri skupiny: celkové výsledky dotazníka, skupina ľudí, ktorí označili, že počúvajú jazz a skupina ľudí, ktorí označili ako preferované žánre metal alebo punk. Predpokladalo sa, že obe podskupiny budú vnímať disonantné intervaly ako menej nepríjemné.

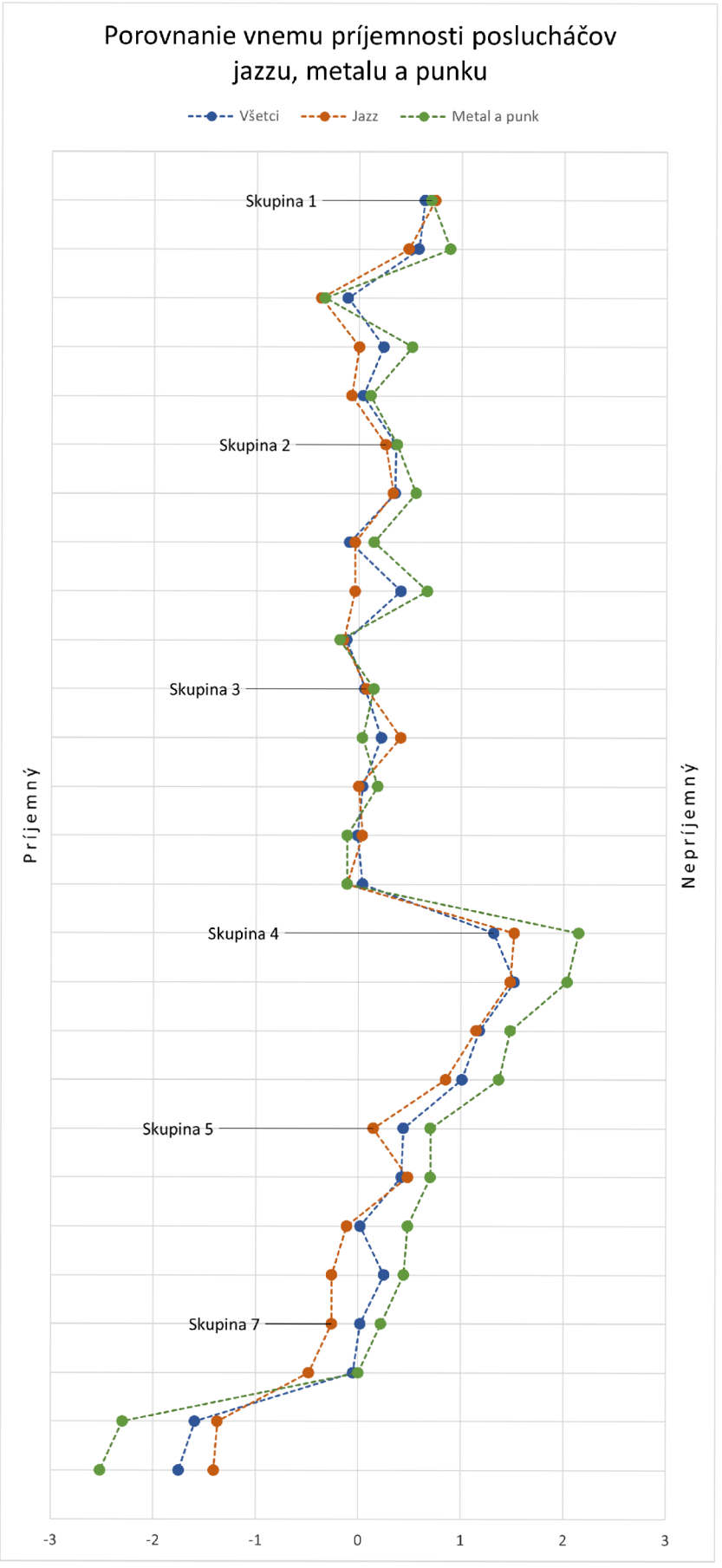
Možno tu sledovať tiež vplyv farby zvuku na subjektívny vnem. Poslucháči metalu a punku hodnotili najmä zvuky trúbky ako najviac disonantné a nepríjemné spomedzi všetkých troch hodnotiacich skupín. Vzorky klavíru v 7. skupine však hodnotili ako disonantné, no napriek tomu príjemné. Podľa teórie je však akord C dur chápaný ako konsonantný.

Tiež je vidno, že hlavne pri skupinách sínusových a trojuholníkových signálov bol ich vnem príjemnosti závislý na prostrediach, hlavne v prvých dvoch skupinách možno vidieť extrémy.

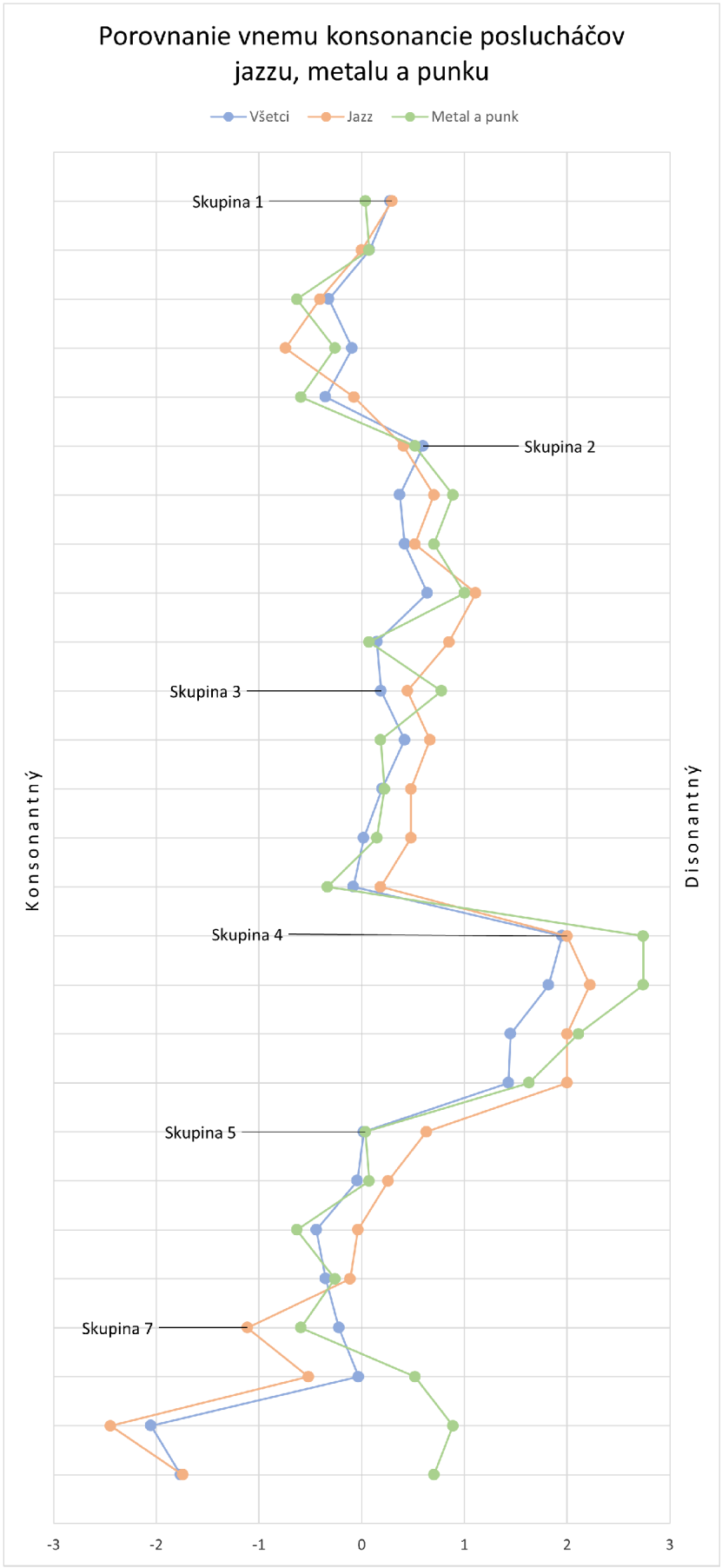
Poslucháči jazzu oveľa častejšie identifikovali intervaly ako disonantné, s výnimkou 7. skupiny, ktorá ale bola konsonantná. Zároveň ale rôzne dozvuky nemali veľký vplyv na ich hodnotenie príjemnosti - vzorky hodnotili takmer konštantne ako príjemnejšie, než zvyšné dve skupiny.



Obr. 7.11: Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre poslucháčov hudby inej než len západnej.



Obr. 7.12: Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre vnem príjemnosti.

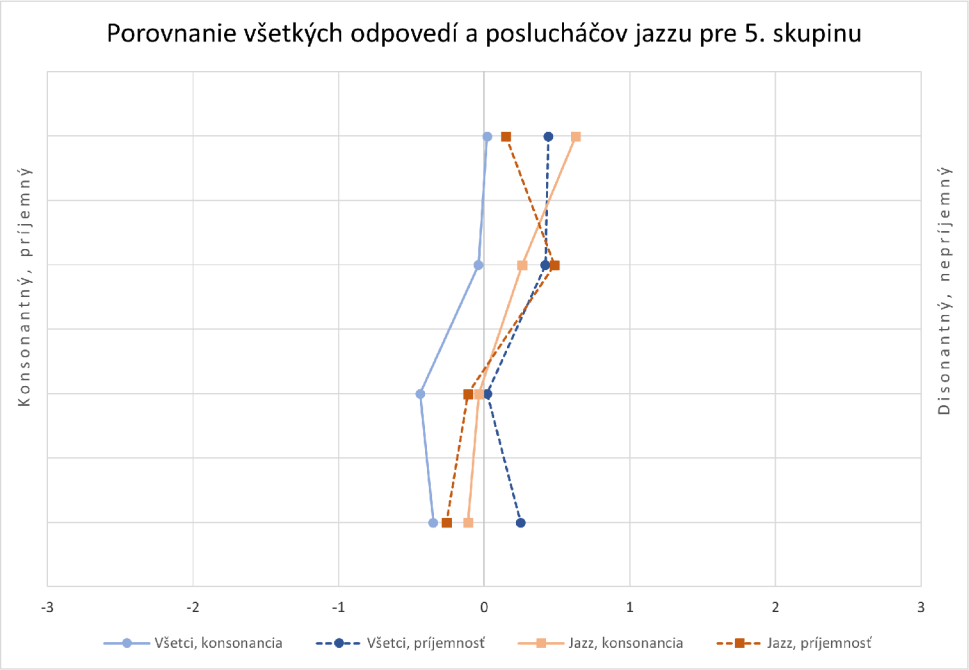


Obr. 7.13: Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre vnem konsonancie.

Pri porovnaní 7. skupiny síce hodnotili poslucháči jazzu oba Dry vzorky ako konsonantnejšie, no zároveň i ako nepríjemnejšie než vzorky s pridaným dozvukom. V tejto skupine ľudí sa teda predpoklad o vplyve neprítomnosti dozvuku potvrdil.

Zaujímavé je tiež porovnanie odpovedí poslucháčov jazzu v skupine 5. Hraný interval, tritón, v jazzovej hudbe využívaný pomerne často poskytuje detail faktu, ktorý je viditeľný v celom vyhodnotenom dotazníku.

Poslucháči jazzu označili tento interval konzistentne ako disonantnejší než bol celkový priemer. Rovnako im ale v takmer všetkých prípadoch prišiel i príjemnejší. Možno teda povedať, že súvislosť medzi príjemnosťou a konsonanciou je veľm subjektívna a závislá i na hudobných preferenciách.



Obr. 7.14: Vyhodnotenie sémantického diferenciálu pre 5. skupinu, poslucháči jazzu.

7.2 Kontrola zhody odpovedí

Hodnoty smerodajných odchýliek sa držali v rozmedzí približne 0,9 - 1,5. Vyššie hodnoty sa vyskytovali málo, najvyššia približne 1,9 bola zaznamenaná pri porovnávaní konsonancie zvuku bez dozvuku zo 7. skupiny. Rozloženie odpovedí v tejto skupiny však veľmi záležalo na respondentovom vzťahu k hudbe, ako už bolo rozobrané v predchádzajúcich častiach.

Tiež bola spravená jednoduchá kontrola preferencie strán škál. Hodnoty prislúchajúce jednotlivým bodom škály zostali rovnaké ako pri výpočte výsledných hodnôt, ale kladná a záporná strana sa navzájom odčítali. Absolútna hodnota ich

výsledku určuje mieru preferencie jednej či druhej polovice škály. Rozdiely boli väčšinou vysoké (väčšie ako 50), čo značí jednoznačnú preferenciu jednej polovice spektra.

Vyskytlo sa ale i 12 nízkych hodnôt (0 - 4), a to pri nasledujúcich prípadoch: určenie farebnosti pri vz. sínusu v prostredí Cathedral, príjemnosť malej septimy - až 3 prostredia, konsonancia zv. kvarty - 2 prostredia, jediný nulový výsledok bol pri prostredí Cath. Back - určenie ostrosti vz. sínusu. Nerozhodnosť respondentov v spomenutých prípadoch sa dá vysvetliť rôznym chápaním farby zvuku medzi skupinami laikov a hudobníkov či iných profesionálov. Ľudia znalí hudobnej teórie rozpoznajú zvuk sínusu a podvedome im bude znieť mäkko a mdlo. Prípad príjemnosti je zase veľmi subjektívny a jedine jeho bližšie skúmanie rozdelením na ešte viac podskupín ľudí by prinieslo jednoznačné výsledky.

Veľkosť smerodajných odchýliek hovorí teda o tom, že sa väčšina odpovedí držala v relatívne blízkom okolí priemernej hodnoty (t. j. výslednej hodnoty vynesenej v grafoch) a hodnoty preferencií strán hovoria o tom, že respondenti mali tendenciu preferovať jednu polovicu spektra nad druhou namiesto odpovede prostrednej.

7.3 Možné budúce rozšírenia výskumu

Táto práca je len úvodom do skúmania vplyvu dozvuku na subjektívny vnem zvuku. Nedalo sa v nej podrobne skúmať všetko, inak by bola príliš rozsiahla a spracovanie údajov príliš náročné. Boli v nej ale načrtnuté súvislosti a tiež poskytuje niekoľko možností, ako ju rozšíriť ďalším skúmaním.

Nebolo možné sa podrobne venovať skúmaniu vplyvu binaurálneho posluchu a rôzneho panoramovania priameho signálu a dozvuku. Rovnako by bolo zaujímavé spraviť výskum použitím skutočných nástrojov, nie iba samplov. Ďalšia možnosť rozšírenia, ktorá by mohla poskytnúť zaujímavé výsledky je zamerať sa nielen na samostatné akordy, ale na viac akordov postupujúcioch za sebou v kadencii, a dať ich do súvislosti s preferenciami dozvukov pre rôzne žánre.

Záver

Bakalárska práca skúmala vplyv rôznych dozvukov na subjektívny vnem konsonancie, príjemnosti a farby súzvukov.

Práca začína popisom základných psychoakustických veličín. Ďalej sú teoreticky rozobraté základné dimenzie farby zvuku a vnem konsonancie a disonancie. Taktiež sú spomenuté faktory vplývajúce na subjektívny vnem zvuku. Toto je kľúčová časť teoretickej časti, keďže podľa týchto faktorov boli následne vybraté použité súzvuky a tiež skupiny respondentov. Nakoniec teoretická časť pojednáva o dozvuku a spôsoboch jeho digitálneho simulovania.

Na základe teoretických poznatkov bola vybraná experimentálna metóda sémantického diferenciálu a v nej 32 zvukových vzoriek, všetky boli hodnotené na štyroch bipolárnych škálach. Kvôli pandémii COVID-19 a bezpečnostným opatreniam sa musel prieskum konať pomocou on-line dotazníka. V ňom bolo v úvode uvedených 5 vzoriek, na ktorých boli popísané použité atribúty hodnotené v dotazníku a tiež textový opis všetkých skúmaných veličín v snahe čo najviac zamedziť prípadné nedorozumenia.

Na zvukoch sa skúmalo niekoľko predpokladov.

Pri disonantných súzvukoch sa ukazovala preferencia dlhších a bohatších dozvukov - prostredia Concert Hall a Cathedral Back. Prostredia s menšou mierou dozvuku boli zase opakovane určované ako menej príjemné.

Potvrdil sa tiež predpoklad, že prostredie Cathedral Front bude maskovať disonanciu menej než Cathedral Back. Toto bolo zapríčinené oveľa dlhšou dobou medzi priamym signálom a nástupom dozvuku. Tento fakt spôsobil nielen možnosť počuť zvuk predtým, než bol zamaskovaný dozvukom, ale i menšou úrovňou reverbovaného signálu (ako dôsledok väčšej vzdialenosti potrebnej k dosiahnutiu poslucháča) a teda väčším rozdielom medzi užitočným signálom a reverbovou zložkou.

Pri skúmaní farby bolo zistené, že prostredie Bathroom podporovalo vnemy jasnosti a ostrosti, čo bolo pravdepodobne zapríčinené filtrom zdôrazňujúcim vyššie frekvenčné zložky. V skupine 7 sa tiež potvrdilo, že zvuk s pridaným dozvukom je vnímaný ako farebnejší. Vplyv rôznych dozvukov na vnem drsnosti je nejednoznačný. Vo výsledkoch je viditeľné, že zvuky označované ako disonantnejšie boli označované tiež ako drsnejšie, no je treba ešte ďalší prieskum na konsonantných zvukoch, keďže väčšina súzvukov skúmaných v tejto práci mala v sebe istú mieru disonancie.

Pri skupine s rôznym panoramovaním nebolo vidieť jasné potvrdenie predpokladu, že panoramovanie vzorku spôsobí väčšiu úroveň maskovania a teda väčší dojem konsonancie. V prípade zvukov zvonkohry treba tiež vziať do úvahy fakt, že panoramovanie zvukov mimo stredu znížilo ich príjemnosť a výrazne zmenšilo farebnosť.

V celkovom vyhodnotení dotanzíku sa tiež našla súvislosť medzi konsonanciou a príjemnosťou. Pri rozdelení respondentov do skupín podľa preferovanej hudby ale treba tento predpoklad viac rozvinúť. Najmä pri poslucháčoch jazzu je možné sledovať, že súvislosť medzi týmito dvoma atribútami nemusí byť vždy pravidlom. Možno diskutovať o vplyve rôznych faktorov. Hlavný vplyv môže byť znalosť hudobnej teórie a európskych zvyklostí v hudbe. Fanúšikovia jazzu si uvedomujú, že podľa tradičných hudobných zvyklostí sú niektoré akordy chápané ako disonantné, no keďže sú zvyknutí na ich počúvanie (alebo hranie), tak im istá miera disonancie príde príjemná. Rovnako zvuky bez dozvuku (sk. 7) im prídu menej príjemné, z čoho možno tiež dedukovať preferenciu disonancie namiesto čisto konsonantného akordu.

Ďalší predpoklad bol založený na preferencii svetovej hudby. Respondenti boli rozdelení do dvoch skupín na základe odpovede na otázku, či počúvajú aj inú ako tzv. západnú hudbu. Po porovnaní skupín sa potvrdilo, že poslucháči inej ako len západnej hudby hodnotili takmer všetky vzorky ako príjemnejšie, niektoré dokonca výrazne viac.

Možno skonštatovať, že so zvýšením bohatosti dozvuku sa znižuje miera vnímanej disonancie a celková farebnosť zvuku. Iné atribúty farby (napríklad jasnosť) sú závislé i na charaktere spektra nástroja, príjemnosť je zase závislá na subjektívnych hudobných preferenciách každého človeka.

Nepreukázala sa žiadna výrazná preferencia či averzia voči nejakému konkrétnemu prostrediu.

Výsledky mohli byť ovplyvnené faktom, že posluchový test bol rozosielaný online. Nedalo sa totiž zabezpečiť, aby všetci respondenti počúvali na rovnakom hardware. Je teda možné, že frekvenčná charakteristika rozdielnych slúchadiel reprodukovala farbu zvukov rozdielne. Rovnako posluch miestnosti na slúchadlách nikdy neprinesie dokonalé výsledky, ideálne by bolo experiment zopakovať vo zvukovo ošetrenej miestnosti.

Literatúra

[1] Akustika. [online], [cit. 2020-12-1], Dostupné z: http://www.audified.com/projekt/vavcjamu/vyuka/downloads-2/prednasky.html.

[2] bigcat Instruments. [online], [cit. 2020-12-1], Dostupné z: https://vst4free.com/dev/514/.

[3] TrueVerb User Manual.

[4] ČSN 01 1600: Akustika –Terminologie.

[5] BRADLEY, J. S.; SATO, H.; PICARD, M.: On the importance of early reflections for speech in rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2003, [online], [cit. 2021-5-27], Dostupné z: https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.1570439.

[6] BROWN, G.: What Digital Reverb Actually Does. [online], [cit. 2020-12-3], Dostupné z: https://www.izotope.com/en/learn/what-digital-reverb-actually-does.html.

[7] DEUTSCH, D.: *The psychology of music*. Deutsch, Diana: Department of Psychology, University of California, San Diego, La Jolla, CA, US, 92093-0109: Elsevier Academic Press, tøetí vydání, 2013, ISBN 978-0-12-381460-9.

[8] HILL, R.; SPRACKLEN, K.: *Heavy Fundametalisms: Music, metal and Politics*. Brill, 2020, ISBN 978-1-84888-017-7.

[9] JOHNSON-LAIRD, P. N.; KANG, O. E.; LEONG, Y. C.: On Musical Dissonance. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2012: s. 19–35, ISSN 07307829, 15338312, [online], [cit. 2020-12-1], Dostupné z: http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2012.30.1.19.

[10] KLIMEŠ, M.: Analýza vlivu jednotlivých harmonických složek nebo formantových oblastí na vjem barvy zvuku. 2020, [online], [cit. 2021-1-3], Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125867.

[11] LEVINE, M.: *The Jazz Theory Book*. Sher Music, 2011, ISBN 978-1883217044.

[12] MELKA, A.: *Základy experimentální psychoakustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, první vydání, 2005, ISBN 80-7331-043-0.

[13] PALISCA, C. V.; MOORE, B. C. J.: Consonance. 2001, [online], [cit. 2021-5-27], Dostupné z: http://dx.doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.06316.

[14] RASCH, R. A.; PLOMP, R.: The Perception of Musical Tones. [online], [cit. 2020-12-1], Dostupné z: http://uoneuro.uoregon.edu/wehr/coursepapers/Rasch-Plomp.html.

[15] SAYLES, M.; WINTER, I. M.: Reverberation Challenges the Temporal Representation of the Pitch of Complex Sounds. *Neuron*, 2008: s. 789–801, ISSN 0896-6273, [online], [cit. 2021-5-27], Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.03.029.

[16] SKARNITZL, R.: Akustika reči: Psychoakustika. 2008, [online], [cit. 2021-5-27], Dostupné z: https://fonetika.ff.cuni.cz/wp-content/uploads/sites/104/2016/06/3_psychoakustika.pdf.

[17] Smetana, C.: *Praktická elektroakustika*. SNTL, 1981.

[18] ŠTĚPÁNEK, J.; MORAVEC, O.: Barva hudebního zvuku a její slovní popis. 2005.

[19] SYROVÝ, V.: *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, tøetí vydání, 2013, ISBN 978-80-7331-297-8.

[20] ZENKL, L.: *ABC hudební náuky*. Praha: Bärenreiter Praha, 8 vydání, 2016, ISBN 978-80-86385-21-1.

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

7.4 Skratky

DAW Digital Audio Workstation

7.5 Veličiny

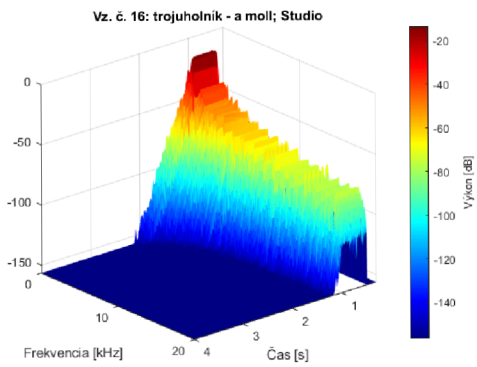
TP_{max} hladina skutočnej špičkovej hodnoty digitálneho signálu ... [dBTP]

L úroveň hlasitosti digitálneho zvukového programu podľa ITU-R BS. 1770 – Loudness Units Full-Scale ... [LUFS]

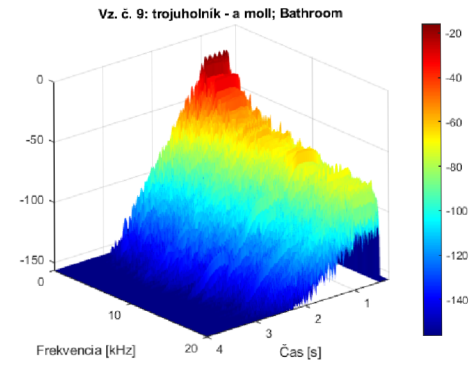
R drsnosť ... [acum]

Spektrogramy skúmaných vzoriek

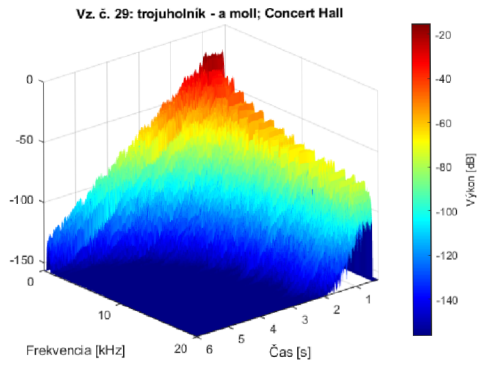
Pozn.: Niektoré spektrogramy sú uvedené viackrát, keďže niektoré vzorky sú skúmané vo viacerých skupinách.



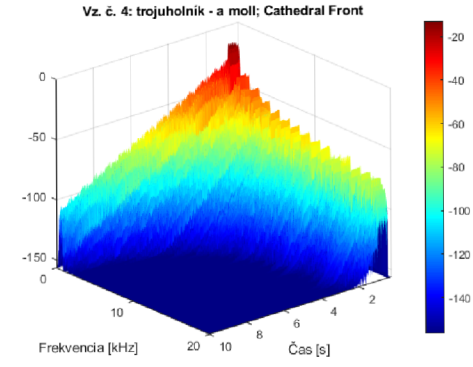
(a) Studio



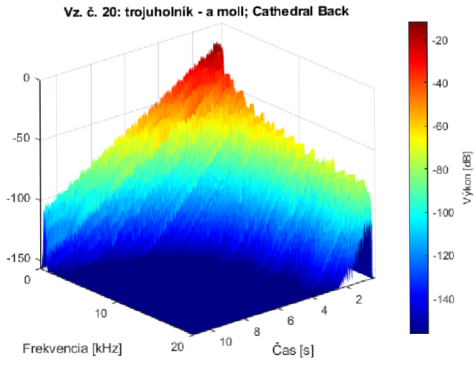
(b) Bathroom



(c) Concert Hall

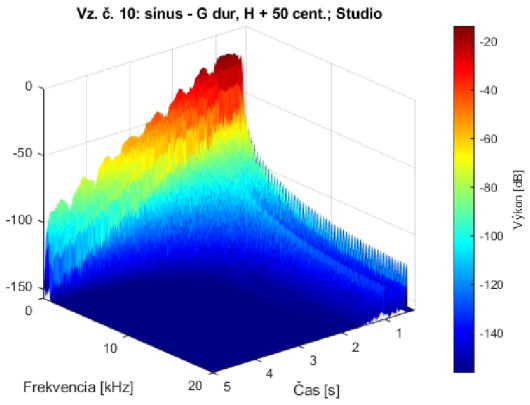


(d) Cathedral Front

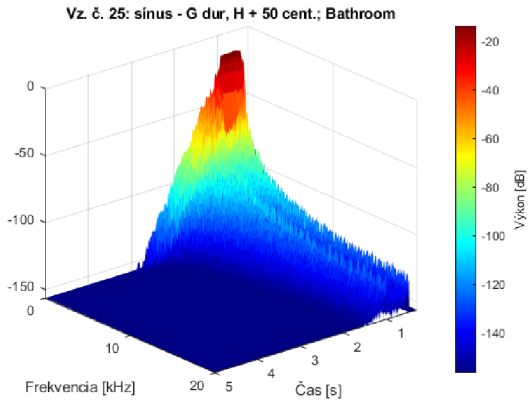


(e) Cathedral Back

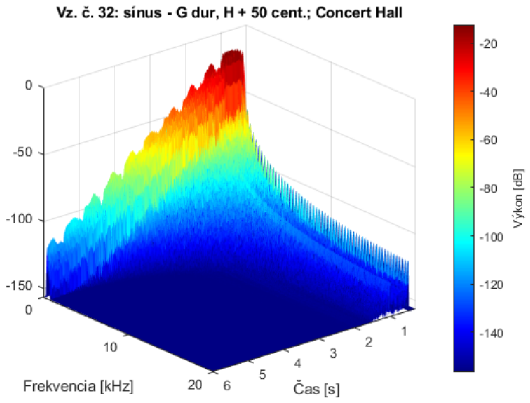
Obr. 15: Spektrogramy, skupina 1.



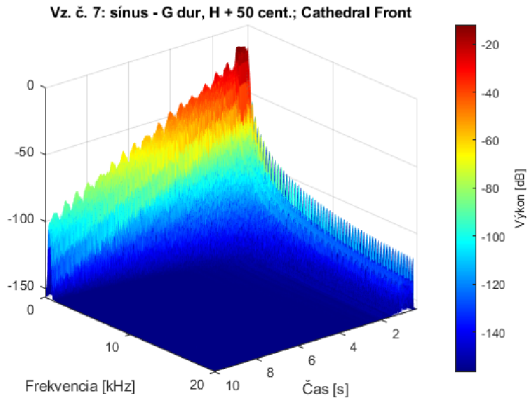
(a) Studio



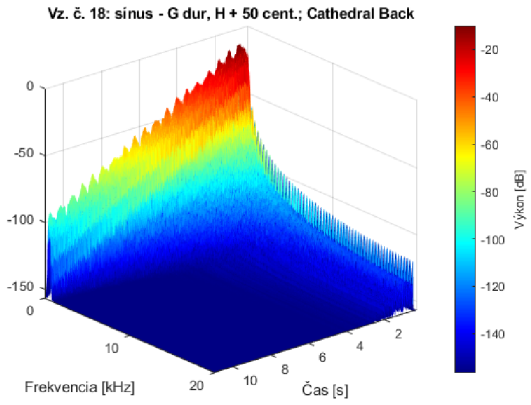
(b) Bathroom



(c) Concert Hall

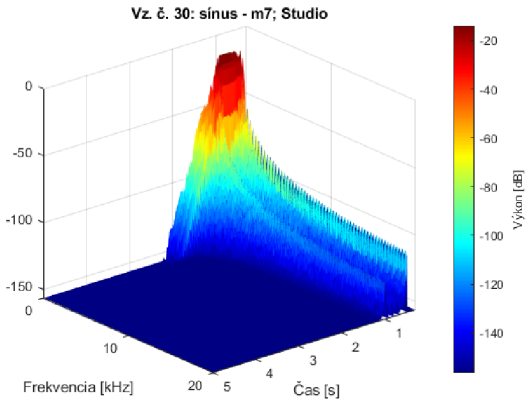


(d) Cathedral Front

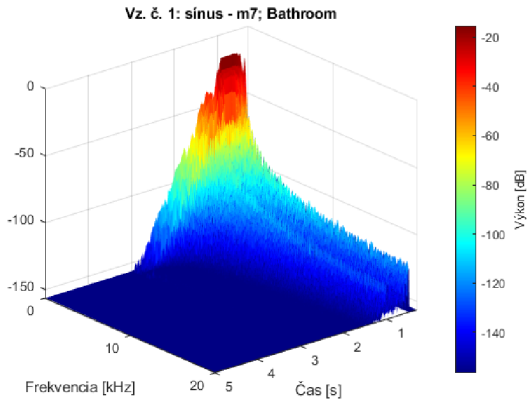


(e) Cathedral Back

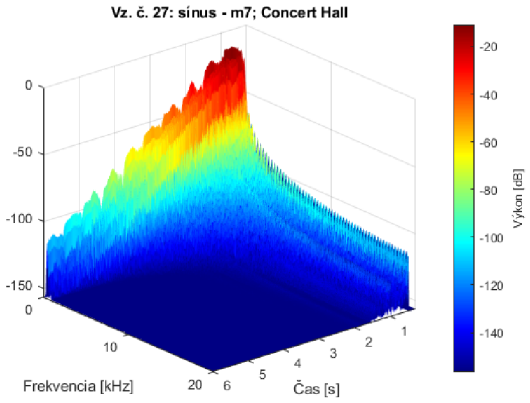
Obr. 16: Spektrogramy, skupina 2.



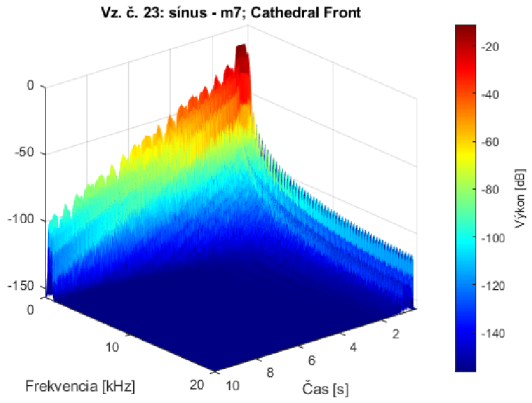
(a) Studio



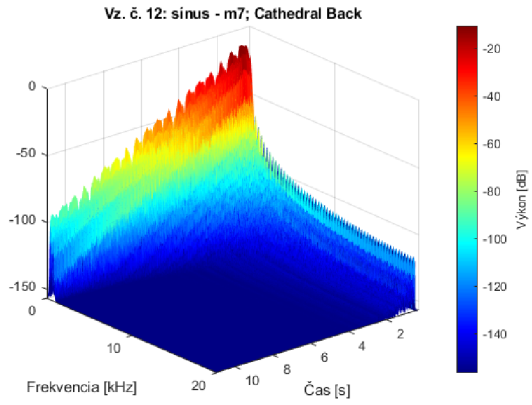
(b) Bathroom



(c) Concert Hall

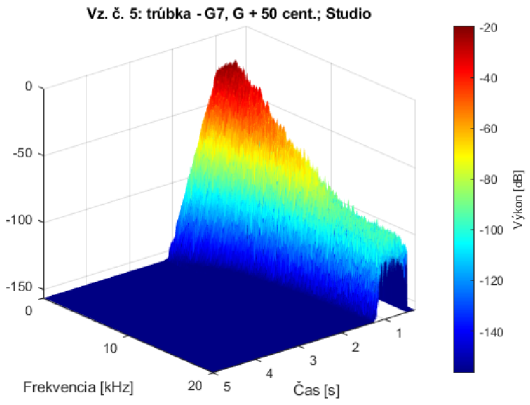


(d) Cathedral Front

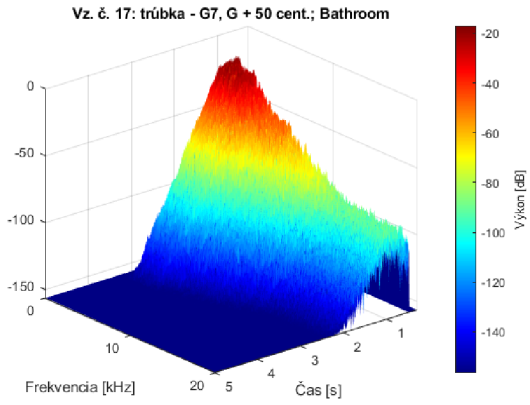


(e) Cathedral Back

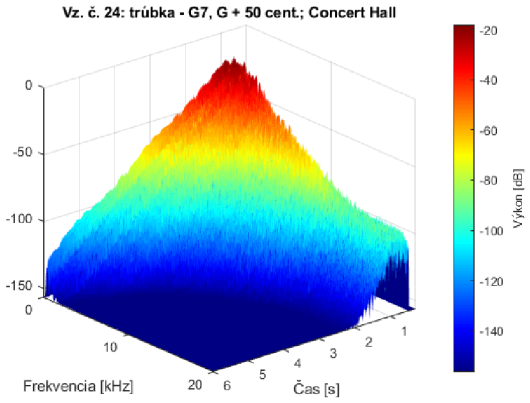
Obr. 17: Spektrogramy, skupina 3.



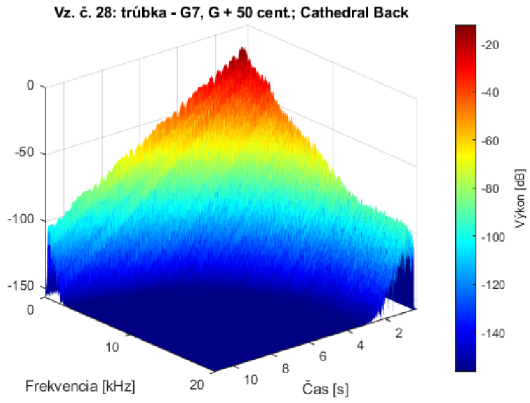
(a) Studio



(b) Bathroom

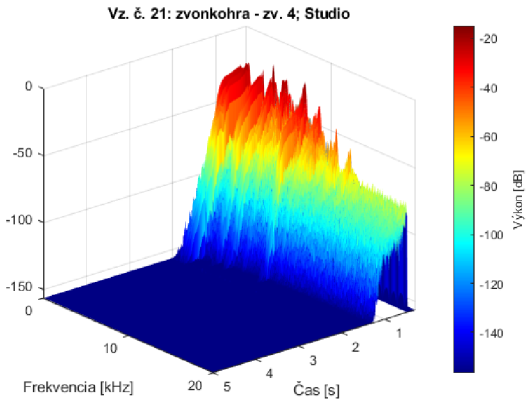


(c) Concert Hall

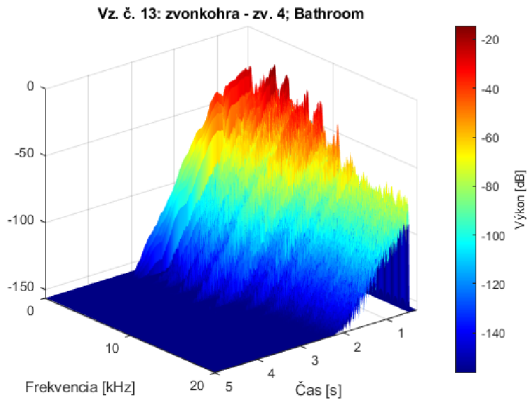


(d) Cathedral Back

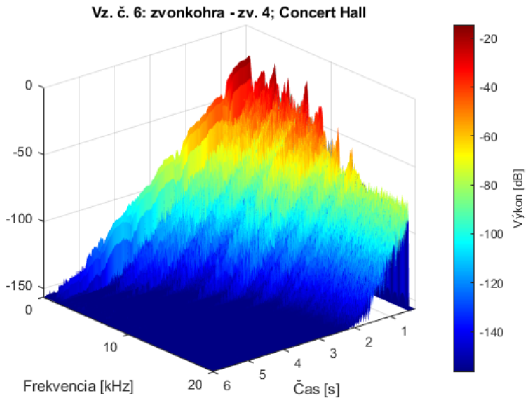
Obr. 18: Spektrogramy, skupina 4.



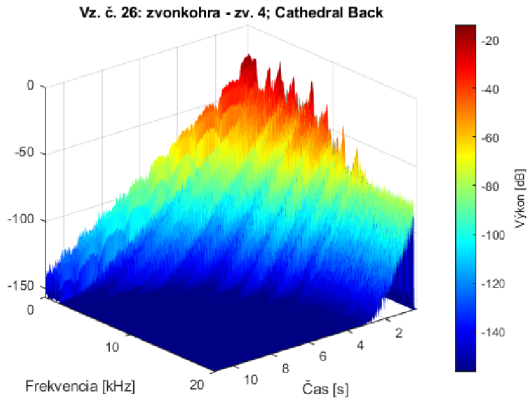
(a) Studio



(b) Bathroom

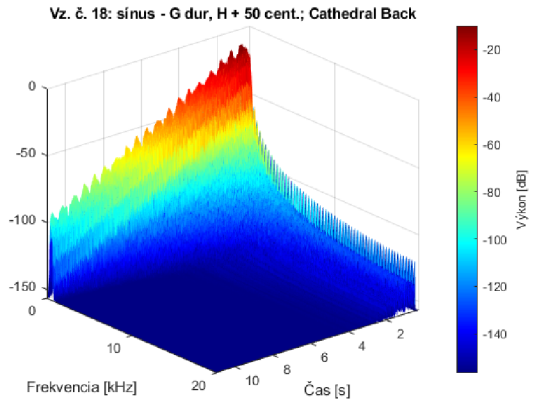


(c) Concert Hall

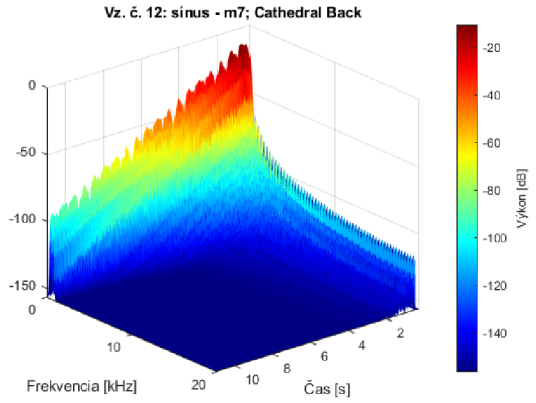


(d) Cathedral Back

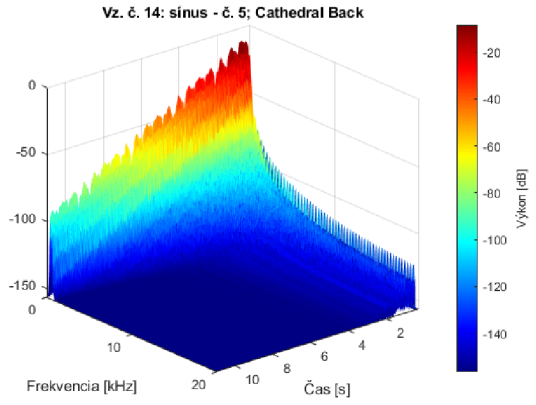
Obr. 19: Spektrogramy, skupina 5.



(a) G dur, H + 50 centov

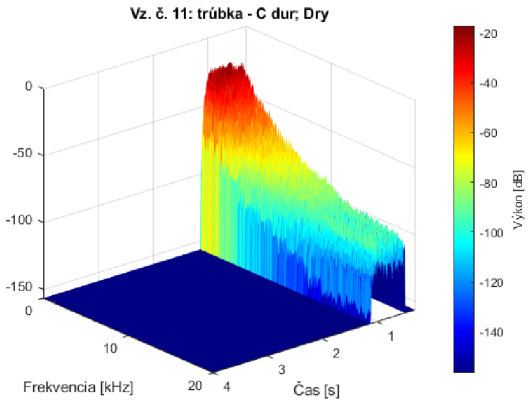


(b) v. septima

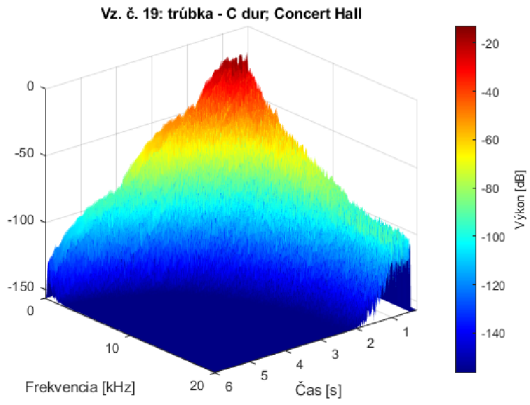


(c) č. kvinta

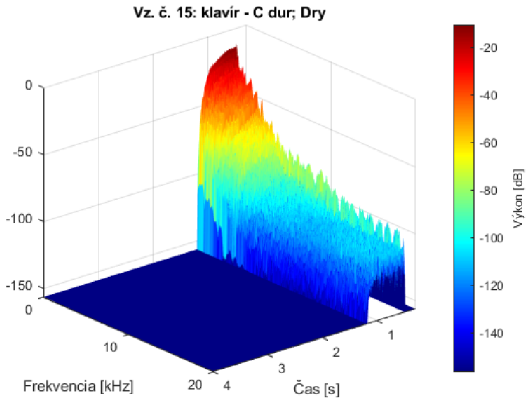
Obr. 20: Spektrogramy, skupina 6.



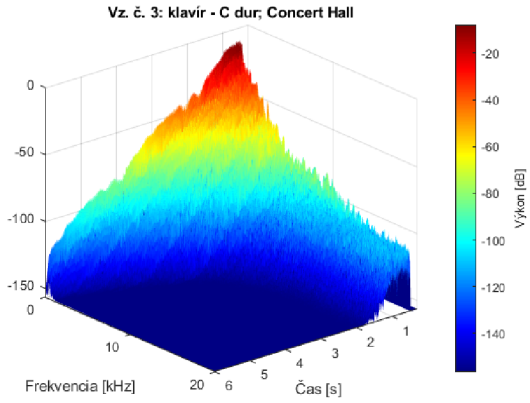
(a) Trúbka, dry



(b) Trúbka, Concert Hall

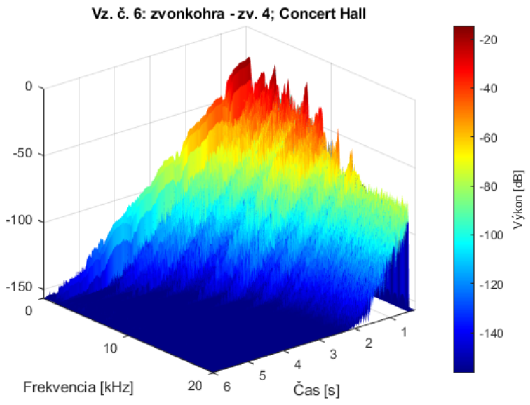


(c) Klavír, dry

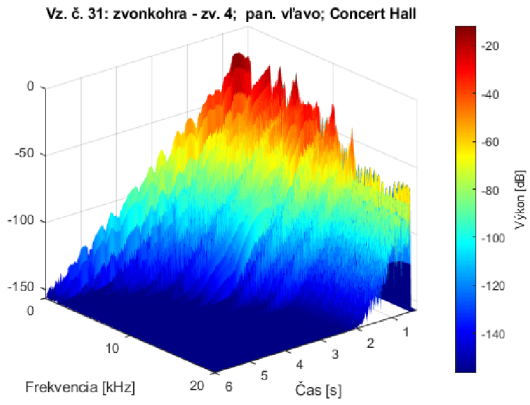


(d) Klavír, Concert Hall

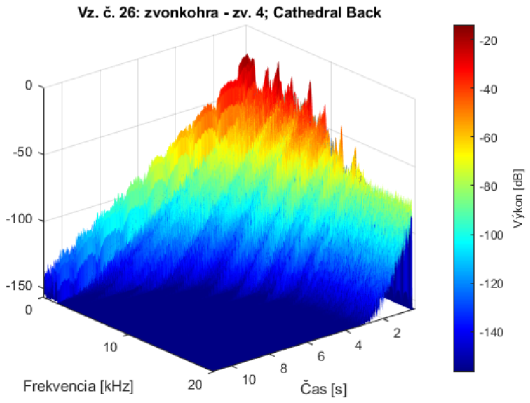
Obr. 21: Spektrogramy, skupina 7.



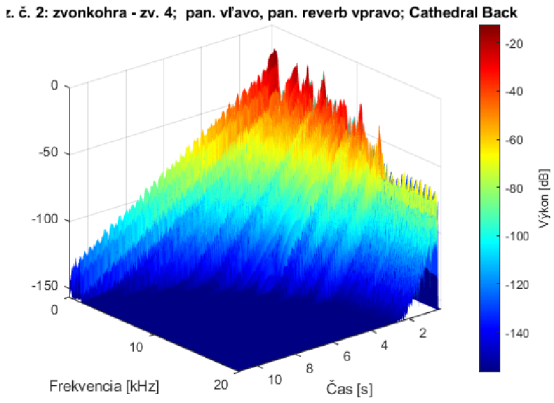
(a) Zvonkohra, Concert Hall



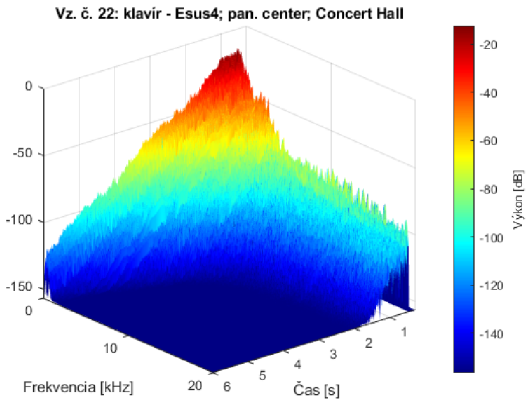
(b) Zvonkohra, Concert Hall



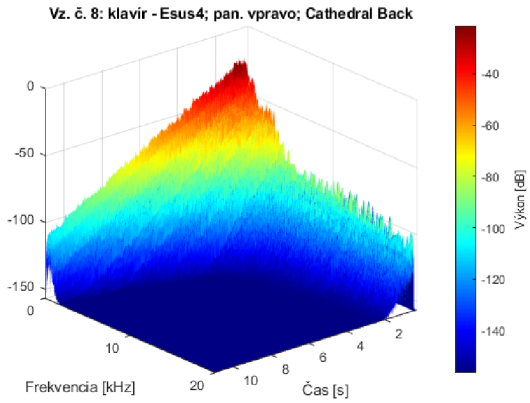
(c) Zvonkohra, Cathedral Back



(d) Zvonkohra, Cathedral Back



(e) Klavír, Concert Hall



(f) Klavír, Cathedral Back

Obr. 22: Spektrogramy, skupina 8.

Obsah elektronickej prílohy

- `Vzorky.zip`
  - `dotazník` ..... Vzorky použité v dotazníku, číslované podľa poradia v tab. 6.1.
    - `1.wav`
    - `2.wav`
    - ⋮
    - `31.wav`
    - `32.wav`
  - `intro` ..... Zvuky na zoznámenie respondenta s prostredím dotazníka.
    - `zvonkohra.wav`
    - `trúbka.wav`
    - `sínus.wav`
    - `píla.wav`
    - `klavír.wav`