

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

HUDEBNÍ A TANEČNÍ FAKULTA

Hudební umění

Zvuková tvorba

DISERTAČNÍ PRÁCE

**VLIV REPRODUKCE SLUCHÁTEK A REPRODUKTORŮ NA MIX
KLASICKÉ HUDBY**

MgA. Jakub Hadraba

Školitelé:	Doc. Tomáš Zikmund, Ing. Zdeněk Otčenášek, Ph.D.
Oponenti práce:	Prof. Ing. Václav Syrový, CSc., Ing. Pavel Bukovský
Datum obhajoby:	1. června 2014
Přidělovaný akademický titul:	Ph.D.

Praha, 2014

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

MUSIC AND DANCE FACULTY

Music Art

Sound Art

DISSERTATION

**THE EFFECT OF HEADPHONE AND LOUDSPEAKER
REPRODUCTION ON CLASSICAL MUSIC MIX BALANCE**

MgA. Jakub Hadraba

Advisors:	Doc. Tomáš Zikmund, Ing. Zdeněk Otčenášek, Ph.D.
Opponents:	Prof. Ing. Václav Syrový, CSc., Ing. Pavel Bukovský
Date of defence:	1. June 2014
Academic degree conferred:	Ph.D.

Prague, 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem „Vliv reprodukce sluchátek a reproduktorů na mix klasické hudby“ vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

Souhlasím s tím, aby moje disertační práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Knihovně Akademie múzických umění v Praze.

V Praze dne

.....
podpis diplomanta

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy tj. souhlasu autora a Akademie múzických umění v Praze.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá *srovnáním poslechu na reproduktory a sluchátka* a vlivem jejich rozdílných reprodukčních vlastností na *vyvážení mixu nahrávky klasické hudby*.

Těžištěm práce je *poslechový test*, v němž skupina zvukových mistrů smíchala vybrané hudební nahrávky na sluchátka a reproduktory. U zaznamenaných mixů je analyzováno, zda mezi mixy pořízenými na sluchátka a reproduktory dochází k *systematické změně v nastavení*. V rámci vyhodnocení byl zjištěn systematický rozdíl v preferenci *dozvukové složky* mezi oběma typy poslechu. Grafické zpracování výsledků podrobně dokumentuje *individuální přístupy* jednotlivých zvukových mistrů, stabilita individuálních modelů je ověřena *opakovanými testy* u vybraných respondentů.

Vybrané páry sluchátkových a reproduktorových mixů byly v následném testu hodnoceny *poslechovou skupinou*. Hodnocení probíhalo na reproduktory i na sluchátka. U odpovědí respondentů je zkoumáno, zda při poslechu na sluchátka byly účastníky častěji preferovány mixy smíchané na sluchátka a při poslechu na reproduktory častěji mixy smíchané na reproduktory. V rámci analýzy hodnocení *nebyly zjištěny výraznější preference dle typu poslechu* a neprokázalo se tedy, že by mixy byly optimální vždy pro typ poslechu, na němž byly smíchány, a na základě subjektivního hodnocení je šlo od sebe rozlišit.

Disertační práce dále přináší vyhodnocení *vlastního internetového průzkumu*, který statisticky dokumentuje současnou praxi využívání reproduktorů a sluchátek při míchání hudby. Zvláštní pozornost je v analýze věnována respondentům, kteří uvedli, že se profesně zabývají mícháním klasické hudby. Samostatná teoretická část práce je věnována *umělecko-technickému přístupu* zvukových mistrů k tvorbě zvukového obrazu klasické hudby, popisu užívaných technických prostředků a stylizačních postupů.

Abstract

Primary focus of the dissertation is *comparison of loudspeaker and headphone reproduction* and its *influence on the mix balance of classical music recordings*.

A *listening test*, which represents an essential part of the thesis, was performed on a test group of sound engineers who prepared mixes of selected recordings using both loudspeakers and headphones. An analysis of the resulting mixes was performed to find out if any *systematic changes* could be detected between headphone and loudspeaker mixes. The results disclosed a *systematic change in preference of reverberation*. *Individual approaches* of the sound engineers are documented by an extensive graphical section of the thesis. Level of stability of the individual models has been examined using *repeated testing* on selected participants.

Selected headphone and loudspeaker mixes have been further evaluated by a *listening group* in a second listening test. Differences between the mixes were judged using both loudspeakers and headphones. Answers of the participants were analysed to see if there was an increased preference of headphone mixes when judged using headphones and vice versa. The results *didn't show significant preference changes based on type of reproduction*. The selected mixes weren't found to be "more optimal" when listened to on their respective reproduction device, nor could they be identified based on the subjective preference test.

A special part is devoted to evaluation of an *internet-based survey* featuring a statistical documentation of loudspeaker and headphone usage in today's music recording industry. Special look has been taken at the group of respondents who indicated classical music as primary music genre of their profession. Another theoretical part of the thesis covers the *artistic and technical approach* of sound engineers to classical music sound image creation, including commonly used technical resources and stylization methods.

Poděkování

Rád bych poděkoval všem kolegům, kteří se zúčastnili poslechových testů a průzkumů v rámci přípravy této disertace.

Tuto práci s láskou věnuji své babičce, Boženě Kroupové.

Obsah

Seznam použitého označování a zkratk	1
Úvod	2
1. Zvukový obraz snímku klasické hudby	5
1.1 Umístění zdrojů zvuku na stereofonní reprodukční bázi	7
1.2 Šířka stereofonního obrazu	11
1.3 Hloubka stereofonního obrazu	13
1.4 Přizpůsobení barvy zvuku	16
1.5 Přizpůsobení dozvukové složky	18
1.5.1 Dozvuková vzdálenost	18
1.5.2 Doba dozvuku	20
1.5.3 Barva dozvuku	21
1.5.4 Časové vlastnosti dozvuku	22
1.5.5 Umělý dozvuk	23
1.6 Přizpůsobení dynamiky a vzájemné vyvážení zvukových zdrojů	24
2. Rozdíl reprodukce sluchátek a reproduktorů	27
2.1 Typy konstrukce sluchátek	27
2.2 Rozdíl v prostorové informaci a ekvalizace sluchátek	29
2.3 Rozdíl v lokalizaci	33
2.4 Kompatibilita zvukového obrazu	38
3. Internetový průzkum používání reproduktorů a sluchátek	41
3.1 Primární hudební žánr a produkční oblast	42
3.2 Předpokládaný způsob reprodukce na straně konzumentů	44
3.3 Živé míchání a testovací nahrávka	45
3.4 Preferovaný způsob reprodukce při míchání	46
3.5 Kompatibilita mixu pro reproduktory a sluchátka	48
3.6 Alternativní reproduktory a sluchátka simulující poslech na reproduktory	52
3.7 Nejspolehlivější poslech pro různé úkony v rámci zpracování snímku	54
4. Vliv rozdílné reprodukce sluchátek a reproduktorů na mix klasické hudby	58
4.1 Základní hypotéza	58
4.2 Cílová skupina respondentů a prostorově-technické podmínky testu	59
4.3 Mix 1	61
4.3.1 Zadání mixu	61
4.3.2 Vyhodnocení	62
4.4 Mix 2	64
4.4.1 Zadání mixu	64
4.4.2 Vyhodnocení	66
4.4.3 Vyhodnocení - signál STRANY	70

4.4.4	Vyhodnocení - signál HLAVNÍ	71
4.4.5	Vyhodnocení - signál DOZVUK	73
4.5	Mix 3	75
4.5.1	Zadání mixu	75
4.5.2	Vyhodnocení	77
4.5.3	Vyhodnocení - přímý a odražený zvuk	99
4.6	Shrnutí výsledků	103
5.	Zhodnocení mixů poslechovou skupinou	105
5.1	Výběr mixů	105
5.2	Výběr respondentů	106
5.3	Hypotéza a zadání testu	106
5.4	Ovládání a průběh testu	107
5.5	Analýza výsledků	108
	Závěr	119
	Použitá literatura	121

Seznam použitého označování a zkratek

EDT	Early Decay Time [s]. Doba, za níž poklesne úroveň zvuku po vypnutí zdroje o 10 dB oproti počáteční hodnotě.
f	frekvence [Hz]
HRTF	Head-related transfer function. Funkce popisující komplexní vliv hlavy, vnějšího ucha a trupu na frekvenční průběh zvukového signálu vnímaného sluchem.
ITDG	Doba prvního odrazu [s]. Hodnota ITDG popisuje časovou vzdálenost přímé zvukové vlny a prvního odrazu v místě posluchače.
ΔL	rozdíl v signálové úrovni [dB]
p	akustický tlak [Pa]
RMS	Root mean square. Anglická zkratka označující kvadratický průměr, u signálové úrovně označuje jeho efektivní hodnotu.
Δt	rozdíl v čase mezi signály [s]
T	Doba dozvuku [s]. Doba, za níž poklesne úroveň zvuku po vypnutí zdroje o 60 dB oproti počáteční hodnotě (T_{60}).

Úvod

Hlavní motivací pro vznik práce na toto téma byla vlastní zkušenost dlouhodobého srovnávání reprodukčních vlastností různých typů poslechu. Většinu času svého doktorského studia jsem pracoval jako mistr zvuku pro Český rozhlas. Záznam klasické hudby je často spojen s nahráváním v improvizovaných režiiích s mobilní nahrávací technikou a o klíčových parametrech technologie snímání je rozhodováno na základě poslechu na sluchátka. Následná postprodukce snímků je vždy svěřena poslechu na reproduktory, což v dlouhodobém měřítku rozvíjí u zvukového mistra schopnost ze sluchátkové reprodukce usuzovat výsledné parametry zvukového obrazu snímku při poslechu na reproduktory.

V současné době, kdy již vícestopý záznam patří mezi běžně rozšířené technologie i v mobilních pracovištích, je teoreticky možné přesunout řadu rozhodnutí o vyváženosti zvukového obrazu do oblasti postprodukce. Provizornímu poslechu však nadále zůstává svěřována celá řada parametrů, jejichž nepřesné vyhodnocení nemusí být možné v rámci dalšího zpracování snímku efektivně kompenzovat. Jedná se především o rozmístění zvukových zdrojů a akustických materiálů v nahrávacím prostoru, volbu typu a směrovosti mikrofonů, vyhodnocení vzdálenosti mikrofonů od zvukových zdrojů, optimalizaci lokalizačních vlastností u stereo-fonních systémů atd.

Jak bude uvedeno dále, existuje jen velmi málo výzkumných prací, které se rozdílly reprodukce sluchátek a reproduktorů podrobněji zabývají. Zvukovým mistrům nezbývá než vytvořit si osobní zkušenost s kompenzací reprodukčních vlastností, která bývá ovšem často spjata se specifickými poslechovými podmínkami - osobními referenčními sluchátky a referenční poslechovou režii. V profesních kruzích zvukových mistrů je v povědomí celá řada ustálených tvrzení ohledně kompatibility reprodukce, z nichž jen část se opírá o reálné psychoakustické vlastnosti poslechů a snese zobecnění nad rámec osobní zkušenosti.

Tato práce si klade za cíl objektivně přispět k problematice rozdílů obou typů poslechu nejen hlubším analytickým pohledem, ale především poslechovými testy. Jako zadání poslechových testů bylo vybráno míchání klasických snímků. Ačkoliv míchání nebývá u produkce klasické hudby často svěřováno sluchátkům, jedná se o proces, jehož výsledky lze dobře porovnávat. U míchání lze rovněž - na rozdíl od záznamu s interprety - zaručit opakovatelnost podmínek pro všechny respondenty, jelikož zpracovávají stejné signály.

Současný stav problematiky

Z dostupných zdrojů se nepodařilo nalézt mnoho studií, které by se srovnáváním reprodukce na sluchátka a reproduktory zabývaly. Níže jsou uvedeny čtyři výzkumy, jejichž výsledky jsou v rámci disertační práce srovnávány. U prvního výzkumu (Goossens a kol.) byly k testování použity měřící signály, u tří zbývajících byly použity hudební nahrávky a ve skupině respondentů byli pracovníci se zvukem.

1. Výzkum Sebastiana Goossense a kol. „*Loudness Perception with Headphone Presentation Compared to Loudspeaker Presentation*“ (Goossens a kol. 2010) se zabývá závislostí *subjektivního vjemu hlasitosti na akustickém tlaku v ušních kanálech* u reprodukce na sluchátka a reproduktory. V rámci výzkumu byly vyhodnoceny reakce respondentů na reprodukci šumových signálů různými typy sluchátek a reproduktorů v dozvukové místnosti. Pro stejný vjem hlasitosti byl *u poslechu na sluchátka* naměřen *vyšší akustický tlak* v ušních kanálech. Tento jev bývá v literatuře označován též jako SLD efekt (Schalldruckpegel-Lautstärke-Divergenz) - viz Stoll / Theile 1986.

Zvýšená úroveň akustického tlaku se u sluchátkové reprodukce projevila pouze při lokalizaci *uvnitř hlavy*, u dichotické reprodukce rozdíl zaznamenán nebyl. Kolektiv autorů formuluje závěr, že při poslechu na sluchátka dochází k rozdílnému vjemu hlasitosti v závislosti na *lokalizaci*. Některým zvukovým zdrojům (lokalizovaným v hlavě) může být tak u sluchátek přisuzován nižší subjektivní vjem hlasitosti, přičemž rozdíl akustického tlaku potřebný k dorovnání vjemu činí u fantomového středu cca 3 dB (Goossens a kol. 2010, str. 273).

2. Poslechový test Richarda Kinga, Bretta Leonarda a Grzegorza Sikory publikovaný ve studii „*The Effects of Monitoring Systems on Balance Preference*“ analyzuje nastavení *relativní úrovně sólového zpěvu vůči stereofonnímu obrazu orchestru* u deseti respondentů. V rámci analýzy uvádějí autoři *obecně nižší preferovanou úroveň sólového zpěvu při poslechu na reproduktory* (rozdíl středních hodnot cca 4 dB - viz King a kol. 2011, str. 4) a *vyšší varianci u hodnot naměřených na sluchátka*. Skupinu respondentů tvořili zvukoví mistři a studenti vysokoškolských zvukařských oborů.
3. Výzkum Bretta Leonarda a kol. „*The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference*“ se zabývá analýzou preference *množství dozvukové složky ve stereofonní nahrávce* při poslechu na reproduktory a sluchátka. Úlohou respondentů poslechového testu bylo nastavit *relativní úroveň dozvukové složky vůči předmíchanému přímému zvuku klasické nahrávky*. Z výsledků testu, jehož skupinu respondentů tvořili mistři zvuku, byla zjištěna preference *vyšších úrovní dozvukové složky při poslechu na reproduktory* (rozdíl středních hodnot cca 1,46 dB - viz Leonard a kol. 2013, str. 3). Jako hudební ukázka byl použit orchestr se sólovým zpěvem. Dozvuková složka byla generována jak z mikrofonních signálů v prostoru, tak umělým dozvukem.
4. Výzkumná práce Vincenta Koehla a kol. „*Comparison of subjective assessments obtained from listening tests through headphones and loudspeaker setups*“ (Koehl a kol. 2011) se zabývá srovnáním *subjektivních hodnocení nahrávek* na sluchátka a reproduktory. V testu hodnotila skupina dvanácti vysokoškolských studentů zvukařského oboru páry zvukových ukázek pořízené dvěma různými mikrofonními systémy s různou velikostí mikrofonních kapslí. Respondenti vyznačovali na stupnici míru podobnosti / odlišnosti obou ukázek a míru osobní preference. Z výsledků testu byl autory učiněn závěr, že *rozdíly mezi oběma mikrofonními systémy byly na sluchátka i reproduktory vnímány stejně*, a to jak v případě monofonní, tak stereofonní i vícekanálové reprodukce (pro sluchátkovou reprodukci byly vícekanálové záznamy převedeny na binaurální reprodukci pomocí HRTF funkcí).

K obsahu disertační práce

První kapitola je věnována *teorii vzniku zvukového obrazu* u nahrávky klasické hudby. Představuje hlavní aspekty umělecko-technického přístupu zvukových mistrů, včetně potřebných technických prostředků a běžně používaných stylizačních postupů. Kapitola je rozčleněna na šest základních kategorií optimalizace zvukového obrazu, každé z nich je věnována samostatná část:

- umístění zdroje zvuku na stereofonní reprodukční bázi
- šířka stereofonního obrazu
- hloubka stereofonního obrazu
- přizpůsobení barvy zvuku
- přizpůsobení dozvukové složky
- přizpůsobení dynamiky a vzájemné vyvážení zvukových zdrojů

Cílem první kapitoly je vytvořit u čtenáře širší povědomí o tom, jaké typy zvukové informace jsou pro mistra zvuku při tvorbě zvukového obrazu klíčové. Tato kapitola představuje teoretickou základnu pro celou práci. Veškeré poznatky o rozdílech v reprodukci obsažené v následujících kapitolách je nutné vnímat s ohledem na zde popisované souvislosti, aby bylo možné vyhodnotit, v jakém rozsahu mohou ovlivnit rozhodnutí zvukového mistra při vytváření zvukového obrazu klasické nahrávky.

Druhá kapitola představuje rozdíly v reprodukci sluchátek a reproduktorů, které jsou dané jejich rozdílnou *technologíí*. Zvláštní pozornost je věnována různým konstrukcím sluchátek, rozdílné prostorovosti reprodukce vlivem poslechové místnosti, ekvalizaci sluchátek a rozdílům v lokalizaci. Kompatibilita obou reprodukčních systémů je analyzována jak z pohledu záznamu, zhodnocením praktických možností zachycení potřebné stereofonní infor-

mace pro určitý typ poslechu, tak z hlediska reprodukce, kdy jsou představeny vybrané technologie kompenzující klíčové vlastnosti sluchátek a reproduktorů.

Třetí kapitola je věnována analýze výsledků *internetového průzkumu*, který byl uskutečněn v průběhu dubna a května 2013 pro mistry zvuku, kteří se profesně zabývají mícháním hudebních nahrávek. Průzkumu se zúčastnilo celkem 127 respondentů, což umožnilo v rámci analýzy vyhodnotit zvláště i odpovědi účastníků, kteří uvedli, že se profesně zabývají mícháním *klasické hudby*. Snahou internetového průzkumu je blíže zmapovat současnou praxi využívání poslechu na reproduktory a sluchátka při zpracování hudebních snímků. Součástí analýzy je i hodnocení spolehlivosti typů poslechu pro různé úkony v rámci zpracování hudební nahrávky.

Čtvrtá kapitola představuje první *poslechový test* uskutečněný v rámci dizertační práce. V testu byly smíchány vybrané hudební nahrávky skupinou mistrů zvuku na reproduktory a na sluchátka. Cílem testu bylo vyhodnotit, zda mezi mixy na sluchátka a reproduktory dochází *k systematické změně v nastavení* vlivem rozdílného poslechu. Poslechový test byl rozdělen na tři úlohy. Každé z nich je věnována zvláštní část kapitoly. Výsledné mixy jsou prezentovány v grafech, což čtenáři umožní snadno zhodnotit *individualitu přístupu* zvukových mistrů. U dvou vybraných respondentů byly uspořádány *opakované testy*, díky nimž je možné blíže prozkoumat stabilitu individuálního modelu.

Vybrané mixy z poslechového testu byly následně předloženy k hodnocení *poslechové skupině*; analýze tohoto hodnocení je věnována *pátá kapitola*. Respondenti hodnotícího testu srovnávali vždy mix na sluchátka s mixem na reproduktory od jednoho autora, hodnocení probíhalo na oba typy poslechu. Cílem testu bylo zjistit, zda budou při poslechu na reproduktory lépe hodnoceny mixy smíchané na reproduktory a při poslechu na sluchátka mixy sluchátkové. Test se zabývá otázkou, zda jsou hodnocené mixy *optimální pro oba typy poslechu, nebo více pro typ, na němž byly smíchané*. Vzhledem k tomu, že v hodnotící skupině byli přítomni i autoři mixů, bylo možné věnovat zvláštní analytický pohled tomu, jak hodnotili *své vlastní mixy*.

1. Zvukový obraz snímku klasické hudby

K tvorbě zvukového obrazu využívá mistr zvuku u klasické hudby celou řadu technických prostředků, jež lze dle účelu využití a cílového estetického účinku rozdělit do následujících kategorií:

- umístění zdroje zvuku na stereofonní reprodukční bázi
- úprava šířky stereofonního obrazu
- úprava hloubky stereofonního obrazu
- přizpůsobení barvy zvuku
- přizpůsobení dozvukové složky
- přizpůsobení dynamiky a vzájemné vyvážení zvukových zdrojů

U zvukového obrazu nahrávek klasické hudby hrají zcela zásadní roli akustické informace obsažené v *původním záznamu*. Jak bude evidentní z bližšího popisu prostředků jednotlivých kategorií dále, žádný z parametrů není možné zcela svobodně volit v postprodukčním zpracování zaznamenaných signálů. Aby nabyly technické prostředky na účinnosti, musí být již signály v *daném smyslu* zaznamenány. Například je v rámci zpracování zvukového obrazu možné ovlivnit vnímanou vzdálenost zdroje zvuku přimícháním odraženého zvuku s určitými vlastnostmi. Tento technický prostředek je však účinný pouze v případě, neobsahuje-li preexistující signál sám o sobě již příliš velké množství dozvukové složky. *Akustické vlastnosti zaznamenané v signálech stanovují hlavní limit pro rozsah účinnosti prostředků tvorby zvukového obrazu.*

U snímků klasické hudby platí oproti některým jiným hudebním žánrům¹ ještě jeden významný požadavek, a tím je *realistický a přirozený charakter zvukového obrazu*. Tento požadavek bezesporu vychází z původní akustické předlohy zvukového obrazu, jejíž klíčové parametry musí zůstat z principu zachovány, má-li se na ni zvukový obraz úspěšně odvolávat a má-li v představě posluchače dojít k co nejsnazšímu propojení s uvažovanou realitou. Hlavní příčinou je bezesporu značně rozvinutá sluchová zkušenost s provozováním klasické hudby v reálném prostoru, jak uvádí Prof. Václav Syrový (2009, str. 281):

„[...] Naprostá většina skladeb je již svou instrumentací či orchestrací předurčena pro živé provedení v reálném prostoru zaplněném posluchači. Toto provedení také představuje zvukovou předlohu nahrávky, jejíž zvukový design se může pohybovat jen ve zřetelně ohraničených mezích našich zvukových zkušeností. V oblasti nonartificiální hudby podobnou ohraničenou zvukovou předlohu nahrávky naopak nalezneme jenom zřídka.“

V praxi není nutné, aby se zvukový obraz svým technickým ztvárněním odvolával výhradně na akustické vlastnosti prostoru, v němž byly zaznamenány původní zvukové signály; snahou mistra zvuku je *stylizovat* za pomoci klíčových parametrů vnímanou realitu vstříc prostoru s optimálními vlastnostmi, v nichž prezentovaný hudební materiál dle jeho představy nejlépe vyzní. Dr. Jochen Stolla definuje tři zásadní estetické přístupy pro záznam hudby, jež lze vztáhnout na libovolný zvukový obsah (Stolla 2004, str. 46):

1. *Pozitivistický přístup*, požadující identickou reprodukci fyzikálního zvukového pole z původního prostoru za pomoci nezkresleného přenosu signálu - ideálem je *věrnost* (historický výskyt do 50. let 20. století).
2. *Iluzionistický přístup*, požadující vyvolání zážitku srovnatelného s živým provedením pomocí zvukových zásahů, jež podpoří odpovídající iluzi - ideálem je *přirozenost* (obecný trend počínaje 70. léty 20. století).
3. *Mediálně autonomní přístup*, představující volnou a samostatnou elektroakustickou realizaci partitury bez vztahu k provedení - ideálem je *realizace partitury* (výskyt v 60. letech 20. století).

¹ Např. oproti elektronické hudbě, u níž neslouží jako estetický předobraz živé provedení v reálném prostoru.

Problematiku věrnosti podání zvukového obrazu v případě klasické hudby v tomto ohledu vystihuje Hans-Peter Reinecke v příspěvku *Das Ideal des naturgetreuen Klangbildes - ein psychologisches Problem*²:

„Posluchač hudby, jenž [...] je vtažen do přítomného, živého a originálního hudebního dění, slyší charakteristickým způsobem: [...] Původní zvukový zážitek odebírá patrně méně informací z nabízející se akustické procesní struktury, jestliže jí konkuruje zrak, hmat a bezprostřední definice role.

S původním zvukovým dojmem je konfrontován zážitek z přeneseného (zaznamenaného - pozn. překl.) zvuku. Zde dochází k posunu dimenzí: Informace relevantní pro hudební vnímání je určována výhradně sluchovým vjemem. Ostatní oblasti přenášejí - na rozdíl od původního sluchového zážitku - zcela pozměněný obraz a sociální vazba [...] je též zásadně odlišná. Tím je zapříčiněn rovněž jiný vzorec očekávání a vnímání.“

Wilhelm Schlemm (1997) popisuje přechod od *ideálu věrnosti* k tzv. „*umělé přirozenosti*“. Stolla (2004, str. 44) zdůrazňuje, že za cíl zvukového obrazu již není považována reprodukce určitého zvukového děje, nýbrž vyvolání zážitku u posluchače srovnatelného s živým provedením. Dle Stolly není pro naplnění tohoto ideálu zapotřebí kompenzovat nedostatky zvukového přenosu, nýbrž elektroakusticky zprostředkovat psychologický rozdíl oproti hudebnímu vnímání v koncertním sále. Předlohou pro výjev zážitku z koncertu přitom nestojí dění v konkrétním koncertním sále, nýbrž *ideální koncert v ideálním prostoru*. Schlemm označuje *dokonalost* jako „specifickou a v estetickém smyslu platnou kvalitu pro fenomén zvukový nosič“³.

S ohledem na realistický a přirozený charakter zvukového obrazu není v žádném případě podmínkou zaznamenat původní prostor s co největším množstvím detailu, není-li předmětem nahrávky jeho co nejpřesnější zvuková dokumentace⁴. Zdá se, že požadavku na realistické podání mnohem lépe vyhoví zachycení pouze klíčových vlastností nesoucích informaci o vzdálenosti zvukových zdrojů, velikosti prostoru a akustických vlastnostech materiálů jeho povrchů.

Menší množství prostorové informace v signálech sice umožní větší svobodu pro stylizaci v rámci tvorby zvukového obrazu návaznými technickými prostředky; doplnění většího množství realistických akustických parametrů však může být technicky velmi náročné a v řadě případů nemusí být ani možné realistického podání touto formou zcela docílit⁵. Z toho důvodu je pro mistra zvuku vždy výhodné, poskytne-li původní prostor *co největší podíl užitečných prvků* pro stereofonní obraz a působí-li veškeré navazující technické prostředky formování zvukového obrazu vždy *ve stejném smyslu* s původní akustickou předlohou.

Má-li být například u zvukového obrazu symfonického orchestru zachycena skupina dřevěných dechových nástrojů s větší vnímanou vzdáleností od posluchače nežli smyčcové nástroje, je bezesporu výhodné, umožní-li již výchozí prostor a technologie snímání zaznamenat tuto akustickou informaci ve zvukových signálech. Bude-li větší vzdálenost sekce

² „Ein Musiker, der [...] mitten in gegenwärtiges, lebendiges und originales Musikgeschehen einbezogen ist, hört in charakteristischer Weise: [...] Das originale Klangerlebnis entnimmt im Zweifel weniger Information aus der dargebotenen akustischen Prozeßstruktur, sofern Auge, Tastsinn und unmittelbare Rollendefinition damit konkurrieren.

Dem originalen Klangeindruck steht das Erlebnis des übertragenen Klanges gegenüber. Hier sind die Dimensionen verschoben: Die für die musikalische Wahrnehmung relevante Information wird nur vom Hörsinn bestimmt. Die anderen Bereiche übertragen - nunmehr im Gegensatz zum originalen Hörerlebnis - ein ganz verändertes Bild und der soziale Bezug [...] ist wesentlich verschieden. Daraus resultiert auch ein anderes Erwartungs- und Wahrnehmungsmuster.“ (Reinecke 1969, str. 86)

³ Die Perfektion „wird zu einer spezifischen, auch im ästhetischen Sinne geltenden Qualität des Phänomens Tonträger.“ (Schlemm 1997)

⁴ Do této kategorie lze v oblasti klasické hudby zařadit například některé nahrávky varhan, kde prostor představuje nedílnou součást zvukového projevu nástroje a podléhá tak požadavkům na nezkrácené podání.

⁵ Problematické je například generování většího množství dozvukové složky - viz kap 1.5.

dřevěných dechových nástrojů ve výchozím zvukovém obrazu evokována například větším množstvím odraženého zvuku s kratší prodlevou prvního odrazu (ITDG⁶) oproti smyčcovým skupinám, lze ji v rámci stylizace technicky podpořit například snížením obsahu nízkých kmitočtů u signálů z podpůrných mikrofonů⁷. Je důležité, že útlum na nízkých kmitočtech u zvuku skupiny dřevěných dechových nástrojů podpoří pocit vzdálenosti a přispěje k logickému propojení akustického dění pouze v případě, působí-li ve stejném smyslu jako akustické informace zachycené v původních signálech. Protichůdný smysl nízkofrekvenční a dozvukové složky, kdy například barva zvuku nástroje evokuje blízkost, avšak dozvuková složka větší vzdálenost od posluchače, může ve zvukovém obraze působit víceznačně a zhoršit čitelnost jeho hloubky.

Pro efektivní práci mistra zvuku představuje vždy výhodu záznam v prostoru, jehož akustické vlastnosti jsou pro vznikavší zvukový obraz snímku užitečné. Má-li mít mistr zvuku vliv na podíl zaznamenaných akustických informací z prostoru, musí to umožnit především dozvuková vzdálenost daného prostoru⁸. Je-li dozvuková vzdálenost příliš malá (menší objem prostoru, popř. delší doba dozvuku), není možné s množstvím zaznamenané prostorové informace účelově pracovat⁹.

1.1 Umístění zdrojů zvuku na stereofonní reprodukční bázi

Stereofonní obraz snímku klasické hudby je z většiny tvořen fantomovými zvukovými zdroji. Jejich rozložení je do značné míry determinováno poslechem zkušební skupiny z reálného provedení skladby před publikem. Pozice individuálních fantomových zdrojů jsou realizovány jak *rozdíly v signálových úrovních* (respektive jejich efektivních hodnotách), tak *rozdíly časovými*. S ohledem na požadavek realistického charakteru zvukového obrazu (viz dříve) jsou nejčastěji využívány *stereofonní mikrofonní systémy*, jež přirozenou cestou zachytí oba dva rozdíly v žádaném poměru. Stereofonní systémy jsou rovněž výhodné k zaznamenání prostorové složky spolu s akustickou informací o relativní vzdálenosti jednotlivých zvukových zdrojů. Míra zastoupení obou stereofonních komponent vždy vychází z estetické představy mistra zvuku o linearitě rozmístění fantomových zdrojů na reprodukční bázi, ostrosti lokalizace¹⁰ a vlastnostech reprodukce difuzní prostorové složky.

Jak je patrné z obrázku 1.1, nejlineárnější vztah mezi původním rozmístěním zvukových zdrojů během záznamu a pozicemi výsledných fantomových zdrojů na reprodukční bázi lze očekávat od koincidentních systémů, kde je směrová informace zaznamenána výhradně na základě *rozdílů v signálových úrovních*. Praktickou nevýhodu u těchto systémů pro mistra zvuku často představuje omezená šířka reprodukce *prostorové složky* zvukového obrazu. To je dáno absencí časové komponenty a rovněž vysokým stupněm korelace difuzního pole v případě ledvinových charakteristik (Riekehof-Böhmer 2011)¹¹.

⁶ Initial Time Delay Gap: časová prodleva mezi přímým zvukem a prvním odrazem

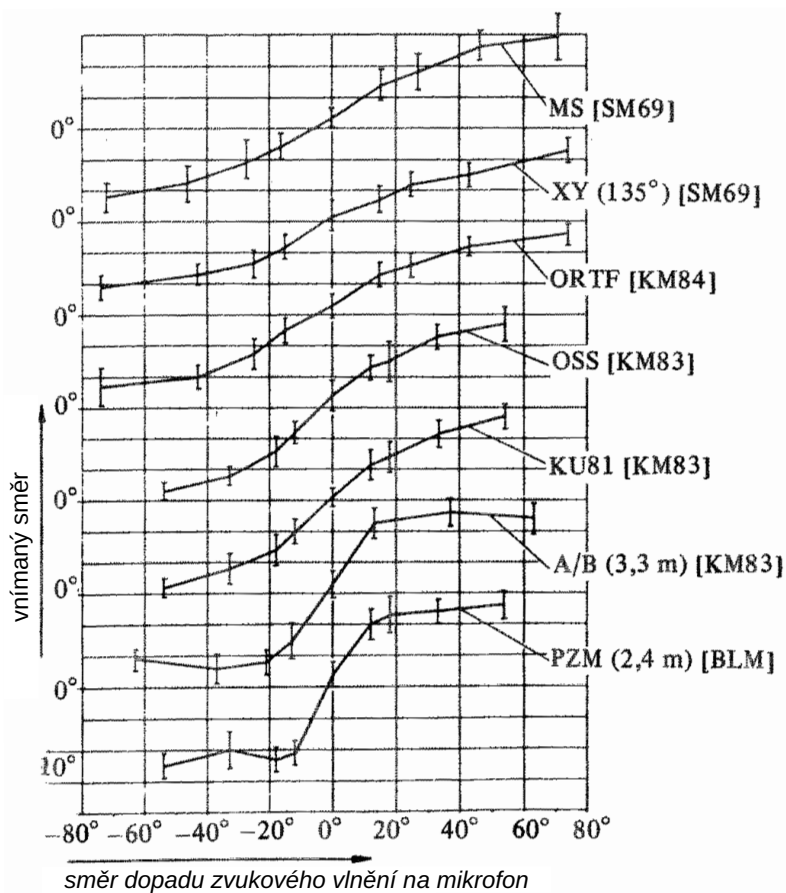
⁷ Takového jevu lze docílit například snímáním této nástrojové skupiny směrovým mikrofonem z větší vzdálenosti, jež zajistí úbytek na nízkých frekvencích vlivem proximity efektu.

⁸ Pro popis akustického dění lze rozdělit prostor na oblast převládajícího přímého zvuku a oblast převládajícího difuzního zvuku. Vzdálenost hranice těchto oblastí od zdroje zvuku se označuje jako *dozvuková vzdálenost*, u všesměrových zdrojů bývá též používáno označení *poloměr doznívání*.

⁹ Množství dozvuku lze kompenzovat snížením vzdálenosti mikrofonu od zdroje zvuku jen do jisté míry, jelikož představa mistra zvuku o množství zachyceného detailu popř. vzájemného propojení zvukových zdrojů tvoří zásadní estetický limit.

¹⁰ Přesnost, s jakou je možné poslechem rozlišit jednotlivé pozice na stereofonní reprodukční bázi (Sengpiel 1994).

¹¹ Nižší korelace difuzního pole a tím širšího zvukového obrazu prostorové složky lze teoreticky docílit použitím směrovějších měničů (Riekehof-Böhmer 2011, str. 35). Volba směrové charakteristiky je však u záznamu klasické hudby vázána primárně na zachycenou úroveň dozvukové složky (dle dozvukové vzdálenosti) a barvu zvuku (především zachycení nízkých kmitočtů); nelze ji tedy volně přizpůsobit jen na základě požadavků na šířku prostorové informace snímku.



Obr. 1.1: Lokalizační křivky některých stereofonních systémů při poslechu na reproduktory dle G. Theileho (Dickreiter 1997, str. 326).

Vzhledem k této vlastnosti nacházejí koincidentní systémy méně často využití v roli ambientního či hlavního mikrofonního systému¹². Množství zachyceného rozdílu v signálových úrovních a tím tedy šířku stereofonního obrazu přímého zvuku lze u koincidentních systémů ovlivnit úhlem mikrofonních os, respektive poměrem M/S. Rozhodující vliv na šířku stereofonního obrazu má u systému XY rovněž volba mikrofonních charakteristik a tedy i poměr přímého a odraženého zvuku, jež omezuje jejich účinnost (viz kap. 1.2).

Zcela odlišný estetický účinek vyvolá lokalizace způsobená časovým rozdílem mezi signály. Téměř výhradně tuto stereofonní komponentu využívá ke stereofonní lokalizaci systém AB, jenž bývá nejčastěji využíván s všesměrovými mikrofonními charakteristikami¹³. Důvodem pro jeho časté využití ve funkci hlavního mikrofonního systému je především šířka zachycené prostorové informace s nízkým stupněm korelace. Nelineární lokalizační vlastnosti viditelné na obrázku 1.1 nebývají v praxi - především při doplnění o podpůrné mikrofony - vnímány rušivě a mnohdy lze jejich případnému negativnímu vlivu předejít i rozmístěním hudebních zdrojů. Právě však při doplnění o podpůrné mikrofony, jejichž signály lze do značné míry formovat přímý zvuk stereofonního obrazu, zůstávají nepostradatelnou funkcí hlavního mikrofonního systému *dobré reprodukční vlastnosti prostoru*.

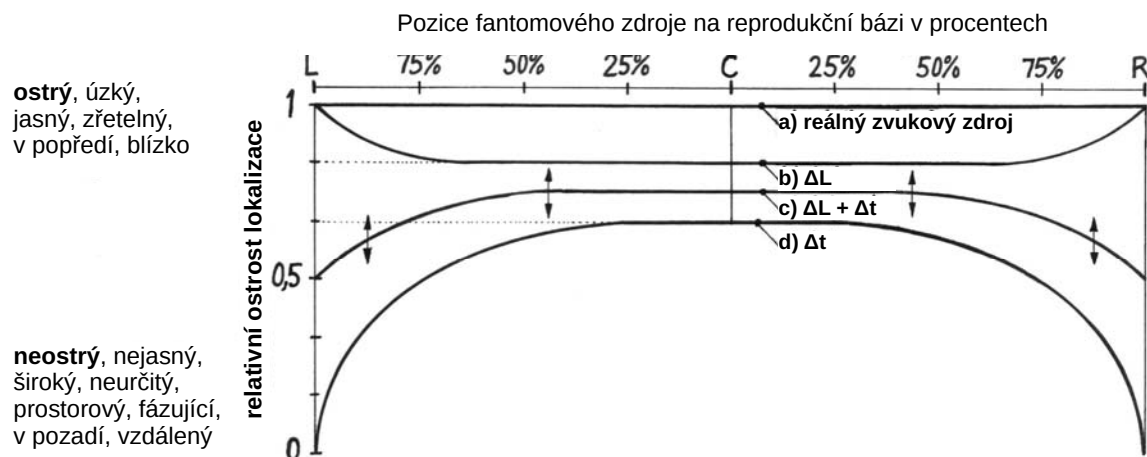
Pozitivně hodnocené prostorové reprodukční vlastnosti jsou u systému AB kompenzovány velmi omezenou ostrotí lokalizace, tj. přesností, s jakou lze rozlišit jednotlivé pozice fantomových zdrojů na stereofonní reprodukční bázi. Obrazy fantomových zdrojů jsou vnímány

¹² Hlavní stereofonní systém, zachycující ucelený stereofonní obraz zvukových zdrojů spolu s prostorovou informací.

¹³ Mikrofonní charakteristika u systému AB nemá zásadní vliv na šířku zvukového obrazu a lze ji volit primárně s ohledem na množství dozvukové složky a barvu zvuku (Hadraba 2011, str. 21). Šířka zvukového obrazu je dána vzdáleností mikrofonů (viz kap. 1.2).

oproti koincidentním systémům s větší šířkou a *dodatečnou prostorovostí*. Tyto vnímané vlastnosti ovšem můžou představovat pro zvukový obraz hudebního snímku vítanou stylizaci.

Obrázek 1.2 uvádí relativní ostrost lokalizace v závislosti na pozici fantomového zdroje na reprodukční bázi pro jednotlivé stereofonní komponenty podle E. Sengpiela. Je patrné, že nárůst složky rozdílů v úrovni mezi signály vede ke zvýšení, zatímco nárůst složky časových rozdílů ke snížení ostrosti lokalizace. Mistr zvuku má v praxi možnost volit zastoupení obou složek dle estetických požadavků na zvukový obraz. V doméně stereofonních mikrofonních systémů to umožňují systémy tzv. *smíšené (ekvivalenční) stereofonie*. Při kombinaci rozdílů v signálových úrovních a časových rozdílů je vždy nutné, aby obě tyto složky zaznamenaly lokalizaci ve stejném smyslu: Zatímco součinnost obou komponent vede k součtu jejich účinků na lokalizaci, protichůdný smysl nevede k odečtení účinků, nýbrž k rychlému úbytku ostrosti lokalizace (Dickreiter 1997, str. 323).



Obr. 1.2: Závislost ostrosti lokalizace na pozici fantomového zdroje na reprodukční bázi při poslechu na reprodukci (Sengpiel 1994). ΔL označuje rozdílů v signálových úrovních, Δt časové rozdílů mezi signály.

Výběr stereofonního systému pro hlavní mikrofon je v praxi omezen použitou směrovou charakteristikou mikrofonů (systémy intenzitní a smíšené stereofonie vyžadují směrové měniče), kterou mistr zvuku volí především na základě dozvukové vzdálenosti prostoru. Vzhledem k již zmíněným požadavkům na realistické pojetí zvukového obrazu u klasické hudby vyhoví použití *samostatného stereofonního systému* jen v omezených případech, kdy záznam probíhá v prostoru s optimální odezvou odraženého zvuku, příznivou dozvukovou vzdáleností a kdy lze v místě hlavního mikrofonu zachytit zdroje zvuku přímo v požadovaném vyvážení. Důležitý limit zde představuje též velikost snímaného hudebního tělesa, jelikož u širokých těles (orchestry, sbory) snímají stereofonní systémy s malou velikostí báze výhodněji zvukové zdroje umístěné v blízkosti systému. Zvětší-li se za účelem vyvážení zachycení dílčích zdrojů vzdálenost mezi mikrofony, sníží se oblast snímání systému a tím se značná část zvukových zdrojů přemístí na okraj báze (srov. Weinzierl 2008, str. 580)¹⁴.

Tento problém lze vyřešit doplněním systému AB o středový mikrofon, jehož signál se přimíchá rovnoměrně do obou kanálů. Speciálním systémem tohoto typu je *Decca-Tree*, jenž byl zaveden v 60. letech 20. století mistry zvuku nahrávací společnosti Decca a později v různých obměnách využíván též vydavatelstvími Teldec a RCA Victor pro snímky velkých hudebních těles (Gernemann 2002, str. 4). Zvukový obraz systému Decca-Tree je esteticky pevně spojen se specifickými směrovými vlastnostmi a frekvenční odezvou mikrofonů *Neumann M50*. Vzhledem k tomu, že každý z mikrofonních párů (L-C, C-R a L-R) vyvolá fanto-

¹⁴ U větších mikrofonních bází vznikají časové rozdílů, jež se mohou v závislosti na úhlu dopadu zvukového vlnění pohybovat v řádu milisekund. V tom případě se začíná na vjemu podílet vedle součtové lokalizace též precedenční jev - viz kap. 2.3. S větší bází mohou navíc i všesměrové mikrofony zachytit rozdílů v úrovních, a to díky úbytku akustického tlaku se vzdáleností v přímém poli (srov. Blauert / Braasch 2008, str. 112; Hadraba 2011, str. 20).

mový obraz na reprodukční bázi z jiného směru (především u menších vzdáleností mikrofonů), je ostrost lokalizace systému poměrně nízká¹⁵.

Nízká ostrost lokalizace je průvodním jevem zvukového obrazu všech stereofonních mikrofonních systémů využívajících více než dva mikrofony, jelikož každý zvukový zdroj vyvolá více fantomových zdrojů na reprodukční bázi. Charakteristickou vlastností těchto systémů je též větší provázanost parametrů zvukového obrazu. Například u systému Decca-Tree má umístění vykrývacích mikrofonů na kraji orchestru (tzv. „outriggers“) praktický vliv jak na šířku zvukového obrazu, tak na zvukové vyvážení orchestrálních skupin ve zvukovém obraze. Mistr zvuku musí tedy vždy optimalizovat rozmístění mikrofonů na základě poslechu tak, aby jejich signály uspokojily veškeré estetické aspekty zvukového obrazu.

Lokalizační vlastnosti teoreticky libovolného stereofonního systému lze doplnit o dodatečné rozdíly v signálových úrovních přímích signálů z podpůrných mikrofonů. Rozdíl v signálových úrovních je stanoven ovládacím prvkem *panorama* na mixážním stole a relativní úrovní vůči hlavnímu mikrofonnímu systému. Přesné nastavení poměru úrovní (a tedy výsledné umístění a ostrost lokalizace zdroje zvuku na reprodukční bázi) tvoří základ procesu míchání hudebního snímku.

Jsou-li signály hlavního a podpůrného mikrofonu podobné, musí být *panorama* u podpůrného mikrofonu nastavena tak, aby zdánlivý zvukový zdroj přicházel ze stejného směru jako v signálech hlavního mikrofonu, jinak může vzniknout mezi signály další fantomový zdroj a význačná lokalizace¹⁶. Do jaké míry je nutné respektovat rozvržení lokalizace zvukového obrazu z hlavního mikrofonu, záleží též na *vzájemném poměru úrovní* mezi podpůrným a hlavním mikrofonom. Proto je potřeba přesnou pozici *panoramy* nastavit tak, aby vyhovovala *v požadovaném rozsahu mixu*. Zásadní omezení pro nastavení *panoramy* představuje též přeslech ostatních zvukových zdrojů v signálech podpůrných mikrofonů.

Důležitou roli u lokalizace podpůrného mikrofonu hraje též jeho časový vztah vůči hlavnímu mikrofonnímu systému. Je-li časový rozdíl obou signálů přesně kompenzován, dochází u dotyčného zvukového zdroje k nárůstu přímého zvuku až o 6 dB. Tím je při stávající úrovni signálu podpůrného mikrofonu nejvýrazněji posílena stereofonní složka rozdílů v úrovních a lokalizace z hlavního a podpůrného mikrofonu se sčítají. Není-li časový rozdíl obou signálů kompenzován, je nárůst přímého zvuku vlivem podpůrného mikrofonu sice menší, avšak jeho vliv na směr lokalizace je výraznější díky *precedenčnímu jevu*: pohybuje-li se časový rozdíl mezi signály v rozsahu přibližně 5 až 30 ms, může mít signál z hlavního mikrofonu teoreticky až o 10 dB vyšší úroveň, aniž by narušil lokalizaci ze směru daného signálem podpůrného mikrofonu (Haas 1951, str. 49). Nezpůsobené signály podpůrných mikrofonů tak mají schopnost velmi účinně *zvýšit ostrost lokalizace* zvukového zdroje, jelikož mohou v závislosti na relativní úrovni preexistující lokalizaci z hlavního mikrofonu maskovat.

Při větších časových rozdílech mezi signály podpůrného a hlavního mikrofonu může při smíchání docházet u signálu tranzientního charakteru ke slyšitelnému zdvojení. U klasické hudby představují tento problém především bicí nástroje umístěné v orchestru. Zdvojení lze v určitém rozsahu maskovat přímícháním vyšší úrovně signálu z podpůrného mikrofonu (zdvojení nepoutá tolik pozornosti, je-li první signál silnější)¹⁷.

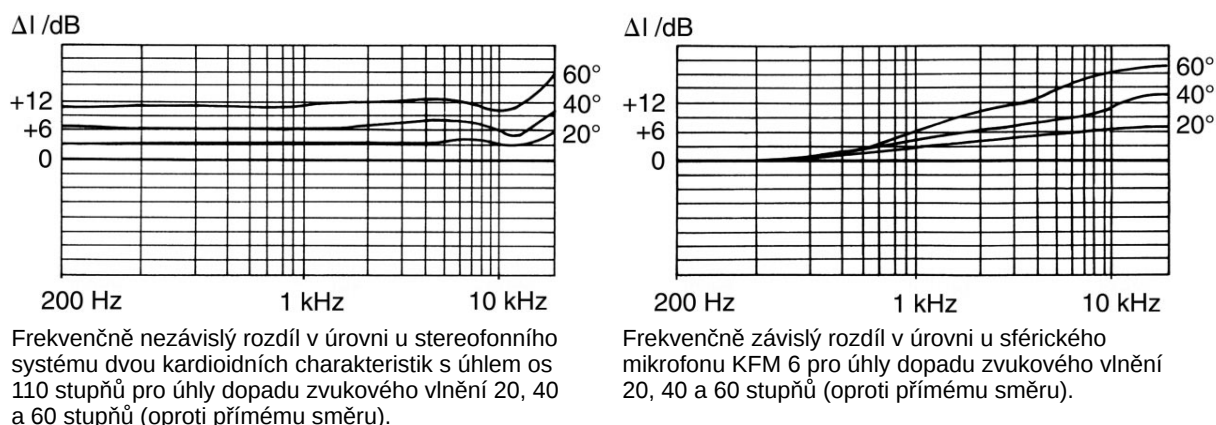
¹⁵ Výsledkem nejsou tři oddělené zvukové zdroje, nýbrž jeden difuzně lokalizovatelný zvukový vjem s více či méně zřetelným zkreslením barvy zvuku vlivem signálové interference. Tento průvodní jev lze zmírnit navýšením vzdáleností mezi mikrofony, čím se sníží vliv úrovněvých a časových rozdílů mezi signály na pozici fantomového zdroje (Gernemann 2002, str. 11). Horší ostrost lokalizace zvukových zdrojů však bývá u systému Decca-Tree často pozitivně hodnocena jako „plný“ zvukový obraz (srov. Weinzierl 2008, str. 581).

¹⁶ Čím vyšší ostrostí lokalizace disponuje zvukový obraz z hlavního mikrofonního systému, tím přesněji je potřeba respektovat jím dané směrové informace. Nesoulad směrových informací mezi hlavním a podpůrným mikrofonom lze do jisté míry maskovat generováním umělého dozvuku ze signálu podpůrného mikrofonu, čímž se sníží ostrost jeho lokalizace a usnadní zapojení do zvukového obrazu.

¹⁷ V praxi zpravidla pro mistra zvuku nepředstavuje lokalizace rozhodující kritérium pro použití časové kompenzace u podpůrných mikrofonů. Časová kompenzace má mnohem výraznější vliv na vnímanou hloubku zvukového obrazu (viz kap. 1.3) a barvu zvuku (kap. 1.4).

Relativní úroveň rozdílů v signálových úrovních u podpůrných mikrofonů a stereofonních systémů ovlivňuje mistr zvuku i při samotném procesu míchání v reakci na hudební obsah díla (viz kap. 1.6). Časové rozdíly mezi signály není možné v reálném čase běžně měnit, v rámci postprodukce jsou však užívány ke statické korekci stereofonního obrazu - umožní upravit lokalizaci především poblíž středu báze, kde je ostrost lokalizace u této komponenty nejvyšší (viz obr. 1.2), aniž by se změnil poměr úrovní mezi kanály.

Lokalizaci stereofonního obrazu lze obohatit též o *frekvenčně závislé rozdíly v úrovních* mezi signály (viz obr. 1.3). Tyto rozdíly lze zachytit speciálními systémy smíšené stereofonie využívajícími kulové charakteristiky a oddělovací těleso (např. Jecklin OSS). Tímto způsobem zachytí i všesměrové mikrofony významné rozdíly v úrovních. Frekvenční závislost je dána poměrem velikosti oddělovacího tělesa a vlnové délky signálu. Dělicí těleso bývá opatřeno povrchem pohltivým na vysokých kmitočtech, aby byl potlačen efekt hřebenového filtru, jenž vzniká odrazem od dělicího tělesa (Jecklin 1981).



Obr. 1.3: Srovnání rozdílů v úrovních zachyceného dvěma mikrofony s ledvinovou charakteristikou (úhel os 110 stupňů) a sférickým mikrofonem Schoeps KFM 6 pro dopad zvukového vlnění ze směru 20, 40 a 60 stupňů vůči přímému směru (Wuttke 2000, str. 37).

Vliv hřebenového filtru se snaží účinněji odstranit sférické mikrofony (např. Schoeps KFM 6), u nichž jsou všesměrové měniče zapuštěny do povrchu kulového tělesa. Ačkoliv v tomto řešení nepředstavuje vzdálenost tělesa již žádný nežádoucí vliv, nejsou zde naplněny požadavky pro *princip mikrofonu umístěného na ploše*, kdy musí být plocha v okolí měniče několikrát větší nežli snímaná vlnová délka, aby byl její vliv na frekvenční průběh signálu zanedbatelný (srov. Wuttke 2000, str. 37).

Speciální systémy zachycující frekvenčně závislé rozdíly v úrovních nebývají u stereofonních snímků klasické hudby často využívány, jelikož u nich není možné flexibilně upravit velikost oblasti snímání a často vyžadují speciální přístup při doplnění o podpůrné mikrofony, aby se nenarušily jejich specifické prostorové reprodukční vlastnosti¹⁸. Frekvenčně závislé lokalizační vlastnosti nacházejí praktické uplatnění spíše v oblasti binaurální stereofonie, nežli u stereofonních nahrávek určených pro poslech na reproduktory (viz kapitola 2.4).

1.2 Šířka stereofonního obrazu

Volba šířky stereofonního obrazu úzce souvisí s perspektivou prostoru zachycenou ve zvukovém obraze. Vzhledem k tomu, že šířka stereofonního obrazu závisí především na estetickém přístupu zvukového mistra, nejsou požadavky na stoprocentní využití stereofonní reprodukční báze za všech okolností opodstatněné. Po technické stránce šířka obrazu vychází primárně z parametrů užitých stereofonních systémů vůči rozmístění hudebních zdrojů

¹⁸ srov. např. Room-Related Balancing (Theile a kol. 1991)

a může být dodatečně formována podpůrnými mikrofony. Je důležité, aby veškeré technické parametry šířky nenarušily *logiku prostorové perspektivy*.

Požadavek na zachování logiky prostorové perspektivy („Logik der räumlichen Perspektive“) formuluje Michael Dickreiter: Zatímco široká hudební tělesa běžně využívají celou šířku stereofonní báze, zvukový obraz menších těles může být reprodukován o to úžeji, oč je větší jejich vnímaná vzdálenost od posluchače; širší zobrazení v takovém případě nenaruší logiku prostorové perspektivy jen v případě, že jsou mikrofony umístěny v blízkém poli zvukových zdrojů (srov. Dickreiter 1997, str. 337).

U menších hudebních těles tak často mistr zvuku reprodukuje na okrajích zvukového obrazu pouze difuzní dozvuk. V případě většího nástrojového uskupení - např. symfonického orchestru - může být naopak nutné reprodukovat zdroje zvuku částečně až vně reprodukční báze, popřípadě jich hromadit více na jejím okraji, a to především ve prospěch zachování lokalizace a rovnoměrného rozmístění zvukových zdrojů poblíž středu tělesa - u symfonického orchestru např. sekce dřevěných dechových nástrojů (Williams 2010, str. 5). Přesná šířka zvukového obrazu představuje tedy v některých případech až vedlejší produkt záměru zvukového mistra rovnoměrně rozmístit zvukové zdroje na reprodukční bázi.

Nehledě na šířku definovanou ve stereofonním obrazu přímým zvukem bývá odražený zvuk vždy reprodukován v plném rozsahu stereofonní báze. Za tímto účelem lze využít i samostatné *ambientní mikrofonní systémy*, většinou AB s velmi širokou bází, jež zachycují pouze nekorelovaný dozvuk v mnohem větší šířce, než to umožňuje hlavní mikrofonní systém. Podobnou úlohu lze svěřit i zařízením pro generování umělého dozvuku, u nichž je možné běžně nastavit šířku dozvukového signálu pomocí zabudovaného M/S algoritmu¹⁹.

Jak již bylo zmíněno, na šířku zvukového obrazu mají vliv též lokalizační vlastnosti signálů podpůrných mikrofónů. Větší zásah do šířky stereofonního obrazu pomocí podpůrných mikrofónů je však možný pouze u hlavních mikrofónů s nižší ostrostí lokalizace. U zdrojů zvuku, u nichž z hlediska šířky nevyhovuje ostrost lokalizace podpůrného mikrofónu evokující spíše bodový zdroj, lze použít *podpůrný stereofonní systém*. Jeho konfiguraci volí zvukový mistr se stejnými požadavky na stylizaci, jak bylo popsáno dříve: danému zvukovému zdroji lze podpůrným systémem s vyšší ostrostí lokalizace (koincidentní, ekvivalenční) vymezit přesnou oblast lokalizace na stereofonní bázi, popř. je možné podpůrným systémem AB stylizovat jeho šířku a „objemnost“ přidanými fázovými komponentami. Během míchání snímku zasahuje zvukový mistr již pouze do relativního rozdílu v úrovních mezi signály.

Čím významnější podíl zvukového obrazu tvoří signály podpůrných mikrofónů a systémů, tím větší je jejich podíl na lokalizaci a šířce stereofonního obrazu a hlavní mikrofonní systém přebírá úlohu systému ambientního. V tomto ohledu jsou na vyčlenění z obrazu hlavního stereofonního systému náchylnější signály z *nezpožděných* podpůrných mikrofónů, jejichž lokalizace je zvláště precedenčním jevem. Extrémní případ, kdy již není směr lokalizace podpůrných mikrofónů k čemu vztáhnout a podpůrné mikrofony tak vytváří samostatný zvukový obraz „ideálního“ hlavního mikrofónu, bývá označován jako *polymikrofonní přístup* (cit. Sengpiel 2005²⁰):

„Je známo, že lze docílit rozdílných zvukových výsledků, pokud se například u smyčcového kvarteta nejprve přesně nastaví úroveň a panorama podpůrných mikro-

¹⁹ Například parametr *Spatial EQ* u zařízení Lexicon 480L ovládá pomocí M/S algoritmu šířku generovaného dozvuku na nízkých frekvencích pro posílení vjemu prostorovosti a hloubky (viz Lexicon 1993, str. 8-3).

²⁰ „Bekannt ist, dass es unterschiedliche Klangergebnisse gibt, ob man zum Beispiel bei einem Streichquartett zuerst die Stützmikrofone sauber in Richtung und Pegelhöhe einstellt und anschließend das Stereo-Hauptmikrofon klanglich darüberstülpt bis es "ausreicht" oder ob man zuerst das Hauptmikrofon einstellt, indem man es in der Höhe und dem Ort richtig platziert und im Klang optimiert, die Regler einstellt und danach vorsichtig bei fehlender Lokalisationsschärfe oder Präsenz einzelner Schallquellen mit Stützmikrofonen bei Bedarf etwas nachhilft. Natürlich ist nur die letztere Vorgehensweise als richtig zu bezeichnen. Wenn man jedoch die Stützmikrofone bei Multimikrofonierung - oder auch Polymikrofonierung genannt - zu Hauptmikrofonen erklärt, dann sollte man das "Hauptmikrofon" besser weglassen. Weitere notwendige klangliche Ergänzungen können durch Raummikrofone und durch künstlichen Nachhall vorgenommen werden.“ (Sengpiel 2005)

fonů a následně přimíchá stereofonní hlavní mikrofon, a nebo nastaví-li se nejprve výška a pozice hlavního mikrofonu a optimalizuje jeho zvuk a k němu se při chybějící ostrosti lokalizace či prezentnosti jednotlivých zvukových zdrojů signály podpůrných mikrofonů dle potřeby přimíchají. Jako správnou lze samozřejmě označit pouze druhou zmíněnou variantu. Prohlásíme-li však u multimikrofonního přístupu (někdy označovaného jako polymikrofonní) podpůrné mikrofony za hlavní, pak je výhodnější původní hlavní mikrofon zcela vynechat. Další potřebné zvukové doplnění lze obstarat prostorovými (ambientními - pozn. překl.) mikrofony a umělým dozvukem.“

U koincidentních systémů lze dodatečně upravovat šířku zvukového obrazu pomocí panoramy a M/S algoritmu. Toto není v případě systému AB a ekvivalenčních systémů možné, jelikož smíchání signálů má za následek zkreslení hřebenovými filtry. M/S algoritmy jsou využívány k zásahům do šířky zvukového obrazu i v rámci postprodukčního zpracování již smíchaného stereofonního snímku. Pomocí ekvalizéru s M/S algoritmem lze účinně ovlivnit šířku obrazu jen v omezeném frekvenčním pásmu, respektive zasahovat do barvy zvuku v omezené oblasti stereofonní báze. Takto lze do jisté míry ovlivnit i dozvukovou složku, je-li v určitém frekvenčním pásmu dominantní. Dynamické korekce ve spojení s M/S zpracováním nejsou u postprodukce klasické hudby běžné.

1.3 Hloubka stereofonního obrazu

Ve zvukovém obraze snímků klasické hudby se především u větších hudebních těles využívá reprodukce zvukových zdrojů s různou vnímanou vzdáleností od posluchače. Hloubka stereofonního zvukového obrazu u hudební nahrávky se neodkazuje přímo na poslechovou zkušenost z publika koncertního sálu, ale přenáší akustickou perspektivu z pozice hlavního mikrofonu, respektive dirigenta (srov. Dickreiter 1997, str. 338). Jelikož vnímání vzdálenosti není u lidského sluchu tak rozvinuté jako směrové slyšení, je ve zvukovém obraze možné snadno rozlišit jen omezené množství vrstev s různou vzdáleností (ibid.). Hloubka umožňuje zvukovému mistrovi též odlišit zdroje zvuku dle důležitosti - např. sólové nástroje bývají reprodukovány zpravidla blíže posluchači²¹. Vjemu různých vzdáleností lze účinně docílit i u monofonní reprodukce²².

Základním prostředkem k vytvoření pocitu vzdálenosti je zaznamenání zvukových zdrojů v požadované perspektivě hlavním mikrofonním systémem. Vjem vzdálenosti je možné dále podpořit následujícími parametry:

- relativní úroveň
- barva
- množství zachyceného detailu
- množství dozvuku a doba prvního odrazu

U větších hudebních těles bývá prostorová hloubka zachycená hlavním mikrofonním systémem často příliš velká, což vede k jejímu omezování podpůrnými mikrofony a systémy; smysl hloubkové perspektivy však zůstává zachován. U podpůrných mikrofonů je potřeba brát značný ohled na jejich přesnou funkci (tj. zda mají sloužit ke zvýšení ostrosti lokalizace, přiblížení, zesílení, doplnění detailu, generování dodatečného dozvuku z daného zvukového zdroje apod.) a odpovídajícím způsobem optimalizovat jejich umístění a vzdálenost. Především nezpožděné signály podpůrných mikrofonů mohou hloubku zvukového obrazu snadno ovlivnit a vyčlenit zvukové zdroje s podpůrným mikrofonem ze zvukové perspektivy. Není-li možné optimalizovat hlavní mikrofon a rozmístění účinkujících tak, aby k tomuto jevu nedocházelo (například u koncertního rozmístění), bývá často zvukovými mistry používáno

²¹ Zde se vjem vzdálenosti odvolává na přirozenou sluchovou zkušenost: zdrojům v blízkosti přiřazuje lidský sluch vždy větší informační důležitost (Dickreiter 1997, str. 338).

²² srov. Syrový 2009, str. 277-278

větší množství podpůrných mikrofonů, aby byla hloubka zvukového obrazu vyvážená a symetrická.

Relativní úroveň

Společně s uměleckou představou o zvukovém vyvážení daného hudebního díla je potřeba přizpůsobit *relativní úroveň* jednotlivých zdrojů zvuku i požadavkům na vnímanou hloubku. Je vždy výhodné zvolit umístění podpůrných mikrofonů tak, aby jediná hodnota relativní úrovně vyhověla jak požadavkům na vzájemné vyvážení, tak na začlenění do perspektivy hlavního mikrofonu. Zvuková hloubka představuje limit v zesílení dílčího zdroje podpůrným mikrofonem, má-li být ve zvukovém obraze reprodukován s větší vzdáleností. Je-li hloubka zvukového obrazu podpořena též ostatními, níže popisovanými parametry, lze relativní úroveň upravovat ve větším rozsahu, aniž by narušila definovanou hloubkovou vrstvu. Vztah relativní úrovně s vjemem vzdálenosti vychází z vlastností lidského sluchu, jenž vnímá při zdvojnásobení vzdálenosti (všesměrového) zdroje útlum přímého zvuku o 6 dB. Tuto závislost umí lidský sluch u *jemu známých zdrojů zvuku* rozpoznat (Blauert / Braasch 2008, str. 98). Poslechová zkušenost je v této oblasti u hudebního obecnstva značně rozvinutá.

Relativní úroveň má zásadní vliv na hloubku obrazu u signálů z *nezpožděných* podpůrných mikrofonů, jejichž časové představení s navyšující úrovní umocňuje vjem blízkosti zvukového zdroje. To může být problematické v případech, nachází-li se podpůrný mikrofon v bezprostřední blízkosti zdroje a zachycený signál tedy již svým obsahem (barva, detail) evokuje vjem blízkosti. Má-li být pomocí nezpožděného podpůrného mikrofonu zdroj zvuku pouze zesílen, aniž by opustil svou aktuální hloubkovou vrstvu ve zvukovém obraze, je zpravidla potřeba jej snímat z větší vzdálenosti, popřípadě vjem přiblížení relativizovat ostatními parametry (barva, dozvuk - viz dále). Podpůrné mikrofony s časovou kompenzací nezasahují do prostorové perspektivy hlavního mikrofonu a samotná úroveň u nich nemá bez součinnosti s ostatními parametry hloubky rozhodující vliv na vnímanou vzdálenost.

Barva

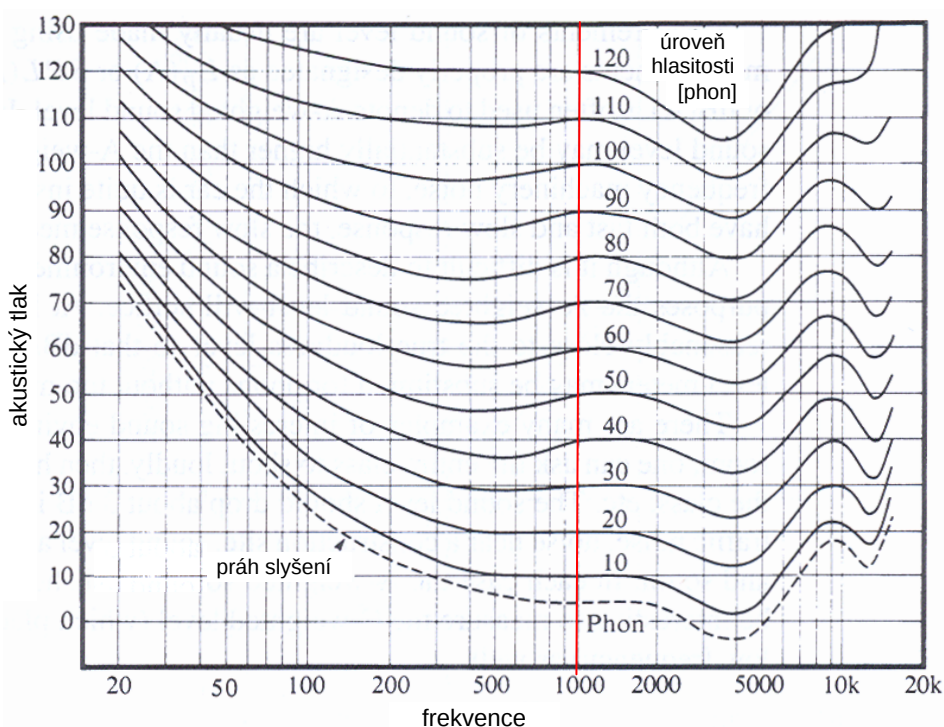
U všesměrového zdroje se při zdvojnásobení vzdálenosti sníží úroveň vnímané hlasitosti o 6 dB. Společně se změnou hlasitosti vnímá lidský sluch též změnu *barevnou*. Ta vychází především z vlastností lidského sluchu, jež lze vyčíst z křivek stejné hlasitosti na obrázku 1.4. S navyšující se úrovní dochází k vyrovnání frekvenčního průběhu sluchového vjemu a s klesající úrovní dochází k rychlejšímu úbytku citlivosti *na nízkých kmitočtech* (nejvyšší závislost citlivosti lidského sluchu na úrovni leží v oblasti nízkých kmitočtů - křivky zde leží nejbližší u sebe). Úbytek nízkých kmitočtů s narůstající vzdáleností je u hudebních nástrojů a lidského hlasu podpořen též *zvýšenou směrovostí vyzařování na vyšších kmitočtech* - zatímco pro všesměrové zdroje platí při zdvojnásobení vzdálenosti úbytek 6 dB, u směrového vyzařování je pokles menší (Dickreiter 1997, str. 122).

Vjem hloubky lze u stereofonního obrazu podpořit odpovídající filtrací na nízkých kmitočtech dle požadavků na začlenění zdroje zvuku do určité vrstvy vzdálenosti (přesná frekvenční hranice filtru závisí na kmitočtovém spektru daného zdroje zvuku). V tomto ohledu nachází též výhodné využití proximity efekt směrových mikrofonů, které bývají zpravidla u podpůrných mikrofonů využívány: s navýšením vzdálenosti od zdroje zvuku se snižuje citlivost mikrofonu pro nízké kmitočty. Při snímání z malé vzdálenosti může být mnohdy naopak výhodné se proximity efektu vyhnout a použít u podpůrných mikrofonů všesměrové měniče - například je-li potřeba podpůrnými mikrofony zkonkrétnit zvuk doprovodného cembala či varhanního pozitivu z *malé vzdálenosti* a zachovat přitom prostorovou perspektivu²³.

Zatímco filtrací nízkých kmitočtů lze ovlivnit vjem vzdálenosti u takřka libovolného zvukového zdroje, přesná poloha dalších formantových oblastí, jejichž zdůraznění či potlačení může mít rovněž vliv na vjem vzdálenosti, se u různých zdrojů zvuku liší dle jejich směrového vyzařování. Navýšení v oblasti vysokých kmitočtů (5 až 20 kHz) může též podpořit vjem vy-

²³ Na zachování prostorové perspektivy je nutné především dbát, nejsou-li signály podpůrných mikrofonů časově kompenzovány.

rovnání hlasitostních křivek a evokovat přiblížení zvukového zdroje; zároveň zesílí i vyšší harmonické kmitočty a zvýrazní případnou hlukovou složku - viz dále.



Obr. 1.4: Křivky stejného vjemu hlasitosti dle ISO 226:2003 (Errede 2013).

Množství zachyceného detailu

Množství detailu souvisí s nejčastějším požadavkem na podpůrný mikrofon, jenž bývá zvukovými mistry často definován jako „konkrétnost“. Tento pojem souvisí především s ostrostí lokalizace: daný zdroj zvuku by měl získat konkrétní umístění na reprodukční bázi (jako opačný jev se v tomto ohledu nabízí označení „difuzní lokalizace“). Požadavek na konkrétnost je však rovněž prostorový, jde o požadavek na výhodnější poměr přímého a odraženého zvuku ve prospěch detailu z daného zdroje, tedy na větší *zřetelnost*.

Hlavní vliv na míru zachyceného detailu má vzdálenost mikrofonu a volba směru, z něž je daný zvukový zdroj snímán. Pozice mikrofonu rozhoduje o tom, jaké vlastnosti zvukového zdroje budou signálem přeneseny, následná ekvalizace a vyvážení je mohou již pouze do jisté míry zdůraznit či upozadit. Má-li být zachována logika prostorové perspektivy, je potřeba zvukové zdroje ve stereofonním obraze reprodukovat s množstvím detailu, jenž odpovídá jejich vnímané vzdálenosti od posluchače. Je-li například skupina dřevěných dechových nástrojů ve zvukovém obraze orchestru reprodukována s větší vzdáleností než smyčcové skupiny, případná ruchová složka (hluk klapek, dech) může tuto stylizaci narušit. Množství zachyceného detailu hraje důležitou roli též v případě, kdy je hloubka zvukového obrazu využívána k odstínění *důležitosti* zvukových zdrojů. Díky tomu přiděluje mistr zvuku ve zvukovém obraze různou míru detailu například vokálním sólům a sólům ze sboru, sólovému a orchestrálnímu partu klavíru apod.

Do množství zachyceného detailu lze v omezené míře zasahovat i ekvalizací, pokud je užitečný detail zvukového zdroje významně zastoupený v určitém kmitočtovém pásmu. Nejčastěji se jedná o filtraci na vysokých kmitočtech - např. v oblasti 10 kHz u houslí, 6 až 8 kHz u klavíru atd.

Množství dozvuku a doba prvního odrazu

Spolu se vzdáleností zvukového zdroje od posluchače se v uzavřeném prostoru mění i poměr přímého a odraženého zvuku, jelikož úroveň přímého zvuku s narůstající vzdáleností klesá, zatímco úroveň odraženého zvuku zůstává konstantní. Vzhledem k tomu, že pro poměr přímého a odraženého zvuku jsou určující objem prostoru a doba dozvuku, odvolává se i v tomto případě vjem vzdálenosti na určitou sluchovou zkušenost (srov. Dickreiter 1997, str. 123).

Dozvuková logika hloubky je ve stereofonním obraze zachycena hlavním mikrofonním systémem a lze ji optimalizovat úpravou pozice vzhledem k dozvukové vzdálenosti a volbou směrových charakteristik mikrofonů. Signály podpůrných mikrofonů doplňují zvukový obraz o přímý zvuk a mohou tak hloubku obrazu danou hlavním mikrofonom i v tomto ohledu účinně omezovat. Vliv podpůrných mikrofonů na hloubku lze při stávající relativní úrovni v mixu snížit navýšením vzdálenosti od zdroje, použitím mikrofonu s nižší směrovostí, popř. generováním určitého množství umělého dozvuku z jejich signálů.

Generování dozvuku z podpůrných mikrofonů je častým způsobem korekce hloubky zvukového obrazu, jelikož vzdálenost a směrová charakteristika podpůrného mikrofonu jsou stanoveny především s ohledem na zachycenou barvu zvuku, optimální propojení snímaných zdrojů (při snímání skupin nástrojů) a odstup od signálů z okolních zdrojů. V extrémním případě lze pro podpoření hloubky teoreticky využít podpůrné mikrofony pouze ke generování dozvukové složky, aniž by byl jejich přímý zvuk v mixu použit. Jak již bylo naznačeno dříve, vjem hloubky ve zvukovém obraze klasické hudby je nejrealističtější, působí-li veškeré výše popsané parametry ve stejném smyslu s prostorovou hloubkou danou signály hlavního mikrofonního systému. Při generování dodatečného dozvuku z podpůrných mikrofonů vzdálenějších zvukových zdrojů je v tomto ohledu obzvlášť důležité, aby jejich signály neobsahovaly nežádoucí zvukové detaily, jež nejsou přirozeně schopny reakci prostoru vyvolat. Jelikož množství dozvuku musí přirozeně korespondovat i s velikostí simulovaného prostoru, je v tomto případě velikost prostoru klíčovým parametrem pro maximální dosažitelnou hloubku zvukového obrazu.

Důležitým parametrem je též doba prvního odrazu ITDG²⁴. S rostoucí dobou prvního odrazu se *sníží vnímaná vzdálenost* zdroje od posluchače a zvyšuje se též vnímaná velikost prostoru (srov. Albrecht 2010, str. 186). Dobu prvního odrazu lze odpovídajícím způsobem začlenit do zvukového obrazu vhodným rozmístěním zvukových zdrojů vůči hlavnímu mikrofonnímu systému a přítomným odrazivým povrchům. V tomto ohledu představuje omezení dodatečně generovaný umělý dozvuk, jenž disponuje většinou *jednotnou dobou prvního odrazu* (zpravidla nastavitelnou parametrem *Pre-delay*) pro všechny vstupní signály. Má-li být zachována logika prostorové perspektivy ve zvukovém obraze, je možné generovat dodatečně jen omezené množství dozvukové složky (viz kap. 1.5).

1.4 Přizpůsobení barvy zvuku

O výchozích vlastnostech barvy zvuku rozhoduje zvukový mistr vždy odpovídajícím způsobem snímání daného zvukového zdroje. U klasické hudby bývá obecně preferováno snímání zdrojů zvuku z *větší vzdálenosti*, jelikož hudební nástroje vyzařují všesměrově pouze do cca 500 Hz (dle typu stavby) a na vyšších frekvencích vždy výrazněji v dílčích směrech. Větší vzdálenost umožňuje zachytit mikrofonom celkový zvuk nástroje, aniž by byl výrazněji preferován určitý směr (Albrecht 2010, str. 2). Z toho opět vyplývá hlavní požadavek na objem a dobu dozvuku prostoru, aby dozvuková vzdálenost umožnila snímání z požadované vzdálenosti s požadovaným poměrem přímého a odraženého zvuku.

²⁴ Initial Time Delay Gap, doba prvního odrazu. Hodnota ITDG popisuje časovou vzdálenost přímé zvukové vlny a prvního odrazu v místě posluchače. Zdroje zvuku blízko posluchače vyvolají vyšší, vzdálené zdroje nižší hodnotu ITDG.

Větší možnost preference určitého vyzařovacího směru poskytují zvukovému mistrovi podpůrné mikrofony, jejichž úkolem často bývá právě doplnění barevné informace, jež je ve zvukovém obraze hlavního mikrofonního systému nedostatečně zastoupena či maskována. I u snímků, jejichž zvukový obraz je tvořen z většiny podpůrnými mikrofony, hraje tedy důležitou roli rozmístění účinkujících, aby bylo možné snímat zdroje zvuku z požadovaných směrů bez nežádoucích přeslechů z okolních zdrojů. Zvláště u větších hudebních těles bývá doplnění barvy zvuku pomocí podpůrných mikrofonů výhodné. Dodatečná barevná složka může logicky podpořit důležitost jednotlivých nástrojů ve zvukovém obraze dle aktuálních požadavků instrumentace hudebního díla. V takovém případě lze změnou mixu reagovat například na sólové pasáže, nebo pokud se signály hudebních nástrojů vzájemně maskují.

Zvukoví mistři již při snímání často optimalizují barvu zvuku záměrnou volbou mikrofону s určitými směrovými vlastnostmi či frekvenčním průběhem. Zde již nehraje roli pouze směrová charakteristika, jejíž volba bývá častěji podřízena požadavku na poměr přímého a odraženého zvuku vzhledem k vzdálenosti od zvukového zdroje, popř. požadavku na oddělení od okolních zvukových zdrojů. Důležitý je i vlastní „zvukový charakter“ mikrofону daný například u velkomembránových mikrofonů frekvenčně závislou směrovostí. Někdy se užívá i záměrného zkreslení signálu například lampovým předzesilovačem. Stylizace barvy zvuku je tedy již během snímání dosti rozsáhlá a detailní.

Vliv na barvu zvuku nástroje má i odražený zvuk, jehož optimalizace probíhá též již během záznamu, a to především optimalizací umístění hlavního mikrofону. Důležité je i rozmístění zvukových zdrojů v prostoru. Tím má zvukový mistr možnost ovlivnit nejen časový odstup odrazů, ale též záměrně ve zvukovém obraze využít vliv určitých povrchových materiálů²⁵. Barevné vyvážení odraženého zvuku umožňuje též volba směrové charakteristiky na hlavní mikrofónu, je-li jeho podíl ve výsledném zvukovém obraze významný (především obsah nízkých kmitočtů - viz kap. 1.5). Obecně lze říci, že čím důležitější úlohu chce mistr zvuku ve zvukovém obraze svěřit hlavnímu mikrofónu, tím důležitější je vůči němu optimalizovat umístění zvukových zdrojů i s ohledem na směrové vyzařování a zachycený poměr přímého a odraženého zvuku. V takovém případě lze ovlivnit směr vyzařování vůči hlavnímu systému též pomocí různých výškových stupňů. Pro dílčí zisk či utlumení přímého zvuku se využívají akustické paravány s různým stupněm pohltivosti.

Rozsah použití ekvalizérů v zaznamenaných signálech závisí na estetickém přístupu zvukového mistra. Na rozdíl od úprav během snímání, kdy lze určité barevné vlastnosti doplnit či zcela vyloučit, umožňuje ekvalizace jen poměrné dorovnání již zachycených vlastností. Zásadní limit na účinek ekvalizace představuje množství zachyceného dozvuku: Čím vyšší je zachycený podíl odraženého zvuku, tím více jsou omezeny zásahy ekvalizace do přímého zvuku, jelikož frekvenční odezva prostoru musí zůstat své původní akustické předloze do značné míry věrná, má-li nadále vyvolávat u posluchače dojem realistického prostoru. S rostoucím množstvím zachyceného dozvuku stoupá vliv odraženého zvuku na barvu zvuku daného zdroje, barvu přímého a odraženého zvuku již nelze od sebe oddělit²⁶. Analogicky představuje barevné vyvážení přímého zvuku limit při ekvalizaci prostorové složky, a to především, pokud se obě složky v klíčových frekvenčních pásmech překrývají. Je-li prostorová složka zvukového obrazu doplňována umělým dozvukem, lze jeho ekvalizací či úpravou doby dozvuku v určitých kmitočtových pásmech barvu odraženého zvuku dorovnat.

Pomocí ekvalizéru lze zasahovat do barvy zvuku i u již smíchaného stereofonního snímku. Ekvalizérem lze rovněž u klasických snímků upravit relativní množství dozvuku, je-li jeho energie v určitém frekvenčním pásmu dominantní. Stejným způsobem je možné zvýhodnit či upozadit formantové oblasti určitých zvukových zdrojů. Je-li potřeba upravit barvu u fantomového zdroje uprostřed reprodukční báze, využívá se ekvalizace s M/S algoritmem. M/S ekvalizér umožňuje rovněž v omezené míře upravit prostorovou informaci, pokud je na okrajích stereofonní báze reprodukován převážně odražený zvuk. Využívá-li zvukový mistr k loka-

²⁵ Zásadní vliv na barvu zvuku má činitel pohltivosti daného materiálu a jeho frekvenční závislost (srov. Albrecht 2010, str. 186).

²⁶ V extrémních případech, kdy je zachycen zvukový obraz s výraznou ambientní složkou, mohou výstupní signály mikrofonů představovat přímo výsledný snímek (například snímky varhanní hudby).

lizaci ve stereofonním obraze časové rozdíly mezi signály, mohou zásahy M/S algoritmu vyvolat efekt hřebenového filtru. U smíchaných snímků lze v rámci stylizace barvy zvuku opět využít nejrůznější signálová zkreslení, například saturaci analogového pásku či generátoru harmonických kmitočtů, a dynamické korekce. S ohledem na realistické pojetí zvukového obrazu však nebývá dodatečná technická stylizace u snímků klasické hudby výrazná.

Vliv na barvu může mít i hřebenový filtr u podpůrných mikrofonů, jejichž signály nejsou časově kompenzovány. Hřebenový filtr je při určité relativní úrovni výrazný, jsou-li signály z hlavního a podpůrného mikrofonu podobné. K tomu dojde nejčastěji, snímají-li hlavní a podpůrný mikrofon přímý zvuk daného zvukového zdroje *ve stejné ose jeho vyzařování*. Východiskem je změna vzdálenosti zdroje od hlavního mikrofonu tak, aby bylo možné použít v mixu větší podíl signálu z podpůrného mikrofonu a ve větší míře se projevil precedenční jev. V závislosti na vyzařovacích vlastnostech zdroje může být též řešením změna snímaného směru vyzařování u jednoho z mikrofonů.

Vzhledem k tomu, že hřebenový filtr vzniká vždy fázovým vztahem při směšování *přímého zvuku*, lze se s tímto průvodním jevem setkat především u prostor s delší dozvukovou vzdáleností (větším objemem a kratší dobou dozvuku). Degradace barvy zvuku vlivem hřebenového filtru může též nastat u podpůrných mikrofonů s časovou kompenzací, pokud snímají nežádoucí přeslech z jiného zdroje, jehož vzdálenosti kompenzační časová hodnota neodpovídá. Proto je žádoucí u časově kompenzovaných mikrofonních signálů dbát na nízkou úroveň přeslechů, což vede často k užívání směrovějších měničů než u nekompenzovaných signálů²⁷. Hřebenový filtr může při záznamu způsobit i odraz od povrchu pódia, jeviště či např. notového pultu.

1.5 Přízpusobení dozvukové složky

1.5.1 Dozvuková vzdálenost

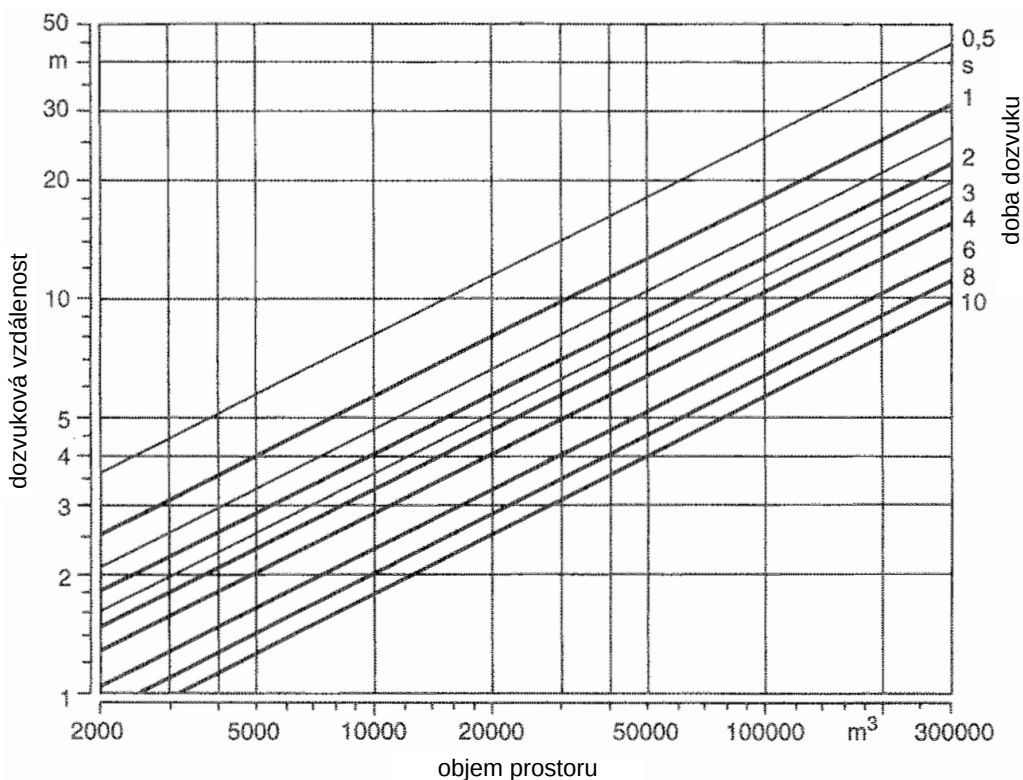
Jak již naznačily předchozí kapitoly, dozvukovou složkou lze ve zvukovém obraze ovlivnit jak barvu zvuku, tak vjem vzdálenosti reprodukováného zdroje. Dozvuková složka je používána i k zesílení a podpoření důležitosti určitého zvukového zdroje. Hlavní parametr dozvukové složky představuje její *množství*, tj. poměr přímého a odraženého zvuku. Tento poměr stanoví zvukový mistr většinou volbou typu mikrofonu (dynamický / kondenzátorový), směrové charakteristiky a vzdálenosti od zdroje při jeho snímání. Relativní vyvážení přímého a odraženého zvuku pro jednotlivé zvukové zdroje - např. nástroje komorního souboru - lze ovlivnit poměrem jejich vzdáleností od hlavního mikrofonu, dále užitím odrazných či pohltivých materiálů a podpůrnými mikrofony.

Volba charakteristiky i vzdálenosti mikrofonu v sobě samozřejmě spojuje mnohem více proměnných parametrů, nežli jen množství odraženého zvuku. Například s rostoucí vzdáleností ubývá množství zachyceného detailu resp. poměrného zastoupení dílčího vyzařovacího směru zvukového zdroje, se změnou charakteristiky se změní rovněž průběh proximity efektu atd. V rámci snahy vyhovět těmto a dalším souvisejícím jevům se výsledný poměr přímého a odraženého zvuku ve stereofonním obraze může dostat do kompromisu. V takových případech je možné dále ovlivnit množství dozvuku filtrací, je-li energie odraženého zvuku výrazněji soustředěna v určitém kmitočtovém pásmu. Ve větší míře lze dodatečně dozvuk *již pouze zesílit*, a to generováním umělého dozvuku.

²⁷ Širší směrová charakteristika často umožní lepší zapojení nezpožděného signálu do zvukového obrazu hlavního mikrofonu, jelikož dozvuková složka částečně maskuje zdvojení přímého zvuku. Ve stejném smyslu může usnadnit propojení nezpožděného signálu s hlavním mikrofonem umělý dozvuk.

Z toho důvodu - je-li nutné během záznamu v otázce množství dozvuku zvolit kompromisní řešení - je výhodnější, bude-li zachycené množství dozvuku vzhledem ke zvolené vzdálenosti a směrovosti mikrofону *spíš menší*. Zvukový mistr musí disponovat přesnou představou o požadovaném množství dozvukové složky již při výběru prostoru, aby jeho dozvuková vzdálenost umožnila snímání nástrojů z požadované vzdálenosti, aniž by byl zachycený odražený zvuk příliš výrazný. Zde je zásadním kritériem objem a doba dozvuku prostoru: jak lze odvodit z grafického řešení rovnice pro výpočet dozvukové vzdálenosti na obrázku 1.5, dozvuková vzdálenost se *při zvětšujícím objemu prostoru a konstantní době dozvuku prodlužuje, pro stálý objem prostoru se s narůstající dobou dozvuku zkracuje*.

Množství dozvuku a dozvuková vzdálenost však nejsou u klasické hudby zdaleka jediným parametrem pro optimalizaci odraženého zvuku. Na akustické vlastnosti prostoru, jež jsou definovány jeho odraženou energií, mají klíčový vliv jeho rozměry, rozmanitost ploch jeho povrchů, frekvenční charakteristika pohltivosti jednotlivých povrchů, vzdálenost a směrování jednotlivých povrchů vůči posluchači, u objemných prostor též pohlcení vysokých kmitočtů ve vzduchu²⁸. Tyto klíčové vlastnosti musí zvukový mistr vyhodnotit při výběru prostoru. Zatímco v souladu s nároky na dozvukovou vzdálenost je vybírán prostor s určitým objemem a dobou dozvuku, zde je již na místě korespondence se skladebným stylem a instrumentací dané skladby: Do jaké míry má dozvuk propojovat jednotlivé hlasy a utvářet celistvý zvuk? Do jaké míry mají být spojené melodické fráze? Poskytuje prostor při užitečné dozvukové vzdálenosti dostatečnou zřetelnost pro rytmické pasáže nebo například polyfonní vedení hlasů?²⁹ Jaká je čitelnost na nízkých kmitočtech?



Obr. 1.5: Závislost dozvukové vzdálenosti na objemu prostoru a době dozvuku pro všesměrový zvukový zdroj. Výhoda větší hustoty energie a tím vyšší hlasitosti prodloužením doby dozvuku u velkých prostor je v praxi kompenzována kratší dozvukovou vzdáleností a tedy snížením zřetelnosti a srozumitelnosti (Meyer 2004, str. 154).

²⁸ viz Lexicon 2000, str. 5-1

²⁹ srov. Meyer 2004, str. 159

1.5.2 Doba dozvuku

Důležitou objektivní veličinu akustických vlastností prostoru představuje pro zvukového mistra doba dozvuku (T), popřípadě Early Decay Time (EDT)³⁰. S dobou dozvuku se zvyšuje vjem hlasitosti - u ne příliš krátkých tónů jsou vznikavší hustota energie a akustický tlak době dozvuku přímo úměrné. Doba dozvuku se zvyšuje s časovým odstupem odrazů od jednotlivých povrchů v prostoru (tedy se vzdáleností povrchů, objemem prostoru), snižuje se se stoupající pohltivostí povrchů.

Doba dozvuku pozitivně hodnocených koncertních sálů se pohybuje přibližně v oblasti 1,7 až 2,2 vteřiny, u operních domů bývá doba dozvuku kvůli srozumitelnosti textu kratší, v případě kostelů může být naopak i několikanásobně delší. Zda je pro uvažovanou hudební produkci daná doba dozvuku optimální či ne, závisí v první řadě na *způsobu vybuzení prostoru*, respektive na hudebním provedení - například u symfonické hudby závisí optimální doba dozvuku na druhu jejího slohu³¹. V tabulce 1.1 jsou uvedeny směrné hodnoty pro optimální dobu dozvuku pro různé prostory určené ke zvukové produkci dle Waltera Kuhla (1954). U příliš dlouhé doby dozvuku mohou přestat být zřetelné kratší pauzy a odsazení, případně mohou zaniknout tiché pasáže, předchází-li jim silný zvuk³².

druh prostoru pro zvukovou produkci	optimální doba dozvuku [s]
hlasatelny	0,3
činoherní studia	0,6
velká televizní studia	0,8
konferenční sály	0,7 ... 1,2
operní domy	1,5
koncertní sály a velká hudební studia	2,0
kostely	2,5 ... 3,0

Tabulka 1.1: Směrné hodnoty pro optimální dobu dozvuku různých prostor určených ke zvukové produkci. Hodnoty dle Waltera Kuhla (Kuhl 1954).

Při záznamu má na způsob vybuzení prostoru značný vliv umístění hudebních zdrojů v rámci prostoru. Mimo teoretických předpokladů (v rohu místnosti zpravidla dochází k menšímu vybuzení odraženého zvuku, stěny prostoru zároveň mohou sloužit k posílení přímého zvuku, uprostřed místnosti může naopak docházet ke sčítání odrazů, je-li prostor symetrický, atd.) využívají zvukoví mistři pro volbu umístění především sluchovou zkušenost. Při rozmístění účinkujících hudebníků je samozřejmě nutné zohlednit, aby ve výhodném poměru slyšeli sebe a okolní nástroje. Vhodným umístěním hudebníků lze rovněž zamezit vybuzení nepříznivých nízkofrekvenčních módů prostoru. Vyhledání příznivé pozice vůči módům prostoru platí i pro pozici mikrofónů, není-li možné ovlivnit jejich vybuzení změnou umístění zdroje - například u varhan. Je-li doba dozvuku - například v sále bez publika - příliš dlouhá, je nutné využít akusticky pohltivé materiály.

V rámci postprodukce hudebního snímku může zvukový mistr pomoci umělého dozvuku dobu dozvuku již pouze *prodloužit*. Ačkoli by se ve spojení s umělým dozvukem mohly prostory s krátkou dobou dozvuku jevit pro záznam hudby jako „univerzálnější“, v praxi je možné

³⁰ Doba, za níž poklesne úroveň zvuku po vypnutí zdroje o 10 dB oproti počáteční hodnotě. Na rozdíl od T_{30} a T_{60} EDT více respektuje subjektivní vnímání sluchem. Subjektivní vjem je nejvíce ovlivněn začátkem dozvuku, jelikož pozdější dozvuk bývá v tónového sledu hudebních děl zpravidla maskován následujícím přímým zvukem.

³¹ srov. Reallex. Akustik 1982, str. 236

³² srov. Meyer 2004, str. 159

dodatečně prodloužit dobu dozvuku jen v omezené míře, má-li zůstat logická vzhledem k interpretaci, jelikož interpreti vjemu odraženého zvuku přizpůsobují agogiku i dynamiku hry.

Protože je pohltivost povrchů v prostoru frekvenčně závislá, je frekvenčně závislá i doba dozvuku. Frekvenční průběh doby dozvuku vyvolává změnu barvy zvuku při doznění. Na obrázku 1.6 jsou porovnány frekvenční průběhy dozvuku dvou koncertních sálů; většina pozitivně hodnocených koncertních sálů vykazuje nárůst doby dozvuku na nízkých kmitočtech, což je z energetických důvodů výhodné pro zesílení základních tónů u hlubokých nástrojů v orchestru, jež mají výraznější vyzařování až nad 200 Hz (Meyer 2004, str. 164). Nárůst pod cca 125 Hz též v jistém smyslu vychází vstříc zvýšené frekvenční závislosti u citlivosti lidského sluchu v nízkofrekvenční oblasti (srov. obr. 1.4). Společnou charakteristickou vlastností je rovněž pokles na vysokých kmitočtech způsobený hrubostí povrchových ploch a disipací.

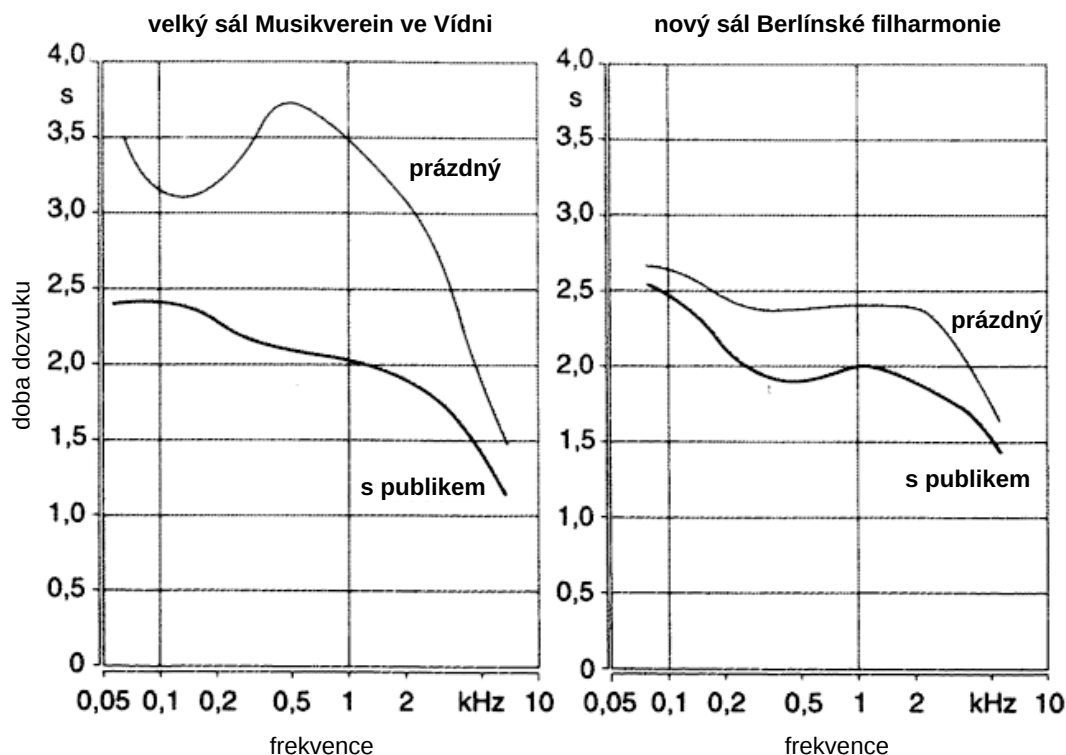
1.5.3 Barva dozvuku

Podstatný vliv na zaznamenanou barvu odraženého zvuku mají *módy prostoru*, tedy vliv stojatého vlnění s vlastní frekvencí v uzavřeném prostoru. U malých prostor převládají diskrétní vlastní frekvence, u větších prostor tvoří prostorové módy kontinuum - silnější dozvuk. Prostorové módy ovlivňují barvu odraženého zvuku tím, že zdůrazňují určité kmitočty a vytváří nerovnoměrné rozmístění zvukové energie v prostoru.

Vliv na zachycení módů prostoru má *směrová charakteristika mikrofonu*. Rychlostní měniče prvního řádu zaznamenají oproti tlakovým měničům pouze jednu třetinu vlastních módů prostoru. Zde je nutné zohlednit vektorový charakter snímání u rychlostních měničů. Zatímco u tlakového měniče pro přenos nízkofrekvenčních kmitů postačí, pokud není umístěn v místě uzlu kmitání dané vlastní frekvence prostoru (minima akustického tlaku), i když je osmičkový mikrofon umístěn v místě maxima akustické rychlosti, nedojde ke snímání, pokud je směřován hlavní osou kolmo vůči akustické rychlosti. Vzhledem k tomu, že hustota vlastních módů prostoru se s frekvencí snižuje, je tento jev frekvenčně závislý (srov. Wuttke 2000, str. 41). Vliv módů prostoru je obvykle sluchem vnímatelný pouze do cca 300 Hz, na vyšších frekvencích působí výrazněji další jevy prostorové akustiky.

Barvu odraženého zvuku ovlivňuje i frekvenční závislost směrovosti mikrofonu, kterou nelze kompenzovat ekvalizací signálu. Frekvenční odezva přímého a difuzního pole se může zvláště u rychlostních měničů výrazně lišit. Je-li přirozená akustika prostoru pro snímek výhodná a nevyžaduje výraznější stylizaci, bývají často užívány malomembránové kondenzátorové mikrofony, jejichž směrovost bývá nejméně frekvenčně závislá.

Zásah do odraženého zvuku v postprodukci je i v otázce frekvenčního průběhu omezený: mistr zvuku může umělý dozvuk *prodloužit v určitých frekvenčních pásmech*, případně může umělý dozvuk ekvalizačně vyrovnat tak, aby frekvenční odezvu zaznamenaného odraženého zvuku kompenzoval.



Obr. 1.6: Frekvenční průběh dozvuku dvou koncertních sálů (Beranek 1962, Cremer 1964, Meyer 2004).

1.5.4 Časové vlastnosti dozvuku

Ačkoli rozdělení odraženého zvuku na *první odrazy* a *difuzní část* vyhoví jen pro vjem krátkých signálů (v praxi vybudí krátké tóny především první odrazy a dlouhé více difuzní dozvuk³³), je pro zvukového mistra důležité vyhodnotit, které typy odrazů zvýší srozumitelnost a které například umocní prostorový vjem. Lidský sluch nevnímá první odrazy odděleně, pouze jejich *vliv na přímý zvuk*. Na začátku každého tónu je - po dobu prvního odrazu ITDG - slyšitelný přímý zvuk samostatně, což je důležité pro lokalizaci. Doba ITDG, jak bylo uvedeno v kapitole 1.3, má vliv na subjektivní vjem vzdálenosti: čím je ITDG delší, tím se jeví zdroj zvuku subjektivně blíže. S prodlužující se dobou prvního odrazu se rovněž zvyšuje vjem *velikosti prostoru*. Následující sled prvních odrazů doplňuje přímý zvuk o komponenty *časových rozdílů a rozdílů v úrovni*, a kromě průvodní *tembrální změny* rovněž *degraduje lokalizaci*. Z tohoto sledu odrazů lidský sluch odvozuje vjem *vzdálenosti, velikosti prostoru a vlastnosti přítomných materiálů* (srov. Lexicon 2000, str. 5-2). Odražený zvuk je samostatně slyšitelný po skončení tónů, typicky jako jejich *prodloužení*.

Vjem velikosti prostoru závisí na časovém odstupu prvních odrazů. Malé prostory disponují často početnými odrazy pod 15 ms, jejichž typický tembrální charakter zasahuje do vyšších kmitočtů. Vjem přítomnosti ve velkém prostoru vzniká při časovém odstupu odrazů nad 25 ms (viz Syrový 2008, str. 397). Zaznamenané odrazy a jejich projev ve zvukové barvě hudebního snímku představují *definitivní předlohu vjemu velikosti prostoru*, kterou lze umělým dozvukem jen stěží relativizovat, má-li pro posluchače zůstat logická. Je-li odražený zvuk zaznamenaný v souladu s výslednou představou, lze jej pomocí umělého dozvuku dále stylizovat, například umocnit dekorelaci bočních odrazů, jež je důležitá pro subjektivní vjem prostorovosti³⁴. Umělý dozvuk lze efektivně použít k *vyrovnání podílu prvních odrazů a difuzního dozvuku* prostoru, a to dodatečným generováním pouze příslušné složky.

³³ Hudební nástroje s výraznou tranzientní složkou signálu vybudí v prostoru obecně více první odrazy nežli neperkusi signály.

³⁴ Výraznější první odrazy uprostřed reprodukcí (odrazy od stropu) vyvolají zpravidla vjem nižšího a užšího prostoru, nežli boční odrazy (srov. Albrecht 2010, str. 186).

Jelikož je sled prvních odrazů zachycený v reálném prostoru vždy *jedinečný* pro každou pozici zvukového zdroje vůči mikrofonu, je přirozenou snahou mistrů zvuku v co největší míře zachytit užitečné první odrazy při nahrávání a dodatečně generovat dle potřeby již pouze difuzní dozvukovou složku (srov. Lexicon 1993, str. 3-3). Vzhledem k tomu, že unikátní sled odrazů z každého zdroje v prostoru je vnímán jako *barevná změna*, může použití většího množství umělého dozvuku snímek navíc též barevně unifikovat.

Chce-li zvukový mistr ve zvukovém obraze podpořit *přirozenou variabilitu odrazů*, může dodatečnou prostorovou složku zachytit zvláštním *ambientním systémem*. Výhodou ambientního systému je možnost optimalizace jeho lokalizačních vlastností výhradně s ohledem na zachycení odraženého zvuku. Zároveň je možné pečlivou volbou umístění zvolit akustické pole s výhodným odstupem od přímého zvuku, popř. kde je odezva prostoru dle potřeby difuzní.

Při optimalizaci složky odraženého zvuku ve snímku je nutné brát ohled na omezené směrové vyzařování cílového reprodukčního formátu, a to především u stereofonní reprodukce na reproduktory ($\pm 30^\circ$)³⁵. Odrazy vycházející ze stejného směru jako přímý zvuk mohou mít při krátkých časových odstupech nežádoucí vliv na barvu a při delších odstupech na srozumitelnost. Odrazy ze stejného směru rovněž *nepodpoří vjem hloubky* pro daný zvukový zdroj (srov. Lexicon 2000, str. 3-2). U stereofonního poslechu se navíc oproti vícekanálovým surroundovým formátům přímý zvuk odraženým zvukem snadněji zamaskuje, jelikož na posluchače při reprodukci přichází ze stejného směru.

1.5.5 Umělý dozvuk

U produkce klasické hudby slouží zařízení pro generování umělého dozvuku nejčastěji k prodloužení dozvukové složky a doplnění jejích vlastností. Pro budování prostorové perspektivy je - na rozdíl od populární hudby, kde se častěji pracuje se signály s minimální zachycenou prostorovou složkou - klíčový přirozený odražený zvuk původního prostoru. Za současný (2014) standard umělého dozvuku pro klasickou hudbu lze považovat zařízení firmy Lexicon 480L (z roku 1986) a 960L (z roku 2000), která používají časově *obměňované efekty* jako např. náhodně řízenou časovou a spektrální modulaci prvních odrazů, podobnou, jaká vznikne v prostoru při pohybu zvukových zdrojů či posluchače, nebo vlivem frekvenčně závislého směrového vyzařování zdrojů.³⁶

Běžná *algoritmická dozvuková zařízení* nabízejí širokou škálu parametrů pro konfiguraci sledu odrazů. Především je to výběr simulace různých typů prostor (kostel, koncertní sál atd.), který přednastaví hlavní parametry jako dobu dozvuku, strukturu a hustotu prvních odrazů a hustotu vlastních kmitočtů. Každý program obvykle nabízí parametr pro velikost simulovaného prostoru („size“), jenž společně řídí nastavení dalších parametrů.³⁷

Další běžné parametry jsou: doba dozvuku („reverb time“), faktor násobící dobu dozvuku na nízkých frekvencích („bass multiply“), mezní kmitočet pro útlum vysokých frekvencí („rolloff“) a zkrácení doby dozvuku na vysokých frekvencích („treble decay“), parametry řídící časový průběh dozvuku („shape“, „spread“), časové zpoždění dozvuku oproti vstupnímu signálu („predelay“) a parametry k vytvoření jednotlivých prvních odrazů s definovaným časem a úrovní (ibid.).

Dozvuková zařízení pracující s *konvolučními algoritmy* nacházejí v produkci klasické hudby menší využití, jelikož negenerují časově proměnné vlastnosti dozvuku, jaké mohou v prostoru vníknout například při pohybu zvukových zdrojů, a poskytují pouze omezený přístup ke struktuře dozvuku. To je nevýhodné, jelikož předmětem použití umělého dozvuku u kla-

³⁵ Dekorelací signálů je možné reprodukovat odražený zvuk i vně uvedené šířky reprodukční báze.

³⁶ srov. Maempel a kol. 2008, str. 754

³⁷ srov. Maempel a kol. 2008, str. 754

sické hudby často *není simulace přirozeného prostoru*, ale doplnění specifických vlastností odraženého zvuku.³⁸ Obvyklými parametry u konvolučních algoritmů jsou zpoždění oproti přímému zvuku („predelay“) a parametr modifikující dobu dozvuku, který prodlužuje či zkracuje doznění impulzní odezvy.

U nahrávek klasické hudby bývá umělý dozvuk nejčastěji generován z *hlavního mikrofonního systému*, v jehož signálech je zachycená perspektiva zvukového obrazu; primárním účelem podpůrných mikrofonů je zesílení přímého zvuku a zkonkrétnění daného zvukového zdroje. Je-li z podpůrných mikrofonů požadováno vyšší zesílení přímého zvuku, než jaké odpovídá perspektivě hlavního mikrofону, bývá účelné přimíchat na vstup dozvukového procesoru i signály z dotyčných podpůrných mikrofonů, jejichž dynamický rozsah lze případně před vstupem do procesoru omezit kompresorem.

Zde hraje i poměrně významnou roli, zda jsou signály podpůrných mikrofonů časově kompenzované vůči signálům hlavního mikrofону, či nikoliv. Přesně zpožděné signály podpůrných mikrofonů *respektují prostorovou hloubku* a odražený zvuk je z nich generován v různých časových odstupech. U časově kompenzovaných podpůrných mikrofonů je nutné dbát na minimální přeslech z okolních zvukových zdrojů i proto, aby se nenarušila logika sledu generovaných odrazů. I v případě časové kompenzace stále platí, že čím více umělého dozvuku je ze signálů podpůrných mikrofonů generováno, tím více je sjednocována vnímaná vzdálenost daných zvukových zdrojů, jelikož dozvukový procesor reaguje na všechny signály se stejnou prodlevou ITDG, i když jsou vůči hlavnímu mikrofону zpožděné.

U časově nekompenzovaných signálů lze využít *precedenční jev* i na vstupu dozvukového zařízení: s přimícháním signálu podpůrného mikrofону na vstup dozvukového zařízení je generovaný dozvuk více *frekvenčně i časově ovlivňován* daným signálem. Nezpovědný signál z podpůrného mikrofону má větší vliv na průběh generovaných prvních odrazů nežli zpožděný signál; odrazy generované ze zpožděných signálů se snáze časově maskují. Mají-li tedy zdroje zvuku posilované podpůrným mikrofonom získat větší podíl odraženého zvuku, než jak je zachycuje hlavní mikrofonní systém, může být výhodné signály časově nekompenzovat.

Podobný princip se může uplatnit i u přirozeně zachyceného dozvuku. Není-li technicky dostupné mikrofonní signály časově sjednotit, může nastat situace, kdy se signály některých podpůrných mikrofonů při větším zesílení *vyčlení z hloubkové perspektivy* stereofonního obrazu a jimi zaznamenaný odražený zvuk vytvoří díky precedenčnímu jevu vlastní prostorovou logickou jednotku. V takovém případě může být řešením propojit signály umělým dozvukem, jehož fixní hodnota prvního odrazu navíc účinně sjednotí vnímanou hloubku (srov. Syrový 2008, str. 397).

Jak bylo již řečeno v kapitole 1.3, je-li generován dozvuk ze signálů podpůrných mikrofonů a má-li být zachována logika perspektivy stereofonního obrazu, je důležité, aby signály neobsahovaly zvukové detaily, které nejsou přirozeně schopny danou reakci prostoru vyvolat. V tomto ohledu musí množství dozvukové složky korespondovat s relativní hlasitostí daného zdroje a též respektovat perkusní či neperkusní povahu daného hudebního signálu.

1.6 Přizpůsobení dynamiky a vzájemné vyvážení zvukových zdrojů

Poté, co jsme věnovali několik kapitol parametrům zvukového obrazu klasické hudby a jejich vzájemné provázanosti, se přirozeně nabízí otázka, zda po zachování všech popsaných kritérií vůbec zbývá prostor pro korekce vyvážení na mixážním stole. Ano, zbývá. Ale přináší-li perspektiva hlavního mikrofону, doplněná o podpůrné případně ambientní mikrofony a systémy, funkční zvukový obraz již ve *statické podobě*, omezuje se vlastní míchání pouze na cílené redukování hloubky a zvyšování konkrétnosti zvukových zdrojů dle jejich momentální

³⁸ srov. Maempel a kol. 2008, str. 754-755

důležitosti. Díky tomu je možné realizovat i po stránce snímání náročná díla klasické hudby s živým mícháním, například formou přímého přenosu.

UVědomíme-li si, že během aktivního procesu míchání upravuje zvukový mistr běžně již pouze *relativní úrovně* jednotlivých signálů, je bezpodmínečně nutné navrhnout snímání akustických zdrojů tak, aby v rámci pracovního rozsahu faderů mixážního stolu bylo možné docílit optimálního vyvážení zvukového obrazu. Výše zmíněnou základní předlohou zvukového obrazu musí tedy zvukový mistr nutně disponovat již při vytváření technického konceptu snímání.

Rozsah *estetické přijatelnosti* zásahů do zvukového obrazu čistě pomocí *rozdílů v signálové úrovni* je omezený, a to především s přihlédnutím ke vztahům parametrů hloubky stereofonního obrazu popsaným v kapitole 1.3. Technicky je pracovní rozsah účinnosti relativní signálové úrovně v mixu omezen přeslechem, jak uvádí Prof. Václav Syrový (2009, str. 278):

Přístup zvukového režiséra k mixáži určuje nejenom jeho vize výsledného zvukového obrazu, ale v první řadě zvuková nezávislost jednotlivých zvukových zdrojů, tzn. přeslech či úroveň jejich separace.

S ohledem na zvukovou nezávislost je nutné navrhnout koncept snímání akustických zdrojů, aby bylo možné úpravou relativní signálové úrovně při míchání docílit hloubky a konkrétnosti u každého zvukového zdroje v rozsahu daném dramaturgií hudebního díla, respektive jeho požadovanou stylizací. Jelikož hlavní těžiště zvukové závislosti představuje při snímání hlavní mikrofon, bývá jeho optimalizaci věnována nejvyšší pozornost.

Budiž zdůrazněno, že tímto není vysloven požadavek na *obecně co největší flexibilitu* parametrů zvukového obrazu v rámci míchání, tedy technicky co nejnižší přeslechovost. Přenese-li se těžiště optimalizace zvukového obrazu do oblasti signálového zpracování přímého zvuku, často již není možné vytvořit akusticky věrnou stylizaci, jakou poskytne optimálně umístěný hlavní mikrofonní systém. Vzhledem k tomu, že u klasické hudby zvukový mistr zpravidla předem disponuje pevnou představou o zvukovém obraze, není běžně potřeba, aby koncept snímání umožňoval více alternativních způsobů vyvážení.

Během procesu míchání upravuje zvukový mistr relativní úrovně dle aktuálních dramaturgických, instrumentačních a stylizačních požadavků, přičemž reaguje především na úbytek ostroty lokalizace jednotlivých zvukových zdrojů vlivem *maskování*. S ohledem na maskování je voleno i rozmístění na reprodukční bázi (panorama), tj. relativní úroveň každého signálu mezi levým a pravým kanálem mixu. Maskování signálů lze kromě rozdílů v úrovni (fader, panorama) ovlivnit i zpracováním signálu v rámci kanálů míchacího pultu, a to především jeho filtrace a ekvalizací (Syrový 2009, str. 280):

„Tam, kde se diferenciací dynamiky ve smyslu zdůraznění či potlačení, např. konkrétního hudebního nástroje ve zvuku symfonického orchestru, jeví už jako málo účinná nebo vede k porušení vyváženosti zvukového obrazu, nastupuje diferenciací barevná, realizovaná prostřednictvím filtrace. Zatímco manipulace s okrajovými částmi frekvenčního spektra (zdůrazňování či potlačování hloubek a výšek) koriguje obvykle nedostatky akustického či elektroakustického přenosu, jednoduchá pásmová filtrace či moderní parametrická ekvalizace v oblasti středních frekvencí umožňuje upoutat pozornost našeho ucha na opěrné body subjektivního vjemu frekvenčního spektra. Tyto body spojujeme s formanty, výraznými frekvenčními oblastmi ve spektru, charakteristickými nejenom pro lidský hlas (zejména jeho vokály), ale i pro zvuk jednotlivých hudebních nástrojů. Další zvýraznění těchto oblastí nad obálku spektra smíchaného zvuku vhodnou úpravou přenosové charakteristiky umožní potom našemu uchu lépe odlišit zvuk odpovídajícího hudebního nástroje od jeho zvukového okolí, nebo naopak jej vůči tomuto okolí potlačit.“

Je-li použit pro barevné doplnění přímého zvuku nástroje podpůrný mikrofon, jsou potřeby ekvalizace ve výše popsaném smyslu vždy zohledňovány již *záměrnou volbou určitého vyzářovacího směru*. Během míchání přizpůsobují zvukoví mistři relativní úrovně jednotlivých zdrojů i představě o *výsledné barvě* celého mixu a udržují tak dle potřeb stylizace zvukový

obraz barevně jednotný. V rámci míchacího procesu může být systematicky formován i *dynamický rozsah*, a to relativními úrovněmi podpůrných mikrofonů, úrovní *dozvuku*, případně úrovní celého mixu. Tímto způsobem lze u klasické hudby mnohdy docílit citlivějšího zpracování dynamiky celého snímku nežli dynamickým procesorem. Pro častější okamžité zásahy do relativní úrovně jednotlivých signálů či skupin se využívají dynamické procesory. Některé typy živých vystoupení (např. jazzové recitály) vyžadují cílenou a pohotovou dramaturgii i při míchání *ambientních mikrofonů* pro udržení živé atmosféry publika ve zvukovém obraze.

Probíhá-li míchání živě například při přímém přenosu, bývá součástí produkčního týmu hudební režisér, který sleduje partituru a upozorňuje zvukového mistra na klíčové změny v instrumentaci či aranži. Při míchání v rámci postprodukce je možné mix zastavit a navázat letným stříhem, popřípadě průběžně zaznamenávat automatizaci mixu, kterou je možné dodatečně upravovat. Méně náročné změny v úrovních lze automatizovat i přes softwarové rozhraní DAW programu, například dynamické korekce hlasitých pasáží apod.

2. Rozdíl reprodukce sluchátek a reproduktorů

2.1 Typy konstrukce sluchátek

Technicky lze pohlížet na sluchátka jako na malé reproduktory umístěné blízko uší. Sluchátkové systémy mohou využívat všechny typy měničů, jaké se vyskytují u reproduktorů: elektromagnetické, dynamické, elektrostatické i piezoelektrické. Základní vliv na reprodukci má *konstrukce* sluchátek.

Dle konstrukčního napojení na sluchový orgán se sluchátka v první řadě dělí na *otevřená* a *uzavřená*. *Uzavřená sluchátka* jsou obvykle spojena s hlavou měkkým těsnícím polštářem, konstrukce předpokládá *uzavřený objem* a tedy frekvenčně nezávislý přenosový faktor, teoreticky až k nejnižším kmitočtům. Toho lze docílit především u konstrukce typu „insert“ (obr. 2.1). U supra-aurální uzavřené konstrukce již hraje netěsnost větší roli a způsobuje rezonance na vysokých kmitočtech (srov. Reallex. Akustik 1982, str. 176). U *otevřených sluchátek* je mezi membránou a ušním boltcem vložena průzvučná pěnová hmota, která zároveň vymezuje vzdálenost systému od ucha. Otevřená sluchátka nepracují s definovaným objemem, jedná se tedy o reproduktory umístěné v blízkosti uší.

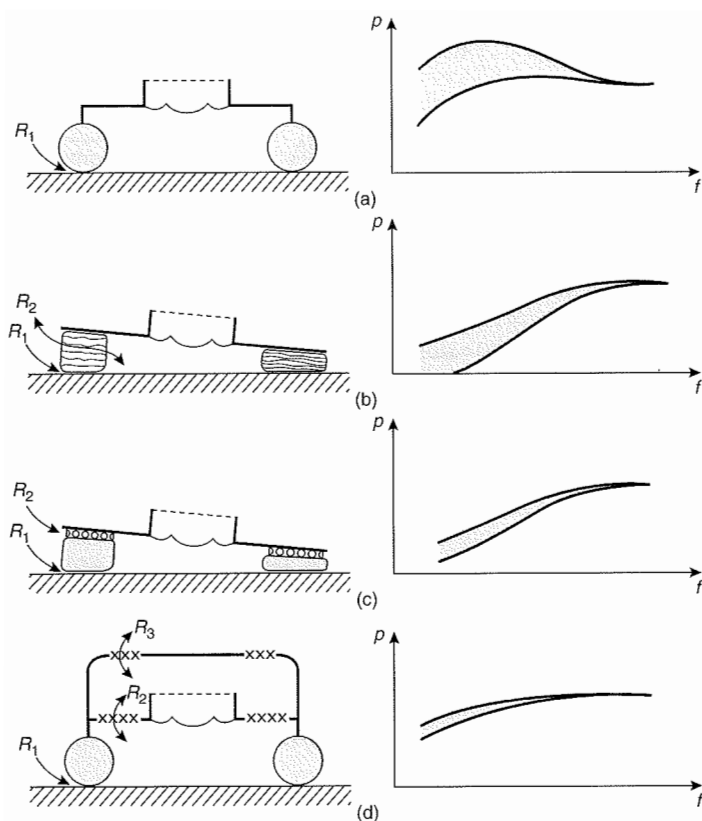
Na obrázku 2.1 je přehled konstrukčních typů sluchátek dle normy IEC 60268-7. Podle typu spojení se sluchovým orgánem lze rozlišit následující konstrukce: circumaurální, supra-aurální, supra-concha, intra-concha, insert a insert se zvukovodem. Všechny uvedené typy lze realizovat v otevřené i uzavřené variantě dle průzvučnosti materiálu náušníku. Circumaurální sluchátka, u nichž náušník obklopuje ušní boltce, lze v uzavřené variantě poměrně dobře utěsnit.

U uzavřených sluchátek má případná netěsnost výrazný vliv na frekvenční průběh. Některé konstrukce tak upřednostňují *kontrolovanou netěsnost* pomocí otvorů v mušli. Další případná netěsnost v systému pak nemá tak výrazný vliv a akustický tlak v mušli je stabilnější (u další netěsnosti se jedná o dva paralelní akustické odpory, větší vliv má nižší odpor - srov. Poldy 2006, str. 5).

Na obrázku 2.2 jsou vyobrazeny různé typy sluchátek se schematickou nízkofrekvenční charakteristikou dle Carla Poldyho (Poldy 2001). Typ A znázorňuje utěsněnou konstrukci, případná netěsnost (např. přes vlasy posluchače) má přímo za následek změnu akustického tlaku. U typu B je proměnná netěsnost ovlivněna fyzickou stlačitelností průzvučných náušníků, na jejichž poréznost má vliv mechanický tlak. Typ C představuje kontrolovanou netěsnost pomocí pevné porézní vložky za měkkým a tedy dobře těsnícím neprůzvučným náušníkem. Typ D představuje kontrolovanou netěsnost pomocí otvorů ze zadní strany mušle (tzv. konstrukce „open-back“).

typ sluchátka	akusticky uzavřené sluchátko (minimální netěsnost)	akusticky otevřené sluchátko (kontrolovaná netěsnost)	ušní reproduktor
Circumaural			
Supra-aural			
Supra-concha			
Intra-concha			
Insert			
Insert se zvukovou trubicí mezi měničem a sluchátkem (např. pro naslouchátka)			<p>POZNÁMKA</p> <ul style="list-style-type: none"> šrafování označuje akusticky uzavřené sluchátko s minimální netěsností tečkování označuje porézní materiál sluchátka s kontrolovanou netěsností

Obr. 2.1: Typy konstrukce sluchátek podle normy IEC 60268-7.



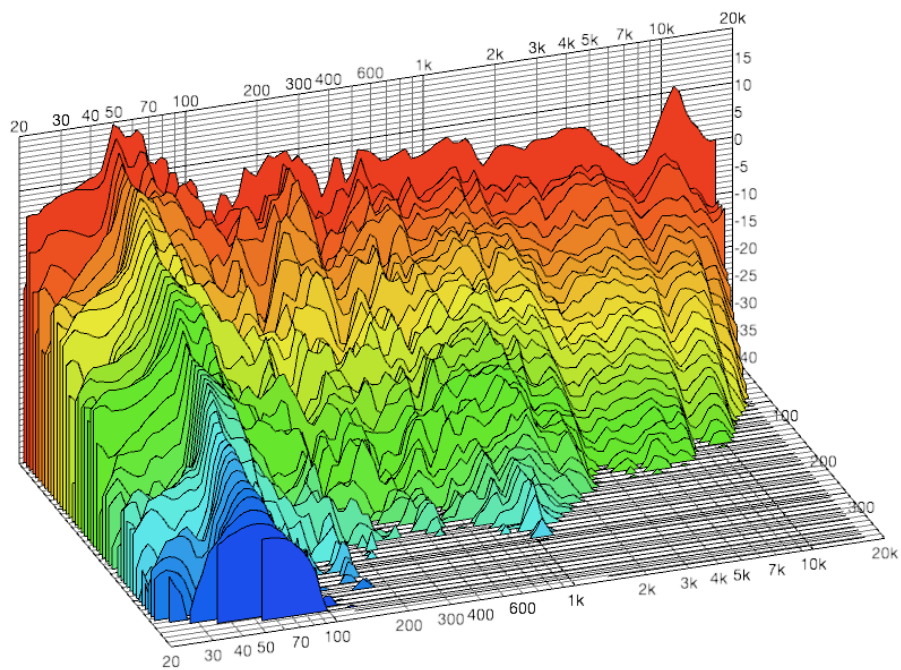
Obr. 2.2: Typy konstrukce sluchátek a schematické znázornění frekvenční odezvy na nízkých kmitočtech: (a) uzavřená; (b) otevřená s pěnovým náušníkem; (c) náušník z neporézní pěny s pevným odporem; (d) integrovaná otevřená (Poldy 2001, str. 596).

2.2 Rozdíl v prostorové informaci a ekvalizace sluchátek

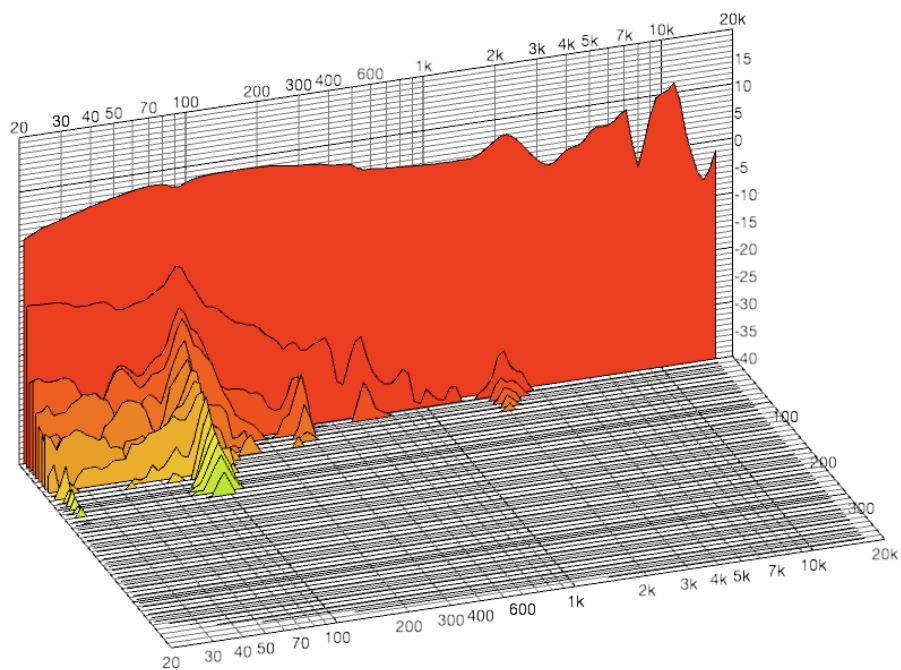
Asi největší rozdíl v reprodukci sluchátek oproti reproduktorům představuje *absence odraženého zvuku poslechového prostoru*. Tento rozdíl znázorňují grafy na obrázcích 2.3 a 2.4. Je zřejmé, že má-li zvukový mistr docílit optimální prostorovosti zvukového obrazu pro oba typy reprodukce, bude v tomto ohledu představovat větší limit poslech na reproduktory. Zatímco u sluchátkové reprodukce může detailní prostorová informace působit velmi věrně, zvláště je-li zachycena pomocí stereofonního systému jehož lokalizační vlastnosti působí ve stejném smyslu jako vliv hlavy, vnějšího ucha a těla posluchače, u reproduktorů je navíc rozhodující, zda přímý zvuk nahrávky zůstane dostatečně čitelný i při doplnění o odražený zvuk poslechové místnosti.

Rozhodnutí o hloubce zvukového obrazu a množství dozvuku vyžadují u sluchátek vždy velkou zkušenost, což vyplývá i z výsledků internetového průzkumu (viz kap. 3.7). Poslechová místnost má vliv především na *ostrost lokalizace*, tj. přesnost, s jakou je možné poslechem rozlišit jednotlivé pozice na stereofonní reprodukční bázi (srov. Sengpiel 1994). Čím je menší množství odrazů v místnosti a kratší doba dozvuku, tím větší je při poslechu na reproduktory ostrost lokalizace (srov. Gernemann 2007, str. 5).

Zatímco při poslechu na reproduktory lze především nízkofrekvenční vlnění vnímat i tělem jako fyzickou vibraci, u sluchátek je akustický přenos omezen pouze na ušní orgány. Sluchátka jsou navíc pevně napojena na uši a při přenosu zvukového vlnění hraje roli impedance sluchového orgánu.



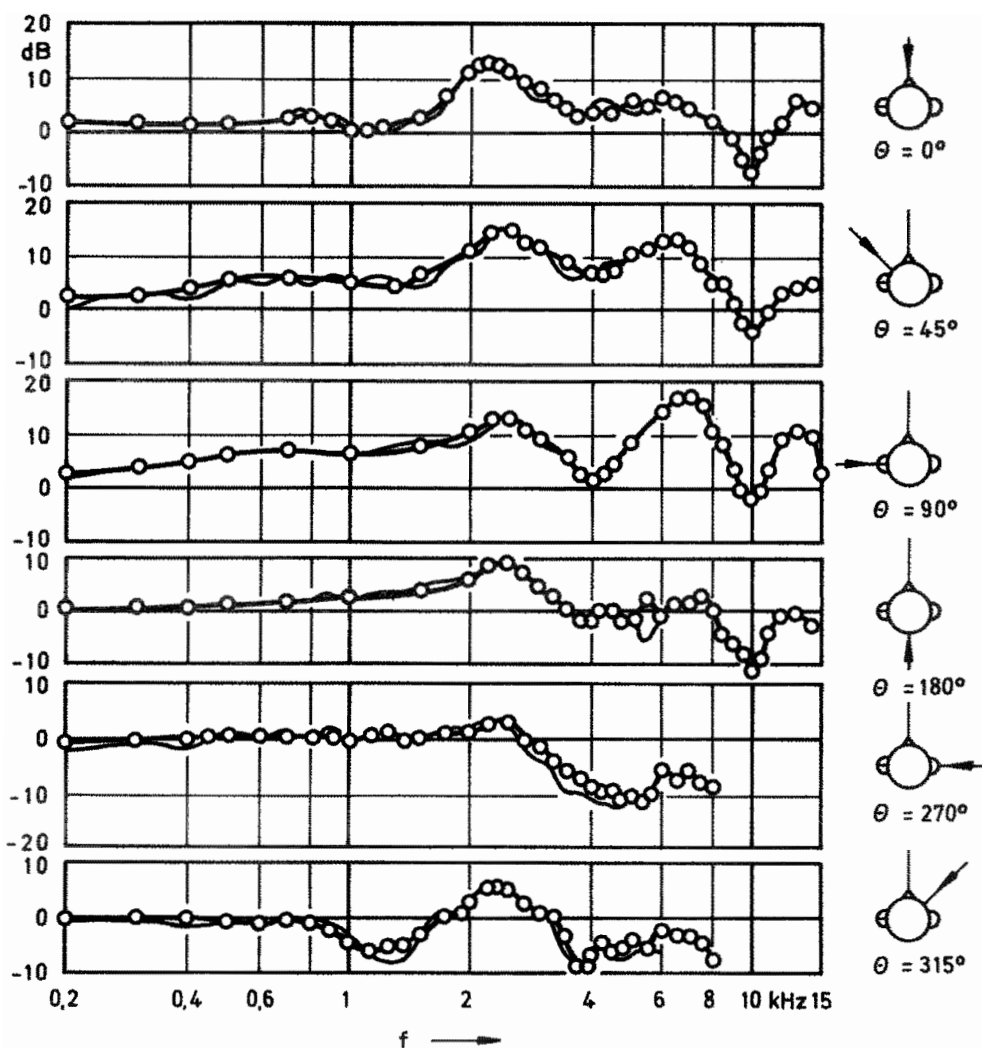
Obr. 2.3: Časově-frekvenční vývoj dozvuku režie Zvukového studia HAMU u poslechu na reproduktory. Měřeno pomocí sweepu umělou hlavou Neumann KU 100.



Obr. 2.4: Časově-frekvenční vývoj dozvuku u sluchátkové reprodukce. Měřeno v režii Zvukového studia HAMU pomocí sweepu umělou hlavou Neumann KU 100.

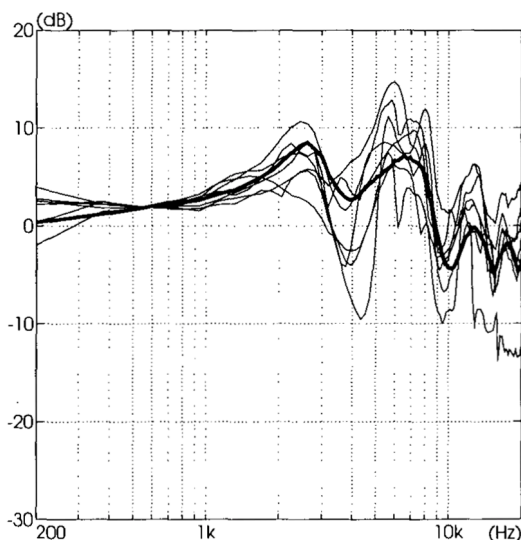
Obvyklou strategií u reprodukce klasické hudby je vytvořit zvukový obraz, který se svými vlastnostmi odvolává na přirozené slyšení posluchače v prostoru. Akustický tlak na vstupu ušních kanálů je však odlišný od akustického tlaku v přímém poli bez přítomnosti posluchače. Rozdíly akustického tlaku vznikající ohybem zvukového vlnění a rezoncencemi vlivem hlavy posluchače, ušních boltců a sluchových kanálů se u každého člověka liší a posluchači jsou zvyklí z nich přirozeně odvozovat prostorově-lokalizační vlastnosti vnímaných zvukových zdrojů.

Na obrázku 2.5 jsou znázorněny průměrné křivky frekvenční odezvy akustického tlaku na vstupu sluchového orgánu. Přenosové funkce popisující komplexní vliv hlavy, vnějšího ucha a trupu na frekvenční průběh zvukového signálu vnímaného sluchem bývají označovány jako *Head-related transfer functions* (HRTF).



Obr. 2.5: Průměrná frekvenční odezva akustického tlaku na vstupu sluchového kanálu v přímém poli pro různé úhly dopadu zvukového vlnění v horizontální rovině (Reallex. Akustik 1982, str. 177).

Rozdíl ve frekvenčním průběhu akustických tlaků v závislosti na směru dopadu zvukového vlnění je u sluchátek kompenzován ekvalizací. Běžný příklad srovnání frekvenčního průběhu reproduktorů a sluchátek pomocí umělé hlavy je uveden v kapitole 4.2 na obrázku 4.3. Většina komerčních sluchátek prodávaných v současné době je ekvalizována pro *difuzní zvukové pole*, tj. zvukové pole s rovnoměrným zastoupením všech směrů dopadu zvukového vlnění. Kalibrace sluchátek pro difuzní pole nepodporí vjem z žádného specifického směru. I vysoce kvalitní sluchátka však vykazují značné odchylky v ekvalizaci (srov. Møller a kol. 1995). Na obrázku 2.6 je znázorněn referenční průběh ekvalizace sluchátek pro difuzní pole ve srovnání se sedmi změřenými komerčními sluchátky.



Obr. 2.6: Návrh průběhu ekvalizace sluchátek podle Henrika Møllera a kol. pro difuzní pole (silná křivka) a naměřená střední frekvenční odezva sedmi komerčních sluchátek s výrobcem udávanou ekvalizací pro difuzní pole. Měřeno na vstupu ušního kanálu, normalizováno na schodnou amplitudu pro frekvenci 600 Hz (Møller a kol. 1995, str. 231).

V rámci optimalizace stereofonních signálů pro sluchátkovou reprodukci byla již od padesátých let dvacátého století k pořizování hudebních nahrávek využívána umělá hlava¹. U binaurálních nahrávek by měla přenosové funkce hlavy a vnějšího ucha poskytnout umělá hlava bez nutnosti dalších kompenzací. Přenosové funkce jsou však individuální: Z naměřených hodnot skupiny osob lze sice odvodit obecné průběhy křivek, individuální rozdíly jsou však veliké (20 dB a více - viz Daniel a kol. 2007, str. 8). Vlastnosti signálů vyplývající z průměrné geometrie umělé hlavy mohou proto vést u posluchačů k chybám v lokalizaci. Návrh geometrie umělých hlav v poslechových testech podléhá výběru optimálních respondentů, kteří svými lokalizačními vlastnostmi vyhoví co největší skupině ostatních účastníků. Jiný přístup představuje identifikaci klíčových parametrů a struktur hlavy a ucha z naměřených sluchových signálů, které přispívají k vytvoření prostorových komponent u sluchových signálů, a jejich popis pomocí matematických a geometrických funkcí (srov. *ibid.*).

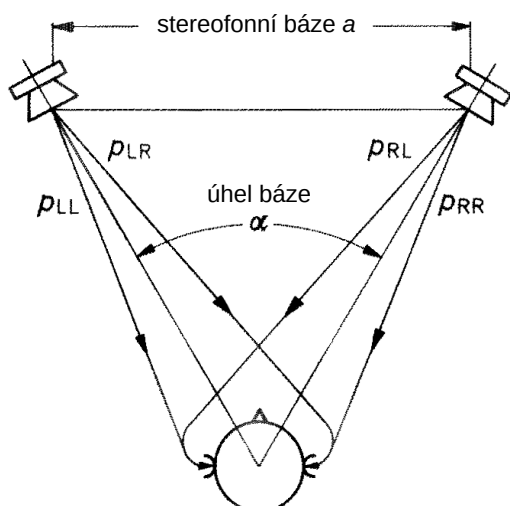
Je-li záznam na umělou hlavu pořízen z pozice bubínku, měla by sluchátka při reprodukci prezentovat na bubínku zvukový signál v konstantním poměru vůči původnímu napětí. Praktický problém na straně reprodukce ale představují nejen velké rozdíly v akustických vlastnostech mezi sluchátky, ale rovněž fakt, že běžným požadavkem na ekvalizaci sluchátek je reprodukce stereofonních signálů určených pro reproduktory - tedy s určitou formou *kompenzace vlivu vnějšího ucha* (srov. Toole 1984, str. 11).

Nahrávky pořízené na umělou hlavu nejsou kompatibilní s poslechem na reproduktory, jelikož zde logicky dochází ke zdojení vlivu vnějšího ucha.

¹ Tento způsob záznamu označuje např. William B. Snow jako „binaurální“ (Snow 1953).

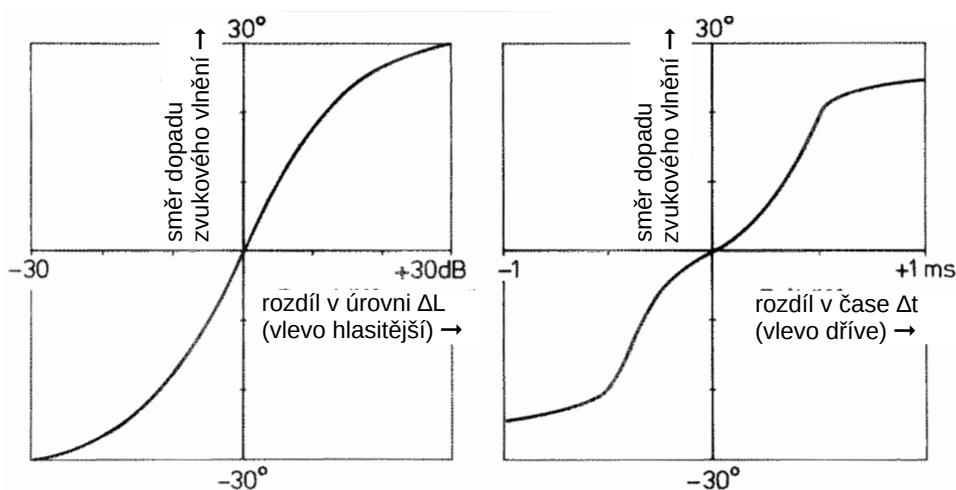
2.3 Rozdíl v lokalizaci

Při poslechu na reproduktory je nejčastěji používáno rozmístění reproduktorů v úhlech $\pm 30^\circ$ oproti přímému směru posluchače (viz obr. 2.7). Jedná se o ustálený kompromis, kdy jsou ještě fantomové zdroje vnímány v horizontální rovině, ostrost lokalizace je poměrně dobrá a mezi měniči vznikne dostatečná velikost báze pro prostorový zvukový obraz (srov. Gerne-
mann 2007, str. 5). Větší úhel báze vede u reproduktorů k elevačnímu jevu fantomových zdrojů, které mohou být v závislosti na spektrálním složení signálů promítány nad hlavou posluchače. Volbou menšího úhlu báze se zmenší prostor využitelný pro zobrazení fantomových zdrojů (srov. ibid.).



Obr. 2.7: Dva reproduktory ve standardním stereofonním rozmístění s úhlem báze 60° (Blauert / Braasch 2008).

Jsou-li signály reproduktorů velmi podobné, je posluchačem vnímán pouze jediný fantomový zvukový zdroj (součtová lokalizace). Při reprodukci dostatečně širokopásmových signálů (mluvené slovo, hudba) platí pro vnímanou pozici fantomového zdroje závislost na rozdílu v úrovni a čase, jak je zobrazená v grafech na obrázku 2.8. Zatímco při vyšších hodnotách rozdílu v signálových úrovních setrvává vjem fantomového zdroje ze směru jednoho z reproduktorů, vyšší hodnoty časových rozdílů vedou ke slyšitelnému zdvojení².



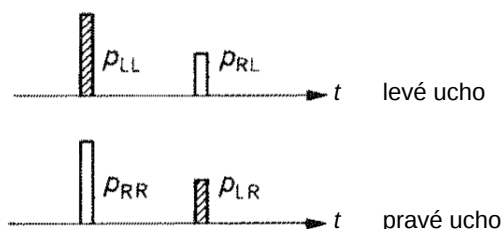
Obr. 2.8: Lokalizace vznikající součtem reproduktorových signálů. Závislost vnímané pozice fantomového zdroje na rozdílu v úrovni (vlevo) a rozdílu v čase (vpravo) pro širokopásmové signály (Wendt 1963).

² Přesná prahová hodnota vjemu zdvojení závisí na vlastnostech signálů.

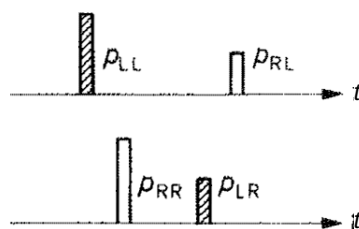
Zdánlivé zvukové zdroje vznikající součtem reproduktorových signálů disponují *nižší ostrostí lokalizace* nežli reálné zvukové zdroje v přímém poli; někdy lze vnímat i víceznačnou lokalizaci. Schematické srovnání ostrosti lokalizace dle E. Sengpiela uvádí obrázek 1.2 v kapitole 1.1.

Jelikož na obě uši posluchače dopadá s časovým odstupem vlnění z *obou reproduktorů*, skládají se během reprodukce oba ušní signály vždy ze dvou komponent. Tyto komponenty jsou pro impulzní reproduktorové signály schematicky znázorněny na obrázku 2.9. Nerovnoměrný průběh závislosti směru lokalizace na časových rozdílech u reproduktorových signálů (obr. 2.8 vpravo) bývá dáván do souvislosti s tím, že se ušní signály levého a pravého reproduktoru při větších časových rozdílech již nepřekrývají (obr. 2.9d, srov. Blauert / Braasch 2008, str. 103). U zvukového obrazu klasické hudby jsou pro lokalizaci zpravidla využívány rozdíly v úrovni i časové rozdíly ve vzájemné součinnosti, jak bylo popsáno v kapitole 1.1.

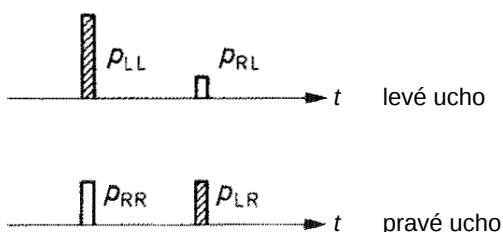
a) identické signály



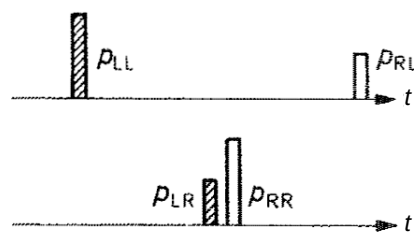
c) signály s malým časovým rozdílem



b) signály s rozdílem v úrovni



d) signály s velkým časovým rozdílem



Obr. 2.9: Schematické znázornění ušních signálů u stereofonní reprodukce impulzních signálů přes reproduktory. Popis signálů viz obr. 2.7 (Blauert / Braasch 2008).

Součtová lokalizace funguje i u sluchátkové reprodukce, avšak vlivem napojení na sluchový orgán dochází u posluchače k lokalizaci *uvnitř hlavy*. Vjem fantomového zdroje na pomyslné spojnici mezi ušima bývá označován jako *lateralizace*. Zatímco hodnoty časových rozdílů a rozdílů v úrovni mezi signály zůstávají teoreticky zachovány, ušní signály jsou v případě sluchátek tvořeny vždy *signálovou komponentou jediného měniče*.

Rozdíl v lokalizaci byl prakticky ověřen v rámci přípravy poslechových testů v režii Zvukového studia HAMU. Měřením na umělou hlavu Neumann KU 100 byly porovnány reprodukční vlastnosti sluchátek AKG K 701 a reproduktorů Genelec 1037 C³.

Tabulka 2.1 zobrazuje výsledky měření impulzními signály s různými *časovými rozdíly* mezi kanály. Umělá hlava Neumann KU 100 reprodukovala totožné časové rozdíly pro oba typy reprodukce.

³ Zde uvedené výsledky měření platí i pro poslechové podmínky poslechových testů v kapitole 4 a 5.

Tabulka 2.2 zobrazuje výsledky měření impulzními signály s různými *rozdíly v úrovních*. U sluchátek K 701 vykazovaly naměřené signály mírně nižší rozdíly v efektivních hodnotách oproti původním signálům. Nižší naměřené hodnoty je nutné přičíst vlivu otevřené konstrukce a nepřesnostem v umístění sluchátek na umělé hlavě (tabulka uvádí průměr hodnot dvou měření). Srovnávací měření vybraných signálů přes uzavřená sluchátka vedla k vyšším hodnotám (viz tab.). V případě reproduktorových signálů byly naměřené rozdíly v úrovních maximálně 2,5 dB.

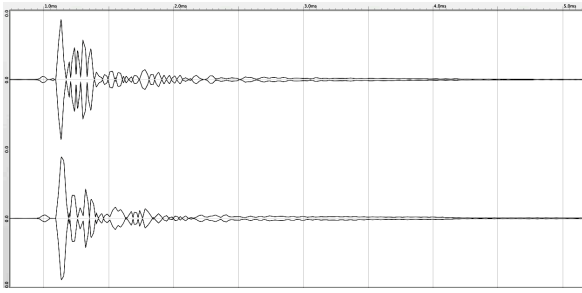
rozdíl Δt v reprodukováných signálech [ms]	naměřený rozdíl Δt na sluchátka [ms]	naměřený rozdíl Δt na reproduktory [ms]
0	0	0
0,25	0,25	0,25
0,5	0,5	0,5
1	1	1
1,5	1,5	1,5

Tabulka 2.1: Reprodukce impulzních signálů s různým časovým rozdílem přes sluchátka AKG K 701 a reproduktory Genelec 1037 C ve standardním rozmístění $\pm 30^\circ$ na umělou hlavu Neumann KU 100. Hodnoty představují průměr dvou měření.

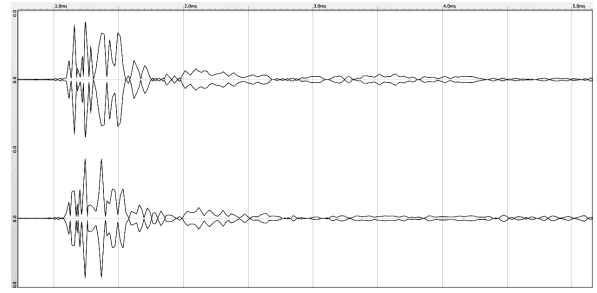
rozdíl ΔL v reprodukováných signálech [dB]	naměřený rozdíl ΔL na sluchátka [dB]	naměřený rozdíl ΔL na reproduktory [dB]
0	0	0
3	2,9	0,8
6	5,8	1,45
12	11,8	2,15
18	14,9 (18,2)	2,35
jeden kanál (ΔL_{\max})	16,1 (22,7)	2,43

Tabulka 2.2: Reprodukce impulzních signálů s různým rozdílem v úrovni přes (otevřená) sluchátka AKG K 701 a reproduktory Genelec 1037 C ve standardním rozmístění $\pm 30^\circ$ na umělou hlavu Neumann KU 100. Hodnoty představují průměr dvou měření. U sluchátek jsou v závorce uvedeny hodnoty srovnávacího měření na uzavřená sluchátka Beyerdynamic DT 770 PRO.

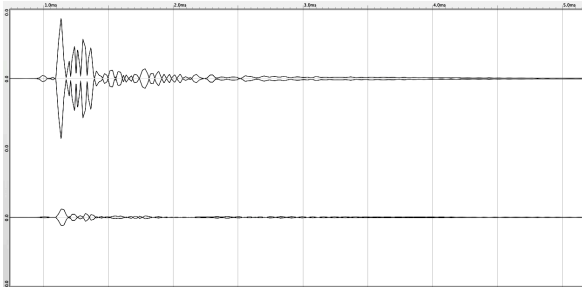
Na obrázcích 2.10 až 2.19 jsou graficky znázorněny časové průběhy vybraných naměřených impulzních signálů. Jedná se o praktické ověření schémat z obrázku 2.9. U signálů reproduktorů lze identifikovat dvě komponenty ušních signálů i odrazy z místnosti reže. U většího zpoždění (1,5 ms na obr. 2.17) nedochází při poslechu na reproduktory k překrývání signálových komponent v ušních signálech.



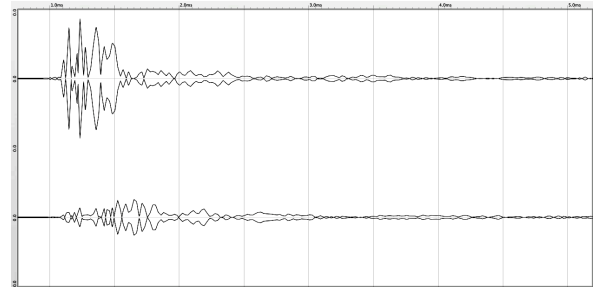
Obr. 2.10: Sluchátka, stejné signály L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



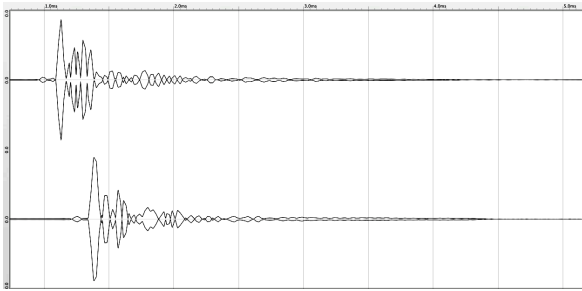
Obr. 2.11: Reproduktory, stejné signály L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



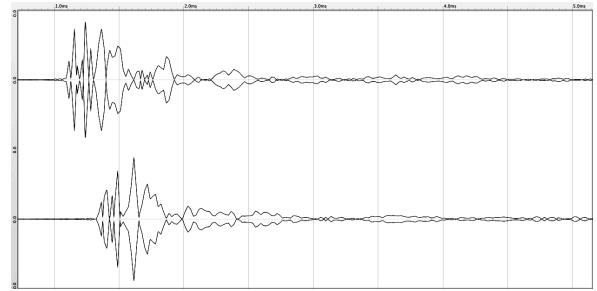
Obr. 2.12: Sluchátka, rozdíl v úrovni 18 dB mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



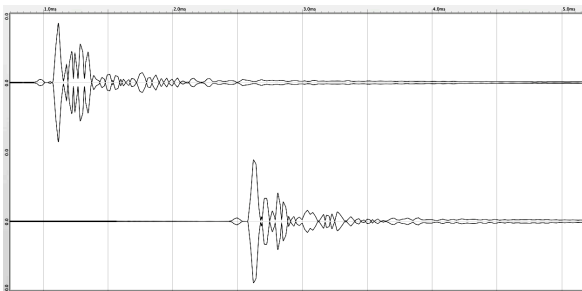
Obr. 2.13: Reproduktory, rozdíl v úrovni 18 dB mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



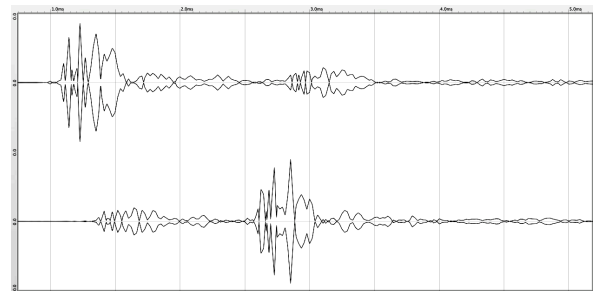
Obr. 2.14: Sluchátka, rozdíl v čase 0,25 ms mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



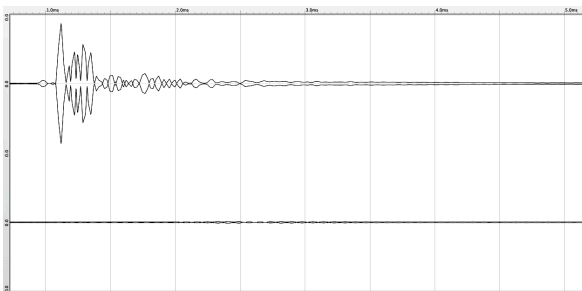
Obr. 2.15: Reproduktory, rozdíl v čase 0,25 ms mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



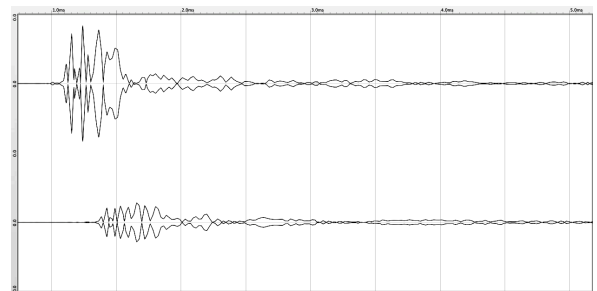
Obr. 2.16: Sluchátka, rozdíl v čase 1,5 ms mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.



Obr. 2.17: Reproduktory, rozdíl v čase 1,5 ms mezi L a R.
Záznam impulzů umělou hlavou Neumann KU 100.

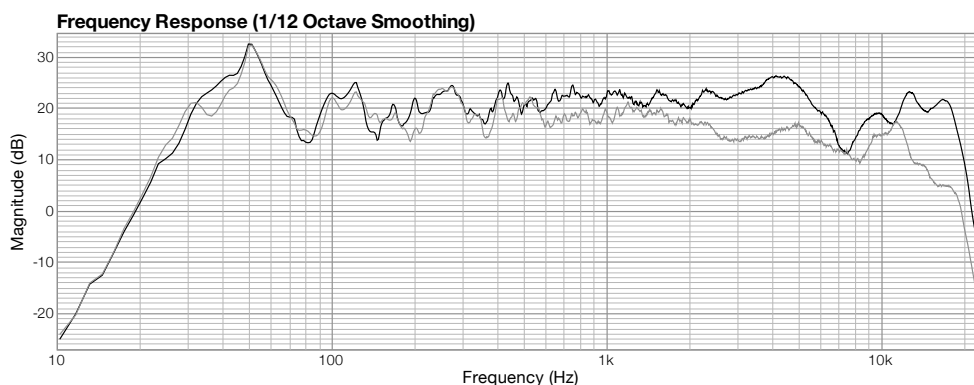


Obr. 2.18: Sluchátka, jen signál L.
Záznam impulzu umělou hlavou Neumann KU 100.

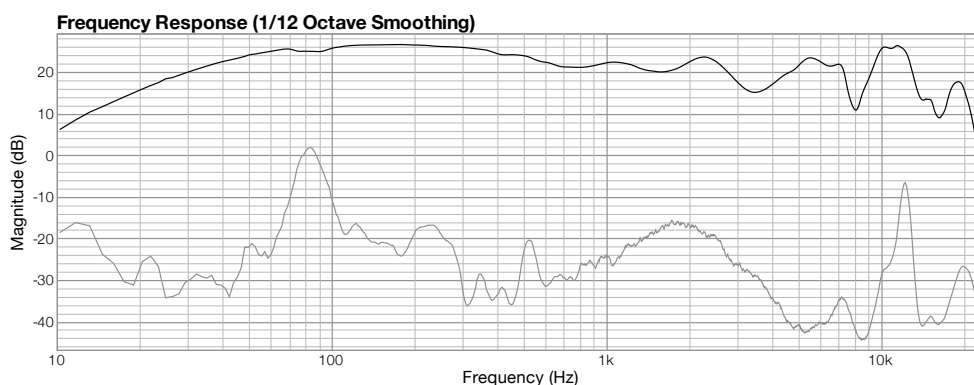


Obr. 2.19: Reproduktory, jen signál L.
Záznam impulzu umělou hlavou Neumann KU 100.

V grafech na obrázcích 2.20 a 2.21 jsou srovnány frekvenční průběhy signálů levého a pravého kanálu umělé hlavy při reprodukci na reproduktory a sluchátka *pouze z levého kanálu*. U reproduktorů je rozdíl v úrovni soustředěn v dílčích frekvenčních pásmech daných stínem hlavy a simulovanou geometrií vnějších ušních orgánů umělé hlavy.



Obr. 2.20: Frekvenční odezva měřícího signálu sweep z reproduktoru Genelec 1037 C namířeného ze směru 30° (vůči přímému směru) na umělé hlavu Neumann KU 100.



Obr. 2.21: Frekvenční odezva měřícího signálu sweep z levého měniče sluchátek AKG K 701 zaznamenaného pomocí umělé hlavy Neumann KU 100.

Vzhledem k absenci odraženého zvuku poslechové místnosti, oddělenému vjemu signálových komponent a odlišnému umístění měničů vůči posluchači, postačí u sluchátkové reprodukce oproti reproduktorům *nižší hodnoty* časových rozdílů a rozdílů v úrovni k vjemu lokalizace ze stejného směru. Naměřené hodnoty lokalizace (hodnoty Δt a ΔL potřebné k vyvolání lokalizace z určitého směru) se u různých autorů liší dle vlastností použitých měřících signálů, akustických vlastností poslechového prostoru a způsobu interpretace okraje reprodukční báze⁴.

Tabulka 2.3 uvádí hodnoty rozdílů v signálových úrovních (ΔL) a časových rozdílů mezi signály (Δt) potřebné k vyvolání lokalizačního účinku z určitého směru na reprodukční bázi pro sluchátka a reproduktory podle Eberharda Sengpiela (Sengpiel 2002). U sluchátkové reprodukce postačí nižší hodnoty i k dosažení maximálního realizovatelného směru lokalizace 90°.

⁴ Měření pomocí hudebních signálů a mluveného slova v reálném prostoru viz de Boer 1940, Webers 1985, Sengpiel 1992/2002. Měření impulzem v zatlučeném prostoru viz Gernemann 1994. Měření pomocí testovacích signálů v bezodrazové místnosti viz Theile a kol. 1988, str. 303.

	REPRODUKTORY		SLUCHÁTKA	
	ΔL	Δt	ΔL	Δt
vjem lokalizace ze směru 30°	16 ... 20 dB	1 ... 2 ms	4,2 ... 6 dB	0,25 ... 0,31 ms
vjem lokalizace ze směru 90°	---	---	9 dB	0,63 ms

Tabulka 2.3: Hodnoty rozdílů v signálových úrovních (ΔL) a časových rozdílů mezi signály (Δt) potřebné k vyvolání lokalizačního účinku z určitého směru na reprodukční bázi pro sluchátka a reproduktory (Sengpiel 2002).

2.4 Kompatibilita zvukového obrazu

Díky rozdílným řádovým hodnotám rozdílů v úrovni a čase je kompatibilita reprodukce mezi reproduktory a sluchátky velmi omezená. Vzhledem k tomu, že většina nahrávek klasické hudby je předurčena pro poslech na reproduktory⁵, nejsou mistry zvuku ve zvukovém obraze zpravidla využívány signály, které by se mohly vyskytnout při přirozeném slyšení v reálném prostoru.

Při záznamu na umělou hlavu nelze (podobně jako u přirozeného slyšení) zachytit větší časové rozdíly než 0,6 až 0,7 ms (srov. Toole 1984). Zvláště nahrávky pořízené větším počtem mikrofonů za účelem zvláštních zvukových účinků při poslechu na reproduktory mohou obsahovat mnohem vyšší časové rozdíly, které mají při poslechu na sluchátka za následek koncentraci fantomových zdrojů na okraji reprodukční báze. Jakkoli mohou signály s vyšším časovým rozdílem a nízkou korelací vytvářet při reprodukci na sluchátka pozitivní dojem, po technické stránce spadají spíše do kategorie zvláštních efektů nežli realistického přenosu (ibid.).

Jak bylo vysvětleno v kapitole 1.1, zvukový mistr má možnost formovat základní lokalizační vlastnosti zvukového obrazu především optimalizací stereofonních mikrofonních systémů. Ponecháme-li dříve diskutované stylizační nároky na zvukový obraz stranou, nejvyšší věrností v zachycení lokalizačních parametrů disponují systémy „intenzitní“ stereofonie. Příčinou jejich ne příliš častého využití v roli hlavního mikrofonu je reprodukce prostorové informace korelovanými signály a neslučitelnost s všesměrovými měniči. U stereofonních systémů s všesměrovými měniči tvoří zachycené lokalizační vlastnosti vždy především rozdíly v čase, které pro účely využití stereofonní báze reproduktorů snadno převyšují hranici přirozeného slyšení 0,7 ms a jejich lokalizace vykazuje navíc specifický nelineární průběh (viz obr. 1.1).

Je-li pro daný záznam optimální použít směrové mikrofony, lze využít systémy ekvivalenční stereofonie, které spojují dekorelované zachycení difuzního pole s relativně ostrou a lineární lokalizací. Ani v tomto případě však nelze očekávat kompatibilitu lokalizace se sluchátkovou reprodukcí, jelikož rozdíly mezi signály jsou spektrálně neutrální a nepředstavují přirozené ušní signály. I u sluchátek ekvalizovaných pro difuzní pole zůstává lokalizace uvnitř hlavy. V tomto ohledu přinášejí řešení systémy zachycující frekvenčně závislé rozdíly v úrovních (např. Schoeps KFM 6, viz obr. 1.3), u nichž lze zároveň využít i všesměrové měniče. Zde je ovšem opět zjevná nekompatibilita na straně reproduktorů: smícháním signálů levého a pravého kanálu při reprodukci dochází ve zvukovém obraze ke spektrálním změnám.

Přeslech mezi reproduktory je teoreticky možné kompenzovat vysláním odečítacích korekčních signálů. Tyto systémy bývají označovány jako *Transaural stereo* nebo *Crosstalk canceller*⁶. Vzhledem k tomu, že každý kompenzační signál způsobí vždy nový nežádoucí

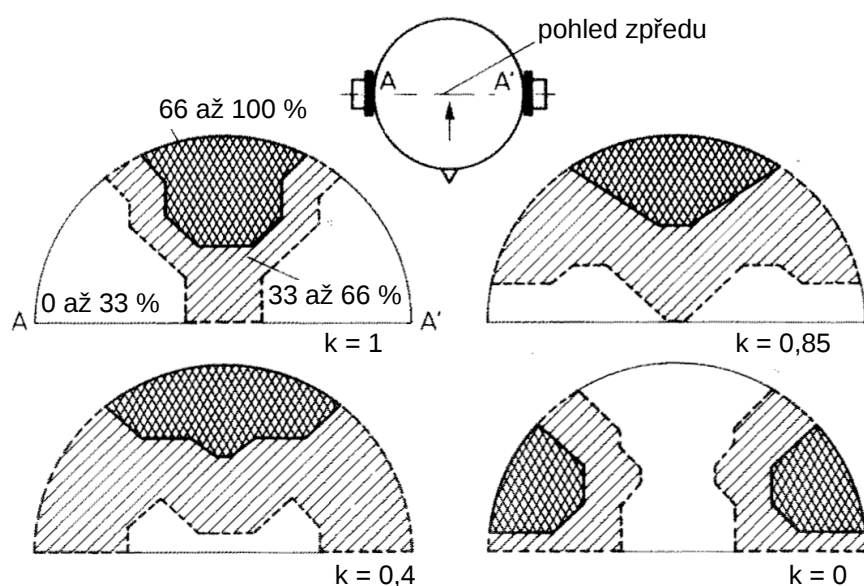
⁵ Tato skutečnost se prokázala i v internetovém průzkumu této disertační práce, viz kap. 3.2 a 3.4.

⁶ např. Sengpiel 1998 nebo Sengpiel 2002

přeslech, musí být korekce zařazena ve více iteracích. Amplituda nově vznikajících přeslechových komponent se však postupně snižuje. Tímto způsobem lze vytvořit pole optimálního poslechu pouze pro jednu neměnnou pozici hlavy posluchače. Pro větší oblast optimálního poslechu je nutné pohyby hlavy sledovat (head-tracking) a nastavení kompenzačních filtrů dynamicky přizpůsobovat (viz Kuttruff 2004, str. 419).

U lokalizace uvnitř hlavy v případě sluchátkové reprodukce nelze vyloučit psychoakustickou příčinu, že posluchač „nosí“ zdroje zvuku a reprodukováné signály v žádném ohledu nekorespondují s jeho bezprostředním vizuálním a akustickým okolím (Toole 1984). Dle Jense Blauerta a kol. zde hraje roli podobnost signálů, jejíž míra bývá obvykle vyjadřována korelační funkcí ušních signálů. Na obrázku 2.22 jsou znázorněny zaznamenané vjemy respondentů při poslechu signálů s různým stupněm korelace přes sluchátka podle Chernyaka a Dubrovského (Chernyak / Dubrovsky 1968). Účastníci zaznamenávali místo a šířku oblasti lokalizace. U vysokých stupňů korelace byly zaznamenány ostře lokalizované vjemy uprostřed hlavy, se snižujícím se stupněm korelace se oblast vnímání rozšiřovala. U signálů s nízkým stupněm korelace byl přiřazen oddělený vjem jednotlivým zvukovým zdrojům.

U přirozeného slyšení v přímém poli nejsou sluchové signály (i vzhledem k přeslechu mezi ušima) nikdy zcela dekorelované (Blauert / Braasch 2008, str. 106). Lidský sluch je schopen z částečně korelovaných signálů vyfiltrovat silně koherentní složky a přiřadit jim ostře lokalizovaný vjem (ibid.). Dekorelace sluchových signálů, vedoucí k difuzní a prostorové lokalizaci, může být podpořena odrazy z prostoru, což platí i pro poslech na reproduktory. Vzhledem k absenci odraženého zvuku z poslechové místnosti mohou sluchátka disponovat ostřejší lokalizací než poslech na reproduktory.



Obr. 2.22: Oblast sluchového vjemu v závislosti na stupni korelace signálů při poslechu na sluchátka bez ekvalizace pro přímé či difuzní pole. Procentuální hodnoty vyjadřují relativní četnosti, s nimiž se sluchové vjemy v daných oblastech vyskytovaly (Chernyak / Dubrovsky 1968).

Zatímco systémy typu Transaural stereo, simulující sluchátkovou reprodukci na reproduktory, nenachází široké využití na straně běžných posluchačů, existuje řada komerčních produktů pro simulaci vlastností *reproduktorového poslechu pomocí sluchátek*. Pro přehled představme klíčové vlastnosti čtyř vybraných typů aktuálně nabízených produktů, řazených dle komplexnosti:

1. Grace Design m903

- sluchátkový zesilovač a poslechový kontrolér
- funkce *X-Feed* umožňuje zapnout / vypnout simulaci přeslechu mezi kanály ve sluchátkových signálech
- přímíchané signály jsou filtrovány a zpožděny s pevným nastavením od výrobce

2. SPL Phonitor 2730

- sluchátkový zesilovač a poslechový kontrolér
- funkce *Crossfeed* umožňuje simulaci přeslechu mezi kanály ve sluchátkových signálech, potenciometrem lze nastavit úroveň přímíchaných signálů
- volba simulované šířky poslechové báze - nabízeny jsou následující úhly *pozice reproduktorů*: 75, 55, 40, 30, 22 a 15 stupňů (nastavení řídí časové konstanty u přímíchaných signálů)
- pro každou zvolenou šířku poslechové báze nabízí zařízení výběr z šesti *časových konstant* (celkový rozsah 90 až 635 mikrosekund, nabízeno je vždy šest hodnot relevantních pro vybranou šířku báze)
- pomocí ovladače *Center Level* lze nastavit pokles monofonní složky reprodukováného stereofonního signálu v následujících hodnotách: 0,3, 0,6, 0,9, 1,2, 1,6 a 2,0 dB (snižuje ostrost lokalizace u fantomového středu)

3. Beyerdynamic Headzone

- sluchátkový zesilovač, simulátor
- simulace virtuálního prostoru s virtuálními reproduktory včetně formátu 5.1
- *head-tracking*, dynamická aktualizace parametrů simulace při pohybech hlavy
- možnost nastavení velikosti prostoru, vzdálenosti virtuálních reproduktorů a dozvuku poslechové místnosti

4. Smyth Research Realiser A8

- sluchátkový zesilovač, simulátor
- Smyth Virtual Surround (SVS): simulace prostoru a reproduktorů pomocí technologie na bázi konvoluce, až 8 virtuálních reprodukcí kanálů
- pomocí nitroušních mikrofonů umožňuje změřit impulzní odezvu reálné poslechové místnosti a reproduktorů (měření v místě optimálního poslechu ve třech pozicích: pohled na střed, na levý reproduktor a na pravý reproduktor)
- délka změřené impulzní odezvy až 800 ms, impulzní odezvu je možné následně zkrátit a upravit tak dozvuk simulované poslechové místnosti
- měří i impulzní odezvu používaných sluchátek; jelikož odezva nezahrnuje rezonanci ušního kanálu (během měření jsou v něm umístěny mikrofony), je možné impulzní odezvu do-
datečně ekvalizovat na základě subjektivního porovnání s původním měřeným poslechem
- *head-tracking*, dynamická aktualizace parametrů simulace při pohybech hlavy
- možnost základní ekvalizace jednotlivých reproduktorových signálů a úprava jejich časových konstant po naměření odezvy
- možnost interního downmixu do formátu 5.1 včetně bass managementu
- možnost interního downmixu do stera, včetně možnosti přesměrování nízkých kmitočtů na připojený externí subwoofer pro nízkofrekvenční vibrace
- funkce *Direct Bass* vyčlení nízkofrekvenční obsah z prostorové simulace a přesměruje jej přímo do sluchátkových signálů s nastavitelnou úrovní, dělicím kmitočtem a zpožděním

3. Internetový průzkum používání reproduktorů a sluchátek

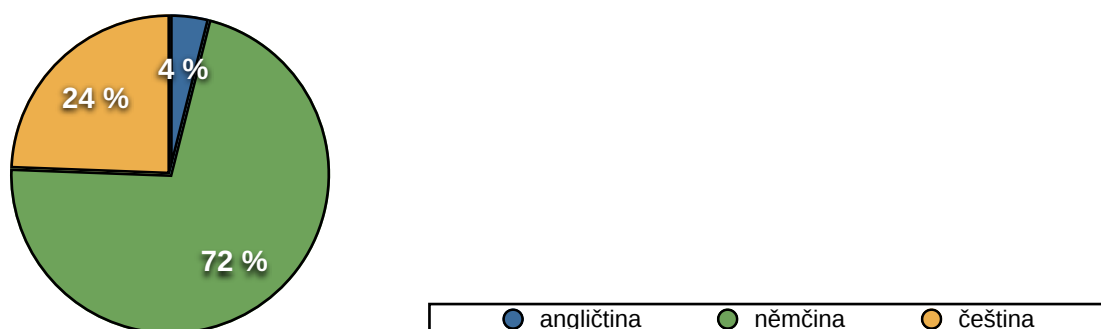
V průběhu dubna a května 2013 byl zveřejněn internetový průzkum pro zvukové mistry, jehož cílem bylo detailněji statisticky zmapovat *praxi využívání reproduktorů a sluchátek* při míchání hudby. Zvláštní pozornost byla věnována respondentům, kteří uvedli, že se profesně zabývají především zpracováním *klasické hudby*.

Elektronický dotazník průzkumu byl přístupný na internetu přes webové stránky autora disertační práce (Hadraba 2013). Oslovovanou cílovou skupinu představovali *zvukoví mistři, kteří se profesně zabývají mícháním hudebních nahrávek*. S ohledem na cílovou skupinu byly zvoleny následující způsoby propagace průzkumu:

- hromadné pozvání k účasti pro všechny členy *Verband Deutscher Tonmeister (VDT)*
- hromadné pozvání k účasti pro členy české sekce *Audio Engineering Society (AES)*
- hromadné pozvání studentů a pedagogů působících na *katedře hudebního zvuku HAMU*
- osobní pozvání vybraných účastníků přímo autorem disertační práce

Průzkum byl ukončen v září 2013 s celkovou účastí *127 platných respondentů*. Elektronický dotazník byl k dispozici ve třech jazykových variantách: česky, anglicky a německy. Jak ukazuje graf 3.1, většina respondentů zvolila při vyplňování německou jazykovou verzi. Členové VDT tvořili většinu oslovených účastníků.

Zvolená jazyková verze průzkumu

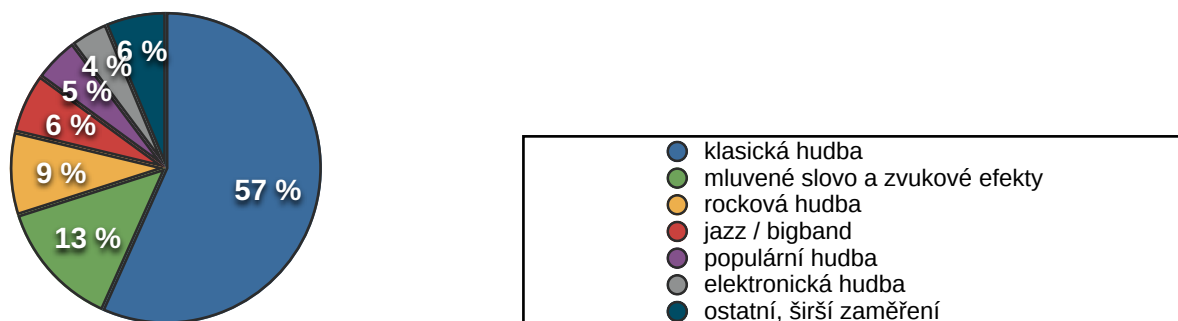


Graf 3.1: Výběr jazykové varianty dotazníku.

3.1 Primární hudební žánr a produkční oblast

Účastníci byli dotázáni, *jakým hudebním žánrem se při výkonu zvukařské profese nejčastěji zabývají*. V rámci této otázky mohli označit některou z nabízených možností, případně vyplnit vlastní upřesňující odpověď. Jak je vidět z grafu 3.2, v průzkumu se podařilo oslovit 57 % zvukových mistrů z oblasti klasické hudby. Vzhledem k tomu, že tato oblast v absolutních číslech představuje více než 70 respondentů, bylo možné vybrané odpovědi vyhodnotit nejen pro všechny účastníky, ale i samostatně pro tuto skupinu klasického žánru.

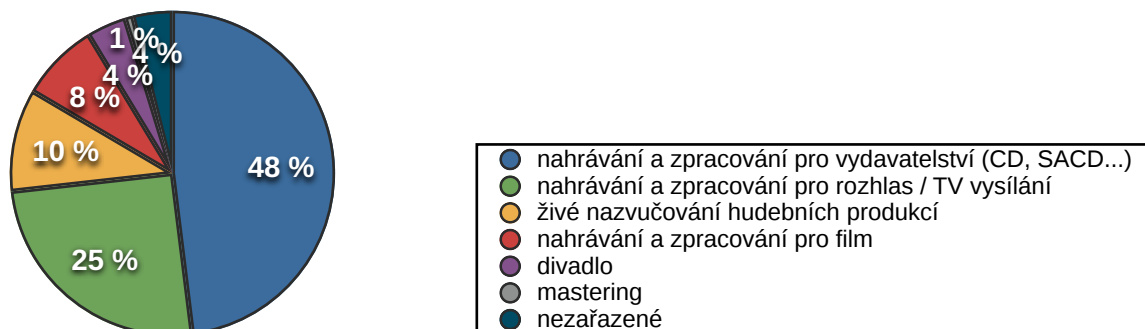
Primární hudební žánr



Graf 3.2: Primární hudební žánr.

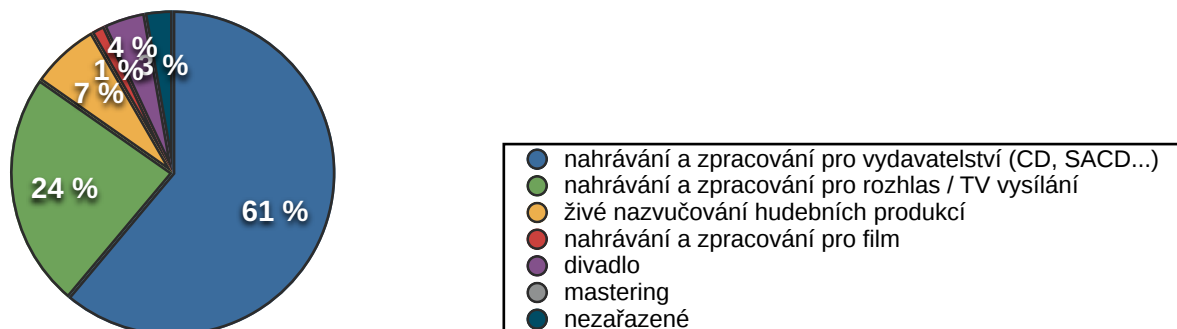
Druhý dotaz byl směřován na *primární produkční oblast*, do níž jsou zvukoví mistři při výkonu práce zařazeni. Graf 3.3 zobrazuje odpovědi všech účastníků. Respondenti mohli označit některou z nabízených možností, případně vyplnit vlastní upřesňující odpověď. Graf 3.4 vyhodnocuje samostatně odpovědi respondentů, kteří označili jako primární žánr klasickou hudbu.

Produkční oblast (všichni respondenti)



Graf 3.3: Produkční oblast, odpovědi všech respondentů.

Produkční oblast (klasická hudba)

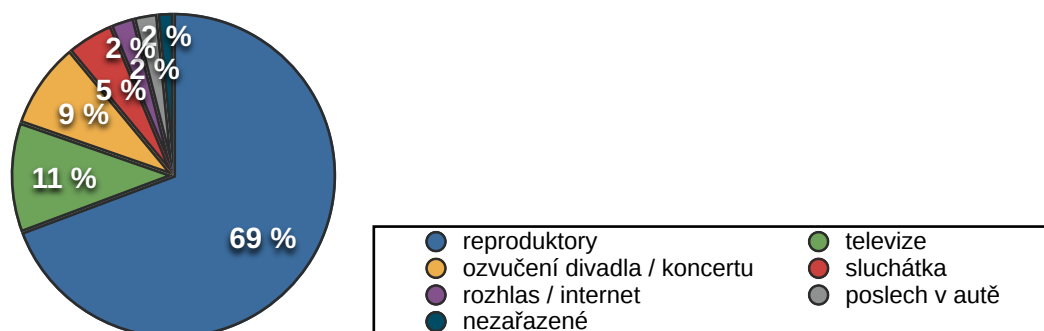


Graf 3.4: Produkční oblast, odpovědi respondentů z oblasti klasické hudby.

3.2 Předpokládaný způsob reprodukce na straně konzumentů

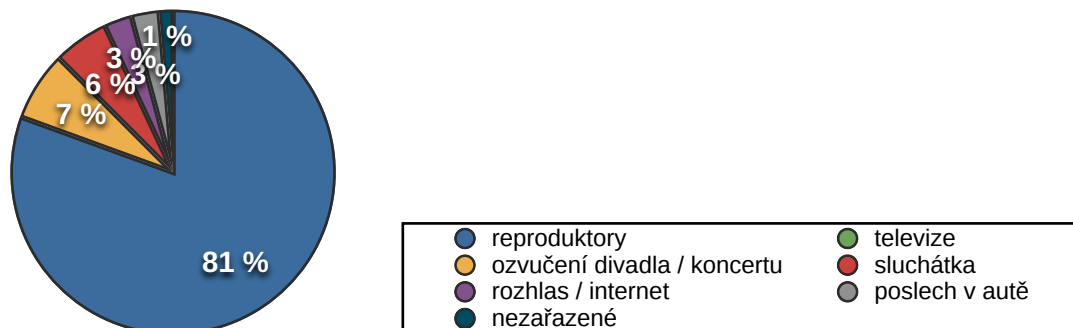
Dalším úkolem pro účastníky bylo odhadnout, jaký způsob reprodukce u svých snímků předpokládají na straně konzumentů. Respondenti měli možnost označit některou z nabízených možností, případně vyplnit vlastní upřesňující text. Graf 3.5 zobrazuje odpovědi všech respondentů, graf 3.6 odpovědi respondentů, kteří označili jako svůj primární žánr klasickou hudbu. Více než 80 % zvukových mistrů se zaměřením na klasickou hudbu uvedlo jako předpokládaný typ reprodukce svých mixů reproduktory.

Předpokládaný způsob reprodukce (všichni respondenti)



Graf 3.5: Předpokládaný způsob reprodukce na straně konzumenta, odpovědi všech respondentů.

Předpokládaný způsob reprodukce (klasická hudba)

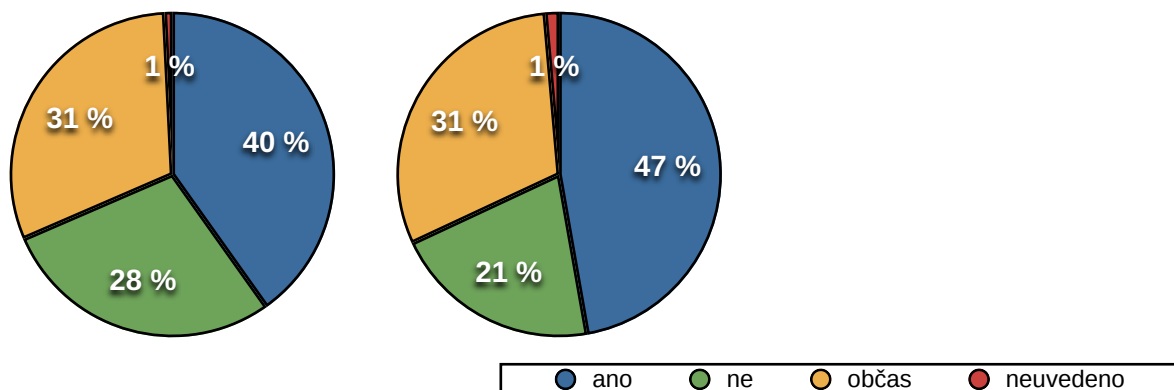


Graf 3.6: Předpokládaný způsob reprodukce na straně konzumenta, odpovědi respondentů z oblasti klasické hudby.

3.3 Živé míchání a testovací nahrávka

Dále byli účastníci dotázáni, zda výkon jejich zvukařské profese vyžaduje živé míchání do stera („Direct-to-2Track“). Zde mohli respondenti vybrat jednu ze tří nabízených odpovědí: „ano“, „ne“, nebo „občas“. Graf 3.7 zobrazuje odpovědi všech respondentů a samostatně též odpovědi respondentů, kteří označili jako svůj primární žánr klasickou hudbu.

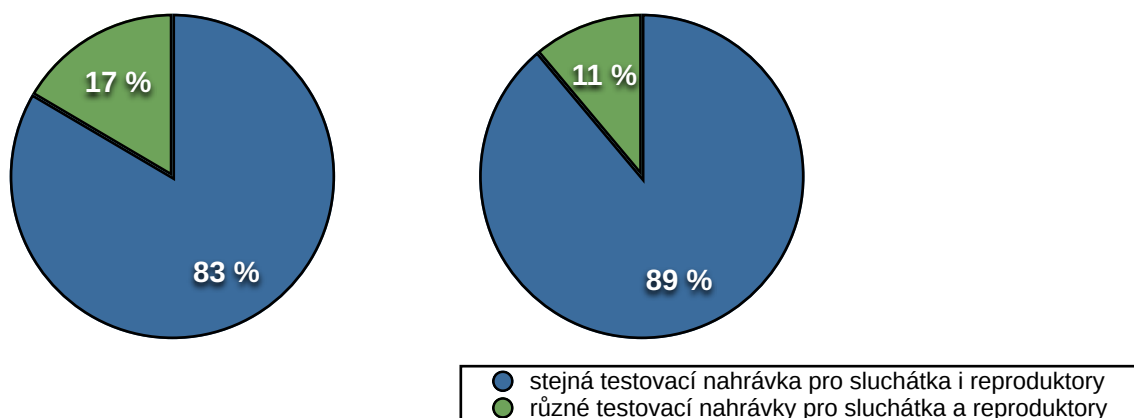
Živé míchání (všichni respondenti) Živé míchání (klasická hudba)



Graf 3.7: Živé míchání, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Respondenti byli dále dotázáni, jakou nahrávku by použili k vyhodnocení vlastností neznámých (např. nových) reproduktorů a sluchátek. Tato otázka nenabízela žádné odpovědi na výběr, účastníci mohli vyplnit libovolný text. Zatímco individuální volby žánru, aranže, respektive nástrojového obsazení víceméně korespondovaly s dříve uvedeným primárním žánrem (kap. 3.1), většina uvedla totožné druhy nahrávek pro posouzení obou typů poslechu - viz graf 3.8 níže. Pro většinu dotázaných tedy není v praxi nutné hodnotit vlastnosti sluchátkové reprodukce jiným typem nahrávky, nežli u reproduktorů, a naopak.

Testovací nahrávka (všichni respondenti) Testovací nahrávka (klasická hudba)



Graf 3.8: Testovací nahrávka, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

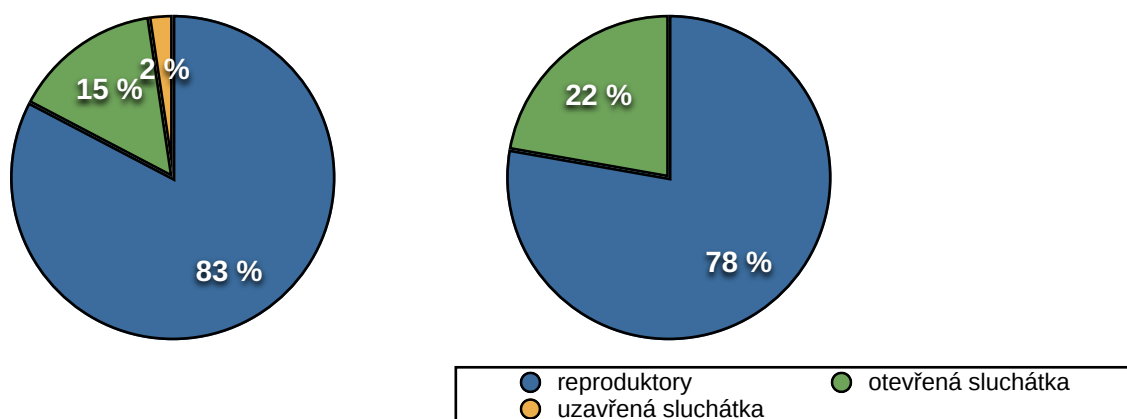
3.4 Preferovaný způsob reprodukce při míchání

Účastníci byli dotázáni, zda při míchání hudebních snímků *obecně preferují poslech na reproduktory či na sluchátka*. Nabízené odpovědi byly „uzavřená sluchátka“, „otevřená sluchátka“ a „reproduktory“. Výsledky jsou zobrazeny v grafu 3.9.

Elektronický dotazník byl nakonfigurován tak, aby u této otázky dotázaným umožnil označit vždy pouze jednu odpověď. V reakci na to někteří respondenti ve svých komentářích uvedli, že jejich zvolená preference nebyla jednoznačná. Odpovědi daných respondentů byly následně upraveny dle jejich upřesněného vyjádření.

Preferovaný poslech (všichni respondenti)

Preferovaný poslech (klasická hudba)

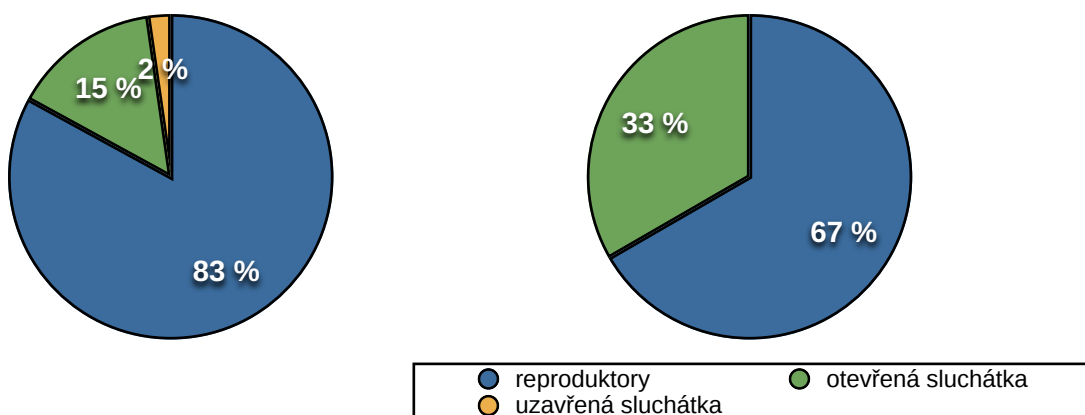


Graf 3.9: Preferovaný způsob reprodukce při míchání, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Z výsledků je patrná jednoznačná preference reproduktorů. Grafy 3.10 nabízí srovnání odpovědí dle *předpokládaného způsobu reprodukce na straně konzumentů* (viz kap. 3.2). I ve skupině respondentů, kteří označili sluchátka za očekávaný způsob reprodukce svých snímků, je preference reproduktorů významná.

Preferovaný poslech (předpoklad = reproduktory)

Preferovaný poslech (předpoklad = sluchátka)



Graf 3.10: Preferovaný způsob reprodukce při míchání, odpovědi respondentů s předpokladem reprodukce snímku na reproduktory (vlevo) a respondentů s předpokladem reprodukce na sluchátka (vpravo).

Respondenti měli možnost v komentářích odůvodnit svou preferenci typu poslechu. Následuje přehled nejčastějších zdůvodnění preference *reproduktorů*:

- komfortní vzdálenost od posluchače, u sluchátek malá vzdálenost rychleji unaví
- vyšší ostrost lokalizace, lepší orientace ve zvukovém obraze, lépe vnímatelný střed reproduční báze, širší „akustické pódium“
- snazší vyhodnocení vyvážení nástrojů, mix na sluchátka méně přesný, s vyšší tolerancí
- mix vytvořený na sluchátka nemusí být při poslechu na reproduktory dostatečně transparentní
- mix na reproduktory častěji vyhoví i sluchátkům nežli naopak
- prostorová reprodukce, slyšení vztažené k prostoru, zdroje zvuku jsou umístěny v prostoru
- věrnost barevného podání (frekvenční vlastnosti), věrnější reprodukce nízkých kmitočtů
- poslech neodvádí pozornost příliš detailní reprodukcí, lepší koncentrace na celek
- lokalizace je při pohybech hlavy realistická, možnost pohybu v prostoru
- možnost poslechu více posluchačů, lepší možnost komunikace
- možnost vícekanálové reprodukce ve stejných akustických podmínkách
- snazší rozpoznatelnost rozdílů v hlasitosti
- subjektivní věrnost, přirozenost reprodukce, zvyk
- typ poslechu představuje cílový poslech na straně konzumenta

Nejčastější zdůvodnění preference *sluchátek*:

- bližší pozice měničů zvyšuje možnost koncentrace na detail
- vyšší ostrost lokalizace, preciznější orientace ve zvukovém obraze
- reprodukce prostorových vlastností snímku bez prostoru místnosti (režie)
- věrnost barevného podání (frekvenční vlastnosti)
- snazší vyhodnocení vyvážení nástrojů
- nezávislost pozice posluchače v prostoru
- mix na sluchátka častěji vyhoví i reproduktorům nežli naopak
- věrnější reprodukce nízkých kmitočtů, nezávislost na módech prostoru
- nezávislost na (proměnném) akustickém prostředí v mobilních nahrávacích režíích, počet přítomných osob v prostoru nemá vliv na akustiku prostoru
- izolace od okolí
- subjektivní věrnost, přirozenost reprodukce
- zvyk, není jiná alternativa
- mezi sluchátky bývají na straně konzumentů menší kvalitativní rozdíly nežli u reproduktorů

Někteří respondenti též zdůvodnili, proč více preferují uzavřená sluchátka oproti otevřeným a naopak. Nejčastěji vnímaným rozdílem byla reprodukce prostoru. Zatímco u uzavřených sluchátek byla čteně zmiňována výhoda izolace od okolí, preference otevřených sluchátek oproti uzavřeným byla nejčastěji zdůvodňována subjektivní věrností reprodukce, vyšším komfortem nošení a méně výrazným vjemem lokalizace uvnitř hlavy.

3.5 Kompatibilita mixu pro reproduktory a sluchátka

V rámci průzkumu byly respondentům předloženy následující tři otázky týkající se *kompatibility mixu pro poslech na sluchátka a reproduktory*:

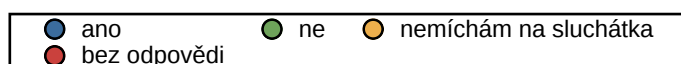
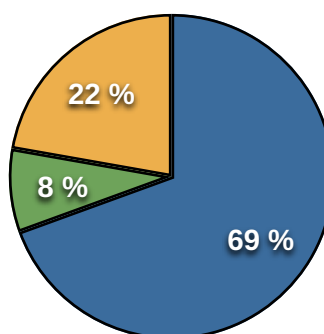
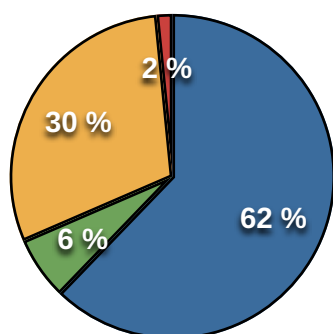
1. Berete při míchání na sluchátka ohled na to, jak bude zvukový obraz znít při poslechu na reproduktory?
2. Berete při míchání na reproduktory ohled na to, jak bude zvukový obraz znít při poslechu na sluchátka?
3. Domníváte se, že je možné docílit optimálního vyvážení zvukového obrazu pro poslech na reproduktory i na sluchátka?

U *první otázky* měli účastníci možnost vybrat jednu z následujících odpovědí: „ano“, „ne“, nebo „nemíchám na sluchátka“. Odpovědi jsou vyhodnoceny v grafu 3.11.

Graf 3.12 rozděluje odpovědi dle předpokládaného způsobu reprodukce mixů na straně konzumentů, jak je respondenti uvedli dříve (kap. 3.2). Z odpovědí lze usoudit, že při míchání na sluchátka je srovnání s vlastnostmi zvukového obrazu reproduktorů v praxi velmi významné, a to i v případě zvukových mistrů, kteří předpokládají, že jimi smíchané nahrávky budou dále poslouchány především na sluchátka.

Zohlednění reproduktorů (všichni respondenti)

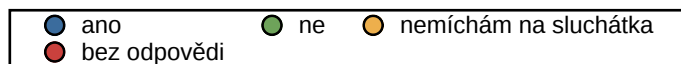
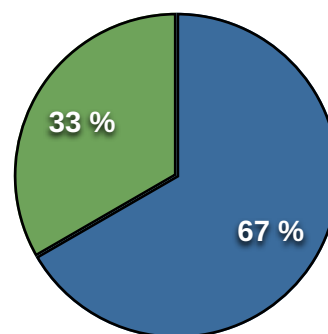
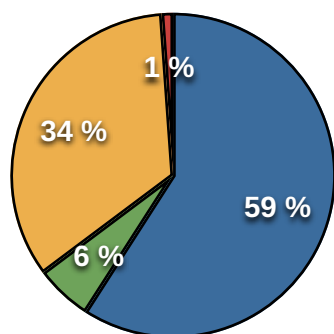
Zohlednění reproduktorů (klasická hudba)



Graf 3.11: Zohlednění zvukového obrazu reproduktorů při míchání na sluchátka, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Zohlednění reproduktorů (předpoklad = reproduktory)

Zohlednění reproduktorů (předpoklad = sluchátka)

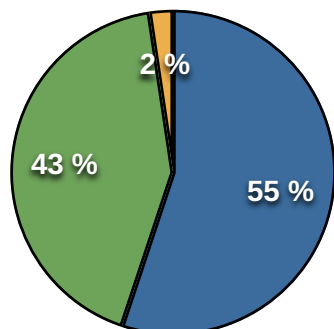


Graf 3.12: Zohlednění zvukového obrazu reproduktorů při míchání na sluchátka, odpovědi respondentů s předpokladem reprodukce snímku na reproduktory (vlevo) a respondentů s předpokladem reprodukce na sluchátka (vpravo).

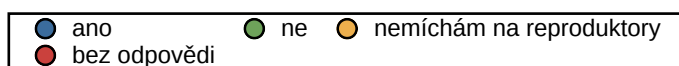
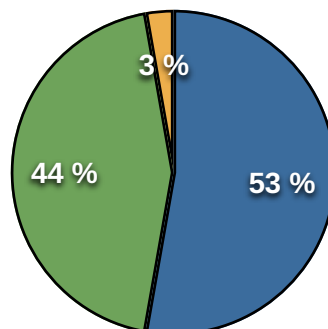
Odovědi na *druhou otázku*, tedy zohlednění sluchátkové reprodukce při míchání na reproduktory, přináší graf 3.13. Zde měli účastníci možnost vybrat jednu z následujících odpovědí: „ano“, „ne“, nebo „nemíchám na reproduktory“.

Graf 3.14 zobrazuje odpovědi dle předpokládaného způsobu reprodukce. Ve srovnání s předchozí otázkou je požadavek na sluchátkovou kompatibilitu nižší, je však nutné zohlednit, že cca 80 % dotázaných označilo jako preferovaný poslech při míchání reproduktory. Patrný je nárůst požadavku na kompatibilitu se sluchátkovou reprodukcí, jsou-li sluchátka považována za předpokládaný způsob reprodukce (graf 3.14 vpravo).

Zohlednění sluchátek (všichni respondenti)

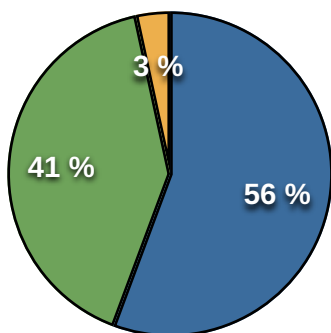


Zohlednění sluchátek (klasická hudba)

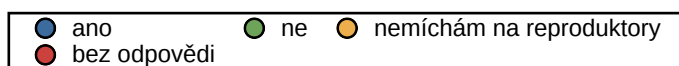
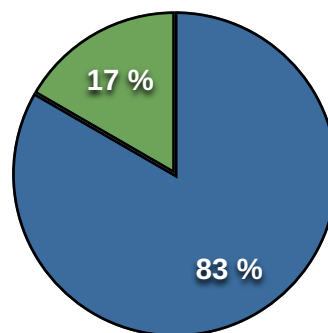


Graf 3.13: Zohlednění sluchátkové reprodukce při míchání na reproduktory, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Zohlednění sluchátek (předpoklad = reproduktory)



Zohlednění sluchátek (předpoklad = sluchátka)

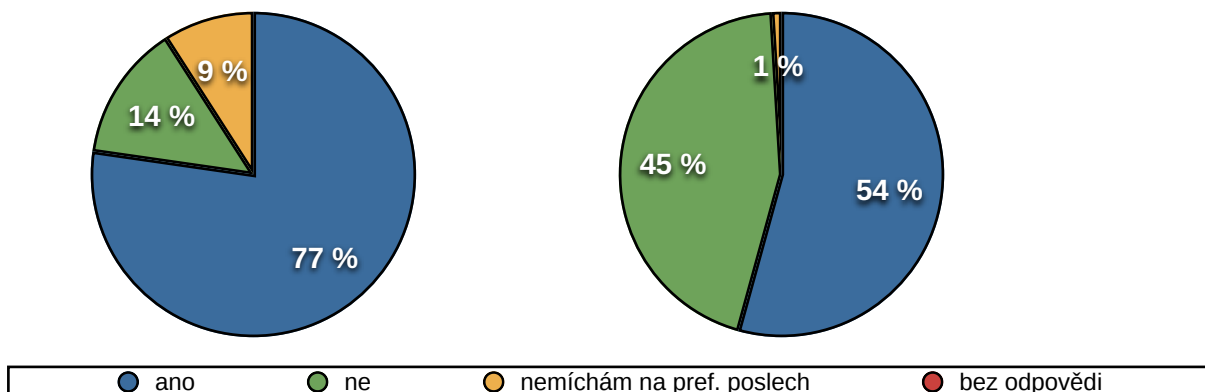


Graf 3.14: Zohlednění sluchátkové reprodukce při míchání na reproduktory, odpovědi respondentů s předpokladem reprodukce snímku na reproduktory (vlevo) a respondentů s předpokladem reprodukce na sluchátka (vpravo).

Graf 3.15 rozčleňuje odpovědi dle *preferovaného typu poslechu* (kap. 3.4). Vlevo je vyhodnoceno zohlednění reproduktorů účastníky preferujícími při míchání sluchátka, vpravo je vyhodnoceno zohlednění sluchátkové reprodukce u účastníků preferujících reproduktory. Zohlednění zvukového obrazu reproduktorů při míchání je významné i v případě osobní preference poslechu na sluchátka.

Zohlednění reproduktorů (pref = sluchátka)

Zohlednění sluchátek (pref = reproduktory)



Graf 3.15: Vlevo: Zohlednění zvukového obrazu reproduktorů při míchání na sluchátka, odpovědi respondentů preferujících při míchání sluchátka. Vpravo: Zohlednění sluchátkové reprodukce při míchání na reproduktory, odpovědi respondentů preferujících při míchání reproduktory.

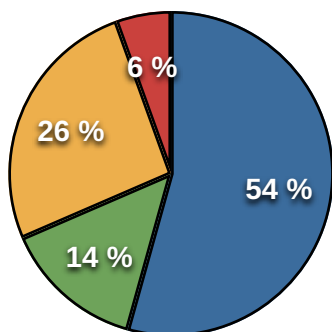
Třetí otázka, zda je možné docílit *optimálního vyvážení pro oba typy reprodukce*, nabízela na výběr tři odpovědi: „ano, je-li snímek smíchán na sluchátka“, „ano, je-li snímek smíchán na reproduktory“ a „ne“. Zde se opět ukázal koncept dotazníku jako příliš striktní a někteří respondenti odpověď vynechali (v grafech vyznačeno červenou barvou).

Několik účastníků v komentářích uvedlo, že optimálního mixu pro oba typy reprodukce lze dle jejich názoru docílit rovnocenným využitím sluchátek i reproduktorů při míchání. Jejich odpovědi byly dodatečně upraveny dle upřesněného vyjádření. Komentáře účastníků, jež otázku zcela vynechali, uváděly především odůvodnění, že mix, jenž vyhoví oběma typům reprodukce, již nelze pro určitý typ poslechu označit za optimální (například není možné efektivně využít lokalizační principy obou typů reprodukce jedním typem mixu apod.).

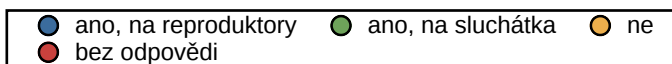
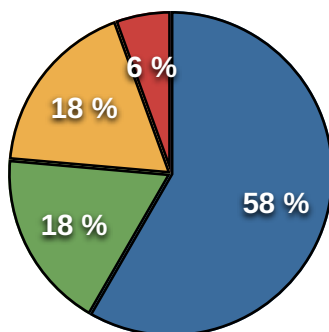
Graf 3.16 porovnává odpovědi všech respondentů s respondenty z oblasti klasické hudby. Většina respondentů se vyjádřila ve *prospěch existence kompatibilního vyvážení* (součet modré a zelené oblasti). U zvukových mistrů klasické hudby je předpoklad kompatibilního vyvážení mírně vyšší. Co se týká zastoupení reproduktorů a sluchátek, i v tomto případě je výsledek značně ovlivněn tím, že cca 80 % respondentů označilo za preferovaný typ poslechu při míchání reproduktory (viz kap. 3.4).

Graf 3.17 srovnává odpovědi skupiny preferující při míchání reproduktory se skupinou preferující sluchátka. Zatímco rozložení odpovědí u skupiny preferující reproduktory se od rozložení *všech účastníků* příliš neliší (jedná se o většinu respondentů), u skupiny preferující sluchátka je zřetelný nárůst důvěry v kompatibilitu sluchátkových mixů (zelená oblast).

Kompatibilita (všichni respondenti)

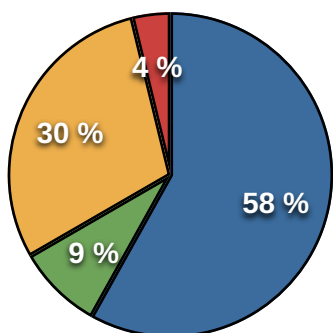


Kompatibilita (klasická hudba)

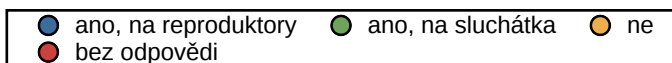
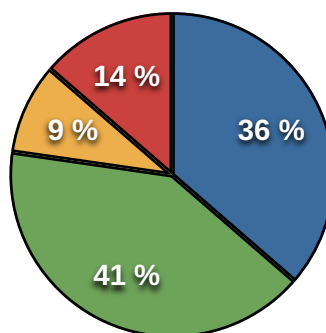


Graf 3.16: Optimální vyvážení pro reproduktory i sluchátka, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Kompatibilita (preference = reproduktory)



Kompatibilita (preference = sluchátka)



Graf 3.17: Optimální vyvážení pro reproduktory i sluchátka, odpovědi respondentů preferujících při míchání poslech na reproduktory (vlevo) a respondentů preferujících sluchátka (vpravo).

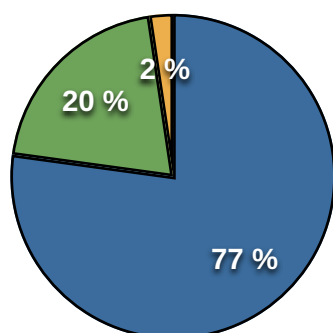
3.6 Alternativní reproduktory a sluchátka simulující poslech na reproduktory

Respondenti byli dotázáni, zda při míchání na reproduktory využívají též alternativní sadu reproduktorů. Účastníci mohli vybrat jednu z následujících odpovědí: „ano“, „ne“, nebo „nemíchám na reproduktory“.

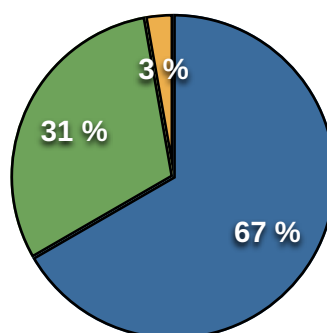
Graf 3.18 uvádí odpovědi všech účastníků a zvukových mistrů klasické hudby. Většina účastníků uvedla, že alternativní poslech využívá.

Graf 3.19 srovnává odpovědi podle předpokládaného způsobu reprodukce mixů na straně konzumentů (viz kap. 3.2). Zvukoví mistři s předpokládaným poslechem konzumentů na sluchátka se vyjádřili ve prospěch využití alternativní sady reproduktorů méně často. Jejich snímky jsou patrně častěji konfrontovány s poslechem na sluchátka, popř. častěji na sluchátka přímo mícháno.

Alternativní poslech (všichni respondenti)

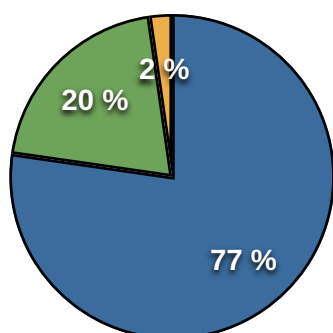


Alternativní poslech (klasická hudba)

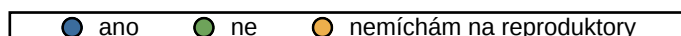
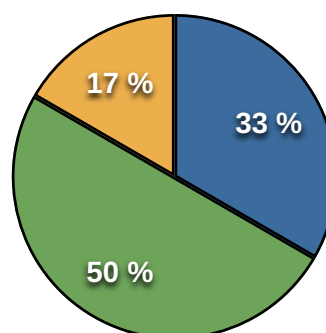


Graf 3.18: Využití alternativního poslechu při míchání na reproduktory, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

Alternativní poslech (předpoklad = reproduktory)



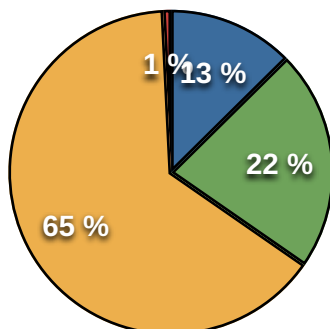
Alternativní poslech (předpoklad = sluchátka)



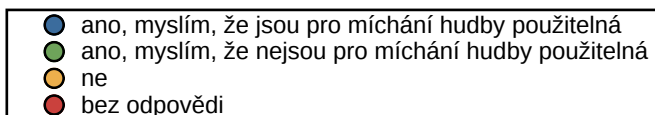
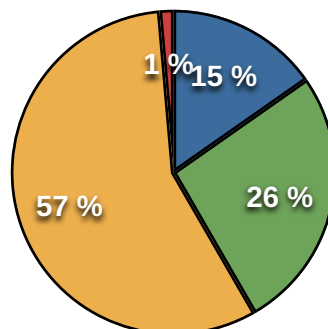
Graf 3.19: Využití alternativního poslechu při míchání na reproduktory, odpovědi respondentů s předpokladem reprodukce snímku na reproduktory (vlevo) a respondentů s předpokladem reprodukce na sluchátka (vpravo).

Respondenti dále odpovídali na otázku, zda mají zkušenost se sluchátky simulujícími poslech na reproduktory (např. produkt Headzone od výrobce Beyerdynamic - viz kap. 2.4). Zde mohli účastníci vybrat z nabízených odpovědí: „ano, myslím si, že jsou použitelná pro míchání hudebního snímku“, „ano, ale pro míchání hudebního snímku bych je nepoužil/a“ a „ne“. Jak je vidět z grafu 3.20, více než polovina dotázaných neměla s uvedeným typem poslechu dříve zkušenost.

Simulace reproduktorů (všichni respondenti)



Simulace reproduktorů (klasická hudba)



Graf 3.20: Zkušenost se sluchátky se simulací zvukového obrazu reproduktorů, odpovědi všech respondentů (vlevo) a respondentů z oblasti klasické hudby (vpravo).

3.7 Nejspolehlivější poslech pro různé úkony v rámci zpracování snímku

V rámci této otázky byli respondenti v dotazníku konfrontováni s následujícími vybranými úkony při míchání a zpracování hudebního snímku:

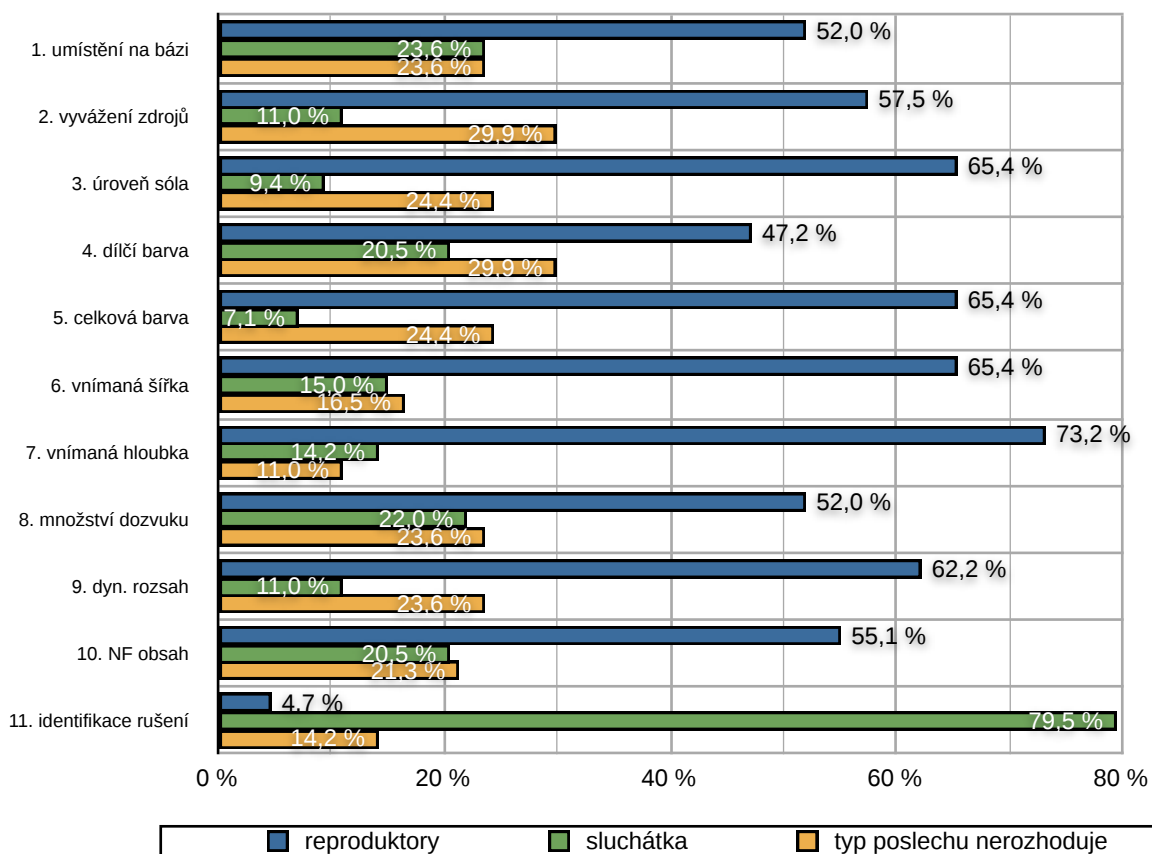
1. volba umístění zvukového zdroje na stereofonní bázi
2. vyvážení úrovně dílčích zvukových zdrojů / nástrojů
3. nastavení relativní úrovně jediného zvukového zdroje ve vztahu k celku - např. sólového zpěvu či nástroje
4. posouzení barvy zvuku u dílčích zvukových zdrojů
5. posouzení barvy zvuku celého mixu
6. posouzení vnímané šířky stereofonního obrazu
7. posouzení vnímané hloubky stereofonního obrazu
8. posouzení množství dozvuku
9. posouzení dynamického rozsahu mixu
10. posouzení nízkofrekvenčního obsahu snímku
11. identifikace rušení / hluku v signálech

U každého z jedenácti úkonů měli respondenti za úkol označit, který z nabízených typů poslechu považují v daném ohledu za nejspolehlivější. Na výběr byly vždy tři odpovědi: „sluchátka“, „reproduktory“, nebo „typ poslechu nerozhoduje“. Výsledky jsou znázorněny v grafu 3.21.

Většina účastníků považovala reproduktory jako spolehlivý poslech pro určení vnímané hloubky stereofonního obrazu (v grafu pod číslem 7). Jako nejméně spolehlivé hodnotili respondenti reproduktory v posouzení barvy zvuku dílčích zvukových zdrojů (číslo 4), na rozdíl od barvy zvuku celého mixu (5), kde byla naopak nejmenší spolehlivost u sluchátek.

Nejvíce zúčastněných potvrdilo spolehlivost reprodukce sluchátek v oblasti identifikace rušení (11). Nejmenší spolehlivost sluchátek byla zaznamenána v posouzení barvy zvuku celého mixu (5).

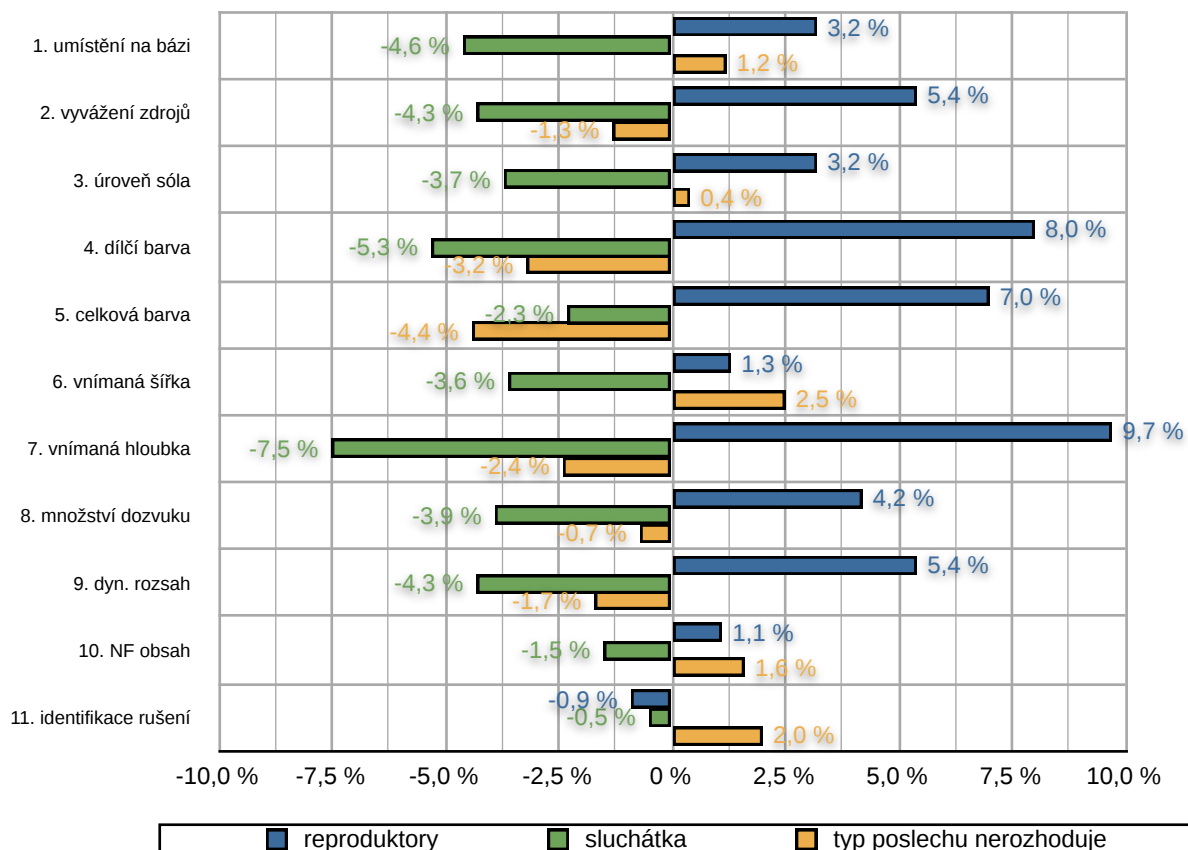
Nejspolehlivější typ poslechu pro různé úkony v rámci zpracování snímku (všichni respondenti)



Graf 3.21: Spolehlivost poslechu na reproduktory a sluchátka pro různé úkony v rámci míchání a zpracování hudebního snímku.

Pojďme nyní věnovat bližší pohled skupině respondentů, kteří uvedli, že *preferují při míchání hudby reproduktory* (viz kap. 3.4). Graf 3.22 znázorňuje, jak se jejich odpovědi liší od odpovědí všech respondentů. Ačkoli absolutní hodnoty rozdílů zde nepředstavují větší informační hodnotu, průběh grafu můžeme označit jako *profil zvukového mistra preferujícího reproduktory*: důvěřuje poslechu na reproduktory více především při posuzování *hloubky stereofonního obrazu* (7), hodnocení *barvy zvuku jednotlivých nástrojů* (4) a *barvy zvuku celého mixu* (5).

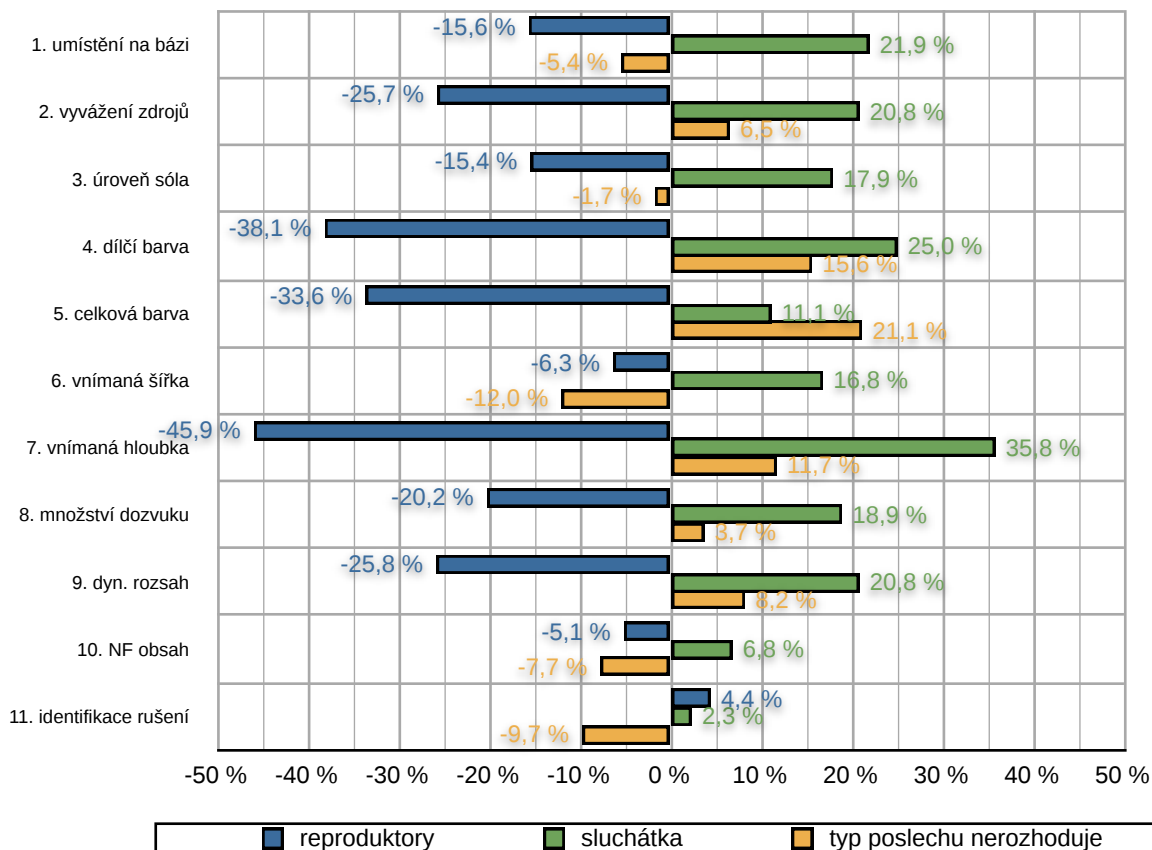
V čem se liší respondenti PREFERUJÍCÍ REPRODUKTORY od všech respondentů?



Graf 3.22: Spolehlivost poslechu na reproduktory a sluchátka pro různé úkony v rámci míchání a zpracování hudebního snímku. Rozdíl skupiny respondentů *preferujících při míchání reproduktory* oproti všem respondentům.

Pro úplnost můžeme samozřejmě na výše uvedené srovnání pohlížet i z perspektivy sluchátek, i když se tyto dvě skupiny do značné míry vzájemně kompenzují: Graf 3.23 zobrazuje, jak se účastníci *preferující sluchátka* liší od všech účastníků. Tato skupina dotázaných důvěřuje sluchátkům (respektive nedůvěřuje reproduktorům) především při posuzování *hloubky stereofonního obrazu*, atd.

V čem se liší respondenti PREFERUJÍCÍ SLUCHÁTKA od všech respondentů?



Graf 3.23: Spolehlivost poslechu na reproduktory a sluchátka pro různé úkony v rámci míchání a zpracování hudebního snímku. Rozdíl skupiny respondentů *preferujících při míchání sluchátka* oproti všem respondentům.

Výsledky analýzy nejspolehlivějšího poslechu jsou přirozeně ovlivněné navrženými jedenácti kategoriemi hodnocení. Kategorie byly vybrány s cílem pokrýt *co nejvíce různých způsobů koncentrace* zvukového mistra během míchání hudebního snímku. Seznam samozřejmě nemůže být úplný a je možné, že v průzkumu nebyly navrženy některé kategorie, které by přinesly ještě výraznější výsledky. Ke zjištění úplného rozsahu relevantních kategorií by bylo zapotřebí vytvořit samostatný průzkum.

4. Vliv rozdílné reprodukce sluchátek a reproduktorů na mix klasické hudby

Následující kapitola popisuje zadání, průběh a výsledky poslechového testu.

4.1 Základní hypotéza

Cílem poslechového testu bylo porovnat mixy totožného hudebního materiálu provedené na sluchátka a na reproduktory a vyhodnotit, zda mezi nimi dochází k *systematické změně v nastavení*. Poslechový test zahrnoval *tři různé mixážní úlohy*, z nichž každá byla respondenty smíchána na sluchátka i na reproduktory. Úlohy byly řazeny dle obtížnosti, těžiště poslechového testu představovala nejnáročnější úloha č. 3.

Základní hypotéza, *předpokládající existenci systematických rozdílů*, vycházela z řady ustálených tvrzení, s nimiž jsem se setkal v průběhu svého studia a jež byla dále podpořena individuálními výpověďmi účastníků internetového průzkumu (viz kap. 3.4). Většinu z nich lze shrnout do následujících tří bodů:

1. Vlivem chybějícího dozvuku místnosti se u sluchátkové reprodukce může vyskytnout tendence vytvářet mixy s větším podílem prostorové informace.
2. Vlivem chybějícího dozvuku místnosti se u sluchátkové reprodukce může vyskytnout tendence vytvářet mixy s větší vnímanou hloubkou ve zvukovém obraze, a to především ve snaze zmírnit lokalizaci uvnitř hlavy.
3. Vlivem rozdílných lokalizačních vlastností obou reprodukčních systémů se může vyskytnout tendence vytvářet na sluchátka užší stereofonní obraz, jelikož pro vnímanou pozici fantomového zvukového zdroje z určitého směru postačí u sluchátek nižší hodnoty časových rozdílů a rozdílů v úrovních mezi signály (viz kap. 2.3).

Srovnáme-li výše uvedená tvrzení s technickými nástroji tvorby zvukového obrazu popsanými v první kapitole, můžeme vyslovit předpoklad, jakým způsobem se rozdílná reprodukce může projevit v nastavení mixu:

1. Zvukový mistr při míchání na sluchátka použije větší podíl mikrofonních signálů reprodukcujících odražený zvuk, popř. generovaného umělého dozvuku.
2. Zvukový mistr při míchání na sluchátka využije menší podíl přímého zvuku u zvukových zdrojů, jež mají být ve zvukovém obraze vnímány z větší vzdálenosti. Za účelem vyrušení lokalizace uvnitř hlavy může v mixu též ve větší míře preferovat dekorelované signály (viz kap. 2.4). V tomto ohledu základní hypotézu podpořil i internetový průzkum uskutečněný v rámci této dizertační práce, kde se v oblasti posuzování *vnímané hloubky stereofonního obrazu* projevily výraznější preference způsobu reprodukce (kap. 3.7).
3. Zvukový mistr při míchání na sluchátka nastaví nižší hodnoty panorama, tj. nižší rozdíl v úrovni mezi kanály. Ve snaze vyhnout se lokalizaci ze směru 90° se může též u signálů s vyšším podílem přímého zvuku vyhýbat extrémnímu nastavení panoramy.

S ohledem na teoretické souvislosti první kapitoly je evidentní, že projeví-li se vliv rozdílné reprodukce při míchání, bude vliv *na volbu a optimalizaci způsobu snímání* mnohem zásadnější. Cílem analýzy poslechového testu tedy není pouze upozornit na parametry mixu, jejichž nastavení je vhodné častěji konfrontovat s jiným typem poslechu, ale rovněž odhadnout, v jakém ohledu je či není účelné respektovat sluchátka co by kompatibilní způsob reprodukce například při nahrávání v mobilních režíích, i když zde není nutně vytvářen výsledný mix nahrávky.

Z dostupných zdrojů se nepodařilo nalézt žádnou výzkumnou studii, ve které by byla srovnávána nastavení mixů od různých zvukových mistrů. Co se týče závislosti na typu reprodukce, byly nalezeny dva poslechové testy, které se zabývaly srovnáním reprodukce sluchátek a reproduktorů a jako respondenty využívaly též zvukové mistry:

1. „The Effects of Monitoring Systems on Balance Preference“ od Richarda Kinga a kol. (King a kol. 2011).
2. „The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference“ od Bretta Leonarda a kol. (Leonard a kol. 2013).

Výsledky těchto studií budou představeny a srovnány v rámci analýzy mixů.

4.2 Cílová skupina respondentů a prostorově-technické podmínky testu

Cílová skupina byla navržena tak, aby všichni účastníci splnili následující kritéria:

1. Respondent je profesí mistr zvuku.
2. Respondent má alespoň *desetiletou* zkušenost s mícháním klasické hudby.

Vzhledem k tomu, že nebylo možné uskutečnit v daném časovém plánu poslechový test s dostatečným množstvím profesionálů, byla cílová skupina doplněna o několik vybraných studentů a čerstvých absolventů oboru Zvuková tvorba na Hudební a taneční fakultě AMU, kteří podmínku dlouhodobé praxe nespĺňovali. Tabulka 4.1 uvádí zastoupení skupin pro jednotlivé úlohy poslechového testu.

V tabulce je uveden počet *platných* respondentů, jejichž nastavení bylo následně analyzováno; do platných výstupů byli zařazeni pouze respondenti, kteří potvrdili, že se jim pomocí dostupných signálů podařilo docílit esteticky uspokojivého vyvážení zvukového obrazu. U nejnáročnější, třetí úlohy byl počet platných účastníků nižší, zato ve prospěch účastníků s dlouhodobou praxí.

	1. mix	2. mix	3. mix
celkový počet účastníků	18	18	15
počet účastníků s praxí alespoň 10 let	13	13	12
procentuální zastoupení účastníků s praxí alespoň 10 let	72,2 %	72,2 %	80 %

Tabulka 4.1: Počet účastníků poslechového testu a zastoupení profesionálů s praxí delší než 10 let.

Podmínky pro poslechový test byly uzpůsobeny tak, aby pokud možno v žádném ohledu nevybočovaly z běžné profesní praxe zvukového mistra. Zadáním pro každého respondenta bylo smíchat tři připravené mixážní úlohy na sluchátka a na reproduktory, přičemž pořadí mixů i typu poslechu bylo pevně stanovené: nejdříve všechny tři úlohy na sluchátka, po krátké přestávce stejné tři úlohy na reproduktory.

Stanovené pořadí vycházelo především z předpokladu, že respondenti přijdou do neznámé zvukové režie. V takovém případě bývá poslech na sluchátka bezpečnější volbou, jelikož umožňuje posoudit výlučně vlastnosti signálů bez prostorové informace z (neznámého) prostoru. To rovněž umožní účastníkům následně se rychleji zorientovat při poslechu na reproduktory, jelikož posuzují již známé signály. Poslechový test probíhal v hlavní zvukové režii Zvukového studia HAMU (viz obr. 4.1 a 4.2).



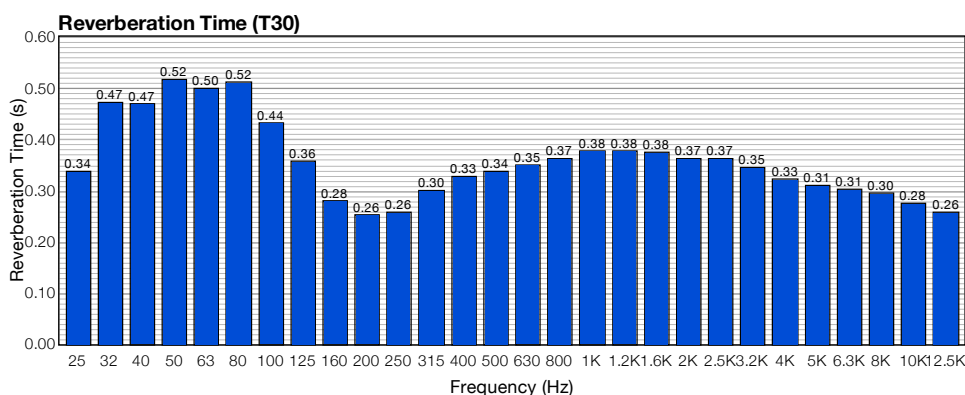
Obr. 4.1: Hlavní zvuková režie zvukového studia HAMU. Plocha cca 35 m², kubatura cca 120 m³, doba dozvuku 0,4 s (zdroj: HAMU 2012). Foto Jakub Hadraba.

Pro poslech během testů byla použita otevřená dynamická sluchátka AKG K 701 a reproduktory Genelec 1037 C. Šířka reprodukční báze u reproduktorů byla ± 30 stupňů vůči místu poslechu zvukaře. Na obrázku 4.3 jsou znázorněny *frekvenční průběhy* obou typů poslechu. Pro ovládání mixu byl použit mixážní stůl Solid State Logic Duality SE v režimu kontroléru, který přes HUI protokol umožňuje dynamicky zaznamenávat pozice faderů a otočných ovládacích prvků panorama.

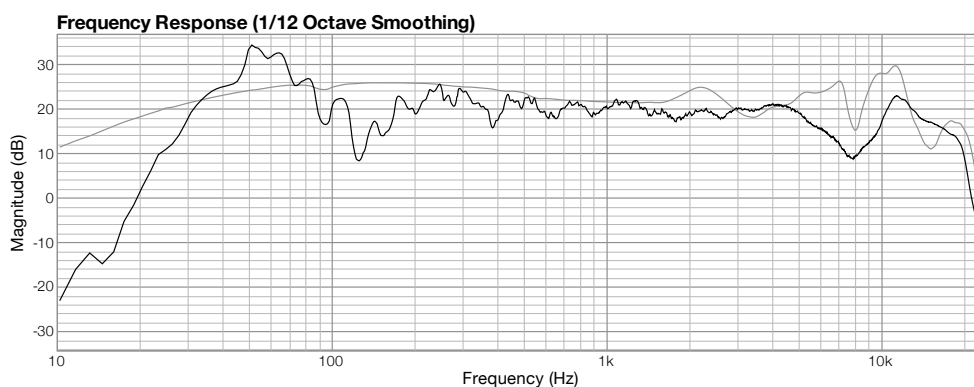
V rámci poslechového testu bylo klíčové navodit běžnou atmosféru výkonu zvukařské profese. Proto nebyly využity žádné speciální ovládací prvky (srov. King a kol. 2011), s nimiž se mistři zvuku zpravidla nesetkají a které by mohly ovlivnit způsob koncentrace. Účastníci mohli pro kontrolu využít i funkce poslechu jednotlivých signálů (PFL / Solo) a indikátory signálové úrovně.

U každé úlohy respondent vždy nastavil poměry úrovní signálů, popř. je rozmístil na stereoformní bázi stanovením poměru úrovně mezi levým a pravým kanálem pomocí ovládacích prvků panorama. Žádná z úloh nebyla časově omezena, všechny hudební ukázky byly automaticky opakovány, dokud respondent neoznačil své nastavení za definitivní. Stopáže jednotlivých ukázek jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Základní motivací pro každého účastníka ve všech případech bylo *vytvořit esteticky uspokojivý stereofonní zvukový obraz, který nastavením vyhoví pro celou ukázkou*; výsledkem bylo tedy *statické nastavení* míchacích parametrů. Vyjma úlohy č. 1 vycházel návrh signálů mixážních úloh vždy z *ustálených způsobů snímání daných hudebních těles* a odvolával se tedy, stejně jako ovládání, na běžnou praxi nahrávání klasické hudby. Účastníci mohli nastavit a v průběhu míchání upravovat hlasitost poslechu dle svých požadavků.



Obr. 4.2: Doba dozvuku T30 v hlavní zvukové režii zvukového studia HAMU. Měřeno pomocí sweepu mikrofonem Klark Teknik 6051.



Obr. 4.3: Frekvenční odezva reproduktorů 1037 C (černá) a sluchátek K 701 (šedá) použitých při poslechovém testu. Měřeno pomocí sweepu v referenčním bodě poslechu hlavní zvukové režie zvukového studia HAMU umělou hlavou Neumann KU 100.

úloha č.	obsazení	skladba	stopáž
1. mix	zpěv s orchestrem	Wolfgang Amadeus Mozart: Madamina, il catalogo è questo, árie Leporella z prvního dějství opery Don Giovanni K.527	0'26"
2. mix	sbor a capella	Jan Novák: Exercitia mythologica, část III. Erato	1'47"
3. mix	orchestr barokních nástrojů	Antonio Vivaldi: Concerto in sol minore per archi e cembalo RV 156, 3. věta	1'38"

Tabulka 4.2: Přehled použitého hudebního materiálu a stopáže jednotlivých mixů.

4.3 Mix 1

4.3.1 Zadání mixu

První mix sloužil jako předtest a nejednalo se o typickou mixážní úlohu. Prioritou bylo co nejjednodušší ovládání. Během tohoto mixu si respondenti nastavili optimální hlasitost a seznámili se s vlastnostmi daného poslechu.

V rámci této úlohy byl přehráván úryvek z Mozartovy árie, sólový zpěv (bas) s orchestrem, zaznamenaný ve Stavovském divadle v Praze. U stereofonního zvukového záznamu mohli respondenti ovlivnit pouze poměr M/S a tím tedy *vnímanou šířku stereofonního obrazu*. Zadáním bylo docílit esteticky uspokojivého vyvážení zvukového obrazu.

K dispozici byl jeden fader mixážního stolu, jenž řídil *relativní úroveň monofonní složky*; úroveň stranového signálu byla neměnná. Do poslechu byla pevně přimíchána monofonní složka s relativní úrovní -7 dB vůči stranovému signálu, aby respondenti neslyšeli samotný stranový signál, kdy jsou signály levého a pravého kanálu v protifázi. Pomocí faderu mohli tedy volit relativní úroveň monofonní složky pouze v rozsahu, kdy stereofonní obraz zůstával ještě konzistentní.

No. 4. Allegro.

Violino I.

Violino II.

Viola.

Flauto I.

Flauto II.

2 Oboi.

2 Fagotti.

2 Corni in D.

LEPORELLA.

Bassi.

Ma-da-mi-na! il ca-ta-lo-go è questo, del-le bel-le che amò il pa-dron mi-o, un ca-
Schöne Donna! Die-ses klei-ne Re-gi-ster, giebt von ei-ni-gen Her-zensge-schichtchen mei-nes

Obr. 4.4: Notová ukázka záznamu prvního mixu. Wolfgang Amadeus Mozart: Madamina, il catalogo è questo, árie Leporella z prvního dějství opery Don Giovanni K.527. Zdroj: Breitkopf 1801, str. 101.

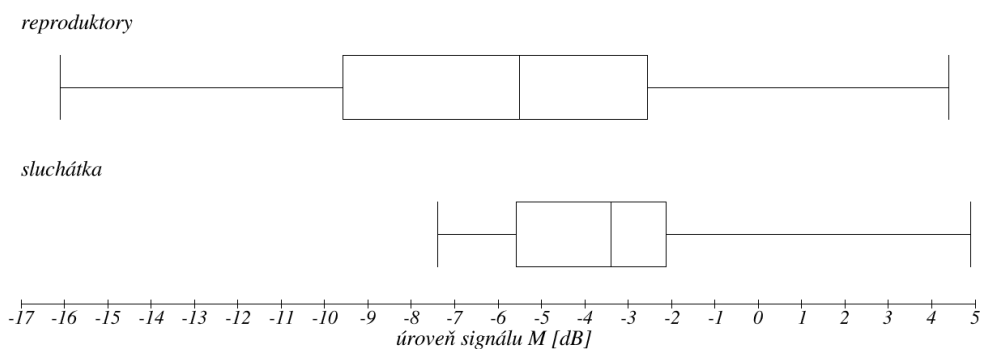
4.3.2 Vyhodnocení

Tabulka 4.3 porovnává základní statistické ukazatele naměřených hodnot úrovně signálu M, které respondenti nastavili na reproduktory a sluchátka. Střední hodnoty jsou v případě reproduktorů o 2 až 3 dB nižší, vyšší variance naznačuje rovněž větší rozptyl nastavených hodnot u reproduktorů.

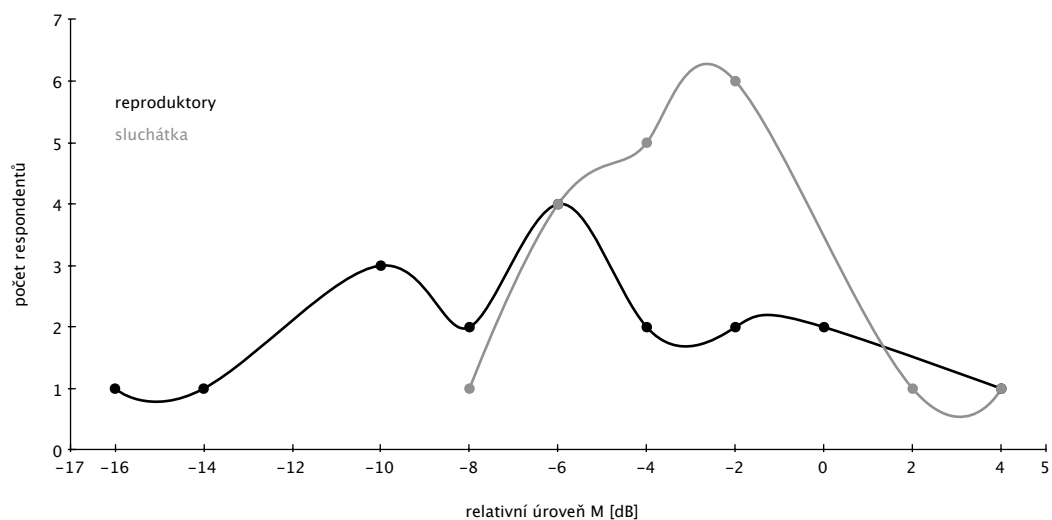
Větší rozptyl hodnot u mixů na reproduktory potvrzují i krabicové grafy na obr. 4.5. Toto rozložení hodnot je možné vyčíst i z rozdělení varianční řady na obrázku 4.6.

	úroveň M reproduktory	úroveň M sluchátka
průměr	-6,94	-3,22
medián	-5,60	-3,40
variance	30,30	8,86
směrodatná odchylka	5,50	2,98
minimální hodnota	-16,10	-7,40
maximální hodnota	4,40	4,90

Tabulka 4.3: Hlavní statistické ukazatele naměřených hodnot relativní úrovně signálu M pro reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.5: Krabicové diagramy naměřených hodnot relativní úrovně signálu M pro reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.6: Jádrový odhad hustoty naměřených hodnot relativní úrovně signálu M pro reproduktory a sluchátka.

Vzhledem k tomu, že sólový zpěv byl dominantní uprostřed stereofonní báze, rozhodovalo nastavení poměru M/S i o vyvážení hlasitosti zpěvu vůči orchestru. Výsledky tedy nepředstavují pouze reakci na změnu vnímané šířky stereofonního obrazu. Někteří respondenti navíc zdůvodňovali nižší preferovanou úroveň signálu M na reproduktory *barvou* zvuku sólového zpěvu: při vyšší úrovni jej na reproduktory vnímali jako příliš ostrý.

Za srovnání v tomto ohledu stojí výsledky testu „The Effects of Monitoring Systems on Balance Preference“ Richarda Kinga, Brett Leonarda a Grzegorza Sikory z roku 2011, jenž vyhodnocuje nastavení úrovně sólového zpěvu vůči stereofonnímu obrazu orchestru u deseti respondentů. V rámci analýzy uvádějí autoři obecně nižší preferovanou úroveň sólového zpěvu při poslechu na reproduktory (viz King a kol. 2011, str. 4), což koresponduje s výše uvedenými výsledky pro úroveň signálu M. Richard King a kol. ovšem uvádějí vyšší varianci hodnot naměřených *na sluchátka*.

Tabulka 4.4 porovnává naměřené hodnoty obou testů. Srovnatelnost testů je však obtížná, jelikož v případě testu R. Kinga a kol. měli respondenti k dispozici oddělené signály zpěvu a orchestru a mohli tak volit úroveň sóla *s minimálním ohledem na šířku stereofonního obrazu*. I v případě testu R. Kinga navíc zůstává otevřená otázka, do jaké míry bylo rozhodnutí účastníků podmíněno *barvou zvuku* sólového zpěvu, případně frekvenční odezvou daných typů poslechu.

Zda mají rozdíly vyplývající z výsledků obou testů obecnější platnost, mohou prověřit až další výzkumy.

	úroveň M reproduktory	úroveň M sluchátka	úroveň sóla King a kol. 2011 reproduktory	úroveň sóla King a kol. 2011 sluchátka
medián	-5,60	-3,40	-3,60	0,60
směrodatná odchylka	5,50	2,98	2,98	3,60
rozdíl mediánů		2,20		4,20
rozdíl směrodatných odchylek		-2,53		0,62
počet respondentů		18		10

Tabulka 4.4: Srovnání statistických ukazatelů první úlohy s poslechovým testem *The Effects of Monitoring Systems on Balance Preference* (King a kol. 2011).

Ke srovnání se také nabízí výzkum *Sebastiana Goossense a kol.* (Goossens a kol. 2010), který zkoumá *závislost subjektivního vjemu hlasitosti na akustickém tlaku v ušních kanálech u reprodukce na sluchátka a reproduktory*. V rámci výzkumu byly vyhodnocovány reakce respondentů na reprodukci různých typů sluchátek a reproduktorů v dozvukové místnosti. Účastníci nastavovali hlasitost testovacích šumových signálů v různých frekvenčních pásmech u monaurální (jeden reprodukční kanál), diotické (stejný signál v obou reprodukčních kanálech) a dichotické reprodukce (reprodukce dvou různých signálů) tak, aby je vnímali na sluchátka i reproduktory se stejným vjemem hlasitosti. Pro stejný vjem hlasitosti byl u poslechu na sluchátka naměřen vyšší akustický tlak v ušních kanálech. Tento jev bývá v literatuře též označován jako SLD efekt (Schalldruckpegel-Lautstärke-Divergenz)¹.

Ve studii S. Goossense a kol. se u sluchátkové reprodukce projevila zvýšená úroveň akustického tlaku pouze při lokalizaci uvnitř hlavy, u dichotické reprodukce rozdíl zaznamenaný nebyl. Kolektiv autorů formuluje závěr, že při poslechu na sluchátka dochází k rozdílnému vjemu hlasitosti v závislosti na lokalizaci. *Některým zvukovým zdrojům (lokalizovaným v hlavě) může být u sluchátek přisuzován nižší subjektivní vjem hlasitosti, přičemž rozdíl akustického tlaku potřebný k dorovnání vjemu činí u fantomového středu cca 3 dB* (Goossens a kol. 2010, str. 273).

Zjištěnou preferencí vyšší úrovně signálu M na sluchátka u prvního mixu lze podpořit závěry studie *Sebastiana Goossense a kol.*, jelikož sólový zpěv představoval výraznou *monofonní složku signálu*. Naměřený relativní rozdíl v preferenci se přibližně shoduje, i když byla jako testovací signál použita hudební nahrávka s blíže nedefinovanou průměrnou frekvenční odezvou. Oba testy se pravděpodobně lišily též v cílové skupině respondentů, která nebyla v případě studie S. Goossense a kol. limitována na profesionální zvukové mistry.

4.4 Mix 2

4.4.1 Zadání mixu

U druhého mixu byla použita nahrávka komorního smíšeného pěveckého sboru a capella, pořízená ve studiu Domovina v Praze. Respondenti měli k dispozici čtyři stereofonní signály, jejichž úrovně mohli upravovat pomocí faderů. Nastavení panoramy nebylo možné ovlivnit. Účastníkům bylo umožněno nevyužít v mixu všechny signály, zadáním bylo docílit *esteticky*

¹ srov. Stoll / Theile (1986)

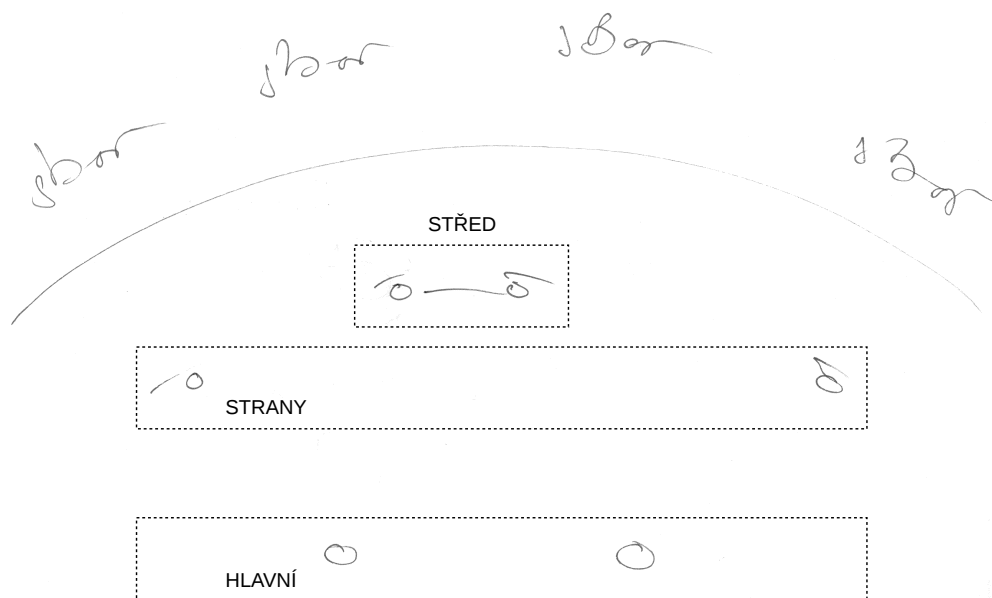
uspokojivého vyvážení zvukového obrazu. Mezi platné výstupy byli zařazeni pouze respondenti, kteří potvrdili, že se jim pomocí dostupných signálů podařilo uspokojivého vyvážení docílit.

Pozice mikrofonů při záznamu schematicky znázorňuje obr. 4.7, který měli účastníci při míchání k dispozici. Úloha nabízela následující signály:

- „STŘED / MID“: výstupní signály stereofonního systému s úzkou bází před sborem, směrová charakteristika široká ledvina
- „STRANY / SIDE“: výstupní signály dvou mikrofonů na krajích sboru, ve stejné vzdálenosti od účinkujících jako STŘED (na signály lze rovněž nahlížet jako na stereofonní systém s širokou bází), směrová charakteristika široká ledvina
- „HLAVNÍ / AB“: výstupní signály stereofonního systému, který byl od sboru více vzdálen, velikost báze > 1 m, směrová charakteristika koule
- „DOZVUK“: signály vygenerovaného umělého dozvuku softwarovým procesorem Relab Lx480 (simulace zařízení Lexicon 480L), dozvuk neobsahuje první odrazy

V rámci mixu bylo možné individuálně formovat především následující vlastnosti zvukového obrazu sboru:

- úpravou relativních poměrů bližších mikrofonních párů STŘED a STRANY mohli účastníci ovlivnit *vnímanou šířku stereofonního obrazu*
- vzájemným poměrem signálů bližších a vzdálenějších mikrofonů (STŘED+STRANY vs. HLAVNÍ) mohli účastníci ovlivnit *vnímanou hloubku stereofonního obrazu*
- úrovní stereofonního signálu DOZVUK mohli účastníci ovlivnit *poměr přímého a odraženého zvuku* celého snímku, resp. relativní zastoupení přirozené a umělé prostoro-
vosti



Obr. 4.7: Schematické znázornění pozic mikrofonů při záznamu. Originální zadání poslechového testu.

Sopran
Alt
Tenor
Baß

mp E-GO TE VO-CE HIAN - - TI O - NIMIS

mp E-GO TE NIMIS

mp E-GO TE VO-CE HIAN - - TI O - NIMIS

mp E-GO TE NIMIS

5
- RO O - - RO O - - - - RO ERA - TO
NIMIS NIMIS E-RA-

- RO O - - RO O - - - - RO E-RA-TO
NIMIS NIMIS

Erato, o süße Herrin!

10 15
ERA-TO E-RA- TO TU-
TO E-RA - TO TAN-GE
E-RA- TO E-RA - TO TU-
E-RA-TO E-RA-TO TAN-GE

Obr. 4.8: Notová ukázka záznamu druhého mixu. Jan Novák: *Exercitia mythologica*, část III. Erato. Zdroj: Schott 1971, str. 1.

4.4.2 Vyhodnocení

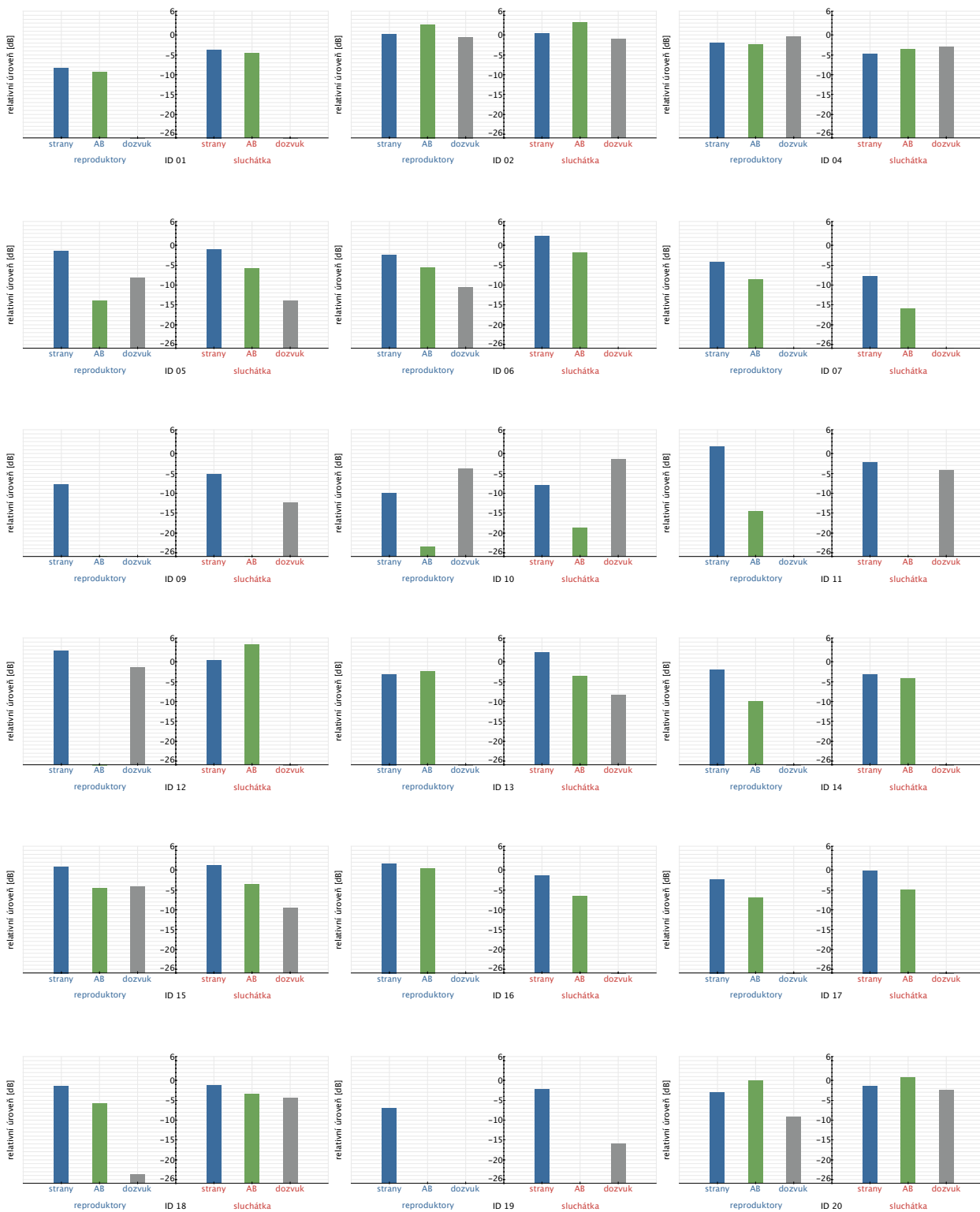
Hlavním výsledkem při analýze této úlohy se ukázala *individualita zvukové představy respondentů* a z ní vyplývající rozmanitost výsledných nastavení. Ta se projevila i ve výběru signálů užitých v mixu, kdy všechny nabízené signály na obě reprodukcí zařízení využilo pouze 39 % účastníků. Využití signálů v mixech je uvedeno v tabulce 4.5.

	počet respondentů, kteří signál použili v mixu na reproduktory [%]	počet respondentů, kteří signál použili v mixu na sluchátka [%]	počet respondentů, kteří signál použili v mixu na oba typy poslechu [%]
STŘED	100,0 %	100,0 %	100,0 %
STRANY	100,0 %	100,0 %	100,0 %
HLAVNÍ	83,3 %	83,3 %	77,8 %
DOZVUK	50,0 %	61,1 %	38,9 %

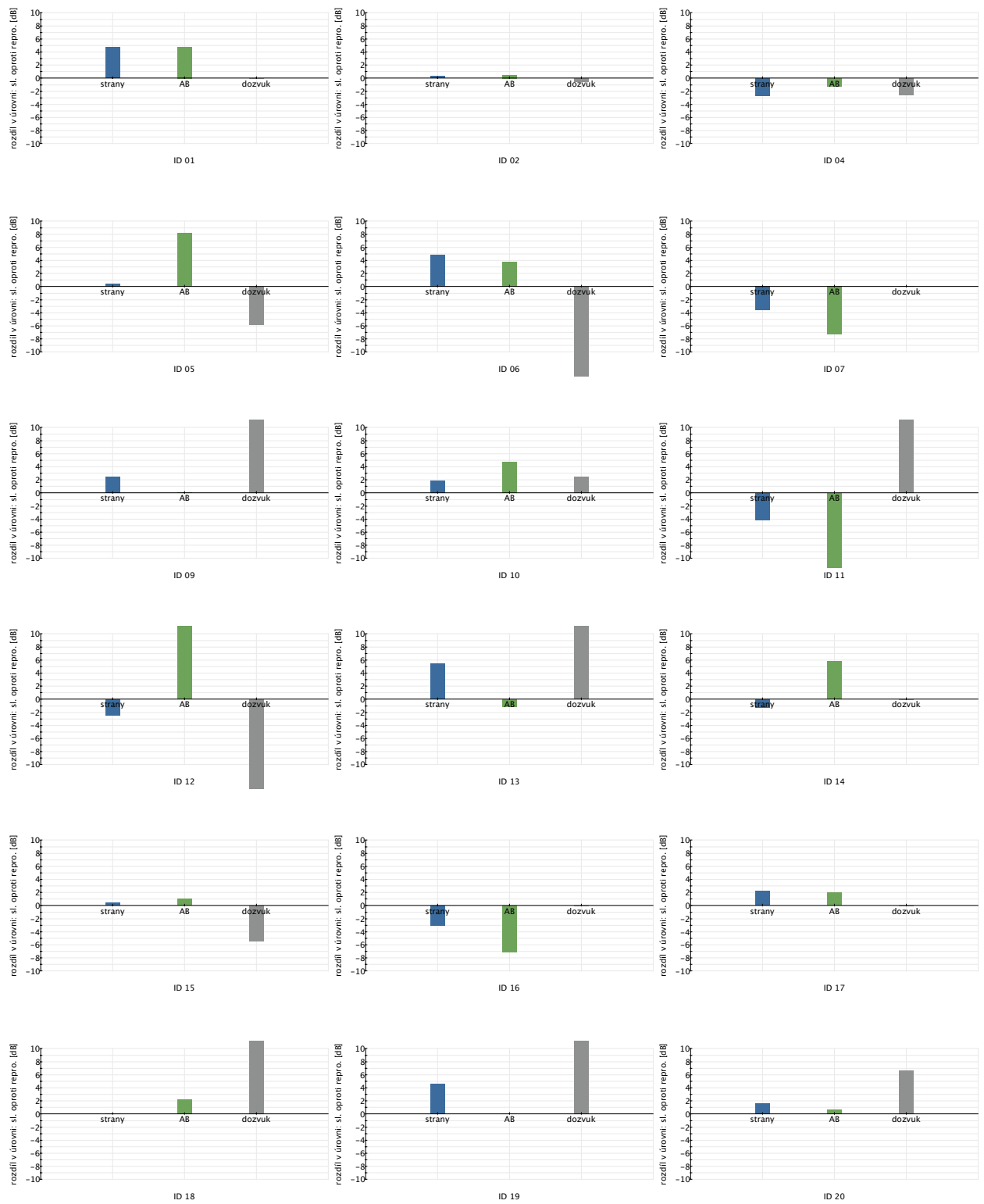
Tabulka 4.5: Využití nabízených signálů v mixech respondentů.

V rámci analýzy byly relativní úrovně normalizovány k prvnímu signálu „STŘED“ - jeho hodnota je tedy v mixech všech účastníků 0 dB. Grafy na obrázku 4.9 znázorňují výsledná nastavení všech platných účastníků na reproduktory i sluchátka. Grafy na obrázku 4.10 zvlášť vyznačují rozdíly mezi sluchátkovými a reproduktorovými mixy, a to z perspektivy sluchátkové reprodukce: kladné hodnoty v grafech značí vyšší úroveň daného signálu ve sluchátkovém mixu a naopak.

Při bližším rozboru není mezi reproduktorovými a sluchátkovými mixy zřetelná *žádná systematická změna*. Nastavení u jednotlivých respondentů je příliš individuální. I kdyby účastníci provedli při změně poslechu stejný rozdíl v nastavení, měl by ve zvukovém obraze každého mixu jiný účinek. Z grafů na obrázku 4.9 lze vypožorovat, že rozdíly mezi účastníky jsou mnohem větší, nežli u každého z účastníků při změně typu poslechu.



Obr. 4.9: Mix 2 - relativní úrovně na reproduktory a na sluchátka.



Obr. 4.10: Mix 2 - rozdíly relativních úrovní na sluchátka oproti reproduktorům.

4.4.3 Vyhodnocení - signál STRANY

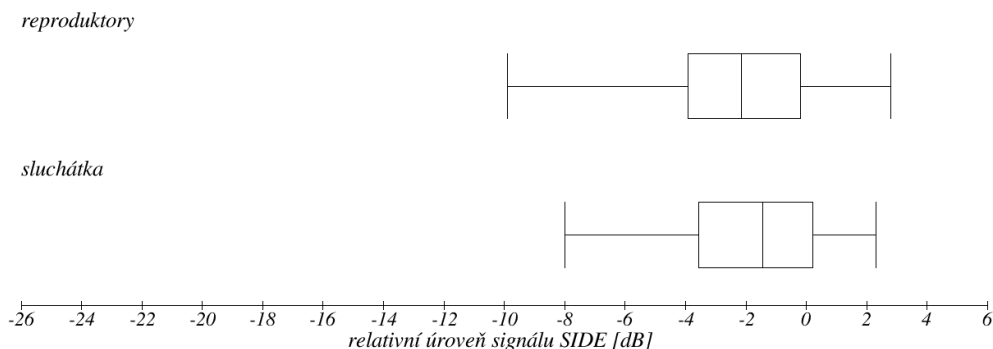
Tabulka 4.6 uvádí hlavní statistické ukazatele pro naměřené hodnoty relativní úrovně signálu STRANY. Střední hodnoty signálu STRANY vykazují rozdíl mezi typy poslechů jen přibližně o 0,5 dB. Obrázek 4.11 zobrazuje rozptyl hodnot nastavení; rozdíl mezi reproduktory a sluchátky zde *není významný*. To potvrzuje i varianční řada hodnot na obrázku 4.12.

Ačkoli výsledek naznačuje, že se šířka stereofonního obrazu mezi mixy nemění, není to možné považovat za jednoznačně potvrzený výsledek. Vliv na šířku stereofonního obrazu mají i signály vzdálenějších mikrofonů HLAVNÍ, jejichž úrovně se u jednotlivých respondentů výrazně liší. Jejich účinek je ale mnohem výraznější v doméně prostorovosti nežli v doméně šířky a lze tedy stěží předpokládat, že by podílem hlavního systému zvukové mistři reagovali primárně na šířku stereofonního obrazu. Je však pravděpodobné, že případný kompromis v šířce zvukového obrazu způsobený hlavním mikrofonem kompenzovali změnou úrovně signálů STRANY. Koncept druhé úlohy se tím ukázal být pro zjištění rozdílů v šířce stereofonního obrazu nevýhodný, nebylo však možné dopředu předpokládat tak rozsáhlou individualitu v přístupu u jednotlivých účastníků.

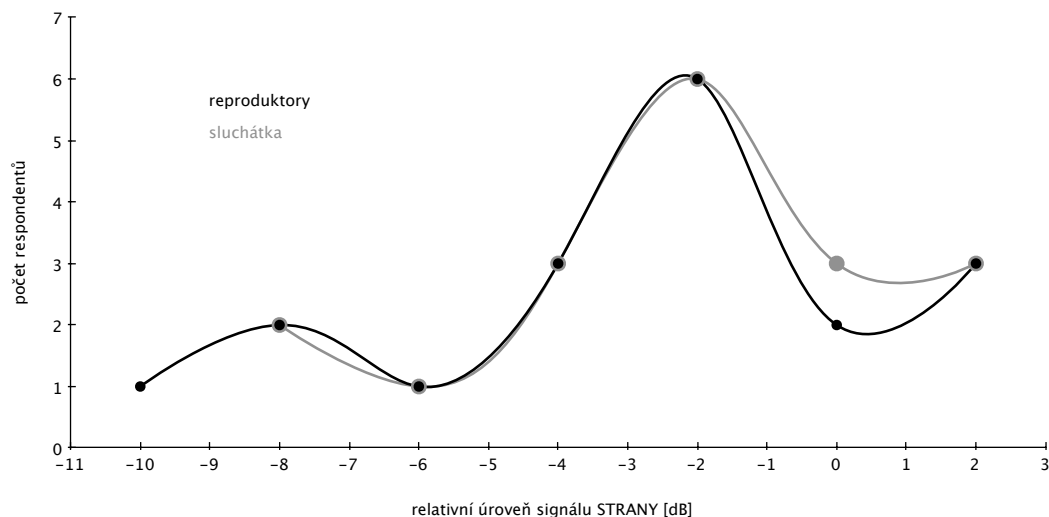
Je důležité zdůraznit, že signál STŘED na rozdíl od první úlohy (M/S) neobsahoval výraznější monofonní složku. Srovnání s předchozí mixážní úlohou tedy není možné.

	úroveň STRANY reproduktory	úroveň STRANY sluchátka
průměr	-2,63	-1,99
medián	-2,15	-1,45
variance	12,52	8,71
směrodatná odchylka	3,54	2,95
minimální hodnota	-9,90	-8,00
maximální hodnota	2,80	2,30

Tabulka 4.6: Hlavní statistické ukazatele naměřených hodnot relativní úrovně signálu STRANY pro reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.11: Krabicové diagramy naměřených hodnot relativní úrovně signálu STRANY pro reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.12: Jádrový odhad hustoty naměřených hodnot relativní úrovně signálu STRANY pro reproduktory a sluchátka.

4.4.4 Vyhodnocení - signál HLAVNÍ

Zatímco signál STRANY použili v mixu všichni respondenti, signál HLAVNÍ použilo jen cca 80 % zúčastněných (viz tab. 4.5). Do následující analýzy byly zahrnuty jen mixy účastníku, kteří signál použili, tj. *nastavili jeho určitou hodnotu*.

Tabulka 4.7 uvádí hlavní statistické ukazatele pro relativní úroveň signálu HLAVNÍ. Střední hodnota je u nastavení na sluchátka vyšší přibližně o 2 dB. U sluchátkové reprodukce je též nižší variance hodnot. To je zřetelné i z krabicového diagramu na obrázku 4.13.

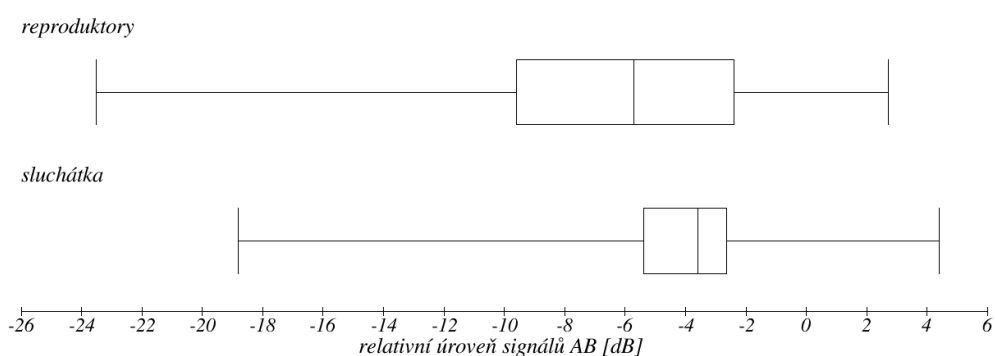
Krabicový diagram na obrázku 4.14 pro srovnání zahrnuje i mixy, kde signál HLAVNÍ nebyl použit. U těchto mixů byla hodnota relativní úrovně stanovena na -26 dB, kdy bylo na základě poslechu zjištěno, že se daný signál v mixu již bezpečně maskuje. Zahrnutí těchto mixů do datové řady neovlivní pozici prvního kvartilu a rozptyl hodnot zůstává stejný.

Na obrázku 4.15 je znázorněna varianční řada pro naměřené úrovně signálu HLAVNÍ. U respondentů, jejichž nastavení se u sluchátek shodují kolem hodnoty -4 dB nebyly nalezeny žádné společné doplňující znaky (pohlaví, věková skupina, vzdělání, praxe, bližší profesní zaměření - např. žánrové). Jako možné vysvětlení se nabízí rozdílné vyhodnocení prostorové informace: Zatímco u reproduktorů může být prostorová informace signálů maskována dozvukem reže, u sluchátek může být vlivem signálové dekorelace určitá úroveň přesněji rozpoznatelná, popř. i výhodná vůči lokalizaci uvnitř hlavy (srov. Leonard a kol. 2013, str. 4).

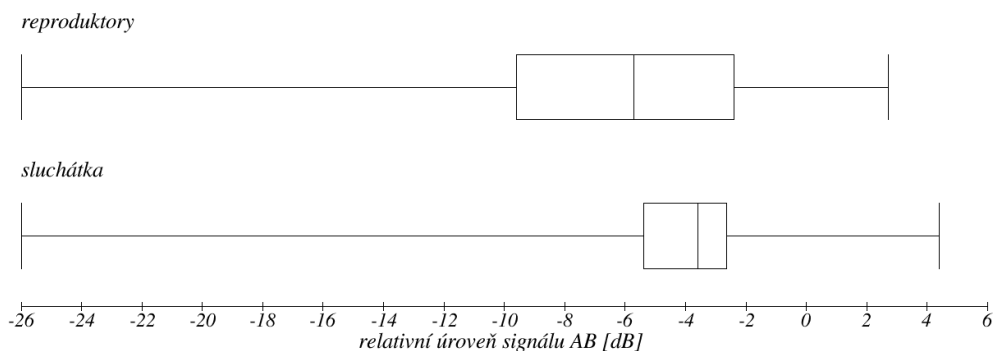
Oproti signálu DOZVUK, který obsahuje výhradně difuzní dozvukovou složku, byly v signále HLAVNÍ zachyceny i první odrazy prostoru. Jeho relativní úroveň má tedy zásadní vliv na vjem *vzdálenosti* sboru resp. *hloubky* zvukového obrazu. Vzhledem k tomu, že u signálů STŘED a STRANY, které reprezentují přímý zvuk tělesa, nebyly nalezeny žádné významné rozdíly mezi typy poslechu, můžeme naměřenou úroveň signálu HLAVNÍ považovat za primární indikátor *preferované hloubky* stereofonního obrazu. V případě sluchátkové reprodukce byla preference hloubky u respondentů jednoznačnější, a to ve prospěch *větší vnímané vzdálenosti sboru*.

	úroveň HLAVNÍ reproduktory	úroveň HLAVNÍ sluchátka
průměr	-6,96	-4,56
medián	-5,70	-3,60
variance	43,09	34,49
směrodatná odchylka	6,56	5,87
minimální hodnota	-23,50	-18,80
maximální hodnota	2,70	4,40

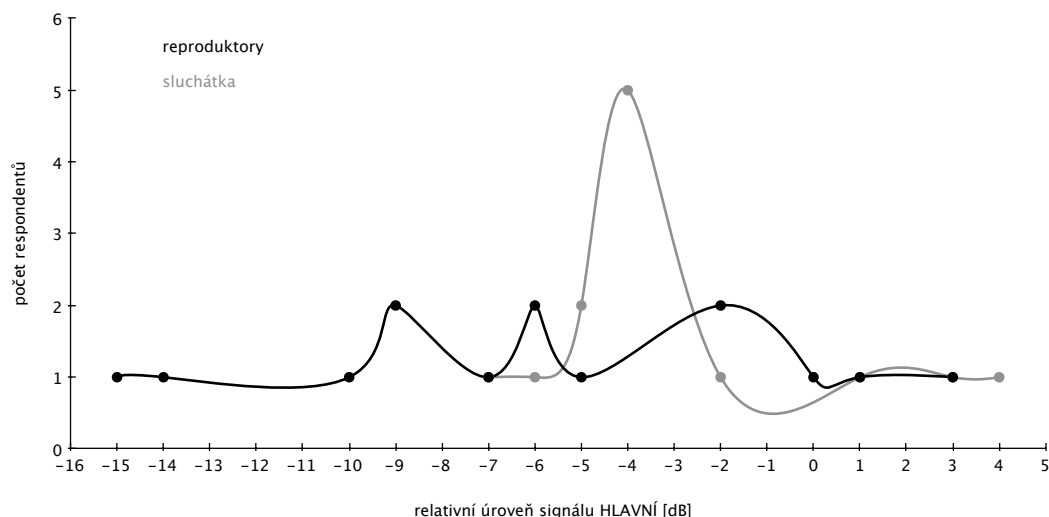
Tabulka 4.7: Hlavní statistické ukazatele naměřených hodnot relativní úrovně signálu HLAVNÍ pro reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.13: Krabicové diagramy naměřených hodnot relativní úrovně signálu HLAVNÍ pro reproduktory a sluchátka. Diagramy zobrazují pouze hodnoty nastavení u mixů, kde byl signál použit.



Obr. 4.14: Krabicové diagramy naměřených hodnot relativní úrovně signálu HLAVNÍ pro reproduktory a sluchátka. Diagramy zobrazují hodnoty nastavení všech mixů, minimální hodnoty -26 dB označují mixy, kde nebyl signál použit.



Obr. 4.15: Jádrový odhad hustoty naměřených hodnot relativní úrovně signálu HLAVNÍ pro reproduktory a sluchátka. Varianční řada uvádí pouze respondenty, kteří signál použili, tj. nastavili u něj hodnotu úrovně.

4.4.5 Vyhodnocení - signál DOZVUK

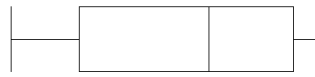
Jak bylo dříve uvedeno v tabulce 4.5, signál DOZVUK se rozhodlo použít v mixu nejméně účastníků. Na sluchátka jej použilo 11 účastníků, na reproduktory pouze osm. Dozvukový signál byl vygenerován softwarovým procesorem Relab Lx480 (simulace zařízení Lexicon 480L). Jeho nastavení bylo upraveno tak, aby byl vliv přidaného dozvuku na vjem prostorové hloubky co nejmenší. Vjem hloubky tak v mixu určovala především úroveň signálu HLAVNÍ.

Tabulka 4.8 uvádí základní statistické ukazatele naměřených úrovní. Střední hodnoty u reproduktorových mixů jsou oproti sluchátkům mírně vyšší. Nepatrná preference vyšších úrovní dozvuku při míchání na reproduktory vyplývá rovněž z rozptylu hodnot, který je znázorněn v krabicových diagramech na obrázku 4.16.

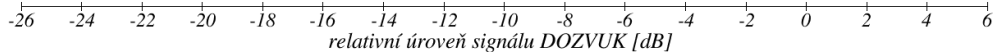
	úroveň DOZVUK reproduktory	úroveň DOZVUK sluchátka
průměr	-4,79	-6,96
medián	-4,05	-4,30
variance	14,12	25,77
směrodatná odchylka	3,76	5,08
minimální hodnota	-10,60	-15,90
maximální hodnota	-0,40	-1,00

Tabulka 4.8: Hlavní statistické ukazatele naměřených hodnot relativní úrovně signálu DOZVUK pro reproduktory a sluchátka.

reproduktory



sluchátka

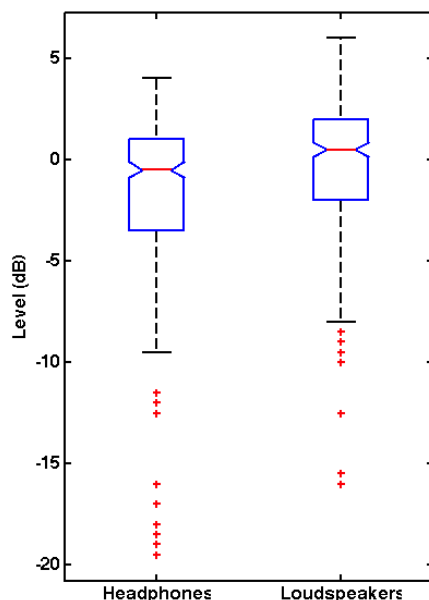


Obr. 4.16: Krabicové diagramy naměřených hodnot relativní úrovně signálu DOZVUK pro reproduktory a sluchátka.

Preference vyšších úrovní dozvukové složky při poslechu na reproduktory byla zjištěna též v poslechovém testu „The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference“ od Bretta Leonarda a kol. (Leonard a kol. 2013). Skupinu respondentů tvořili zvukoví mistři. Úlohou respondentů bylo nastavit relativní úroveň dozvukové složky vůči předmíchanému přímému zvuku nahrávky. Jako hudební ukázka byl použit orchestr se sólovým sopránem. Dozvuková složka byla generována jak z mikrofonních signálů v prostoru, tak umělým dozvukem. U respondentů byla při nastavení na reproduktory střední hodnota oproti sluchátkům vyšší o 1,46 dB (viz graf na obr. 4.17).

Ačkoliv rozptyl hodnot signálu DOZVUK druhého mixu koresponduje s výsledky B. Leonarda, bližší srovnání obou testů je obtížné. Dozvuková složka v testu B. Leonarda obsahovala i mikrofonní signály a mohla tak mít vliv na vnímanou hloubku stereofonního obrazu.

Pro další analýzu preferované úrovně signálu DOZVUK je vzorek populace v této ukázce bohužel příliš malý. Pro posouzení preferovaného množství dozvukové složky bylo výhodněji koncipováno zadání třetího mixu.



Obr. 4.17: Úrovně dozvukové složky pro sluchátka a reproduktory u všech respondentů dle poslechového testu B. Leonarda a kol. „The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference“. Zdroj: Leonard a kol. 2013, str. 3.

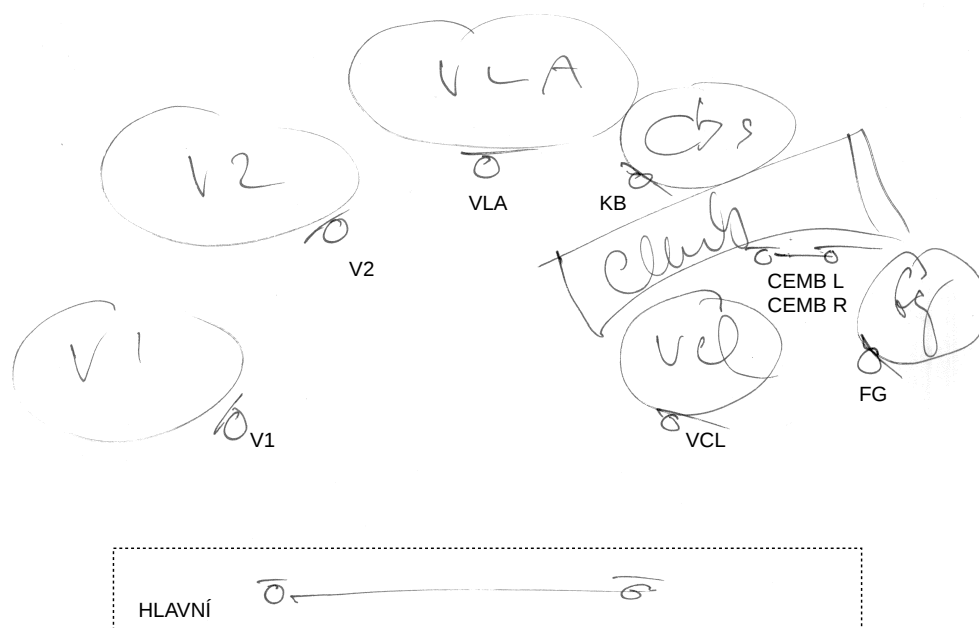
4.5 Mix 3

4.5.1 Zadání mixu

Třetí úloha byla co do počtu parametrů nastavení mixu nejnáročnější. Jako zvukový materiál byla použita nahrávka orchestru barokních nástrojů z Dvořákovy síně Rudolfiny v Praze. Respondenti měli k dispozici celkem deset signálů, jejichž relativní úrovně mohli upravovat pomocí faderů. U osmi signálů, které tvořily výstupy podpůrných mikrofonů, mohli rovněž ovlivnit hodnotu panorama otočným potenciometrem. Hodnoty panorama nastavovaly u každého signálu rozdíly v úrovních mezi levým a pravým kanálem s útlumem uprostřed reprodukční báze -2,5 dB (pan law / pan depth). Účastníkům bylo umožněno nevyužít v mixu všechny signály, zadáním bylo docílit *esteticky uspokojivého vyvážení* zvukového obrazu.

Mezi platné výsledky byli zařazeni pouze respondenti, kteří potvrdili, že se jim pomocí dostupných signálů podařilo docílit esteticky uspokojivého vyvážení. Pozice mikrofonů při záznamu schematicky znázorňuje obr. 4.19, který měli účastníci při míchání k dispozici. Úloha nabízela následující signály:

- *hlavní dvojice mikrofonů* před orchestrem, systém AB, šířka báze > 1 m, směrová charakteristika široká ledvina
- podpůrný mikrofon skupiny *prvních houslí*, směrová charakteristika ledvina (V1)
- podpůrný mikrofon skupiny *druhých houslí*, směrová charakteristika ledvina (V2)
- podpůrný mikrofon skupiny *viol*, směrová charakteristika ledvina (VLA)
- podpůrný mikrofon *kontrabasů*, směrová charakteristika ledvina (KB)
- podpůrný mikrofon *violoncella*, směrová charakteristika ledvina (VCL)
- podpůrný mikrofon *fagotu*, směrová charakteristika ledvina (FG)
- podpůrný stereofonní systém s úzkou bází u *cembala*, směrová char. ledvina (CEMB)
- vygenerovaný umělý dozvuk softwarovým procesorem Relab Lx480 (simulace zařízení Lexicon 480L), dozvuk neobsahuje první odrazy



Obr. 4.19: Schematické znázornění pozic mikrofonů při záznamu. Originální zadání poslechového testu.

V rámci mixu bylo možné individuálně formovat především následující vlastnosti zvukového obrazu orchestru:

- vzájemným poměrem hlavního mikrofonního systému a podpůrných mikrofónů bylo možné ovlivnit *vnímanou hloubku stereofonního obrazu*
- nastavení relativní úrovně u signálů jednotlivých podpůrných mikrofónů navíc rozhodovalo o množství obsaženého detailu zvuku daného nástroje, resp. jeho *poměru přímého a odraženého zvuku*
- nastavením relativní úrovně a panoramy u signálů jednotlivých podpůrných mikrofónů bylo do jisté míry možné ovlivnit *šířku stereofonního obrazu*
- pomocí stereofonního signálu DOZVUK bylo možné ovlivnit *poměr přímého a odraženého zvuku celého mixu*

The image displays a musical score for an orchestra and harpsichord. The top system includes staves for Violini I, Violini II, Viole, Violoncelli, and Contrabbassi, with a Cembalo staff below. The tempo is marked 'Allegro' and the dynamic is 'f'. The score shows a complex rhythmic pattern with many sixteenth notes. The bottom system continues the score, with a measure number '100' at the top and '6b' at the bottom left.

Obr. 4.18: Notová ukázka záznamu třetího mixu. Antonio Vivaldi: Concerto in sol minore per archi e cembalo RV 156, 3. věta. Zdroj: Ricordi 1951, str. 15.

4.5.2 Vyhodnocení

V rámci analýzy třetího mixu se opět ukázala *individualita zvukové představy* respondentů a z ní vyplývající rozmanitost výsledných nastavení. Pro bližší prozkoumání individuality byla u dvou vybraných respondentů provedena *série opakovaných testů*, aby bylo možné ověřit, do jaké míry je jejich individuální nastavení stabilní.

První opakovaný test byl uspořádán u prvního účastníka (ID 1) cca po pěti měsících od první řádné účasti na poslechovém testu, u druhého účastníka (ID 15) přibližně po měsíci. Druhý opakovaný test byl zařazen pro oba účastníky cca po pěti měsících. Třetí opakovaný test byl krátkodobý, s odstupem přibližně jedné hodiny. Přehled časového harmonogramu retestů uvádí tabulka 4.9.

	respondent ID 1	respondent ID 15
první účast na poslechovém testu	29. března 2013	1. srpna 2013
první opakovaný test	26. srpna 2013	26. srpna 2013
druhý opakovaný test	14. ledna 2013	14. ledna 2013
třetí opakovaný test	14. ledna 2013	14. ledna 2013

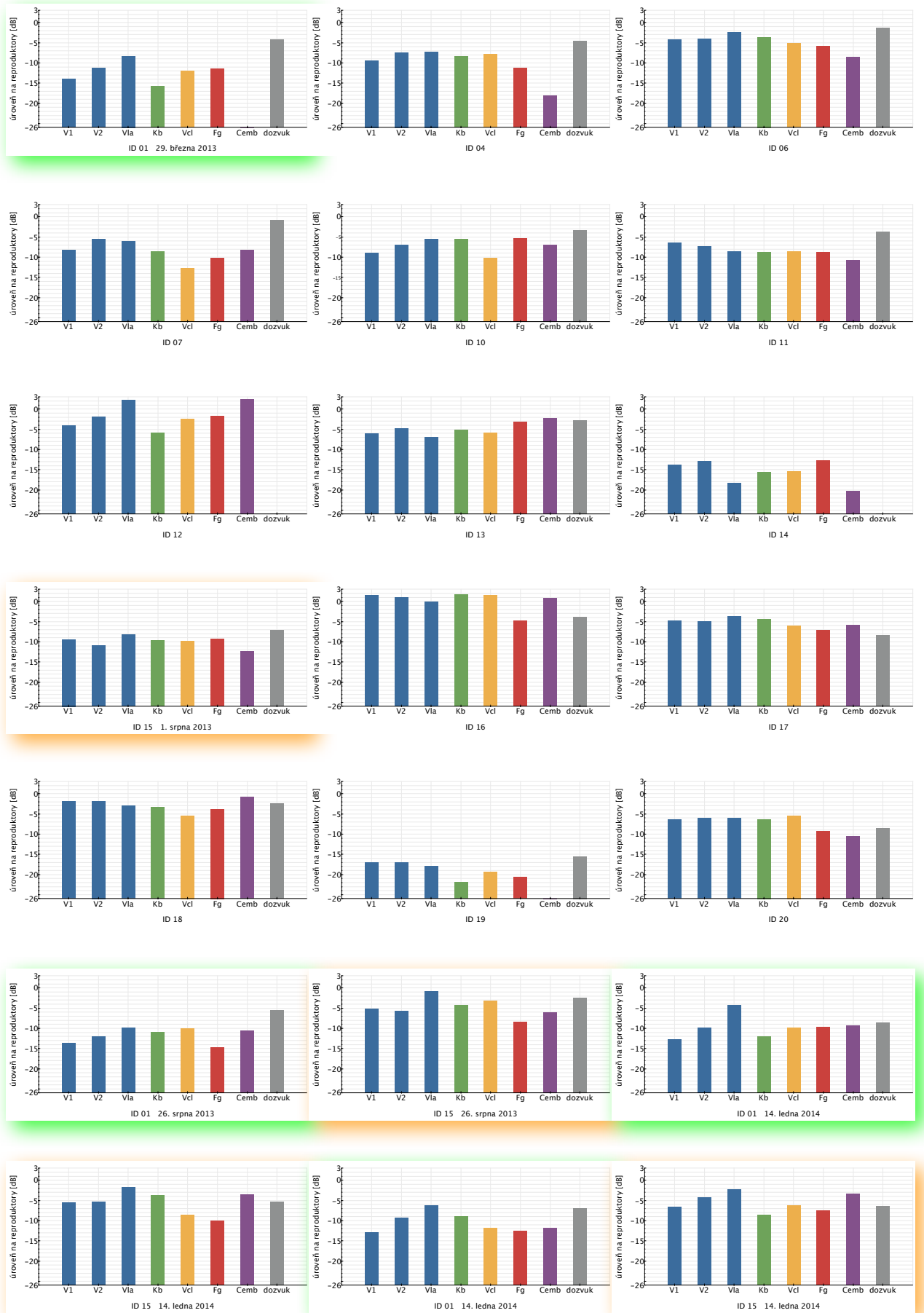
Tabulka 4.9: Časový harmonogram opakovaných testů.

Na obrázku 4.20 jsou vyobrazeny *grafy relativních úrovní* všech mixů na reproduktory, na obrázku 4.21 *grafy relativních úrovní* všech mixů na sluchátka. Všechny naměřené hodnoty jsou znormalizovány podle signálu HLAVNÍ, jeho úroveň je tedy pro všechny účastníky 0 dB. Pro lepší přehlednost zůstává pozice jednotlivých respondentů na stránce vždy stejná. Ve všech sadách grafů jsou barevně zvýrazněné opakované testy respondentů ID 1 (zelená) a 15 (oranžová).

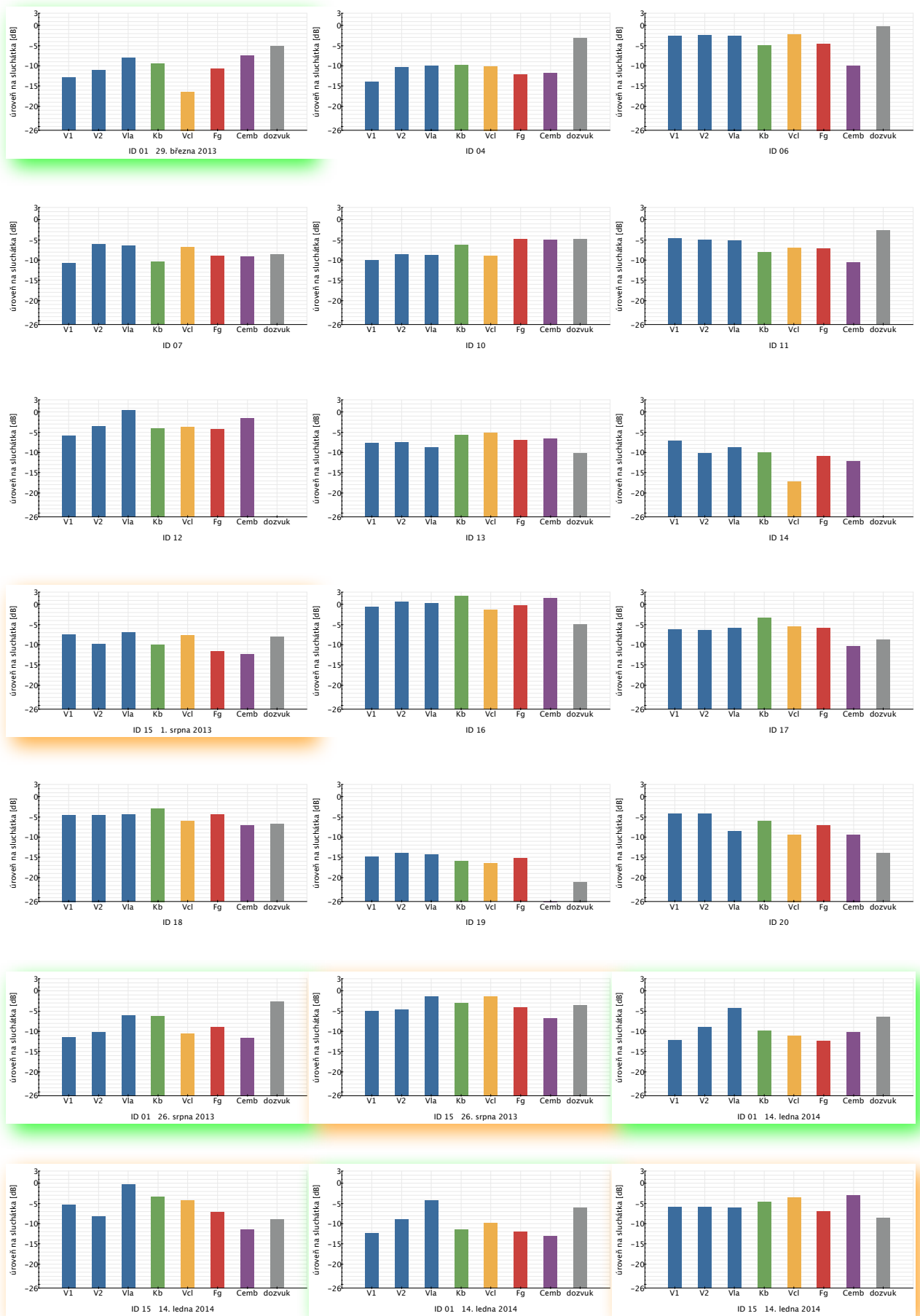
U podpůrných mikrofonů cembala využilo 80 % respondentů v mixu stereofonní systém a 20 % pouze jeden mikrofon. Tento poměr využití byl stejný pro sluchátka i reproduktory. Pro jednodušší srovnání byla do grafu zanesena pouze jedna hodnota úrovně cembala, která v případě stereofonního systému představuje průměrnou hodnotu obou signálů. Jeden respondent (ID 1) nevyužil v mixu na reproduktory ani jeden signál cembala, respondent ID 19 nevyužil signály podpůrných mikrofonů cembala ani na sluchátka ani na reproduktory. Dva respondenti, ID 12 a 14, v obou svých mixech nepoužili umělý dozvuk.

Na obrázku 4.22 jsou vyobrazeny *grafy hodnot panorama* všech mixů na reproduktory, na obrázku 4.23 *grafy hodnot panorama* všech mixů na sluchátka. Hodnoty jsou zaznamenány v rozsahu -100 (zcela vlevo) až +100 (zcela vpravo); nula označuje fantomový střed uprostřed reprodukční báze. Pro lepší přehlednost zůstává pozice jednotlivých respondentů na stránce vždy stejná. V obou grafech jsou barevně zvýrazněné opakované testy respondentů ID 1 (zelená) a 15 (oranžová). U cembala je uvedena pouze jediná hodnota, reprezentující v případě stereofonního systému průměrnou hodnotu panorama, tedy pozici fantomového zdroje.

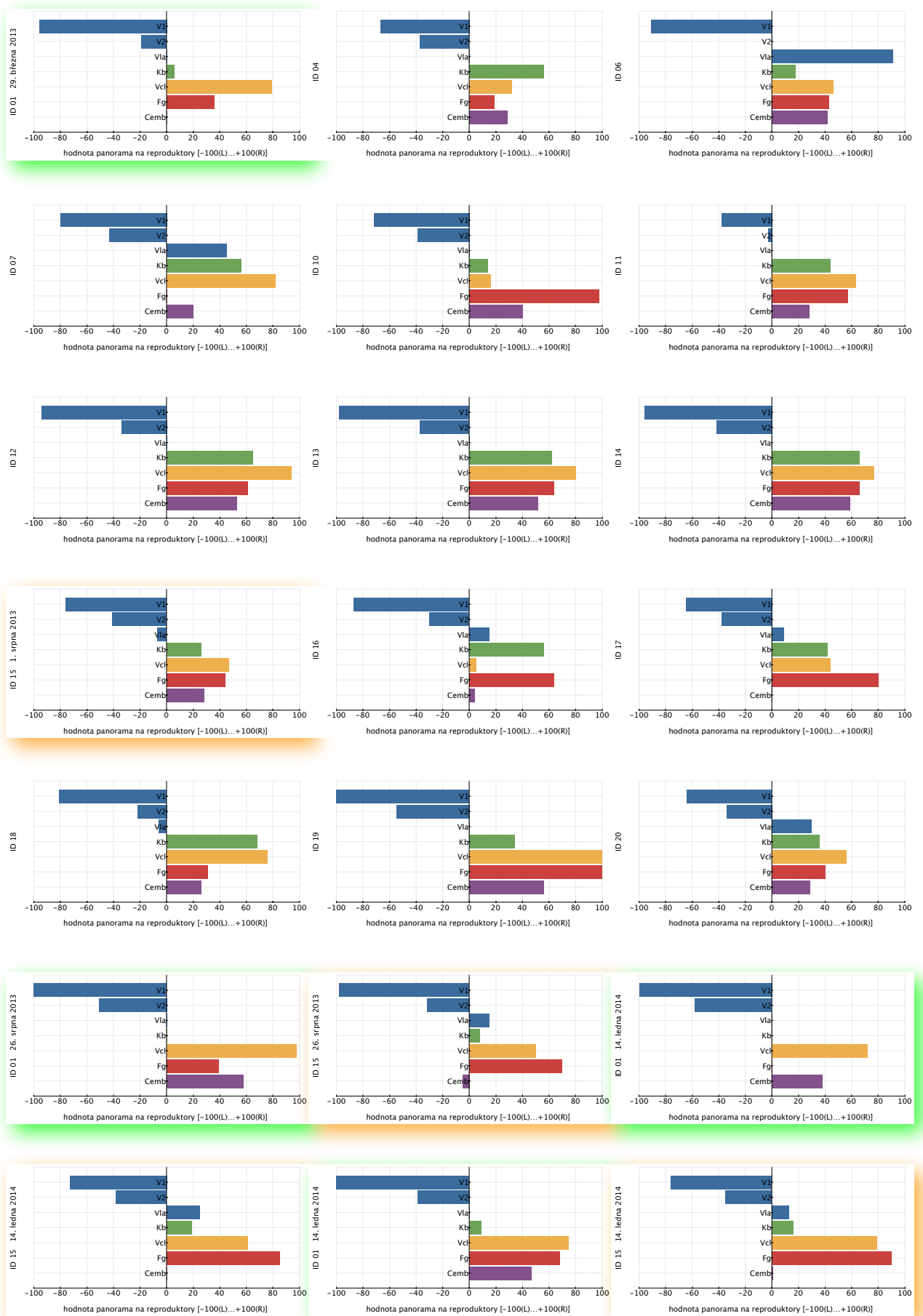
Srovnáním individuálních přístupů jednotlivých účastníků lze dojít k závěru, že mezi respondenty byl zaznamenán *větší rozdíl v nastavení* nežli při změně poslechu u jednotlivých respondentů. Na obrázcích 4.24 a 4.25 jsou znázorněny rozdíly v úrovních a v hodnotách panorama mezi mixy na reproduktory a sluchátka. Hodnoty jsou uvedeny z hlediska sluchátek: kladné hodnoty úrovně značí vyšší úroveň daného signálu v mixu na sluchátka, kladné hodnoty panorama umístění zdánlivého zdroje na sluchátka více vpravo. Při analýze rozdílových grafů lze vyloučit, že by vlivem změny poslechu docházelo k *systematické změně nastavení mixu*. Tím je popřena hypotéza testu. Systematickou změnu nelze vypozařovat ani u opakovaných testů. V malém měřítku je znatelná preference vyšších relativních úrovní umělého dozvuku u reproduktorů, tomuto jevu bude ještě věnována zvláštní analýza dále (viz kap. 4.5.3).



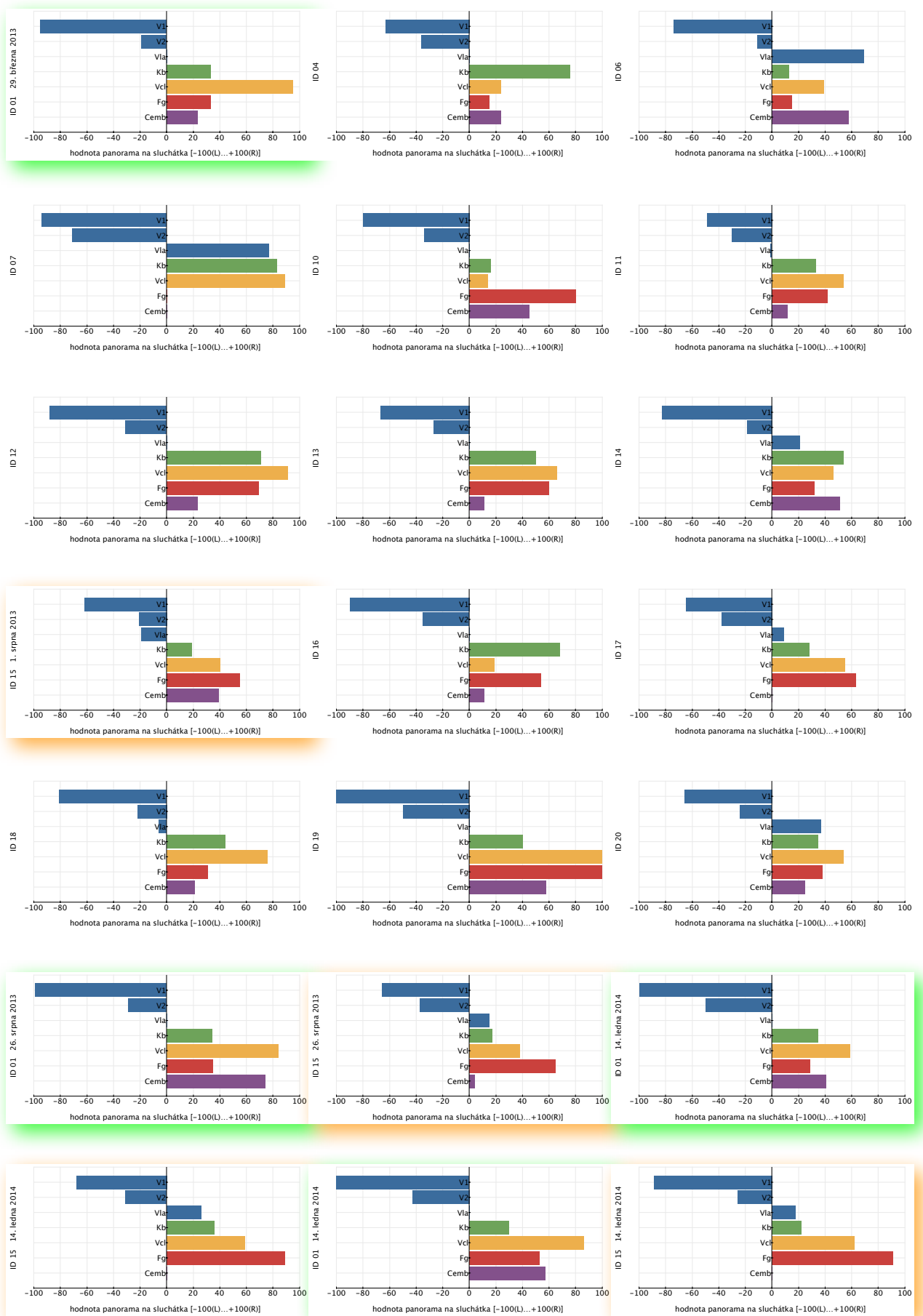
Obr. 4.20: Mix 3 - relativní úrovně na reproduktory.



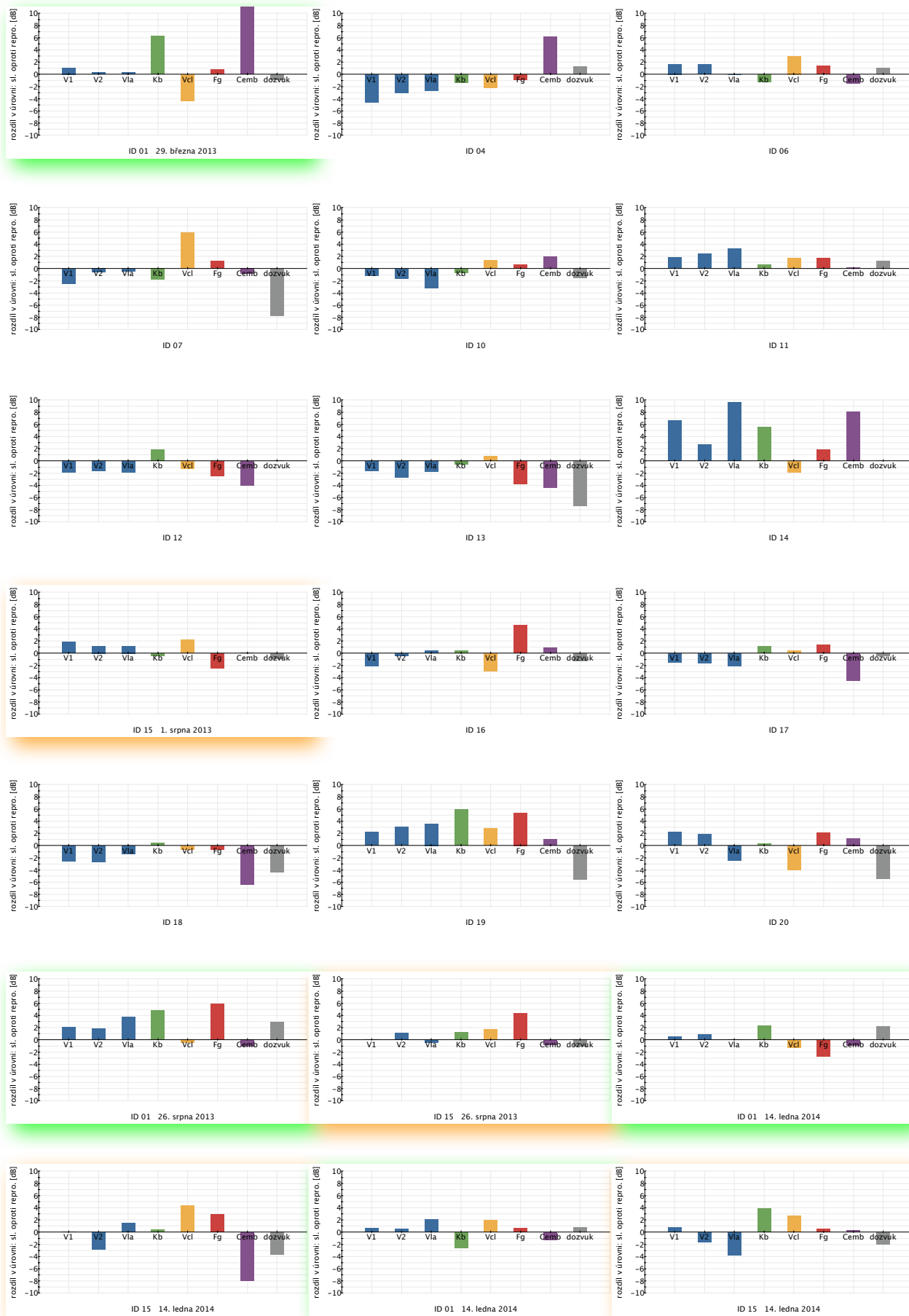
Obr. 4.21: Mix 3 - relativní úrovně na sluchátka.



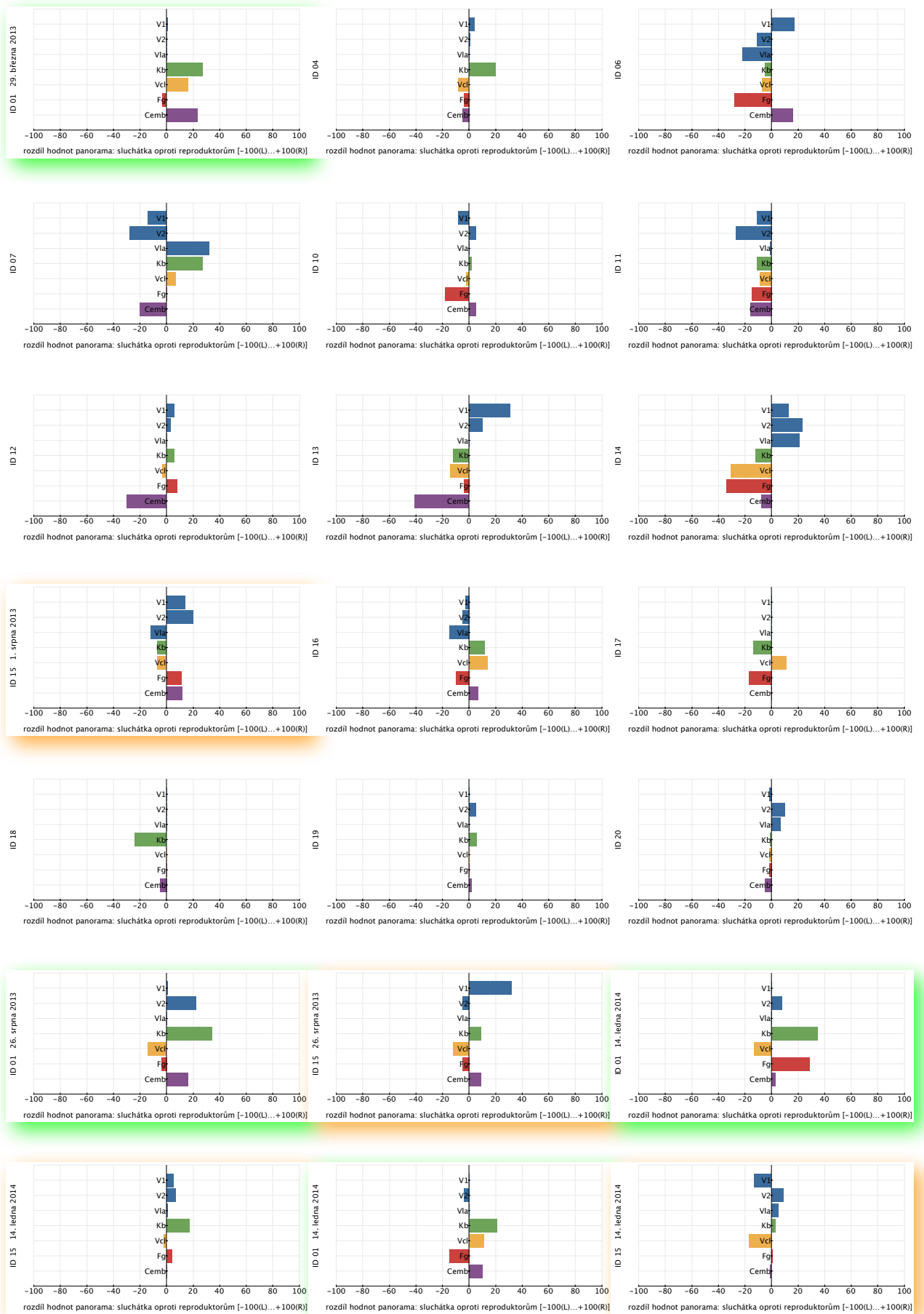
Obr. 4.22: Mix 3 - hodnota panorama na reproduktory.



Obr. 4.23: Mix 3 - hodnoty panorama na sluchátka.



Obr. 4.24: Mix 3 - rozdíly relativních úrovní na sluchátka oproti reproduktorům.



Obr. 4.25: Mix 3 - rozdíly hodnot panorama na sluchátka oproti reproduktorům.

Na obrázku 4.26 jsou srovnány rozptyly hodnot mixů na sluchátka a reproduktory. Grafy znázorňují hodnoty všech respondentů *bez opakovaných testů*. V případě cembala je zřejmá vyšší variance hodnot na reproduktory. U dozvukového signálu jsou na reproduktory preferovány vyšší hodnoty. Nízké minimální hodnoty úrovně u cembala a dozvuku jsou zapříčiněna tím, že někteří respondenti signály v mixech nevyužili. Pro tyto mixy byla použita zástupná hodnota -26 dB, u níž bylo na základě poslechu zjištěno, že je signál v mixu již maskován.

Grafy na obrázcích 4.27 a 4.28 zobrazují rozptyl hodnot mixů z opakovaných testů ID 1 a ID 15. Rozptyl hodnot nastavení je mnohem menší, nežli v případě standardního vzorku populace všech respondentů na předchozích grafech. Trend preference vyšší úrovně dozvuku na reproduktory se potvrdil jen u ID 15.

Následující grafy 4.29 až 4.36 pro přehlednost srovnávají rozptyl hodnot standardního vzorku populace s opakovanými testy *pro jednotlivé signály mixu*:

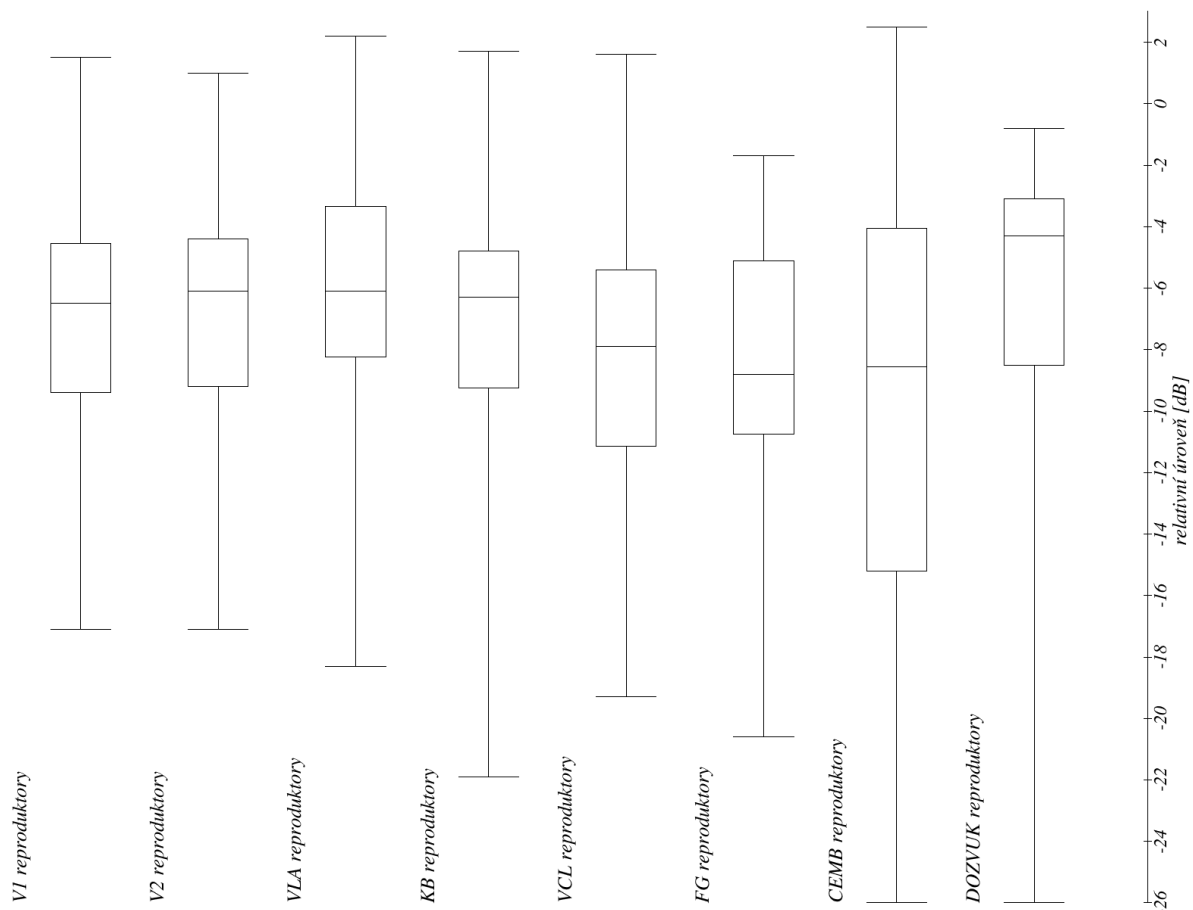
- obr. 4.29: první housle
- obr. 4.30: druhé housle
- obr. 4.31: violy
- obr. 4.32: kontrabas
- obr. 4.33: violoncello
- obr. 4.34: fagot
- obr. 4.35: cembalo
- obr. 4.36: dozvuk

Na obrázcích 4.37 a 4.38 jsou graficky znázorněny rozptyly *hodnot panorama* u mixů na reproduktory a sluchátka pro všechny respondenty. Opakované testy opět nejsou zahrnuty. Z grafů není patrný žádný systematický rozdíl v nastavení vlivem změny poslechu. Ani u jednoho typu poslechu nelze identifikovat menší preferenci lokalizace na okraji reprodukční báze, ani větší rozptyl poblíž jejího středu.

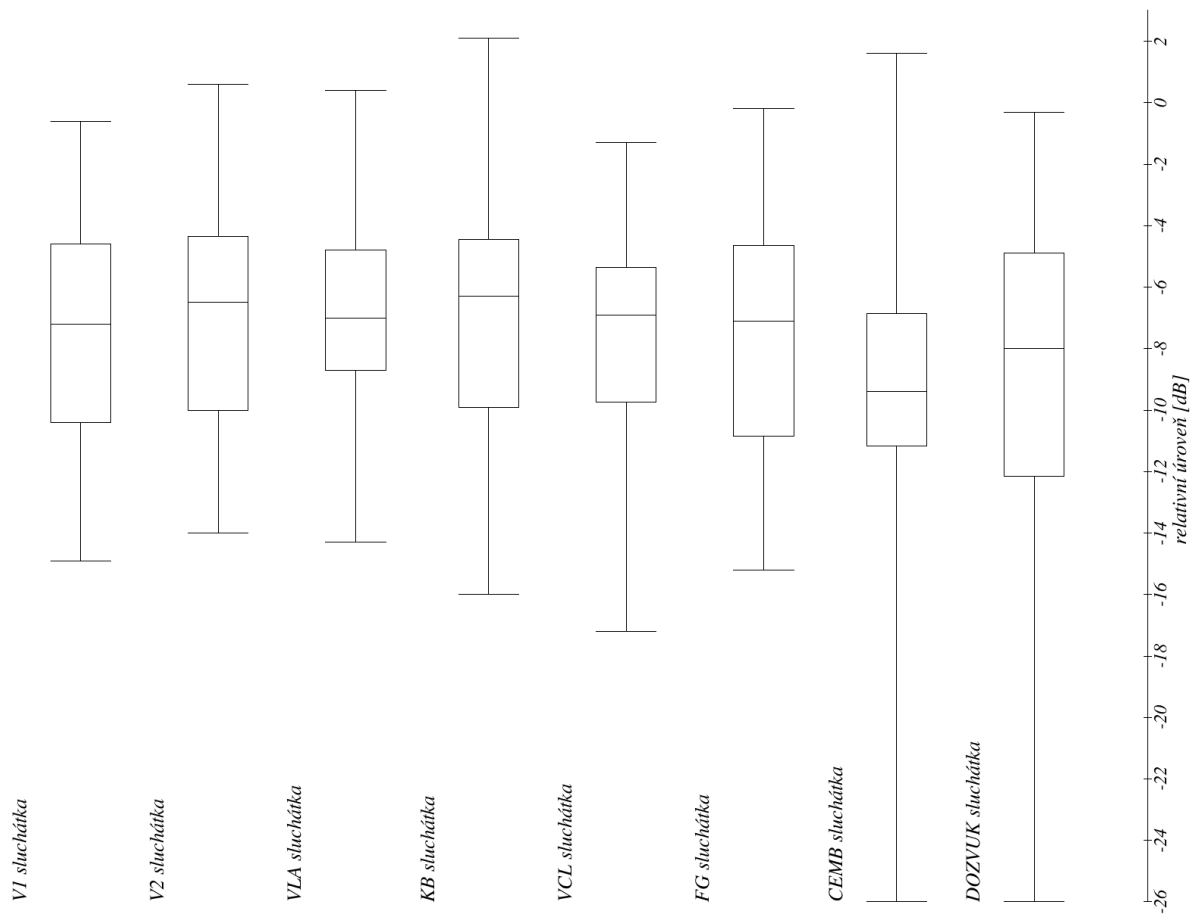
Obecně větší rozptyl hodnot *panorama* u violoncella, kontrabasu a fagotu může být zapříčiněn instrumentací a rozmístěním nástrojů ve zvukovém obraze hlavního mikrofonu. Tyto nástroje jsou součástí skupiny basso continuo a hrají spolu s cembalem velmi podobný part. Vzhledem k tomu, že byly na pódiu kvůli vzájemné souhře rozmístěny blízko sebe, byly ve zvukovém obraze hlavního mikrofonu lokalizovány v poměrně úzké oblasti na reprodukční bázi. Z výsledků v souhrnných grafech na obrázcích 4.22 a 4.23 je patrné, že většina respondentů tyto nástroje kvůli výhodnější lokalizaci rozmístila do širší oblasti na reprodukční bázi. Z uvedeného rozptylu hodnot u těchto nástrojů vyplývá, že každý respondent pro tento účel našel spíše individuální řešení.

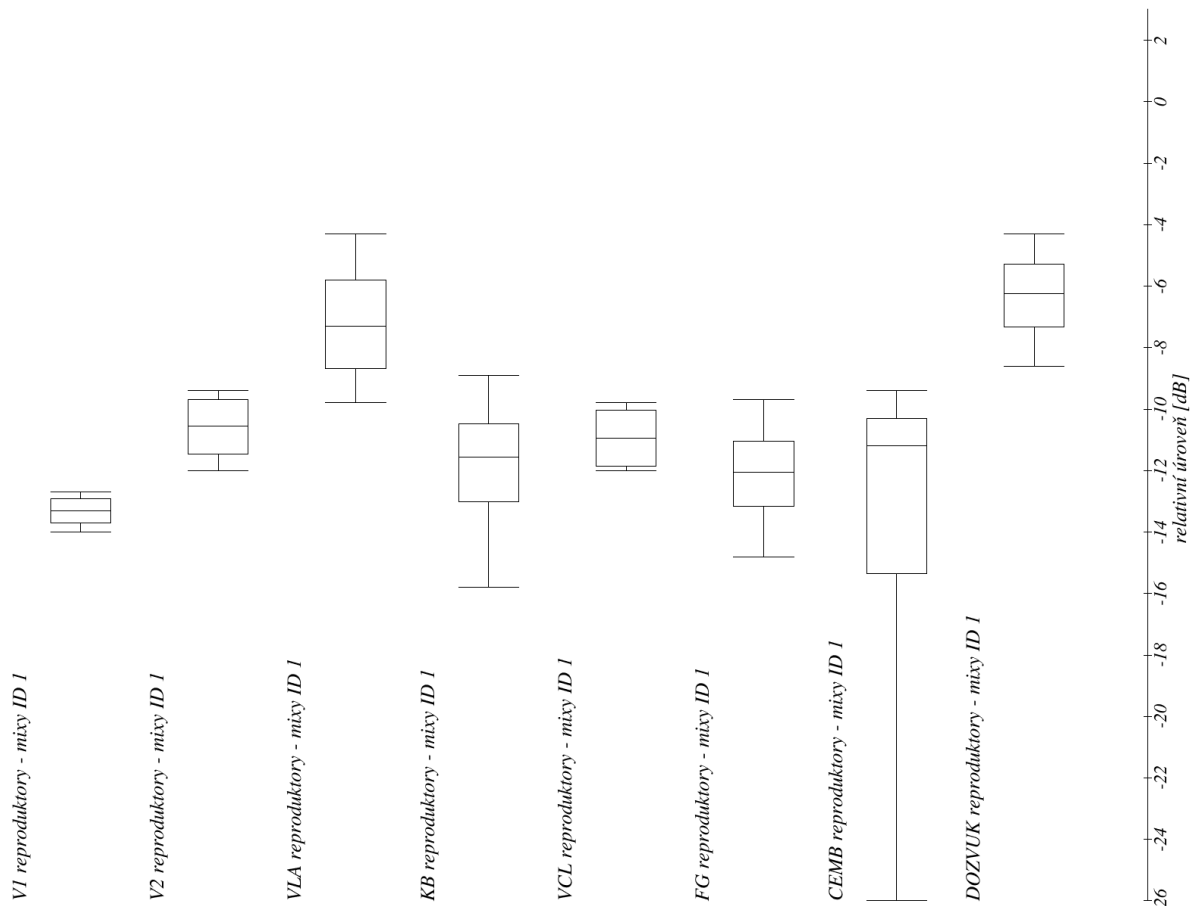
Obrázky 4.39 až 4.42 zobrazují hodnoty *panorama* u opakovaných testů ID 1 a ID15. Rozptyl hodnot *panorama* je u opakovaných testů *výrazně menší* nežli u standardní skupiny všech respondentů.

Následující grafy na obrázcích 4.43 až 4.49 opět přináší přehled jednotlivých signálů se srovnáním standardního vzorku populace a obou opakovaných testů.

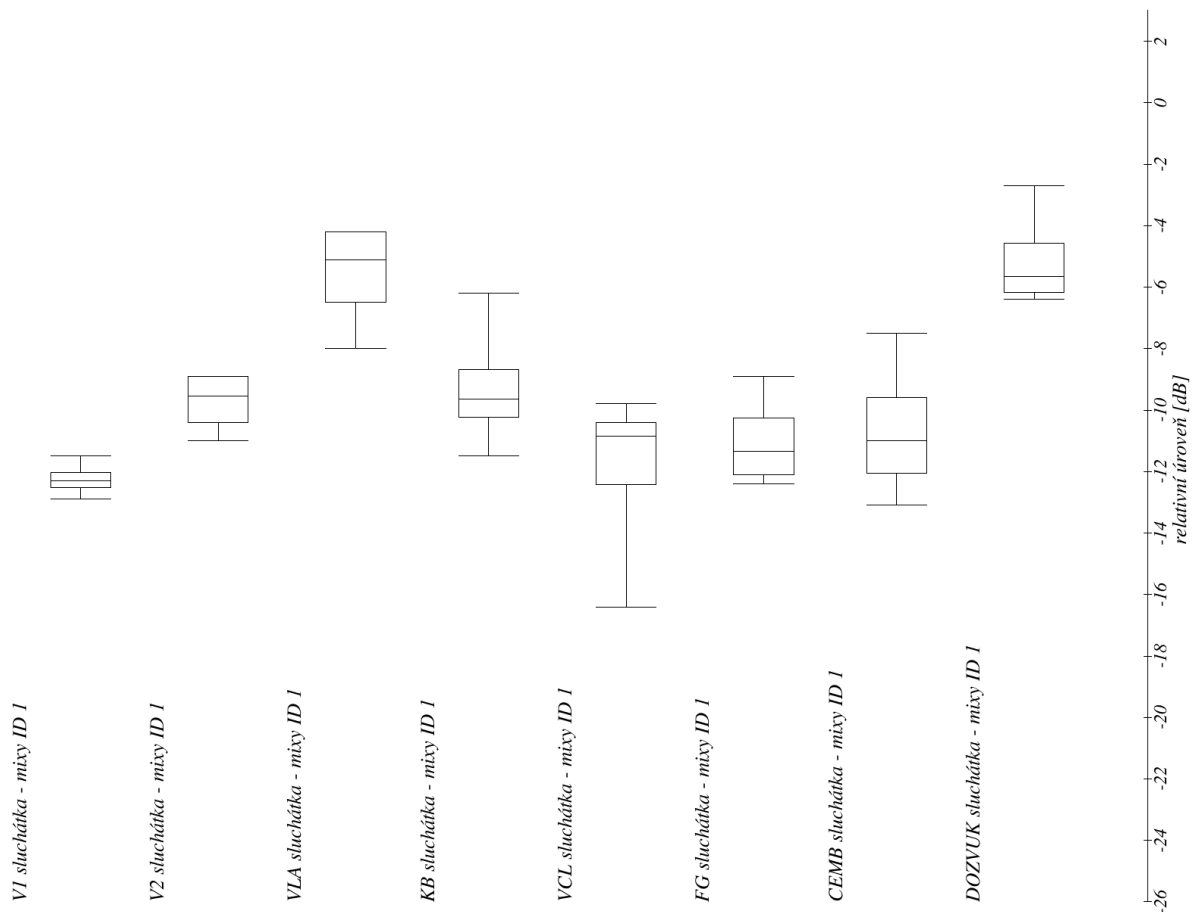


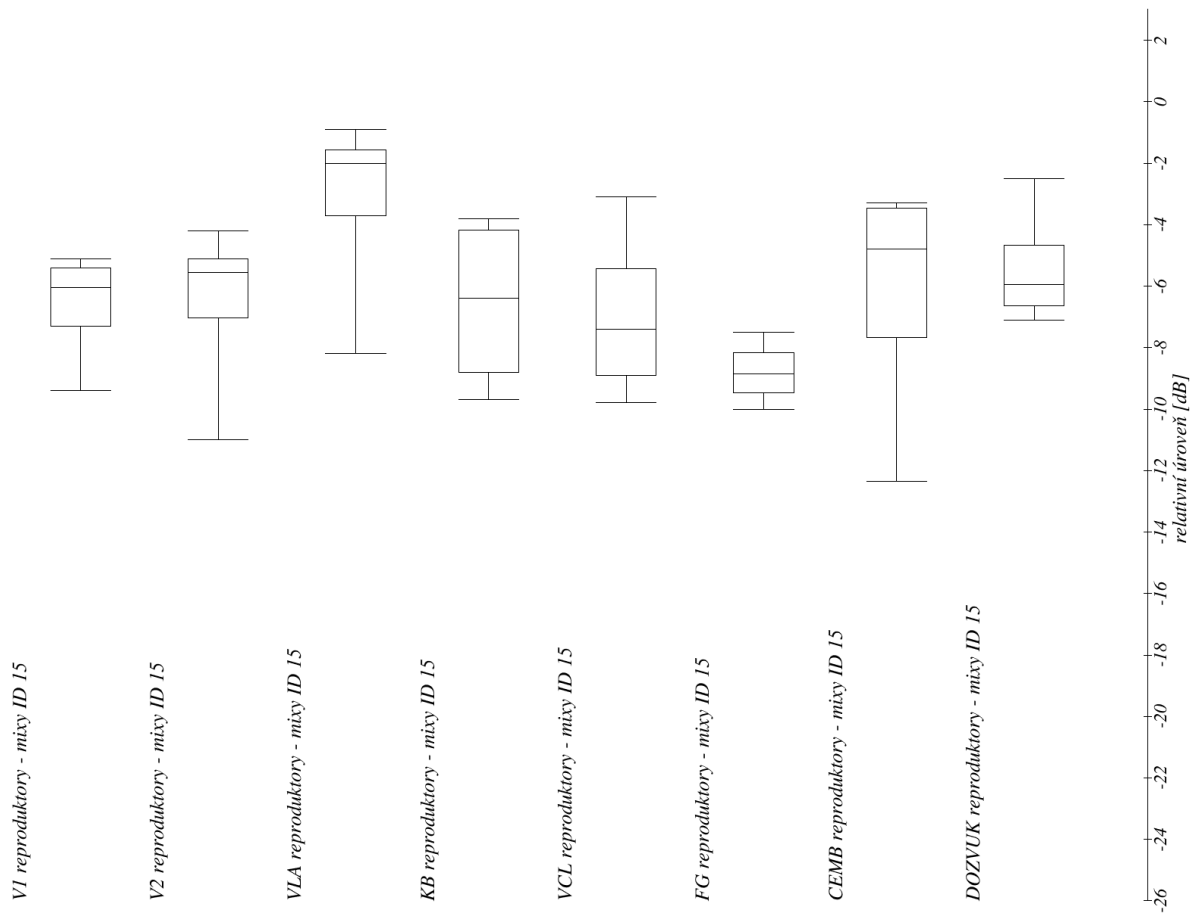
Obr. 4.26: Relativní úrovně std. populace na reproduktory (nahore) a sluchátka (dole).



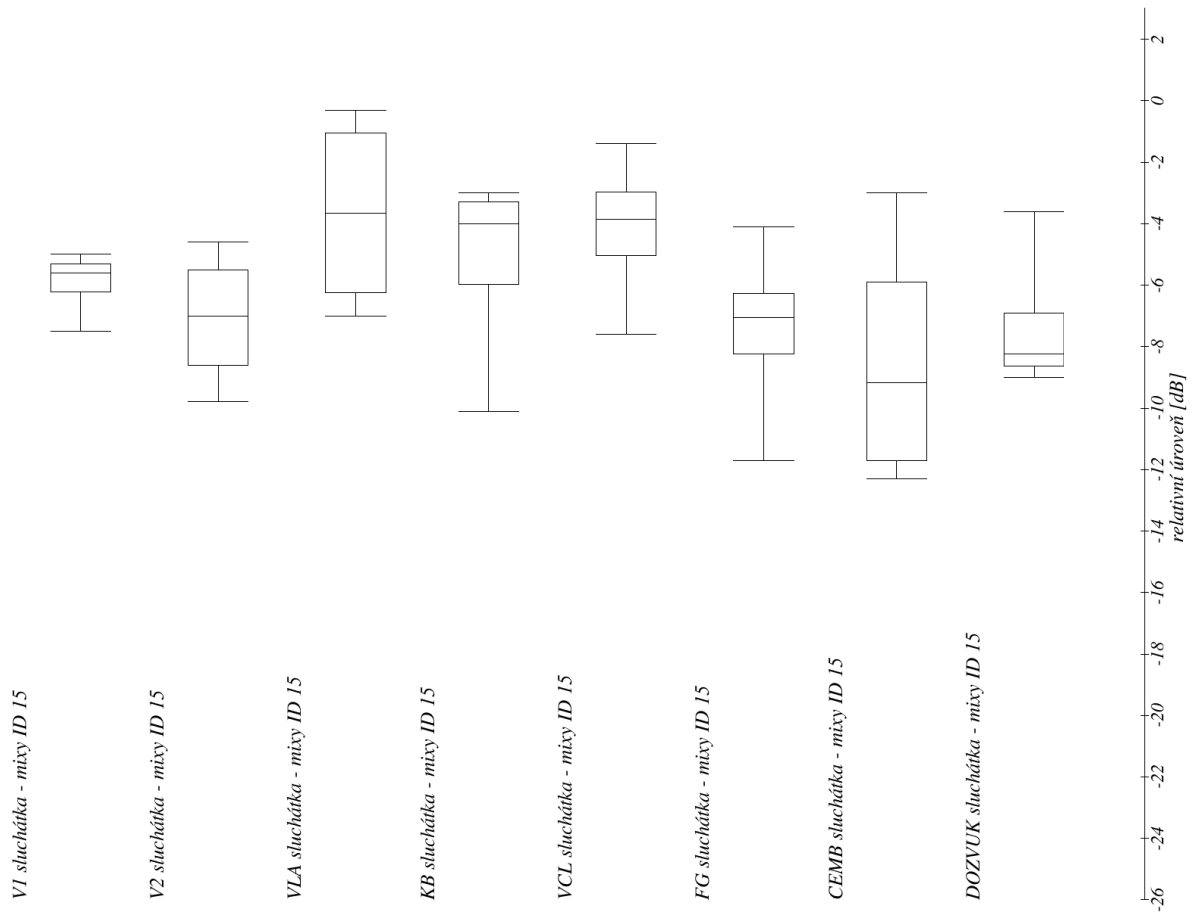


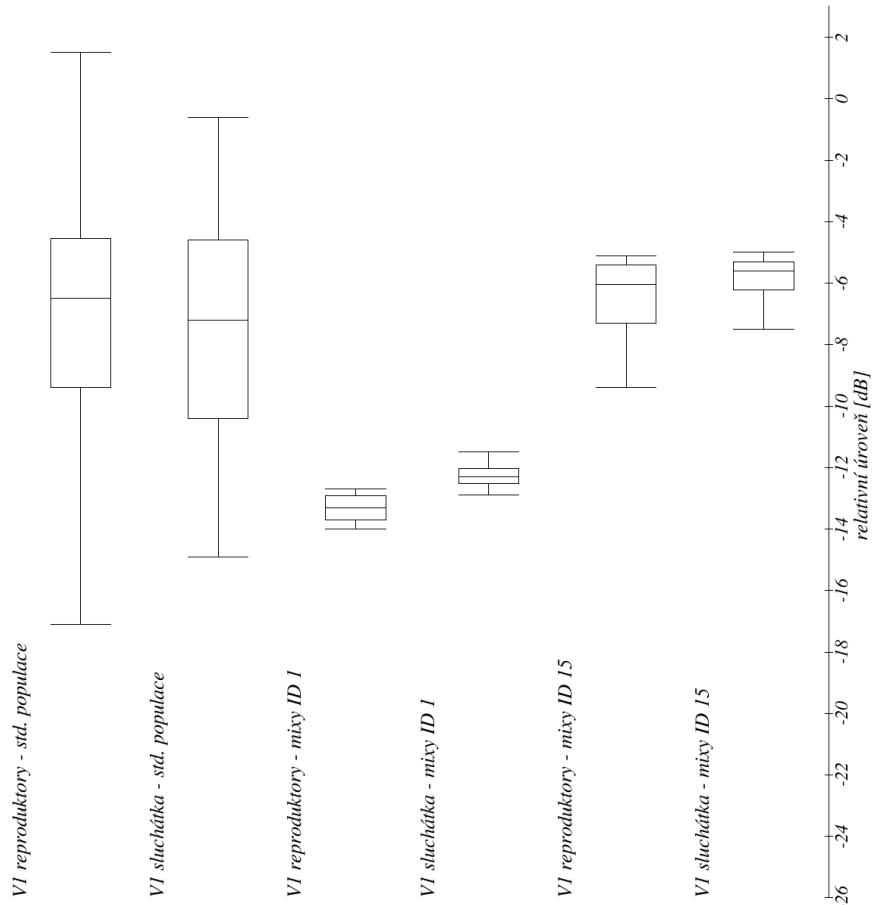
Obr. 4.27: Relativní úrovně mixů ID 1 na reproduktory (nahore) a sluchátka (dole).





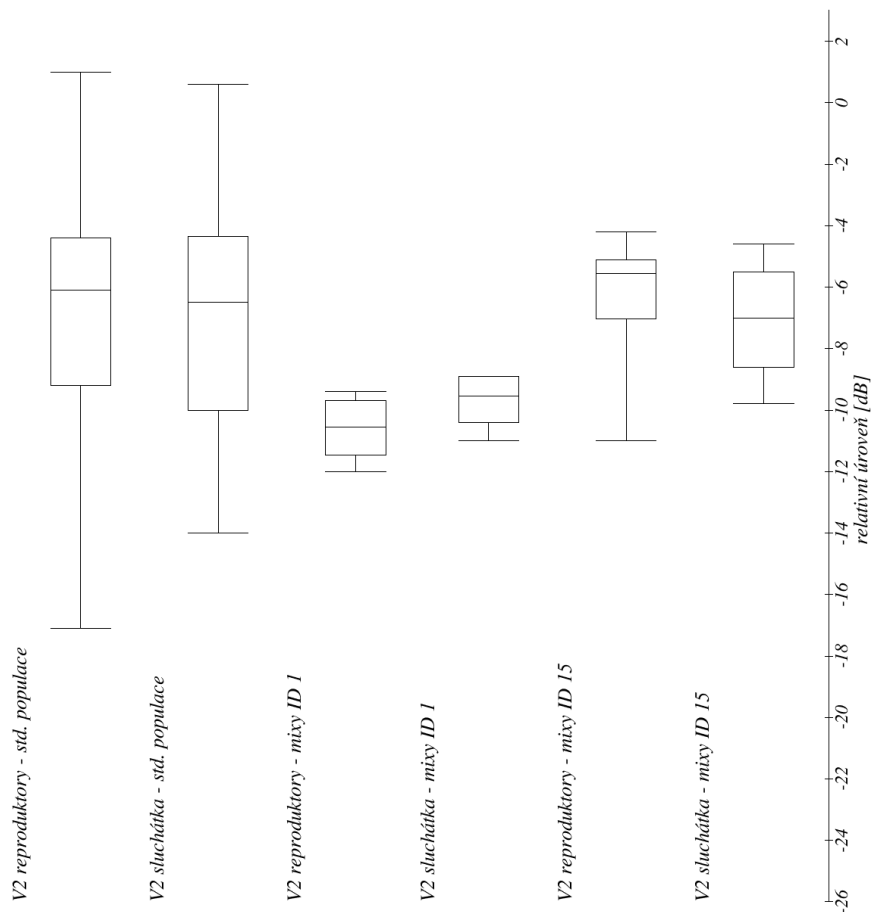
Obr. 4.28: Relativní úrovně mixů ID 15 na reproduktory (nahore) a sluchátka (dole).





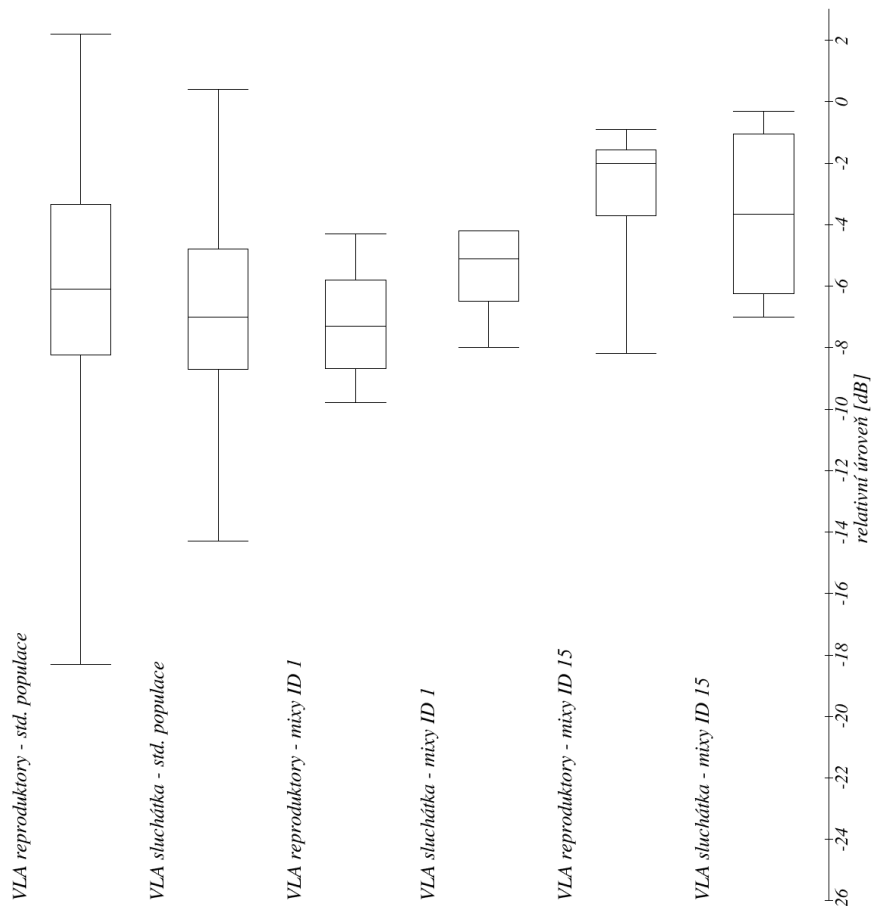
Obr. 4.29: První housle, srovnání relativní úrovně - zleva:

1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka

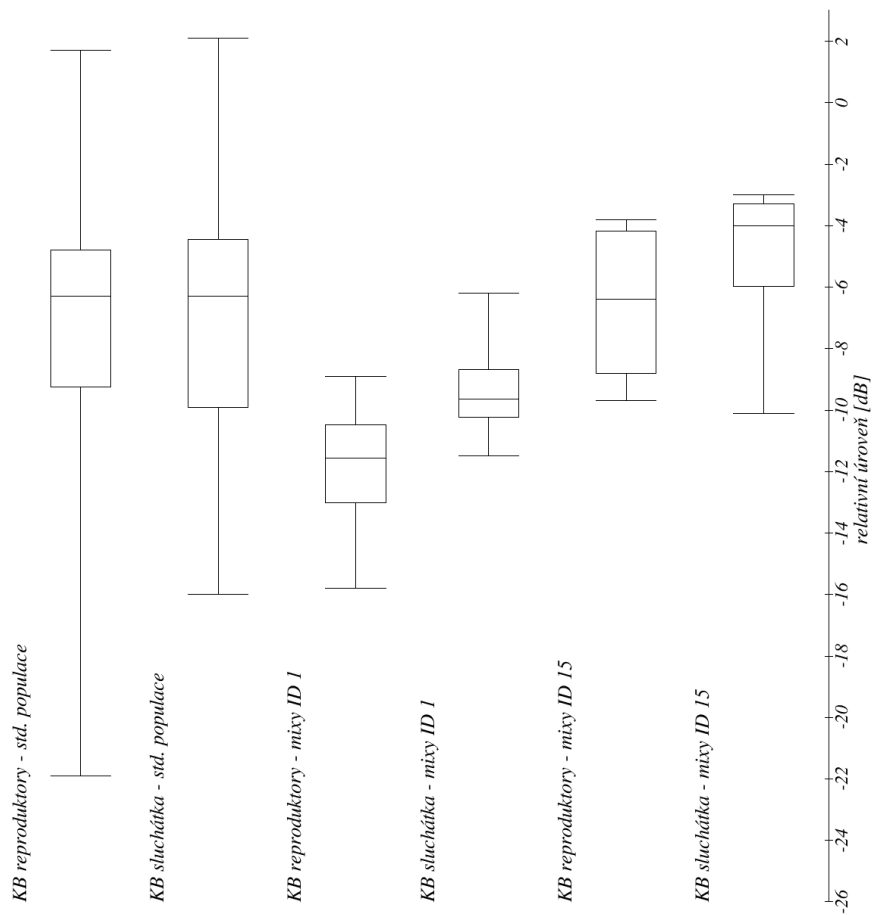


Obr. 4.30: Druhé housle, srovnání relativní úrovně - zleva:

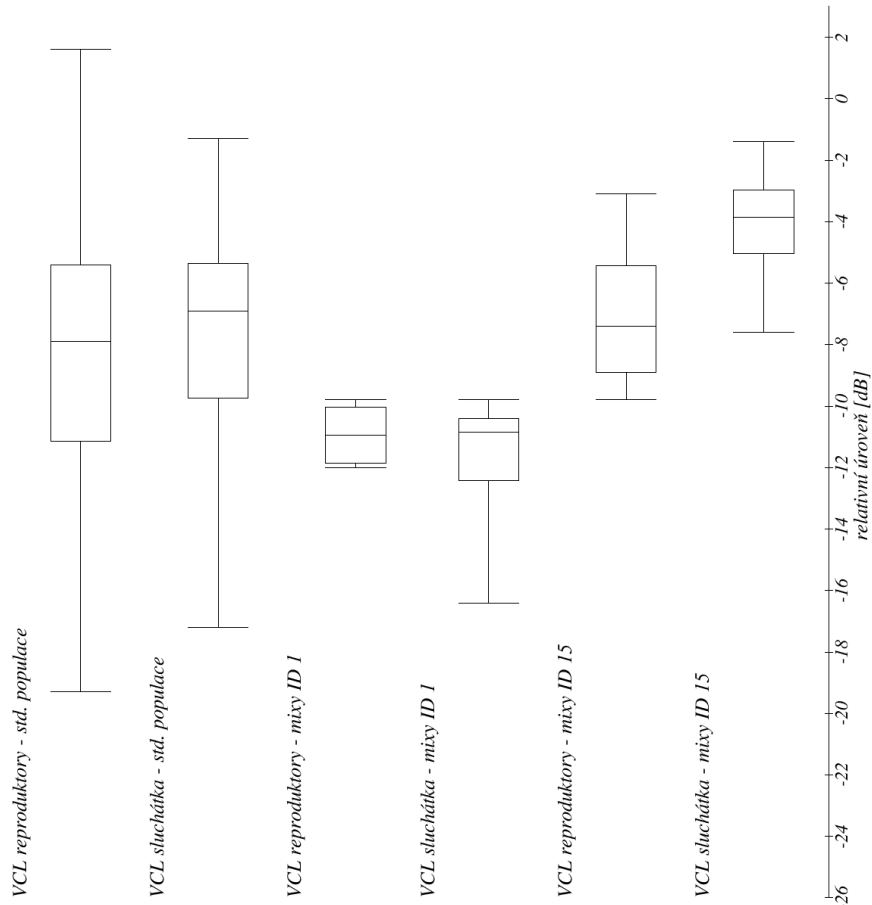
1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka



Obr. 4.31: Violy, srovnání relativní úrovně - zleva:
 1.std. populace reproduktory
 2.std. populace sluchátka
 3.mixy ID 1 reproduktory
 4.mixy ID 1 sluchátka
 5.mixy ID 15 reproduktory
 6.mixy ID 15 sluchátka

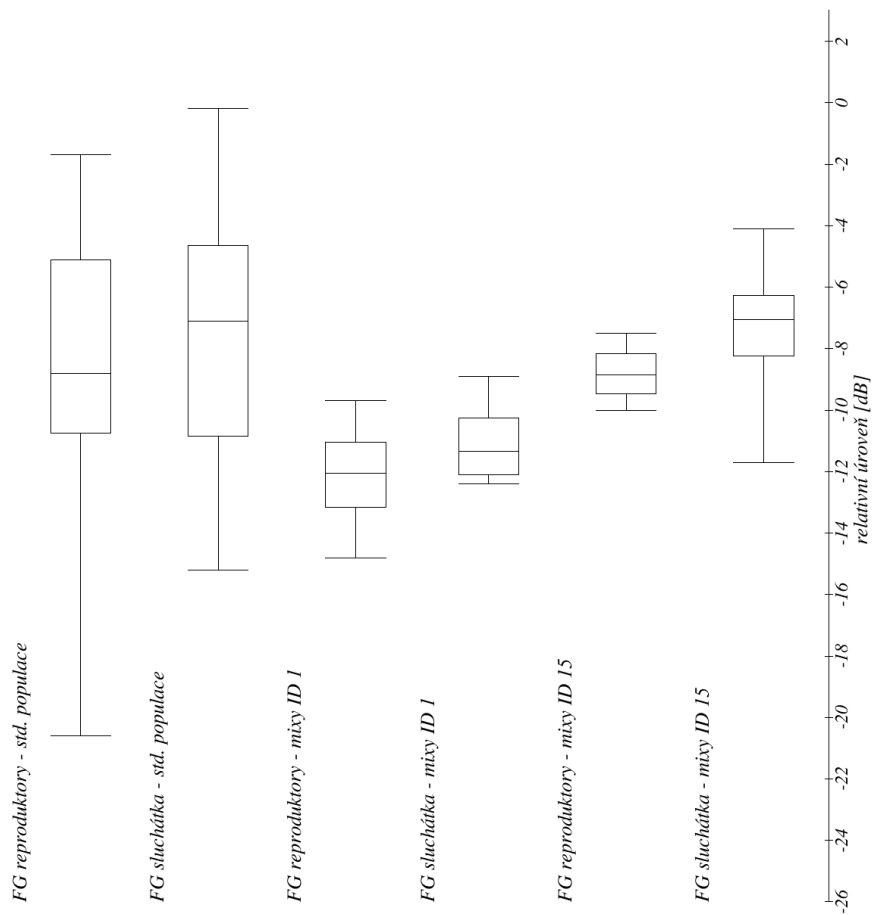


Obr. 4.32: Kontrabas, srovnání relativní úrovně - zleva:
 1.std. populace reproduktory
 2.std. populace sluchátka
 3.mixy ID 1 reproduktory
 4.mixy ID 1 sluchátka
 5.mixy ID 15 reproduktory
 6.mixy ID 15 sluchátka



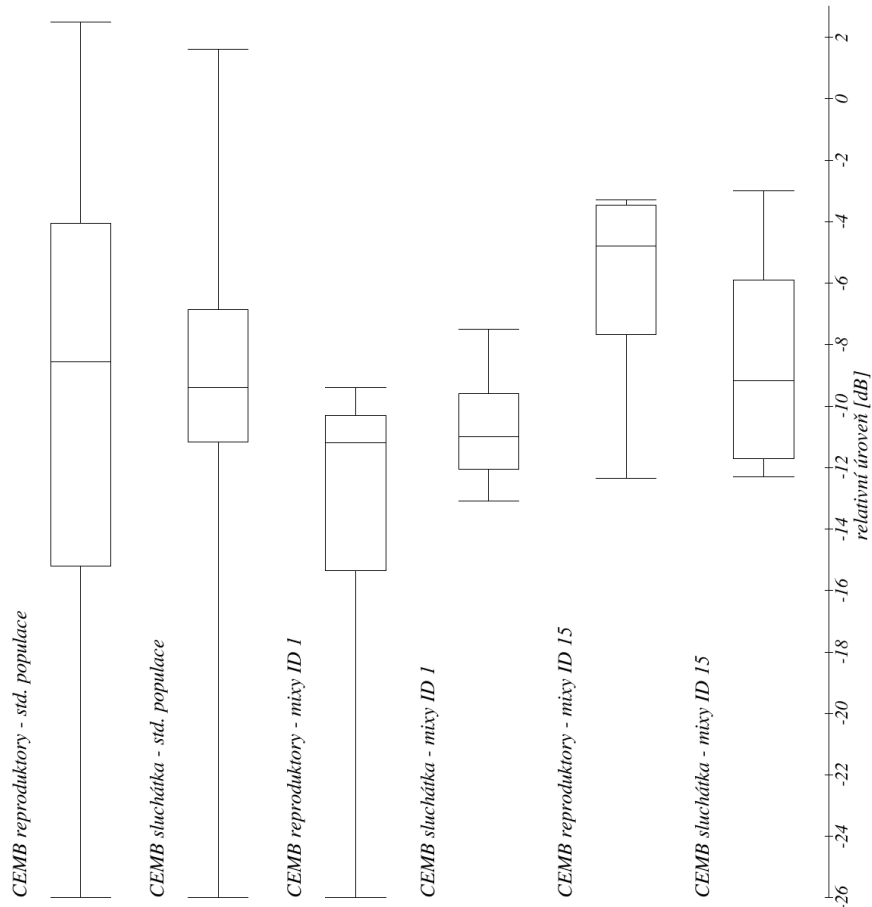
Obr. 4.33: Violoncello, srovnání relativní úrovně - zleva:

1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka



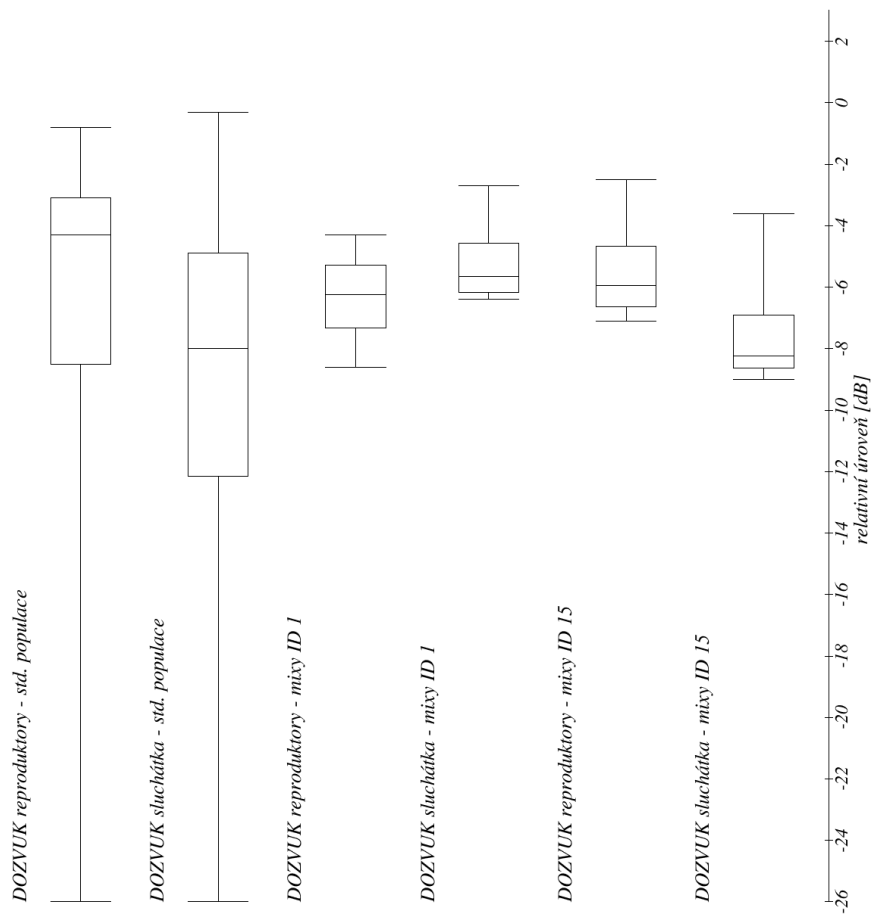
Obr. 4.34: Fagot, srovnání relativní úrovně - zleva:

1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka



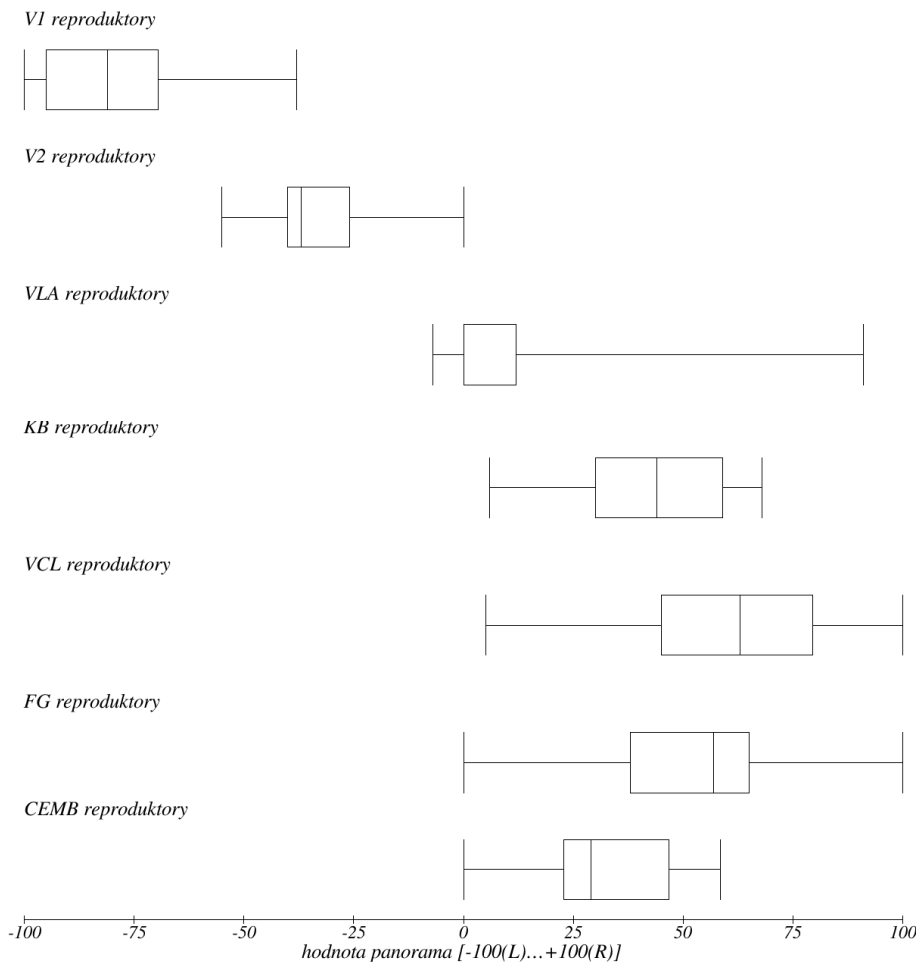
Obr. 4.35: Cembalo, srovnání relativní úrovně - zleva:

1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka

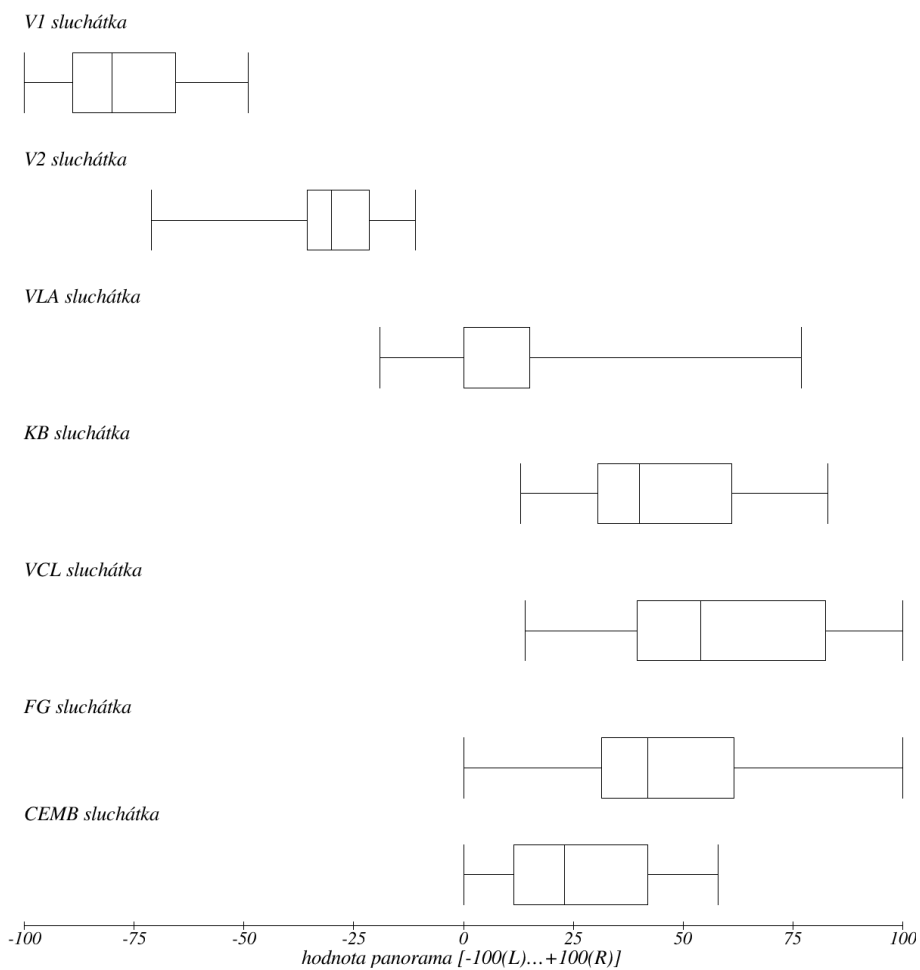


Obr. 4.36: Dozvuk, srovnání relativní úrovně - zleva:

1. std. populace reproduktory
2. std. populace sluchátka
3. mixy ID 1 reproduktory
4. mixy ID 1 sluchátka
5. mixy ID 15 reproduktory
6. mixy ID 15 sluchátka



Obr. 4.37: Nastavení panorama u std. populace na reproduktory.

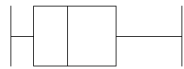


Obr. 4.38: Nastavení panorama u std. populace na sluchátka.

V1 reproduktory - mixy ID1



V2 reproduktory - mixy ID1



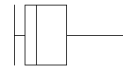
VLA reproduktory - mixy ID1



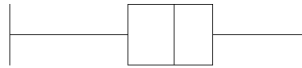
KB reproduktory - mixy ID1



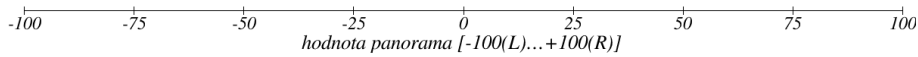
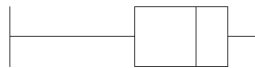
VCL reproduktory - mixy ID1



FG reproduktory - mixy ID1



CEMB reproduktory - mixy ID1

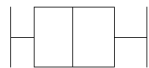


Obr. 4.39: Nastavení panorama u mixů ID 1 na reproduktory.

V1 sluchátka - mixy ID1



V2 sluchátka - mixy ID1



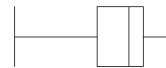
VLA sluchátka - mixy ID1



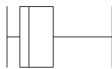
KB sluchátka - mixy ID1



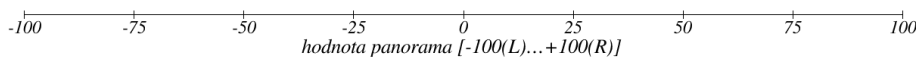
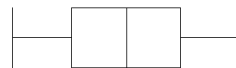
VCL sluchátka - mixy ID1



FG sluchátka - mixy ID1

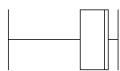


CEMB sluchátka - mixy ID1



Obr. 4.40: Nastavení panorama u mixů ID 1 na sluchátka.

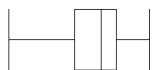
V1 reproduktory - mixy ID15



V2 reproduktory - mixy ID15



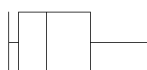
VLA reproduktory - mixy ID15



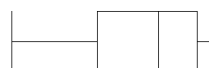
KB reproduktory - mixy ID15



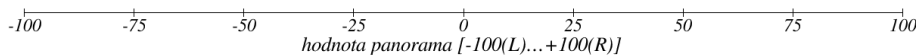
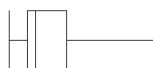
VCL reproduktory - mixy ID15



FG reproduktory - mixy ID15

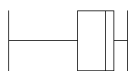


CEMB reproduktory - mixy ID15



Obr. 4.41: Nastavení panorama u mixů ID 15 na reproduktory.

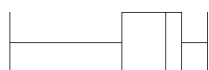
V1 sluchátka - mixy ID15



V2 sluchátka - mixy ID15



VLA sluchátka - mixy ID15



KB sluchátka - mixy ID15



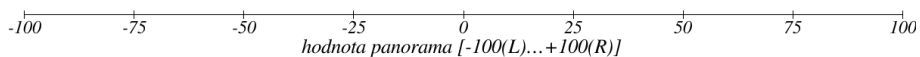
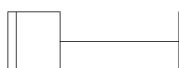
VCL sluchátka - mixy ID15



FG sluchátka - mixy ID15

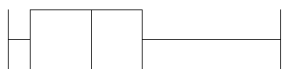


CEMB sluchátka - mixy ID15



Obr. 4.42: Nastavení panorama u mixů ID 15 na sluchátka.

V1 reproduktory - std. populace



V1 sluchátka - std. populace



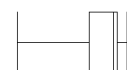
V1 reproduktory - mixy ID1



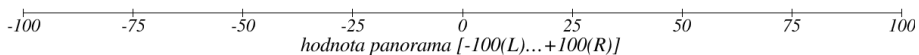
V1 sluchátka - mixy ID1



V1 reproduktory - mixy ID15



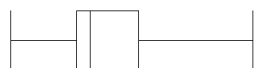
V1 sluchátka - mixy ID15



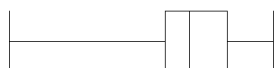
Obr. 4.43: První housle, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

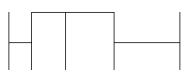
V2 reproduktory - std. populace



V2 sluchátka - std. populace



V2 reproduktory - mixy ID1



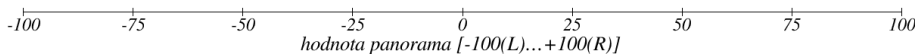
V2 sluchátka - mixy ID1



V2 reproduktory - mixy ID15



V2 sluchátka - mixy ID15



Obr. 4.44: Druhé housle, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

VLA reproduktory - std. populace



VLA sluchátka - std. populace



VLA reproduktory - mixy ID1



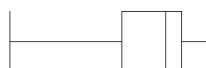
VLA sluchátka - mixy ID1



VLA reproduktory - mixy ID15



VLA sluchátka - mixy ID15

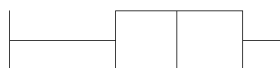


-100 -75 -50 -25 0 25 50 75 100
hodnota panorama [-100(L)...+100(R)]

Obr. 4.45: Violy, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

KB reproduktory - std. populace



KB sluchátka - std. populace



KB reproduktory - mixy ID1



KB sluchátka - mixy ID1



KB reproduktory - mixy ID15



KB sluchátka - mixy ID15

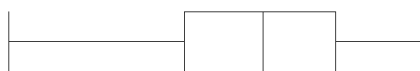


-100 -75 -50 -25 0 25 50 75 100
hodnota panorama [-100(L)...+100(R)]

Obr. 4.46: Kontrabas, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

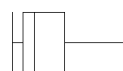
VCL reproduktory - std. populace



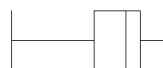
VCL sluchátka - std. populace



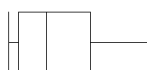
VCL reproduktory - mixy ID1



VCL sluchátka - mixy ID1



VCL reproduktory - mixy ID15



VCL sluchátka - mixy ID15



-100 -75 -50 -25 0 25 50 75 100
hodnota panorama [-100(L)...+100(R)]

Obr. 4.47: Violoncello, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

FG reproduktory - std. populace



FG sluchátka - std. populace



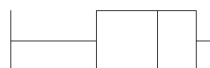
FG reproduktory - mixy ID1



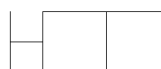
FG sluchátka - mixy ID1



FG reproduktory - mixy ID15



FG sluchátka - mixy ID15

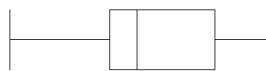


-100 -75 -50 -25 0 25 50 75 100
hodnota panorama [-100(L)...+100(R)]

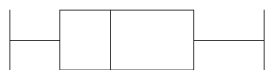
Obr. 4.48: Fagot, srovnání hodnot panorama - shora:

- 1.std. populace reproduktory
- 2.std. populace sluchátka
- 3.mixy ID 1 reproduktory
- 4.mixy ID 1 sluchátka
- 5.mixy ID 15 reproduktory
- 6.mixy ID 15 sluchátka

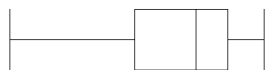
CEMB reproduktory - std. populace



CEMB sluchátka - std. populace



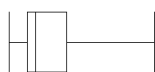
CEMB reproduktory - mixy ID1



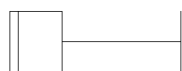
CEMB sluchátka - mixy ID1



CEMB reproduktory - mixy ID15



CEMB sluchátka - mixy ID15



-100 -75 -50 -25 0 25 50 75 100
hodnota panorama [-100(L)...+100(R)]

Obr. 4.49: Cembalo, srovnání hodnot panorama - shora:
1.std. populace reproduktory
2.std. populace sluchátka
3.mixy ID 1 reproduktory
4.mixy ID 1 sluchátka
5.mixy ID 15 reproduktory
6.mixy ID 15 sluchátka

4.5.3 Vyhodnocení - přímý a odražený zvuk

Koncept třetího mixu umožňoval rozdělit zvukový obraz na tři zvukové složky:

1. hlavní mikrofon - tento signál použili všichni respondenti
2. přímý zvuk - signály všech podpůrných mikrofonů, které respondenti použili
3. odražený zvuk - signál umělého dozvuku

Jak již bylo uvedeno dříve, vůči hlavnímu mikrofonu jsou normalizovány úrovně všech ostatních signálů. Jeho relativní úroveň je tedy u všech mixů 0 dB.

Ze všech mixážních nastavení byly v rámci této analýzy připraveny dva zvukové záznamy: první obsahoval pouze signály podpůrných mikrofonů s relativními úrovněmi a nastavením panorama podle daného respondenta (dále „přímý zvuk“), druhý obsahoval pouze umělý dozvuk v úrovni dle nastavení daného respondenta (dále „dozvuk“). U obou záznamů byla zjištěna efektivní hodnota signálů. Cílem této metody je porovnat preferované efektivní hodnoty přímého zvuku a dozvuku na sluchátka a reproduktory.

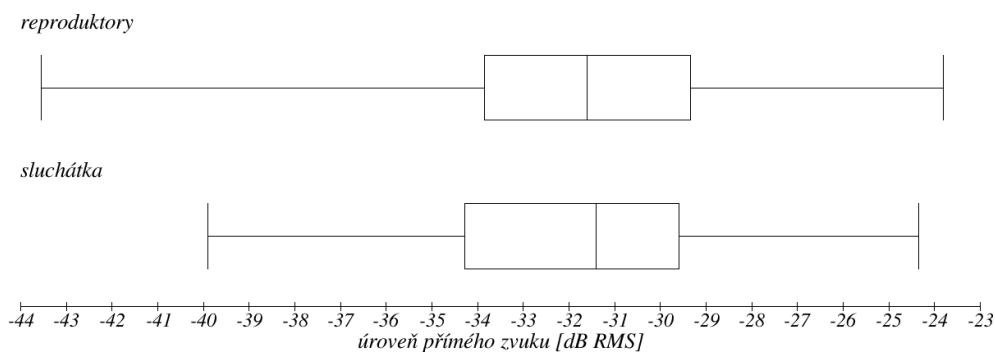
Jelikož dva respondenti ve svých mixech signál umělého dozvuku nepoužili, nebylo jejich nastavení do analýzy dozvukové složky zařazeno. Přímý zvuk u jejich mixů však analyzován byl. Následující analýza všech respondentů nezahrnuje opakované testy, ty jsou vždy uváděny v samostatných grafech.

Hlavní statistické ukazatele pro přímý a odražený zvuk jsou uvedeny v tabulce 4.10. U *přímého zvuku* se střední hodnoty prakticky neliší, u reproduktorů je zřejmá větší variace. Porovnání rozptylu hodnot přímého zvuku zobrazují krabicové diagramy na obrázku 4.50. Rozsah vymezený prvním a třetím kvantilem se nemění, u 50 % mixů se efektivní úroveň přímého zvuku nachází v rozsahu cca -29 až -34 dB.

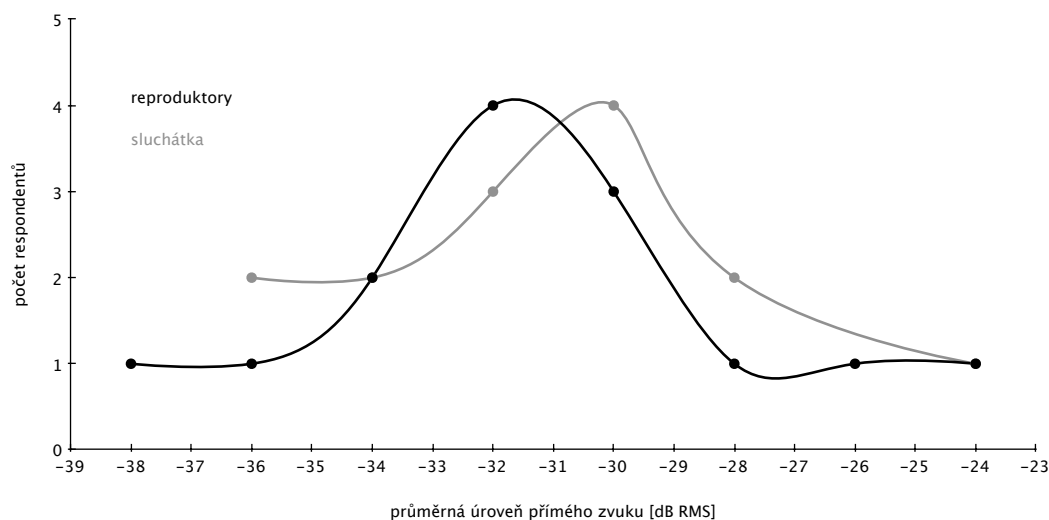
Varianční řada hodnot je graficky znázorněna na obrázku 4.51. Mírná preference vyšších úrovní přímého zvuku na sluchátka je zde výraznější, rozdíl je však do značné míry ovlivněn zaokrouhlením hodnot.

	PŘÍMÝ ZVUK reproduktory	PŘÍMÝ ZVUK sluchátka	DOZVUK reproduktory	DOZVUK sluchátka
průměr	-32,15	-31,79	-41,33	-43,78
medián	-31,60	-31,40	-40,00	-42,90
variance	22,87	13,73	14,46	27,06
směrodatná odchylka	4,78	3,71	3,80	5,20
minimální hodnota	-43,55	-39,90	-51,70	-57,30
maximální hodnota	-23,80	-24,35	-37,00	-36,50

Tabulka 4.10: Hlavní statistické ukazatele efektivních hodnot přímého a odraženého zvuku v mixech třetí úlohy na reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.50: Krabicové diagramy průměrné úrovně přímého zvuku v mixech všech respondentů na reproduktory a sluchátka.



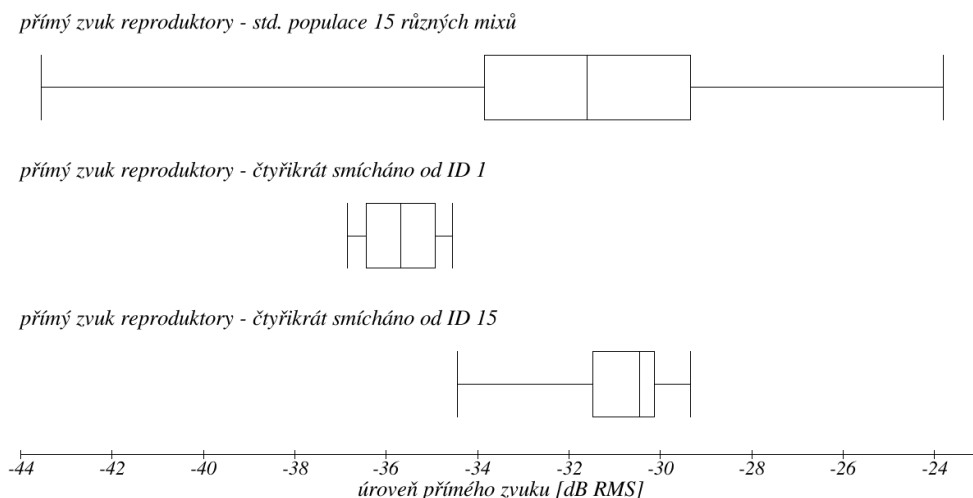
Obr. 4.51: Jádrový odhad hustoty průměrné úrovně přímého zvuku v mixech všech respondentů na reproduktory a sluchátka.

Obrázek 4.52 porovnává rozptyl hodnot přímého zvuku na reproduktory u všech respondentů s opakovanými testy ID 1 a ID 15. Volba množství přímého zvuku v mixu je velmi stabilní zvláště u opakovaných mixů ID 1, kde je rozsah hodnot přibližně 2 dB. Obrázek 4.53 uvádí stejné srovnání pro mixy na sluchátka.

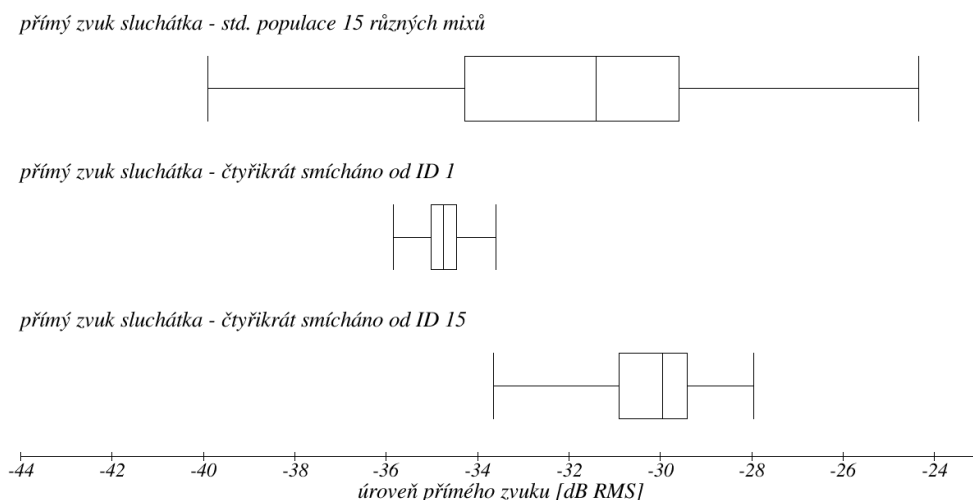
Vzhledem k tomu, že signály podpůrných mikrofonů v mixu nebyly časově kompenzované, uplatňoval se při jejich použití v mixu vůči hlavnímu mikrofonu i precedenční jev. Signály podpůrných mikrofonů tedy efektivně snižovaly *vnímanou hloubku stereofonního obrazu* (viz kap. 1.3). Pro generování dozvuku byl použit softwarový procesor Relab Lx480 (simulace zařízení Lexicon 480L). Jeho nastavení bylo upraveno tak, aby byl vliv přidaného dozvuku na vjem prostorové hloubky co nejmenší. Hloubka zvukového obrazu mixu byla určována především relativní úrovní signálů z podpůrných mikrofonů.

Z výsledků analýzy přímého zvuku lze usuzovat, že se *preferenze vnímané hloubky* v závislosti na použitém poslechu při míchání *nemění*. Rozdílná preference hloubky, zjištěná u druhé úlohy (signál HLAVNÍ - viz kap. 4.4.4) se u třetího mixu nepotvrdila. Díky tomu, že se

v přímém zvuku neprojeví výraznější rozdíly, můžeme v následující analýze nezávisle vyhodnotit preferované úrovně *dozvukové složky*.



Obr. 4.52: Krabicové diagramy průměrné úrovně přímého zvuku v mixech na reproduktory. Srovnání rozptylu hodnot všech respondentů a opakovaných testů ID 1 a ID 15.

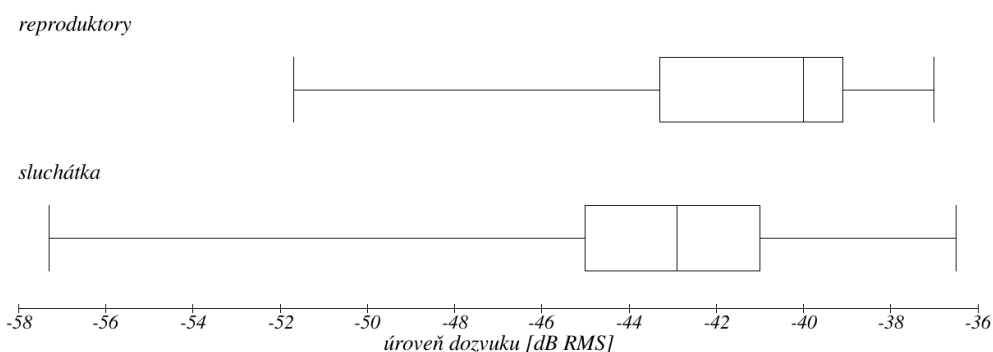


Obr. 4.53: Krabicové diagramy průměrné úrovně přímého zvuku v mixech na sluchátka. Srovnání rozptylu hodnot všech respondentů a opakovaných testů ID 1 a ID 15.

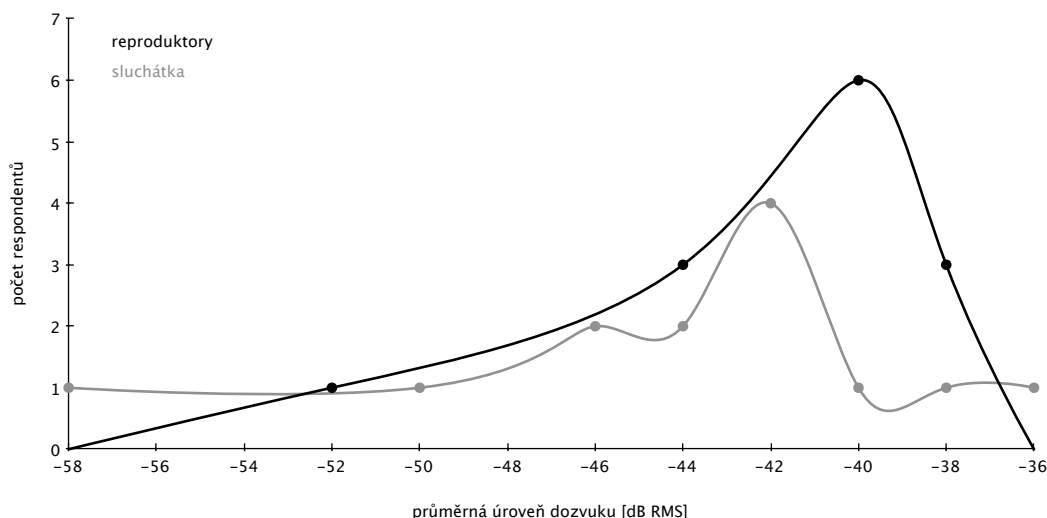
V tabulce 4.10 jsou uvedeny též hlavní statistické ukazatele naměřených úrovní *dozvuku*. Střední hodnoty jsou u reproduktorů vyšší cca o 2,5 dB, u sluchátkových mixů je vyšší variace.

Rozptyly hodnot úrovní *dozvuku* srovnávají krabicové diagramy na obrázku 4.54. U 50 % mixů, vymezených vzdáleností prvního a třetího kvartilu, vykazují efektivní úrovně *dozvuku* u sluchátek i reproduktorů přibližně stejný rozptyl hodnot v rozsahu cca 4 dB. Preference vyšších hodnot u reproduktorů je i zde zřejmá.

Varianční řada je graficky znázorněna na obrázku 4.55. U respondentů, jejichž nastavení je výrazněji vzdáleno od průměru nebyly nalezeny žádné společné doplňující znaky (pohlaví, věková skupina, vzdělání, praxe, bližší profesní zaměření - např. žánrové). Jedná se evidentně o individuální model, který se v závislosti na typu poslechu příliš nemění.



Obr. 4.54: Krabicové diagramy průměrné úrovně dozvuku v mixech všech respondentů na reproduktory a sluchátka.



Obr. 4.55: Jádrový odhad hustoty průměrné úrovně dozvuku v mixech všech respondentů na reproduktory a sluchátka.

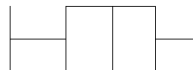
Preference vyšších úrovní dozvuku se v menším rozsahu potvrdila i u druhého mixu (sbor) a rovněž v poslechovém testu Bretta Leonarda a kol. „The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference“ (viz kap.4.4.5). Při srovnání rozptylů hodnot uvedených v grafu 4.54 s výsledky měření B. Leonarda v grafu 4.17 je rozpoznatelný totožný trend.

Na obrázku 4.56 jsou graficky porovnány rozptyly hodnot úrovně dozvuku na reproduktory u všech respondentů s opakovanými testy ID 1 a ID 15. I v případě dozvukové složky lze označit individuální nastavení za stabilní. Obrázek 4.57 uvádí stejné srovnání pro mixy na sluchátka.

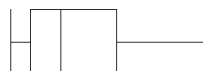
dozvuk reproduktory - std. populace 15 různých mixů



dozvuk reproduktory - čtyřikrát smícháno od ID 1



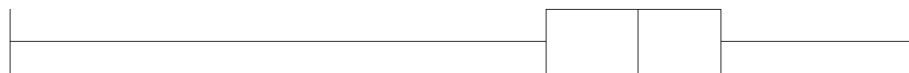
dozvuk reproduktory - čtyřikrát smícháno od ID 15



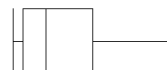
-58 -56 -54 -52 -50 -48 -46 -44 -42 -40 -38 -36
úroveň dozvuku [dB RMS]

Obr. 4.56: Krabicové diagramy průměrné úrovně dozvuku v mixech na reproduktory. Srovnání rozptylu hodnot všech respondentů s opakovanými testy ID 1 a ID 15.

dozvuk sluchátka - std. populace 15 různých mixů



dozvuk sluchátka - čtyřikrát smícháno od ID 1



dozvuk sluchátka - čtyřikrát smícháno od ID 15



-58 -56 -54 -52 -50 -48 -46 -44 -42 -40 -38 -36
úroveň dozvuku [dB RMS]

Obr. 4.57: Krabicové diagramy průměrné úrovně dozvuku v mixech na sluchátka. Srovnání rozptylu hodnot všech respondentů s opakovanými testy ID 1 a ID 15.

4.6 Shrnutí výsledků

Cílem poslechového testu bylo ověřit, zda vlivem rozdílné reprodukce sluchátek a reproduktorů dochází k systematické změně v nastavení mixu u klasické hudby. Tato výchozí hypotéza je výsledky testu popřena, až na podíl dozvukové složky, kde se projevila mírná preference vyšších úrovní při míchání na reproduktory (viz kap. 4.5.3).

Naměřený rozdíl v úrovni dozvuku se sice na první pohled nezdá být významný (rozdíl středních hodnot cca 2,5 dB), u nastavení dozvukové složky však představuje důležitou

změnu. Dozvuk u stereofonní reprodukce ovlivňuje maskování ostatních signálů. Odlišné vyhodnocení dozvukové složky v závislosti na typu reprodukce může mít vliv i na posouzení množství *dozvuku v reálném prostoru*, tedy například na volbu vzdálenosti mikrofonů od zvukových zdrojů. Naměřený rozdíl se shoduje i s výsledky podobného poslechového testu s mistry zvuku (Leonard a kol. 2013).

Přínos poslechového testu spatřuji *ve zdokumentované individualitě nastavení mixů* od jednotlivých zvukových mistrů, zvláště v konfrontaci s opakovanými testy. Je jasné, že většina parametrů je pro analýzu těžko přístupná, jsou-li mixážní úlohy navrženy komplexně. Hlavním kritériem testu však bylo připravit úlohy co nejbližší praxi. Jistý vliv na koncentraci respondentů mohl mít již samotný fakt, že míchali záznam, který sami nepořídili. To není v oblasti klasické hudby vždy běžné. Oproti testům jiných autorů, na něž bylo v průběhu analýzy odkazováno, však mohli vytvořit individuální zvukový obraz a byly jim přístupné všechny jeho nejdůležitější parametry.

To, že nejsou z výsledků viditelné výraznější rozdíly ve vyvážení mezi oběma typy poslechu, může být zdůvodněno též profesní praxí respondentů, kteří jsou zvyklí vlastnosti typů reprodukce kompenzovat.

5. Zhodnocení mixů poslechovou skupinou

Ačkoli předchozí poslechový test zřetelně ukázal, že individualita v nastavení mixu svým rozsahem výrazně předčí rozdíly v mixech způsobené vlivem různého typu poslechu, byl uspořádán ještě jeden poslechový test pro získání *subjektivního hodnocení* vybraných mixů. Respondenti porovnávali po párech snímky smíchané na reproduktory se snímky smíchanými na sluchátka vždy od stejného autora. Hodnotící poslech probíhal na sluchátka a po krátké přestávce v pozměněném pořadí ukázek na reproduktory. Pořadí ukázek ani hypotéza testu nebyly účastníkům předem známy.

5.1 Výběr mixů

Zásadním kritériem výběru ukázek bylo navrhnout test optimální délky, aby bylo možné provést veškerá porovnání na jeden typ poslechu cca za 20 minut. V rámci interních předtestů, kdy byli účastníci dotazováni především na únavu a schopnost koncentrace, byl stanoven konečný počet deseti párů ukázek.

Výběr ukázek podléhal následujícím kritériím:

1. Byly vybrány pouze mixy účastníků s praxí delší než 10 let (viz kap. 4.2).
2. Z této skupiny bylo *náhodně* vybráno deset autorů.
3. Od vybraných deseti autorů byly *náhodně* zvoleny mixy druhé (Novák) a třetí úlohy (Vivaldi). Jelikož nejvyšší důležitost v předchozím testu byla přikládána třetímu mixu, bylo do hodnocení zařazeno více mixů této úlohy (viz tab. 5.1).

Pro poslechový test bylo předem připraveno jednotné pořadí ukázek pro všechny účastníky testu. Pro lepší koncentraci účastníků bylo zvoleno častější prostřídání skladeb. Při změně typu poslechu bylo pořadí obměněno. Použité ukázky a jejich pořadí jsou uvedeny v tabulce 5.1. Ačkoli byla pro všechny respondenty použita stejná šablona pořadí mixů, účastníkům byla podána informace, že jsou ukázky prezentovány vždy v náhodném pořadí.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sluchátka	Vivaldi ID 14	Vivaldi ID 20	Novák ID 18	Novák ID 15	Vivaldi ID 13	Novák ID 16	Vivaldi ID 6	Vivaldi ID 17	Vivaldi ID 11	Novák ID 9
varianta A	RE	sl	sl	RE	RE	RE	sl	RE	sl	sl
varianta B	sl	RE	RE	sl	sl	sl	RE	sl	RE	RE
reproduktory	Vivaldi ID 13	Novák ID 16	Vivaldi ID 14	Vivaldi ID 20	Novák ID 18	Novák ID 15	Vivaldi ID 6	Vivaldi ID 17	Novák ID 9	Vivaldi ID 11
varianta A	RE	RE	RE	sl	sl	RE	sl	RE	sl	sl
varianta B	sl	sl	sl	RE	RE	sl	RE	sl	RE	RE

Tabulka 5.1: Pořadí ukázek při poslechovém testu. Respondenti srovnávali vždy dva mixy od stejného autora, jeden připravený na reproduktory a druhý na sluchátka. Měli tedy k dispozici pro porovnání vždy dvě varianty, A a B, pod každou z nich byl uložen jeden z mixů. Výraz „RE“ označuje mix na reproduktory, výraz „sl“ mix na sluchátka. Identifikační čísla mixů odpovídají ID číslům respondentů z předchozího testu.

Každá z ukázek byla připravena pomocí statického nastavení mixu dle výsledků předchozího poslechového testu daného autora. Všechny ukázky byly znormalizovány na jednotnou efektivní hodnotu signálu (RMS), aby rozdílná hlasitost mixů co nejméně ovlivnila hodnocení.

5.2 Výběr respondentů

Cílem výběru respondentů bylo vytvořit poslechovou skupinu s podobným stupněm odbornosti jako v předchozím testu (viz kap. 4.2). Jelikož se jednalo o opakovaný termín účasti, nepodařilo se v požadované době sehnat všechny původní respondenty. Celkem provedlo hodnocení 16 účastníků, požadavek na desetiletou odbornou praxi splňovalo deset z nich, tj. 62,5 %. Ze zúčastněných respondentů nebyl nikdo následně vyřazen.

Místem konání testu byla opět hlavní režie Zvukového studia na Hudební a taneční fakultě AMU (viz obr. 4.1 a 4.2). Hodnotící poslech probíhal na stejné sluchátka a reproduktory, na nichž byly připraveny mixy: AKG K 701 a Genelec 1037 C. Pro poslech tedy platily stejné frekvenční a prostorové vlastnosti jako u předchozího testu (obr. 4.3).

5.3 Hypotéza a zadání testu

Respondenti srovnávali vždy dva mixy od stejného autora, jeden připravený na reproduktory a druhý na sluchátka. Měli tedy k dispozici pro porovnání vždy dvě varianty, A a B, pod každou z nich byl uložen jeden z mixů (viz tab. 5.1).

Cílem testu bylo ověřit základní hypotézu, *zda budou při poslechu na sluchátka účastníky častěji preferovány mixy smíchané na sluchátka a při poslechu na reproduktory častěji mixy smíchané na reproduktory*. Hypotéza tedy předpokládala, že jsou mixy optimální vždy pro daný typ poslechu a na základě subjektivního hodnocení je lze od sebe rozlišit. V tomto ohledu byla formulována první otázka:

„Která ukázka je pro Vás zvukově lépe vyvážená?“

Respondenti mohli vyjádřit svou preferenci odpovědí „A“ nebo „B“, nebo uvést, že žádnou z variant jednoznačně nepreferují (odpověď „nelze jednoznačně určit“).

Do testu byla zařazena ještě druhá, doplňující otázka. Ta měla zároveň respondenty motivovat ke způsobu koncentrace sluchu, jež byl žádoucí k porovnávání mixů (účastníkům nebylo známo, jaké rozdíly mezi variantami A a B mají očekávat, ani jaký je přesný cíl testu). Znění druhé otázky bylo následující:

„Kterou ukázkou považujete za zvukově konkrétnější?“

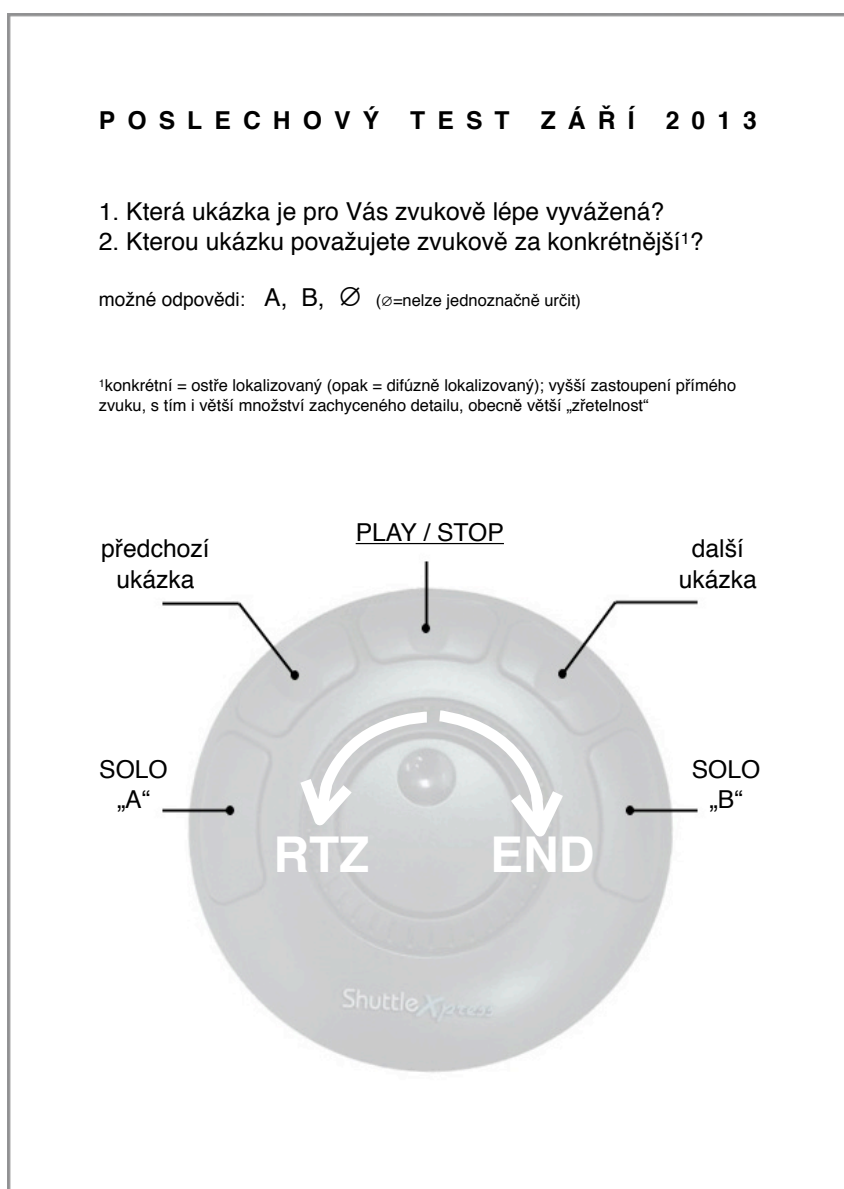
Otázka měla co nejlépe vystihovat podstatu rozdílu mezi dvěma mixy - tedy především změnu v relativní úrovni signálů podpůrných mikrofonů a prostorové informace. Jako klíčová vlastnost byla zvolena *konkrétnost* zvukových zdrojů ve stereofonním obraze. Tento pojem vyhovoval i tím, že je běžně používán zvukovými mistry a hudebními režiséry, a nevyžadoval tedy pro poslechovou skupinu žádné bližší vysvětlení. Ve svém běžně chápaném významu zahrnuje oba hlavní průvodní jevy provázející změnu úrovně u podpůrného mikrofonu: změnu poměru přímého a odraženého zvuku i míru zastoupení detailu daného zdroje ve zvukovém obraze. Vyšší míra zvukového detailu z podpůrného mikrofonu a nižší úroveň maskování přímého zvuku mají samozřejmě bezprostřední vliv na *ostrost lokalizace* daného zdroje ve zvukovém obraze.

Respondenti mohli vyjádřit svoji odpověď opět určením varianty „A“ nebo „B“, nebo uvést, že ani jednu z nabízených variant nepovažují za zvukově konkrétnější („nelze jednoznačně určit“).

5.4 Ovládání a průběh testu

K ovládání testu byl použit kontrolér ShuttleXpress výrobce Contour Design, jehož makra ovládala vícestopový softwarový přehrávač. Respondenti mohli zvolit přehrávanou variantu tlačítka A a B a spustit či zastavit přehrávání tlačítkem PLAY/STOP. Při stisku tlačítka PLAY/STOP byla skladba přehrávána vždy od začátku, což umožnilo snazší porovnání začátků. Přepínat mezi variantami A a B bylo možné i v průběhu přehrávání, oba mixy byly přehrávány synchronně. Logika ovládání byla navržena jako běžná funkce SOLO u mixážního stolu.

Na obrázku 5.1 je vyobrazeno původní zadání testu, které měli účastníci k dispozici. Kontrolér umožňoval i pohyb v rámci všech deseti posuzovaných ukázek. Žádný z účastníků nepožadoval vrátit se k některému z předchozích hodnocení. Pořadí typu poslechu bylo přesně stanovené: nejdříve srovnání všech deseti párů na sluchátka, po krátké pauze v obměněném pořadí na reproduktory. Obě otázky mohly být zodpovězeny v libovolném pořadí. Většina dotázaných odpovídala na obě otázky současně, což naznačovalo, že pro obě vyhoví jednotný způsob koncentrace sluchu dle původního plánu zadání. Odpovědi byly zaznamenávány přítomným vedoucím testu. Respondenti mohli libovolně nastavit hlasitost poslechu dle vlastních potřeb, i ji v průběhu testu měnit.



Obrázek 5.1: Původní zadání poslechového testu.

5.5 Analýza výsledků

U každé z deseti ukázek byly sečteny preference vyváženosti a konkrétnosti od všech respondentů. Vyhodnocení je zobrazeno v tabulce 5.2. Za obecnou preferenci bylo považováno, pokud skupina preferující danou variantu byla větší *alespoň o tři účastníky* než skupina druhá. Představoval-li rozdíl v preferenci pouze jednoho nebo dva účastníky, byl daný výsledek označen za nerozhodný (symbol „x“ v tabulce).

mix	VYVÁŽENĚJŠÍ			KONKRÉTNĚJŠÍ		
	celkové hodnocení	při poslechu na reproduktory	při poslechu na sluchátka	celkové hodnocení	při poslechu na reproduktory	při poslechu na sluchátka
Vivaldi ID 6	REPRO	x	REPRO	sluchátka	x	sluchátka
Vivaldi ID 11	REPRO	x	REPRO	sluchátka	x	sluchátka
Vivaldi ID 13	x	x	sluchátka	REPRO	REPRO	REPRO
Vivaldi ID 14	x	x	REPRO	sluchátka	sluchátka	sluchátka
Vivaldi ID 17	x	x	x	x	REPRO	sluchátka
Vivaldi ID 20	REPRO	REPRO	REPRO	sluchátka	sluchátka	sluchátka
Novák ID 9	sluchátka	sluchátka	sluchátka	REPRO	x	REPRO
Novák ID 15	REPRO	x	REPRO	x	x	x
Novák ID 16	REPRO	REPRO	REPRO	sluchátka	sluchátka	sluchátka
Novák ID 18	sluchátka	sluchátka	x	REPRO	REPRO	x

Tabulka 5.2: Výsledky poslechového testu. Výraz „REPRO“ označuje preferenci / vyšší konkrétnost mixu, který byl smíchán na reproduktory, výraz „sluchátka“ preferenci / vyšší konkrétnost sluchátkového mixu. Uvedeny jsou preference s rozdílem alespoň 3 účastníků. Menší rozdíly jsou označeny symbolem „x“.

Na základě výsledků dochází k *popření hlavní hypotézy*. V obou otázkách, vyváženosti i konkrétnosti, *nedochází k rozdílným preferencím mixů dle typu poslechu*. U zkoumaných vzorků mixů se neprojevovalo, že by byly na typu poslechu, na němž byly smíchány, hodnoceny lépe.

Výjimku tvoří mix „Vivaldi ID 17“, kde se v otázce konkrétnosti odpovědi u sluchátek a reproduktorů rozcházejí. U tohoto mixu je však preference konkrétnosti vždy způsobena rozdílem pouze tří účastníků. Pro mix navíc nebyla ani na jeden typ poslechu zaznamenána obecnější preference vyvážení, z čehož lze vyvodit, že pro respondenty byl rozdíl obecně nejednoznačný. Z grafického rozdílu mixu na obr. 5.6 je viditelné, že mezi variantami A a B nebyl výraznější rozdíl v nastavení.

Celkem u šesti mixů z celkových deseti byla respondenty jako *lépe vyvážená* označena vždy zároveň *méně konkrétní* varianta mixu.

Vzhledem k tomu, že byla použita stejná skupina respondentů jako u minulého testu, hodnotili někteří účastníci i své *vlastní mixy*. Výsledky hodnocení vlastních mixů jsou zobrazeny v tabulce 5.3. Respondent ID 14 nebyl přítomen v hodnotící poslechové skupině. V otázce *vyvážení* bylo u šesti mixů zaznamenáno shodné hodnocení na oba typy poslechu. Ani u au-

torů mixů se výrazněji neprojevilo, že by své mixy hodnotili lépe na typu poslechu, na němž byly smíchány.

mix	VYVÁŽENĚJŠÍ		KONKRÉTNĚJŠÍ	
	při poslechu na reproduktory	při poslechu na sluchátka	při poslechu na reproduktory	při poslechu na sluchátka
Vivaldi ID 6	sluchátka	sluchátka	REPRO	sluchátka
Vivaldi ID 11	REPRO	REPRO	REPRO	sluchátka
Vivaldi ID 13	REPRO	REPRO	REPRO	sluchátka
Vivaldi ID 14	<i>autor mixu nebyl v poslechové skupině</i>	<i>autor mixu nebyl v poslechové skupině</i>	<i>autor mixu nebyl v poslechové skupině</i>	<i>autor mixu nebyl v poslechové skupině</i>
Vivaldi ID 17	x	x	x	x
Vivaldi ID 20	REPRO	sluchátka	sluchátka	sluchátka
Novák ID 9	REPRO	REPRO	sluchátka	REPRO
Novák ID 15	sluchátka	sluchátka	x	x
Novák ID 16	x	x	sluchátka	sluchátka
Novák ID 18	sluchátka	sluchátka	REPRO	sluchátka

Tabulka 5.3: Odpovědi respondentů při posuzování vlastních mixů. Výraz „REPRO“ označuje preferenci / vyšší konkrétnost vlastního mixu, který byl smíchán na reproduktory, výraz „sluchátka“ preferenci / vyšší konkrétnost vlastního sluchátkového mixu. Symbol „x“ označuje odpověď „nelze určit“.

Na obrázcích 5.2 až 5.21 jsou uvedeny výsledky obou otázek poslechového testu spolu s grafickým porovnáním mixů. Stejně jako u vyhodnocení v kapitole 4 jsou hodnoty úrovní normalizovány k signálům STŘED (Novák) a HLAVNÍ (Vivaldi).

Zřetelný rozdíl v hodnocení *vyváženosti* byl zaznamenán u mixu *Vivaldi ID 20* s celkovým rozdílem dvanácti respondentů. Preferovaný mix na reproduktory obsahuje především vyšší úroveň signálu dozvuku a violoncella. Nejvyšší stupeň shody v případě *konkrétnosti* byl zaznamenán u mixu *Vivaldi ID 13*. Vjem nižší konkrétnosti zvukového obrazu u sluchátkového mixu je zapříčiněn nižší úrovní podpurných mikrofonů, především cembala a fagotu, přestože obsahuje i méně dozvuku (viz obr. 5.14). V případě sboru byl nejvyšší stupeň shody v hodnocení *konkrétnosti* u mixu *Novák ID 16*. Vliv na konkrétnost zde má rozdílná úroveň hlavního mikrofonu AB (viz obr. 5.20).

U mixu *Vivaldi ID 14* je rozdíl ve vjemu konkrétnosti vytvořen výraznou změnou v úrovních podpurných mikrofonů, beze změny v úrovni dozvuku (obr. 5.15). U mixů *Vivaldi ID 20*, *Novák ID 9* a *Novák ID 18* byl rozdíl v konkrétnosti zapříčiněn především změnou úrovně umělého dozvuku.

Z dostupných zdrojů byl nalezen jeden poslechový test, zabývající se srovnáním subjektivních hodnocení nahrávek na sluchátka a reproduktory: „Comparison of subjective assessments obtained from listening tests through headphones and loudspeaker setups“ od Vincenta Koehla a kol. (Koehl a kol. 2011). V testu hodnotila skupina dvanácti vysokoškolských studentů zvukařského oboru páry zvukových ukázek pořízené dvěma různými mikrofonními systémy s různou velikostí mikrofonních kapslí. Respondenti vyznačovali na stupnici míru

podobnosti / odlišnosti obou ukázek a míru osobní preference. Z výsledků testu byl autory učiněn závěr, že rozdíly mezi oběma mikrofonními systémy *byly na sluchátka i reproduktory vnímány stejně*, a to jak v případě monofonní, tak stereofonní i vícekanálové reprodukce¹.

Připomeňme ještě, že v rámci hodnocení mixů této disertační práce (Vivaldi, Novák) byla použita stejná reprodukční zařízení, pro něž byly mixy optimalizovány, a stejný poslechový prostor režie. Z výsledků není v žádném ohledu možné usuzovat, do jaké míry zůstane kompatibilita hodnocení zachována, změní-li se akustické podmínky poslechu. Díky totožným poslechovým podmínkám je však možné vyloučit, že by rozpoznatelnost rozdílů byla ovlivněna změnou v elektroakustickém řetězci nebo v akustice poslechového prostoru.

Samostatnou otázkou zůstává, jak přistupují profesionální zvukoví mistři k hodnocení vyváženosti zvukového obrazu na sluchátka. Vzhledem k tomu, že většina produkce klasické hudby je svými parametry optimalizována především pro poslech na reproduktory (jak se potvrdilo i v průzkumu v kapitole 3.2), mohou být zvukovými mistry hodnoceny lépe snímky, u nichž je při poslechu na sluchátka zřejmé, že budou znít optimálně na reproduktory. Výsledky hodnocení vlastních mixů naznačují, že úsudek o vyváženosti není typem poslechu, na němž je mix posuzován, ovlivněn.

Hodnocení vlastních mixů v otázce konkrétnosti nepřineslo přesvědčivé výsledky. Zde je nutné podotknout, že přítomnost autorů mixů v hodnotící skupině nebyla předem plánována a počet respondentů-autorů není pro analýzu dostatečný. Bez opakovaných testů a/nebo hodnocení více vzorků není možné z výsledků učinit jednoznačný závěr.

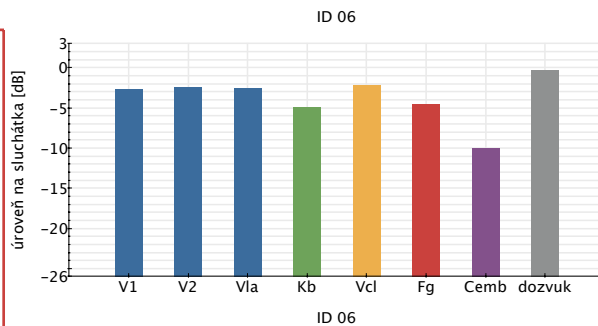
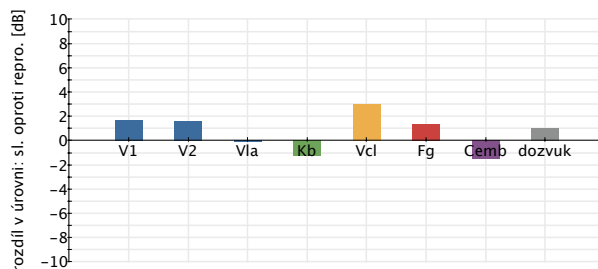
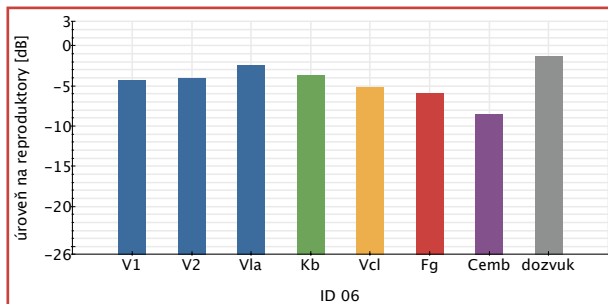
¹ Pro sluchátka byly vícekanálové záznamy převedeny na binaurální reprodukci pomocí HRTF funkcí.

Obrázek 5.2: Vivaldi ID 6 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **REPRODUKTORY 19/11**

pref. na reproduktory (r/sl): **není 7/7**

pref. na sluchátka (r/sl): **reproduktory 12/4**

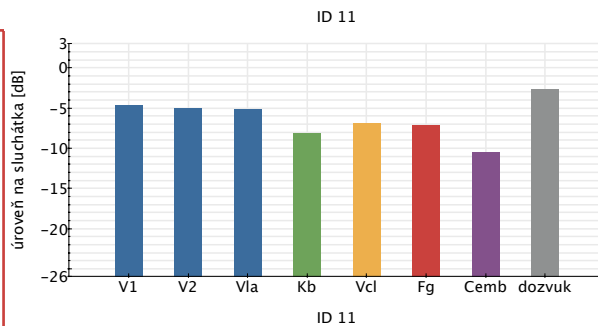
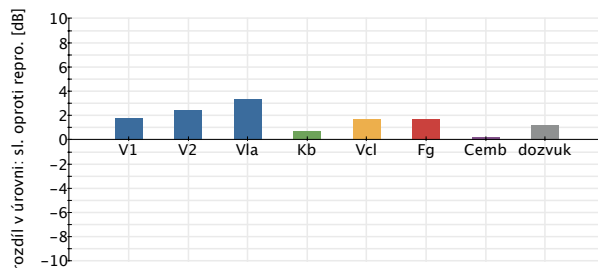
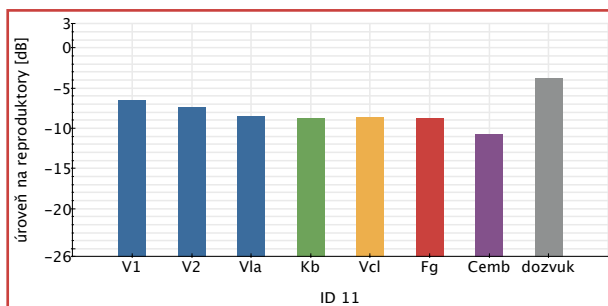


Obrázek 5.3: Vivaldi ID 11 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **REPRODUKTORY 17/10**

pref. na reproduktory (r/sl): **není 7/7**

pref. na sluchátka (r/sl): **reproduktory 10/3**

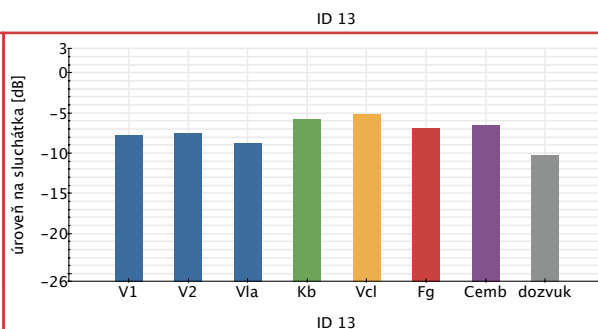
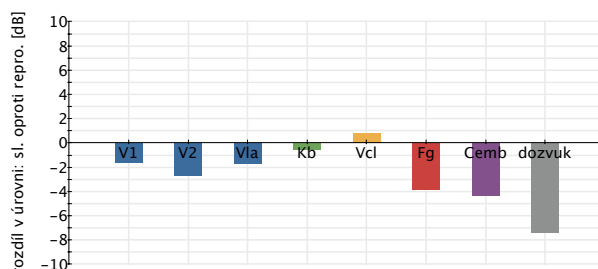
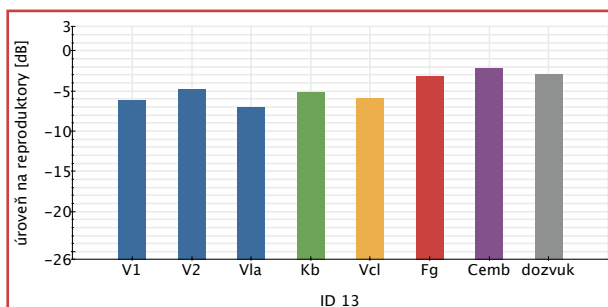


Obrázek 5.4: Vivaldi ID 13 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **není 15/16**

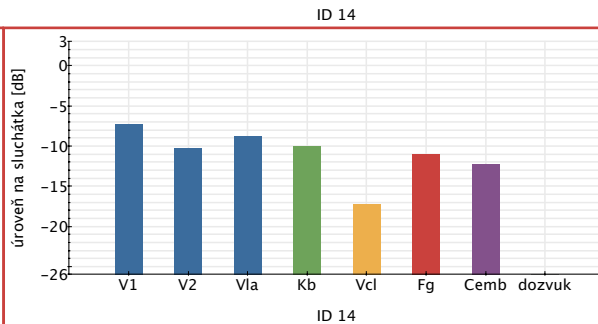
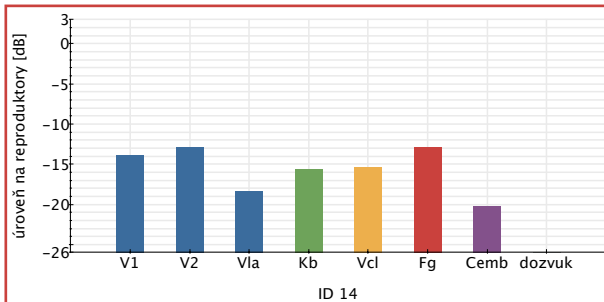
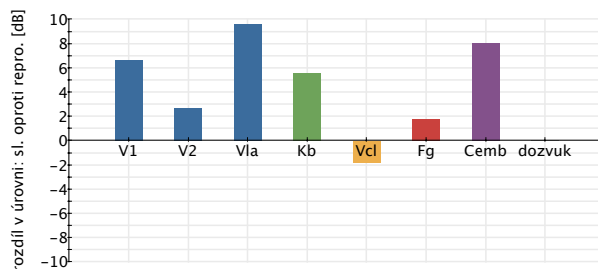
pref. na reproduktory (r/sl): **není 9/7**

pref. na sluchátka (r/sl): **sluchátka 6/9**



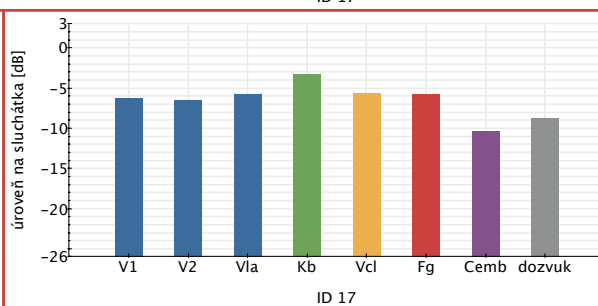
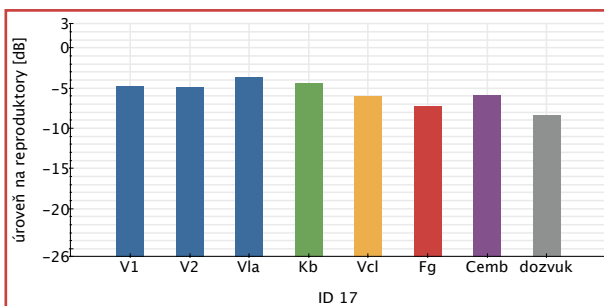
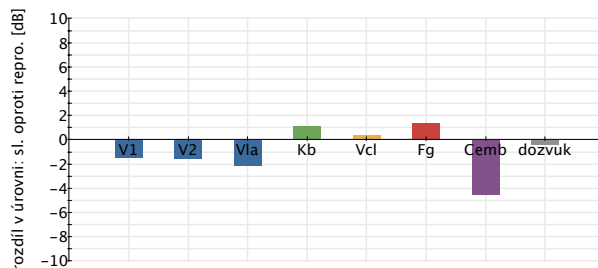
Obrázek 5.5: Vivaldi ID 14 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **není 17/13**
 pref. na reproduktory (r/sl): **není 8/7**
 pref. na sluchátka (r/sl): **reproduktory 9/6**



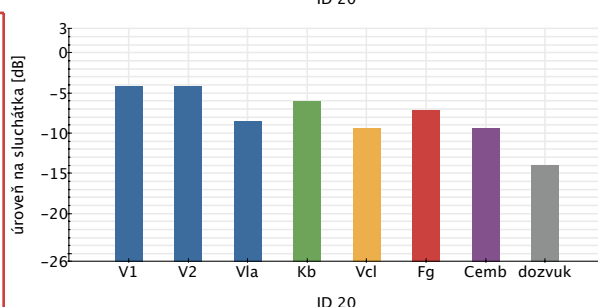
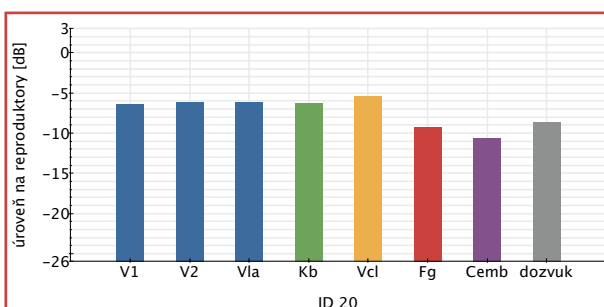
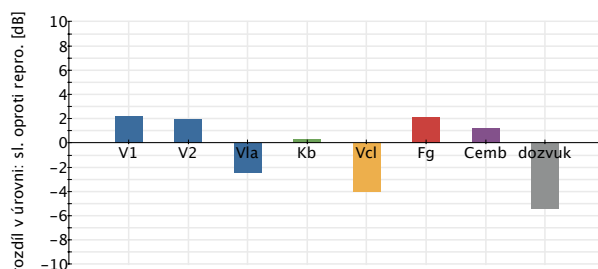
Obrázek 5.6: Vivaldi ID 17 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **není 13/11**
 pref. na reproduktory (r/sl): **není 7/5**
 pref. na sluchátka (r/sl): **není 6/6**



Obrázek 5.7: Vivaldi ID 20 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **REPRODUKTORY 20/8**
 pref. na reproduktory (r/sl): **reproduktory 9/4**
 pref. na sluchátka (r/sl): **reproduktory 11/4**

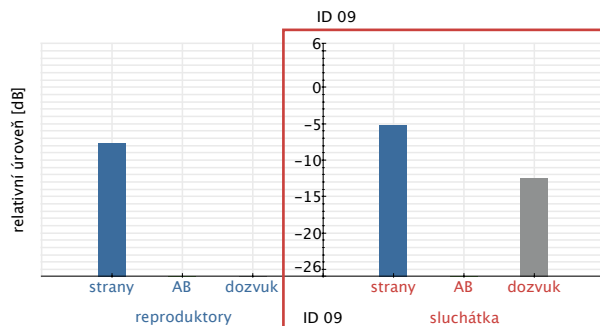
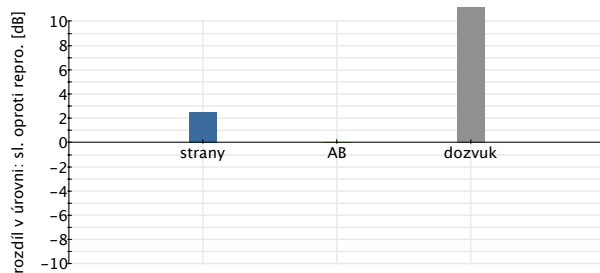


Obrázek 5.8: Novák ID 9 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **SLUCHÁTKA 9/18**

pref. na reproduktory (r/sl): sluchátka 5/9

pref. na sluchátka (r/sl): sluchátka 4/9

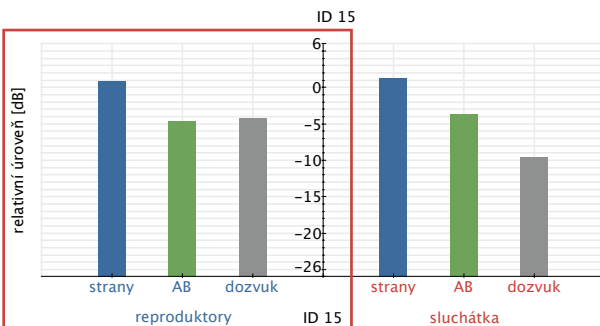
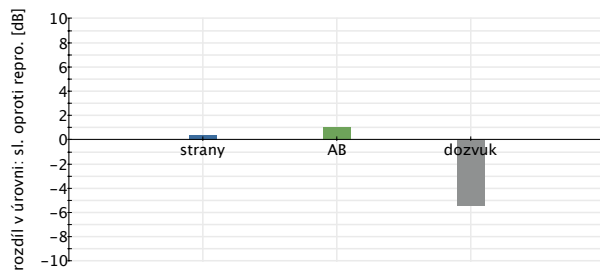


Obrázek 5.9: Novák ID 15 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **REPRODUKTORY 16/11**

pref. na reproduktory (r/sl): není 7/6

pref. na sluchátka (r/sl): reproduktory 9/5

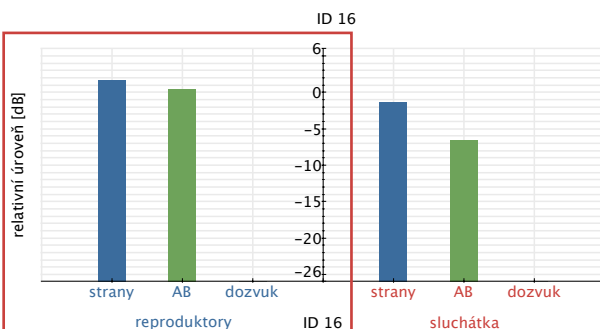
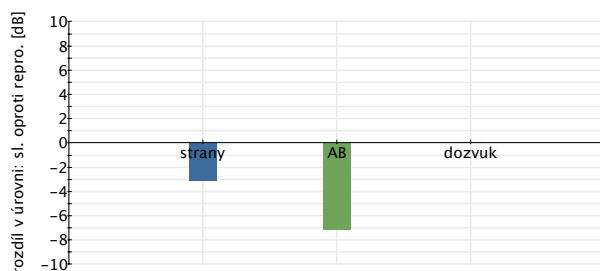


Obrázek 5.10: Novák ID 16 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **REPRODUKTORY 17/10**

pref. na reproduktory (r/sl): reproduktory 9/5

pref. na sluchátka (r/sl): reproduktory 8/5

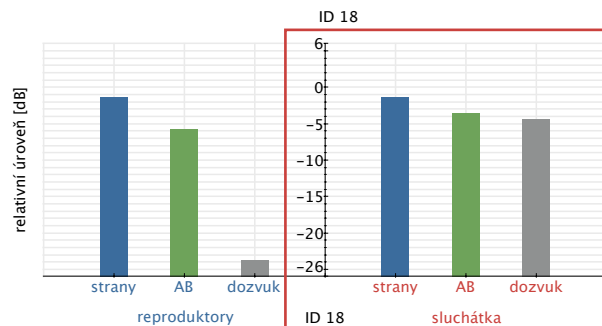
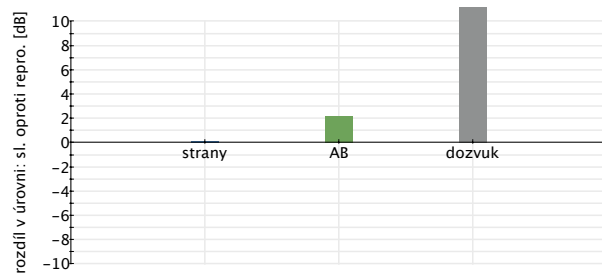


Obrázek 5.11: Novák ID 18 (vyvážení)

celkově vyváženější (r/sl): **SLUCHÁTKA 12/17**

pref. na reproduktory (r/sl): sluchátka 4/10

pref. na sluchátka (r/sl): není 8/7

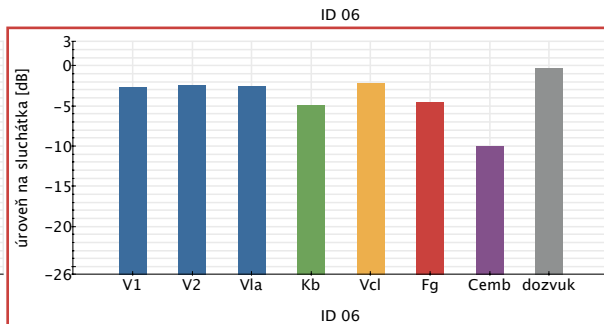
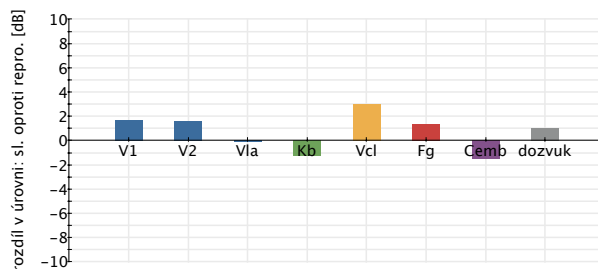
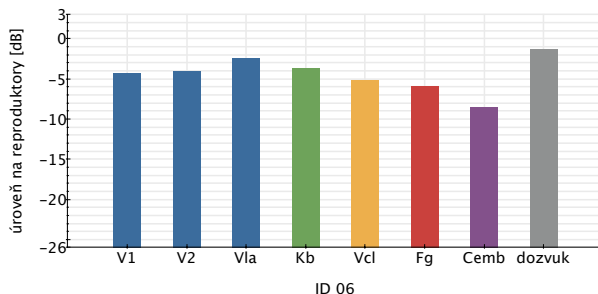


Obrázek 5.12: Vivaldi ID 6 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **SLUCHÁTKA 8/19**

kon. na reproduktory (r/s): není 5/7

kon. na sluchátka (r/s): sluchátka 3/12

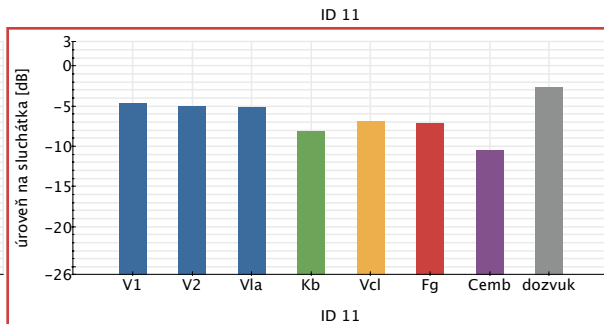
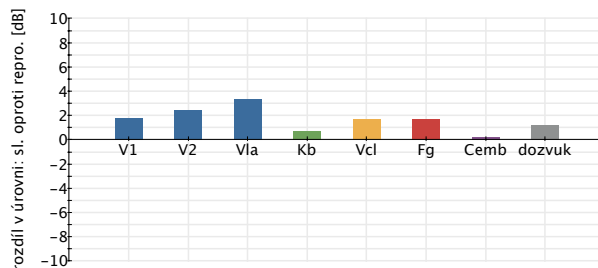
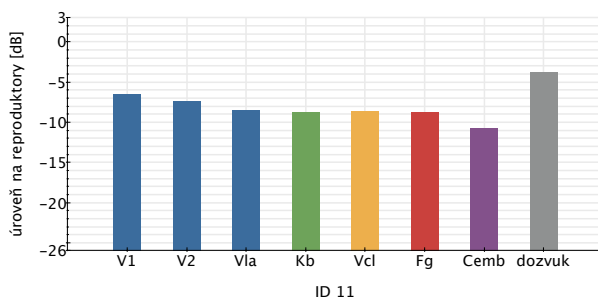


Obrázek 5.13: Vivaldi ID 11 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **SLUCHÁTKA 10/16**

kon. na reproduktory (r/s): není 7/6

kon. na sluchátka (r/s): sluchátka 3/10

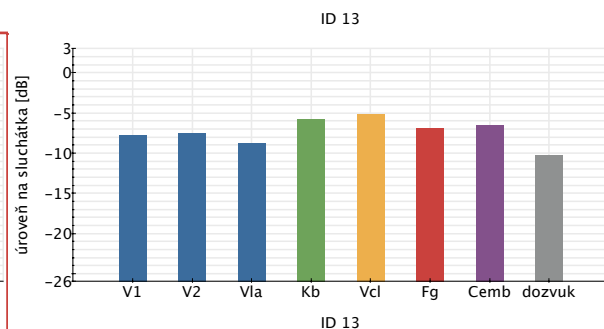
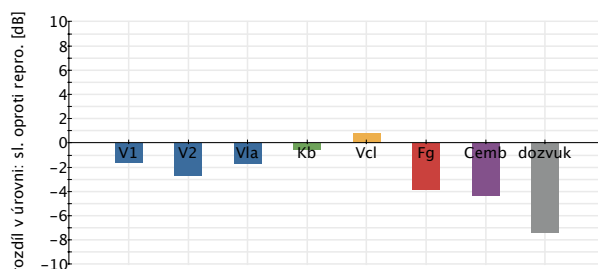
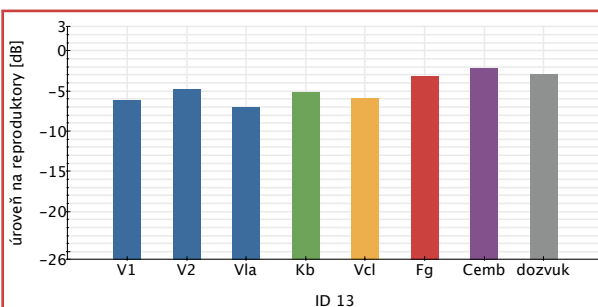


Obrázek 5.14: Vivaldi ID 13 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **REPRODUKTORY 21/8**

kon. na reproduktory (r/s): reproduktory 11/3

kon. na sluchátka (r/s): reproduktory 10/5

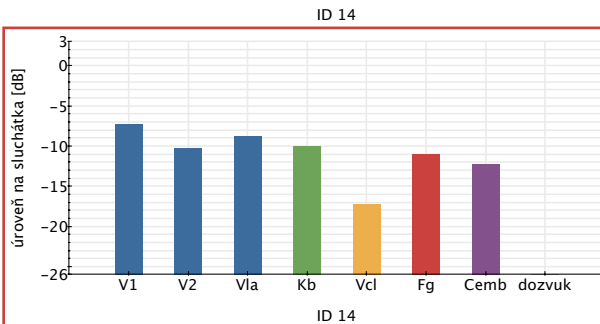
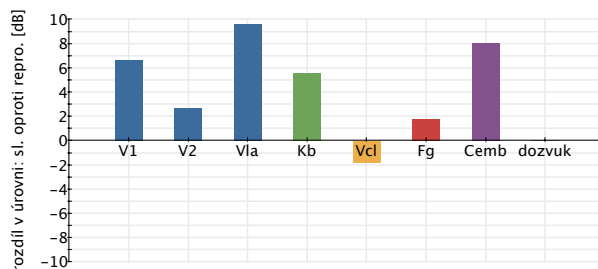
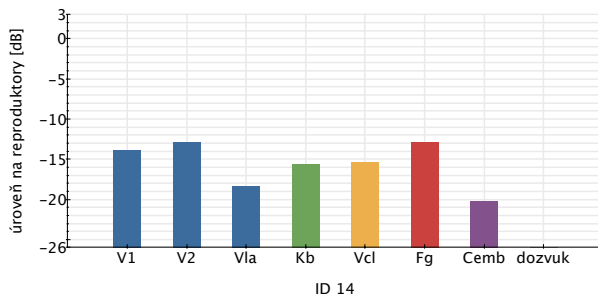


Obrázek 5.15: Vivaldi ID 14 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **SLUCHÁTKA 11/20**

kon. na reproduktory (r/s): sluchátka 5/11

kon. na sluchátka (r/s): sluchátka 6/9

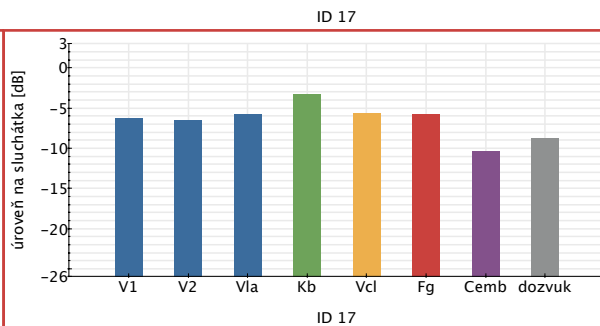
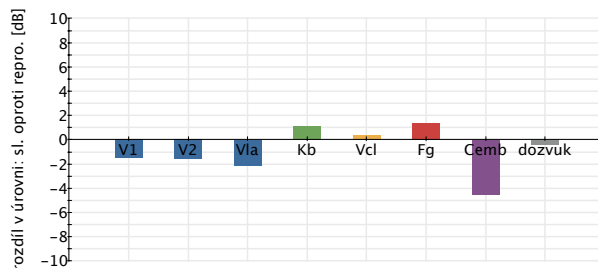
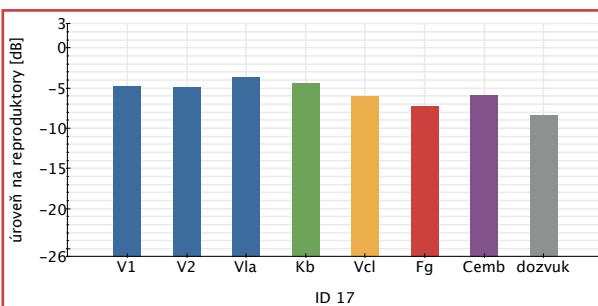


Obrázek 5.16: Vivaldi ID 17 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **není 11/11**

kon. na reproduktory (r/s): reproduktory 8/5

kon. na sluchátka (r/s): sluchátka 3/6

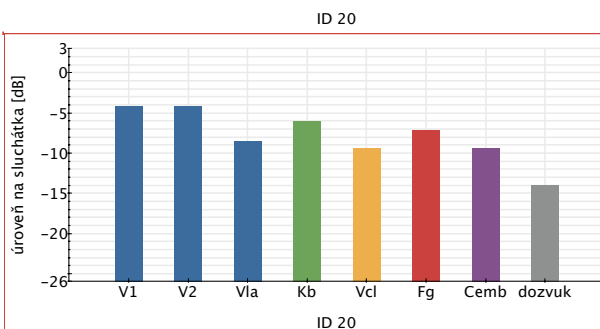
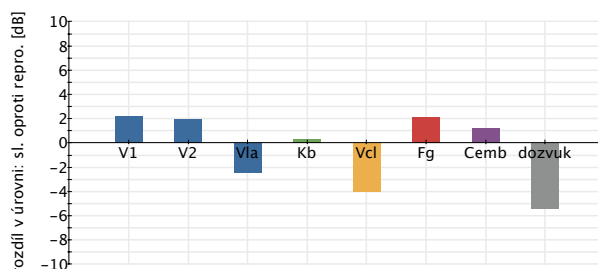
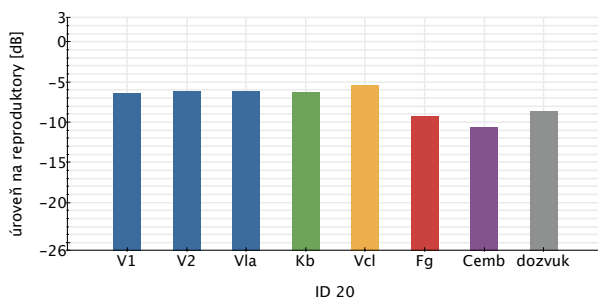


Obrázek 5.17: Vivaldi ID 20 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **SLUCHÁTKA 6/19**

kon. na reproduktory (r/s): sluchátka 3/7

kon. na sluchátka (r/s): sluchátka 3/12

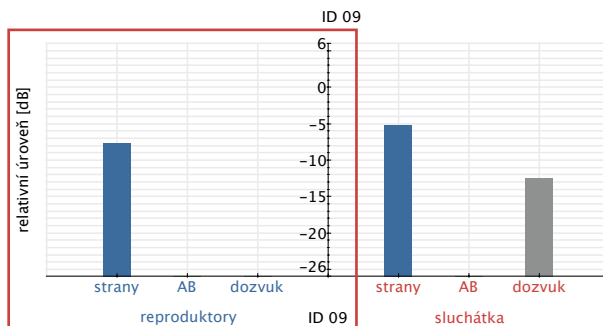
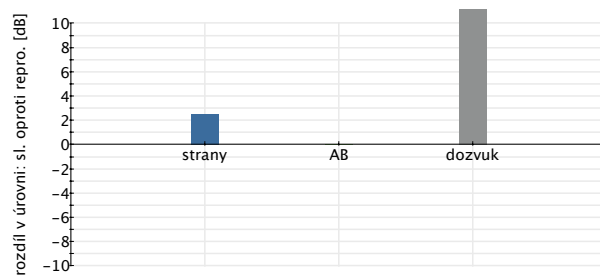


Obrázek 5.18: Novák ID 9 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/sl): **REPRODUKTORY 15/8**

kon. na reproduktory (r/sl): není 6/6

kon. na sluchátka (r/sl): reproduktory 9/2

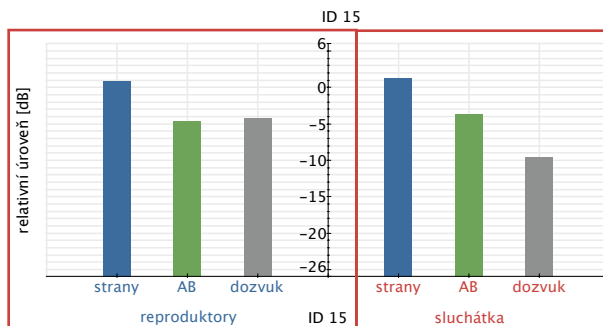
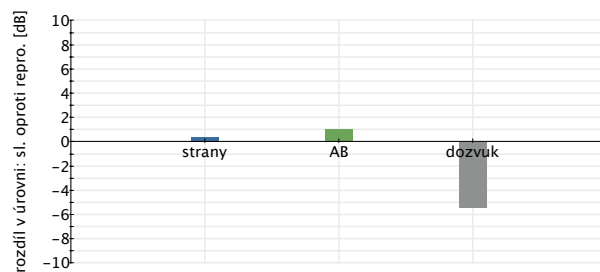


Obrázek 5.19: Novák ID 15 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/sl): **NENÍ 14/12**

kon. na reproduktory (r/sl): není 7/5

kon. na sluchátka (r/sl): není 7/7

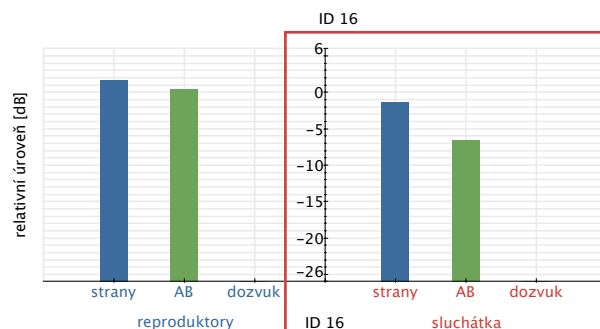
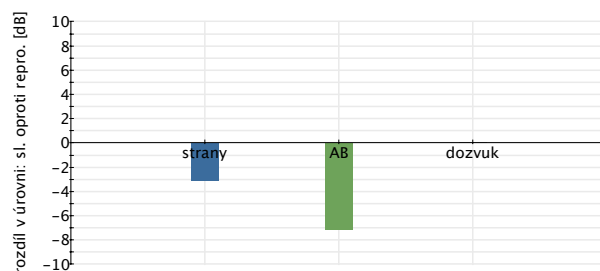


Obrázek 5.20: Novák ID 16 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/sl): **SLUCHÁTKA 4/25**

kon. na reproduktory (r/sl): sluchátka 3/11

kon. na sluchátka (r/sl): sluchátka 1/14

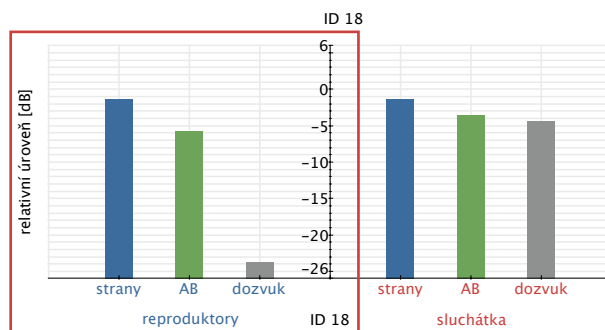
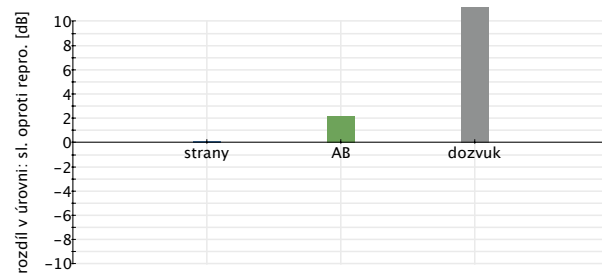


Obrázek 5.21: Novák ID 18 (konkrétnost)

celkově konkrétnější (r/s): **REPRODUKTORY 18/11**

kon. na reproduktory (r/s): reproduktory 11/5

kon. na sluchátka (r/s): není 7/6



Závěr

Druhá kapitola na základě technologických odlišností sluchátek a reproduktorů naznačila, že největší rozdíly spadají do kategorie *prostorovosti reprodukce a lokalizace*. Přihlédneme-li k umělecko-technickým souvislostem formování zvukového obrazu popsaným v první kapitole, musíme konstatovat, že rozdílná reprodukce typu poslechu nehraje významnou roli pouze při míchání hudebního snímku, ale mnohem více při jeho záznamu. Zde jsou navíc mistrem zvuku činěna rozhodnutí, jejichž vliv nelze později kompenzovat. Zaměření práce na srovnání mixů bylo vybráno pro jejich snadnou definici formou úloh a možnost jednoznačného popsání výsledků pomocí parametrů nastavení. Umožnilo rovněž zaručit opakovatelnost podmínek pro všechny respondenty, jelikož zpracovávali stejné signály.

Internetový průzkum ve třetí kapitole potvrdil, že většina současné produkce klasické hudby je optimalizována primárně pro poslech *na reproduktory*. Je tedy otázka, zda mistři zvuku pohlížejí na sluchátka jako na plnohodnotný formát poslechu, či pouze jako na médium sloužící k detailnějšímu posouzení vlastností reproduktorových signálů. S ohledem na reproduktory byly připraveny i mixážní úlohy v poslechových testech a srovnání výsledných mixů evidentně naznačuje, že sluchátková i reproduktorová nastavení směřovala u jednotlivých autorů k podobným výsledným parametrům zvukového obrazu.

V hodnocení spolehlivosti poslechu v kapitole 3.7 vyšla jako nejvýraznější parametr u reproduktorů *hloubka stereofonního obrazu*. Z pohledu průzkumu třetí kapitoly se zdá, že rozdílné lokalizační vlastnosti sluchátek a reproduktorů nepředstavují tak výrazný problém jako rozdílná prostorovost reprodukce. Bohužel není jednoduché připravit mixážní úlohu tak, aby umožňovala upravovat vnímanou hloubku stereofonního obrazu samostatným parametrem a zároveň respektovala běžnou praxi záznamu klasické hudby. Rozdílnost ve vyhodnocení hloubky stereofonního obrazu se tedy nepodařilo navrženými úlohami jednoznačně ověřit.

U výsledků poslechového testu byly nemalým překvapením rozdíly v nastavení mezi jednotlivými respondenty. Míru individuality bylo těžké dopředu předpokládat, jelikož interních předtestů se účastnili studenti, u jejichž výsledků byly individuální rozdíly zdůvodňovány částečně tím, že jejich představa o cílovém zvukovém obraze ještě není praxí zcela ukotvena. Z výsledků lze dojít k závěru, že zvukovým mistrům jsou rozdílné lokalizační a prostorové vlastnosti obou reprodukčních systémů důvěrně známy a jsou schopni je v praxi kompenzovat. Na otázku příčiny však u nalezených rozdílů nelze poskytnout jednoznačné odpovědi:

1. U první mixážní úlohy (předtestu - obr. 4.6) byla zjištěna preference *vyšší úrovně monofonní složky na sluchátka* (rozdíl mediánů 2 dB). Z logické koncepce navržené druhou kapitolou by byla přijatelnější preference úrovně nižší, ať už ve snaze zmírnit lokalizaci uvnitř hlavy vyšší úrovní dekorelovaných stranových signálů, nebo kompenzovat chybějící dozvukovou složku poslechového prostoru.

Rozdíl zde mohl samozřejmě vyvolat již dříve zmíněná reakce na barvu zvuku sólového zpěvu, stejně jako SLD efekt popsaný v práci Sebastiana Goossense a kol. (Goossens a kol. 2010). Nižší variance hodnot u sluchátek však naznačuje, že rozhodnutí o korelaci signálů bylo u sluchátek jednoznačnější. Stejný jev byl vyzorován u signálu hlavního mikrofonu v druhé úloze, kde bylo nastavení úrovně dekorelovaných signálů z všesměrových mikrofonů též jednoznačnější u sluchátek (obr. 4.15). Zde se nabízí jako vysvětlení reakce na signálovou korelaci u sluchátkové reprodukce. U reproduktorů je posouzení podobnosti signálů vlivem prostoru místnosti méně snadné. Je tedy možné, že u sluchátek bylo nastavení vyvoláno na základě posuzování jiných vlastností signálu, než u reproduktorů. Směrodatný výsledek zde může přinést pouze série dalších testů s různými druhy instrumentace ukázek, podpořená testy s měřicími signály, u nichž by bylo možné reakci na signálovou korelaci analyzovat včetně případné frekvenční závislosti.

2. U druhé i třetí úlohy se projevila preference *nižších úrovní dozvuku na sluchátka*. Zvukoví mistři tedy v praxi v žádném ohledu *nekompenzují chybějící prostorovou složku poslechové místnosti u sluchátek*. Nedokážeme však odpovědět na otázku, zda slu-

chátková reprodukce skutečně vede k odlišným estetickým předpokladům pro množství dozvukové složky ve zvukovém obraze, či rozdíl v nastavení vychází ze snahy o kompatibilitu s poslechem na reproduktory. A ani zde nevíme, do jaké míry bylo nastavení úrovně dozvuku u sluchátek podmíněno přímým vjemem signálové korelace, jelikož umělý dozvuk představuje dekorelovanou signálovou složku. V těchto ohledech práce vybízí k dalším výzkumům.

Pro praxi je však přínosný závěr druhého testu: Vysledované rozdíly v nastavení parametrů prostoru *nejsou natolik klíčové, aby způsobily preferenci mixů na poslechu, na němž byly smíchány, a to ani svými vlastními autory*. Pokud jsme se na začátku zamýšleli nad tím, zda zvukoví mistři vnímají sluchátka jako plnohodnotný cílový reprodukční formát, pak závěr druhého testu hovoří spíše ve prospěch cílené kompatibility s reproduktory. Naznačuje to v neposlední řadě i současná nabídka komerčních produktů přizpůsobujících sluchátkovou reprodukci parametrům poslechu na reproduktory (viz kap. 2.4).

Použitá literatura

- Albrecht, C. (2010): ALBRECHT, Carlos. *Der Tonmeister*. Berlin: Schiele & Schön GmbH, 1. vydání, 2010. ISBN 3-7949-0806-6.
- Beranek, L. (1962): BERANEK, Leo, Leroy. *Music, Acoustics and Architecture*. New York: John Wiley & Sons, 1962. ISBN 978-0471068679.
- Blauert / Braasch (2008): BLAUERT, Jens; BRAASCH, Jonas. *Räumliches Hören*. In: *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-34300-4.
- de Boer, K. (1940): DE BOER, K. *Plastische Klangwiedergabe*. In: Philips Technische Rundschau, 5. ročník, sešit 4, 1940.
- Breitkopf (1801): MOZART, Wolfgang, Amadeus. *Il dissoluto punito, ossia il Don Giovanni*. Leipzig: Breitkopf & Härtel, cca 1801.
- Chernyak / Dubrovsky (1968): CHERNYAK, R. I.; DUBROVSKY, N. A.. *Pattern of the Noise Images and the Binaural Summation of Loudness for the Different Interaural Correlation of Noise*. Protokol z prezentace 6th International Congress on Acoustics, Tokyo, 1968.
- Cremer, L. (1964): CREMER, Lothar. *Die raum- und bauakustischen Maßnahmen beim Wiederaufbau der Berliner Philharmonie*. In: *Die Schalltechnik*, 24, č. 57, Str. 1
- Daniel, P. a kol. (2007): DANIEL, Peter; FASTL, Hugo; FEDTKE, Thomas; GENUIT, Klaus; GRABSCH, Hans-Peter; NIEDERDRÄNK, Torsten; SCHMITZ, Alfred; VORLÄNDER, Michael; ZOLLNER, Manfred. *Kunstkopftechnik - Eine Bestandsaufnahme*. *Nuntius acusticus*. In: *Acta Acustica Acustica* č. 93, 2007.
- Dickreiter, M. (1997): DICKREITER, Michael. *Handbuch der Tonstudioteknik*. I. díl, 6. aktualizované vydání. München: K. G. Saur Verlag KG, 1997. ISBN 3-598-11321-8 (1. díl). ISBN 3-598-11320-x (soubor).
- Errede, S. (2013): ERREDE, Steven. *The Human Ear - Hearing, Sound Intensity and Loudness Levels* [online]. Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois. 2013 [cit. 21. února 2014]. Dostupný z Internetu: <http://courses.physics.illinois.edu/phys406/Lecture_Notes/P406POM_Lecture_Notes/P406POM_Lect5.pdf>
- Gernemann, A. (1994): GERNEMANN, Andreas. *Summenlokalisation im Stereodreieck - Überlegungen zu psychoakustischen Untersuchungen mit dynamischem Testsignal und hochpräzisen Schallwandlern*. Düsseldorf: vlastní vydání, 1994.
- Gernemann, A. (2002): GERNEMANN, Andreas. „*DECCA-Tree*“ - *gestern und heute* [online]. 2002 [cit. 18. ledna 2013]. Dostupný z Internetu: <<http://www.uni-koeln.de/phil-fak/muwi/ag/tec/deccatree.pdf>>.
- Gernemann, A. (2007): GERNEMANN, Andreas. *Stereophonie, Unterlagen zu Kursen von A. Gernemann* [online]. 2007 [cit. 22. února 2014]. Dostupný z Internetu: <<http://www.uni-koeln.de/phil-fak/muwi/ag/umdruck/stereo.pdf>>.
- Goossens, S. a kol. (2010): GOOSSENS, Sebastian; STUMPNER, Roman; BONIN, Grit. *Unterschiedliche Schalldruckpegel im Ohrkanal für gleiche Lautheit - Darbietung über Kopfhörer und Lautsprecher im Vergleich*. Protokol z 26. Tonmeistertagung - VDT International Convention, listopad 2010.

- Haas, H. (1951): HAAS, Helmut. *Über den Einfluss eines Einfach-Echos auf die Hörsamkeit von Sprache*. *Acustica* 1, 1951.
- Hadraba, J. (2011): HADRABA, Jakub. *Stereofonní mikrofonní systémy v akustickém prostoru*. Praha: Diplomová práce dostupná v knihovně HAMU, 2011: <<https://dspace.amu.cz/jspui/handle/10318/6503>>.
- Hadraba, J. (2013): HADRABA, Jakub. *Mix monitoring survey* [online]. 2013 [cit. 19. ledna 2014]. Dostupný z Internetu: <<https://sites.google.com/site/hadrabaj/apr2013survey>>.
- HAMU (2012): Hudební a taneční fakulta AMU. *Vybavení zvukového studia* [online]. In: Internetová prezentace Hudební a taneční fakulty AMU. 2012 [cit. 4. února 2014]. Dostupný z Internetu: <<http://zvuk.hamu.cz/studio/vybaveni.php>>.
- Jecklin, J. (1981): JECKLIN, Jürg. *A Different Way to Record Classical Music*. *J. Audio Eng Soc* Vol. 29, Issue 5, 1981. Str. 329-332.
- King, R. a kol. (2011): KING, Richard, LEONARD, Brett, SIKORA, Grzegorz. *The Effects of Monitoring Systems on Balance Preference: A comparative study of mixing on headphones versus loudspeakers*. Protokol z 131. AES Convention, New York, 20.-23. října 2011.
- Koehl, V. a kol. (2011): KOEHL, Vincent; PAQUIER, Mathieu; DELIKARIS-MANIAS, Simeon. *Comparison of subjective assessments obtained from listening tests through headphones and loudspeaker setups*. Protokol z 131. AES Convention, New York, 20.-23. října 2011.
- Kuhl, W. (1954): KUHL, Walter. *Über Versuche zur Ermittlung der günstigen Nachhallzeit großer Musikstudios*. *Acustica*, Vol. 4, 1954. Str. 618
- Kuttruff, H. (2004): KUTTRUFF, Heinrich. *Akustik*. Stuttgart: Hirzel Verlag, 2004. ISBN 3-7776-1244-8.
- Leonard, B. a kol. (2013): LEONARD, Brett; KING, Richard; SIKORA, Grzegorz. *The Effect of Playback System on Reverberation Level Preference*. Protokol z 134. AES Convention, Řím, 4.-7. května 2013.
- Lexicon, Inc. (1993): LEXICON, Inc. *Lexicon 480L Digital Effects System - Owner's manual* [online]. 1993 [cit. 20.ledna 2013]. Dostupný také z Internetu: <http://www.lexiconpro.com/system/documents/1080/original/480L_V4_Owners_Manual_Rev0.pdf>.
- Lexicon, Inc. (2000): LEXICON, Inc. *Lexicon 960L Digital Effects System - Owner's manual* [online]. 2000 [cit. 23.ledna 2014]. Dostupný také z Internetu: <http://adn.harmanpro.com/product_documents/documents/1029_1340203336/960L_Owners_Manual_Rev1_original.pdf>.
- Maempel a kol. (2008): MAEMPEL, Hans/Joachim; WEINZIERL, Stefan; KAMINSKI, Peter. *Audiobearbeitung*. In: *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-34300-4.
- Meyer, J. (2004): MEYER, Jürgen. *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*. Bergkirchen: PPVMEIDIEN GmbH, Edition Bochinsky, 5. aktualizované vydání, 2004. ISBN 3-932275-95-0.
- Møller a kol. (1995): MØLLER, Henrik; JENSEN, Clemen Boje; HAMMESHØI Dorte; SØRENSEN Michael Friis. *Design Criteria for Headphones*. In: *J. Audio eng. Soc.*, Vol 43, 1995, str. 218-232.

- Poldy, C. (2001): POLDY, Carl. *Headphones*. In: *Loudspeaker and Headphone Handbook*. Oxford: Focal Press, 3. vydání, 2001. ISBN 0-240-51578-1.
- Poldy, C. (2006): POLDY, Carl. *Headphone fundamentals*. Protokol z 120. AES Convention, Paříž, 21. června 2006.
- Reallex. Akustik (1982): *Reallexikon der Akustik*. hrsg. von Michael M. Rieländer. Frankfurt am Main: Bochinsky, 1982. ISBN 3-920112-84-9.
- Reinecke, H.-P. (1969): REINECKE, Hans-Peter. *Das Ideal des naturgetreuen Klangbildes - ein psychologisches Problem*. In: Bericht 8. Tonmeistertagung. Hamburg, 1969.
- Ricordi (1951): VIVALDI, Antonio. *Concerto in sol minore per archi e cembalo*. Milano: Ricordi, 1951.
- Riekehof-Böhmer, H. (2011): RIEKEHOF-BÖHMER, Hans. *Auswirkungen der Diffusfeldkorrelation auf die räumliche Wahrnehmung* [online]. 2011 [cit. 16. ledna 2013]. Dostupný z Internetu: <http://www.hauptmikrofon.de/diplom/BA_Riekehof.pdf>.
- Schlemm, W. (1997): SCHLEMM, Wilhelm. *Musikproduktion*. In: *Die Musik in Geschichte und Gegenwart. Allgemeine Enzyklopädie der Musik*, 6. díl, 2. vydání. Kassel: Ludwig Finscher (vyd.), Bärenreiter, 1997 Sp. 1534-1551
- Schott (1971): NOVÁK, Jan. *Exercitia mythologica, část III. Erato*. Mainz: Schott Music GmbH & Co KG, 1971. ISBN 9790001012454.
- Sengpiel, E. (1992): SENGPIEL, Eberhard. *Grundlagen der Hauptmikrofon-Aufnahmetechnik*. Skripta k přednáškám, UdK Berlin, Musikübertragung, 1992.
- Sengpiel, E. (1994): SENGPIEL, Eberhard. *Lokalisationsschärfe der Hörereignisse* [online]. 1994 [cit. 15. ledna 2013]. Dostupný z Internetu: <<http://www.sengpielaudio.com/Lokalisationsschaerfe.pdf>>.
- Sengpiel, E. (1998): SENGPIEL, Eberhard. *Transaural Stereo - Kunstkopf-Stereofonie über Lautsprecher* [online]. 1998 [cit. 9. března 2014]. Dostupný z Internetu: <<http://www.sengpielaudio.com/TransauralStereo.pdf>>.
- Sengpiel, E. (2002): SENGPIEL, Eberhard. *Stereowiedergabe und Psycho-Akustik* [online]. 2002 [cit. 22. února 2014]. Dostupný z Internetu: <<http://www.sengpielaudio.com/StereowiedergabeUndPsychoAkustik.pdf>>.
- Sengpiel, E. (2005): SENGPIEL, Eberhard. *Unterschiedliche Aufgaben der AB-Mikrofonsysteme* [online]. 2005 [cit. 26. ledna 2014]. Dostupný z Internetu: <<http://www.sengpielaudio.com/UnterschiedlicheAufgabenABMikrofonsysteme.pdf>>.
- Snow, W. B. (1953): SNOW, William B.. *Basic Principles of Stereophonic Sound*. Jour. of the SMPTE, č. 61, str. 567-589, listopad 1953.
- Stoll / Theile (1986): STOLL, G.; THEILE, Günther. *Gegenüberstellung von Lautstärke- und Sondenvergleichsmessungen zur Bestimmung des Kopfhörer-Übertragungsmaßes im Diffusen Schallfeld*. In: Fortschritte der Akustik - DAGA, Oldenburg, 1986, str. 777-780.
- Stolla, J. (2004): STOLLA, Jochen. *Abbild und Autonomie*. Marburg: Tectum Verlag, 2004. ISBN 3-8288-8655-8.

- Syrový, V. (2008) SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2008. ISBN 978-80-7331-127-8.
- Syrový, V. (2009) SYROVÝ, Václav. *Hudební zvuk*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2009. ISBN 978-80-7331-161-2.
- Theile, G. a kol. (1988): THEILE, Günther; WÖHR, Martin; GOERES, Hans-Jürgen; PÖSSELT, Christoph. *Raumbezogene Stütztechnik - eine Möglichkeit zur Optimierung der Aufnahmequalität*. In: Bericht von 15. Tonmeistertagung, 1988.
- Theile, G. a kol. (1991): WÖHR, Martin; THEILE, Günther; GOERES, Hans-Jürgen; PERSTERER, Alexander. *Room-Related Balancing Technique: A Method for Optimizing Recording Quality*. J. Audio Eng Soc Vol. 39, Issue 9, 1981. Str. 623-631.
- Toole, F. E. (1984): TOOLE, Floyd E.. *The Acoustics and Psychoacoustics of Headphones*. In: Audio Eng Soc 2nd International Conference: The Art and Technology of Recording, Ottawa, květen 1984.
- Webers, J. (1985): WEBERS, Johannes. *Tonstudioteknik*. München: Franzis Verlag, 1968.
- Weinzierl, S. (2008): WEINZIERL, Stefan. *Aufnahmeverfahren*. In: *Handbuch der Audio-technik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-34300-4.
- Wendt, K. (1963): WENDT, Klaus. *Das Richtungshören bei der Überlagerung zweier Schallfelder bei Intensitäts- und Laufzeitstereophonie*. Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, doktorská disertace, 1964.
- Williams M. (2010): WILLIAMS, Michael. *The Stereophonic Zoom* [online]. 2010 [cit. 15. ledna 2013]. Dostupný z Internetu: <<http://www.microphone-data.com/media/filestore/articles/Stereo%20zoom-10.pdf>>.
- Wuttke, J. (2000): WUTTKE, Jörg. *Mikrofonaufsätze* [online]. 2. aktualiz. vydání. 2000 [cit. 19. ledna 2013]. Dostupný z Internetu: <http://www.schoeps.de/documents/Mikrofonbuch_komplett.pdf>.