

Mendelova univerzita v Brně  
Provozně ekonomická fakulta

---

# Normalizace hlasitosti audio nahrávek

Bakalářská práce

Vedoucí práce:  
Ing. Vít Ondroušek, Ph.D.

Tomáš Hladný

Brno 2015



Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Fejfarovi, Ph.D. a panu Ing. Vítu Ondrouškovi, Ph.D. za metodické vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Seznam.cz, a.s. za poskytnutí některých dat, které byly po vlastním zpracování využity v rámci dotazníkového průzkumu.



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Normalizace hlasitosti audio nahrávek** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 21. prosince 2015

.....



**Abstract**

Hladný, T. The normalization of loudness of audio recordings. Bachelor thesis. Brno, 2015.

The thesis deals with the methods of the normalization of loudness of audio recordings in digital audio systems. It describes the principles and the properties of the particular methods and compares their advantages and disadvantages. It mentions some of the related standards, recommendations and free software that supports some of the methods of the normalization of loudness.

**Abstrakt**

Hladný, T. Normalizace hlasitosti audio nahrávek. Bakalářská práce. Brno, 2015.

Tato práce se zabývá metodami vyrovnávání hlasitosti u zvukových nahrávek v digitálních audio systémech. Popisuje principy a vlastnosti jednotlivých metod a srovnává jejich výhody a nevýhody. Dále jsou uvedeny některé související normy, doporučení a také volně dostupný software podporující některé metody normalizace hlasitosti.





## Obsah

<b>1 Úvod a cíl práce</b>	<b>11</b>
1.1 Úvod do problematiky . . . . .	11
1.2 Cíl práce . . . . .	11
<b>2 Metodika</b>	<b>12</b>
<b>3 Teoretická část</b>	<b>13</b>
3.1 Základní teoretická východiska . . . . .	13
3.2 Měření hlasitosti . . . . .	21
3.3 Normalizace hlasitosti . . . . .	23
3.4 Přehled existujícího open source software . . . . .	38
<b>4 Porovnání vybraných metod normalizace</b>	<b>40</b>
4.1 Získání testovacích dat . . . . .	41
4.2 Výběr nahrávek . . . . .	41
4.3 Příprava dotazníku . . . . .	42
4.4 Vyhodnocení získaných dat . . . . .	43
<b>5 Diskuze</b>	<b>48</b>
<b>6 Závěr</b>	<b>51</b>
<b>7 Reference</b>	<b>52</b>
<b>Přílohy</b>	<b>56</b>
<b>A Seznam aplikací podporujících metodu ReplayGain</b>	<b>57</b>
<b>B Dotazník</b>	<b>59</b>
B.1 Obecné otázky . . . . .	59
B.2 Hodnocení nahrávek . . . . .	60
B.3 Otázky k poslechové části . . . . .	63
<b>C Grafy s hodnocením jednotlivých nahrávek</b>	<b>64</b>



# 1 Úvod a cíl práce

## 1.1 Úvod do problematiky

Problém rozdílné hlasitosti zvukových nahrávek existoval ještě před nástupem digitální techniky v oblasti zvukové a hudební produkce. Důvodů, proč jsou různé nahrávky vnímány jako rozdílně hlasité, je určitě vícero. Již od počátku používání nahrávací techniky se používala zařízení od různých výrobců. Jednou ze základních příčin tohoto problému může být používání zvukových zařízení s rozdílnými napěťovými úrovněmi. Není možné také fakticky opomenout i samotnou hlasitost zdroje zvuku při počátečním snímání. Přenos signálu v audio řetězci může vyžadovat úpravu signálu a tímto způsobem se může měnit hlasitost původního signálu. V neposlední řadě existuje množství rozdílných norem, které se aplikují při dílčích i konečných úpravách nahrávek v nahrávacích studiích. Nakonec záleží i na citu každého člověka, který se nějakým způsobem podílí na vytvoření zvukové nahrávky. Všechny výše uvedené příčiny se větší či menší mírou podílí na výsledné hlasitosti nahrávky. Konečné slovo má samozřejmě uživatel a záleží na jakém zvukovém zařízení si bude výslednou nahrávku přehrávat a jak si nastaví různé parametry zesílení.

Tato práce se pokusí postupně vysvětlit principy jednotlivých metod normalizace, zjistit zda v určité míře zohledňují již objevené vlastnosti lidského sluchu a dále se pokusí srovnat jejich nejdůležitější výhody a nevýhody.

## 1.2 Cíl práce

Cílem této práce je vybrat takovou metodu normalizace audio nahrávek, která nejlépe zohledňuje specifické vlastnosti vnímání hlasitosti lidským sluchem, a ověřit účinnost této metody na základě dotazníkového šetření na testovacím vzorku posluchačů.

## 2 Metodika

V této kapitole jsou rozepsány jednotlivé části práce, které je nutné provést ke splnění stanovených cílů práce.

1. Vyhledat vhodnou literaturu.
2. Vyhledat existující metody normalizace.
3. Zjistit, jak nalezené metody principiálně fungují.
4. Zhodnotit a vybrat vhodné metody normalizace.
5. Vytvořit testovací sadu dat s nahrávkami.
6. Vytvořit dotazník k hodnocení nahrávek.
7. Provést průzkum na dostatečném vzorku respondentů.
8. Vyhodnotit získané odpovědi od respondentů.
9. Shrnout zjištěné výsledky a případně navrhnout doporučení pro vylepšení stávajících metod.

## 3 Teoretická část

V rámci této kapitoly budou vysvětleny základní termíny a principy jednotlivých prvků, které budou použité v dalším textu.

### 3.1 Základní teoretická východiska

#### Vymezení základních pojmů

Zvuk vzniká rozkmitáním tělesa v prostoru. Vzniklé kmity se šíří pomocí zvukových vln prostředím (např. plynem) od zdroje. Se vzrůstající vzdáleností dochází k útlumu kmitů a v určité vzdálenosti od zdroje zvukové vlny zcela zaniknou. Existence prostředí, které umožňuje přenášet zvukové vlnění, je také zároveň podstatnou podmínkou pro jeho vznik. Za normálních podmínek si tento fakt možná ani neuvědomujeme, ale např. astronauti pracující na opravách různých zařízení (družic) ve vesmíru, musí mít ve skafandru vysílačku z důvodu, že ve vesmíru obecně není žádná atmosféra a tedy žádné prostředí, které by mohlo přenášet zvukové vlny. Z toho plyne, že bez použití vysílaček by se prakticky astronauti v tomto prostoru nemohli hlasem vůbec dorozumívat.

Zvukové vlny mohou být popsány také jako změny tlaku v nosném prostředí (např. plynu). Matematicky lze zvukovou vlnu popsat jako časově závislou funkci tlaku  $p(t)$ . Hodnoty akustického tlaku zajímavé z hlediska lidského sluchu se pohybují řádově od  $10^{-5}$  Pa (práh slyšitelnosti) do  $10^2$  Pa (práh bolesti). Vzhledem k relativně širokému rozsahu hodnot akustického tlaku se zavádí veličina  $L_p$  nazvaná hladina akustického tlaku. (Fastl - Zwicker, 2007, s. 1)

$$L_p = 20 \cdot \log(p/p_0) \text{ dB} \quad (1)$$

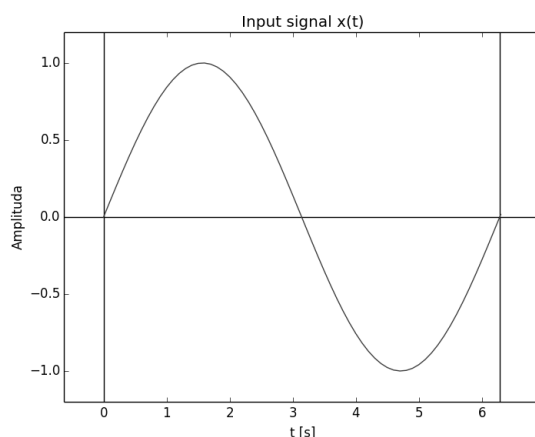
kde  $p$  je naměřený akustický tlak,

$p_0$  je referenční hodnota tlaku, tj.  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

Jednotku označená dB se nazývá decibel a její využití není zdaleka jenom v oblasti popisu zvukových signálů, ale také se používá např. při popisu útlumu signálů ve vodičích a v mnoha dalších případech. Jednotka samotná je bezrozměrná a používá se při popisu logaritmických závislostí, což znamená, že je často použit matematický výraz velmi podobný výše uvedenému vztahu 1. Podrobněji je vysvětleno použití této jednotky např. v literatuře (Everest - Pohlmann, 2009).

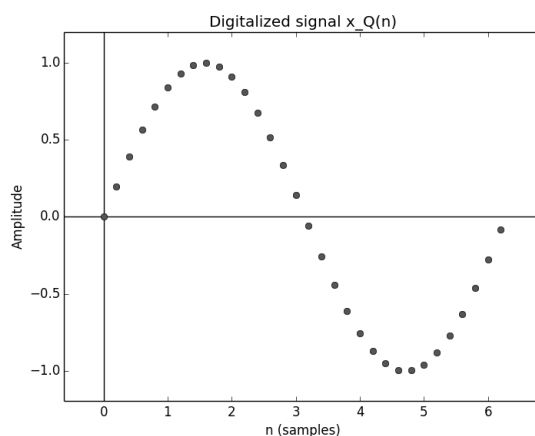
#### Zpracování zvukového signálu

Při zpracování audio signálů pomocí digitálních systémů včetně počítače je nutné převést tyto signály z analogové do digitální formy. Analogové signály (viz obr. 1) jsou v zásadě tvořeny spojitým tokem dat tzn. elektrické signály jsou neustále přenášeny po vodičích.



Obrázek 1: Spojitý (analogový) signál před převodem

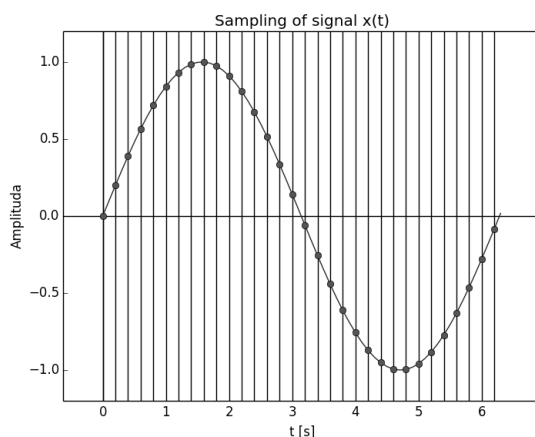
Naproti tomu digitální přenos dat probíhá ve většině případů nespojitě (v diskrétním čase), tzn. že data jsou v přenášená po vodičích vždy pouze v určitém časovém intervalu. Při převodu signálu z analogové do digitální formy (viz obr. 2) se převádí signál s teoreticky nekonečným rozlišením do formy konečné se stanovením určitého rozlišení (tj. přesnosti signálu).



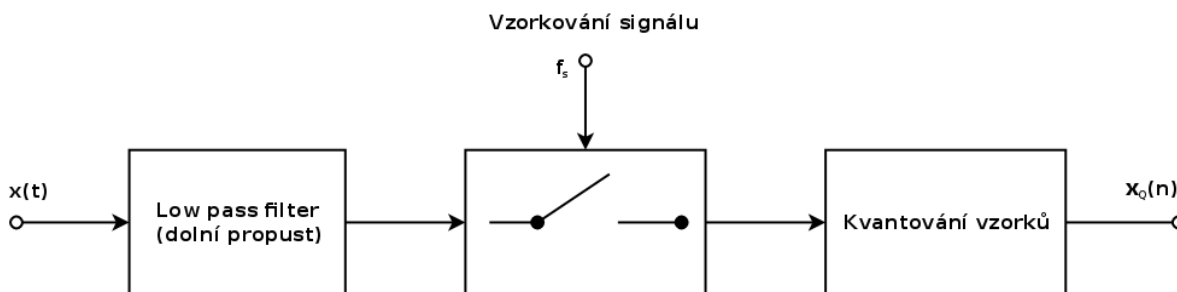
Obrázek 2: Výstupní nespojitý (diskrétní, digitální) signál

Tato operace probíhá ve třech krocích jak je znázorněno na obr. 4. Nejprve analogový signál prochází filtrem typu dolní propust tím dochází k ořezání frekvencí vyšších než je polovina vzorkovací frekvence  $f_s$ . Podle Nyquistova-Shannonova teorému je k rekonstrukci původního spojitého signálu potřeba, aby vzorkovací frekvence  $f_s$  byla alespoň dvakrát větší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky obsažené v původním signálu. Aby tato podmínka byla splněna, jsou ořezány všechny vyšší harmonické složky pomocí filtru typu dolní propust, který propouští pouze frekvence nižší než je Nyquistova frekvence. Poté je vždy v určitém časovém intervalu přeč-

tena okamžitá hodnota signálu z výstupu filtru, což je vyobrazeno na obr. 3. Tato hodnota je následně převedena na odpovídající binární číslici. Při převodu dochází nutně ke ztrátě informací a to jednak v oblasti časové (jsou vybírány pouze hodnoty napětí v určitých časových intervalech) a dále při převodu vstupního napětí na odpovídající binární hodnotu, kdy je hodnota napětí zaokrouhlena na nejbližší možnou hodnotu.



Obrázek 3: Navzorkovaný signál při kvantování



Obrázek 4: Zjednodušené schéma A/D převodníku

Takto získaný signál je již možné dále zpracovávat číslicovými systémy. Jedním z důvodů, proč se vůbec přistupuje k převodu analogového signálu na digitální, je mnohokrát vyšší odolnost proti elektromagnetickému rušení při přenosu signálu mezi různými zvukovými zařízeními. Dalším důvodem pro užití digitálního systému může být snadná manipulovatelnost se získanými daty. Zde by bylo vhodné uvést příklad z praxe: Před nástupem digitální techniky v hudební produkci bylo nutné provést většinu operací v rámci tvorby nahrávky uvnitř nahrávacího studia (od nahrávání nástrojů, úpravy stop, mix až po mastering nahrávek), které poskytovalo pro tyto účely adekvátní i jinde velmi těžko dostupné vybavení. Pořízení potřebného studiového vybavení představovalo velmi finančně náročnou investici. Bylo prakticky nemožné, aby si jednotlivci či i větší hudební uskupení mohli pořídit taková zařízení.

Naproti tomu v současnosti je možné velké množství operací v rámci tvorby nahrávky provést v prostředí domácího studia. Audio hardwarová zařízení pro jeho vybavení se staly oproti minulosti cenově dostupnějšími. Velkou mírou se na tom podílí přechod na digitální audio systémy, které umožnily zjednodušit elektronický návrh zařízení a nahradit funkce některých analogových obvodů digitálními.

Z pohledu hudebních producentů je však možné zaznamenat ještě jednu podstatnou změnu. Dnes je prakticky možné nahrát jednotlivé nástroje v rámci nahrávky nezávisle na sobě (v různých časových okamžicích). V případě, že se např. určitý úsek během zpěvu při natáčení nahrávky nezdaří, lze takovou část nahrát několikrát a později vybrat nejlepší výsledek či ho dokonce složit z vícero částí. Také je možné si snadno přenést roztočený materiál z profesionálního studia či zkušebny do domácího studia, tento materiál si doma dále upravit a přenést takto upravený materiál zpět do profesionálního studia k finálním úpravám a následnému vyhotovení.

Navíc taková možnost práce s nahrávkou umožňuje provést úpravy bez zanášení dalšího zkruslení signálu v případě, že veškeré zpracování a přenos signálu mezi jednotlivými zařízeními probíhá digitálně. Toto samozřejmě neplatí, pokud jsou při úpravách využívána analogová zařízení, u kterých nutně dochází před zpracováním vlastního signálu k převodu do analogové formy a po jeho zpracování zpět do digitální formy. Zkruslení, které během toho vzniká na D/A a A/D převodnicích nemusí být úplně zanedbatelné. Také analogový přenos signálu méně kvalitními (např. nestíněnými) kabely na větší vzdálenosti může být předmětem nežádoucího zkruslení či rušení signálu. Proto je vhodné omezit používání takových kabelů, případně jimi co nejvíce omezit přenos na velké vzdálenosti. V oblastech, kde se používají audio zařízení, která mohou být zdrojem silného elektromagnetického rušení či používají např. transformátory, používat pouze k tomu určené stíněné kabely.

Při úpravách signálu na digitálních zařízeních (v osobních počítačích či zařízeních obsahující specializované obvody (DSP, Digitální Signální Procesory) pro úpravu digitálních signálů), může docházet k dalším ztrátám přesnosti informací z důvodů omezené kapacity paměti daných zařízení (velikost registrů a vyrovnávacích bufferů) nebo díky vlastnostem použitých algoritmů.

## Ukládání dat

Ukládání již převedených digitálních audio informací probíhá nejčastěji prostřednictvím metody tzv. Pulzní-kódové modulace (PCM). Mezi zařízení využívající tento formát kódování pro ukládání audia se řadí např. hudební nosiče CD-DA (Compact Disk Digital Audio), které jsou používány jako datové medium pro reprodukci hudebních nahrávek v přehrávačích kompaktních disků (obsažených např. v Hi-fi věžích, přehrávačích určených pro domácí kina, apod.). Jedná se v současnosti o nejčastější komerčně využívaný fyzický nosič hudebních nahrávek.

Jako další příklad použití PCM lze uvést souborový formát WAVE (Waveform Audio File Format), jenž je často používán pro ukládání dat určených pro pozdější



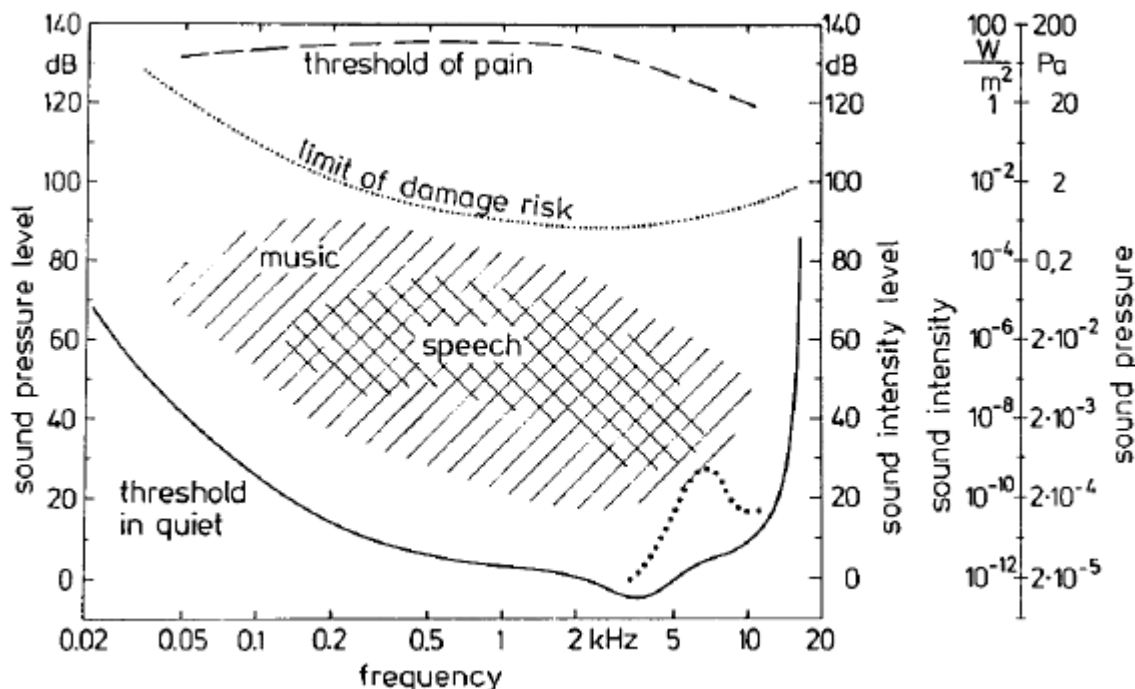
úpravy a dále jako interní formát, se kterým pracuje mnoho aplikací při úpravě audia. Tento formát také umožňuje použít bezztrátové ukládání dat, což znamená, že nedochází ke ztrátám informací a je možné z dat uložených v tomto formátu rekonstruovat původní signál. Souborový formát WAVE podporuje také jiné metody kódování(kodeky) dat, např.  $\mu$ -law, ADPCM, GSM apod. Tyto metody však mají spíše specializované využití. Souborových formátů využívajících metodu PCM existuje samozřejmě více, lze uvést např. AIFF, VOB. I pro tyto formáty je však možné využít i jiné kodeky.

Dalšími často používanými souborovými formáty oblíbenými zejména u koncových posluchačů hudebních nahrávek jsou soubory, které ukládají data pomocí ztrátových kompresních kodeků. Ztrátové kompresní kodeky umožňují úspornější uložení dat díky vypuštění některých informací, jejichž odstranění má velmi malý vliv na kvalitu nahrávky pro posluchače. U většiny kodeků je také možné nepřímo určit množství vypuštěných informací volbou stupně komprese či zadáním hodnoty datového toku. Některé kodeky a formáty se staly postupem času značně populárními, jako příklad lze uvést formát MPEG-1 Audio Layer III, zkráceně označovaný pouze jako mp3. I když dnes je již tento kodek překonán, stále se těší velké popularitě mezi uživateli především díky jeho velké podpoře ze strany výrobců různých audio zařízení určených pro použití běžnými posluchači.

Také novější kodeky a formáty souborů nabízí podobné možnosti nastavení komprese, jaké je možné zvolit u formátu mp3. S tím jak se postupně rozvíjejí znalosti o vlastnostech sluchového sensorického systému člověka, jsou stále vylepšovány způsoby využití ztrátové komprese audia a nové kodeky tak umožňují uložit stejná data, se zachováním srovnatelné kvality na menším prostoru, než jak je tomu u starších kodeků. Příklady souborových formátů podporujících novější kodeky jsou např. aac, m4a, mp4, ogg, wma atd.

### **Vlastnosti lidského sluchu**

Literatura uvádí, že průměrný člověk je schopen vnímat zvukové vjemy v rozsahu přibližně od  $20\text{Hz}$  do  $20\text{kHz}$ . S vyšším věkem horní hranice citlivosti postupně klesá a tak dochází k horšímu vnímání zvukových vjemů obsahujících vysoké frekvence. Uvedený rozsah citlivosti však platí pro poslech čistých tónů při dobře odpočinitém sluchu. Vzhledem k tomu, že sluchový systém člověka reaguje na zvukové podněty v různých pásmech (hloubky (bass), středy(middle), výšky (treble)) různou hlasitostí, je také práh slyšitelnosti rozložen nelineárně, jak je vidět na obr. 5.



Obrázek 5: Oblast sluchu, tj. oblast mezi prahem slyšitelnosti (threshold in quiet) a prahem bolesti (threshold of pain). (Fastl - Zwicker, 2007, s. 17)

Na tomto obrázku je také vidět, že lidský sluch je nejcitlivější na zvukové podněty v pásmu od přibližně 2 do 4 kHz. Toto pásmo je velmi důležité z hlediska lidské komunikace, objevují se zde nejvýraznější prvky řeči. Z tohoto důvodu se při přenosu signálu telefonními linkami používá přenosové pásmo nejméně 8 kHz. Jak již bylo dříve uvedeno, pro rekonstrukci spojitého signálu z diskrétního je potřeba použít alespoň dvojnásobnou vzorkovací frekvenci, zde platí stejný princip.

Další důležitou informací uvedenou na obr. 5 je hranice akustického tlaku při níž dochází při dlouhodobém či opakovaném vystavení k trvalému poškození sluchu. Jak je vidět na uvedeném obrázku, je tato hranice závislá na frekvenci daného zvukového podnětu. Podle informací uvedených v (Fastl - Zwicker, 2007, s. 18) by neměl být lidský sluch vystaven zvukům nacházejícím se v nejcitlivějším pásmu při hladině akustického tlaku 100 dB déle než 50 minut a při hodnotě 110 dB by doba neměla překročit 5 minut za den.

V každém případě by ve vysoce hlučném prostředí měly být používány příslušné ochranné pomůcky (pěnové ušní chrániče, protihluková sluchátka apod.). V tabulce 1 jsou uvedeny některé zdroje hluků a jimi vytvářené hodnoty akustického tlaku a přibližné hodnoty hlasitosti získané měřením s následným použitím A-váhové křivky.

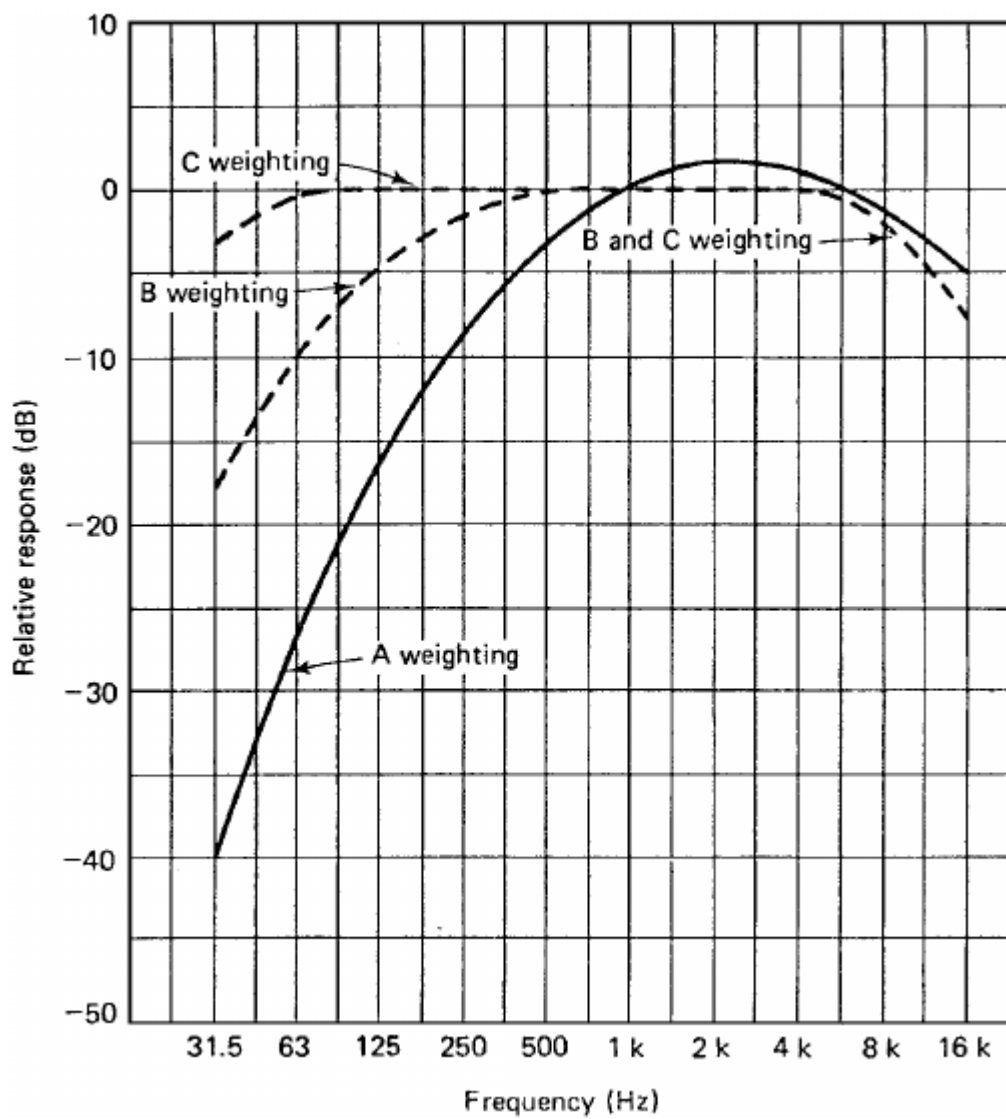
### Váhovací křivky

Váhovací křivky se používají ke korekci naměřených hodnot při měření hlasitosti z důvodu, že člověk obecně nevnímá zvukové podněty s různou frekvencí jako stejně

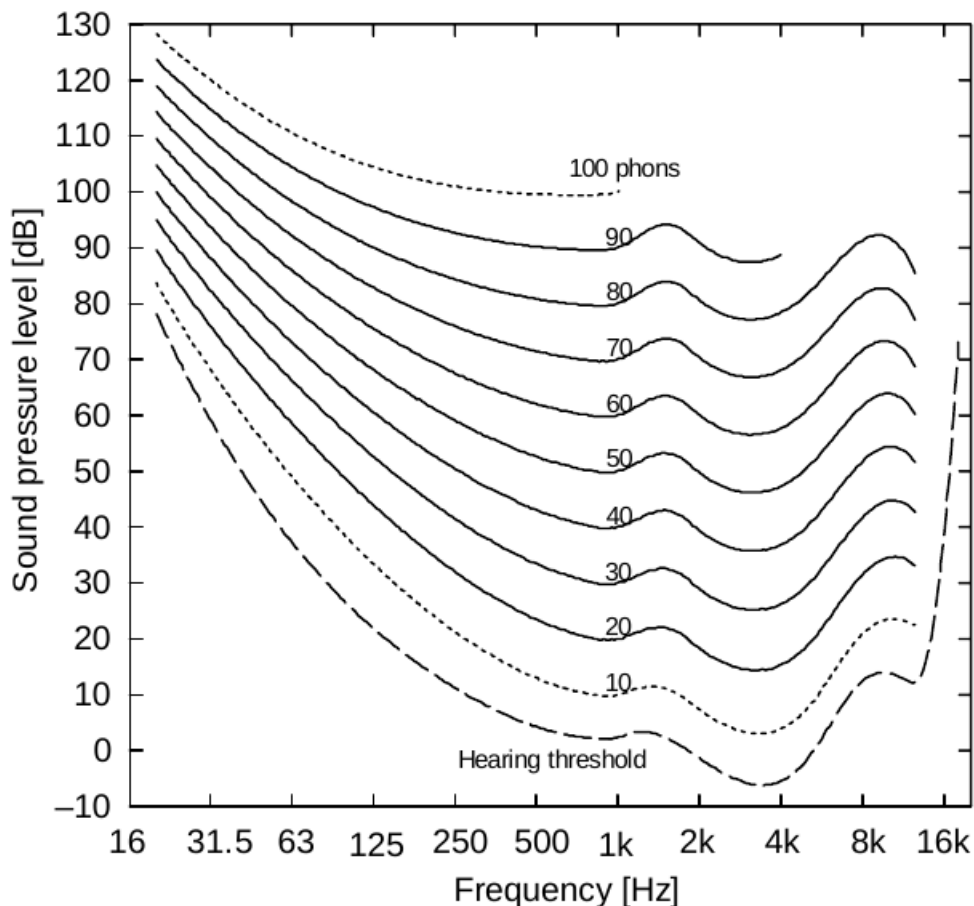
Tabulka 1: Různé zdroje hluku a jejich odpovídající hlasitost (Everest - Pohlmann, 2009)

Zdroj hluku	Akustický tlak [Pa]	Odpovídající hlasitost
Práh slyšitelnosti	$2 \cdot 10^{-5}$ Pa	00 dB
Šustění listí	$2 \cdot 10^{-4}$ Pa	20 dB
Ticho v domácnosti	$2 \cdot 10^{-3}$ Pa	40 dB
Rozhovor	$2 \cdot 10^{-2}$ Pa	60 dB
Hlučná kancelář	$2 \cdot 10^{-1}$ Pa	80 dB
Nákladní doprava	$2 \cdot 10^0$ Pa	100 dB
Hydraulická nýtovačka	$2 \cdot 10^1$ Pa	120 dB
Vrtulová letadla	$2 \cdot 10^2$ Pa	140 dB
Tryskové motory	$2 \cdot 10^3$ Pa	160 dB
Raketa Saturn	$1 \cdot 10^5$ Pa	194 dB

hlasité. Jak však uvádí (Fastl - Zwicker, 2007, s. 205), hodnoty upravené pomocí váhovacích křivek odpovídají subjektivnímu vnímání hlasitosti zvukových podnětů člověkem pouze pro sinusové tóny a úzkopásmové šумы při nízké úrovni hlasitosti. Každá z váhovacích křivek se používá při jiné úrovni hlasitosti. Váhovací křivka typu A se používá pro měření zvuků do úrovně hlasitosti 55 dB. Váhovací křivka typu B pro úroveň hlasitosti od 55 do 85 dB a váhovací křivka typu C se používá pro úroveň nad 85 dB. (Raichel, 2006, s. 53)



Obrázek 6: Frekvenční charakteristika váhovacích křivek typu A, B a C používaných při měření hlasitosti. (Raichel, 2006, s. 54)



Obrázek 7: Nové křivky jednotné hlasitosti (equal-loudness contour), na jejichž vytvoření se podíleli výzkumníci z několika zemí. Křivky byly upraveny na základě několika výzkumů, jenž proběhly od doby vydání původní normy a výsledky z těchto výzkumů byly použity na vytvoření nového standardu ISO 226:2003, který tak nahrazuje starší normu ISO 226:1987. (Suzuki, Yōiti, et al, 2003)

### 3.2 Měření hlasitosti

Pro měření hlasitosti je používáno několik různých metod, některé z těchto metod umožňují lépe popsat zvukový signál a provést potom např. srovnání hlasitosti jednotlivých zvukových nahrávek.

Pro účel měření hlasitosti audio signálů bylo během vývoje audio techniky vytvořeno několik různých metod měření a způsobů zobrazování průběžných charakteristik zvukových a hudebních nahrávek. Některé z metod se dnes již prakticky téměř nepoužívají, protože bylo zjištěno, že jejich celková vypovídací hodnota o hlasitosti signálu je velmi malá. Velmi podstatný vliv z hlediska vývoje těchto metod měl především rozvoj znalostí o vlastnostech lidského sluchu. Informace o hlasitosti hraje významnou roli během všech fází zpracování signálu v celém audio řetězci. Před samotným nahráváním zdroje zvukového signálu je velmi vhodné provést zkušební

nahrávku zdroje a poté zkontrolovat a případně upravit zesílení hlasitosti na takovou hodnotu, při níž nedochází k překročení maximální úrovně hlasitosti použitého záznamového zařízení, protože to by v případě digitálního záznamu mělo za následek nežádoucí zkreslení nahrávky. Současně je také vhodné, aby hlasitost zesílení nebyla příliš nízká, neboť by nebyl využíván celý dynamický rozsah zařízení a zbytečně by tak docházelo ke snížení odstupů signálu od šumu (SNR) a tím i k možnému snížení kvality záznamu. Úroveň zesílení hlasitosti je nutné volit také s ohledem na hlasitost dalších zdrojů zvuku použitých ve výsledné nahrávce. I v dalších fázích zpracování signálu (míchání, mastering nahrávky) hraje významnou roli hlasitost a použitá metoda jejího měření a zobrazení. Ve fázi výroby zvukových nahrávek je z hlediska normalizace hlasitosti nejdůležitější částí fáze masteringu, která má velký podíl na konečné hlasitosti nahrávky. V současnosti je nejvíce kritizovanou fází výroby zvukových záznamů právě fáze masteringu, kde je stále více a více zvyšována hlasitost i za cenu významného snížení celkové kvality takto upravených nahrávek. V této souvislosti není možné nezmínit takzvanou válku hlasitostí (ang. loudness war). Tento pojem se dle literatury (Vickers, 2010, s. 1) používá pro označení setrvávajícího trendu v navyšování hlasitosti hudebních nahrávek, prodávaných na kompaktních discích, vysílaných v rámci rádií apod. Tento termín by si zasloužil podrobnější vysvětlení a proto bude více rozebrán v následujících řádcích. Další informace o této problematice je možné nalézt např. v literatuře (Katz, 2002).

### **Válka hlasitostí (Loudness war)**

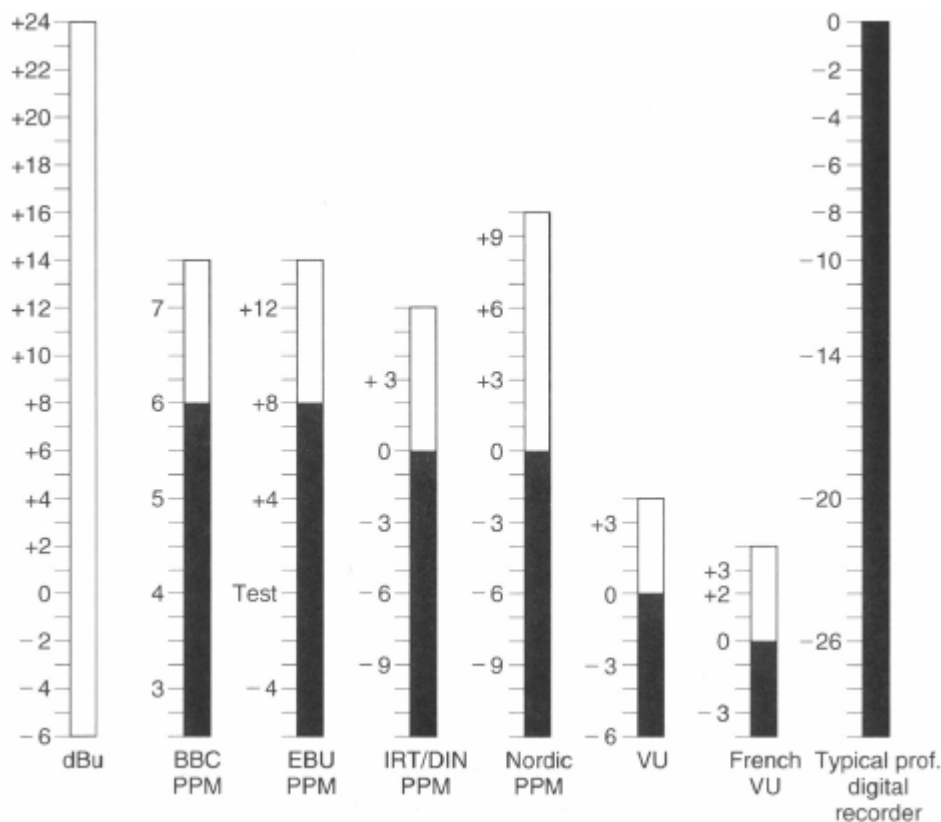
Jak již bylo uvedeno dříve, tento jev není rozhodně záležitostí, která se objevila během několika předchozích let. Počátek tohoto jevu lze nalézt mnohem dříve ještě v době distribuce hudebních nahrávek na gramofonových deskách (někdy také nesprávně označovaných jako LP). V tomto období se nejednalo o problém takových rozměrů, do kterých se rozrostl až do současnosti.

Nahrávky jsou v současné době obvykle upraveny takovým způsobem, aby jejich úroveň hlasitosti dosahovala maximální možné hranice daného přenosového media a zároveň je uměle upravován jejich dynamický rozsah s použitím nástrojů pro kompresi dynamického rozsahu tak, aby nahrávka byla v podstatě neustále „velmi blízko nule“. To znamená, že hlasitost je neustále téměř stejná a nahrávkám tedy chybí klidnější i výraznější pasáže. Tento jev také v praxi znamená, že je celková kvalita nahrávky obvykle znatelně snížena a při porovnání s nahrávkami vytvořenými dříve lze prohlásit, že jsou zpracovány mnohem kvalitněji než ty současné. A to i když jsou v současnosti používány audio systémy s mnohem větším dynamickým rozsahem.

### **Měření hlasitosti**

Hlasitost je možné měřit více způsoby, lze zobrazovat okamžitou hodnotu úrovně signálu, lze zobrazovat průměrnou hodnotu hlasitosti za určitý čas nebo je možné zobrazovat maximální hodnotu hlasitosti za určitý čas (tzv. integrační doba). Vzhledem ke skutečnosti, že takto naměřené a zobrazované hodnoty musí být srovnatelné

s hodnotami naměřenými zařízeními různých výrobců, je velmi důležité, aby výrobci vycházeli ze stejných norem. Normy přesně popisují chování měřiče, uvádí se např. jaké hodnoty má zobrazovat měřič při určitém budícím vstupním signálu. Toto chování se také někdy označuje jako balistika měřiče. Kromě odlišné balistiky se mohou jednotlivé měřiče lišit také stupnicí (jak je vidět na obr. 8).



Obrázek 8: Různé druhy indikátorů, v jednotlivých oblastech se používají různé stupnice pro indikaci úrovně hlasitosti zvukového signálu. (Schimmel, 2004, s. 52)

Analogové měřiče úrovně hlasitosti sestávají z měřicího obvodu, který obsahuje integrační článek, a dále z voltmetru, který slouží k zobrazení naměřených hodnot. Vlastnosti integračního článku určují chování měřiče. V digitálních systémech se pro zobrazování úrovně hlasitosti používají měřiče, které jsou často odvozené z původních analogových měřičů. Je samozřejmě nutné, aby byla zachována balistika původního měřiče. Dalším požadavkem jsou obvykle co nejnižší výpočetní nároky. (Schimmel, 2004)

### 3.3 Normalizace hlasitosti

Podobně jako u měřicích zařízení i normalizaci hlasitosti audia lze provádět podle různých měřítek. Jak se uvádí v (EBU Tech 3343, 2011, s. 15-16) často používa-

nou metodou bylo normalizovat hlasitost podle špičkových hodnot v signálu (ang. peak normalisation). Při uvedeném způsobu normalizace byly sice srovnány (normalizovány) špičkové úrovně v rámci nahrávky, ale hlasitost se v rámci různých částí nahrávky mohla značně lišit. Pro porovnání normalizace podle hlasitosti umožňuje dosáhnout srovnatelné průměrné úrovně hlasitosti v rámci celé nahrávky s tím, že se samozřejmě v nahrávce mohou dále vyskytovat tišší i hlasitější pasáže (např. různé zvukové efekty). Účelem normalizace podle hlasitosti není omezit dynamický rozsah nahrávky, ale pouze vyrovnat celkovou hlasitost mezi rozličnými nahrávkami. (EBU Tech 3343, 2011, s. 15-16).

### Norma EBU R 128

Norma EBU R 128 pojednává o normalizaci hlasitosti a stanovuje také maximální povolené úrovně hlasitosti audio signálu. V rámci normy jsou definovány určité klíčové termíny používané v dokumentech týkajících se této normy a dále také metoda použitá k měření hlasitosti audio signálu. Tato metoda je vhodná k normalizaci hlasitosti audio signálů rozličného obsahu - např. zvukové složky v rámci hudebních skladeb, filmové hudby, reklamy, sportovních přenosů, zpravodajství apod. (EBU Tech 3343, 2011, s. 9)

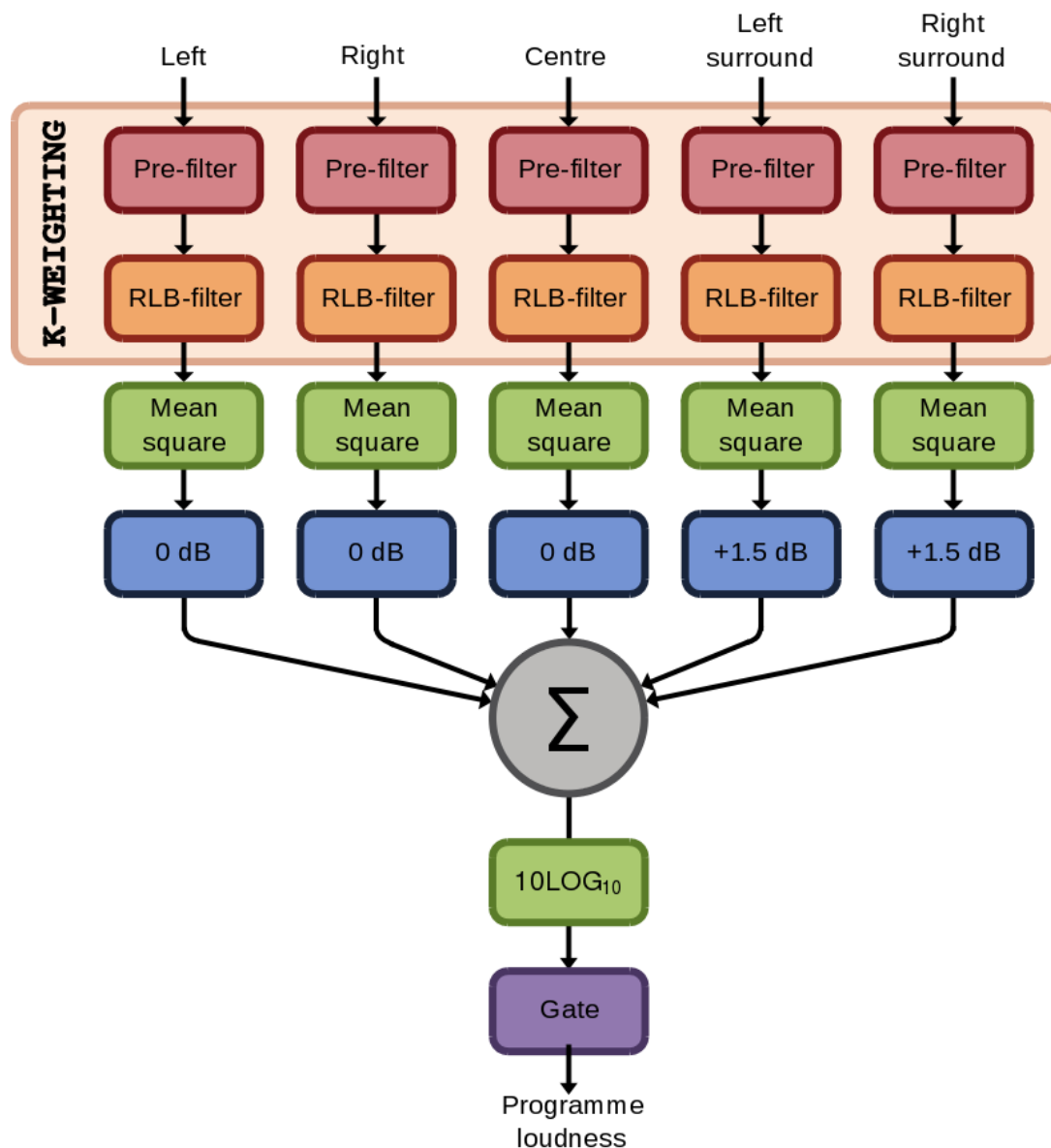
Důležité termíny jsou zejména *pořad (Programme)*, *hlasitost pořadu (Programme loudness)*, *rozsah hlasitosti (Loudness range (LRA))*, *maximální skutečná špičková úroveň (Maximum true peak level)*. (EBU R 128, 2014, s. 5)

- **Pořad** - Individuální, samostatný audiovizuální nebo pouze zvukový materiál určený k prezentaci v rozhlase, televizi nebo jiných elektronických médiích. V této souvislosti je třeba reklamy, upoutávky, propagační materiály, vsuvky a podobné materiály považovat za pořad.
- **Hlasitost pořadu** - hlasitost integrovaná po dobu trvání pořadu - hlasitost pořadu se vyjadřuje hodnotou úrovně hlasitosti pořadu (v LUFS);
- **Rozsah hlasitosti** - popisuje rozložení hlasitosti v rámci pořadu;
- **Maximální skutečná špičková úroveň** - maximální hodnota křivky zvukového signálu programu v kontinuální časové doméně;

Konečná **úroveň hlasitosti pořadu** by měla být podle normy EBU R 128 normalizována na hodnotu **-23,0 LUFS**. Povolená odchylka by obecně neměla přesáhnout  $\pm 0,5$  LU. Vzhledem ke skutečnosti, že není možné ve všech případech toto dodržet (např. u živých vysílání), je pro takové případy povolena odchylka  $\pm 1,0$  LU. Maximální povolená skutečná špičková úroveň během výroby pořadu by měla odpovídat **-1 dBTP** (dB True Peak) za předpokladu, že je měření prováděno na měřiči splňující požadavky uvedené v dokumentu (ITU-R BS.1770-3, 2012) a současně i v dokumentu (EBU Tech 3341, 2011).



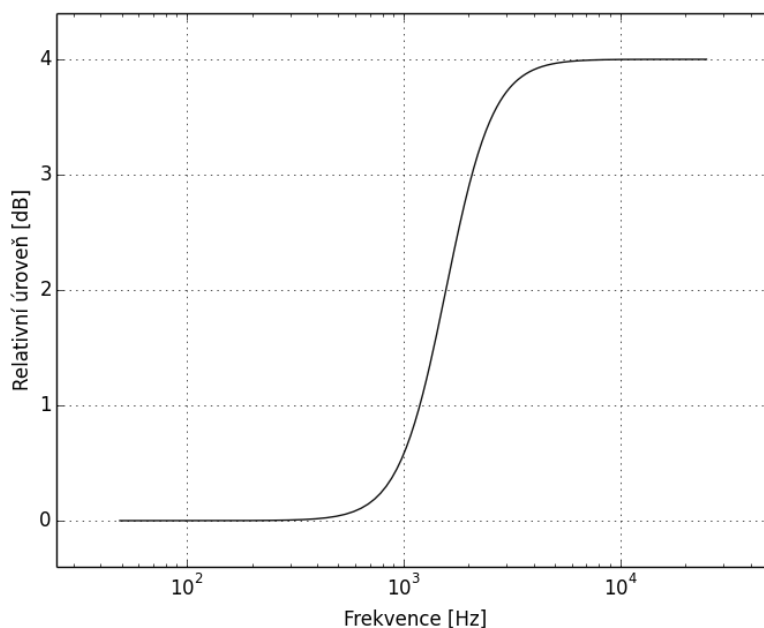
## Metoda ITU-R BS.1770-3



Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma jednotlivých komponent algoritmu podle popisu uvedeného v dokumentu (ITU-R BS.1770-3, 2012, s. 3)

Zpracování jednotlivých zvukových kanálů (levý, pravý, středový, levý prostorový a pravý prostorový kanál) u vícekanálové nahrávky probíhá samostatně. Algoritmus ITU-R BS.1770-3 nepoužívá k výpočtu celkové hlasitosti programu kanál nízkofrekvenčních efektů (LFE - Low Frequency Effects). Samotný algoritmus probíhá ve čtyřech různých fázích.

V první fázi dochází k aplikaci tzv. K-frekvenčního váhování, které se skládá ze dvou kroků. Nejprve signál z každého kanálu vstupuje do tzv. pre-filtru, jak je vidět na obr. 10. Tento filtr slouží k namodelování akustických vlastností lidské hlavy. Hlava je v tomto případě modelována jako tuhá koule. V dalším kroku signál prochází tzv. RLB-filtrem, jehož frekvenční odezva je zobrazena na obr. 11. Úkolem tohoto filtru je zohlednit specifické vlastnosti lidského sluchu.



Obrázek 10: Frekvenční odezva pre-filtru, který slouží k zohlednění akustických vlivů hlavy. Tento filtr hřebenového typu zesiluje signál v pásmu středních a vyšších frekvencí. (ITU-R BS.1770-3, 2012)

V druhé fázi je vypočítán kvadratický průměr pro každý kanál. Následně je každé vypočítané hodnotě přiřazena určitá váha podle toho, jaký vliv má daný kanál na celkově vnímanou hlasitost programu.

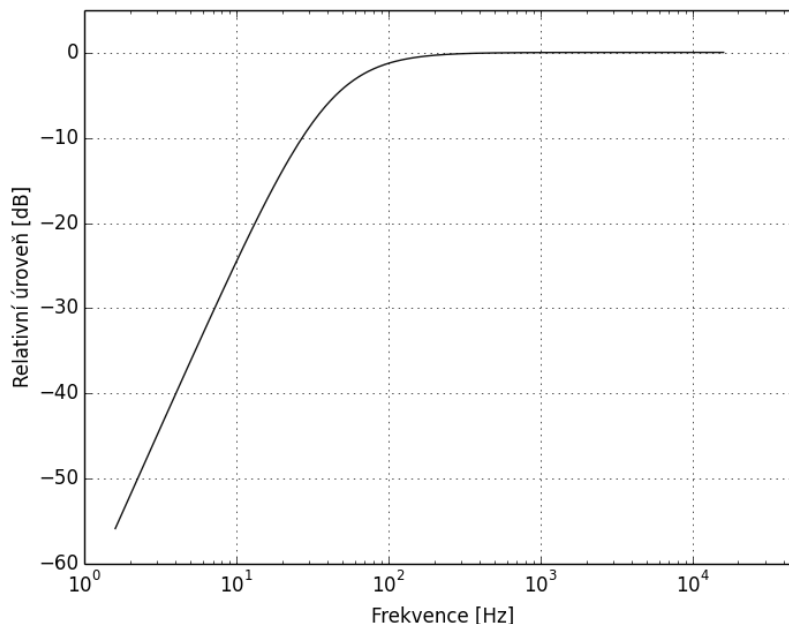
Obecný vztah pro výpočet energie je

$$z_i = \frac{1}{T} \int y_i^2 dt \quad (2)$$

kde  $T$  je časový interval, ve kterém je provedeno měření,  
 $y_i^2$  je signál zpracovaný již zmíněnými filtry,  
 $i$  je index určující číslo zpracovaného kanálu,

V další fázi jsou všechny hodnoty sečteny a nakonec je vypočtena celková hlasitost programu.

V dokumentu ITU-R BS 1770-3 jsou uvedeny údaje nutné pro správnou implementaci algoritmu měření hlasitosti. Pro implementaci filtrů použitých v algoritmu



Obrázek 11: Frekvenční odezva RLB-filtru, který zohledňuje některé vlastnosti lidského sluchu, především vnímání rozdílné hlasitosti zvukových podnětů s různou frekvencí. (ITU-R BS.1770-3, 2012)

jsou v tomto dokumentu uvedeny hodnoty koeficientů daných filtrů. Oba filtry jsou popsány pomocí přenosových funkcí druhého řádu. Účelem prvního filtru je zohlednit akustické vlastnosti hlavy. První filtr je hřebenový filtr 2. řádu (shelving filter). Druhý filtr má za úkol zohlednit odlišné vnímání hlasitosti zvukových podnětů s různou frekvencí. Tento filtr je typu horní propust a jedná se ve své podstatě o aplikaci zobecněných váhovacích hlasitostních křivek. Při použití koeficientů uvedených v dokumentu ITU-R BS 1770-3 se předpokládá, že vstupní signály jsou navzorkovány se vzorkovací frekvencí  $f_s = 48$  kHz. Pro signály s jinou vzorkovací frekvencí je nutné provést výpočet nových koeficientů takovým způsobem, aby byla zachována stejná frekvenční odezva filtrů jako při původních hodnotách koeficientů. Vzhledem ke skutečnosti, že velké množství audio zařízení určených pro použití v domácnosti podporuje nejčastěji data se vzorkovací frekvencí  $f_s = 44,1$  kHz a také standard kompaktních audio disků používá zvuková data se vzorkovací frekvencí 44,1 kHz, je tedy velmi vhodné pro skutečnou implementaci koeficienty těchto filtrů přepočítat, tak aby bylo možné použít výslednou aplikaci i v podmínkách běžných domácností.

Jak je uvedeno v literatuře (Zölzer, 2008) přenosovou funkci 2. řádu lze obecně popsat pomocí vztahu 3. Koeficienty určují konkrétní charakteristiku přenosové funkce a tedy i způsob jejího využití jako filtru. Filtry lze obecně rozdělit na filtry s konečnou impulzní odezvou (tzv. FIR filtry) a na filtry s nekonečnou impulzní odezvou (označované IIR filtry někdy také jako rekurzivní filtry). Implementace filtrů

v digitálních systémech pomocí rekurzivních filtrů umožňuje obecně použít přenosové funkce nižších řádů oproti implementaci filtrů plnicích stejnou funkci s pomocí FIR filtrů, a to při zachování stejné přesnosti výpočtů. Nižší řád přenosové funkce použité k implementaci filtru znamená v praxi menší výpočetní dobu nutnou pro běh algoritmu. Příslušná funkce a její obecný tvar přenosové funkce lze vyjádřit následujícím vztahem.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}} \quad (3)$$

kde  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  jsou koeficienty filtru.

Pro výpočet koeficientů filtru se používají následující pomocné vztahy - 4 a 5.

$$K = \tan\left(\frac{\pi F_c}{F_s}\right) \quad (4)$$

kde  $F_c$  je střední frekvence,  
 $F_s$  je vzorkovací frekvence,

$$V_0 = 10^{\left(\frac{\text{gain}}{20,0}\right)} \quad (5)$$

kde proměnná *gain* určuje zesílení filtru.

Filtr v první fázi algoritmu (tzv. pre-filter) je filtrem hřebenového typu. Tento filtr lze popsat pomocí přenosové funkce 2. řádu s koeficienty  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  vypočítanými s použitím následujících vztahů. Výjimkou je koeficient  $b_0$ , který se nevypočítává podle žádného vztahu, ale je jednoduše roven hodnotě 1.

$$a_0 = \frac{V_0 + \sqrt{2V_0}K + K^2}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{2(K^2 - V_0)}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{V_0 - \sqrt{2V_0}K + K^2}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (9)$$

$$b_2 = \frac{1 - \sqrt{2}K + K^2}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (10)$$

kde  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  jsou koeficienty filtru.

Tabulka 2: Tabulka s koeficienty použitými v přenosové funkci definované vztahem č. 3. Tato funkce prakticky realizuje první část algoritmu tzv. pre-filter. Koeficienty jsou vypočítány pro použití ve filtru se vstupními daty s vzorkovací frekvencí  $f_s = 48kHz$ . (ITU-R BS.1770-3, 2012, s. 4)

Koeficient	Hodnota
$a_0$	1,0
$a_1$	-1,69065929318241
$a_2$	0,73248077421585
$b_0$	1,53512485958697
$b_1$	-2,69169618940638
$b_2$	1,19839281085285

Druhý filtr použitý v algoritmu je filtr typu horní propust (angl. high-pass filter), který propouští složky signálu až od určité minimální frekvence.

$$a_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (11)$$

$$a_1 = \frac{-2}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (12)$$

$$a_2 = \frac{1}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (13)$$

$$b_1 = \frac{2(K^2 - 1)}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (14)$$

$$b_2 = \frac{1 - \sqrt{2}K + K^2}{1 + \sqrt{2}K + K^2} \quad (15)$$

kde  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  jsou koeficienty filtru,

Tabulka 3: Tabulka s koeficienty použitými v přenosové funkci definované vztahem č. 3. Tato funkce prakticky realizuje druhou část algoritmu tzv. RLB-filter. Koeficienty jsou vypočítány pro použití ve filtru se vstupními daty s vzorkovací frekvencí  $f_s = 48kHz$ . (ITU-R BS.1770-3, 2012, s. 4)

Koeficient	Hodnota
$a_0$	1,0
$a_1$	-1,99004745483398
$a_2$	0,99007225036621
$b_0$	1,0
$b_1$	-2,0
$b_2$	1,0

Vstupní data jsou po zpracování oběma výše uvedenými filtry rozdělena pro účely výpočtu hlasitosti na úseky (bloky) zvukových dat o délce trvání 400 ms. Každý blok se překrývá s předchozím blokem v 75 % dat. To prakticky znamená, že vždy je načten blok o délce 400 ms a následně se ukazatel na vstupní data posune o 100 ms dále. (Vysvětlení: 1. blok tvoří zvukové vzorky v intervalu od 0 ms do 400 ms, 2. blok tvoří zvukové vzorky v intervalu od 100 ms do 500 ms, 3. blok tvoří zvukové vzorky v intervalu od 200 ms do 600 ms, atd.) Důležité je také poznamenat, že bloky dat, které jsou neúplné (tj. několik posledních bloků, které se nacházejí na konci intervalu měření), se při výpočtu hlasitosti nepoužijí. Průměrná hodnota zvukových vzorků v bloku  $j$  se vypočítá pomocí následujícího vztahu:

$$z_{ij} = \frac{1}{T_g} \int_{T_g \cdot j \cdot step}^{T_g \cdot (j \cdot step + 1)} y_i^2 dt \quad (16)$$

$$j \in \left\{0, 1, 2, \dots, \frac{T - T_g}{T_g \cdot step}\right\} \quad (17)$$

kde  $T_g$  definuje velikost bloku v časových jednotkách (400 ms),  
 $j$  je číslo bloku,  
 $step$  definuje velikost skoku mezi bloky,  
 $step = 1 - overlap$  definuje velikost kroku,  
 $overlap$  definuje míru překrývání jednotlivých bloků,

Průměrná hlasitost zvukových vzorků v bloku  $j$  je daná vztahem:

$$l_j = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot z_{ij} \quad (18)$$

kde  $G_i$  je příslušná váha určující vliv daného zvukového kanálu na celkově vnímanou hlasitost

V případě, že je při výpočtu hlasitosti používáno hradlování hodnot, pak se „hradlovaná“ hlasitost  $L_{KG}$  vypočítá pomocí následujícího vztahu č. 23.

$$L_{KG} = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left( \frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) LKFS \quad (19)$$

kde  $J_g$  je množina indexů těch bloků dat, jejichž hlasitost vypočítaná pomocí vztahu č. 18 je vyšší než hodnota hradlovacího práhu  $\lceil$  (tj. matematicky vyjádřeno  $J_g = \{j : l_j > \lceil\}$ ).  
 $|J_g|$  je počet prvků této množiny

Hradlování hodnot spočívá ve dvou krocích. Nejprve je výpočet proveden s absolutní hodnotou práhu a následně získáme relativní hradlovanou hodnotu práhu. Přitom relativní hodnota je vypočítána změřením hlasitosti s použitím absolutního práhu  $\lceil_a = -70$  LKFS a následným odečtením hodnoty 10 z výsledku. Postup výpočtu je následující:

$$\lceil_r = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left( \frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) - 10 LKFS \quad (20)$$

kde

$$J_g = \{j : l_j > \lceil_a\} \quad (21)$$

$$\lceil_a = -70 LKFS \quad (22)$$

Hradlovaná hlasitost se poté vypočítá s užitím relativního práhu  $\lceil_r$  následovně:

$$L_{KG} = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot \left( \frac{1}{|J_g|} \cdot \sum_{J_g} z_{ij} \right) LKFS \quad (23)$$

kde

$$J_g = \{j : l_j > \lceil_r\} \quad (24)$$

Tabulka 4: Tabulka s váhovými koeficienty určujícími vliv jednotlivých zvukových kanálů na celkově vnímanou hlasitost. (ITU-R BS.1770-3, 2012, s. 9)

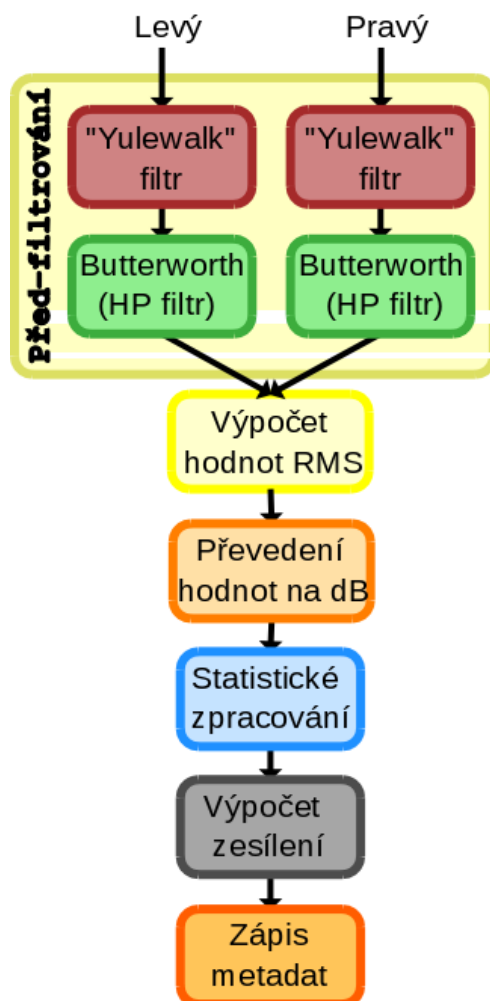
Koeficient	Hodnota
Levý kanál ( $G_L$ )	1,0 (0 dB)
Pravý kanál ( $G_R$ )	1,0 (0 dB)
Středový kanál ( $G_C$ )	1,0 (0 dB)
Levý prostorový kanál ( $G_{LS}$ )	1,41 ( $\sim +1,5dB$ )
Pravý prostorový kanál ( $G_{RS}$ )	1,41 ( $\sim +1,5dB$ )

## Replay Gain 1

Replay gain je neformální standard, který definuje metody dosažení normalizované hlasitosti u hudebních nahrávek. Tato metoda byla navržena pro normalizaci hlasitosti již hotových nahrávek, aby nebylo nutné při přehrávání jednotlivých nahrávek v náhodném pořadí pocházejících od více autorů, z několika alb či různých zdrojů, neustále regulovat hlasitost z důvodu použití rozdílných "norem určování hlasitosti" a také užitých nástrojů ve výrobní fázi při výrobě nahrávky.

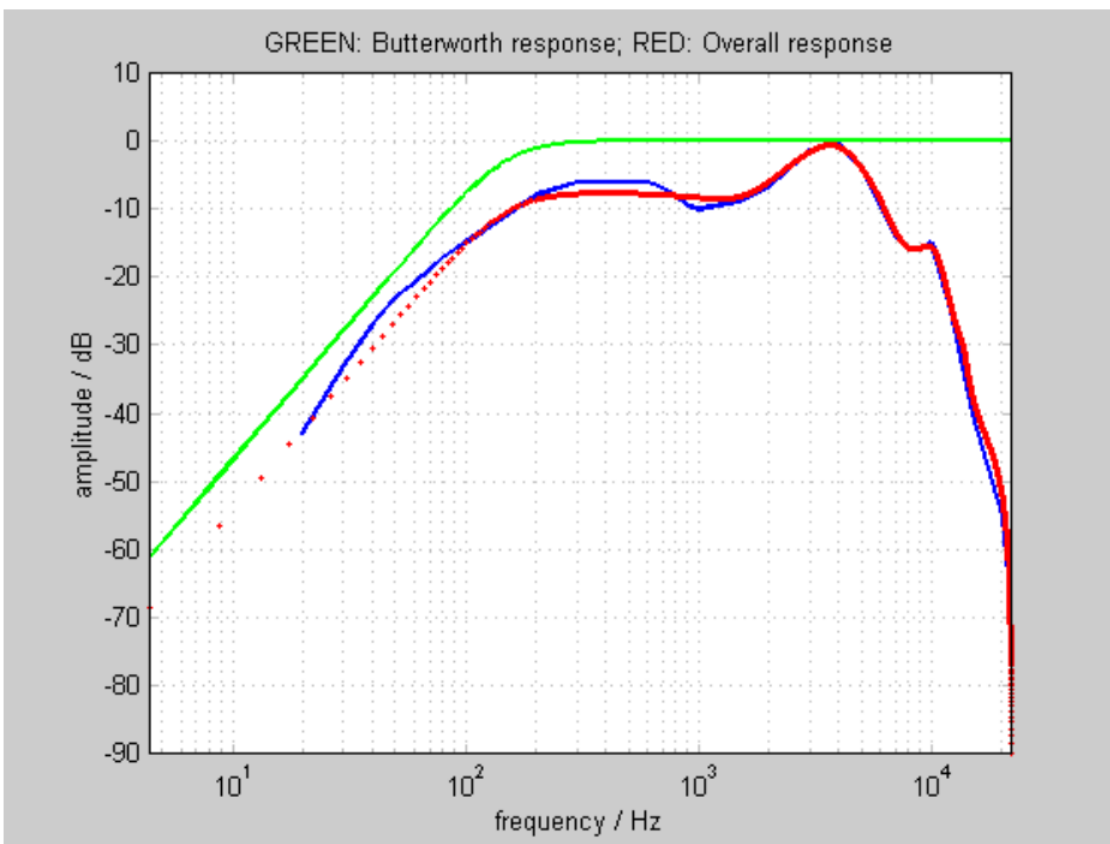
Replay gain ve svém specifikačním dokumentu (ReplayGain 1.0 specification, 2014) definuje nejen způsob výpočtu hlasitosti obecně, ale i způsob implementace v nástrojích, které uživatelé používají pro přehrávání nahrávek. Koncept Replay gainu je založen na tom, že nedochází k úpravám samotných audio dat, ale do zvukového souboru je přidána pouze informace o maximální špičkové hodnotě a doporučené hodnotě zesílení signálu, a to jednou pro konkrétní skladbu a dále pro celé album.





Obrázek 12: Zjednodušené blokové schéma jednotlivých komponent algoritmu Replay gain sestavené podle popisu uvedeného v dokumentu (ReplayGain 1.0 specification, 2014).

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny současně frekvenční odezvy několika filtrů. Zelenou barvou je vyobrazena frekvenční odezva Butterworthova filtru 2. řádu fungujícího jako horní propust s hraniční frekvencí 150 Hz. Modrou barvou je vyznačena požadovaná frekvenční odezva výsledného filtru. Replaygain používá kombinaci dvou filtrů, již zmíněného Butterworthova a dále tzv. „yulewalk“ IIR filtru 10. řádu, který velmi přesně aproximuje požadovanou odezvu ve vyšších frekvencích. Použitím obou filtrů v kombinaci je k dispozici filtr, který se námi požadované frekvenční odezvě velmi blíží.



Obrázek 13: Odezva filtru, který se používá u metody ReplayGain. (ReplayGain 1.0 specification, 2014)

Tabulka 5: Koeficienty Butterworthova filtru 2. řádu pro použití při zpracování dat v běžných audio systémech a pro použití v profesionálnějších zařízeních. Pro zpracování zvukových dat s jinou vzorkovací frekvencí je nutné provést úpravu koeficientů takovým způsobem, aby byla zachována stejná frekvenční odezva filtru. (ReplayGain 1.0 specification, 2014)

Koeficienty	Hodnoty ( $f_s = 44 \text{ kHz}$ )	Hodnoty ( $f_s = 48 \text{ kHz}$ )
$a_0$	1,0	1,0
$a_1$	1,96977855582618	1,97223372919527
$a_2$	-0,97022847566350	-0,97261396931306
$b_0$	0,98500175787242	0,98621192462708
$b_1$	-1,97000351574484	-1,97242384925416
$b_2$	0,98500175787242	0,98621192462708

Tabulka 6: Koeficienty definující tzv. "Yulewalk" filtr (ReplayGain 1.0 specification, 2014)

Koeficienty	Hodnoty ( $f_s = 44 \text{ kHz}$ )	Hodnoty ( $f_s = 48 \text{ kHz}$ )
a <sub>1</sub>	3,47845948550071	3,84664617118067
a <sub>2</sub>	-6,36317777566148	-7,81501653005538
a <sub>3</sub>	8,54751527471874	11,34170355132042
a <sub>4</sub>	-9,47693607801280	-13,05504219327545
a <sub>5</sub>	8,81498681370155	12,28759895145294
a <sub>6</sub>	-6,85401540936998	-9,48293806319790
a <sub>7</sub>	4,39470996079559	5,87257861775999
a <sub>8</sub>	-2,19611684890774	-2,75465861874613
a <sub>9</sub>	0,75104302451432	0,86984376593551
a <sub>10</sub>	-0,13149317958808	-0,13919314567432
b <sub>0</sub>	0,05418656406430	0,03857599435200
b <sub>1</sub>	-0,02911007808948	-0,02160367184185
b <sub>2</sub>	-0,00848709379851	-0,00123395316851
b <sub>3</sub>	-0,00851165645469	-0,00009291677959
b <sub>4</sub>	-0,00834990904936	-0,01655260341619
b <sub>5</sub>	0,02245293253339	0,02161526843274
b <sub>6</sub>	-0,02596338512915	-0,02074045215285
b <sub>7</sub>	0,01624864962975	0,00594298065125
b <sub>8</sub>	-0,00240879051584	0,00306428023191
b <sub>9</sub>	0,00674613682247	0,00012025322027
b <sub>10</sub>	-0,00187763777362	0,00288463683916

Při výpočtu hlasitosti nahrávky se využívá hodnota kvadratického průměru RMS (Root Mean Square). Vstupní signál po zpracování oběma výše uvedenými filtry je rozdělen na úseky (bloky) dat o délce 50 ms. Následně je pro každý blok vypočítána hodnota RMS pomocí následujícího vztahu:

$$L_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (25)$$

kde  $x_i$  je jednotlivá hodnota vzorku,  
 $n$  je celkový počet vzorků v jednom bloku o délce 50 ms.

Po vypočtení hodnot RMS v jednotlivých blocích se tyto hodnoty převedou na hlasitost vyjádřenou v decibelech (dB) pomocí následujícího vztahu

$$L = 20 \log_{10} \frac{2L_{RMS}}{L_p - p} \quad (26)$$

kde  $L_{RMS}$  je hodnota RMS,  
 $L_{p-p}$  je maximální rozdíl mezi špičkovými hodnotami vzorků ve zvukovém souboru (maximum peak-to-peak range).

Metoda replaygain vychází z předpokladu, že největší vliv na vnímání celkové hlasitosti nahrávky mají hlasité části, které se objevují v rámci nahrávky.

Z tohoto důvodu jsou dříve vypočtené hodnoty RMS z jednotlivých bloků seřazeny podle jejich hodnoty do číselné řady. Poté je vybrána hodnota okolo 95%, která nejlépe odpovídá tomu, jak člověk vnímá celkovou hlasitost.

Způsob jakým je určena hodnota referenční úrovně hlasitosti vychází ze standardu definovaného profesním sdružením SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers), nicméně není použita přímo hodnota uvedená v tomto standardu, ale je upravena pro potřeby práce s audio signály na celkovou vyšší úroveň hlasitosti. Hodnota je definována takovým způsobem, že odpovídá hlasitosti signálu nesoucího růžový šum, jehož úroveň hlasitosti vypočítané jako RMS hodnota (postupem uvedeným výše) je -14 dB (vztaženo k celé stupnici sinusoidy. Více informací je možné nalézt v dokumentu (ReplayGain 1.0 specification, 2014).

Míra celkového zesílení (zeslabení) nahrávky závisí na konkrétních naměřených hodnotách hlasitosti, které jsou poté srovnány s již uvedenou referenční hodnotou -14 dB. Hodnota zesílení se vypočítá pomocí následujícího vztahu:

$$RG = L_{n14} - L \quad (27)$$

kde  $RG$  je hodnota zesílení (zeslabení) vypočtená podle metody Replay Gain,  
 $L_{n14}$  je naměřená hlasitost odpovídající referenční hodnotě -14 dB,  
způsobem jak byl definován výše,

$L$  je zjištěná hlasitost zvukového souboru podle vztahu č. 26

Podrobnější informace o metodě Replay Gain jsou samozřejmě součástí dokumentu (ReplayGain 1.0 specification, 2014), kde jsou popsány také další připomínky a požadavky nutné při implementaci této metody do zvukových souborů různých formátů a také do dalšího aplikačního software.

## Replay Gain 2

U metody Replay Gain 2 došlo k nahrazení výše popsaného algoritmu výpočtu hodnoty zesílení. Metoda Replay Gain 2 již využívá stejný algoritmus, který je využit i u metody EBU R128 a který je definovaný v dokumentu ITU-R BS.1770-3. Důležitá je ovšem skutečnost, že metoda Replay Gain 2 používá referenční hodnotu -18 LUFs (odpovídá referenční úrovni hlasitosti u metody Replay Gain 1). Pro porovnání metoda EBU R128 používá referenční úroveň hlasitosti -23 LUFs. Z rozdílu referenčních hodnot lze odvodit, že nahrávky normalizované metodou Replay Gain

---

1 a Replay Gain 2 by měly být obecně hlasitější než stejné nahrávky normalizované normou EBU R128-2010 a EBU-R128-2011.

### 3.4 Přehled existujícího open source software

V současné době existuje několik softwarových aplikací pro normalizaci hlasitosti audio souborů. A to v různém provedení od aplikací, které provedou pouze analýzu zvukových vzorků a následně do souboru zapíší informaci o vhodném zesílení/zeslabení jako rozšiřují metadata s použitím např. jednoho z následujících formátových schémat - ID3v2, Vorbis comments a APEv2. Tento přístup je velmi výhodný v tom, že je možné ho aplikovat na již dříve zpracované zvukové soubory a je možné provést tuto operaci bez úpravy vlastních zvukových dat. Další velmi užitečnou vlastností tohoto přístupu je fakt, že tak nabízí konečnému posluchači možnost si vybrat mezi původní hlasitostí zvukových dat tak jak byla vydána a nebo naopak hlasitostí navrženou zvukovým algoritmem, který může hlasitost přizpůsobit vzhledem k hlasitosti ostatních zvukových souborů. Možnost této volby je důležitá a proto by měl mít posluchač vždy na výběr.

Je nutné podotknout, že tuto funkcionalitu musí samozřejmě podporovat i zařízení, které používá posluchač k přehrání hudebního media. Tato funkcionalita může být ovšem obecně implementována jak v softwarových přehrávačích, tak i samostatných přehrávacích zařízeních (discmany, kapesní mp3 přehrávače, systémy domácího kina, apod.). Zatímco u přehrávacího software existuje v některých případech alespoň částečná podpora některých funkcí pro vyrovnávání hlasitosti, u hardwarových zařízení většinou podporu této funkcionality nenacházíme.

Informace o podporovaných operačních systémech, dostupnosti zdrojových kódů, současné stabilní verzi aplikace a datumu jejího vydání uvedené v obou následujících tabulkách byly získány z oficiálních webových stránek jednotlivých aplikací. URL adresy webových stránek jsou uvedeny v tabulkách 11 a 12 v části s přílohami, které se nacházejí na konci práce.

Aplikace uvedené v tabulce 7 umožňují v případě použití metody ReplayGain zapsat do zvukových souborů informaci ve formě metadat a takové informace může později využít přehrávací software k nastavení vhodné hlasitosti.

Tabulka 7: Seznam aplikací podporujících zápis metadat metody ReplayGain.

Název aplikace	Podporované OS	Podpor. metody	Zdrojový kód	Aktuální verze	Naposledy aktualizováno
bs1770gain	linux, win	RG	ano	0.4.1	29.01.2015
flac	linux, win, ...	RG	ano	1.3.1	25.11.2014
lame	linux, win, ...	RG	ano	3.99.5	28.02.2012
mp3gain	win	RG	ano	1.5.2	04.08.2010
Quod Libet	linux, win, mac	RG	ano	3.4.0	09.04.2015
R128GAIN	linux, win	RG, R128	ano	1.0.11	26.11.2014
rgain	?	RG	ano	1.3.3	09.10.2014

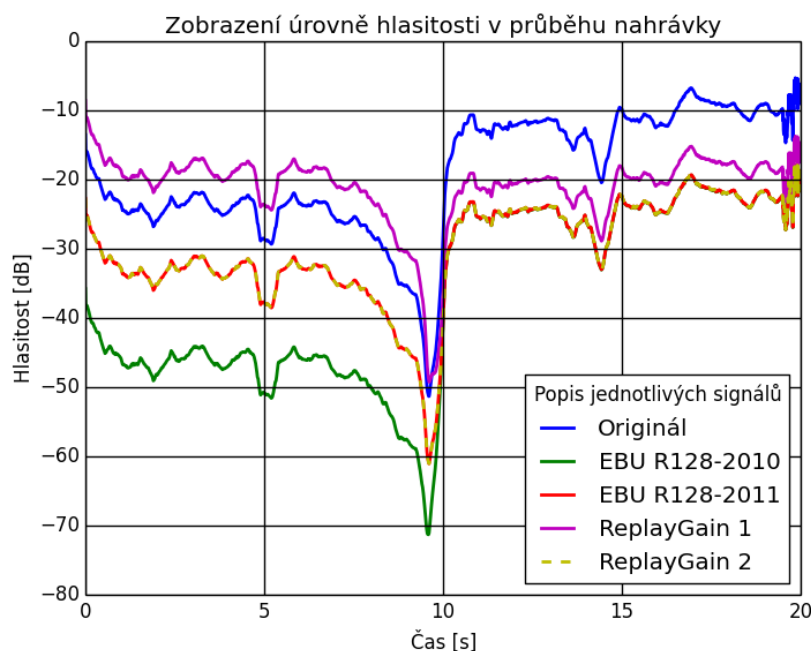
Většina aplikací uvedených v následující tabulce jsou přehrávače zvukových nebo jiných multimediálních souborů, které nabízejí množství dalších funkcí, např. nástroje pro správu knihovny hudebních souborů, úpravu dodatečných informací u multimediálních souborů (název skladby, jméno interpreta, název alba, rok vydání, žánr, ...), atd. Podporováno je také mnoho běžných formátů zvukových souborů.

Tabulka 8: Seznam aplikací podporujících metodu ReplayGain.

Název aplikace	Podpora OS	Zdrojový kód	Aktuální verze	Naposledy aktualizováno
Amarok	linux, win, mac	ano	2.8.0	16.08.2013
Audacious	linux, win	ano	3.6.1	03.04.2015
Banshee	linux, win (alpha)	ano	2.6.2	18.02.2014
Clementine	linux, win, mac	ano	1.2	13.10.2013
Cmus	linux	ano	2.6.0	11.08.2014
DeaDBeeF	linux, mac, android	ano	0.6.2	05.08.2014
Exaile	linux, win, mac	ano	3.4.5	27.04.2015
Foobar2000	win	ne	1.3.8	26.03.2015
Gmusicbrowser	linux	ano	1.1.14	19.03.2015
JavaTunes	linux, win, mac, ...	ne	5.4	18.01.2013
Mixxx	win, mac, (linux)	ano	1.12b	?
mpg123	linux, win	ano	1.22.1	01.04.2015
mpd	linux, win	ano	0.19.9	06.02.2015
Quod Libet	linux, win, mac	ano	3.4.0	09.04.2015
Rhythmbox	linux	ano	3.2	29.03.2015
Songbird	win, mac	ano	2.2.0	22.05.2013
Sox	linux, win, mac, ...	ano	14.4.2	22.02.2015
vlc	linux, win, mac, ...	ano	2.2.1	13.04.2015
XBMC (KODI)	linux, win, mac, ...	ano	14.2	?
XMPay	win	ne	3.8.1.12	?

## 4 Porovnání vybraných metod normalizace

Pro srovnání jednotlivých metod byl vytvořen jednoduchý skript v programovacím jazyce Python, který zobrazuje hlasitost nahrávky v závislosti na čase. Pro normalizaci hlasitosti nahrávek byly použity metody EBU R128 ve verzích 2010 a 2011, dále byla použita metoda ReplayGain ve verzích 1 a 2. Metoda ReplayGain 1 používá svůj vlastní algoritmus pro výpočet hlasitosti nahrávky. ReplayGain 2 již používá stejný algoritmus jako metoda EBU R128, tj. algoritmus specifikovaný v dokumentu ITU-R BS.1770. Jak je vidět na následujícím obrázku všechny metody mění hlasitost normalizované nahrávky v celém jejím průběhu rovnoměrně. Dále je vidět, že normalizované verze nahrávek jsou tišší. Nahrávky normalizované metodami EBU R128-2010, EBU R128-2011 a metodou ReplayGain 2 jsou téměř stejně hlasité, to je s velkou pravděpodobností způsobeno skutečností, že tyto metody používají stejný algoritmus pouze s drobnými odlišnostmi v nastavení parametrů. Zde je velmi důležité poznamenat, že u metody ReplayGain byl upraven parametr referenční hlasitosti na stejnou hodnotu jako používá metoda EBU R128 tj. 23 LUFS. Důvodů pro úpravu tohoto parametru je vícero. Za prvé by ponechání původní hodnoty tohoto parametru vedlo v konečném důsledku k vyšší hlasitosti nahrávky a metody by tedy nebylo možné zcela srovnat. Dalším důvodem, proč byl tento krok nutný, je skutečnost, že norma EBU R128 byla vypracována právě pro účely sjednocení hlasitosti vysílaného obsahu (vysílání rádiových stanic, televizní vysílání, atd.) a měla by tak být pro provozovatele tohoto vysílání závazná.



Obrázek 14: Porovnání hlasitostí nahrávky normalizované různými metodami



Vzhledem ke skutečnosti, že hlasitost je subjektivní veličina a je tedy obecně vnímána každým člověkem odlišně, bylo by velmi vhodné provést nejen objektivní srovnání pomocí výpočtu hlasitosti, ale i subjektivní srovnání na dostatečně velkém vzorku posluchačů s použitím testovacích nahrávek. Objektivní porovnání metod normalizace hlasitosti bylo provedeno pomocí metody měření hlasitosti, tak jak bylo popsáno výše. Pro subjektivní srovnání hlasitosti bylo nutné získat nejprve nahrávky na jejichž základě bylo možné provést vlastní vyhodnocení posluchači.

## 4.1 Získání testovacích dat

Testovací nahrávky lze v zásadě získat několika možnými způsoby. Za prvé je možné si vytvořit takovéto nahrávky sám, nicméně tato možnost je spíše teoretická, neboť vyžaduje jednak určité znalosti a zkušenosti v oblasti tvorby hudby, dále schopnost hrát alespoň na některý hudební nástroj a samozřejmě i nápady na kompozice jednotlivých skladeb. Nepochybně by byl tento způsob také nesmírně časově i finančně náročný a navíc by výsledné nahrávky nemusely ani příliš odpovídat skutečným nahrávkám. V neposlední řadě tento způsob ani nesleduje příliš výzkumné cíle této práce. Další cestou jak získat testovací nahrávky, je pokusit se vyhledat na internetu takové hudební nahrávky u nichž autoři zvolili takovou licenci, která umožňuje jejich volné využití (tj. některá díla s licencí typu CC (Creative Commons)).

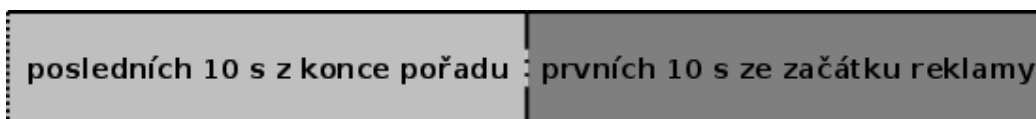
Jako další cesta k získání testovacích nahrávek se v případě této závěrečné práce nabízela možnost oslovit přímo společnost Seznam. Tato společnost, respektive její divize Stream.cz, měla zájem na zpracování problematiky normalizace hlasitosti audio nahrávek a proto podala návrh na zadání tématu závěrečné práce. Zadání závěrečné práce bylo na základě tohoto požadavku později vloženo do informačního systému závěrečných prací. Po konzultaci s pracovníky, kteří mají ve společnosti Seznam na starost zpracování multimediálních dat, a mým vedoucím závěrečné práce, bylo zadání upraveno do současné podoby. Vzhledem k jejich požadavku na zpracování problematiky normalizace audio nahrávek s rozličným obsahem (televizní pořady, reklamy, hudební nahrávky) bylo nejvhodnější oslovit právě tuto společnost, protože se prostřednictvím své internetové televize Stream.cz zabývá poskytováním různého audiovizuálního obsahu.

Po oslovení společnosti a později po konzultaci se zodpovědnými pracovníky o požadavcích na testovací data, byl získán přístup k některým nezpracovaným (nenormalizovaným) audio materiálům. Z těchto audio materiálů bylo nutné nejprve vybrat odpovídající nahrávky.

## 4.2 Výběr nahrávek

Při výběru nahrávek bylo nutné pracovat s audio materiálem, který byl dán k dispozici. Touto skutečností byl omezen i jejich výběr, nicméně materiály odpovídaly požadavkům na rozličnost obsahu. Po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto

o vytvoření 10 zvukových sad. Každá testovací nahrávka byla vytvořena tak, že prvních 10 sekund nahrávky tvoří posledních 10 sekund z konce zvukového záznamu pořadu či hudební nahrávky a následujících 10 sekund je naopak tvořeno prvními 10 sekundami ze zvukového záznamu reklamy. Názorněji je to vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 15: Rozdělení nahrávky na pořad a reklamu

Toto rozhodnutí také znamenalo, že bylo nutné vybrat minimálně 10 záznamů některého z pořadů či hudebních nahrávek a 10 různých zvukových záznamů reklamy. Vzhledem ke skutečnosti, že problematický je z hlediska hlasitosti především přechod mezi dvěma zvukovými záznamy, bylo po konzultaci s vedoucím rozhodnuto o vytvoření přechodu mezi zvukovým záznamem pořadu a zvukového záznamu reklamního spotu. Vybrané záznamy 10 pořadů a 10 reklam jsem sestříhal ve zvukovém editoru Audacity a nechal jsem vždy posledních 10 sekund z konce záznamu pořadu a následně jsem sestříhal zvukový záznam reklamy. V tomto případě jsem použil pouze prvních 10 sekund z reklamy. Nakonec jsem oba takto upravené zvukové záznamy (každý o délce 10 sekund) spojil dohromady.

Tento postup jsem zopakoval u všech 20 zvukových záznamů (10 záznamů pořadů a 10 záznamů reklam) a vzniklo tak 10 zvukových testovacích sad. Nahrávky byly normalizovány následovně: nahrávka A metodou EBU R128-2010, nahrávka B metodou EBU R128-2011, nahrávka C metodou ReplayGain 1 a nahrávka D metodou ReplayGain 2.

### 4.3 Příprava dotazníku

Po vytvoření testovacích nahrávek bylo nutné vypracovat dotazník k hodnocení testovacích nahrávek. V tomto bodě existovaly dvě různé možnosti jak vytvořit vlastní dotazník. Prvním způsobem by bylo vytvoření klasického dotazníku v vytištěné podobě. Tento způsob by vyžadoval jednak osobní předání a především distribuce vlastních testovacích nahrávek by byla mnohem problematictější. Proto bylo rozhodnuto o vytvoření elektronického dotazníku pomocí webového nástroje Google formuláře od společnosti Google. Takto vytvořený dotazník obsahoval i pokyny ke stažení připravených testovacích nahrávek ve formě jednoho komprimovaného souboru. Tento soubor si respondenti uložili do počítače, rozbali a postupně si přehráli jednotlivé testovací nahrávky a následně provedli jejich hodnocení. Dotazníky byly respondentům distribuovány prostřednictvím služby elektronické pošty (e-mail) ve formě zpráv s žádostí o vyplnění, krátkým popisem a odkazem na vytvořený dotazník.

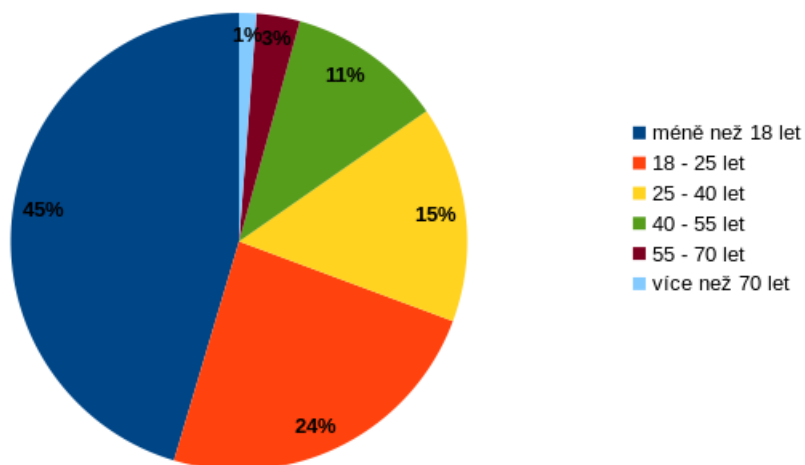
Samotný dotazník obsahuje otázky rozdělené do tří skupin. V první části, ve které jsou otázky spíše obecného charakteru, se zajímáme o zařazení respondenta do věkové skupiny a ptáme se na respondentem nejčastěji poslouchaný druh hudby, kvalitu respondentova sluchu a obvyklé pracovní prostředí z hlediska míry okolního hluku. V další části již následují vlastní otázky k hodnocení testovacích nahrávek v rámci jednotlivých zvukových sad. V každé sadě jsou připraveny 4 nahrávky normalizované různými metodami (resp. lišící se nastavením parametrů metod). Úkolem respondenta je vybrat takovou nahrávku, která dle jeho názoru (vzniklého na základě poslechu) nejlépe zní z hlediska hlasitosti. Respondent v každé sadě vždy označí takto pouze jednu nahrávku. V poslední části dotazníku respondent odpovídá na dotazy týkající se poslechové části. Zde se zajímáme o to jaké zařízení respondent použil k poslechu nahrávek, v jakém prostředí z hlediska okolního hluku respondent nahrávky poslouchal.

#### 4.4 Vyhodnocení získaných dat

V rámci dotazníkového šetření bylo osloveno velké množství respondentů, ale bylo nutné počítat se skutečností, že ne všichni oslovení si poslechnou připravené nahrávky, vyplní a odešlou dotazník. Nakonec bylo získáno hodnocení testovacích nahrávek od celkem 163 respondentů ze všech věkových kategorií, nicméně největší zastoupení má věková kategorie mladší 18-ti let. Další věkové kategorie mají postupně se zmenšující zastoupení.

Na následujícím obrázku je zobrazen koláčový graf vyjadřující rozložení věku respondentů na základě zařazení respondenta do jedné z uvedených věkových skupin. Z uvedeného grafu lze zjistit, že největší množství respondentů, tvořících 45 % (absolutně 74) z celkového počtu 163, spadá do věkové kategorie mladší 18-ti let. V dalších věkových skupinách jsou počty respondentů následující: 24 % tvoří lidé ve věku 18 až 25 let, 15 % ve věku 25 až 40 let, 11 % ve věku 40 až 55 let. Poslední dvě skupiny mají zastoupení minimální.

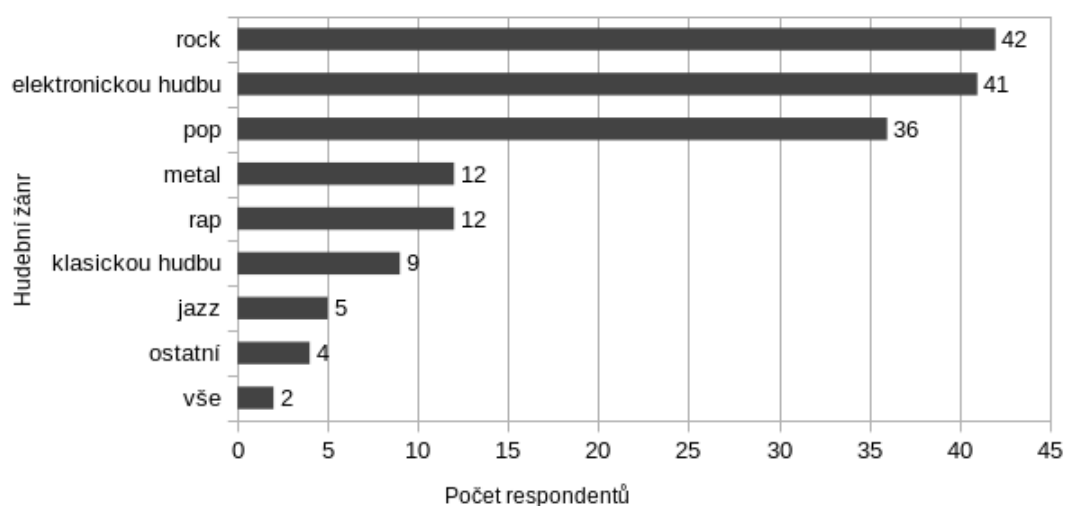
Otázka č. 1 - Jaký je věk respondentů?



Obrázek 16: Graf - rozložení věku respondentů

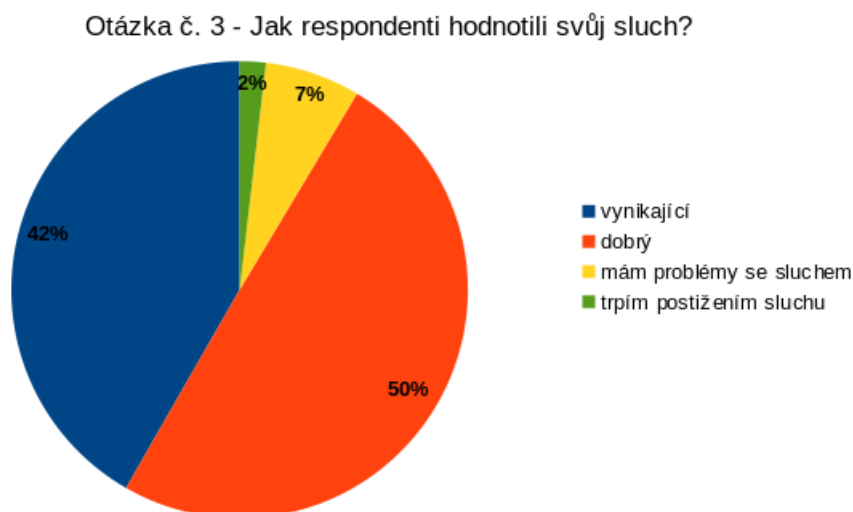
Níže uvedený obrázek zobrazuje druhy hudby, které respondenti nejčastěji poslouchají. Zajímavá je skutečnost, že první tři nejčastěji označené druhy hudby (rock 25,7 %; elektronická hudba 25,1 %; pop 22,1 %) tvoří dohromady téměř 3/4 (konkrétně 73 %) všech odpovědí u této otázky. Zbýlých 27 % respondentů poslouchá nejčastěji tyto žánry metal 12 respondentů (7,4 %), rap 12 respondentů (7,4 %), klasickou hudbu 9 respondentů (5,5 %), jazz 5 respondentů (3,1 %), jiný žánr 4 respondenti (2,4 %) a žádný konkrétní žánr neuvodli 2 respondenti (1,2 %).

Otázka č. 2 - Jaký druh hudby poslouchají respondenti nejčastěji?



Obrázek 17: Graf - nejčastěji poslouchané žánry hudby u respondentů

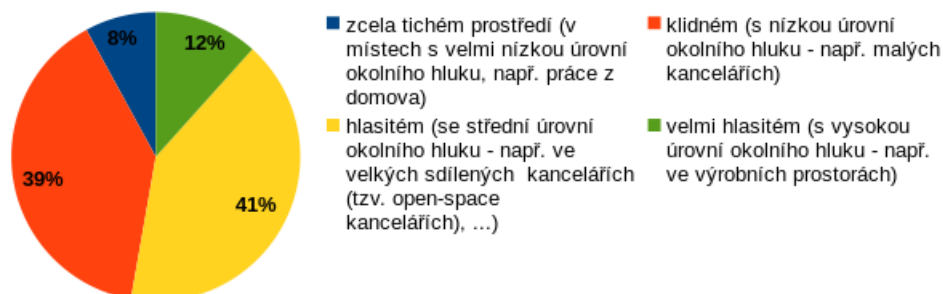
Obr. č. 18 zachycuje jak respondenti hodnotili svůj vlastní sluch. 68 respondentů (42 %) považuje svůj sluch za vynikající, 81 respondentů (50 %) hodnotí svůj sluch jako dobrý, 11 respondentů (7 %) má problémy se sluchem a 3 respondenti označili (2 %), že mají poškozený sluch.



Obrázek 18: Graf - hodnocení sluchu respondentů

Vzhledem ke skutečnosti, že hluk v prostředí, ve kterém je respondent zvyklí pracovat, může mít vliv na kvalitu sluchu, jsme se respondentů ptali na obvyklou míru hluku v pracovním prostředí.

Otázka č. 4 - V jakém prostředí jsou respondenti zvyklí pracovat?



Obrázek 19: Graf - určení obvyklé míry hluku v pracovním prostředí respondentů

### Hodnocení nahrávek respondenty

Grafy s hodnocením jednotlivých nahrávek respondenty v rámci každé sady si je možné prohlédnout v přílohách této práce v oddílu C.

### Vyhodnocení - otázky k poslechové části

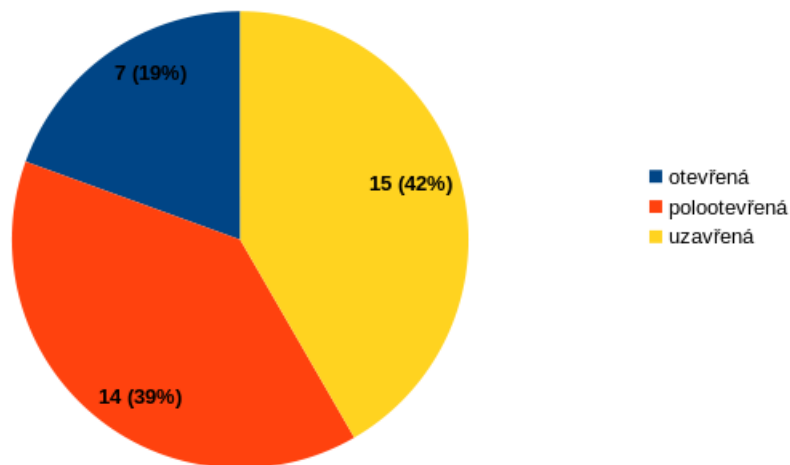
Po poslechu nahrávek jsme se respondentů ptali prostřednictvím jakých zařízení poslouchali nahrávky. Z následujícího grafu lze vyčíst, že 53 respondentů (32,5 %) použilo k poslechu malé stolní reproduktory, dále 47 respondentů (29 %) použilo reproduktory integrované přímo v notebooku. Dále 18 respondentů (11 %) použilo sluchátka supraaurální a 18 respondentů (11 %) sluchátka circumaurální. Dalších 26 respondentů použilo sluchátka intraaurální a to 14 respondentů sluchátka typu špunty a 12 respondentů sluchátka typu pecky. Jediný respondent uvedl, že použil velké výkonnější reproduktory. Celkově tedy 101 respondentů (62 %) poslouchalo nahrávky na nějakém druhu reproduktorů a zbylých 62 respondentů (38 %) použilo k poslechu nějaký druh sluchátek.



Obrázek 20: Graf - zařízení použita k poslechu

Na obr. 21 vidíme, že 15 respondentů použilo sluchátka uzavřená, 15 respondentů sluchátka polootevřená a 7 respondentů sluchátka otevřená. Zde je nutné poznamenat, že u intraaurálních sluchátek se obvykle neuvádí, zda jsou otevřená, polootevřená či uzavřená, proto je u tohoto grafu uvedeno dohromady pouze 36 respondentů.

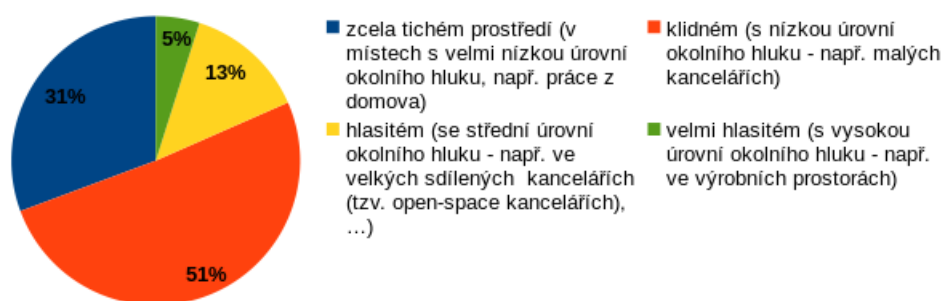
Otázka č. 6 - Jaký typ sluchátek použili respondenti k poslechu?



Obrázek 21: Graf - typy sluchátek použitých k poslechu

Na posledním grafu vidíme, že více než 4/5 respondentů (82 %) poslouchalo nahrávky buď ve zcela tichém nebo alespoň v klidném prostředí. Dále 13 % respondentů poslouchalo v hlasitém prostředí a pouhých 5 % poslouchalo nahrávky ve velmi hlasitém prostředí.

Otázka č. 7 - V jakém zvukovém prostředí respondenti nahrávky poslouchali?



Obrázek 22: Graf - míra hluku v prostředí ve kterém byl proveden poslech

## 5 Diskuze

V následující tabulce jsou shrnuty absolutní četnosti z hodnocení jednotlivých sad nahrávek. Např. v případě sady č. 1 vidíme, že 23 respondentů zvolilo nahrávku A, 46 respondentů nahrávku B, 78 respondentů nahrávku C a 16 respondentů nahrávku D jako nejpříjemnější z hlediska hlasitosti. Pod řádky s četnostmi jednotlivých sad se nachází řádek s celkovou četností. Zde můžeme vidět, že jako nejpříjemnější nahrávku nejčastěji respondenti volili nahrávku C (40,2 %), dále nahrávku B (26,5 %), nahrávku D (17,8 %) a nejméně nahrávku A (15,5 %).

Tabulka 9: Četnost odpovědí při hodnocení nahrávek od všech respondentů

Číslo sady	Nahrávka A	Nahrávka B	Nahrávka C	Nahrávka D
sada č. 1	23 (14,1 %)	46 (28,2 %)	78 (47,9 %)	16 (9,8 %)
sada č. 2	20 (12,3 %)	44 (27,0 %)	70 (42,9 %)	29 (17,8 %)
sada č. 3	27 (16,6 %)	45 (27,6 %)	62 (38,0 %)	29 (17,8 %)
sada č. 4	25 (15,3 %)	48 (29,4 %)	58 (35,6 %)	32 (19,6 %)
sada č. 5	26 (16,0 %)	45 (27,6 %)	64 (39,3 %)	28 (17,2 %)
sada č. 6	26 (16,0 %)	36 (22,1 %)	64 (39,3 %)	37 (22,7 %)
sada č. 7	25 (15,3 %)	48 (29,4 %)	62 (38,0 %)	28 (17,2 %)
sada č. 8	28 (17,2 %)	38 (23,3 %)	65 (39,9 %)	32 (19,6 %)
sada č. 9	24 (14,7 %)	45 (27,6 %)	68 (41,7 %)	26 (16,0 %)
sada č. 10	28 (17,2 %)	37 (22,7 %)	65 (39,9 %)	33 (20,2 %)
Četnost absolutní	252	432	656	290
relativní (v %)	15,5 %	26,5 %	40,2 %	17,8 %



Pro srovnání jsou v následující tabulce uvedeny četnosti odpovědí u nejpočetnější věkové skupiny - respondenti mladší 18-ti let. Respondentů dotázaných v této věkové skupině bylo celkem 74, tato věková skupina tvoří 45,4 % ze všech oslovených. Jak lze vidět tady jsou rozdíly v četnostech jednotlivých odpovědí větší, nicméně seřadíme-li jednotlivé četnosti odpovědí u jednotlivých nahrávek podle počtu odpovědí, zjistíme, že celkové pořadí je stejné jako v předchozí tabulce. Nahrávka C je však v této věkové skupině jednoznačně nejpreferovanější (zvolilo ji 53,6 %). Z toho lze usuzovat, že skupina lidí mladší 18-ti let preferuje hlasitější nahrávky.

Tabulka 10: Četnost odpovědí při hodnocení nahrávek skupinou respondentů mladších než 18 let

Číslo sady	Nahrávka A	Nahrávka B	Nahrávka C	Nahrávka D
sada č. 1	8 (10,8 %)	13 (17,6 %)	48 (64,9 %)	5 (6,8 %)
sada č. 2	6 (8,1 %)	16 (21,6 %)	42 (56,8 %)	10 (13,5 %)
sada č. 3	3 (4,1 %)	22 (29,7 %)	37 (50,0 %)	12 (16,2 %)
sada č. 4	6 (8,1 %)	22 (29,7 %)	34 (45,9 %)	12 (16,2 %)
sada č. 5	9 (12,2 %)	13 (17,6 %)	40 (54,1 %)	12 (16,2 %)
sada č. 6	11 (14,9 %)	14 (18,9 %)	40 (54,1 %)	9 (12,2 %)
sada č. 7	3 (4,1 %)	20 (27,0 %)	41 (55,4 %)	10 (13,5 %)
sada č. 8	5 (6,8 %)	12 (16,2 %)	41 (55,4 %)	16 (21,6 %)
sada č. 9	9 (12,2 %)	21 (28,4 %)	33 (44,6 %)	11 (14,9 %)
sada č. 10	10 (13,5 %)	11 (14,9 %)	41 (55,4 %)	12 (16,2 %)
Četnost absolutní	70	164	397	109
relativní (v %)	9,5 %	22,2 %	53,6 %	14,7 %

Z výsledků po vyhodnocení dotazníkového průzkumu vyplývá, že nejlépe respondenti hodnotili nahrávky normalizované metodou Replay Gain 1 (tj. nahrávky C). Důvodů, proč byly právě nahrávky normalizované touto metodou nejvíce respondenty označeny, může být vícero. Je nutné si uvědomit, že metoda Replay Gain 1 používá vyšší referenční úroveň hlasitosti, proto jsou tyto nahrávky v porovnání s nahrávkami normalizovanými jinými metodami hlasitější. Tato skutečnost může vést posluchače k pocitu, že nahrávka je „živější“. Z hlediska dynamiky hlasitosti je skutečně pravda, že nahrávka může mít o něco málo vyšší dynamický rozsah. Nicméně vždy záleží na konkrétních požadavcích tvůrců záznamů a také na preferencích cílové skupiny posluchačů pro kterou je záznam určen.

V závěru bych rád poznamenal, že nalezené metody normalizace hlasitosti jsou z hlediska principu podobné. U obou metod dochází nejprve k před-filtrování dat, jehož účelem je zohlednit specifické vlastnosti lidského sluchu. Následně je signál

rozdělen na bloky o přesně daných velikostech. Tyto bloky dat jsou zpracovány samostatně a vždy je z dat v těchto blocích vypočítán kvadratický průměr (RMS). Zde už se výpočet liší v tom, že u metody ITU-R BS.1770 je přiřazena jednotlivým kanálům různá váha a vypočtené kvadratické průměry pro jednotlivé kanály jsou sečteny dohromady s tím, že každý průměr má jinou váhu. Celkový vypočtený výsledek je převeden na odpovídající hlasitost vyjádřenou v jednotkách LUFs (Loudness, K-Weighting, referenced to digital Full Scale). U metody ReplayGain je vypočítán kvadratický průměr hodnot a následně je převeden na odpovídající hlasitost. Poté jsou všechny takto vypočtené hodnoty seřazeny podle velikosti a je vybrána hodnota okolo 95%. Nakonec je vypočtena hodnota zesílení/zeslabení signálu, která se zapíše ve formě metadat do zvukového souboru. Metoda ReplayGain je určena pro normalizaci pouze stereofonních zvukových souborů, naproti tomu metodu BS.1770 je možné aplikovat až pro 6 kanálový zvuk (konfigurace 5.1). Lze říci, že obě uvedené metody normalizace hlasitosti fungují. Dle průzkumu vyšla nejlépe metoda Replay Gain 1. Nicméně nelze jednoznačně říci, že je to metoda z hlediska normalizace hlasitosti nejlepší. Z hlediska výpočetní složitosti je náročnější, neboť používá zcela jednoznačně složitější filtry signálu na vstupu. Jistou roli, proč respondenti zvolili právě nahrávku normalizovanou metodou Replay Gain 1, zde může hrát i skutečnost, že u metody Replay Gain je použita referenční hodnota hlasitosti vyšší než u metody BS.1770 s referenční hodnotou, která je dána normou EBU R128. Tato skutečnost prakticky znamená, že nahrávky normalizované metodou Replay Gain jsou obecně hlasitější. Tato skutečnost mohla vést u některých respondentů k názoru, že jsou tyto nahrávky nejlepší. Tento jev se potvrdil ve věkové skupině respondentů, kterým bylo méně než 18 let (tito respondenti zároveň tvořily největší skupinu v rámci průzkumu). V této skupině byla respondenty zvolena jako nejpříjemněji znějící nahrávka ve více než 50% případů nahrávka C normalizovaná metodou Replay Gain 1. V rámci odpovědí od všech respondentů pak byla nahrávka C označena v 40,2% případů. Nejlépe tedy z průzkumu vyšla metoda Replay Gain 1, nicméně i nahrávka normalizovaná metodou BS.1770 s normou EBU R128-2011 byla respondenty označena v 26,5% případů. Podle výsledků lze tedy doporučit obě uvedené metody.

## 6 Závěr

V jednotlivých kapitolách byla postupně probrána problematika hlasitosti od vzniku nahrávek, až po jejich digitální zpracování. První kapitola uvádí čtenáře do této problematiky a popisuje cíl práce. Ve druhé kapitole byly popsány jednotlivé dílčí cíle práce. Ve třetí kapitole bylo postupně vysvětleno, jak vzniká zvuk a jakým způsobem probíhá jeho zpracování a následné uložení ve formě dat. Dále zde byly popsány vlastnosti lidského sluchu, způsoby měření hlasitosti a normalizace hlasitosti pomocí metod ITU-R BS.1770-3 a Replay Gain. V závěru třetí kapitoly byl uveden existující volně dostupný software. Ve čtvrté kapitole byly porovnávány jednotlivé metody normalizace. Dále zde byl popsán způsob získání testovacích dat, postup přípravy dotazníku a byly zde vyhodnoceny odpovědi od respondentů. V předposlední kapitole byly popsány zjištěné výsledky a také možné příčiny, které vedly k těmto výsledkům. Poslední kapitola shrnuje obsah celé práce.

Z pohledu stávajícího řešení normalizace hlasitosti u obou uvedených metod je zajímavé, že ani jedna metoda nevyužívá některou ze složitějších metod (pokročilých technik) analýzy signálů. Samozřejmě je nutné vzít v úvahu skutečnost, že vnímání hlasitosti bude vždy subjektivní vjem u kterého stejně jako u dalších lidských senzorních vjemů ovlivňuje více podmínek. Lidský sluch je jedním z důležitých smyslů a to jak lidský mozek zpracovává tyto vjemy je velmi složité a i když již bylo zjištěno mnoho poznatků o lidském sluchu, jejich převedení do praxe nemusí být mnohdy tak přímočaré a jednoduché, jak by se na první pohled mohlo zdát.

## 7 Reference

- ARNDT, J. *Matters computational ideas, algorithms, source code*. Heidelberg: Springer, 2011. ISBN 978-364-2147-647.
- EVEREST, F. ALTON A KEN C. POHLMANN *Master handbook of acoustics*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 978-0-07-160333-1.
- EBU R 128: Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals*. Geneva: European Broadcasting Union, 2014. Dostupné z: <https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/r/r128-2014.pdf>.
- EBU Tech 3341: Loudness Metering: „EBU Mode“ metering to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128*. Geneva: European Broadcasting Union, 2011. Dostupné z: <https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/tech/tech3341.pdf>.
- EBU Tech 3342: Loudness Range: A measure to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128*. Geneva: European Broadcasting Union, 2011. Dostupné z: <https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/tech/tech3342.pdf>.
- EBU Tech 3343: Practical guidelines for Production and Implementation in accordance with EBU R 128*. Geneva: European Broadcasting Union, 2011. Dostupné z: <https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/tech/tech3343.pdf>.
- EBU Tech 3344: Practical guidelines for distribution systems in accordance with EBU R 128*. Geneva: European Broadcasting Union, 2011. Dostupné z: <https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/tech/tech3344.pdf>.
- FASTL, H., ZWICKER E. *Psychoacoustics: facts and models*. 3rd ed. Berlin: Springer, 2007, 462 s. ISBN 978-3-540-23159-2.
- KATZ, BOB. *Mastering audio: the art and the science*. Oxford: Focal Press, 2002, 319 s. ISBN 0-240-80545-3.
- RAICHEL, DANIEL R *The science and applications of acoustics*. 2nd ed. New York: Springer, 2006, xii, 660 s. ISBN 978-0387-26062-4.
- ReplayGain 1.0 specification*. Hydrogenaudio [online]. 2014 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: [http://wiki.hydrogenaud.io/index.php?title=ReplayGain\\_1.0\\_specification](http://wiki.hydrogenaud.io/index.php?title=ReplayGain_1.0_specification).
- Recommendation ITU-R BS.1770-3 (08/2012): Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level*. Geneva: International Telecommunication Union, 2012. Dostupné z: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1770-3-201208-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1770-3-201208-I!!PDF-E.pdf).

- SCHIMMEL, JIŘÍ. *Měření úrovně zvukového signálu v digitálních systémech. In: Audio technologies and processing ATP 2004: proceedings of the 5th conference of Czech student AES section on audio technologies and processing.* Vyd. 1. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004, s. 51-63. ISBN 80-214-2643-8. Dostupné z: <http://www.aes.cz/atp2004/proc/atp04p07.pdf>.
- Spectral audio signal processing.* SMITH, J. O. Stanford University [online]. 2011 [cit. 2014-05-8]. Dostupné z: <https://ccrma.stanford.edu/~jos/sasp/>.
- SUZUKI, YÔITI, ET AL. *Precise and full-range determination of two-dimensional equal loudness contours.* Tohoku University, Japan, 2003..
- VICKERS, EARL. *The loudness war: Background, speculation, and recommendations. In: Audio Engineering Society Convention 129.* San Francisco (California, USA): Audio Engineering Society, 2010..
- ZÖLZER, U. *Digital audio signals processing.* 2nd ed. Chichester: John Wiley, 2008, xii, 320 s. ISBN 978-0-470-99785-7.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Spojitý (analogový) signál před převodem	14
Obrázek 2: Výstupní nespojitý (diskrétní, digitální) signál	14
Obrázek 3: Navzorkovaný signál při kvantování	15
Obrázek 4: Zjednodušené schéma A/D převodníku	15
Obrázek 5: Oblast sluchu, tj. oblast mezi prahem slyšitelnosti (threshold in quiet) a prahem bolesti (threshold of pain). (Fastl - Zwicker, 2007, s. 17)	18
Obrázek 6: Frekvenční charakteristika váhovacích křivek typu A, B a C používaných při měření hlasitosti. (Raichel, 2006, s. 54)	20
Obrázek 7: Nové křivky jednotné hlasitosti (equal-loudness contour), na jejichž vytvoření se podíleli výzkumníci z několika zemí. Křivky byly upraveny na základě několika výzkumů, jež proběhly od doby vydání původní normy a výsledky z těchto výzkumů byly použity na vytvoření nového standardu ISO 226:2003, který tak nahrazuje starší normu ISO 226:1987. (Suzuki, Yōiti, et al, 2003)	21
Obrázek 8: Různé druhy indikátorů, v jednotlivých oblastech se používají různé stupnice pro indikaci úrovně hlasitosti zvukového signálu. (Schimmel, 2004, s. 52)	23
Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma jednotlivých komponent algoritmu podle popisu uvedeného v dokumentu (ITU-R BS.1770-3, 2012, s. 3)	25
Obrázek 10: Frekvenční odezva pre-filtru, který slouží k zohlednění akustických vlivů hlavy. Tento filtr hřebenového typu zesiluje signál v pásmu středních a vyšších frekvencí. (ITU-R BS.1770-3, 2012)	26
Obrázek 11: Frekvenční odezva RLB-filtru, který zohledňuje některé vlastnosti lidského sluchu, především vnímání rozdílné hlasitosti zvukových podnětů s různou frekvencí. (ITU-R BS.1770-3, 2012)	27
Obrázek 12: Zjednodušené blokové schéma jednotlivých komponent algoritmu Replay gain sestavené podle popisu uvedeného v dokumentu (ReplayGain 1.0 specification, 2014).	33

---

Obrázek 13: Odezva filtru, který se používá u metody ReplayGain. (ReplayGain 1.0 specification, 2014)	34
Obrázek 14: Porovnání hlasitostí nahrávky normalizované různými metodami	40
Obrázek 15: Rozdělení nahrávky na pořad a reklamu	42
Obrázek 16: Graf - rozložení věku respondentů	44
Obrázek 17: Graf - nejčastěji poslouchané žánry hudby u respondentů	44
Obrázek 18: Graf - hodnocení sluchu respondentů	45
Obrázek 19: Graf - určení obvyklé míry hluku v pracovním prostředí respondentů	45
Obrázek 20: Graf - zařízení použítá k poslechu	46
Obrázek 21: Graf - typy sluchátek použitých k poslechu	47
Obrázek 22: Graf - míra hluku v prostředí ve kterém byl proveden poslech	47
Obrázek 23: Graf - hodnocení sady č. 1 respondenty	64
Obrázek 24: Graf - hodnocení sady č. 2 respondenty	64
Obrázek 25: Graf - hodnocení sady č. 3 respondenty	65
Obrázek 26: Graf - hodnocení sady č. 4 respondenty	65
Obrázek 27: Graf - hodnocení sady č. 5 respondenty	65
Obrázek 28: Graf - hodnocení sady č. 6 respondenty	66
Obrázek 29: Graf - hodnocení sady č. 7 respondenty	66
Obrázek 30: Graf - hodnocení sady č. 8 respondenty	66
Obrázek 31: Graf - hodnocení sady č. 9 respondenty	67
Obrázek 32: Graf - hodnocení sady č. 10 respondenty	67

## **Přílohy**



## A Seznam aplikací podporujících metodu ReplayGain

Software uvedený v této tabulce podporuje metodu vyrovnávání hlasitosti ReplayGain. Všechny níže vypsané aplikace jsou zdarma dostupné na uvedených adresách. Zde je také možné ve většině případů získat další informace. Převážná část aplikací je vyvíjena na bázi otevřeného softwaru (open source software) dobrovolníky. Zbývající aplikace mají licenci typu freeware. Podrobnější informace o konkrétních licenčních podmínkách lze najít v dokumentaci jednotlivých aplikací. Pozn. označení písmeny ve sloupci OS značí podporované operační systémy (L - Linux, W - Ms Windows, M - Mac OS, A - Android, O - další operační systémy).

Tabulka 11: Software podporující metodu ReplayGain

Název	OS	URL adresa
Amarok	LWM	<a href="https://amarok.kde.org/en">https://amarok.kde.org/en</a>
Audacious	LW	<a href="http://audacious-media-player.org/">http://audacious-media-player.org/</a>
Banshee	LW	<a href="http://banshee.fm/">http://banshee.fm/</a>
Clementine	LWM	<a href="https://www.clementine-player.org/cs/">https://www.clementine-player.org/cs/</a>
Cmus	L	<a href="https://cmus.github.io/">https://cmus.github.io/</a>
DeaDBeeF	LMA	<a href="http://deadbeef.sourceforge.net/">http://deadbeef.sourceforge.net/</a>
Exaile	LWM	<a href="http://www.exaile.org/">http://www.exaile.org/</a>
Foobar2000	W	<a href="http://www.foobar2000.org/">http://www.foobar2000.org/</a>
Gmusicbrowser	L	<a href="http://gmusicbrowser.org/">http://gmusicbrowser.org/</a>
JavaTunes	LWMO	<a href="http://www.stigc.dk/projects/JavaTunes/">http://www.stigc.dk/projects/JavaTunes/</a>
Mixxx	LWM	<a href="http://www.mixxx.org/">http://www.mixxx.org/</a>
mpg123	LW	<a href="http://www.mpg123.org/">http://www.mpg123.org/</a>
mpd	LW	<a href="http://www.musicpd.org/">http://www.musicpd.org/</a>
Quod Libet	LWM	<a href="https://quodlibet.readthedocs.org/en/latest/">https://quodlibet.readthedocs.org/en/latest/</a>
Rhythmbox	L	<a href="https://wiki.gnome.org/Apps/Rhythmbox">https://wiki.gnome.org/Apps/Rhythmbox</a>
Songbird	WM	<a href="http://sourceforge.net/projects/songbird.mirror/">http://sourceforge.net/projects/songbird.mirror/</a>
Sox	LWMO	<a href="http://sox.sourceforge.net/">http://sox.sourceforge.net/</a>
vlc	LWMO	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>
XBMC (KODI)	LWMO	<a href="http://kodi.tv/">http://kodi.tv/</a>
XMPay	W	<a href="http://www.un4seen.com/">http://www.un4seen.com/</a>

Tabulka 12: Software podporující metodu ReplayGain

Název	OS	URL adresa
bs1770gain	LW	<a href="http://bs1770gain.sourceforge.net/">http://bs1770gain.sourceforge.net/</a>
flac	LWO	<a href="https://xiph.org/flac/documentation_tools_flac.html">https://xiph.org/flac/documentation_tools_flac.html</a>
lame	LWO	<a href="http://lame.sourceforge.net/">http://lame.sourceforge.net/</a>
mp3gain	W	<a href="http://mp3gain.sourceforge.net/">http://mp3gain.sourceforge.net/</a>
Quod Libet	LWM	<a href="http://quodlibet.readthedocs.org/en/latest/index.html">http://quodlibet.readthedocs.org/en/latest/index.html</a>
R128GAIN	LW	<a href="http://r128gain.sourceforge.net/">http://r128gain.sourceforge.net/</a>
rgain	?	<a href="https://bitbucket.org/fk/rgain">https://bitbucket.org/fk/rgain</a>

## B Dotazník

Dobrý den, jmenuji se Tomáš Hladný a jsem studentem Mendelovy univerzity v Brně. V rámci své bakalářské práce zpracovávám problematiku normalizace hlasitosti audio nahrávek. Součástí praktické části této bakalářské práce je porovnat různé metody normalizace hlasitosti audia. Vzhledem ke skutečnosti, že hlasitost je subjektivní veličina (tedy každý člověk ji vnímá jinak), bych Vás tímto chtěl poprosit o poslechnutí připravených nahrávek a jejich následné zhodnocení z hlediska hlasitosti. Děkuji Vám za vyplnění tohoto dotazníku.

*\* Povinné pole*

### Pokyny k vyplnění

- Stáhněte si prosím soubor sady.zip s připravenými audio nahrávkami z následujícího odkazu:  
<https://drive.google.com/open?id=0BxJTGig2e9yAa3FZTmNvdGUyWnM>
- Po kliknutí na výše uvedený odkaz se Vám otevře stránka umožňující stažení souboru. Soubor stáhnete do počítače tak, že kliknete na ikonku (obrázek) se šipkou (nachází se přibližně uprostřed stránky).
- Dále prosím tento soubor rozbalte a otevřete složku "sady".
- Poté prosím odpovězte na obecné otázky.
- Následně si vždy poslechněte jednu ukázkovou sadu nahrávek (tj. nahrávky A, B, C, D) a poté označte tu nahrávku, která Vám po stránce hlasitosti zněla nejpříjemněji. Tento postup zopakujte u všech 10 sad.
- Nakonec prosím odpovězte na otázky v poslední části a poté stiskněte tlačítko odeslat.

### B.1 Obecné otázky

#### Otázka č. 1 \*

Označte prosím Váš věk:

- méně než 18 let
- 18 - 25 let
- 25 - 40 let
- 40 - 55 let
- 55 - 70 let
- více než let

**Otázka č. 2 \***

Jaký druh hudby posloucháte nejčastěji:

- klasickou hudbu
- pop
- elektronickou hudbu
- rock
- jazz
- jiné:

**Otázka č. 3 \***

Svůj sluch považujete za

- vynikající
- dobrý
- mám problémy se sluchem
- trpím postižením sluchu

**Otázka č. 4 \***

V jakém prostředí jste zvykl(á/ý) pracovat?

- velmi hlasitém (s vysokou úrovní okolního hluku - např. ve výrobních prostorách)
- hlasitém (se střední úrovní okolního hluku - např. ve velkých sdílených kancelářích (tzv. open-space kancelářích), ...)
- klidném (s nízkou úrovní okolního hluku - např. malých kancelářích)
- zcela tichém prostředí (v místech s velmi nízkou úrovní okolního hluku, např. práce z domova)

**B.2 Hodnocení nahrávek****Sada č. 1 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 2 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 3 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 4 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 5 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 6 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 7 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 8 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 9 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

**Sada č. 10 \***

Která z audio nahrávek Vám zněla nejpříjemněji z hlediska hlasitosti?

- nahrávka A
- nahrávka B
- nahrávka C
- nahrávka D

### B.3 Otázky k poslechové části

#### Otázka č. 5 \*

Jaké zařízení jste použili k poslechu nahrávek?

- sluchátka intraaurální - pecky (vkládají se do uší, jsou obvykle kulaté)
- sluchátka intraaurální - špunty (vkládají se do uší, mají tvar špuntu)
- sluchátka supraaurální (sluchátka, která leží přímo na uších)
- sluchátka circumaurální (sluchátka, která obepínají uši)
- reproduktory integrované v notebooku
- malé stolní reproduktory
- jiné:

#### Otázka č. 6

O jaký typ sluchátek se jednalo? (odpovídejte pouze v případě, že jste zvolili sluchátka supraaurální nebo circumaurální)

- otevřená
- polo-otevřená
- uzavřená

#### Otázka č. 7 \*

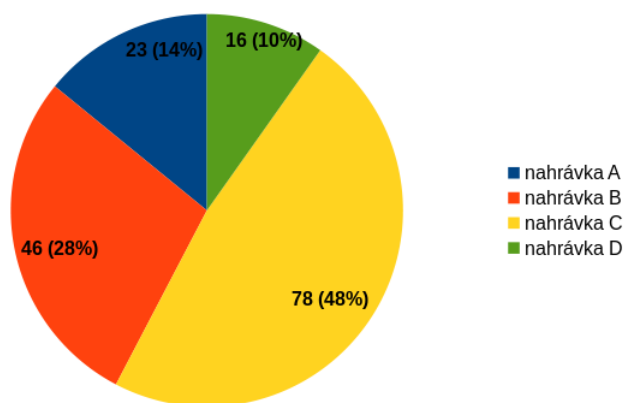
V jakém zvukovém prostředí jste nahrávky poslouchali ?

- ve zcela tichém prostředí (s nulovou či velmi nízkou úrovní okolního hluku - např. v tiché místnosti)
- klidném (s nízkou úrovní okolního hluku)
- hlasitém (se střední úrovní okolního hluku - např. ve velkých sdílených kancelářích (tzv. open-space kancelářích), ...)
- velmi hlasitém (s vysokou úrovní okolního hluku - např. ve výrobních prostorách)

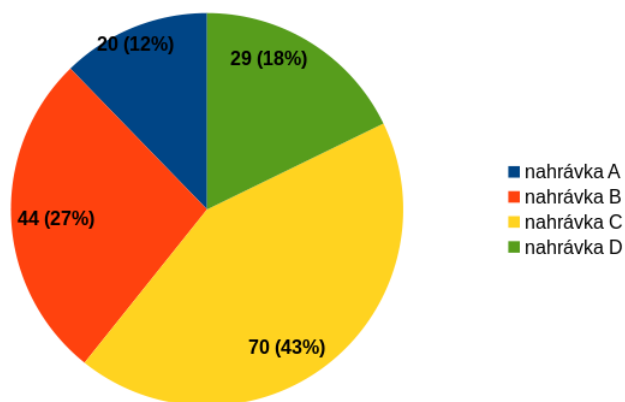
**Děkuji Vám za vyplnění dotazníku.**

## C Grafy s hodnocením jednotlivých nahrávek

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny koláčové grafy na kterých je vidět, jak respondenti hodnotili jednotlivé nahrávky, resp. které nahrávky se zdály respondentům nejpříjemnější z hlediska hlasitosti.

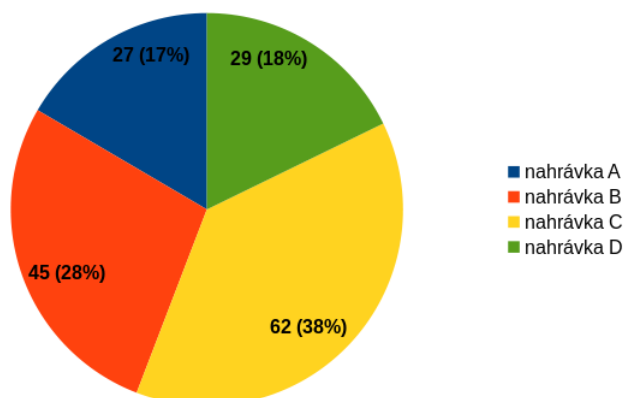


Obrázek 23: Graf - hodnocení sady č. 1 respondenty

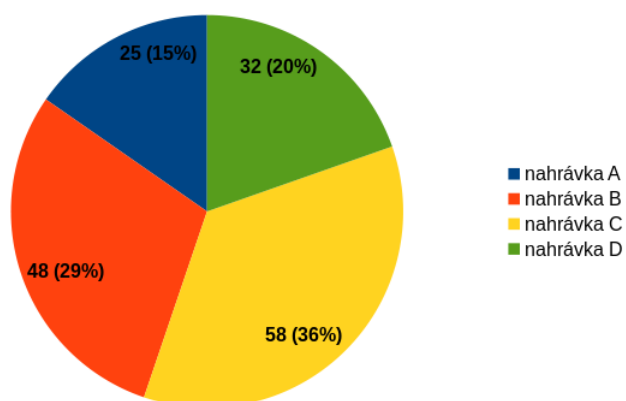


Obrázek 24: Graf - hodnocení sady č. 2 respondenty

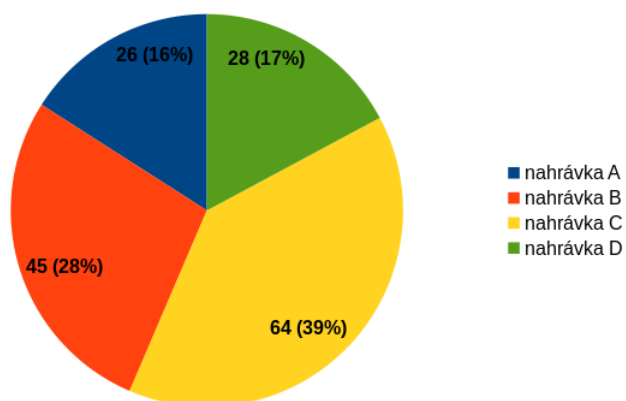




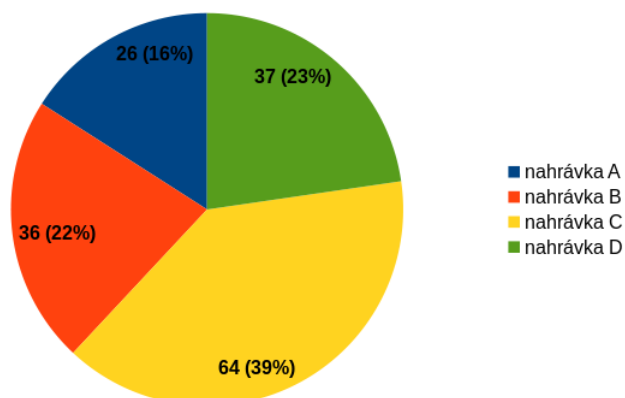
Obrázek 25: Graf - hodnocení sady č. 3 respondenty



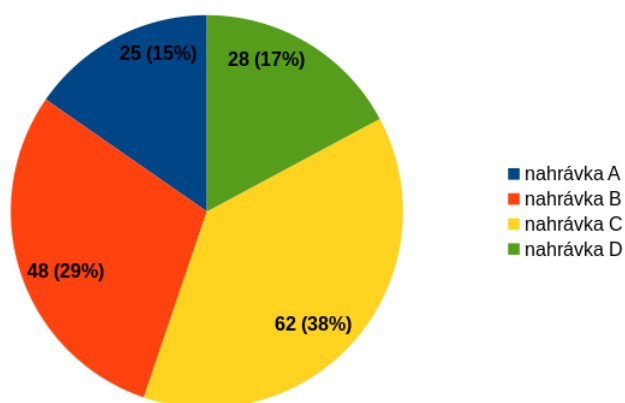
Obrázek 26: Graf - hodnocení sady č. 4 respondenty



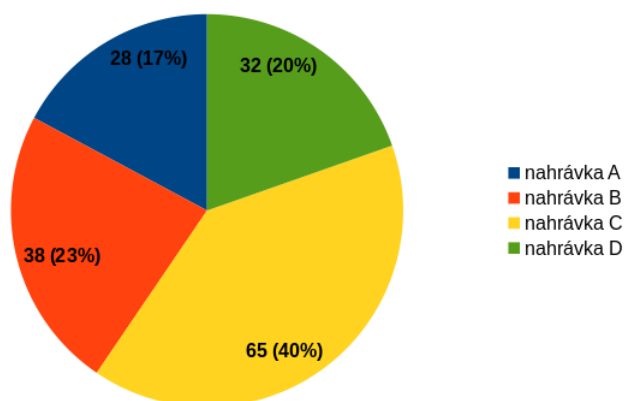
Obrázek 27: Graf - hodnocení sady č. 5 respondenty



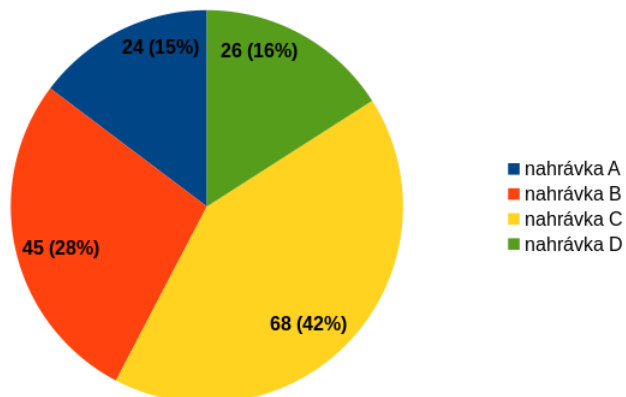
Obrázek 28: Graf - hodnocení sady č. 6 respondenty



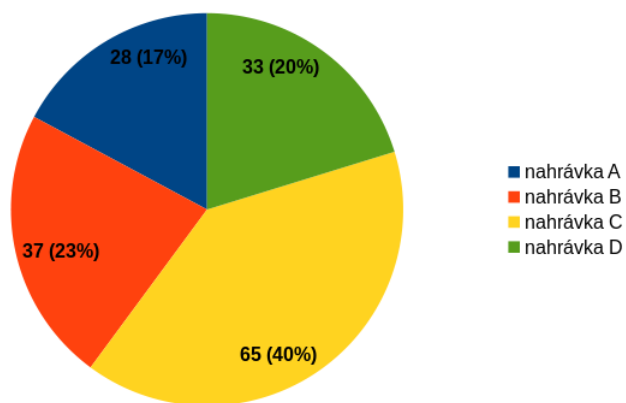
Obrázek 29: Graf - hodnocení sady č. 7 respondenty



Obrázek 30: Graf - hodnocení sady č. 8 respondenty



Obrázek 31: Graf - hodnocení sady č. 9 respondenty



Obrázek 32: Graf - hodnocení sady č. 10 respondenty