

Západočeská univerzita v Plzni  
Fakulta aplikovaných věd  
Katedra kybernetiky  
Doc. Ing. Jindřich Matoušek, Ph.D.

## Oponentský posudek doktorské disertační práce Ing. Martina Sýkory **Akustická měření pomocí hudebního signálu**

Disertační práce Ing. Martina Sýkory se zabývá možnostmi využití hudebního signálu pro akustická měření. Hlavním cílem bylo posoudit, zda by bylo možné využít hudební signál v oblasti měření parametrů ozvučovacích systémů (konkrétně přenosové funkce a zpoždění zvukového systému) a akustických parametrů prostorů (konkrétně doby dozvuku). Z hlediska volby tématu se jedná o vhodný a aktuální cíl – využití hudebního signálu pro uvedená měření je dle mých znalostí originální myšlenkou.

Disertační práce celkem čítá 95 stran včetně 5 příloh. Rozsah vlastní práce je na poměry disertační práce spíše malý, představuje 56 stran textu, zbytek tvoří přílohy (20 stran) a další povinné stránky a seznamy (úvodní strany, obsah, seznam použité literatury, zkratk, specifických názvů, symbolů, obrázků, tabulek, seznam publikací a zkrácený profesní životopis – celkem 19 stran). Práce je členěna na 5 hlavních kapitol.

První dvě kapitoly, ve kterých autor velmi stručně na 12 stranách popisuje problematiku akustických měření ozvučovacích systémů a parametrů prostorové akustiky a stanovuje cíle své disertační práce, lze považovat za teoretickou část práce. Rozsah teoretické části je podle mého názoru na poměry tohoto typu vědecké práce nezvykle malý, přesto jsou v něm zavedeny a vysvětleny nejdůležitější pojmy potřebné k výkladu v dalších kapitolách práce.

Kapitola 3 představuje nosnou část práce. Autor v ní kromě analýzy hudebního signálu a výběru konkrétních hudebních žánrů popisuje hlavní ideu využití hudebního signálu pro akustická měření. Podrobně se věnuje návrhu měřicího systému, detekci zpoždění a problematice návrhu vhodného měřicího signálu. Disertant v této souvislosti navrhl a implementoval algoritmy pro detekci zpoždění a pro detekci „artefaktů“ ve vybraných hudebních signálech. Dále se zde zabývá měřením dozvuku pomocí hudebního signálu a jeho vyhodnocením. K tomuto účelu navrhl a implementoval algoritmy pro měření doby dozvuku pomocí kruhové korelace a pomocí přímého porovnání energetického poklesu.

Kapitola 4 je věnována experimentálnímu ověření algoritmů navržených v kapitole 3 a jejich porovnání s klasickými metodami měření. Experiment byl proveden v reálných podmínkách sálu kulturního domu obce Žilov. V této kapitole Ing. Sýkora popisuje a vyhodnocuje pouze výsledky měření doby dozvuku v sále. Podobné porovnání pro měření akustických parametrů ozvučovacího systému (frekvenční charakteristiky, zpoždění) jsem u provedeného experimentu nenašel.

Poslední dvě kapitoly (celkem 4 strany) obsahují shrnutí a porovnání výsledků dosažených v kapitole 4 a závěr celé práce.

Autor v práci citoval celkem 20 citačních zdrojů, což je dle mého názoru opět na poměry disertační práce překvapivě malé číslo odpovídající spíše úrovni diplomové práce. Čtyřmi citačními zdroji jsou přitom technické normy ČSN. Jen dvě citace odkazují na články z odborných časopisů nebo mezinárodních recenzovaných konferencí, přitom právě tyto zdroje obvykle popisují poslední vývoj v daném oboru. Co se týká seznamu publikací, disertant uvádí celkem 27 titulů, z toho 7 výzkumných zpráv, 8 recenzí v časopise MUZIKUS, 1 článek v českém recenzovaném časopise Media4u Magazine a 11 příspěvků na tuzemských odborných konferencích. Z výčtu publikací je zřejmá profesionální erudice Ing. Sýkory, ve výčtu však postrádám články ze sborníků mezinárodních odborných konferencí nebo odborných časopisů.

Co se týká jazykové stránky, je předkládaná práce na slušné úrovni. Je psána přehledně, logická stavba práce je velmi dobrá. Přesto obsahuje jistý počet překlepů, vynechání či vložení

písmen, opakování slov apod. (např. „Doby dozvuku  $z$  měřené v pásmech ... se liší v maximálně o ...“ na str. 53, „... že je díky větší periodě je mnohonásobně ...“ na str. 12, „vsrupních signálů“ na str. 38 atp.). Některé formulace typu „Pokud vypočtená hodnota dosáhne určité úrovně...“ (str. 29) nebo „Lze se důvodně domnívat“ (str. 50) aj. působí subjektivním dojmem a bez bližšího vysvětlení nebo zdůvodnění příliš nekorespondují se stylem psaní vědeckých prací.

Po formální a technické stránce práce vyniká velkým množstvím obrázků (44) a tabulek (16). Na některé obrázky (obr. 15, obr. 18) ale chybí odkaz z textu práce. Některé obrázky jsou dle mého názoru nešťastně umístěny v příloze, např. obr. 17 (u kterého navíc chybí popisek), obr. 29 a 30. Jejich umístění přímo do textu práce by zajistilo větší plynulost čtení. Uvedené obrázky 29 a 30 navíc vypadají stejně, opravdu jde o průběh spektra odlišných signálů? Popisek obrázku 6 by měl místo „Vývojový diagram detekce signálu“ spíše být „Vývojový diagram detekce artefaktu v signálu“. Zápis matematických rovnic a vzorců také trpí jistými neduhy a nekonzistencemi. Prakticky za všemi číselnými vzorci chybí interpunkce (čárka nebo tečka). Matematické symboly závorek jsou v textu chybně psány kurzívou (např. na str. 6 a jinde). Ve vztahu (17) a okolním textu dochází k míchání zápisu  $C(n)$  vs.  $C_n$ . U některých vzorců nejsou vysvětleny všechny proměnné a symboly, které se v nich vyskytují (např. u vztahu (6) na str. 8 není vysvětleno  $M$  ani  $\tau$ ). Totéž platí pro některé vývojové diagramy (např. u obr. 11 chybí vysvětlivky k  $R$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $P$ ; k jejich vysvětlení dochází až v následující podkapitole, na rozdíl od hodnoty  $R$  hodnota  $P$ , klíčová pro určení hodnoty  $T_2$ , přitom není uvedena vůbec). Ve vztahu (17) se vyskytují  $w$  a  $w'$ , aniž by bylo vysvětleno, co čárka  $'$  znamená. V kapitole 4.5.3 jsou  $R$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $P$  psány tučně a kurzívou, přestože to nejsou matice a v předchozím textu byly psány netučným písmem.

Za hlavní a původní přínos předkládané práce považuji samotnou myšlenku využití hudebního signálu pro akustická měření parametrů ozvučovacích systémů a akustických parametrů prostorů. Úspěšná aplikace hudebního signálu pro zmíněné účely by na rozdíl od klasických přístupů umožňovala optimalizovat výkon ozvučovacích systémů a parametry akustického prostoru nerušeně v plném sále za reálného provozu, například během reálné hudební produkce (ideálně i v závislosti na konkrétním hudebním žánru). I když si uvědomuji, že jde o velice rozsáhlou problematiku, mám k popisovaným postupům jisté výhrady, připomínky, či dotazy:

- Pro analýzu hudebního signálu a následné experimenty byly vybrány jen dvě konkrétní skladby, každá jako zástupce jednoho konkrétního žánru (metal a jazzu). Proč byly vybrány právě a pouze tyto dva žánry? Pokud se má opravdu projevit deklarovaná výhoda online optimalizace parametrů během hudební produkce, bude nezbytné navržené postupy ověřit i pro jiné žánry.
- Podobně jedna skladba, jakkoliv reprezentativní, nemusí být dostatečně vypovídající o daném žánru. Jakékoliv závěry vyvozené analýzou a experimentováním s danou jednou konkrétní skladbou nemusí tedy nutně být pro daný žánr obecně platné. Jako zajímavé by se jevílo porovnat např. dvě různé skladby stejného žánru a ověřit, že rozdíly mezi těmito skladbami jsou v porovnání se skladbou jiného žánru zanedbatelné. Dále se nabízí použít autorem hojně využívané průměrování časových či frekvenčních charakteristik různých skladeb stejného žánru apod.
- Na detekci artefaktů (úseků s impulsní charakteristikou) v hudebním signálu, kterou v předkládané práci považují za klíčovou (kap. 3.6), se lze dívat jako na úlohu automatické detekce. Podle obecně přijímaného schématu je pro vyhodnocení úspěšnosti detekce jistého jevu (artefaktu) nezbytné definovat testovací množinu obsahující reálné artefakty a úspěšnost automatické detekce vyhodnocovat vůči těmto testovacím artefaktům (veškerá pravidla, prahy či jiné parametry detektoru vedoucí k detekci artefaktů by se pak musely nastavovat na základě jiných artefaktů, resp. jiné části hudebního signálu). V tomto případě by to zřejmě znamenalo tyto artefakty najít expertně (a ideálně jako testovací artefakt uvažovat ten, na němž se shodne více expertů). V předložené práci tento zavedený postup nevidím. Jak bylo ověřováno, že artefakt detekovaný v hudebním signálu je skutečně artefakt a že nejde o chybnou detekci (tzv. falešný poplach)? Jak detekované artefakty zobrazené v korelačních maticích na obrázcích 7, 8, 35 až 43 korelují se skutečnými artefakty?

- Pro detekci artefaktu byl použit 50% práh normalizované hodnoty korelace (str. 32). Proč byla použita právě tato hodnota? Jak jsou při této detekci splněny požadavky kladené na artefakt, uvedené na str. 27, zejména pak požadavek na „krátkost“ a „ojedinělost“ (např. podle obr. 7 se zdá, že v pásmu 6,3 kHz je v čase 10-50 s neustále detekován artefakt)? Byly provedeny experimenty i s jinými hodnotami prahu? Při použití detekčního schématu zmíněného v předchozím bodě by vyhodnocení vlivu velikosti prahu (nebo jiných parametrů, např. velikosti okna nebo různého rozdělení do frekvenčních pásem) na úspěšnost detekce bylo rutinní záležitostí.
- Proč se měření doby dozvuku pomocí hudebního signálu omezilo v provedeném experimentu na oktávová pásma, zatímco u měření klasickými metodami byla použita třetinooktávová pásma?
- V tabulce 5 na str. 50 a v tab. 7 na str. 51 jsou uvedené výsledné hodnoty doby dozvuku průměrované napříč oběma vybranými žánry. Jaký byl důvod průměrovat oba žánry? Nevede takové průměrování k vyššímu rozptylu hodnot diskutovanému na str. 52? Nebylo by z hlediska praktického nasazení během konkrétní hudební produkce výhodnější průměrovat naměřené hodnoty jen v rámci daného žánru?
- Na str. 52 je diskutován rozptyl změřených hodnot doby dozvuku. V odpovídajících tabulkách 3 až 7 jsou uvedeny jen průměrované hodnoty doby dozvuku. Jaký rozptyl zde má autor na mysli? Rozptyl jednotlivých měření s využitím hudebního signálu nebo odchylku od měření klasickou metodou integrace impulsové odezvy s použitím MLS signálu? Proč nebyla v tabulce 3 u doby dozvuku měřené pomocí signálu MLS uvedena měření v jednotlivých bodech A a B, jako tomu bylo u metody využívající hudební signál?
- Zkoušel jste provést navrhovaná měření i v plném sále během hudební produkce?

Závěrem mohu konstatovat, že hlavní cíl disertační práce – posouzení možnosti použití hudebního signálu pro akustická měření parametrů ozvučovacích systémů a akustických parametrů prostorů – byl splněn. Oceňuji zejména originalitu navrhovaného řešení. Popisované výsledky ukazují, že navrhovaná měření s využitím hudebního signálu zejména v nižších frekvenčních pásmech nevykazují v porovnání s klasickými metodami významnější odchylky. Práci přes uvedené výhrady a připomínky **doporučuji k obhajobě**, žádám však o jejich vysvětlení v průběhu obhajoby.

V Plzni 4. února 2014

  
Doc. Ing. Jindřich Matoušek, Ph.D.

## OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: **Akustická měření pomocí hudebního signálu**  
Autor: **Ing. Martin Sýkora**  
Školitel: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**  
Konzultant: **doc. ing. Pavel Karban, Ph.D.**  
Oponent: **doc. dr. René Drtina, Ph.D.**

Dizertační práce Ing. Martina Sýkory je zpracována v rozsahu 58 textových stran a 20 stran příloh, mimo to obsahuje soupis použitých zdrojů, seznam obrázků, seznam tabulek, seznam použitých symbolů a zkratk, seznam autorových publikací a stručný profesní životopis. Práce je členěna do šesti kapitol.

Optimalizace přenosových parametrů elektroakustického řetězu vzhledem k prostředí, ve kterém je provozován, je do značné míry již profesionálním standardem a s rozvojem vícekanálových zvukových systémů proniká i do komerční sféry. Technologický pokrok v oboru audioprocesingu je sice nesporný, nicméně nelze audioprocesing přijmout jako univerzální řešení a bez potřebných znalostí uživatele a bez znalostí parametrů ozvučovaného prostoru může jeho aplikace v důsledku vést (a velice často také vede) k degradaci přenášeného signálu a fatálnímu zhoršení poslechových podmínek v daném prostoru. Můžeme vycházet i ze skutečnosti, že přes srovnatelný rozvoj simulačních nástrojů v oblasti prostorové akustiky a akustických polí, lze predikované přenosové parametry ozvučovacího systému v daném prostoru ověřit pouze měřeními.

Předložená dizertační práce představuje měřicí metodu, která je vhodná především pro tzv. provozní a kontrolní měření. Využití hudebního signálu pro měřicí účely představuje výrazné zvýšení komfortu při akustických měřeních v obsazených sálech, komunikačních prostorech, atd. V širším záběru potom umožňuje i částečné sloučení poslechových testů a akustických měření, a tím i snížení sumární hlukové zátěže zúčastněných osob. Akustická měření pomocí hudebního signálu můžeme obecně považovat za velice široké, náročné, ale rovněž plně racionální téma. S fundamentálním východiskem, že pro měření bude použit signál, který přenosový řetězec obvykle zpracovává a pro který je primárně konstruován, nelze než souhlasit. Proto i dílčí řešení, uvedené v dizertační práci ing. Sýkory, představuje přínos pro rozvoj oboru a to zejména v oblasti provozních měření, mobilních instalací a při vhodné modifikaci též v oblasti komerčních audiovizuálních systémů.

Autorem zvolený přístup k řešení je zcela logický a vychází z vytýčeného cíle. Vzhledem k tomu, že hudební signál v zásadě není možné popsat analyticky, zvolil autor jako možné řešení využití statistických metod, odvíjejících se od přenosové funkce systému, přičemž nejjednodušší využití je u měření přenosové charakteristiky. Již v úvodu do problematiky měření se ale objevuje terminologická nejednotnost, v kap. 2.1 autor uvádí „...vlastnosti ozvučovacího systému“ a v kap. 2.1.1 je pak uvedeno „...zvukového systému,“ bez toho, že by byl specifikován rozdíl mezi nimi nebo naopak potvrzeno, že oba termíny vyjadřují totéž, což by bylo, z mého pohledu, chybné.

Navazující kap. 2.1.2 Měření zpoždění zvukového systému přebírá terminologickou nejednotnost předcházejících kapitol, ale současně zavádí další, když kromě latence číslicového zpracování zvukového signálu uvádí jako významnější zpoždění na akustické straně, kde i při použití zvukovodů je zpoždění relativně malé, např. pro zvukovod délky  $L_z = 1,5$  m je zpoždění signálu, včetně budící jednotky, přibližně 4,5 ms. Sledování zpoždění od primárního zdroje k posluchači, reprezentovaného měřicím mikrofonom, by spíše mělo vycházet z Lasswellova nebo Shannon-Weaverova modelu komunikace a terminologicky by tak bylo zřejmě správnější uvažovat o zpoždění přenosové cesty od zdroje k posluchači nebo bez započtené latence o zpoždění přenosového kanálu.

Z dalšího postupu je zřejmé, že výzkumná práce směřuje především k měření doby dozvuku pomocí hudebního signálu a předpokládá využití impulzních měřicích metod v analogii s MLS signály. Zde bych předpokládal odkaz na ČSN EN ISO 18233, která zavádí aplikaci MLS a Swept-sine jako nové metody pro akustická měření. Navazující kap. 3 se zabývá možnostmi subjektivního a objektivního popisu hudebního signálu a hledání vhodných fragmentů pro analogii impulzních měření. Na str. 14 je nesprávně interpretován význam notového zápisu „...nota má svoji výšku (tón, frekvenci)...“ Notový zápis (nota) určuje tón, výška tónu - frekvence - je určena použitým laděním (např. tzv. komorní „a“ má v temperované stupnici frekvenci 440 Hz, ale v klasickém ladění má tón  $a^1$  frekvenci 435 Hz, v barokní hudbě 415 Hz, v orientu 445 Hz, atd.). Vlastní měření bylo realizováno na dvou vzorcích diametrálně odlišných hudebních žánrů (jazz a metal). Autor sice v závěru práce uvádí, že „pro různé žánry byly posouzeny jak obecné vlastnosti hudebního signálu, tak zejména jeho technické parametry a rozbořením spektrálních a časových vlastností...“ nicméně žádné jiné analýzy, kromě jazzu a metalu, nejsou v práci uvedeny. Diskutabilní je také tvrzení (kap. 3.1.4), že „při vhodně zvoleném měřítku zobrazení ... lze např. odhadnout dynamiku skladby.“ Technicky vzato, dynamika (dynamický rozsah) je parametr, který lze objektivně měřit.

Těžiště dizertační práce lze spatřovat v kapitolách 3.6 až 3.9, v nichž jsou víceméně popisným způsobem, bez konkrétnějších hodnot, uvedeny možné metody akustických měření, které jsou ilustrovány vývojovými diagramy pro výpočetní prostředí MATLAB. Považoval bych za účelné, aby byl popis doplněn, byť ukázkově, detailním rozbořením konkrétního problému, ukázkou postupu jeho řešení, včetně výpočetního postupu nebo matematického popisu. V přílohách by potom mohly (měly) být výpisy programů pro jednotlivé výpočty, pokud tyto nepodléhají ochraně nebo zvláštnímu režimu.

Navržené měřicí metody byly autorem experimentálně ověřeny v reálných podmínkách a porovnány s výsledky získanými standardizovanými postupy podle příslušných norem, uvedených v seznamu použité literatury. V popisu experimentu chybí za ilustračním snímkem nákres uspořádání experimentu, s vyznačením poloh a vzdáleností klíčových prvků, stejně tak nejsou definovány, vstupní podmínky, které by mohly zajistit opakovatelnost měření. Výsledky experimentu ukazují, že využití hudebního signálu pro akustická měření je v zásadě možné, za předpokladu výběru vhodného signálového vzorku. Jeho minimální nebo doporučené parametry nejsou v závěru práce jednoznačně ani v určitém intervalu uvedeny. Také prohlášení na straně 53, že „...doby dozvuku se liší maximálně o 2 s, což lze ... považovat za dobrý výsledek“ je překvapivé. Uvedená tolerance by byla snad přijatelná pro prostory s extrémní dobou dozvuku (teoreticky s  $t_d > 20$  s).

Lze však konstatovat, že vytýčeného cíle bylo v podstatě dosaženo, a bylo prokázáno, že za určitých specifických podmínek je možné hudební signál využít pro akustická měření.

Výsledky uvedené v předložené dizertační práci potvrzují výchozí předpoklad o možném využití hudebního signálu pro akustická měření a vytvářejí základy pro další výzkumnou činnost v této oblasti. Za stávajícího stavu není ještě možné uvedené metody považovat za univerzálně použitelné pro jakýkoliv hudební žánr. Stálo by za úvahu, zda v budoucnu nevytvořit soubor hudebních měřicích signálů, u nichž by byly výsledky měření prokazatelně relevantní a bez problémů aplikovatelné v běžné praxi bez potřeby speciální měřicí techniky. V tomto směru lze dizertační práci ing. Sýkory považovat za přínos pro problematiku akustických měření. Modifikace nových měřicích metod vytváří vývojové a aplikační prostředí s širokým možným uplatněním v oblasti zvukové techniky. V ideálním případě je možné předpokládat, že měřicí metody, založené na hudebním signálu, budou implementovány přímo do zvukových procesorů, případně budou moci být využívány s minimální přístrojovou podporou.

Uspořádání a členění jednotlivých kapitol dizertační práce je přehledné, systematický přístup narušuje terminologická nejednotnost, např. ve stejném významu použito: prostor/místnost (s. 3, 9); nespecifikované pojmy: ozvučovací systém/zvukový systém (s. 5, 6). U všech matematických výrazů (s výjimkou (12)) by měl být použit pojem rovnice, místo uváděného vztah. Zcela nesprávně je použit termín normalizace (s. 32, 42), namísto termínu normování.

Problémem jsou i chybějící vysvětlující vazby mezi textem některými grafy. Např. v grafech na obr. 29 a 30 jsou uváděna spektra signálů až od frekvence cca 4 kHz a časovým zpožděním cca 15 s, na obr. 31 je spektrum signálu jazz analyzováno od frekvence 5 kHz, s časovým zpožděním téměř 20 s, zatímco signál metal, na obr. 32, má uvedeno spektrum od 20 Hz a prakticky bez časového zpoždění, obdobně jsou disproporce v grafech na obrázcích 33 a 34. Ani v jednom případě není v textu zdůvodnění rozdílného přístupu k analýze signálů.

Formální zpracování předložené dizertační práce vykazuje řadu závažných nedostatků a je akceptovatelné pouze v případě velmi tolerantního přístupu, vzhledem k nárokům obvykle kladeným na práce tohoto typu a požadavkům příslušných norem. Ve smyslu ČSN ISO 7144 musí být za obsahem uveden seznam obrázků, seznam tabulek, seznam příloh a seznam použitých symbolů a zkratk. V návaznosti na související normy ČSN 01 6910, ČSN ISO 2145, ČSN EN ISO 3098, ČSN EN 80000, ČSN ISO 690, aj., se v práci vyskytuje množství systematických, opakujících se chyb:

- 1) rovnice, tabulky, obrázky musejí být od textu odděleny nahoře i dole prázdným řádkem (s. 5-8, 10, 12, 17, 24, 28, 29, 31, 38, 40-42, 45, 47, 50, 51, 54).
- 2) popisky tabulek musejí být nad tabulkou, zarovnání vlevo. Popisek tabulek i obrázků se od číslování odděluje pouze mezerou.
- 3) rovnice musejí být zpracovány stejným stylem, nejlépe stejným fontem a ve stejné velikosti jako text (s. 5, 6, 10, 38).

S tím souvisí i nesprávné používání interpunkční tečky místo tečky násobící (s. 6, 7), použití  $\times$  místo násobícího křížku  $\times$  (s. 44), psaní matematického výrazu bez mezer (s. 10) a použití uvozovek " " místo symbolu " " pro palcovou míru.

Také symbolika, použitá v dizertační práci, vykazuje několik nedostatků. V řadě případů není v textu vysvětlen význam symbolů při jejich prvním výskytu podle ČSN ISO 7144 (s. 8, 10, 28, 38, 40). Seznam symbolů je neúplný nebo je v něm uvedena jiná značka než v textu. Chybějící symboly v seznamu:  $c$ ,  $f$ ,  $M$ ,  $\tau$ ,  $\lambda$ ,  $k$ ,  $d$ ,  $td$  (správně má být zřejmě  $t_d$  nebo  $t(d)$ ),  $l$ ,  $w'$ ,  $D(t)$ ,  $E_T$ ,  $E_\infty$ ,  $E(n)$ ,  $p^2$ ,  $R$ ,  $P$  a  $L$  (jako hladinové vyjádření). U číselných hodnot zpravidla chybějí řádové mezery.

Z pohledu formální a grafické úpravy mě vadí nejednotný styl tabulek, kdy je v některých tabulkách uváděna frekvence v kHz (s. 45, 50, 51, 54) a jindy v Hz (s. 31, tabulky v příloze D, kde je v posledním sloupci navíc použit jiný font). Ani grafy nemají jednotné provedení, frekvenční osa bývá zpravidla logaritmická, aby bylo možné lépe zachytit rozdíly v dolní části spektra (obr. 29-34).

V celém souboru příloh chybí číslování stránek, chybí popisek u obr. 18, jsou přehozené grafy na obr. 24 a 25. V grafech (obr. 16 a 17) nemá vertikální osa udanou jednotku, přestože se jedná o grafický záznam úrovně signálu. Není tak zřejmé, jde-li o relativní hladinové vyjádření, průběh napětí nebo úroveň modulace.

Přes výše uvedené výhrady pozitivně hodnotím grafické zpracování vývojových diagramů, výsledků spektrální analýzy (obr. 18-28) a výsledků korelační analýzy (obr. 7, 8, 35-43) i srovnávací graf na obrázku 44.


Jazykovou stránku dizertační práce považuji, v porovnání s jinými pracemi, za standardní průměr, jen ojediněle se vyskytují větší chyby nebo nepříliš zdařilé formulace: s. 2 - rozebrat vlastnosti hudebního signálu/lépe možná *analyzovat...*; s. 13 - 2. odst., 2. řádek: chybí *se*, 6. řádek zdola: *směřuje/směřuje*; s. 24 - 4. řádek: domnívám se, že by bylo vhodnější použít ustálený tvar množného čísla *vycházejí*; s. 35 - chybí označení úhlových stupňů: o 180°; s. 44 - ...byla zvolen postup...; zřejmě nedokončená věta na s. 47 - 3. řádek: ...je znázorněná na Měření bylo...

Citace použitých zdrojů i vlastních prací neodpovídají požadavkům ČSN ISO 690. Norma připouští řadu možností pro uspořádání citací, nicméně základním požadavkem je jednotný styl všech citací, tj. plná jména autorů nebo iniciály, pole tvůrců končí tečkou, bez dalšího oddělovače. Jména autora/autorů se neuvádějí tučně, příjmení autora/autorů se píše ve formátu všechna velká. Za posledním polem citace (rok, ISBN, ISSN...) je vždy tečka. Citace časopiseckých článků a konferenčních příspěvků je z pohledu ČSN ISO 690 a navazujících norem nevyhovující.

Soupis autorských článků, výzkumných zpráv a konferenčních vystoupení obsahuje 27 položek, ze kterých je zřejmé autorovo zaměření na oblast akustických a elektroakustických měření a dokládá jeho systematickou práci v daném oboru. V tomto ohledu oceňuji praktické zaměření uvedených publikačních výstupů, i když by bylo možné vznést námitku, že řada z nich nespadá do kategorie bodovaných výsledků v RIV.

Po odborné stránce nemám k předložené práci natolik zásadní připomínky, které by měly vést k jejímu přepracování. Z mého pohledu se jedná o velice náročné výzkumné téma a předložená dizertační práce, i v relativně menším stránkovém rozsahu, přináší formulaci problému, návrh možných řešení a také konkrétní dílčí výsledky, ověřené praktickým experimentem. Celkovou úroveň dizertační práce značně snižuje její formální zpracování, které je na velice nízké úrovni, a mnoha chybám se dalo předejít pečlivostí při zpracování, pečlivou korekturou textu a dodržováním požadavků příslušných norem.

Přes veškeré výše uvedené výhrady **doporučuji** předloženou dizertační práci k obhajobě.



doc. dr. René Dřtina, Ph.D.

V Chlumci nad Cidlinou dne 27. prosince 2013

Náměty k diskusi při obhajobě práce:

- 1) Rozsáhlé analýzy spektrálního složení zvukových snímků různých hudebních žánrů, provedené v roce 1993 ve VÚRT Praha ukázaly, že i s použitím nových postupů tvorby tónů a nových nahrávacích technologií odpovídá průměrné spektrální složení v podstatě tzv. přirozenému rozdělení hudebního signálu. Z jakého důvodu tedy nebylo uvažováno srovnání použitých hudebních signálů s růžovým šumem, který má, podobně jako bílý šum, přesně definované spektrální složení a více odpovídá zatížení elektroakustického řetězu v normálním provozu?
- 2) Z grafů na obr. 19-22 vyplývá, že zatímco spektrální složení metalové nahrávky přibližně odpovídá tzv. přirozenému rozdělení hudebního signálu, u jazzového snímku je zejména v oblasti nad 4 kHz výrazně odlišné. Čím je možné tuto disproporci v řádu přes 10 dB vysvětlit?
- 3) Z jakého důvodu nebyly pro měřicí účely analyzovány a případně i odzkoušeny i jiné hudební žánry? Např. klasická hudba, pop, rock, atd.
- 4) Bylo v rámci spektrálních analýz ověřováno, jestli závislost spektrálního složení bílého šumu na délce průměrování závisí také na použitém generátoru bílého šumu, případně jaký je rozdíl mezi generováním bílého šumu analogovou a digitální cestou?
- 5) Z jakého důvodu je v grafu na obr. 31 (jazzová nahrávka) analyzováno spektrální složení okna 512 vzorků až od frekvence cca 5 kHz?
- 6) Lze uvedenou metodu měření v současné době uvést do běžné praxe? Případně za jakých podmínek?



## Oponentský posudek disertační práce

Oponovaná práce: Ing. Martin Sýkora - Akustická měření pomocí hudebního signálu  
Oponent: Ing. Karel Motl, Soning Praha a.s., kontakt: 737 243 969, karel.motl@soning.cz

Předložená disertační práce pojednává o metodách měření doby dozvuku prostor s hudební produkcí a řeší danou problematiku za použití hudebního signálu jakožto měřícího. Práce obsahuje popis podstatných souvisejících témat a její význam pro obor spočívá z hlediska praxe v možnosti realizace měření s lidmi (obsazený sál), kdy standardní metody v podobě šumu či přeladovaného sinusového signálu nejsou v hodné z hlediska diskomfortu posluchačů. Problematika bývá běžně řešena dopočty průměrných koeficientů akustické absorpce s menšími či většími omezeními.

Práce je vypracována přehledně s jasným definováním problematiky, obsahuje systematické popisy bez zbytečných rozvětvení, vytknout lze např. nedokončenou větu na str. 47, popř. kolísající kontrast v obrazových přílohách. Je také na zvážení, zda neupravit hranici vymežující zařazení obrázků do příloh a některé nezařadit přímo do textové části.

Postup řešení obsahuje popis všech podstatných kroků, k dalšímu rozvinutí tématu lze navrhnout například vliv směrových charakteristik reprosoustav (k měření se používají standardně všesměrové zdroje). Analyzovaný kmitočtový rozsah (limitovaný opět zvukovou aparaturou) je v souladu s ČSN ISO 3382. U popisované problematiky analýzy vhodných signálových komponent pro vyhodnocení měření by bylo vhodné také zvážit přípravu měřícího hudebního signálu v podobě dodatečné expanze jeho dynamického rozsahu. V neposlední řadě může být také tématem výpočetní náročnost potřebných operací a možnosti optimalizace použitých algoritmů.

Práce obsahuje jak teoretickou tak praktickou část a její výstupy lze označit za odpovídající specifikaci zadání. Z popisu praktické části je zřejmá praxe řešitele v oblasti ozvučování a měření (např. kalibrace metrologického vybavení před zahájením měření či analýza porovnání naměřených výsledků).

Práce jasně specifikuje danou problematiku a vymezuje problémy vyplývající z dané metody měření, na které lze navázat další rozvoj této problematiky. Publikace předcházející práci vycházejí z průběžných mezivýsledků a aktivit ze zvukařské praxe v podobě recenzí v odborném periodiku.

Celkově je disertační práce Ing. Sýkory vypracována na dobré úrovni (s některými formálními nedostatky), splňuje zadání, a proto ji *doporučuji k obhajobě*.

Karel Motl

V Praze dne 30. 12. 2013