

OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: **Pokročilá metoda pro měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů**

Autor: **Ing. Ladislav Zuzjak**

Školitel: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**

Oponent: **doc. dr. René Drtina, Ph.D.**

Předložená dizertační práce obsahuje 63 stran textu + 7 stran příloh, soupis použitých zdrojů a seznam autorových publikací, které se vztahují k řešené problematice. Práce je členěna do deseti kapitol.

V úvodu autor uvádí jako východiska pro využívání vícekanálových ozvučovacích systémů vícekanálové zvukové systémy kin a tzv. domácích kin, od nejrozšířenějšího systému Dolby v nejrůznějších variantách až po systém SDDS. Nastiňuje problematiku ozvučování velkoobjemových netlumených prostorů při současném požadavku dobré srozumitelnosti a správně uvádí, že ani nejmodernější digitální technologie nejsou schopny stoprocentně eliminovat akustické nedostatky ozvučovaného prostoru. Jako specifický příklad velkých prostorů je uveden příklad vícepásmového ozvučení vnitřního prostoru automobilu, což je těžištěm vlastní dizertační práce. V obecné rovině je v úvodu zdůrazněna nutnost rozvoje měřících metod pro optimalizaci a nastavení vícekanálových a vícepásmových ozvučovacích systémů.

Cíle dizertační práce byly vzhledem k charakteru zvukového pole v kabině automobilu, které je značně ovlivněno vedlejšími cestami šíření zvuku, odrazy, vibracemi konstrukce automobilu a specifickým hlukovým pozadím, stanoveny ve značně širokém, ale tematicky adekvátním rozsahu. Východiskem bylo posouzení koncepcí ozvučovacích systémů v automobilech z hlediska celkových parametrů a parametrů jednotlivých komponent, stanovení měřených parametrů pro nastavení zvukového systému, posouzení možností a stanovení limitů měřících metod s ohledem na frekvenční a dynamický rozsah a hlukové pozadí.

Úkolem doktoranda bylo na základě výsledků provedených rešerší a analýz navrhnout a realizovat měřící metodu, která bude použitelná v akusticky specifickém prostoru automobilu, posoudit možnosti detekce a identifikace vedlejších cest šíření zvuku a experimentálně ověřit funkčnost navržené měřící metody a způsob vyhodnocení jednotlivých parametrů v modelových situacích volného akustického pole a ve specifickém akustickém prostředí automobilu.

Ve třetí kapitole autor uvádí příklady některých aplikací pro měření a nastavení parametrů ozvučovacích soustav, které jsou ale primárně určeny pro velké PA systémy v plenéru nebo ve velkoobjemových prostorech. Pro hodnocení přínosu dizertační práce je podstatná skutečnost, že existují metody a softwarové aplikace, které by rámcově (s určitým omezením) mohly splňovat alespoň základní požadavky hodnocení akustického pole a následné optimalizace nastavení elektroakustického systému v automobilech. Kromě obtížné komerční dostupnosti uvedených aplikací je největším problémem absence informací, podle nichž by bylo možné provést jejich hodnocení. Třetí kapitola uzavírá rešeršní část dizertační práce.

Čtvrtou kapitolou začíná vlastní tvůrčí část dizertační práce a v podkapitole 4.1 je zřejmý přínos doktoranda k řešené problematice, kdy na základě rozsáhlých měření stanovil požadavky na frekvenční pásma pro měření jednotlivých měničů ozvučovacího systému automobilů. Výsledky uvedené v tab. 4.1 lze spolu s určením spektrální charakteristiky hlukového pozadí v kabině automobilu (kap.5) považovat za klíčové východisko pro návrh měřící metody. V textu však není uvedeno, za jakých provozních podmínek a jakým způsobem bylo hlukové spektrum stanoveno a jaký je potřebný odstup měřícího signálu od hlukového pozadí.

Vlastní měřící metoda je navržena na bázi impulzních signálů a analýzy jejich odezvy v daném prostoru s formálně jednoduchým matematickým řešením. Následně autor analyzoval různé typy impulzních měřících signálů a jejich vhodnost pro použití v jím navržené měřící metodě. V následujících kapitolách (kap.6-8) je podrobně popsána metodika výpočtů jednotlivých parametrů ozvučovacího systému.

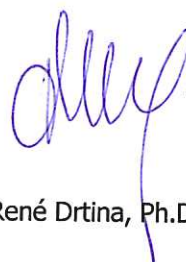
Celková konfigurace měřicí metody vychází z předcházejících dílčích řešení. Výsledkem autorovy časově náročné teoretické a experimentální činnosti je zdánlivě formálně jednoduchý vývojový diagram funkce ověřené měřicí metody (obr.9.1). Porovnání výsledků reálného měření a matematické simulace vykazuje prakticky vynikající shodu, kdy je z praktického hlediska nutné rozlišovat měřitelné rozdíly a jejich poznatelnost v rámci subjektivního sluchového vnímání.

Dizertační práce je graficky i jazykově zpracována na velmi dobré úrovni, členění je logické a přehledné a v podstatě kopíruje časový vývoj nové měřicí metody. Po formální stránce lze mít výhrady k tomu, že textová část nerespektuje doporučení norem ČSN ISO 2145 a ČSN ISO 7144. Podle uvedených norem nemá číslování kapitol a podkapitol tečku za poslední číslici; číslování obrázků, tabulek a rovnic je průběžné v celém textu. Přílohy mají zpravidla číslování A, B, atd. a samostatné stránkování, odlišené od vlastního textu dizertační práce. Je však možné, že formální stránka odpovídá zvyklostem daného pracoviště a v žádném případě nesnižuje odbornou úroveň předložené dizertační práce.

Soupis použitých zdrojů představuje široký teoretický základ, ze kterého autor čerpal při vlastním výzkumu. Přehled autorových publikací a konferenčních vystoupení dokládá systematickou práci v oblasti akustických měření a dlouhodobý zájem o danou problematiku.

Závěrem lze konstatovat, že dizertační práce Ing. Ladislava Zuzjaka bezesporu splnila stanovené cíle. Vyvinutá a ověřená měřicí metoda přináší zrychlení práce při řešení ozvučovacích systémů automobilů a vytváří předpoklady pro další výzkum a vývoj v této oblasti a může být dobrým východiskem pro automatizaci hodnocení a následný procesing ozvučovacích systémů automobilů.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem **doporučuji** dizertační práci Ing. Ladislava Zuzjaka k obhajobě.



doc. dr. René Drtina, Ph.D.

V Chlumci nad Cidlinou dne 12. listopadu 2018

Náměty k diskuzi při obhajobě dizertační práce:

- 1) Za jakých provozních podmínek bylo stanoveno hlukové pozadí a jeho toleranční pole?
- 2) Jakým způsobem ovlivňují hlukové pozadí použité pneumatiky (letní/zimní) a povrch vozovky?
- 3) Jaký je potřebný minimální odstup měřicího signálu od hlukového pozadí, aby výsledky měření byly relevantní.
- 4) Vzhledem k tomu, že se nízké frekvence svojí vlnovou délkou do prostoru kabiny automobilu tzv. nevejdou, uvažují se hlubokotónové měniče funkčně jako tlakové?
- 5) Umožňuje použitá měřicí metoda při poslechu ve volném poli optimalizaci nastavení podle výsledků měření alespoň částečnou eliminaci velkých tzv. audiovizuálních chybových úhlů, způsobených zástavbou měničů se značně rozdílnými vzdálenostmi od posluchače.
- 6) Je možné optimalizovat subjektivní kvalitu poslechového vjemu při reprodukci spektrálně, dynamicky a fázově degradovaného stereofonního signálu (např. rozhlasové vysílání zpracované vícepásmovým kompresorem/limiterem s tzv. rozšířením stereofonní báze)?
- 7) Lze ve zvukovém systému podle obr.4.1 ponechat v činnosti pouze centrální zářič? Pokud ne, tak z jakého důvodu?
- 8) Je možné vyvinutou měřicí metodu využít i pro mnohokanálové ozvučovací systémy velkých netlučených prostorů s extrémní dobou dozvuku (typicky např. nádražní haly nebo kostely)?

Oponentní posudek na doktorskou práci

„Pokročilá metoda pro měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů“

Doktorand: Ing. Ladislav Zuzjak

Školitel: Ing. Oldřich Tureček, PhD.

Oponent: Ing. Tomáš Hrádek

Zhodnocení významu zpracovaného tématu

Cílem předložené dizertační práce byl návrh metody pro měření, optimalizaci a nastavení vícekanálových ozvučovacích systémů v automobilech. Vzhledem k celosvětovému rozmachu automobilového průmyslu a obrovským investicím do výzkumu a vývoje v rámci tohoto odvětví je problematika ozvučovacích systémů velmi aktuální. Na základě toho lze tedy předpokládat, že její výsledky najdou téměř okamžitě uplatnění a praktické využití. Oblast akustiky a elektroakustiky obecně v posledních letech získává stále většího významu, což ani automobilovém průmyslu nelze pominout.

Struktura dizertační práce

Dizertační práce má více než 60 stran vlastního textu a je rozdělena celkem do deseti kapitol. Struktura dizertační práce je vystavěna přehledně a v logických návaznostech. V kapitole 3 jsou popsány aktuálně používané postupy pro měření akustických parametrů zvukových systémů. V kapitole 4 nalezneme základní popis ozvučovacích systémů, z jejichž parametrů návrh nové měřicí metodiky vychází. V kapitole 5 je pak popsán návrh vlastní měřicí metodiky. V kapitole 6 je analyticky rozpracováno měření přenosových charakteristik. Kapitoly 7 a 8 jsou zaměřeny na měření signálového zpoždění a na návrh analýzy rezonancí v interiéru automobilu. Kapitola 9 pak všechny dříve uvedené postupy sumarizuje do kompaktního celku.

Vyjádření k postupu řešení problematiky, použitým metodám a splněním cíle

Z dizertační práce je zcela zřetelně znatelný jednak velmi systematický přístup doktoranda k dané problematice, a dále pak velmi dobrá praktická znalost vývoje v automobilovém průmyslu a to v širších souvislostech. Díky tomu je práce dobře strukturovaná a jasně prakticky zaměřená. Dokladem toho je značný důraz na co nejjednodušší provedení samotných měření zacílené na co nejsnazší aplikovatelnost.

Kabina automobilu je z hlediska akustiky velmi komplikovaným prostorem, se kterým je nutné dle toho analyticky nakládat, což si doktorand jasně uvědomuje. Práce obsahuje jak odpovídající matematický aparát, tak přehledné schematické diagramy, které pochopení problematiky velmi pomáhají. Uváděné teoretické předpoklady a metody jsou povětšinou prakticky ověřeny a dokladovány (např. formou měření reproduktorových soustav v bezodrazové komoře).

V disertaci je na několika místech zmíněna vyšší hladina hluku pozadí. Tento hluk ale není nijak blíže specifikován, ani dále komentován. Toto považuji za zajímavou informaci, která by zasloužila doplnění. Velmi zajímavé by bylo práci rozšířit o uvedení konkrétních příkladů od začátku měření, zhodnocení konfigurace systému a závěrečného měření po provedení příslušné ekvalizace.

Vyjádření k formální typografické a jazykové úrovni disertační práce

Dizertační práce je po stránce typografické a jazykové na velmi dobré úrovni. Práce je přehledná, dobře strukturovaná a graficky profesionálně provedená. Text je srozumitelný, logický a čtivý. V dizertaci jsou důsledně uváděny odkazy na literaturu a použité prameny.

Vyjádření k publikacím disertanta

V seznamu publikací uvádí doktorand celkem 16 publikací a dále pak 4 příspěvky na konferencích. Uvedené publikace jsou jak v českém, tak i anglickém jazyce. Několik článků bylo publikováno v časopise Muzikus. Největší množství publikací a konferenčních příspěvků je pak vázáno na celoevropské resp. celosvětové konference Euronoise a Inter-Noise. Celkově je uvedená publikační činnost na velmi dobré úrovni.

Náměty do diskuse při obhajobě disertační práce

- Jaké jsou výsledky subjektivního porovnání ozvučovacích soustav před a po optimalizaci?
- Jaké je další předpokládané praktické využití výsledků disertační práce?

Případné doplňující dotazy

- Jaký byl uvažován hluk pozadí pro vlastní proces optimalizace?
- Jak úspěšná byla analýza rezonancí při současné rezonanci více částí automobilu na blízkých frekvencích? Bylo prováděno jejich rozlišení?
- Kolik bylo provedeno reálných testů na různých automobilech a jaký je disertantův předpoklad pro masivní rozšíření navržené metodiky do automobilového průmyslu.

Závěr

Závěrem konstatuji, že posuzovaná dizertační práce Ing. Ladislava Zuzjaka a jeho dosavadní vědecká činnost odpovídají požadavkům pro udělení akademického titulu Ph.D., a proto **doporučuji disertační práci k obhajobě.**

V Roudnici nad Labem 25.1.2019



.....
Ing. Tomáš Hrádek

Oponentní posudek na doktorskou disertační práci „Pokročilá metoda měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů“

Doktorand: Ing. Ladislav Zuzjak

Školitel: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.

Oponent: Prof. Ing. Ondřej Jiříček, CSc.

V předkládané disertační práci disertant na více než 70 stranách popsal svůj příspěvek k aktuálnímu tématu vícekanálového ozvučování interiérů automobilů. Práce je rozdělena na deset kapitol včetně úvodu a závěru a dále práce obsahuje seznam použité literatury, disertantovy publikace, seznam použitých symbolů a tři přílohy.

Po obecném úvodu následuje druhá kapitola obsahující cíle disertační práce. Zde se čtenář dočítá, co bude obsahem následujícího textu. Následuje třetí kapitola, která je krátkým přehledem technik měření zvukových systémů včetně těch automobilových, kterým se pak podrobněji věnuje kapitola čtvrtá.

Pátá kapitola se již zabývá návrhem vhodné měřicí metody, která by poskytla informace potřebné pro nastavení zvukového systému automobilu. Je z ní patrné, že doktorand má zkušenosti s reálným měřením, proto je z celého textu cítit, že teorie byla doplněna později. Nicméně zvolené metody měření nejsou jediné možné a v současné době ani nejsou nejobvyklejší.

Šestá kapitola popisuje měření amplitudové charakteristiky, respektive frekvenční závislosti hladiny akustického tlaku, pomocí impulsních měření. Zde je pečlivě popsán způsob výběru signálů na základě jejich vlastností v závislosti na testovaném měničích. Z popisu vyplývá, že pro jednotlivá frekvenční pásma musí být použit odpovídající signál a výsledná charakteristika je pak složením vhodných částí jednotlivých charakteristik. Tento postup jistě vede k cíli, avšak v dnešní době se běžně využívají i jiné metody, které nejsou založené na problematickém podílu dvou spekter. O těch se práce vůbec nezmiňuje.

Následně se kapitola 7 věnuje metodám měření časového zpoždění signálu způsobené přenosem. Jsou zde popsány dvě metody, z nichž první je založena na měření přenosové funkce, respektive její fáze, a druhá je pak založena na měření korelace. Zatímco první metoda má svou slabinu v numerickém výpočtu derivace fáze, druhá zase naráží na problém hledání maxima korelační funkce, který je zde správně řešen použitím Hilbertovy transformace.

Z názvu osmé kapitoly vyplývá, že by se měla zabývat identifikací vedlejších cest šíření zvuku, které se neblaze podepisují na kvalitě reprodukce zvuku v kabině automobilu. Jejich hodnocení je založeno na měření doby dozívání $T_D(f)$ (podobné době dozvuku) v kabině. Za slabinu považují skutečnost, že v prostorech tohoto typu se nedá hovořit o difúzním zvukovém poli, tedy základní předpoklady statistické akustiky nejsou splněny. To pak pochopitelně vede ke zlomům na poklesových křivkách, podobně jako tomu je u vázaných prostorů. Tedy předpoklad uprostřed strany 50, že by křivka měla obsahovat pouze jeden zlom není správný. Disertant také nevysvětluje, proč zvolil frekvenční pásmo pouze do 200 Hz. V tomto pásmu musí být výrazné vlastní módy prostoru, které nejsou dostatečně husté a tedy není jasné, co je vlastně výsledkem tohoto měření. Hlavní nedostatek kapitoly je v jejím názvu, protože se jedná spíše o identifikaci důsledků vedlejších cest.

Devátá kapitola pak popisuje celkovou konfiguraci a postup vyhodnocení celého měření. Kapitola obsahuje vývojové diagramy, které popisují, jak se postupuje v případě celkového měření vícekanálového systému v automobilu. Je zde také naznačena možnost

použití filtru(ů) k eliminaci rezonancí vzniklých kvůli zástavbě reproduktorů do dveří automobilu. Následuje ukázka vlivu zástavby středového a výškového reproduktoru do dveří, který je ukázán na srovnání s měřením v bezodrazové místnosti. Domnívám se, že dvaapůlřádkový popis tohoto měření je nedostačující. Zcela chybí informace, jak proběhlo ono referenční měření ve volném poli.

Je třeba zdůraznit, že doktorand zpracoval aktuální téma, které spadá spíše do aplikovaného výzkumu. Přínosem je pak především návrh komplexní metody měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů, což byl i hlavní cíl disertační práce. Množství citované literatury ukazuje na dostatečný přehled doktoranda ve vybrané oblasti. Ze soupisu disertantových publikací je zřejmé, že je v oboru dostatečně aktivní, avšak bylo by dobré publikovat i v relevantních odborných časopisech indexovaných ve WoS a být při tom hlavním autorem.

Práce je zpracována přehledně, logicky a na dobré jazykové úrovni, avšak v dnešní době je trochu škoda, že není napsána anglicky. Není divu, že v textu lze nalézt některé drobné nesrovnalosti a překlepy, proto zmíním jen ty významnější:

- Je-li práce psána česky, pak je třeba dodržovat pravidla české sazby. Například platí, že rovnice je věta, tedy včetně interpunkce na konci, dále pak místo \tan^{-1} by se mělo používat \arctg .
- Na začátku autor používá slovo impuls se „s“, později pak se „z“, mělo by to být v celém textu jednotně.
- V textu je několik rovnic s překlepy (6.2, 6.3, 6.4, 6.5), někdy to lze označit za chybu (5.1, 5.7 nebo 6.13) a někde nesedí text se značením v rovnici (6.1).

V rámci diskuse bych rád položil následující otázky:

1. Na straně 21 se píše, že měřicí signál je třeba mít ve vhodném zvukovém formátu. Opravdu je mp3 formát vhodný pro měření?
2. Jaká je výhoda použití STFT oproti jemnější zlomkooktávové analýze (např. 1/24 oktávy) s dostatečně krátkou časovou konstantou? Pro jakou frekvenci je příklad na obr. 8.1?
3. Můžete uvést jaký má zpoždění do 10 ms, které jste naměřili v interiéru vozidla, vliv na poslech?
4. Co se myslí tvrzením na konci prvního odstavce závěru, že prostředí v automobilu je specifické „velkou ozvučovanou plochou“?

Navzdory výše uvedeným výhradám bych chtěl konstatovat, že doktorand ve své práci prokázal rozhled ve vybraném oboru a zároveň schopnost samostatně zpracovat zvolené téma. Zároveň jsem přesvědčen, že práce je přínosem pro rozvoj oboru a proto práci **doporučuji k obhajobě.**

V Praze dne 27. března 2019



Ondřej Jiříček