

Oponentní posudek

Disertační práce k získání akademického titulu Doktor (Ph.D.)

Autor práce: Ing. Michal Kašpárek

TUL Liberec, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Téma práce: Řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici semi-aktivní metodou s impedančním bočnickem.

Školitel: Prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.

Konsultant: Prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.

TUL Liberec, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Rozsah práce: 124 stran a 27 stran příloh.

Aktuálnost zvoleného tématu

Disertační práce se zabývá semi-aktivním tlumením zvuku pomocí elektrodynamického reproduktoru (EMSD) a piezo-elektrických aktuátorů (PSD) v akustické trubici a měřením jejich akustických vlastností. Téma je velice aktuální a tímto problémem se ve světě zabývají jak celé týmy, tak i laboratoře. Doktorand byl členem kolektivu, který vede pan prof. Pavel Mokřý, Ph.D., který je uznávaným odborníkem v oblasti tlumení hluku a vibrací. Pan profesor Mokřý v rámci Fakulty mechatroniky, informatiky a mezipředmětových studií vybudoval Laboratoř inteligentních materiálů a struktur, jejíž výsledky jsou široce publikovány a citovány. Doktorand zformuloval cíle disertační práce pro elektrodynamický (EMSD) a piezoelektrický aktuátor (PSD) s připojeným impedančním bočnickem. Podrobně rozepsal i jednotlivé kroky nutné k naplnění uvažovaných cílů. Předpokládám, že uvedené cíle byly v týmu řešitelů pokládány za významné pro realizování dalších řešených výzkumných projektů. Název doktorské práce „Řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici semi-aktivní metodou s impedančním bočnickem“ odpovídá obsahu práce pouze zcela obecně.

Charakteristika práce a její výsledky.

Práce je členěna do třinácti kapitol. **Kapitola 1** a **kapitola 2** tvoří předmluva a úvod. V **kapitole 3** je zdařile zpracován přehled současného stavu, který je doplněn podrobnými odkazy na světovou literaturu. Kapitola je uzavřena zhodnocením současného stavu. **Kapitola 4** je věnována formulaci cílů doktorské práce, které však ne zcela logicky navazují na zhodnocení současného stavu. Předpokládám, že vycházejí z požadavků řešených problémů v týmu spolupracovníků v „Laboratoři inteligentních materiálů a struktur“. Disertant sám pokládá za cíl práce analýzu dvou nosných témat a to dílčím zkoumáním definovaných vlastností metody semi-aktivním tlumením zvuku pomocí elektromagnetických aktuátorů (EMSD) a piezoelektrických aktuátorů. **Kapitola 5** popisuje v jednotlivých podkapitolách prostředky řešení, popis vlastností zvuku a vibrací. **Kapitola 6** „Metody měření“ obsahuje popis dvou-mikrofonního měření koeficientu zvukové pohltivosti a akustické impedance metodu přenosové funkce. V podkapitole 6.2 je popsána čtyř-mikrofonová metoda pro měření přenosové ztráty. V závěru kapitoly je navržen tvar horny jako bezodrazový akustický uzávěr impedanční trubice. Konstrukce měřicího systému je převzata od Martina Černíka, je ale upravena pro potřebu realizovaných měření. Součástí této kapitoly je i eliminace nábojové injekce. V podkapitole 6.2.2 je popsáno zvukové pole, které se měří čtyř-mikrofonovou metodou. Výpočet koeficientu odrazu a přenosu je popsán v podkapitole 6.2.3. Popis komplexního vlnového čísla a charakteristické impedance je uvedeno

v podkapitole 6.2.4. **Kapitola 7** obsahuje řešení semi-aktivního tlumení zvuku elektrodynamickým reproduktorem. V **Kapitole 8** popisuje doktorand řešení druhého nosného tématu měření akustických veličin na zkušebním vzorku s využitím piezoelektrického aktuátoru, tak jak to zformuloval v cílech disertační práce. Kapitola 8.1 obsahuje popis realizace měřicího systému čtyř-mikrofonovou metodou. Doktorand dokumentuje i způsob uzavření trubice akustickým uzávěrem-hornou. Popisuje i buzení systému sinusovým signálem o zvolené amplitudě, přístrojové osazení měření a připojení kanálů. Pro zpracování naměřených signálů využívá software MATLAB, který má naprogramovanou rychlou Fourierovu transformaci. Tato transformace byla nahrazena Diskrétní Fourierovou transformací. Kapitola 8.2 se zabývá kalibrací celého měřicího řetězce, jejímž výsledkem jsou amplitudové kalibrační charakteristiky naměřené v laboratořích TUL a v bezodrazové komoře VÚTS. Pro kalibraci doktorand vytvořil v prostředí MALABu program pro kalibraci měřicího systému pro čtyř-mikrofonovou metodu měření v impedanční trubici. Kapitola 8.3 shrnuje výsledky měření. Popisuje plán akustických měření semi-aktivního vzorku a dokumentuje měření volných aktuátorů MFC1 a MFC2. V podkapitole 8.3.2 popisuje schematicky konstrukci a základní vlastnosti realizovaného kompozitního vzorku, včetně materiálových charakteristik. Výsledky měření impedance upnutého kompozitního vzorku v rozmezí frekvencí 33 Hz-10 kHz. Doktorand také dokumentuje výsledky opakovaného měření. Měření linearity systému je popisuje podkapitola 8.3.3. Výstupem jsou vybrané naměřené amplitudové charakteristiky a potvrzení vysoké míry linearity aktuátorů. Podkapitola 8.3.4 popisuje výsledky dosažené při měření akustických vlastností semi-aktivního vzorku v bezodrazné komoře Výzkumného ústavu textilních strojů (VÚTS) v Liberci. Byly naměřeny kalibrační křivky, které byly porovnány s měřením v laboratoři TUL. Dále pak přenosové charakteristiky prázdné trubice, odrazová charakteristika a bylo provedeno porovnání polykarbonové desky s různým zapojením kompozitního vzorku. Následuje ještě celá řada experimentálních měření a jejich zobrazení. **Kapitola 9 „Diskuze a závěr“.** V této části autor shrnuje dosažené výsledky a provádí jejich subjektivní hodnocení.

Závěr

1. **Úroveň rozboru současného stavu:** Úroveň rozboru současného stavu v kapitole 3 pokládám za velmi zdařilou. Zvolené cíle však mohly lépe navazovat na závěry rozboru současného stavu a projektů v Laboratoři inteligentních materiálů a struktur. Postrádám zcela důvody pro volbu cílů.
2. **Teoretický přínos disertační práce:** Protože práce vznikala ve výzkumném týmu a doktorand explicitně neuvedl ve své práci svůj osobní přínos, bylo možno zformulovat až po krátké konzultaci s doktorandem vlastní přínos autora takto:
 - a) **EMSD:** byl proveden nový výpočet ideálního teoretického průběhu komplexní impedance bočníku, připojeného k dostupnému reproduktoru. Dále byla analyzována teoretická míra vlivu proměnných parametrů prostředí (např. změna vlhkosti vzduchu ve vztahu k rezonanční frekvenci EMSD systému)
 - b) **PSD:** Analýza metody čtyř-mikrofonového měření v akustické trubici, analýza možností jejího nasazení na dostupné, dříve pořízené měřicí nástroje (pro tento typ měření neexistuje norma); návrh kalibrační metody pro daný systém
3. **Praktický přínos disertační práce**
 - a) **EMSD:** realizace měření reálného průběhu komplexní impedance bočníku a srovnání teoretickým průběhem, realizace měření, provozní úpravy algoritmů, vizualizace a zpracování dat.
 - b) **PSD:** Rozšíření měřicího systému pro použití čtyř-mikrofonové metody s novými mikrofony, předzesilovačem, A/D měřicí kartou a optimalizace měřicího procesu. Ověření parametrického měřicího algoritmu a zpracování dat a vizualizace. Implementace kalibračního postupu včetně softwarové podpory v MATLABu. Akustické vlastnosti byly ověřeny realizací sérií testovacích měření v učebnách TUL i v bezodrazné komoře.

4. Použité metody řešení

Doktorand využíval popis fyzikálních vlastností zvuku, vibrací a inteligentních materiálů v kombinaci s měřením, matematického modelování jednotlivých akustických komponent, jejímž výsledkem jsou zpravidla nelineární modely. Součástí prací jsou i projekční činnosti a realizace navržených experimentů a měřících metod, které jsou podporovány vytvořeným software v prostředí MATLABu. Využívání elektronických prvků a mikroelektroniky je nedílnou součástí těchto prací.

5. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Využil maximálně možností uvedených metod při návrhu a realizaci měření akustických vlastností vybraných prvků. Projevil i vlastní invenci a nápady při projektování a realizaci experimentů. Dokladem je i 17 spoluautorských článků a publikací včetně 21 publikací v zájmové oblasti (časopis Muzikus).

6. Prokázání odpovídající znalosti doktoranda v oboru

Ve své práci doktorand prokázal znalosti teorie nejen z akustiky, materiálového inženýrství ale i z elektroniky a programování. Využil maximálně možností uvedených znalostí, včetně jejich implementace při ověřování vlastností EMSD a kompozitního vzorku s MFC a polykarbonátem. Získané výsledky ověřil měřením také v bezodrazové komoře VÚTS v Liberci.

7. Formální úroveň práce

Předložená doktorská práce po grafické úrovni odpovídá současným standardům. Postrádám přehled označení, zkratk a proměnných, především však jasně formulované přínosy práce doktoranda a její využitelnost ve výzkumu a praxi. V jednotlivých kapitolách totiž není v DP jasně oddělena jeho práce a práce kolektivu prof. Mokrého.

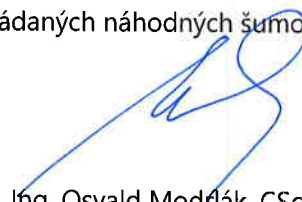
I přes uvedené připomínky, které nemají zásadní vliv na splnění cílů a požadavků na DP, práce je přínosem a dokazuje způsobilost k samostatné vědecké práci. Proto

„Doporučuji přijmout tuto doktorskou práci k obhajobě“!

Během rozpravy mám následující dotazy:

1. Vysvětlíte motivaci pro formulaci cílů Vaší doktorské práce? Proč není zřejmá vazba na rozbor současného stavu. Jaká byla motivace pro ověřování vlastností semi-aktivního kompozitního vzorku?
2. Jak ovlivňuje vzájemná poloha mikrofonů u čtyř-mikrofonové metody měření? Pokusil jste se o optimalizaci vzájemné polohy těchto mikrofonů?
3. Proč vzhledem k chybám měření a předpokládaných náhodných šumových signálů nebylo nutno realizovat opakování měření?

V Liberci dne 28. 12. 2017


Doc. Ing. Osvald Modřlák, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky.

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Hálkova 6

461 17 Liberec

prof. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.
Ústav automatizace a řídicí techniky
Fakulta aplikované informatiky
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Nad Stráněmi 4511
760 05 Zlín
E-mail: janacova@fai.utb.cz

OPONENTNÍ POSUDEK dizertační práce

Téma práce : **Řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici semi-aktivní metodou s impedančním bočníkem**
Doktorand : **Ing. Michal Kašpárek**
Školitel : **prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.**
Konzultant : **prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.**
Obor : 2301V031 – Výrobní systémy a procesy
Pracoviště : Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci

Oponentní posudek jsem vypracovala na základě jmenování děkanem Fakulty strojní, Technické univerzity v Liberci panem prof. Dr. Ing. Petrem Lenfeldem do funkce oponenta dizertační práce ze dne 13. 11. 2017.

Předložená dizertační práce je zaměřená na semiaktivní tlumení nežádoucího hluku s využitím metody aktivního řízení tuhosti aktuátoru s impedančním bočníkem. Práce obsahuje 153 stran textu včetně příloh.

Stěžejní cíle práce jsou částečně uvedeny v kapitole 2.1. Jedná se zejména o průzkum současných možností semiaktivního tlumení nežádoucího hluku s ohledem na možnosti řízení povrchové elasticity a s důrazem na frekvenční závislost akustického odrazu a transmisivity. Podrobně jsou cíle práce a dílčí úkoly rozepsány v kapitole 4; jedná se o zkoumání metody EMSD (electromagnetic shunt damping) a její experimentální ověření pro semiaktivní metamateriál využívající elektrodynamický reproduktor. V druhé rovině se věnoval návrhu a ověření čtyřmikrofonové metody pro analýzu akustického semiaktivního metamateriálu s aktuátory včetně praktického ověření v kontrolovaných podmínkách bezodrazové komory na pracovišti TUL.

V rešeršní části práce se autor věnoval podrobnému shrnutí poznatků týkajících se řešené problematiky se zaměřením na využití akustických aktivních metamateriálů, principu aktivního řízení aktuátoru a semiaktivní tlumení nežádoucího zvuku, které bylo úspěšně řešeno na TUL pod vedením pana prof. Mokřého, s nímž dizertant úzce spolupracuje. V dalších kapitolách se dizertant zaměřil na prostředky řešení, na návrh, realizaci a ověření čtyřmikrofonového měřicího systému na základě zkušeností s již dříve navrženého a realizovaného dvoumikrofonového měřicího systému.

Splnění cílů

Konstatuji, že autor zvolil vhodné metody řešení a zpracování. Vytyčené cíle práce jsou zcela splněny v celém rozsahu.

Aktuálnost téma a význam práce pro praxi

Téma dizertační práce považuji za vysoce aktuální a přínosné, jelikož výsledky přispívají jak k pasivní tak zejména k aktivní eliminaci nežádoucího hluku, jenž velmi negativně ovlivňuje zdravotní stav lidí (dokonce bylo zjištěno, že příliš hlučné prostředí již negativně ovlivňuje vývoj a zdravotní stav nenarozených dětí).

Význam předložené práce pro praxi je značný. Přínosy spatřuji zejména v důkladné analýze řešené oblasti. Významně rozšířil znalosti týkající se možností semiaktivního tlumení nežádoucího hluku s ohledem na možnosti řízení povrchové elasticity a s důrazem na frekvenční závislost akustického odrazu a transmisivity. Za tímto účelem autor realizoval dvoumikrofonový a unikátní čtyřmikrofonový měřicí systém pro určení a následně řízení zvukové pohltivosti a odrazivosti signálů, který experimentálně ověřil v odrazové komoře.

Formální a jazyková úroveň

Dizertační práce pana Ing. Kašpárka je vcelku precizně zpracována, je členěna přehledně, návaznost jednotlivých kapitol má logickou strukturu. V práci se objevilo několik překlepů, kterých však vzhledem k rozsahu práci není mnoho. Autor by neměl uvádět hovorové výrazy: např. *vypočíst* (str. 30, 45, 47...), *váha vzorku* (str. 47)... apod.

Grafické zpracování obrázků a grafů je kvalitní.

Připomínky:

- V práci postrádám seznam symbolů a použitých zkratk pro lepší orientaci v práci.
- Značení veličin vysvětlovaných v textu mělo být psáno kurzívou a stejným fontem jako v rovnicích.
- U některých rovnic jsou jednotky veličin uvedeny a v mnoha případech nikoliv.
- Shodné značení rozdílných veličin komplikuje orientaci v práci: např.:
Str. 33: T - mechanické napětí, str. 49: T – činitel tvaru, str. 63 T – teplota.
Str. 58 C - komplex. koeficient amplitudy, str. 60 C – zvuková vlna a na str. 75 C – jiný pomocný koeficient, P – tlak, a také elektrická polarizace....
- Nejen na str. 33: Různě značení jednotek v textu bez závorek, někdy v kulatých závorkách a někdy v hranatých závorkách.
- Str. 63: shodné číslování rovnic (7.1.3).
- Str. 74: Když $x=A/B$, na dalším řádku pak neplatí, že $A \cdot x=B$, což vyplývá i z následujícího textu.

Přes nalezené některé formální nedostatky má dizertační práce vysokou odbornou úroveň.

Otázky:

- Proč jste prováděl měření výstupního signálu zařízení s periodou vzorkování $40 \text{ S} \cdot \text{s}^{-1}$ (uvedeno na str. 73) ?
- V práci uvádíte, že jste akustická měření prováděl v ne zcela vyhovujícím prostředí odrazové komory TUL. Prováděl jste některá zkušební měření i na jiných pracovištích?
- Jakou máte představu o realizaci Vámi navrženého systému řízení tlumení nežádoucího hluku v reálném prostředí, kde se může vyskytovat velká škála zvuků různých frekvencí šířících se z různých směrů?

Závěrečné hodnocení

Pan Ing. Kašpárek si předsevzal v rámci své práce zvládnout náročný úkol, který v celém rozsahu velmi dobře splnil. Osvědčil, že ovládá vědecké metody práce při samostatném řešení konkrétního úkolu, prokázal své hluboké teoretické znalosti z oblasti akustiky, elektrotechniky a technické kybernetiky.

Dizertační práce pana Ing. Michala Kašpárka je zpracována na vysoké odborné úrovni. Přináší nové poznatky, ukazuje na jeho vynikající odborné schopnosti i způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci. Realizoval ucelené technické dílo od návrhu čtyřmikrofonového měřicího zařízení po řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici, které účinně umožní eliminovat škodlivý hluk a tím přispívá ke zlepšení životního prostředí.

Kladně též hodnotím jeho bohatou publikační činnost autora (v odborné oblasti 17 příspěvků z toho 14-krát prvním autorem, je rovněž spoluautorem národního patentu, ověřené technologie výroby samonosných cívek, užitečných vzorů a též řešitelem výzkumného úkolu). Má rovněž mnoho publikací v zájmové oblasti.

Obsahově předložená dizertační práce zcela jistě splňuje náročné podmínky kladené pro doktorské řízení v souladu s § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb., a proto ji

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .

Ve Zlíně, dne 11. 1. 2018


Dagmar Janáčková

Prof. Ing. Miluše Vítečková, CSc.
katedra automatizační techniky a řízení
Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava
ul. 17. listopadu 15
708 33 Ostrava - Poruba
tel.: 597 324 493
e-mail: miluse.viteckova@vsb.cz

Oponentský posudek

disertační práce

Autor: Ing. Michal Kašpárek

Téma: Řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici
semi-aktivní metodou s impedačním bočnickem

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci pana prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda ze dne 13. listopadu 2017.

Disertační práce Ing. Michala Kašpárka „Řízení přenosu a odrazu zvuku v akustické trubici semi-aktivní metodou s impedačním bočnickem“ obsahuje 123 stran textu a 27 stran příloh. Použitá literatura obsahuje 70 položek. V seznamu vlastních publikací je uvedeno 16 položek (6x samostatný autor), 1 článek je v tisku. Následuje seznam výsledků v oblasti vědeckovýzkumné činnosti (4) a publikace autora v zájmové oblasti, kde uvádí populárně technicko-historický seriál – Vývoj záznamových zařízení (21 dílů) pro časopis Mízikus.

1. Aktuálnost zvoleného tématu disertační práce

Disertační práce Ing. Michala Kašpárka se věnuje problematice semi-aktivního tlumení zvuku s využitím metody aktivního řízení tuhosti. V práci doktorand popsal dvě metody využívající AEC (Active Elasticity Control) pro řízení tuhosti piezoelektrického aktuátoru a elektrodynamického reproduktoru. Vliv nadměrného hluku je škodlivý nejen pro zdraví člověka, ale hluk a s ním spojené vibrace mohou mít rovněž negativní vliv také na technologické prostředky a procesy. Potlačení hluku a vibrací vede nejen ke zlepšení kvality života, ale i ke zvýšení životnosti mechanických částí strojů a k dalším pozitivním jevům. Z toho hlediska je zvolené téma vysoce aktuální.

2. Metody zpracování disertační práce

Při zpracování disertační práce doktorand použil dvě metody. V první metodě využil existující systém měření akustických vlastností měřených vzorků dvoumikrofonovou metodou, kterou pak rozšířil na čtyřmikrofonovou metodu. Finální měřicí systém otestoval v prostředí bezodrazové komory VÜTS v Liberci.

Výsledky disertační práce ukazují na zodpovědný přístup doktoranda k řešení daného tématu a jsou dokladem toho, že použité metody a přístupy byly vhodně zvoleny a správně použity.

3. Dosažené výsledky disertační práce a nové poznatky

Za důležité původní výsledky a nové poznatky považuji:

- experimentální ověření simulačních výsledků pro průběh optimální impedance EMSD (Electromagnetic Shunt Damping) bočníku dvoumikrofonovým měřením v akustické impedanční trubici a podrobná analýza dosažených výsledků;
- vytvoření nového čtyřmikrofonového měřicího systému, navržení metody měření a programového vybavení, včetně kalibrace navrženého měřicího systému;
- navržení nového semi-aktivního kompozitního akustického vzorku, proměření jeho vlastností;
- podrobná analýza dosažených výsledků a navržení možností dalšího postupu.

4. Přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Výsledky dosažené v disertační práci najdou své uplatnění při dalším vývoji měřicího nebo tlumicího zařízení a přispějí k rozvoji oboru.

5. Připomínky a poznámky k disertační práci

Připomínky:

- Disertační práce neobsahuje seznam použitých symbolů a zkratk, v textu se doktorand sice snažil vysvětlit jejich význam, ale ne vždy se mu to podařilo [např. co je μ ve vztazích (6.2.3) a (6.2.4) na str. 49]. Zároveň je použito stejné označení pro různé pojmy [např. S je na str. 36 ve vztahu (5.6.1) plocha [m^2] a na str. 33 značí deformaci ve vztahu (5.5.4), rovněž T má několik různých významů].
- Rozměry veličin by bylo vhodné uvádět vždy stejným způsobem.
- Na str. 75 by bylo lepší vztah (8.1.4) zapsat matematicky ne jako příkaz v prostředí Matlab.

V žádném případě uvedené nedostatky nesnižují dobrou odbornou i formální kvalitu disertační práce, která přináší řadu původních výsledků, které určitě najdou úspěšné praktické využití. Text jednotlivých kapitol je ucelený a na sebe logicky navazuje.

6. Otázky k řešené problematice

1. Jaké hlavní problémy se vyskytly při měření a jak jste zajistil, aby naměřené výsledky byly při opakovaném měření srovnatelné?
2. Zabýval jste se přesností měření?

7. Splnění sledovaných cílů disertační práce

Cíle stanovené v disertační práci byly splněny v plném rozsahu a získané výsledky jednoznačně ukazují, že použité postupy a metody byly správné.

8. Celkové zhodnocení disertační práce a závěr

Disertační práce Ing. Michala Kašpárka je zpracována na dobré odborné i formální úrovni. Přináší nové poznatky, ukazuje na jeho odbornou zdatnost a způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké práci, a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Ostravě 18. 12. 2017

Michal Kašpár